

## PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Perpaduan antara pertanian regeneratif, pertanian organik dan pertanian hijau serta pertanian industri, menjadi pertanian berkelanjutan dipercaya merupakan pendekatan yang sangat tepat dalam menjawab permasalahan menyusutnya luas lahan pertanian, menurunnya kualitas lahan, pencemaran lingkungan dan perubahan iklim yang tidak menentu akibat fenomena El-Nino yang mengakibatkan turunnya produktivitas berbagai komoditas.

Buku ini menawarkan penggunaan teknik pertanian ramah lingkungan, penggunaan sumberdaya secara bijak, peningkatan kualitas dan kuantitas produksi dengan menekan dampak negatif terhadap lingkungan seminimal mungkin, konservasi sumber daya alam, dan pemberdayaan masyarakat petani dengan tujuan tidak hanya untuk meningkatkan produksi tanaman namun juga menjamin keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan sosial masyarakat. Buku ini juga memperkenalkan inovasi terkini seperti *smart farming*, pertanian presisi, dan bioteknologi untuk menghasilkan varietas berkualitas tinggi dan lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan. Solusi modern ini memungkinkan pertanian memenuhi tuntutan pasar dengan efisien, tanpa mengorbankan keseimbangan ekologis.

Melalui buku ini, pembaca akan dipandu untuk memahami bagaimana praktik pertanian yang tepat mampu menciptakan ketahanan pangan yang tangguh bagi generasi masa depan.

PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN  
DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF-UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Editor:  
Ir. Muhammad Prama Yufdy, MSc, PhD  
Prof. Dr. Ir. Aswaldi Anwar, MS

## PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN

Editor:  
Ir. Muhammad Prama Yufdy, MSc, PhD  
Prof. Dr. Ir. Aswaldi Anwar, MS



**PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN  
DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF UNTUK  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

**Penulis:**

| Azwar Rasyidin | Bujang Rusman | Musliar Kasim |  
| Warnita | P.K. Dewi Hayati | Herviyanti |  
| Adrinal | Aprisal | Gusmini | Elsa Lolita Putri |  
| Dini Hervani | Muhsanati | Nugraha Ramadhan |  
| Obel | Muhammad Fadli | Rasidin Azwar |

**Editor:**

Ir. Muhammad Prama Yufdy, MSc, PhD  
Prof. Dr. Ir. Aswaldi Anwar, MS



**PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN  
DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF UNTUK  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

- Penulis** : Azwar Rasyidin, Bujang Rusman, Musliar Kasim, Warnita, P.K. Dewi Hayati, Herviyanti, Adrinal, Aprisal, Gusmini, Elsa Lolita Putri, Dini Hervani, Muhsanati, Nugraha Ramadhan, Obel, Muhammad Fadli, Rasidin Azwar
- Editor** : Ir. Muhammad Prama Yufdy, MSc, PhD  
Prof. Dr. Ir. Aswaldi Anwar, MS
- Foto Sampul** : Kuswandi, SP., MSi
- Desain Sampul** : Syamsul Hidayat
- Tata Letak** : P.K. Dewi Hayati, PhD  
Syamsul Hidayat
- ISBN** : 978-623-172-401-4
- Ukuran Buku** : 15,5 x 23 cm
- Tahun Terbit** : 2024
- Cetakan** : Pertama
- Anggota** : *Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)*

**Diterbitkan dan dicetak oleh:**

*Andalas University Press  
Jl. Situjuh No. 1 Padang-25129  
Telp/Faks. : 0751-27066  
Email:cebitunand@gmail.com*

**Hak Cipta Pada Penulis @ 2024  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang**

*Tanpa seizin penerbit  
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku*

## Sambutan Menteri Pertanian Republik Indonesia

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh,*  
Salam sejahtera bagi kita semua,

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas terbitnya buku **Pengelolaan Sumber Daya Hayati dan Lingkungan dalam Rangka Pertanian Regeneratif untuk Pembangunan Berkelanjutan** dalam rangka Lustrum XIV Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan selamat atas Dies Natalis ke-70 kepada Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Perayaan ini menjadi lebih bermakna dengan peluncuran buku ini pada acara “Launching dan Bedah Buku” pada tanggal 28 November 2024.

Saya mengapresiasi dedikasi seluruh civitas akademika dan alumni Fakultas Pertanian Universitas Andalas yang telah berkontribusi menulis dan menyusun buku ini. Buku ini bukan hanya sebagai kontribusi intelektual dari pemikiran, pengalaman serta pengetahuan mereka, tetapi juga sebagai refleksi komitmen dan kontribusi nyata dari dunia akademis dalam memajukan sektor pertanian Indonesia yang merupakan visi dan misi kita bersama.

Pembangunan pertanian ke depan menghadapi beberapa tantangan di antaranya perubahan iklim berupa kekeringan, banjir serta bencana alam lainnya yang dapat mengakibatkan gagal panen. Kondisi perekonomian global yang tidak menentu mengakibatkan nilai tukar rupiah melemah, biaya produksi menjadi mahal dan pelemahan ekspor. Di samping itu terjadinya gejolak harga pangan global yang mengakibatkan mahalnya harga pangan, baik lokal maupun di pasar dunia. Kondisi ini sangat terasa mengingat Indonesia adalah negara kepulauan sehingga aspek distribusi yang tidak merata sangat mempengaruhi harga. Sementara itu ketersediaan lahan pertanian makin berkurang akibat tingginya laju pertumbuhan penduduk yang melebihi kapasitas lahan yang tersedia, serta tingginya laju alih fungsi lahan yang mencapai sekitar 100 ribu hektar/tahun.

Dalam rangka menjawab tantangan tersebut, Kementerian Pertanian telah menyusun Blueprint Kementerian Pertanian 2024-2029 yang mencakup 5 program strategis yaitu swasembada pangan nasional, pengembangan komoditas ekspor strategis, peningkatan produksi susu

untuk pangan bergizi, program pekarangan pangan bergizi dan program mandiri energi B-50 menuju B-100. Materi yang dipaparkan pada buku ini sangat sejalan dan mendukung program pembangunan pertanian seperti tertuang pada Blueprint Kementerian Pertanian 2024-2029 serta visi besar Kabinet Merah Putih Prabowo-Gibran, yang menekankan pembangunan sektor pertanian harus berjalan beriringan dengan upaya meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan kelestarian alam. Kolaborasi ini menunjukkan bagaimana dunia akademik dan pemerintah bersama-sama menciptakan solusi nyata untuk mencapai swasembada pangan, energi, dan air yang mandiri serta berkelanjutan.

Pembangunan pertanian yang berkelanjutan, seperti yang diusung dalam buku ini, bukan hanya tentang meningkatkan hasil pertanian, tetapi juga tentang bagaimana menjaga keseimbangan ekologis, merawat tanah, mengelola keanekaragaman hayati, serta memastikan kesejahteraan petani dan masyarakat. Pendekatan tersebut sangat sangat relevan dengan visi dan misi pemerintahan yang kami jalankan dalam Kabinet Merah Putih, khususnya dalam upaya kita mencapai swasembada pangan, energi, dan air yang mandiri serta berkelanjutan.

Buku ini mengangkat konsep pertanian regeneratif sebagai solusi strategis yang sangat dibutuhkan dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim dan degradasi lingkungan. Dengan menerapkan teknik-teknik seperti konservasi air dan pengelolaan tanah yang bijaksana, pemanfaatan mulsa organik, rotasi tanaman, dan rehabilitasi lahan marginal, kita tidak hanya berupaya meningkatkan produktivitas, tetapi juga berkomitmen untuk menjaga keseimbangan ekosistem. Ide pertanian regeneratif dengan meningkatkan keanekaragaman hayati dan pemanfaatan sumber daya lokal menciptakan pertanian yang tidak hanya berfokus pada hasil jangka pendek, tetapi juga pada pemulihan ekosistem yang berkelanjutan. Langkah-langkah ini semua menjadi wujud nyata dedikasi kita untuk melestarikan sumber daya hayati dan lingkungan yang ada, sehingga pertanian dapat berkontribusi secara berkelanjutan bagi generasi mendatang.

Pada akhirnya, kesejahteraan komunitas menjadi tujuan seluruh pendekatan ini. Dengan memberdayakan petani dan komunitas pertanian yang tangguh, kita memperkuat daya saing nasional dalam menghadapi tantangan global, sekaligus mendukung visi Indonesia sebagai lumbung pangan dunia. Kementerian Pertanian terus

mendorong penerapan teknologi pertanian modern dan multidisiplin ilmu untuk mendukung efisiensi dan produktivitas, menciptakan masa depan pertanian yang inovatif dan berkelanjutan.

Saya berharap buku ini dapat menginspirasi generasi muda dan seluruh pemangku kepentingan dalam membangun sektor pertanian yang lebih tangguh dan berkelanjutan. Mari bersama kita teguhkan peran pertanian Indonesia demi ketahanan pangan, kesejahteraan masyarakat, dan pelestarian lingkungan.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Jakarta, November 2024  
Menteri Pertanian RI

Dr. Ir. Andi Amran Sulaiman, MP



## **Kata Pengantar Dekan Fakultas Pertanian Universitas Andalas**

*Bismillaahir Rahmaanir Rahiim*

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan nikmat-Nya, sehingga buku yang merupakan buah pemikiran dosen serta alumni Fakultas Pertanian ini dapat terselesaikan. Buku ini disusun sebagai bagian dari rangkaian acara peringatan Lustrum XIV Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Shalawat dan salam senantiasa kita hadiahkan kepada Nabi Muhammad SAW, teladan bagi seluruh umat manusia.

Buku ini disusun sebagai bagian dari perayaan 70 tahun Fakultas Pertanian Universitas Andalas, berisi pemikiran dan hasil penelitian para dosen serta alumni dari Departemen Agronomi dan Departemen Ilmu Tanah. Buku ini menawarkan berbagai topik yang berkaitan dengan konsep keilmuan, teknologi yang dapat diterapkan, serta kebijakan yang mendukung pertanian regeneratif untuk mewujudkan masa depan yang berkelanjutan di Indonesia.

Lustrum tahun ini memiliki makna istimewa bagi Fakultas Pertanian Universitas Andalas Padang, karena menandai usia ke-70 tahun, sebuah pencapaian yang menunjukkan kedewasaan perjalanan sebuah institusi. Fakultas Pertanian didirikan pada 30 November 1954, saat Wakil Presiden Republik Indonesia Drs. Muhammad Hatta meresmikan Sekolah Tinggi Pertanian di Payakumbuh. Kemudian, pada 13 September 1956, institusi ini berubah menjadi Fakultas Pertanian dan menjadi fakultas pertama serta tertua di Universitas Andalas. Sempat mengalami perpindahan lokasi kampus dimulai dari Payakumbuh ke Padang, yakni di Jati, Air Tawar, hingga akhirnya Fakultas Pertanian bergabung dengan fakultas lain di Limau Manih tahun 1995. Pada tahun 2012, Fakultas Pertanian membuka Kampus III di Dharmasraya.

Hingga saat ini, Fakultas Pertanian telah meluluskan 11.432 sarjana dari enam program studi, yaitu Agroteknologi, Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Proteksi Tanaman, Agribisnis, Agroekoteknologi, serta Penyuluhan Pertanian. Selain itu, fakultas ini juga telah



menghasilkan 309 lulusan magister dari tiga program studi S2, meliputi 42 lulusan Ilmu Tanah, 141 lulusan Agronomi, 82 lulusan Ekonomi Pertanian, 44 lulusan Proteksi Tanaman, dan 85 lulusan Doktor dari program studi S3 Ilmu Pertanian.

Sebagai fakultas tertua di Universitas Andalas, Fakultas Pertanian terus berupaya meningkatkan kualitas pendidikan dalam bidang pertanian. Ke depan, fakultas ini akan dihadapkan pada berbagai tantangan, seperti perubahan iklim global, degradasi lahan, serta pertumbuhan penduduk yang berpotensi mengancam ketahanan pangan nasional. Oleh sebab itu, seluruh civitas akademika diharapkan mampu menghadapi tantangan ini dengan baik, sekaligus merancang inovasi dan strategi yang efektif di bidang pertanian.

Melalui penyusunan buku ini, kami berusaha menyajikan semua hasil pemikiran dan penelitian dari Dosen dan Alumni Fakultas Pertanian yang diharapkan dapat memberikan kontribusi pemikiran yang berarti bagi pembangunan pertanian berkelanjutan, khususnya di Sumatera Barat. Hasil pemikiran yang disampaikan dalam buku ini diharapkan mampu merefleksikan tema Lustrum tahun ini yakni **"Mengembangkan Ketangguhan Menggunakan Kekuatan Pertanian Regeneratif untuk Masa Depan yang Berkelanjutan"**. Semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca dan menjadi sumber inspirasi untuk pengembangan pertanian di masa mendatang.

Padang, 23 Oktober 2024  
Dekan Fakultas Pertanian  
Universitas Andalas

Dr. Ir. Indra Dwipa, MS

## Kata Pengantar Ketua Panitia

Syukur alhamdulillah hanya tertuju kepada Allah semata yang dengan perkenan dan ridha-Nya, buku **PENGELOLAAN SUMBER DAYA HAYATI DAN LINGKUNGAN DALAM RANGKA PERTANIAN REGENERATIF UNTUK PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN** dapat diselesaikan. Terwujudnya buku ini merupakan bentuk dedikasi tak henti untuk mengabdikan diri pada pencapaian ilmu yang bermanfaat. Shalawat beserta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi wa Salam, pembawa risalah dan teladan bagi setiap upaya membangun peradaban yang berlandaskan iman dan ilmu pengetahuan.

Buku ini diterbitkan dalam rangka menyambut Dies Natalis ke-70 Fakultas Pertanian Universitas Andalas yang bertepatan dengan Lustrum XIV, menjadikannya sebagai salah satu kontribusi akademik penting di momen perayaan istimewa ini. Buku ini adalah hasil kolaborasi dari 16 orang dosen dan alumni Fakultas Pertanian Universitas Andalas, serta telah direview dan diedit oleh para editor terpilih dan kompeten di bidangnya masing-masing.

Penerbitan buku ini merupakan kontribusi kecil dari Fakultas Pertanian, khususnya dosen dan alumni dari dua departemen, yaitu Departemen Agronomi dan Departemen Ilmu Tanah. Tulisan dalam buku ini berusaha merespons berbagai permasalahan sekaligus tantangan dalam pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia, khususnya dalam aspek pengelolaan sumber daya hayati dan lingkungan.

Kami atas nama panitia buku, menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada para dosen dan alumni yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pemikiran mereka dalam buku ini, baik sebagai penulis ataupun editor. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada ketua departemen yang sudah mendorong partisipasi aktif para dosen di departemen masing-masing, hingga menghasilkan tulisan-tulisan yang kaya akan wawasan pemikiran, baik dari hasil riset maupun pengalaman profesional berkiprah di dunia pertanian.

Penghargaan yang sama, kami sampaikan kepada seluruh tim panitia Penerbitan, Launching dan Bedah Buku Lustrum yang telah bekerja keras sehingga buku ini dapat diterbitkan, dipresentasikan dan

dibedah dalam kegiatan Launching dan Bedah Buku pada tanggal 28 November 2024 yang tentunya akan semakin memperkaya pemahaman dan apresiasi terhadap buku yang diluncurkan, penerbit Andalas University Press, Ibu Husnain, MP, MSc, PhD., Plt Dirjen Lahan dan Irigasi Kementerian Pertanian, serta berbagai pihak yang kontribusinya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Sebagai penutup, kami mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Pertanian Universitas Andalas atas dukungan dan fasilitas yang diberikan dalam penerbitan buku ini sebagai bagian dari kegiatan Lustrum. Saran dari berbagai pihak tentu diharapkan sekali sebagai bahan penyempurnaan bagi karya buku serupa di masa mendatang. Semoga buku ini dapat membawa manfaat yang besar bagi akademisi, praktisi dan semua pihak yang bergerak dalam sektor pertanian dan mendukung upaya pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

Padang, 10 Oktober 2024  
Ketua Panitia,

P.K. Dewi Hayati, MSi, Ph.D

## Daftar Isi

|  |      |
|--|------|
| <b>Sambutan Menteri Pertanian Republik Indonesia</b>   | iii  |
| <b>Kata Pengantar Dekan</b>  | vii  |
| <b>Kata Pengantar Ketua Panitia</b>  | ix   |
| <b>Daftar Isi</b>  | xi   |
| <b>Daftar Tabel</b>  | xiii |
| <b>Daftar Gambar</b>   | xv   |
| <b>Prolog</b>  | 1    |
| Transformasi Menuju Pertanian Regeneratif, <b>Aswaldi Anwar &amp; Muhammad Prama Yufdy</b>   |      |
| Turunnya Produktivitas Lahan Sawah Sebagai Akibat Kesalahan Pengelolaan, <b>Azwar Rasyidin</b>   | 7    |
| Penurunan Daya Dukung Lingkungan Sumatera Barat Akibat Pengabaian terhadap Keseimbangan Alam, <b>Bujang Rusman</b>   | 21   |
| Penerapan Metode SRI (System of Rice Intensification) untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah, <b>Musliar Kasim</b>   | 41   |
| Teknologi Mulsa dan Pupuk Organik dalam Meningkatkan Produktivitas Kentang, <b>Warnita</b>   | 61   |
| Peningkatan Produksi Padi Gogo Melalui Pemilihan Varietas dan Modifikasi Iklim Mikro, <b>P.K. Dewi Hayati</b>  | 91   |
| Rehabilitasi Tanah Marginal Tropis dengan Teknik Ameliorasi untuk Pertanian Ramah Lingkungan, <b>Herviyanti</b>  | 119  |
| Restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) Yang Dipulihkan Melalui Pendekatan Teknologi dan Rekayasa Ekologi, <b>Adrinal, Aprisal, Gusmini dan Elsa Lolita Putri</b> | 167  |
| Pentingnya Pengelolaan dan Penyimpanan Plasma Nutfah Tanaman untuk Ketersediaan Bahan Genetik Di Masa Depan, <b>Dini Hervani</b>                               | 187  |

|  |     |
|--|-----|
| Perkembangan Pertanian Berkelanjutan Menuju Era Digital,<br><b>Muhsanati, Nugraha Ramadhan dan Obel</b>                  | 203 |
| Menelisik Di Luar Batas Garis Pertanian Hijau, <b>Muhammad<br/>Fadli</b>   | 227 |
| Cara Cepat dan Mudah Mewujudkan Indonesia Menjadi<br>Lumbung Pangan Dunia, <b>Rasidin Azwar</b>                          | 249 |
| <b>Epilog</b><br>Pertanian Regeneratif dan Pembangunan Berkelanjutan,<br><b>Muhammad Prama Yufdy &amp; Aswaldi Anwar</b> | 267 |
| Biodata Penulis  | 273 |

## Daftar Tabel

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Tabel 1.  | Hasil analisis tanah sawah di DAS Ulu Selo dan DAS Sumpur Pasaman  | 11  |
| Tabel 2.  | Penampang tanah di kawasan Nagari Simawang, Kabupaten Tanah Datar, Sumatra Barat.  | 14  |
| Tabel 3.  | Profil tanah di kawasan Rao-Rao  | 15  |
| Tabel 4.  | Luas teras, jumlah sedimen, dan ketebalan tanah di Limau Manis   | 16  |
| Tabel 5.  | Kondisi DAS pada beberapa wilayah di Kabupaten Solok, Sumatra Barat  | 17  |
| Tabel 6.  | Standar pembuatan petak sawah berdasarkan kondisi lahan  | 18  |
| Tabel 7.  | Pengaruh sistem budidaya dan jenis pupuk organik terhadap produktivitas tanaman padi   | 52  |
| Tabel 8.  | Biomassa gulma pada budidaya tanaman padi metode SRI pada pemberian berbagai dosis mulsa jerami pada umur 42 HST               | 53  |
| Tabel 9.  | Bobot segar gulma per petak tanaman padi metode SRI dengan pemberian berbagai jenis mulsa organik                              | 56  |
| Tabel 10. | Jumlah daun tanaman kentang pada beberapa jenis mulsa dan konsentrasi chitosan   | 74  |
| Tabel 11. | Diameter umbi terbesar pada beberapa dosis pupuk guano dan tipe mulsa  | 76  |
| Tabel 12. | Penampilan agronomis 28 varietas padi gogo lokal Sumatra Barat   | 99  |
| Tabel 13. | Keragaman genetik dan heritabilitas beberapa karakter agronomis yang dievaluasi pada 28 varietas padi gogo lokal Sumatra Barat | 100 |
| Tabel 14. | Kandungan amilosa beras serta tekstur nasi beberapa varietas lokal padi gogo Sumatra Barat                                     | 102 |
| Tabel 15. | Varietas padi gogo yang dilepas setelah tahun 2005   | 108 |
| Tabel 16. | Pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo dengan pemberian berbagai dosis mulsa alang-alang                                      | 113 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 17. Pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo dengan pemberian berbagai dosis mulsa limbah padat serai wangi. | 113 |
| Tabel 18. Karakteristik, potensi serta upaya optimasi tanah marginal  | 125 |
| Tabel 19. Luasan lahan kering masam berdasarkan elevasi dan iklim pada beberapa pulau besar di Indonesia          | 127 |
| Tabel 20. Urutan negara berdasarkan keanekaragaman hayati   | 190 |
| Tabel 21. Jumlah flora fauna yang dilindungi di Indonesia tahun 1999 dan 2018                                     | 198 |
| Tabel 22. Nilai manfaat kehati dan plasma nutfah  | 200 |
| Tabel 23. Data statistik populasi dunia   | 230 |
| Tabel 24. Perbedaan konsep pertanian terkini  | 238 |
| Tabel 25. Target produksi dan produktivitas lumbung pangan dunia  | 259 |

## Daftar Gambar

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 1. Tiga pilar pembangunan berkelanjutan   | 24  |
| Gambar 2. Kerusakan DAS di bagian hulu (Silver Hutabarat)  | 32  |
| Gambar 3. Menurunnya daya dukung lingkungan DAS (KLHK)   | 34  |
| Gambar 4. Total jumlah bencana di Indonesia tahun 2023   | 37  |
| Gambar 5. Bibit padi umur 12 hari setelah semai  | 47  |
| Gambar 6. Penanaman 1 bibit per lobang tanam dengan jarak tanam 25 x 25 cm   | 48  |
| Gambar 7. Tanaman padi pada kondisi tanah ideal  | 48  |
| Gambar 8. Penampang melintang akar padi dengan aerenkima sel   | 49  |
| Gambar 9. Perbandingan kondisi perakaran padi metode SRI dengan air tidak tergenang dengan metode konvensional yang tergenang                                  | 49  |
| Gambar 10. Pertanaman padi sawah yang ditumbuhi gulma karena gulma tidak dibuang dari awal   | 50  |
| Gambar 11. Kondisi sawah metode konvensional dengan air tergenang gulma tidak banyak tumbuh  | 55  |
| Gambar 12. Pemberian mulsa organik pada metode SRI; (a) mulsa jerami; (b) mulsa daun jagung; (c) mulsa paitan  | 55  |
| Gambar 13. Pengolahan lahan  | 67  |
| Gambar 14. Pembuatan bedengan  | 68  |
| Gambar 15. Tanaman kentang   | 70  |
| Gambar 16. Penanaman kentang dengan mulsa hitam perak  | 73  |
| Gambar 17. Persentase pertambahan tinggi tanaman (atas) dan penurunan bobot gabah (bawah) berbagai varietas lokal padi gogo Sumatra Barat pada kondisi naungan | 106 |



|  |     |
|--|-----|
| Gambar 18. Bobot gabah (t/ha) beberapa varietas lokal padi gogo Sumatra Barat pada kondisi tanpa naungan dan naungan 50%   | 106 |
| Gambar 19. Perubahan suhu dan kelembapan tanah pada pertanaman padi gogo dengan aplikasi berbagai dosis mulsa alang-alang (atas) dan limbah padat hasil penyulingan serai wangi (bawah), (a) Suhu tanah (b) Kelembaban tanah   | 110 |
| Gambar 20. Biomassa gulma pada berbagai dosis mulsa pada pertanaman padi gogo, (a) alang-alang, (b) limbah padat serai wangi   | 111 |
| Gambar 21. Pertumbuhan gulma pada beberapa dosis mulsa limbah padat hasil penyulingan serai wangi  | 112 |
| Gambar 22. Ketinggian mulsa pada saat panen, ketinggian mulsa alang-alang (atas); a=10 t/ha, b=15 t/ha, c=20 t/ha, d=25 t/ha, ketinggian mulsa limbah padat hasil penyulingan serai wangi (bawah); =10 t/ha, b=20 t/ha, c=30 t/ha, d=40 t/ha   | 112 |
| Gambar 23. Teknologi ameliorasi tanah marginal dan tercemar  | 139 |
| Gambar 24. Mekanisme disosiasi H <sup>+</sup> pada bahan organik (A) dan stabilisasi bahan organik dengan logam dalam tanah pada permukaan liat (B)  | 140 |
| Gambar 25. Struktur kimia asam humat   | 141 |
| Gambar 26. SEM (A) dan FT-IR (B) senyawa humat dari (a) Andisols, (b) Spodosols, (c) Histosol dan (d) Lignit   | 142 |
| Gambar 27. Perubahan kadar Fe <sup>2+</sup> pada lahan sawah bukaan baru dengan aplikasi asam humat dari kompos jerami padi diikuti pengairan terus menerus (A) dan terputus-putus (B) setelah digenangi selama 10 minggu, serta pengaruh asam humat (C) terhadap gabah dengan pengairan | 143 |
| Gambar 28. Fungsi batubara peringkat rendah (low rank coal - LRC) dan turunannya (senyawa humat) untuk pemeliharaan kesuburan tanah dan stimulasi pertumbuhan tanaman  | 145 |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 29. Produksi biochar dengan metode (A) Kon-Tiki (B) Drum and (C) Soil-Pit.   | 149 |
| Gambar 30. Peran biochar dalam model ekonomi sirkular pertanian   | 149 |
| Gambar 31. Diagram skematik peran gugus fungsi biochar  | 151 |
| Gambar 32. SEM dari batubara (A) yang diaktivasi dengan NaOH (1), Urea (2) dan Dolomite (3) dan biochar (B) sekam padi (1) Biochar limbah buah kelapa muda (2) Biochar bambu (3) Biochar kulit pinang (4) | 154 |
| Gambar 33. Garis Wallace, Weber dan Lydekker di Indonesia   | 189 |
| Gambar 34. Penyimpanan in vitro   | 195 |
| Gambar 35. Penyimpanan eksplan tanaman ke dalam wadah yang berisi nitrogen cair   | 195 |
| Gambar 36. Model pertanian presisi  | 221 |
| Gambar 37. Peta genom tanaman padi  | 233 |
| Gambar 38. Cas9, endonuklease DNA yang dipandu sgRNA  | 237 |
| Gambar 39. Sebuah siklus yang mewujudkan sistem manajemen umum berbasis data untuk pertanian maju   | 241 |
| Gambar 40. Peta jalan ke arah Indonesia menjadi lumbung pangan dunia  | 260 |
| Gambar 41. Profil food estate dalam keberadaannya sebagai lumbung pangan dunia  | 261 |

## Prolog

### TRANSFORMASI MENUJU PERTANIAN REGENERATIF

**Aswaldi Anwar<sup>1</sup> dan Muhammad Prama Yufdy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Dosen pada Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian,  
Universitas Andalas*

<sup>2</sup>*Peneliti Ahli Utama pada Pusat Riset Hortikultura,  
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)*

Tujuh puluh tahun bukanlah waktu yang singkat. Semenjak diresmikan oleh Bung Hatta pada tanggal 30 November 1954 di Payakumbuh, Fakultas Pertanian Universitas Andalas telah mengukir banyak sejarah, baik atas nama institusi ataupun pribadi dari para dosen, mahasiswa dan alumninya. Selama itu pula, berbagai kebijakan di bidang pendidikan dan pertanian sudah pula silih berganti sesuai dengan zamannya. Pada usia yang sudah cukup lanjut tersebut, seiring dengan berbagai kemajuan dan perubahan yang bersifat lokal dan global, Fakultas Pertanian Universitas mencoba terus ikut berperan dalam pembangunan nasional, khususnya di Bidang Pendidikan dan Pertanian. Bermula dengan berperan aktif menyukseskan program Bimas dan Inmas di era 60-70-an yang berbuah manis dengan swasembada beras pada tahun 1984, diikuti dengan keterlibatan pada program pemerintah lainnya, seperti Gema-palagung sampai pada Upsus Pajale di era 2010-an. Disamping itu, upaya menghasilkan lulusan yang kompeten menghadapi tantangan dan perubahan tetap dijalankan dengan mengikuti perkembangan zaman, begitu juga dalam menghadapi beberapa paradigma baru di bidang pertanian. Salah satu paradigma baru tersebut adalah pertanian regeneratif (*regenerative agriculture*).

Istilah pertanian regeneratif sudah cukup lama diperkenalkan. Rodale Insititute, sebuah institusi yang bergerak di bidang pertanian organik di Amerika Serikat sudah mengadopsi istilah ini pada awal tahun 80-an dan terus mengembangkannya sampai saat ini. Selama itu pula, pemahaman tentang pertanian regeneratif terus berkembang dan dapat dilihat dari berbagai sudut pandang. Newton *et al.* (2020) dalam tulisannya berjudul “*What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes*”

telah mencoba mereview 229 artikel jurnal dan 25 website praktisi pertanian terkait istilah “*regenerative agriculture*”. Ternyata sangat banyak definisi dan deskripsi tentang istilah tersebut, baik berdasarkan proses (*processes*), luaran (*outcomes*) atau kombinasi keduanya. Beberapa dimensi berdasarkan proses antara lain adalah: 1) Mengurangi pengolahan tanah (tanpa olah tanah atau olah tanah minimum), (2) melindungi tanah (tanaman penutup tanah atau pohon, terasering), (3) meningkatkan keragaman tanaman (tanaman penutup tanah, tanaman sela, tumpangsari), (4) integrasi tanaman tahunan dan pepohonan, (5) rotasi tanaman, (6) restorasi habitat alami (di sekeliling batas, di zona penyangga), (7) integrasi dengan ternak dan komponen biologi lainnya (ternak lebah dan cacing, budidaya jamur dan *Azolla*), (8) optimasi on-farm input, minimasi external in-put, (9) menggunakan metode organik (meminimalkan pupuk anorganik, optimalkan pupuk kandang dan kompos, meminimalkan pestisida sintetik, menggunakan pestisida nabati, meminimalkan penggunaan herbisida, mengoptimalkan pengendalian gulma mekanis), dan (10) optimasi penggunaan sumberdaya lokal. Sedangkan berdasarkan *outcomes* antara lain adalah: 1) Meningkatkan kesehatan ekosistem, termasuk kesehatan air dan tanah, 2) Meningkatkan keanekaragaman hayati (*biodiversity*), 3) Meningkatkan penyerapan karbon (*carbon sequestration*), 4) Mengurangi emisi gas rumah kaca, 5) Meningkatkan kualitas nutrisi pangan dan kesehatan, 6) Meningkatkan akses terhadap pangan, sehingga menjamin keamanan dan ketahanan pangan, 7) Meningkatkan kesejahteraan sosial dan komunitas, dan 8) Mewujudkan *system circular*/daur ulang dan minimal limbah.

Tidak jauh berbeda dengan sistem yang lain, sistem pertanian juga bertransformasi sejalan dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan seperti ekologi, lingkungan, kesehatan, biodiversitas, dan perubahan iklim. Transformasi secara cepat dan fundamental pada sistem pertanian yang disebut revolusi hijau berbasis pada penggunaan input yang tinggi untuk meningkatkan produksi pertanian telah berlangsung cukup lama. Penggunaan input yang tidak ramah lingkungan dan munculnya kesadaran lingkungan mendorong transformasi sistem pertanian menjadi pertanian berorientasi lingkungan seperti *ecofarming*, *organic farming*, *sustainable agriculture*,

dan *regenerative agriculture*. Pertanian regeneratif merupakan teknologi yang mengadopsi kemampuan beregenerasi pada ekosistem vegetasi alam. Transformasi menuju pertanian regeneratif menjadi langkah penting untuk menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan bagi generasi mendatang.

Pertanian regeneratif menjadi praktik pertanian yang sangat baik dalam konsep berkelanjutan. Perlu ditekankan adalah keyakinan bahwa pertanian regeneratif tetap mampu mendorong produksi pertanian secara ekonomi. Ini penting karena salah satu tujuan utama dari pertanian adalah ketersediaan pangan yang mencukupi, sehingga apabila terjadi kekurangan, tidak jarang pihak pengelola akan mengabaikan kelestarian lingkungan. Perlu pemahaman bahwa dalam pertanian regeneratif, petani mendapat hasil tidak hanya dari tanamannya namun juga dari hal lain seperti kayu, ternak, bahkan hingga ke *carbon trading* sehingga secara ekonomi, pertanian regeneratif menjadi lebih menguntungkan. Sanyal & Wolthuizen (2021) menjelaskan bahwa pertanian berkelanjutan bertujuan untuk memelihara atau meningkatkan tingkat fungsi ekosistem yang diinginkan, sementara pertanian regeneratif lebih fokus pada regenerasi, pembaharuan, dan peningkatan lebih lanjut dalam fungsi tanah dan kemampuan ekosistem secara bertahap.

Sebagai bagian dari proses transformasi menuju pertanian regeneratif, Fakultas Pertanian Universitas Andalas dalam rangka Dies-Natalis ke 70 (Lustrum ke 14) menyajikan rangkaian tulisan terkait dari dosen dan alumni melalui empat pendekatan utama, yaitu: pengelolaan tanah; keanekaragaman hayati; penggunaan sumber daya yang bijaksana dan kesejahteraan komunitas. **Pengelolaan Tanah (*Soil management*)**: Pertanian regeneratif mendorong penggunaan teknik seperti pengurangan pengolahan tanah, rotasi tanaman, dan penanaman penutup tanah. Semua teknik tersebut ditujukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas kesehatan tanah. Tanah yang dikelola secara regeneratif cenderung lebih subur dan mampu menyimpan lebih banyak karbon, yang membantu mengatasi perubahan iklim. **Keanekaragaman Hayati (*Biodiversity*)**: Dengan meningkatkan keanekaragaman tanaman dan hewan, pertanian regeneratif menciptakan ekosistem yang lebih tahan terhadap hama dan penyakit.

Ini juga meningkatkan interaksi alami yang mendukung siklus nutrisi. Dengan menciptakan habitat bagi berbagai spesies, pertanian regeneratif mendukung ekosistem yang seimbang. **Penggunaan Sumber Daya yang Bijaksana:** Teknik konservasi air dan pemanfaatan sumber daya lokal membantu mengurangi ketergantungan pada input eksternal, yang berkontribusi pada keberlanjutan. Pendekatan ini dapat meningkatkan hasil panen jangka panjang dengan menciptakan sistem pertanian yang lebih tangguh dan tahan banting, mendukung komunitas lokal, mendorong praktik pertanian yang adil dan berkelanjutan, yang pada gilirannya akan meningkatkan **Kesejahteraan Komunitas.**

Rangkaian tulisan tersebut dimulai dengan beberapa fakta yang ditemukan di Sumatera Barat terkait menurunnya produktivitas lahan sawah dan menurunnya daya dukung lingkungan sebagai akibat kekeliruan dalam pengelolaan dan pengabaian terhadap keseimbangan alam. Sebagai bentuk transformasi menuju pertanian regeneratif, beberapa tulisan berikutnya menawarkan berbagai bentuk pertanian yang relatif lebih ramah lingkungan seperti penerapan SRI (*System of Rice Intensification*) pada budidaya padi sawah, pemanfaatan mulsa organik pada budidaya kentang dan pemilihan varietas yang tepat serta modifikasi iklim mikro dengan menggunakan mulsa organik pada budidaya padi gogo.

Selanjutnya diuraikan pula beberapa pendekatan untuk merehabilitasi tanah marginal tropis dengan teknik ameliorasi dan pemulihan daerah aliran sungai (DAS) dengan pendekatan teknologi dan rekayasa ekologi. Tulisan berikutnya berkaitan dengan pentingnya pengelolaan dan penyimpanan plasma nutfah tanaman sebagai bahan utama dalam pertanian regeneratif. Pada bagian akhir, buku ini ditutup dengan tulisan mengenai perkembangan pertanian berkelanjutan menuju era digital, dilanjutkan dengan satu tulisan yang menekankan kemampuan multidisiplin ilmu sangat penting bagi kemajuan pertanian Indonesia dan diakhiri dengan satu tulisan yang menawarkan gagasan cara cepat dan mudah mewujudkan Indonesia lumbung pangan dunia.

## Referensi

- Harwood RR. 1983. *International overview of regenerative agriculture*. In: *Proceedings of Workshop on Resource-efficient Farming Methods for Tanzania, Morogoro, Tanzania, 16–20 May 1983, Faculty of Agriculture, Forestry, and Veterinary Science, University of Dares Salaam*. Morogoro, TZ: Rodale Press.
- Newton, P., N. Civita, L. Frankel-Goldwater, K. Bartel, and C. Johns. 2020. “What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes.” *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4 (October): 1– 11. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>.
- Sanyal, D., and J. Wolthuizen. 2021. “Regenerative Agriculture: Beyond Sustainability.” *International Journal on Agriculture Research and Environmental Sciences* 2 (1): 2–4. <https://doi.org/10.51626/ijares.2021.02.00007>





## Turunnya Produktivitas Lahan Sawah Sebagai Akibat Kesalahan Pengelolaan



Alih fungsi lahan dan perubahan fisik tanah merupakan beberapa faktor penyebab penurunan produktivitas lahan sawah yang dicermati oleh **Azwar Rasyidin**. Hal ini jelas karena dapat mengancam ketahanan pangan nasional. Perubahan fisik tanah diperburuk oleh praktik budidaya yang dimulai dari pengolahan tanah, “pelunyan” (pelumpuran), pengaturan masuk dan keluar air hingga penyiangan. Bagaimana praktik-praktik tersebut menyebabkan penghanyutan partikel tanah dan bahan organik disorot detil dalam bagian ini. Apa saja solusi yang ditawarkan, dapat ditemui pada bab ini.



# Turunnya Produktivitas Lahan Sawah Sebagai Akibat Kesalahan Pengelolaan

**Azwar Rasyidin**

*Dosen Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan,  
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Kebutuhan beras di Indonesia setiap tahun semakin meningkat, salah satu penyebabnya adalah pertambahan jumlah penduduk dengan laju kelahiran 2.5 % pertahun dan berkurangnya luas lahan sawah sebagai akibat dari alih fungsi lahan terutama yang berada dekat kota besar seperti Jakarta, Padang, Solok dan Bukittinggi dengan luas pengurangan sebesar 6.812 ha, 1.441 ha, 385 ha, dan 200 ha, berturut-turut untuk kota Jakarta, Padang Solok, dan Bukittinggi (Rasyidin, 2024). Kendala lain adalah menurunnya kualitas lahan yang ditandai dengan rendahnya nilai C-organik tanah dan berkurangnya kedalaman tanah.

Produksi gabah petani di beberapa daerah bila dibandingkan dengan kondisi 30 tahun yang lalu berkurang sampai 25 %. Jika dulu produksi bisa mencapai 4.5 – 5 t/ha, maka sekarang hanya menghasilkan 3.3 - 3.75 t/ha per musim tanam (MT). Ini merupakan kondisi umum pada daerah persawahan yang berada pada iklim basah, terutama pada daerah dengan zona iklim pertanian Oldelman A sampai C. Menurunnya produktivitas lahan yang ditanami padi menyebabkan petani mengalihfungsikan lahannya dengan menanam jenis tanaman palawija.

Di daerah pinggiran kota, penanaman sayuran ternyata memiliki *rent* atau pendapatan yang lebih bagus dibandingkan dengan bersawah atau bertanam padi. Sayuran biasanya berumur lebih pendek dibandingkan tanaman padi. Penanaman sayuran jauh lebih memberi untung bila dibandingkan dengan padi. Jika penanaman padi menghasilkan nilai uang sebesar Rp. 2.200/MT, maka penanaman dengan kombinasi tanaman sayuran, cabe, tomat dan kacang tanah akan menghasilkan sebanyak Rp. 3.600/MT.

Turunnya pendapatan petani disebabkan juga oleh menurunnya tingkat produktivitas lahan sawah karena menurunnya kesuburan tanah dan terjadinya pendangkalan pada tanah sawah. Tanah persawahan yang

mengeras dan dangkal menyebabkan sebaran perakaran menjadi terbatas. Pengerasan lapisan olah tanah sawah tersebut menurut petani disebabkan karena penggunaan pupuk kimia yang terlalu banyak seperti penggunaan urea dan pupuk ZA. Di sisi lain petani tidak mengimbangnya dengan pemberian kapur pertanian dan penambahan bahan organik pada tanah sawah.

Produksi padi selain ditentukan oleh ketersediaan unsur utama seperti N, P dan K, juga ditentukan oleh tersedianya bahan organik tanah. Salah satu faktor penentu tingkat produktivitas lahan sawah adalah ketersediaan bahan organik, semakin tinggi persentase bahan organik, maka lahan sawah akan semakin subur. Syss (1991) menyatakan bahwa C-org > 2% atau setara dengan bahan organik 3.5 % sudah dinilai sangat sesuai untuk lahan sawah. Hasil padi yang lebih bagus dicapai ketika bahan organik > 6 %.

## **II. Analisis Tanah Sawah DAS Ulu Selo dan Sumpur Pasaman**

Kandungan bahan organik tanah pada beberapa daerah pertanaman padi menurun. Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan bahan organik pada tanah sawah dengan tanah yang berdampingan dengan sawah yang digunakan sebagai lahan kering. Ini dapat dilihat pada Table 19 berikut.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa selisih nilai C-org di DAS Ulu Selo jauh berbeda dengan selisih C-org di DAS Sumpur. Nilai itu juga berbeda pada masing masing lokasi, di Simpurut berbeda sebanyak 3.61 %, di Gurun berbeda 0.74 % sedangkan di Padang Laweh berbeda 1.48. Begitu juga dengan DAS Sumpur Pasaman, berbeda untuk masing masing daerah, Kuamang misalnya 0.64 %, Lundar dan Petok 0,595. Perbedaan itu lebih banyak ditemukan pada DAS Ulu Selo dibandingkan dengan DAS Sumpur Pasaman. Hal ini disebabkan usia lahan persawahan di DAS Sumpur lebih muda dan fisiografi daerahnya adalah alluvial, sedangkan DAS Ulu Selo lebih tua dengan fisiografi Vulkan.

Tabel 1. Hasil analisis tanah sawah di DAS Ulu Selo dan DAS Sumpur Pasaman

| Lokasi sawah                   | Bahan organik tanah |       |                    |       |
|--------------------------------|---------------------|-------|--------------------|-------|
|                                | bv                  | C-org | Kg.C <sup>-2</sup> | C/N   |
| ..... DAS Ulu Selo .....       |                     |       |                    |       |
| Simpurut                       | 0,754               | 4,36  | 6,69               | 12,95 |
| Gurun                          | 0,957               | 3,09  | 5,78               | 11,78 |
| Padang laweh                   | 1,053               | 3,89  | 8,25               | 16,44 |
| LK                             |                     |       |                    |       |
| Simpurut                       | 0,910               | 7,97  | 14,5               | 34,65 |
| Gurun                          | 0,870               | 3,74  | 6,51               | 12,06 |
| Padang laweh                   | 0,810               | 5,37  | 8,70               | 23,35 |
| ..... DAS Sumpur Pasaman ..... |                     |       |                    |       |
| Kuamang                        | 1,142               | 2,64  | 4,74               | 11,43 |
| Lundar                         | 0,994               | 3,56  | 6,97               | 12,44 |
| Petol                          | 0,989               | 3,10  | 6,10               | 12,07 |
| LK                             |                     |       |                    |       |
| Kuamang                        | 1,170               | 2,79  | 6,57               | 7,90  |
| Lundar                         | 1,105               | 2,82  | 6,20               | 13,45 |
| Petol                          | 1,245               | 3,70  | 9,33               | 29,85 |

Berkurangnya tebal lapisan olah bisa saja terjadi akibat praktek pengelolaan, mulai dari masa persiapan tanah, masa penyiangan dan pemupukan. DAS Ulu Selo berada pada lereng tengah Vulkanik yang air irigasinya mengalir dari sawah ke sawah (*cascade*). Hampir tidak ditemui air pembuangan mengalir ke saluran. Dalam sistem irigasi bertingkat ini, air pembuang menjadi air pembawa bagi sawah di bawahnya. Akibatnya adalah pada waktu pengolahan, baik pada masa persiapan, menyiangi dan memupuk, air selalu mengalir sehingga air yang bercampur lumpur itu hanyut ke bawah.

Sawah sebagai sistem berteras seharusnya menjadi sistem konservasi tanah dan air yang paling bagus. Tetapi karena pintu pembuang dibuka waktu pengolahan tanah, maka ini sama artinya dengan erosi yang dipercepat. Erosi menyebabkan hanyutnya partikel tanah, unsur hara dan bahan organik tanah

Tanah sawah dibentuk dari berbagai ordo tanah mulai dari ordo tanah Alluvial (Entisol, Inceptisol and gley soils (Aquepts) dan Regosol (Entisol). Sawah adalah sistem pertanian menetap yang menggunakan penggenangan. Pengolahan tanah dilakukan dalam keadaan basah dan tergenang, dalam sistem teras. Untuk penggenangan, digunakan pematang di mana sawah memiliki pintu air masuk dan juga pintu pembuang untuk menjaga tinggi muka air stabil. Kehilangan air pada tanah sawah dapat terjadi melalui evaporasi pada masa sawah diberakan atau evapotranspirasi pada saat sawah ditanami padi atau tanaman palawija lainnya. Kehilangan air juga dapat terjadi melalui gerakan air ke bawah atau perkolasi pada masa sawah digenangi dan ditanami padi.

Tanah sawah adalah tipe tanah yang terbentuk karena pengaruh manusia. Tanah sawah dibentuk karena sifat asli tanah, dan pengaruh praktek pertanian seperti irigasi terasering mencerminkan kondisi hidromorfik pada profil tanah, atau terbentuknya lapisan padas liat serta terjadinya akumulasi besi dan mangan. Tan (1968) memberikan istilah sebagai tanah yang memiliki horizon akumulasi besi dan mangan. Kanno (1962) mengistilahkan tanah yang memiliki kondisi hidromorfik buatan. Dudal (1958) mendefinisikan tanah yang memiliki perubahan karena praktek irigasi, kondisi hidromorfik yang berasosiasi dengan great soil group (Silvarajasingham, 1963); termasuk anthraquic great soil group (Dudal and Moorman, 1964), antropik sub group (Dudal 1965); Aquorizem (Kyuma dan Kawaguchi, 1966); hydraquic subgroup (Otowa, 1973); lowland paddy soil (Mitsuchi, 1974).

Dalam genesis tanah sawah, daerah berlereng terbentuk dari pembuatan teras dan kemudian terjadi penambahan lapisan tanah atas karena adanya pengaruh air irigasi dan terjadi proses perkolasi yang menyebabkan lapisan di bawah lapisan olah berubah, diindikasikan dengan perubahan warna dan adanya perubahan struktur tanah. Karena diolah dalam keadaan basah, maka lapisan atas mengalami perubahan dan berubah menjadi horizon *irrrargic* atau *anthric* dan secara penamaan tanah sawah dinamai unit anthrosol (WRB). Dengan adanya pemberian air irigasi, maka lapisan atas akan mengalami penumpukan dan penambahan bahan organik, terutama pada tanah yang berada pada lereng Tengah volkan.

Perkembangan dari morfologi tanah sawah dapat dilihat pada beberapa nagari di Sumatra Barat, yaitu nagari Simawang, Rao Rao di kabupaten Tanah Datar, Koto Tinggi Baso, kabupaten Agam, Sinurut kabupaten Pasaman Barat, Limau Manis Padang dan Sungai Kamuyang Lima Puluh Kota.

Simawang dan Rao Rao di kabupaten Tanah Datar adalah nagari yang sudah tua dan memiliki kesamaan yaitu terletak pada daerah vulkanik. Di Simawang terdapat situs megalitik yang merupakan warisan zaman prasejarah, dengan kata lain bahwa umur nagari Simawang berada pada umur zaman prasejarah. Karena situs megalit tersebut berasal dari abad ke-18, artinya perkampungan di Simawang sudah dimulai pada abad ke 18 atau setara dengan umur polder Meiji, atau mungkin lebih tua yaitu berumur polder Fukuda tahun 1560. Berikut gambaran penampang tanah sawah di Simawang yang berada pada elevasi 395 m pada perbukitan volkan dengan bahan induk Tuff vulkan (Tabel 2).

Profil menunjukkan warna hidromorfik sampai ke horizon A. perkembangan profil tanah di Rao Rao sedikit berbeda dapat dilihat di bawah ini

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1. No Profil         | : 8 (Delapan) Profil Sawah               |
| 2. Deskriptor        | : Pertikal P. H. dan M. Amsal            |
| 3. Tanggal & Waktu   | : 30 Januari 2017 dan 10.33              |
| 4. Nama Daerah       | : Pandiang Andiko, Nagari Rao- Rao       |
| 5. Titik Koordinat   | : S 00° 22' 51,8" LS E 100° 33' 10,1" BT |
| 6. Elevasi           | : 840 Mdpl                               |
| 7. Fisiografi        | : Lereng BawahVolkan                     |
| 8. Lereng            | : Hampir Datar                           |
| 9. Bahan Induk       | : Qpt                                    |
| 10. Drainase         | : Baik                                   |
| 11. Penggunaan Lahan | : Sawah                                  |

Profil dari Rao-Rao hanya dicirikan oleh struktur massif, sedangkan profil tanah daerah Simawang menunjukkan ciri *hydromorfic* (Tabel 3).

Tabel 2. Penampang tanah di kawasan Nagari Simawang, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat.

| Horizon/<br>lapisan | Kedalaman<br>Horizon (cm) | Keterangan   |
|---------------------|---------------------------|--|
| A1pg                | 0-10                      | N 4/0 ( gray)lempung, massivw, lekat sangat plastis, pori makro, dan mikro banyak, karatan ada, bata horizon baur  |
| A2pg                | 10-19                     | N 4/0 ( gray) lempung berliat, massif, sangat lekat, sangat plastis, pori makro dan mikro banyak , akar halus banyak, karatan ada batas horizon jelas.       |
| Bt1g                | 19-40                     | 2.5 Y 4/6 ( olie brown) liat, gumpal bersudut, kuat, kasar, sangat lekat, sangat plastis, pori banayk, akar halus banyak, ada karatan dan batas Horizon baur |
| Bt2g                | 40-57                     | 2.5 Y 5/4 ( yellowish brown)Liat, gumpal bersudut, seang, kasar, sangat lekat, sangat plastisada karatatan   |
| Bt3g                | > 57                      | 7.5 Y 5/1 ( gray), liat berpasir, gumpal bersudut, sangat lekat, sangat plastis  |

Penelitian kehilangan sedimen dan hara pada tanah sawah menunjukkan bahwa terjadi berkurangnya persentase bahan organik pada tanah sawah di lereng gunung Marapi pada DAS Ulu Selo. Fakta ini menunjukkan telah terjadi erosi pada lahan sawah selama fase pengolahan sawah. Untuk itu kemudian dilakukan pengamatan pada sawah berteras di kelurahan Limau Manis (Sabrina, 2024). Penelitian ini terdiri dari 4 teras sawah dan dilakukan pengukuran kehilangan partikel dari sawah selama masa pengolahan tanah, penyiangan, dan pemupukan. Total zat terlarut di air selama satu musim tanam disajikan pada Tabel 4.



Tabel 3. Profil tanah di kawasan Rao-Rao

| Horizon/<br>lapisan | Kedalaman<br>(cm) | Uraian Penampang   | Gambar |
|---------------------|-------------------|--|--------|
| Ap <sub>1</sub>     | 0 -15 Cm          | 10 YR 3/2 (brownis black); lempung berdebu; masif banyak,kasar, sedang; pori mikro banyak; perakaran kasar; jelas, rata.     |        |
| Ap <sub>2</sub>     | 15 - 23 Cm        | 10 YR 4/3 (brown); lempung berdebu; gumpal agak membulat, halus , sedang; pori makro banyak; perakaran halus; baur, rata     |        |
| BW <sub>1</sub>     | 23 - 34 Cm        | 10 YR 4/4 (brown); lempung berliat; gumpal agak membulat, sedang, lemah; pori mikro banyak; perakaran tidak ada; baur, rata  |        |
| BW <sub>2</sub>     | 34 - 90 Cm        | 10 YR 4/4 (brown); lempung berdebu; gumpal agak membulat, sedang, lemah; pori mikro banyak; perakaran tidak ada; baur, rata. |        |

Tabel 4. Luas teras, jumlah sedimen, dan ketebalan tanah di Limau Manis

| Luas m <sup>2</sup> | Sedimen<br>( kg/MT) | ha/MT<br>(kg/ha) | T/ha/th<br>(t) | Ketebalan<br>(mm) |
|---------------------|---------------------|------------------|----------------|-------------------|
| T1 679              | 6288                | 92506.77         | 185.213        | 18.5              |
| T2 725              | 5275                | 72758.62         | 145.516        | 14.5              |
| T3 519              | 3768                | 76601.15         | 153.21         | 15.3              |
| T4 406              | 2285                | 56280.78         | 1386.21        | 138.6             |

Teras 1 dengan luas 0.0679ha, teras 2 0.0725ha, teras 3 0.0519 ha, dan teras 4 0.0406 ha dengan jumlah sedimen 185 t/ha/thn dengan catatan 1 tahun ada dua musim tanam, T2 jumlah sedimen 145 t/ha/thn, T3 jumlah sedimen 153t/ha/thn, dan pada T4 dengan jumlah sedimen 1386/ha/thn. Dengan menggunakan nilai BV = 1, maka sawah kehilangan 18.5 mm, 14.5mm, 15.3 mm, dan 138.6 mm lapisan padatan selama 1 tahun.

Air yang masuk ke teras 1 berasal dari air irigasi yang berasal dari Sungai di DAS Kuranji yang memiliki kualitas kimia air sbb; Calsium 3.45 mg/kg, Magnesium 0.73 mg/kg, K = 0.74 mg/kg, Na = 1.88 mg/kg, SiO<sub>2</sub> = 18.69 mg/kg (Rasyidin, 1994). Kualitas air irigasi bukan hanya ditentukan oleh kandungan unsur kimia tapi juga ditentukan oleh besaran sedimen yang dikandungnya.

DAS Sumani berada di daerah zona iklim kering D2 dan E2 dengan komposisi daerah berbukit sampai bergunung dengan persentase runoff adalah 32-58 %, dengan besaran sedimentasi adalah 2-5 t/thn/ha. Bila digunakan pola tanam 5x dalam dua tahun, maka daerah sekitar DAS Sumani akan mendapat tambahan bahan sebesar 1.6 – 4 t/thn. Berikut ini ditampilkan data muatan sedimen pada beberapa daerah di DAS Sumani (Tabel 5).

Bila luas DAS dikalikan dengan jumlah sedimen per ha, maka didapatkan jumlah sedimen untuk satu kawasan = luas x 2-5t/ha = 59300x 2-5 t/ha/thn = 118.600 t/thn - 296300 t/thn atau 324t/hr -812t/hr dengan panjang sungai 50km. Bila luas sawah adalah 16796 ha artinya bila jumlah sedimen dibagi dengan luas sawah maka akan ada tambahan tinggi permukaan sawah 0.01929-0.04834 t/ha = 19.29-48.34 kg/ha, 0.0019kg/m<sup>2</sup>= 1.9gr/m<sup>2</sup>=1.9mm/m<sup>2</sup>. Artinya ada penambahan permukaan sawah 1.9 mm - 4.8mm (Rasyidin, 2024).

Tabel 5. Kondisi DAS pada beberapa wilayah di Kabupaten Solok, Sumatera Barat

| No | DAS        | Luas lahan ha | Dischar $m^3sec^{-1}$ | Koloid $kg.m^3.sec^{-1}$ | Erosi $kg.ha^1.yr^{-1}$ | Run off % |
|----|------------|---------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-----------|
| 1  | Sumani     | 17950         | 6.96                  | 1.98                     | 3450                    | 58        |
| 2  | Lembang    | 18700         | 4.98                  | 1.55                     | 2580                    | 33        |
| 3  | Gawan      | 8120          | 1.81                  | 0.5                      | 1900                    | 37        |
| 4  | Aripan     | 7260          | 1.55                  | 0.42                     | 1800                    | 32        |
| 5  | Imang      | 6520          | 2.6                   | 1.01                     | 4800                    | 66        |
| 6  | Sumani Ilc | 59300         | 21.66                 | 5.72                     | 3000                    | 48        |

Sumani Ilc total area of Sumani Watershed at the end of Lembang river. Sumber: Saidi A (1993)

Bila dibandingkan dengan laju kehilangan lapisan pada Table 2, terlihat bahwa daerah Limau Manis mengalami kehilangan lapisan sawah sebesar 14.4 mm- 121 mm/tahun. Hal ini kemungkinan besar akan berakibat pada turunnya produktivitas lahan sawah karena berkurangnya tebal lapisan olah.

### III. Tata Kelola Lahan Sawah

Usaha pencegahan kehilangan tanah dan mengembalikan fungsi terasering memerlukan perubahan dalam hal tatakelola lahan sawah berteras. Sistem terasering adalah sistem konservasi tanah dan air yang paling bagus. Karena faktor penyebab erosi utama adalah sudut lereng dan panjang lereng. Dalam pembuatan teras, kedua faktor ini dipotong, sudut lereng dijadikan mendekati 1 % dan panjang lereng di potong sehingga ukuran petak dapat mengikuti petunjuk berikut (Tabel 6) (Rasyidin 2024).

Berdasarkan kepada faktor terjadinya erosi yaitu  $A = R.K.S.L.C.P$ , meliputi faktor erosivitas hujan, faktor erodibilitas tanah, faktor sudut lereng, faktor panjang lereng, faktor tanaman dan praktek pengelolaan. Faktor utama dalam besarnya erosi adalah faktor topografi yaitu sudut lereng dan panjang lereng. Karena sawah dibentuk dengan konsep terasering maka faktor ini sudah dieliminir.

Tabel 6. Standar pembuatan petak sawah berdasarkan kondisi lahan

| Tipe | Kemiringan tanah awal (%) | Kemiringan Sawah (%) | Lebar petak sawah |         | Beda elevasi antar petak (m) |
|------|---------------------------|----------------------|-------------------|---------|------------------------------|
|      |                           |                      | Min (m)           | Mak (m) |                              |
| 1    | 0 - <1                    | 0.1                  | 30                | 50      | 0.25                         |
| 2    | 1 - <3                    | 0.2                  | 20                | 30      | 0.6                          |
| 3    | 3 - <5                    | 0.4                  | 12                | 20      | 0.6                          |
| 4    | 5 - <8                    | 0.5                  | 7                 | 12      | 0.6                          |
| 5    | 8 - 15                    | 0.5                  | 5                 | 7       | 0.55                         |

Faktor utama terjadinya erosi pada lahan sawah adalah faktor manusia, yaitu erosi yang dipercepat pada masa pengolahan tanah. Erosi akan terjadi pada masa pengolahan tanah jika pintu-pintu pembuang air sawah dibuka dan air dibiarkan keluar. Akibatnya adalah lumpur dan humus dari sawah hanyut ke hilir. Untuk mencegah terjadinya erosi dan pendangkalan sawah maka perlu dilakukan tindakan sebagai berikut:

1. Pembajakan pertama dilakukan pada waktu tanah berada pada kapasitas lapang.
2. Tanah direndam beberapa hari untuk membusukkan gulma
3. Sebelum pembajakan, air yang masuk ke sawah harus diatur tingginya tidak melebihi tinggi mata bajak atau < 10 cm
4. Sebelum pembajakan, pintu air harus ditutup baik pintu air masuk atau pintu air keluar.
5. Bila terjadi kekurangan air ketika membajak, maka pintu air masuk boleh dibuka tapi tidak boleh dibuka maksimum.

Bila pembuangan air dilakukan selama 1 jam dan setiap liter air membawa sedimen sebanyak 200 gram, maka erosi tanah yang terjadi adalah 0.72 t/ha atau setebal 0.09 mm bila BV 1.3 kg/cm<sup>3</sup>. Bila pengolahan tanah dilakukan sebanyak 5 kali dan pembuangan air dilakukan sama dengan pembuangan pada waktu pertama, maka tanah akan hilang sebanyak 3.5 t/ha atau kehilangan lapisan tanah setebal 0.45 mm. Bila penanaman dilakukan sebanyak 3 kali dalam setahun maka tanah yang hilang 10.5 t dan tebalnya 1.35 mm. Dengan kata lain erosi yang terjadi di sawah selama 1 tahun adalah 10.5 t. Dengan demikian, maka lama kelamaan akan terjadi pendangkalan pada sawah.

#### IV. Penutup

Usaha yang mesti dilakukan agar tanah sawah lapisan atas meningkat kesuburan dan kandungan bahan organiknya maka harus dilakukan pengelolaan air irigasi yang baik yaitu dengan mencegah erosi yang dipercepat. Cara yang dapat ditempuh adalah dengan tidak membuka pintu pembuangan air pada waktu pengolahan tanah, baik pada saat memulai penyiapan tanam, penyiangan dan pemupukan. Pengolahan tanah harus dimulai dari teras paling bawah pada sawah berteras (*cascade*). Penambahan air pada waktu membajak dan menyangi boleh dilakukan, tapi pembuangan air harus dihindari.

#### Referensi

- Anastasia, V., Vasikchenko, Alexey, S. Vasilichenko. (2024). Plagic Anthrosol in modern research; genesias, properties, and carbon sequestration potential, *Catena* 234 Januari 2024
- Ismal, G., Rasyidin, A., Asdurman, A., Rahmat, S. (1996). Land rehabilitation and of upland ecosystem, a case study of Singkarak drainage basin West Sumatra Development West Sumatra Indonesia. In Makoto Anase, Tinneke Mandang, Rodel Lasco, Upland and Highland Ecosystem. Tokyo University and Agriculture Press.
- Kanno. (1978). Genesis of rice soils with specil reference to profil development.
- Najara, C., Olivera, Alexander, R., Poschoal, Ricardo, J., Aulo, Isabela, C., Marcio, C.B., Sltair, B.M., Lais, G.F., Ariane, M., S, Fransisca, A.S., Odair, P.F. (2018). Morphological analysis of soil particle at multiple length scale revealas nutrient stocks of amazonian anthrosols. *Geoderma* vol 311 1 Februari 2018 page 58-66
- Rasyidin, A. (2024). Hydrology balance in Sutainable Land Development. International Conference on Green Development in Tropical Region 1306 (2024) 012019
- Rasyidin, A. (1994). The method for measuring rates of weathering and soil formation in Watershed. *Tottori University*, Dissertation,
- Sabrina, N.J. (2024). Pola perpindahan unsur hara dan bahan organik pada sawah berteras di Kelurahan Limau Manis Kodya Padang, Skripsi Fakultas Pertanian Unand

Rasyidin A. (2009). Evaluasi lahan persawahan di beberapa daerah aliran sungai DAS Ulu Selo, DAS Lembang dan DAS Sumpur, *Jurnal Solum*. 43-53

## Penurunan Daya Dukung Lingkungan Sumatera Barat Akibat Pengabaian Terhadap Keseimbangan Alam



**Bujang Rusman** menyoroti pengelolaan kawasan konservasi Sumatera Barat yang demi berbagai kepentingan, diubah fungsi menjadi kawasan ekonomi baik pertanian, perkebunan, tambang, pariwisata dan lain-lain. Alih fungsi tersebut berdampak serius terhadap penurunan kemampuan atau degradasi daya dukung dan fungsi lingkungan hidup yang ditandai dengan semakin banyaknya bencana alam yang terjadi. Kenapa pengelolaan sumber daya alam yang merupakan pinjaman dari anak cucu kita, secara seimbang dan menerapkan prinsip-prinsip *sustainable* diperlukan untuk menjamin keberlanjutan pembangunan, ikut dibahas dalam tulisan ini.





# **Penurunan Daya Dukung Lingkungan Sumatera Barat Akibat Pengabaian terhadap Keseimbangan Alam**

**Bujang Rusman**

*Dewan Pakar PP Masyarakat Konservasi Tanah dan Air (MKTI) dan Dewan Pakar Forum DAS Sumatera Barat*

## **I. Pendahuluan**

Provinsi Sumatera Barat memiliki sumber daya wilayah atau sumber daya alam (SDA) yang beragam, tersebar mulai dari daerah sepanjang pantai barat Lautan Hindia sampai ke arah timur daerah pegunungan Bukit Barisan, dimana sumber daya wilayah tersebut dalam pembangunan mempunyai peran ganda terkait dengan pengembangan wilayah, yaitu sebagai modal dasar dari pertumbuhan ekonomi (*resource based economy*) dan sekaligus sebagai penopang sistem kehidupan (*life support system*).

Sumber daya wilayah yang dimiliki oleh Sumatera Barat ini senantiasa harus dikelola secara seimbang untuk menjamin keberlanjutan pembangunan untuk generasi saat ini dan generasi yang akan datang atau untuk anak cucu kita dengan cara penerapan prinsip-prinsip pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*) yaitu berupa penerapan keseimbangan dari tiga pilar dari pembangunan berkelanjutan yaitu pilar pembangunan sosial, ekonomi dan lingkungan atau ekologi (Gambar 1) di seluruh sektor dan wilayah provinsi Sumatera Barat yang meliputi seluruh kabupaten dan kotanya, dan ini merupakan prasyarat utama dalam pembangunan wilayah. Karena keseimbangan pembangunan dan keberlanjutannya merupakan bagian sangat penting yang harus diperhatikan dalam menghadapi tantangan global saat ini dan masa depan guna memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kebutuhan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka sendiri atau generasi emas yang kita cita-citakan.



Gambar 1. Tiga pilar pembangunan berkelanjutan  
(Sumber: Salim, 1991)

Kenyataannya saat ini bahwa sumber daya alam yang ada di Indonesia maupun di Sumatra Barat dikelola secara eksploitatif dan ekspansif sampai merubah fungsi dari kawasan konservasi berupa kawasan cagar alam, kawasan hutan lindung, taman nasional, dan kawasan buffer zone, dimana kawasan tersebut telah banyak diubah fungsinya menjadi kawasan ekonomi atau APL berupa kawasan pertanian, perkebunan, tambang, pariwisata dan pemukiman, industri dan lain-lainnya, yang pada akhirnya berdampak serius terhadap penurunan kemampuan atau degradasi daya dukung dan fungsi lingkungan hidup, yang pada akhirnya sangat merugikan sistem wilayah itu sendiri, pada hal sumber daya alam yang dimiliki oleh Sumatra Barat adalah merupakan pinjaman dari anak cucu kita yang harus dipertanggungjawabkan kepada mereka.

Djojohadikusumo (1981) menyebutkan bahwa kualitas lingkungan yang menurun tersebut disebutkan sebagai “krisis lingkungan” yaitu gejala akibat kesalahan atau kekurangan dalam pola dan cara pengelolaan sumber kebutuhan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Gejala –gejala tersebut dianggap sebagai tekanan krisis yang membahayakan kelangsungan hidup manusia, seperti ancaman terhadap kejernihan udara atau polusi udara dan kelangkaan dan pencemaran sumber air baik yang berada dalam tanah, sungai, danau dan daerah perairan laut, terhadap bahan-bahan makanan, terhadap kelangsungan produktivitas, kekayaan alam flora dan fauna atau biodiversity, dan sebagainya. Apabila kekuatan ekologi ini telah

sedemikian lemah, maka kesejahteraan yang dicapai manusia menjadi tidak bermakna. Berdasarkan pemikiran tersebut bahwa proses pembangunan di Sumatra Barat mestinya harus berlangsung secara berkelanjutan, terus-menerus dan kontinyu, yang ditopang oleh sumber daya alam (SDA), kualitas lingkungan dan populasi manusia yang berkembang secara berlanjut pula. Sumber daya alam (terutama tanah, air dan udara) memiliki ambang batas atau capability, dimana penggunaan yang tidak sesuai dengan capabilitynya akan menciutkan kuantitas dan kualitasnya atau menimbulkan proses degradasi sumber daya alam itu sendiri (Salim, 1991). Hal ini akan menimbulkan siklus bencana alam hidrometeorologi sepanjang tahun di Sumatra Barat.

Apalagi di masa datang dengan semakin meningkatnya populasi penduduk di dunia termasuk di Indonesia, dan Sumatra Barat sendiri, kebutuhan sandang, pangan dan energi semakin meningkat pula, misalnya saat ini untuk kebutuhan pokok seperti beras untuk Indonesia telah diimpor dalam beberapa dekade ini sudah diimpor secara besar-besaran oleh Pemerintah. Dengan demikian tugas kita ke depan akan semakin berat, karena kita bukan hanya harus menyediakan pangan, air dan lingkungan yang aman dan nyaman tetapi juga menyediakan bio-energi untuk mengantisipasi makin menipisnya ketersediaan energi fosil. Merujuk kepada Firman Allah SWT dalam surat Al-Baqarah ayat 29 yang berbunyi bahwa Dia (Allah) yang menciptakan segala apa yang ada di bumi untuk kalian, kemudian Dia menuju langit, lalu menyempurnakannya menjadi tujuh lapis langit. Dia Maha Mengetahui atas segala sesuatu. Firman Allah SWT ini telah menjadi bukti nyata akan kebesaran Allah SWT, Sang Pencipta yang Maha Kuasa. Bumi tempat tinggal kita (manusia dan makhluk hidup lainnya), dipersiapkan secara sempurna untuk menampung berbagai kebutuhan kehidupan bagi makhluk hidup di muka bumi ini. Peringatan berikutnya bahwa Allah telah pula berfirman dalam surat Ar-Rahman ayat 7 sampai 10 yang berbunyi: ayat 7: Dan langit telah ditinggikanNya dan Dia ciptakan keseimbangan, ayat 8: agar kamu jangan merusak keseimbangan itu, ayat 9: dan tegakkan keseimbangan itu dengan adil dan jangan kamu mengurangi keseimbangan itu, dan ayat 10 berbunyi: dan bumi telah dibentangkanNya untuk makhluk (Nya). Kalau kita perhatikan bahwa Allah SWT menyebutkan sebanyak empat kali kata-kata keseimbangan

dalam ayat ini. Jadi dapat kita pahami Allah telah meletakkan suatu neraca keseimbangan untuk hambaNya, sehingga manusia jangan melampaui batas tentang neraca keseimbangan itu dalam pemanfaatannya dan tegakkanlah timbangan keseimbangan itu dengan adil dan Allah telah meletakkan bumi dan menghamparkannya untuk tempat tinggal manusia dan makhluk hidup lainnya. Ayat di atas Allah SWT telah memberikan peringatan keras kepada manusia untuk selalu menjaga keseimbangan tersebut dalam mengelola planet bumi ini dan dalam pemanfaatannya tidak boleh melampaui batas kapasitas dari neraca sumber daya alam atau melampaui daya dukung lingkungan bumi. Neraca keseimbangan inilah telah dilanggar manusia dalam memenuhi kebutuhan ekonomi atau pembangunannya yang akhirnya mendatangkan secara siklus bencana alam atau bencana alam hidrometeorologi yang terus menerus sampai saat ini di provinsi Sumatra Barat, yang telah banyak menimbulkan kehilangan nyawa, kerugian material dan kerusakan sarana dan prasarana yang telah dibangun sebelumnya.

## **II. Batasan Konsep Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan serta Keseimbangan Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009.**

1. Daya Dukung Lingkungan Hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia, makhluk hidup lain, dan keseimbangan antar keduanya. Daya Tampung Lingkungan Hidup adalah kemampuan lingkungan hidup untuk menyerap zat, energi dan/atau komponen lain yang masuk atau dimasukkan ke dalamnya.
2. Sumber daya alam adalah unsur lingkungan hidup yang terdiri atas sumber daya hayati dan non hayati yang secara keseluruhan membentuk kesatuan ekosistem.
3. Ekosistem adalah tatanan unsur lingkungan hidup yang merupakan kesatuan yang utuh-menyeluruh dan saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitas lingkungan hidup.
4. Keseimbangan lingkungan adalah kemampuan lingkungan untuk mengatasi gangguan atau tekanan yang timbul baik dari

alam maupun dari aktivitas manusia serta kemampuan lingkungan untuk menjaga kestabilan kehidupannya di dalamnya.

5. Keseimbangan alam juga dikenal sebagai keseimbangan ekologi, adalah teori yang menyatakan bahwa sistem ekologi biasanya berada dalam keseimbangan stabil atau homeostatis, atau perubahan kecil (ukuran populasi tertentu, misalnya akan diperbaiki).

### **III. Penurunan Daya Dukung Lingkungan Sumatra Barat**

Keseimbangan alam merupakan suatu keadaan dimana terjadinya interaksi antara organisme atau antara organisme dengan alam sekitarnya secara seimbang dan stabil sehingga terbentuk harmonisasi antara makhluk hidup dengan alam. Alam butuh keseimbangan agar kehidupan di muka bumi ini dapat terus berjalan dengan baik, aman, nyaman, produktif dan berkesinambungan atau berkelanjutan antar generasi manusia dan makhluk hidup lainnya. Tanpa keseimbangan maka bencana alam menelan seluruh ekosistem yang ada di atas bumi termasuk manusia sendiri akibat dari dampak kegiatan atau aktivitas manusia terhadap penurunan daya dukung lingkungan, karena manusia sering menantang keseimbangan alam. Kejadian yang berulang atau siklus bencana alam terus terjadi dari tahun ke tahun yang terjadi di Indonesia atau di Sumatra Barat.

Hal ini telah diperingatkan oleh Allah SWT dalam FirmanNya melalui surat Ar Rahman ayat 7 sampai ayat 10 di atas. Kejadian bencana alam yang memilukan yang dialami oleh Sumatra Barat beberapa dekade terakhir ini antara lain adalah banjir, longsor, kekeringan, banjir rob dan abrasi pantai yang terjadi di beberapa kabupaten di Sumatra Barat seperti di kabupaten Pesisir Selatan, kota Padang, kabupaten Pasaman Barat, banjir lahar dingin di kabupaten Agam, kabupaten Tanah Datar, kota Padang Panjang serta hancurnya kawasan cagar alam lembah Anai serta banjir serta longsor di Ngarai Sianok Bukittinggi termasuk tsunami dan banjir rob dan abrasi di sepanjang pantai barat provinsi Sumatra Barat.

Sumatra Barat adalah negeri yang elok bagaikan sepotong surga di muka bumi ini dan sekarang kondisinya mengalami banyak ancaman

dan rawan dengan bencana alam hidrometeorologi karena terjadinya penurunan dukung lingkungan yang disebabkan oleh faktor alam, faktor manusia dan pembangunan yang menantang keseimbangan alam sehingga banyak menimbulkan bencana alam dalam beberapa dekade terakhir ini.

Berdasarkan faktor alamnya bahwa Indonesia termasuk Sumatra Barat, secara geografis terletak di kawasan yang dikenal dengan “Ring of Fire“ dimana Indonesia memiliki sekitar 127 gunung api dan 10 gunung api tersebut berada di Sumatra Barat, sebanyak 69 buah gunung api yang masih aktif dan bisa mengalami erupsi dan meletus kapan saja. Gunung api tersebut membentuk busur kepulauan yang membentang dari ujung barat sampai timur yaitu mulai dari pulau Sumatra, Jawa , Bali, Nusa Tenggara, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi bagian utara dan kepulauan Sangir Talaud dan Indonesia juga berada di atas jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik.

Secara geologi, Sumatra Barat juga berada di atas jalur patahan Semangko yang merupakan bagian selatan dari sistem sesar besar Sumatra yang bergeser secara dekstral yang merupakan akibat subduksi atau konvergensi menyerong antara lempeng Indo- Australia dengan lempeng Eurassia. Patahan Semangko tersebut di wilayah provinsi Sumatra Barat membentang dari Selatan yaitu mulai dari kabupaten Solok Selatan sampai utara di kabupaten Pasaman dan terus kearah provinsi Aceh, yang dikelilingi oleh 10 buah gunung api, sehingga mengakibatkan Sumatra Barat termasuk menjadi wilayah rawan dilanda gempa, bencana alam seperti letusan gunung api sampai tsunami. Faktor alam lainnya adalah topografinya, sekitar 80 % topografinya adalah bergelombang, berbukit dan bergunung yang curam dengan jenis tanahnya rentan terhadap erosi dan mempunyai water holding capacity rendah sehingga mudah jenuh kalau datang hujan lebat dengan intensitas tinggi dan dapat menimbulkan longsor dan galodo. Sumatra Barat termasuk wilayah tropis basah dengan curah hujan tinggi, terutama daerah sepanjang pantai barat Sumatra Barat memiliki curah sekitar 4000 mm per tahun, karena wilayah ini bagian baratnya berhadapan langsung dengan Lautan Hindia dan bagian timur berhadapan dengan pegunungan Bukit Barisan, sehingga secara siklus

hidrologi akan menghasilkan curah hujan yang tinggi sehingga menimbulkan tidak adanya perbedaan signifikan antara musim hujan dan musim kemarau. Sebaran wilayah sepanjang pantai barat ini mulai dari kabupaten Pasaman Barat sampai ke kabupaten Pesisir Selatan yang topografinya relatif datar dan sempit termasuk kota Padang, berada pada posisi pinggir Lautan Hindia yang merupakan kawasan jalur merah terhadap tsunami, banjir, banjir rob dan abrasi pantai dan termasuk kepulauan Mentawai.

Berdasarkan pada faktor manusia dalam aktivitas pembangunan yang sering menantang keseimbangan alamnya dan telah banyak menimbulkan penurunan daya dukung lingkungan serta bencana alam hidrometeorologi, dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Deforestasi merupakan penggundulan hutan, dan merupakan kegiatan menebang hutan sehingga lahan dapat dialih gunakan untuk penggunaan non hutan seperti untuk kawasan pertanian, perkebunan kelapa sawit, peternakan, pemukiman/transmigrasi, sehingga luasan kawasan hutan di Indonesia termasuk Sumatra Barat dari tahun ke tahun menyusut, Deforestasi telah menimbulkan dampak serius baik pada tingkat nasional maupun internasional seperti bencana alam, kepunahan flora dan fauna, memicu pemanasan global dan perubahan iklim, terganggunya siklus air, hilangnya spesies hewan dan tumbuhan (flora dan fauna).
2. Hutan merupakan paru-paru dunia yang berfungsi menghasilkan O<sub>2</sub> di dunia. Hutan memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan iklim global. Melalui proses fotosintesis hutan menyerap karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dimana CO<sub>2</sub> tersebut merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang mempengaruhi kestabilan suhu global (menimbulkan pemanasan global). Lingkungan hutan juga berperan dalam mengatur suhu melalui penyerapan energi matahari dan evapotranspirasi (ET), mengatur siklus hidrologi melalui proses ET, pelestarian keanekaragaman hayati yang dimiliki hutan tropis Indonesia maupun Sumatra Barat berperan sangat penting dalam menyediakan bahan baku untuk obat-obatan, sumber dari plasma nutfah, mencegah erosi dan banjir serta mengatur

- keseimbangan tata air untuk wilayah hilir suatu DAS atau kawasan sepanjang pantai.
3. Menurut laporan IFWI (2021) bahwa luas hutan alami di Indonesia terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2000 Indonesia masih memiliki 106 juta hektar hutan alam. Jumlah tersebut berkurang menjadi 93 juta hektar pada tahun 2009, dan menjadi 88 juta hektar pada tahun 2013 dan 82 juta hektar pada tahun 2017. Hutan hutan alam yang hilang dari tahun ke tahun tersebut adalah sebagai akibat deforestasi. Jika merujuk data yang dihasilkan oleh KLHK, pada tahun 2020 deforestasi tersebut menurun sampai ke angka 115 ribu hektar. Ini adalah angka deforestasi terendah dari semua data deforestasi yang pernah disampaikan oleh KLHK. Dilain sisi, analisa yang dilakukan oleh FWI dengan memadukan data tutupan hutan tahun 2017 dengan data forest lost Hansen (University of Maryland) tahun 2018, 2019 dan 2020 memperlihatkan ada sekitar 680 ribu hektar hutan yang hilang di Indonesia atau dengan laju kehilangan rata-rata sebesar 227 ribu hektar per tahun. Menurut FWI bahwa data deforestasi di Indonesia masih terus menjadi polemik di Indonesia antara Pemerintah dengan NGO.
  4. Sedangkan di provinsi Sumatra Barat, berdasarkan data dari analisis Citra Sentinel II yang dilakukan oleh Tim Geographic Information Sistem, Komunitas Konservasi Indonesia (KKI) WARSI, sepanjang tahun 2022 Sumatra Barat kehilangan hutan seluas sekitar 27.447 hektar. Luas tutupan hutan yang berkurang ini sebesar 1,5% dari total luas tutupan hutan di Sumatra Barat 1.744.549 hektar pada tahun 2021
  5. Daerah aliran sungai (watershed) adalah unit landscape wilayah daratan berupa satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau laut secara alam. Indonesia memiliki 42.210 DAS dengan kategori DAS Kritis atau DAS yang dipulihkan daya dukung lingkungannya sebanyak 4.489 buah dan DAS yang dipertahan daya dukung lingkungannya sebanyak 37.721 buah. Beberapa DAS di Sumatra Barat yang tergolong kritis atau harus dipulihkan



daya dukung lingkungannya diantaranya adalah DAS Pasaman, DAS Masang, DAS Antokan, DAS Anai, DAS Arau, DAS Kuranji, DAS Air Dingin, DAS Tarusan, DAS Bayang, DAS Kambang, DAS Mahat, DAS Kuantan, DAS Inrok bagian hulu, DAS Batanghari bagian hulu, dimana fungsi DAS tersebut sebagai menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, saat ini telah banyak kritis, mengalami degradasi dan menurunnya daya dukung serta daya tampungnya telah terganggu dan salah satu indikasinya bahwa nilai koefisien rasio antara debit maksimum dengan nilai debit minimumnya telah melebihi nilai 15 sampai 20 dan bahkan lebih, tata airnya sudah tidak normal dan sering mengalami bencana alam hidrometeorologi di sepanjang tahunnya.

6. Daerah aliran sungai sebagai sistem hidrologis, maka secara hidrologi DAS itu berfungsi sebagai: (a) Fungsi resapan (recharge areas), (b) Fungsi penampung air (reservoir areas), dan (c) Fungsi keluaran air (discharge areas), dimana seharusnya dalam pengelolaan DAS di Sumatra Barat harus sesuai dan memperhatikan peran dan fungsi daerah aliran sungai. Apalagi secara fungsional, terutama DAS bagian hulu merupakan fungsi sebagai produksi air untuk mengatur tata air buat kawasan hilirnya. Sedangkan DAS sebagai prosesor mengalami perubahan atau penurunan fungsi komponennya yang terdiri dari vegetasi, tanah, air dan sungai dan ditambah dengan aspek manusia serta ipteknya. Berdasarkan kajian menunjukkan bahwa hutan alami sebagai land cover yang baik di DAS yang dapat menghasilkan nilai evapotranspirasi (ET) sebesar 45%, run-off atau c-larikan sebesar 5% dan kapasitas infiltrasi lahannya mencapai sebesar 50% dari curah hujan yang diterima oleh DAS sehingga outputnya berupa debit dan muatan sedimen tidak menimbulkan kerugian. Sebaliknya bila hutan dalam kawasan DAS berkurang atau kecil dari 30% atau hutan dan lahannya mengalami degradasi maka akan menimbulkan koefisien lariran atau run-off yang besar atau bisa mencapai 50% dari curah hujan yang diterimanya, apalagi di hulu DAS dengan keterenggan di atas 30-40% dibuka untuk kebun sawit (Gambar 2).



Gambar 2. Kerusakan DAS di bagian hulu (Silver Hutabarat)

7. Di dalam DAS tersebut banyak sekali aktivitas pembangunan dan kegiatan masyarakat yang kegiatannya telah menantang keseimbangan alam yang terkait kegiatan bidang pertanian, perkebunan, tambang, kehutanan, adanya infrastruktur, sumber daya air, transportasi, lingkungan hidup, kegiatan lintas wilayah administrasi serta peran masyarakat, energy, penataan ruang yang belum berbasiskan kepada Sumatra Barat sebagai wilayah bencana alam, dan KISS yang lemah antar stakeholdernya dan oleh BPDAS Agam Kuantan KLHK telah banyak membuat dokumen perencanaan pengelolaan DAS jangka panjang untuk DAS di Sumatra Barat, tapi dokumen perencanaan tersebut belum lagi menjadi *common idea* dan *common issue* oleh Bapedda Provinsi, kabupaten dan kota di Sumatra Barat, apalagi akan selalu terjadi siklus bencana alam pada DAS .
8. Bencana alam hidrometeorologi seperti banjir, longsor dan galodo, kekeringan, banjir rob, abrasi pantai. Salah satu kejadian bencana alam yang dahsyat berupa banjir lahar dingin yang terjadi di Sumatra Barat pada tanggal 11-12 Mei 2024 dan telah menghancurkan kawasan Cagar Alam Lembah Anai yang berada di kawasan hulu DAS Anai yang telah lama terjadi pelanggaran

pemanfaatan ruang. Kesannya sudah lama terjadi pembiaran dari instansi terkait perubahan fungsi dari pemanfaatan bantaran sungai dan jalan raya tanpa ada lagi kawasan buffer zonanya dan tidak boleh ada bangunan fisik dalam kawasan cagar alam dan hal ini telah terjadi pelanggaran UU No.5 tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistemnya.

9. Di Sumatra Barat sebagian besar kawasan hulu DASnya atau sungainya berhulu di sepanjang pergunungan Bukit Barisan. Bagian hulu DAS berdasarkan pada fungsi konservasinya adalah untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan atau hutan alami DAS harusnya memiliki luas tutupan hutan alaminya sebesar 30-40% dari luas DAS, karena berfungsi mengatur kualitas air tata air, kemampuan menyimpan air atau sebagai kawasan konservasi air dan kawasan resapan air yang terkait dengan curah hujan yang diterima oleh suatu DAS. Kondisi sekarang kawasan hulu DAS tersebut telah mengalami degradasi hitam dan lahan karena terjadinya alih fungsi lahan atau deforestasi menjadi kawasan tambang galian C, perkebunan sawit dan gambir, pertanian hortikultura, serta adanya kegiatan illegal logging dan illegal mining dimana-mana.
10. Dampak dari penurunan daya dukung lingkungan di Sumatra Barat, baik langsung maupun tidak akan mempengaruhi sektor pembangunan pertanian. Pertanian saat ini dan masa depan akan menghadapi tantangan atau ancaman yang lebih berat lagi dan kompleks. Akibat dari penurunan daya dukung lingkungan maka semakin meningkatnya degradasi lahan pertanian yang dan dapat menurunnya produktivitas lahan pertanian di Sumatra Barat dan diiringi dengan lemahnya penerapan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air, terutama pada kawasan berlereng sehingga terjadi penurunan produktivitas tanah dan erosi serta menurunnya tingkat kesuburan tanah. Akibat kritis daerah bagian hulu DAS dan terjadinya perubahan iklim global menimbulkan dampak yang serius terhadap menyusutnya ketersediaan air untuk irigasi sehingga IP 300 sulit untuk dicapai bahkan di beberapa kawasan wilayah di Sumatra banyak

mengalami kekeringan yang serius, terutama pada kawasan pertanian atau persawahan (Gambar 3).



Gambar 3. Menurunnya daya dukung lingkungan DAS (KLHK)

11. Indikasi penurunan daya dukung lingkungan kawasan jalur merah yang penyebarannya di sepanjang jalur pantai barat Sumatra Barat yang juga merupakan hilir dari semua DAS yang mengalir ke arah pantai barat dengan hulunya adalah di daerah pegunungan Bukit Barisan, yang mana DAS bagian hilir tersebut, salah satu fungsi pentingnya adalah sebagai daerah resapan air atau konservasi air, dan merupakan kawasan buffer zone untuk pengaman garis pantai dan abrasi laut. Saat ini dalam pemanfaatan lahan telah banyak melanggar fungsi kawasan pantai sebagai kawasan lindung setempat atau buffer zone (Kepres 32 tahun 1990), yaitu telah cukup lama dijadikan kebun sawit pada lahan gambut yang melebihi kedalaman gambut 3 meter, gambut juga diubah fungsinya menjadi kawasan pemukiman, kawasan mangrove berubah fungsi menjadi tambak udang dan salah fungsi kawasan hutan mangrove tersebut adalah melindungi terjadinya abrasi laut dan mengurangi dampak tsunami. Eksploitasi dan ekspansi dari kawasan sepanjang pantai tersebut dapat menimbulkan subsidensi tanah atau penurunan permukaan tanahnya sehingga dampaknya, kawasan ini sering mengalami banjir rob karena letaknya lebih rendah dari permukaan laut. Fakta ini sudah terjadi di kota Jakarta bagian utara dan Semarang yang diisukan bisa mengalami tenggelam pada beberapa waktu kedepan termasuk kota atau daerah yang

berada di sepanjang garis pantai di dunia. Kota besar di Indonesia telah lama melakukan pengambilan air tanah dalam yang berlebihan sehingga saat ini telah berkontribusi terhadap terjadi laju penurunan permukaan tanah atau subsidensi tanah hingga diperkirakan, misalnya kota Jakarta sudah proses subsidensi permukaan tanahnya mencapai 15 cm per tahunnya, dan bahkan diperkirakan ada sekitar 40% wilayahnya telah berada di bawah permukaan air laut sehingga mudah mengalami banjir rob bila terjadi pasang naik sepanjang tahunnya dan intrusi air laut telah mencapai ke wilayah daratan pantai sampai air laut masuk ke sumur penduduk, sehingga mempengaruhi dan penurunan sanitasi lingkungan pemukiman penduduk. Buruknya intrusi air laut yaitu dapat menyebabkan air tanah yang awalnya terasa tawar berubah menjadi asin. Dampak selanjutnya penurunan muka air bawah tanah, keseimbangan hidrostatik akan terganggu dan akan terjadi amblesan tanah karena pengambilan air yang berlebihan.

12. Dalam kaitannya dengan daya dukung lingkungan menurut fungsi kawasan yang dimiliki, seyogyanya provinsi Sumatra Barat harus memperhatikan fungsinya untuk menjaga kelestarian alamnya dan lingkungan hidupnya manakala mengalokasikan kawasan tersebut sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku dalam peruntukannya dan memperhatikan dengan serius guna meningkatkan keseimbangannya ekosistemnya dan fungsi perlindungannya suatu daerah agar tidak menimbulkan kerusakan serta bencana alam.

Berdasarkan pada klasifikasi peruntukan kawasan lindung di Sumatra Barat dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (a) Kawasan yang memberikan perlindungan kawasan dibawahnya yaitu kawasan hutan yang berfungsi lindung, kawasan bergambut, kawasan resapan air; (b) Kawasan perlindungan setempat yaitu sempadan pantai, sempadan sungai, kawasan sekitar waduk dan situ, kawasan sekitar mata air, ruang terbuka hijau dan termasuk di dalamnya hutan kota; (c) Kawasan suaka alam, pelestarian alam dan cagar budaya yaitu kawasan suaka laut dan perairan lainnya, kawasan suaka margasatwa laut,

kawasan cagar alam/cagar bahari; (d) Kawasan pantai berhutan bakau yaitu taman nasional/taman laut nasional, taman hutan raya, taman wisata alam/taman wisata laut, kawasan cagar budaya dan ilmu pengetahuan, (e) Kawasan rawan bencana alam yaitu kawasan rawan gerakan tanah/longsor; (f) Kawasan rawan banjir, yaitu kawasan rawan gelombang pasang; (g) Kawasan lindung geologi, yaitu cagar alam geologi, kawasan rawan bencana geologi; (h) Kawasan pelindung air tanah; (i) Kawasan lindung lainnya yaitu Ramsar, taman buru, kawasan perlindungan plasma nutfah eks-situ, kawasan pengungsian satwa, daerah perlindungan laut local, terumbu karang, kawasan koridor bagi jenis satwa atau biota laut yang dilindungi. Penetapan kawasan ini sangat penting artinya bagi provinsi Sumatra Barat untuk memberikan limitasi kegiatan budidaya di dalam kawasan lindung dan untuk perencanaan tata ruang wilayah menurut Keppres 32 tahun 1990. Berhubung provinsi Sumatra merupakan kawasan rentan bencana alam, maka seyogyanya perencanaan tata ruang wilayahnya harus direview lagi atau dievaluasi dan selanjutnya tata ruang Sumatra Barat tersebut dibuat harus berbasiskan pada wilayah kebencanaan alamnya.

13. Gambaran di atas telah mengindikasikan bahwa di Sumatra Barat telah terjadi penurunan daya dukung lingkungannya akibat terjadinya pelanggaran keseimbangan alam, kegiatan pembangunan dan aktivitas masyarakat yang banyak mengabaikan perundang-undangan dan dalam pengelolaan hutan dan lahannya serta mengabaikan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air (KTA) dalam pemanfaatan tanah dan lahannya serta masih lemahnya pengawasan dari instansi terkait, sehingga siklus bencana hidrometeorologi datang silih berganti di Sumatra Barat.

Merujuk kepada rangkuman dari BNPB (2024) yang disampaikan oleh Ketua BNPB dalam acara Webinar Lecture and Learning Session Series 27 dari Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas tahun 2024 disampaikan bahwa total bencana yang terjadi pada tahun 2023 di

Indonesia mencapai 5.400 dengan rician nya sebagai berikut: gempa bumi 31 kali, erupsi gunung api 4 kali, karhutla sebanyak 2.051, cuaca ekstrim 1.261 lokasi, banjir 1.255 lokasi, tanah longsor 591 lokasi, , kekeringan 174 lokasi, gelombang pasang dan abrasi 33 lokasi. Jumlah kejadian bencana per tanggal 4 Juni 2024 tercatat sebanyak 863 kejadian. Kejadian bencana alam mendominasi adalah bencana hidrometeorologi sebesar 94,74%, bencana geologi 1,27% dengan dengan urutan bencana banjir, cuaca ektrim, tanah longsor dan gempa bumi (Gambar 4).



Gambar 4. Total jumlah bencana di Indonesia tahun 2023 (Sumber: BNPB, 2024)

Sedangkan jumlah kejadian di Sumatra Barat mencapai antara 50-150 kejadian. Kejadian bencana banjir lahar dingin di Sumatra Barat pada tanggal 11 Mei 2024 pukul 18.00 WIB sampai dengan 23.30 WIB yang informasi awalnya dengan curah hujan dengan intensitas sedang hingga tinggi. Kemudian pada pukul 23.30 WIB sampai dengan 02.00 WIB terjadi banjir bandang atau *galodo* di beberapa daerah kabupaten dan kota yang meliputi: Kota Padang Panjang, Kabupaten Agam, Kabupaten Tanah Datar, Kota Padang, Kabupaten Padang Pariaman dan kabupaten Lima Puluh Kota yang menimbulkan banyak kejadian, sebagai berikut:

1. Meninggal dunia sebanyak 63 orang
2. Hilang 10 orang

3. Mengungsi 4064 orang
4. Rumah rusak 1110 unit
5. Rumah terdampak 1.210 unit
6. Sarana pendidikan 15 unit
7. Sarana kesehatan 2 unit
8. Tempat ibadah 28 unit; dengan total nilai kerugian mencapai Rp 515.666.010.533.-

#### **IV. Penutup**

Bumi adalah pabrik alam yang diciptakan oleh Allah SWT untuk manusia dan makhluk hidup lainnya, dimana manusia harus dapat mengelolanya dengan baik untuk berbagai kepentingan pembangunan dan untuk kesejahteraan masyarakat. Merujuk kepada fokus perencanaan dan pembangunan ruang di Sumatra Barat harus dapat mewujudkan ruang yang: (1) Aman, yaitu masyarakat dapat menjalankan aktivitas kehidupannya dengan terlindungi dari berbagai ancaman, (2) Nyaman yaitu memberi kesempatan yang luas bagi masyarakat untuk mengartikulasikan nilai-nilai sosial budaya dan fungsinya sebagai manusia dalam suasana tenang dan damai, (3) Produktif yaitu proses produksi dan distribusi berjalan secara efisien sehingga mampu memberikan nilai tambah ekonomi untuk kesejahteraan masyarakat sekaligus meningkatkan daya saing, dan (4) Berkelanjutan, yaitu kualitas lingkungan fisik dapat dipertahankan bahkan dapat ditingkatkan, tidak hanya untuk kepentingan generasi saat ini, namun juga untuk generasi yang akan datang.

Menurut Lutfi Muta'al (2012) setiap sistem alami (wilayah) mempunyai kemampuan untuk mendukung populasi yang seimbang tanpa mengalami kehancuran. Dengan demikian untuk membuat perencanaan wilayah perencanaan harus melakukan penilaian kapasitas sistem alami dan batas-batas pemanfaatan (daya dukung wilayah).

Perencanaan pembangunan dan pengembangan wilayah provinsi Sumatra Barat ke depan harus memperhatikan kemampuan daya dukung wilayah agar tidak lagi menimbulkan penurunan kemampuan daya dukung lingkungan wilayah.

Sumber daya wilayah provinsi Sumatra Barat senantiasa harus dikelola secara seimbang untuk menjamin keberlanjutan pembangunan



dengan menerapkan prinsip-prinsip sustainable development dengan menyeimbangkan tiga pilar utama, yaitu sosial, ekonomi dan lingkungan dalam proses pembangunan yang mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam (SDA) dan sumber daya manusia (SDM) dengan menyerasikan SDA dengan SDM dalam pembangunan Sumatra Barat.

Diharapkan secara serius agar pemerintah daerah Sumatra Barat tidak lagi memperlakukan sumber daya wilayah atau SDA yang dimiliki secara eksploitatif dan ekspansif bahkan sampai merubah fungsi kawasan konservasinya sehingga merusak kekuatan ekologi yang dimiliki atau mendegradasi keseimbangan daya dukung lingkungannya.

Bentuk keseimbangan alam yang terganggu dan penurunan daya dukung lingkungannya, menyebabkan terjadinya pemanasan global, dimana suhu bumi mengalami kenaikan akibat meningkatkannya GRK di atmosfer yang dihasilkan secara alami dan aktivitas manusia , diperkirakan suhu bumi bisa naik 1,5 sampai 5,8 derajat Celsius sehingga es di kutub mencair dan air laut akan naik sehingga kota yang berada sepanjang garis pantai di Indonesia akan mengalami genangan terus menerus atau banjir rob seperti di kota Semarang Jawa Tengah, Jakarta Utara dan begitu juga kota dan wilayah sepanjang garis pantai barat Sumatra Barat akan mengalami juga terjadinya banjir rob. Hal ini telah terjadi di wilayah pantai kota Padang dan wilayah pantai di kabupaten Pasaman Barat.

## **Referensi**

- Al-Quran Surat Al-Baqaroh (29), Ar-Rahman (7-10).
- FWI. (2021). Polemik deforestasi di Indonesia.
- Djojohadikusumo, S. (1981). *Indonesia dalam perkembangan dunia: Kini dan masa datang*. LP3ES Jakarta. Cetakan kelima.
- Lecture and learning session series 27 (2024). Webinar nasional, kebencanaan, mitigasi, tanggap darurat, rehabilitasi, bencana gunung Marapi. Sekolah Pascasarjana Unand.
- Muta'ali. L. (2012). Daya dukung lingkungan untuk perencanaan pengembangan wilayah. Badan Penerbit Fakultas Geografi. UGM. Yogyakarta.

- Rusman, B. (2024). Urgensi peta ketahanan kebencanaan Sumatera Barat. Inspirationscorner.com.
- Rusman, B. (2024). Bencana alam hidrometeorologi sepanjang tahun ancaman Sumatera Bbarat. Inspirationscorner.com.
- Rusman.B. (2024). Ngarai Sianok terancam krisis ekosistem dan bencana alam. Langgam.id.
- Salim.E. (1991). Pembangunan berwawasan lingkungan. LP3ES. Jakarta.
- Undang-Undang No. 26 tahun (2007). Tentang penataan ruang.
- Utomo. H., Sudarsono, Bujang, R., Tengku, S., Jamalana, L., Wawan. (2015). *Ilmu Tanah: Dasar-dasar dan pengelolaannya*. Prenada media group. Jakarta.

## Penerapan Metode SRI (*Sistem of Rice Intensification*) untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah



SRI (*System of Rice Intensification*) adalah satu solusi yang ditawarkan berkaitan dengan rendahnya produktivitas padi sawah di Indonesia akibat budidaya konvensional yang kurang optimal. Metode SRI memberikan kondisi ideal bagi pertumbuhan padi melalui pengelolaan tanah, air, dan nutrisi. **Musliar Kasim** membahas lebih lanjut mengenai pengombinasian metode SRI dengan aplikasi pupuk organik, mulsa organik dan pupuk hayati terbukti dapat meningkatkan hasil hingga dua kali lipat dibandingkan metode konvensional. Meskipun menghadapi beberapa tantangan, SRI berpotensi menjadi solusi efektif dalam meningkatkan produktivitas padi di Indonesia.



# **Penerapan Metode SRI (*Sistem of Rice Intensification*) untuk Meningkatkan Produksi Padi Sawah**

**Musliar Kasim**

*Dosen Departemen Agronomi,  
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Kedaulatan pangan merupakan salah satu isu strategis yang selalu menjadi perbincangan di Indonesia hingga saat ini. Meskipun Indonesia mendapat julukan sebagai negara agraris, negara ini masih memiliki banyak masalah di sektor pertanian terutama masalah mencukupi kebutuhan pangan yaitu beras untuk konsumsi dalam negeri. Masyarakat Indonesia yang sebagian besar mengkonsumsi beras sebagai makanan pokok tentu menginginkan produksi beras di dalam negeri dapat mencukupi kebutuhan pangan sendiri.

Jumlah penduduk yang mengalami peningkatan setiap tahunnya menyebabkan permintaan akan beras terus meningkat. Menurut data Badan Pusat Statistik (2024) jumlah penduduk Indonesia di tahun 2024 mencapai 281,60 juta jiwa, meningkat dibandingkan dengan pertengahan tahun 2023 yang 278,70 juta jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk 1,11%. Sedangkan total produksi padi di Indonesia selama tahun 2023 yaitu 53,98 juta ton GKG (Gabah Kering Giling), menurun sebesar 767,98 ribu ton dibandingkan tahun 2022. Kondisi ini menyebabkan Indonesia harus mengimpor beras untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Data Badan Pusat Statistik (2024) menyatakan bahwa total impor beras Indonesia dari berbagai negara pada 2017-2023 mencapai 7,26 juta ton.

Produksi padi di Indonesia umumnya berasal dari padi sawah. Penurunan produksi padi disebabkan berbagai hal antara lain karena produktivitas padi masih rendah. Produktivitas padi sawah di Indonesia masih berkisar 4-6 ton/ha, masih tergolong rendah. Hal ini disebabkan karena metode budidaya yang digunakan masih belum berubah dari dahulu sampai sekarang (metode konvensional). Dengan metode konvensional tersebut padi tidak mendapatkan kondisi lingkungan yang

sesuai dengan keinginannya sehingga pertumbuhannya tidak optimal dan hasilnya dibawah potensi hasilnya.

Permasalahan tersebut sudah dicarikan solusinya dengan mencari varietas unggul yang produksinya tinggi dan menerapkan berbagai metode budidaya yang bisa meningkatkan produksi padi. Di Indonesia, teknik budidaya tanaman padi sawah sudah banyak diterapkan ke masyarakat, seperti teknik budidaya padi salibu, jajar legowo super, hazton, SRI (*Sistem of Rice Intensification*) dan lain-lain. Tapi karena belum dijadikan program nasional (masal) maka produksi padi masih belum mencukupi kebutuhan masyarakat.

Menurut saya salah satu metode budidaya yang bisa meningkatkan produksi padi sawah secara signifikan adalah metode budidaya SRI. SRI merupakan salah satu teknik budidaya tanaman padi dengan cara memberikan kondisi ideal bagi pertumbuhan padi seperti pengelolaan tanah, air, unsur hara, maupun bibit sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman padi. Menurut Uphoff dan Kassam (2009) metode SRI rata-rata dapat meningkatkan hasil padi 52%, mengurangi penggunaan air 44%, mengurangi biaya produksi 25%, dan meningkatkan pendapatan petani 128%.

Penelitian mengenai metode SRI masih berlangsung hingga kini, dengan penyelenggaraan demplot di berbagai kelompok tani di Padang serta daerah-daerah lain di Sumatra Barat. Pada tahun 2003, Musliar Kasim melakukan penelitian di Kecamatan Pauh, Kota Padang, yang menghasilkan 8,5 ton/ha. Pada tahun 2005, Nalwida Rozen melakukan penelitian dengan menggunakan 20 jenis kultivar padi, baik lokal maupun varietas unggul nasional. Hasil penelitian menunjukkan varietas Batang Ombilin mencapai 11,99 ton/ha. Penelitian mengenai metode SRI yang dilakukan pada tahun 2006 dan 2007, demplot di Kabupaten Padang Pariaman dan Solok menghasilkan 7,5 ton/ha dan 8,0 ton/ha. Penerapan demplot dengan dana Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Dikti melalui program pengabdian Sibermas pada tahun 2009 di Padang dengan tambahan pupuk organik memberikan hasil sebesar 8,2 ton/ha, sedangkan di Kabupaten Padang Pariaman hasilnya mencapai 6-7,5 ton/ha. Hasil ini jauh melampaui rata-rata produksi padi petani yang di Kota Padang sekitar 4,5 ton/ha. Pada tahun 2010, dengan penggunaan kompos Jerami dilakukan di

Padang Pariaman hasil padi meningkat menjadi 9 ton/ha di dan pada tahun 2011, hasilnya mencapai 10 ton/ha. Sejak saat itu, masyarakat rutin menggunakan kompos jerami yang diproduksi sendiri oleh kelompok tani, yang membantu mengurangi kebutuhan akan pupuk anorganik.

Penelitian mengenai metode SRI secara terus-menerus dilakukan. Pada tahun 2019, penelitian budidaya padi metode SRI yang dilakukan oleh Musliar Kasim, Nalwida Rozen dan Indra Dwipa di Kota Padang dengan menggunakan varietas pandan wangi memberikan hasil sebesar 11,15 ton/ha. Tahun 2021, penelitian budidaya padi metode SRI kembali dilakukan di Kecamatan Kuranji, Kota Padang dengan menggunakan varietas Batang Piaman hasil mencapai 8,07 ton/ha. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan Metode SRI diyakini dapat meningkatkan hasil tanaman padi 2 kali lipat dibandingkan metode konvensional. Teknik budidaya SRI dapat menjadi solusi nyata untuk meningkatkan produktivitas tanaman padi di Indonesia.

## II. Budidaya Metode SRI

Metode SRI dikembangkan pertama kali di negara Madagaskar pada tahun 1980-an, oleh Fr. Hendri de Laulanie. Kemudian dikembangkan ke negara-negara yang sedang berkembang seperti Kamboja, India, Vietnam, Laos, Filipina, Thailand, dan sampai ke Indonesia. Awalnya SRI adalah singkatan dari “Sisteme de riziculture intensive” dan pertama kali muncul di jurnal *Tropicultura* tahun 1993. Sejak akhir 1990-an, SRI mulai mendunia sebagai hasil usaha tidak pantang menyerah Prof. Norman Uphoff, direktur *Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development* (CIIFAD) waktu itu. Tahun 1999, untuk pertama kalinya SRI diuji di luar Madagaskar yaitu di China dan Indonesia.

SRI merupakan teknik budidaya padi yang didasarkan pada beberapa praktik tertentu, diantaranya: 1) penanaman bibit padi pada usia muda (7-15 hari setelah semai) ; 2) Satu bibit per lubang tanam; 3) jarak tanam jarang, minimal 25 cm x 25 cm; 4) pengelolaan air yang tidak tergenang, cukup lembab saja agar menjaga tanah sawah tetap pada kondisi aerobik ; 5) input bahan organik lebih banyak dibandingkan pupuk anorganik; 6) mengurangi kepadatan dan populasi tanaman sebesar >80%.

SRI menjadi solusi alternatif dalam rangka menjaga ketahanan pangan melalui peningkatan produktivitas padi dengan mengubah manajemen tanaman, air tanah dan unsur hara sekaligus mengurangi masukan eksternal seperti pupuk dan herbisida yang terlalu tinggi. Sistem ini menggunakan bibit tunggal yang sangat muda sehingga ruang tanam menjadi lebih luas. Penggunaan kompos biasanya diidentifikasi sebagai praktik yang diinginkan tetapi opsional meskipun pupuk organik memiliki peranan penting dalam memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah.

### **1. Prinsip utama dalam penerapan utama metode SRI**

Hal yang mendasar dari metode SRI sehingga mampu meningkatkan produksi tanaman padi adalah karena menerapkan konsep sinergi. Ada beberapa faktor yang menjadi penyebab keberhasilan metode SRI dalam meningkatkan produktivitas tanaman padi, diantaranya sebagai berikut.

#### **a. Penggunaan bibit umur muda**

Pada metode SRI, proses pindah tanam dilakukan ketika bibit baru berumur 7-15 hari setelah semai (memiliki 1-2 helai daun). Pertumbuhan bibit umur 12 hari yang disemaikan dalam bak perkecambahan dapat dilihat pada Gambar 5. Proses pemindahan bibit pada usia tersebut tergolong sangat cepat jika dibandingkan metode konvensional yang biasanya bibit padi dipindah tanamkan pada umur 30-45 hari setelah semai. Umur pindah tanam yang lebih awal menyebabkan tanaman padi lebih cepat dan mudah beradaptasi dengan lingkungan sekitar sehingga tanaman padi tidak mengalami stagnasi dan lebih leluasa untuk tumbuh dan berkembang. Bibit padi yang dipindahkan lebih awal dapat menghasilkan jumlah anakan yang lebih banyak, bahkan anakan terbentuk hingga 12 kali sehingga terjadi anakan eksponensial.

Pemindahan bibit padi di usia muda pada metode SRI juga bermanfaat untuk meminimalisir kerusakan akar pada bibit. Sistem perakaran bibit yang tidak rusak pada akhirnya akan mengurangi jumlah kegagalan pertumbuhan bibit tanaman padi. Bibit yang lebih muda juga dapat meningkatkan populasi mikroorganisme pada lapisan rhizosfer sehingga mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman padi.





Gambar 5. Bibit padi umur 12 hari setelah semai  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

### **b. Tanam satu bibit per lubang tanam**

Di Sumatra Barat Metode SRI dikenal sebagai “Tanam Padi Sabatang” yang berarti pada satu lubang tanam ditanami 1 bibit padi saja. Penanaman satu bibit per lubang tanam menyebabkan proses *tillering* (pembentukan anakan) tidak terganggu dan kompetisi dalam penyerapan unsur hara juga lebih rendah. Selain itu, satu bibit padi yang dipindahkan tidak boleh lepas dari gabah padi tersebut sehingga masih terdapat cadangan makanan yang dibutuhkan bibit untuk tumbuh dan berkembang. Pada Gambar 5 dapat dilihat bibit umur 12 hari setelah semai yang telah ditanam dengan menggunakan satu bibit per lubang tanam.

### **c. Jarak tanam lebar**

Pada Metode SRI penanaman menggunakan jarak tanam yang lebar yaitu 25 cm x 25 cm atau 30 cm x 30 cm, pada Gambar 6 dapat dilihat bibit muda yang ditanam dengan jarak tanam 25 x 25 cm. Jarak tanam yang luas menyebabkan pembentukan anakan tidak terganggu karena kompetisi antar tanaman dalam menyerap cahaya dan unsur hara lebih rendah. Jarak tanam yang lebih lebar menyebabkan iklim mikro menjadi lebih baik sehingga tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan lebih baik.



Gambar 6. Penanaman 1 bibit per lobang tanam dengan jarak tanam 25 x 25 cm (Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### **d. Tanah sawah tidak tergenang (kondisinya aerobik)**

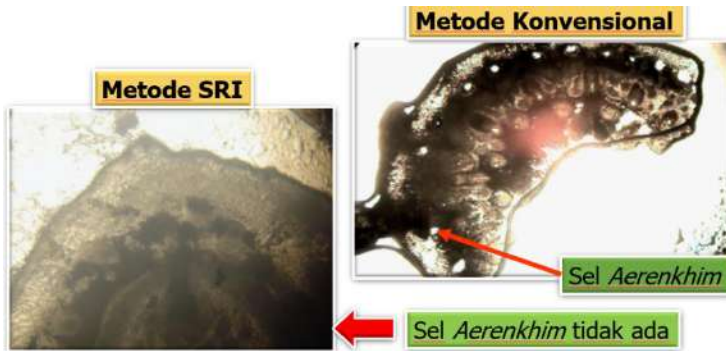
Tanaman padi sejatinya bukan tergolong kepada tanaman air (*aquatic plant*) sehingga tidak membutuhkan genangan air secara terus menerus. Kondisi yang ideal untuk pertumbuhan padi adalah yang lembab dan terbentuknya pori-pori tanah sehingga terbentuk kondisi aerobik. Pada Gambar 7 dapat dilihat kondisi tanah yang lembab dan ideal bagi tanaman padi.



Gambar 7. Tanaman padi pada kondisi tanah ideal (Sumber: Dokumentasi pribadi)

Penggenangan secara terus-menerus menyebabkan udara tidak tersedia di dalam tanah sehingga akar kekurangan oksigen dan memaksa akar membentuk aerenkima sel untuk menyalurkan udara. Akibatnya akar tidak berkembang dan banyak ditemukan akar tanaman padi yang busuk. Hal ini tentu akan mengganggu penyerapan hara dan

pertumbuhan tanaman. Pada Gambar 8 dapat dilihat akar yang membentuk aerenkima sel untuk tempat kantong udara yang dibutuhkan tanaman untuk respirasi.



Gambar 8. Penampang melintang akar padi dengan aerenkima sel (Sumber: Dokumentasi pribadi)

Dalam penerapan metode SRI mengharuskan tanah dalam kondisi tidak boleh tergenang dan harus aerobik. Tanah sawah diharapkan dalam kondisi retak rambut sehingga sirkulasi udara di dalam tanah menjadi lebih lancar. Hal ini akan menyebabkan perkembangan sistem perakaran menjadi lebih maksimal sehingga pertumbuhan akar menjadi lebih baik, sehat dan besar. Pada Gambar 9 dapat dilihat perbandingan pertumbuhan akar tanaman padi yang ditanam dengan kondisi air tergenang dan tanah dengan kondisi aerobic.



Gambar 9. Perbandingan kondisi perakaran padi metode SRI dengan air tidak tergenang dengan metode konvensional yang tergenang (Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### e. Dilakukan penyiangan

Sawah yang ditanami padi dengan metode SRI biasanya gulma cepat tumbuh, kondisi tanah yang lembab dan tidak tergenang air adalah kondisi yang cocok bagi pertumbuhan gulma. Makanya dalam budidaya SRI diharuskan untuk melakukan penyiangan lebih awal dan dilakukan secara kontinyu pada awal pertanaman untuk mencegah pertumbuhan gulma lebih leluasa pada lahan sawah. Kalau gulma dibiarkan tumbuh akan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman padi, karena terjadi kompetisi antara gulma dengan tanaman padi. Pada pertumbuhan awal diperlukan penyiangan gulma. Pada saat itu lebih mudah membuang gulma karena tumbuhnya masih kecil. Penyiangan gulma pada awal pertanaman dilakukan sebanyak 2-3 kali seminggu supaya bibit gulma tidak berkembang dan tidak lebih subur dari tanaman padinya. Pada Gambar 10 terlihat tanaman padi SRI yang tidak dilakukan penyiangan pada fase awal, sehingga gulmanya tumbuh banyak.



Gambar 10. Pertanaman padi sawah yang ditumbuhi gulma karena gulma tidak dibuang dari awal (Sumber: Dokumentasi pribadi)

Kondisi air yang tidak tergenang harus dipertahankan sampai pertumbuhan vegetatif berakhir. Setelah masuk fase reproduktif atau fase bunting sawah harus digenangi air sampai tanaman mendekati panen. Biasanya yang ideal adalah 2 minggu sebelum panen air sudah harus dikuras dari sawah. Hal ini bertujuan untuk memudahkan pemanenan.

### **III. Hasil-Hasil Penelitian SRI**

Semenjak SRI ditemukan, sudah banyak penelitian-penelitian mengenai metode SRI yang dilakukan dalam rangka mengembangkan dan memperbaharui metode SRI sehingga lebih meningkatkan produktivitas tanaman padi. Berikut beberapa penelitian yang telah dilaksanakan.

#### **a. Pemberian pupuk organik pada tanaman padi metode SRI**

Pupuk organik merupakan pupuk yang berasal dari bahan-bahan alami yang mengandung bahan organik seperti tumbuhan, hewan, atau limbah organik lainnya. Pada konsepnya, budidaya padi metode SRI memang lebih mengutamakan pemakaian pupuk organik yang ramah lingkungan dibandingkan pupuk anorganik. Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya, hasil penelitian Pavanakumara *et al.* (2023) menyatakan bahwa pemberian pupuk organik bungkil kacang tanah sebanyak 2 ton/ha pada budidaya padi metode SRI mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan per rumpun, bobot kering tanaman, rasio tajuk akar, jumlah anakan produktif, bobot hasil gabah, dan bobot jerami. Hasil penelitian AL-Esawi (2023) menyatakan bahwa pemberian pupuk organik kompos dengan dosis 10 ton/ha yang dikombinasikan dengan pengairan interval 3 hari pada budidaya padi metode SRI mampu meningkatkan laju pertumbuhan dan hasil tanaman padi serta meningkatkan kesuburan tanah.

Hasil penelitian Subardja *et al.* (2016) menyatakan bahwa pemberian pupuk organik yang berasal dari limbah pertanian dengan dosis 6,25 ton/ha pada budidaya padi metode SRI di lahan salin mampu meningkatkan jumlah total mikroba tanah dan tingkat respirasi mikroba di dalam tanah salin. Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa pemberian pupuk organik jerami dan limbah pertanian pada budidaya padi metode SRI mampu meningkatkan produktivitas tanaman padi. Pupuk organik tidak hanya diberikan dalam bentuk padat, tetapi bisa juga dalam bentuk cair yang biasa disebut dengan pupuk organik cair.

Tabel 7. Pengaruh sistem budidaya dan jenis pupuk organik terhadap produktivitas tanaman padi

| Perlakuan                                | Produktivitas (ton/ha) |                     |
|--|------------------------|---------------------|
|  | Gabah Kering Panen     | Gabah Kering Giling |
| SRI                                      | 5.86 c                 | 4.91                |
| SRI + straws organic fertilizer          | 6.51 b                 | 5.21                |
| SRI + waste organic fertilizer           | 7.21 a                 | 5.97                |
| Conventional                             | 4.67 e                 | 3.74                |
| Conventional + straws organic fertilizer | 5.06 d                 | 4.05                |
| Conventional + waste organic fertilizer  | 5.42 d                 | 4.53                |

Pupuk organik cair merupakan bahan ekstrak dari hasil pembusukan bahan-bahan organik. Bahan-bahan organik ini bisa berasal dari sisa tanaman, kotoran hewan dan manusia yang mengandung unsur hara lebih dari satu unsur. Penelitian tentang pemberian pupuk organik cair pada tanaman padi metode SRI sudah banyak dilakukan, diantaranya hasil penelitian Samanhudi *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk organik cair mampu meningkatkan panjang tangkai tanaman padi metode SRI sebesar 4,72%. Hasil penelitian Kharim *et al.* (2018) pemberian pupuk organik cair pada tanaman padi metode SRI mampu meningkatkan kadar nitrogen di dalam daun, dan juga menghasilkan gabah yang lebih banyak.

Hasil Penelitian Rozen *et al.* (2023) menyatakan bahwa pemberian pupuk cair organik batang pisang dan sabut kelapa dengan konsentrasi 250 ml/L pada tanaman padi metode SRI mampu meningkatkan jumlah anakan tanaman padi.

### **b. Pemberian mulsa organik untuk menekan pertumbuhan gulma**

Pemberian mulsa organik pada tanaman padi metode SRI dilakukan untuk menekan pertumbuhan gulma dan juga untuk menambah bahan organik di dalam tanah. Mulsa organik dapat berasal dari jerami padi, alang-alang, brangkasan jagung, daun tithonia, dan sekam padi. Hasil penelitian Muhammad (2021) menyatakan bahwa

penggunaan mulsa jerami padi 5-10 ton/ha dapat menekan jumlah spesies gulma dan mengurangi biomassa gulma yang tumbuh pada lahan sawah yang ditanami padi dengan metode budidaya SRI. Tabel 8 di bawah menunjukkan bahwa pemberian mulsa organik dari Jerami padi pada budidaya padi metode SRI mampu menekan pertumbuhan gulma.

Tabel 8. Biomassa gulma pada budidaya tanaman padi metode SRI pada pemberian berbagai dosis mulsa jerami pada umur 42 HST

| Dosis Mulsa Jerami (ton/ha) | Biomassa Gulma (g) |
|-----------------------------|--------------------|
| 0                           | 175,03 a           |
| 2,5                         | 165,60 a           |
| 5                           | 109,83 b           |
| 7,5                         | 54,64 c            |
| 10                          | 47,45 c            |

Hasil penelitian Naufal (2018) menyatakan bahwa penggunaan mulsa paitan dengan dosis 39 ton/ha mampu menekan pertumbuhan gulma secara optimal pada tanaman padi metode SRI dengan menekan berat kering gulma sebesar 308,98 g/m<sup>2</sup>, sedangkan jika tidak diberi mulsa rata-rata berat gulmanya 1197,57 g/m<sup>2</sup>. Hasil penelitian Miftahul (2021) menyatakan bahwa mulsa alang-alang mampu meningkatkan hasil, karena bisa menekan pertumbuhan (menurunkan biomassa gulma).

**c. Pemberian pupuk hayati pada tanaman padi metode SRI**

Pupuk hayati (*biofertilizer*) adalah suatu bahan yang berasal dari jasad hidup, khususnya mikroorganisme yang digunakan untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi tanaman padi metode SRI. Mikroorganisme yang terkandung di dalam pupuk hayati dapat menguraikan bahan kimia yang sulit diserap menjadi bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Mikroorganisme yang terdapat di dalam pupuk hayati diantaranya seperti *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., *Rizhobium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Ectomycorrhiza*, *Endomycorrhiza*, *Trichoderma* sp.

Penelitian tentang pemberian pupuk hayati pada tanaman padi metode SRI sudah banyak dilakukan, beberapa penelitian menggunakan

pupuk hayati yang sudah komersial, diantaranya hasil penelitian Pohan (2024) menyatakan bahwa pupuk hayati FloraOne® dengan konsentrasi 5 ml/L sebanyak 4 kali pemberian (2, 4, 6, dan 8 MST) memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan tinggi tanaman dan indeks luas daun tanaman padi metode SRI. Hasil penelitian Elita *et al.* (2020) menyatakan bahwa pemberian pupuk hayati Bio Organik B2 pada budidaya tanaman padi metode SRI mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah anakan, jumlah malai/rumpun, dan memberikan hasil padi tertinggi sebesar 8,80 ton/ha. Hasil Penelitian Gusril (2024) menyatakan bahwa pemberian pupuk hayati dengan konsentrasi 15 ml/L mampu meningkatkan hasil per hektar 37,61% jika dibandingkan dengan tanpa pemberian pupuk hayati.

Selain itu, pupuk hayati yang juga banyak diberikan pada budidaya padi metode SRI adalah pemberian jamur *Trichoderma*. Khadka & Uphoff (2019) menyatakan bahwa pemberian *Trichoderma* pada budidaya tanaman padi metode SRI sangat berpotensi dalam meningkatkan kualitas gabah dan mengurangi penggunaan pupuk kimia. Hasil penelitian Doni *et al.* (2023) menyatakan bahwa pemberian jamur *Trichoderma* pada budidaya padi metode SRI efektif dalam mengurangi serangan penyakit hawar daun pada tanaman padi, sekaligus juga mampu menciptakan ekosistem yang optimal dengan menambah kelembaban tanah dan menjaga kondisi tanah tetap aerobik.

#### **IV. Tantangan dalam Penerapan SRI**

##### **a. Pertumbuhan gulma yang cepat**

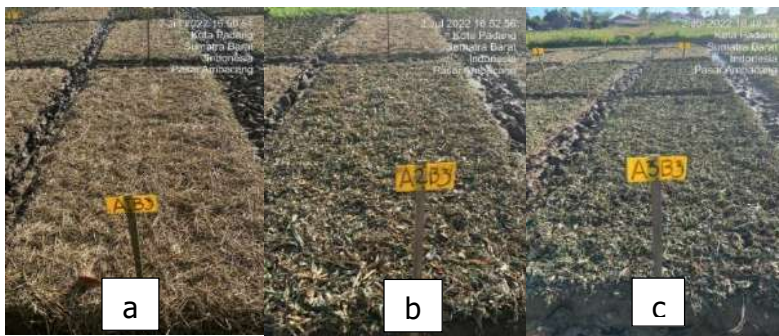
Gulma yang tumbuh pada areal pertanaman (sawah) merupakan tantangan berat dalam penerapan SRI terutama petani yang tidak memelihara tanamannya atau menyanggul gulmannya dari awal. Petani konvensional biasanya melakukan penyiangan pada saat tanaman telah berumur 30 hari setelah tanam. Pada penanaman metode konvensional hal ini tidak menjadi masalah karena gulma tidak begitu banyak yang tumbuh pada sawah yang tergenang. Biasanya apabila sawah digenangi air, benih gulma yang ada di sawah tidak cepat berkecambah dan tumbuh karena benih gulma kekurangan oksigen yang dibutuhkan untuk perkecambahannya. Pada Gambar 11 terlihat tidak banyak gulma yang tumbuh karena sawah tergenang air.





Gambar 11. Kondisi sawah metode konvensional dengan air tergenang gulma tidak banyak tumbuh (Sumber: <https://saprotan-utama.com>)

Lahan sawah metode SRI, selain dengan melakukan pencabutan gulma 2-3 kali seminggu pada fase awal dapat juga dilakukan dengan pemberian mulsa. Tujuan pemberian mulsa adalah untuk menekan pertumbuhan gulma. Pada umumnya mulsa yang digunakan adalah mulsa organik. Penggunaan mulsa organik selain untuk mengurangi pertumbuhan gulma juga dapat bermanfaat untuk menjaga kelembapan tanah sehingga tanah selalu berada dalam kondisi lembab dan dapat juga menyumbangkan hara pada tanah dan menambah bahan organik ke dalam tanah. Jenis bahan organik yang bisa digunakan untuk mulsa pada penanaman padi metode SRI diantaranya adalah jerami, brangkasan jagung, dan daun paitan (Gambar 12).



Gambar 12. Pemberian mulsa organik pada metode SRI; (a) mulsa jerami; (b) mulsa daun jagung; (c) mulsa paitan (Sumber: Dokumentasi pribadi)

Penelitian yang dilakukan oleh Gusril *et al.* (2024) menyatakan bahwa pemberian berbagai jenis mulsa organik dapat mengendalikan pertumbuhan gulma yang diukur dengan bobot segar gulma yang

tumbuh. Mulsa organik jenis jerami padi dan jagung dengan dosis 10 ton/ha mampu menekan pertumbuhan gulma hingga 5 MST, sedangkan mulsa paitan dosis 10 ton/ha mampu hingga 2 MST. Pada Tabel 9 dapat dilihat bobot gulma yang dicabut pada petakan yang diberi berbagai macam jenis mulsa dengan dosis 10 ton/ha.

Tabel 9. Bobot segar gulma per petak tanaman padi metode SRI dengan pemberian berbagai jenis mulsa organik

| Jenis Mulsa | Bobot Segar Gulma Per Petak (Kg) |        |        |
|-------------|----------------------------------|--------|--------|
|             | 3 MST                            | 5 MST  | 7 MST  |
| Jerami Padi | 1,77 b                           | 1,30 b | 2,30 b |
| Jagung      | 0,97 b                           | 1,00 b | 2,00 b |
| Paitan      | 3,60 a                           | 3,40 a | 2,97 a |

### b. Mengubah budaya masyarakat

Tantangan yang paling berat dalam penerapan SRI adalah merubah budaya masyarakat. Penyuluhan dan demplot tentang penerapan SRI ini telah dilakukan di Sumatra Barat sejak tahun 2004. Petani yang mengikuti pelatihan dan demplot sangat antusias dan merasakan bahwa upaya untuk meningkatkan produksi padi yang paling baik adalah dengan menerapkan metode SRI. Tapi ketika selesai demplot mereka kembali menerapkan budidaya konvensional.

Agar petani mau menerapkan SRI perlu diberikan insentif, sehingga penerapan SRI di tengah masyarakat bisa meluas (massal). Kalau SRI diterapkan secara luas saya yakin produksi padi nasional akan meningkat signifikan. Diharapkan dengan produksi padi yang sudah meningkat tersebut tidak perlu lagi kita mengimpor beras untuk kebutuhan sendiri.

## V. Penutup

Dari hasil penelitian yang dilakukan dan referensi yang dirujuk dapat disampaikan bahwa Metode SRI merupakan salah satu metode budidaya tanaman padi yang dapat meningkatkan hasil hingga dua kali lipat. Metode ini sudah diterapkan di beberapa negara, namun di Indonesia belum banyak petani yang mau menerapkannya.

Alasan kenapa penerapannya masih belum banyak karena petani belum memahami tentang metode SRI, terutama ketidakpahaman petani dalam mengendalikan gulma. Seperti diketahui bahwa gulma pada metode SRI tumbuh lebih cepat dibanding metode konvensional, meskipun sudah banyak dilakukan penelitian tentang pemberian mulsa organik untuk menekan pertumbuhan gulma.

Jika Indonesia ingin meningkatkan produksi padi secara signifikan dan cepat agar bisa swasembada beras, jalan yang terbaik adalah memassalkan penerapan metode SRI dalam budidaya padi sawah. Penerapan SRI dijadikan gerakan nasional (GERNAS). Metode ini bisa dikombinasikan dengan metode tanam Jajar Legowo 4:1, pemberian mulsa organik serta pemberian pupuk hayati.

## Referensi

- Al-Esawi, A. W. A. (2023). Response of Jasmine rice to different levels of irrigation and organic fertilization under SRI cultivation method. *Kufa Journal for Agricultural Sciences*, 15(2), 74-83.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024) . *Luas panen, produksi, dan produktivitas padi menurut provinsi, 2021-2023*. Berita Resmi Statistik. 852 hal.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). *Statistik Indonesia 2024*. Berita Resmi Statistik. 1 hal.
- Dean, N. (2018). *Pertumbuhan dan hasil tanaman padi (Oryza sativa) Metode Sistem Of Rice Intensification dengan pemberian mulsa paitan (Tithonia diversifolia) dalam penekanan pertumbuhan gulma*. Universitas Andalas. Padang.
- Doni, F., Isahak, A., Fathurrahman, F., & Yusoff, W. M. W. (2023). Rice plants' resistance to sheath blight infection is increased by the synergistic effects of Trichoderma inoculation with SRI Management. *Agronomy*, 13(3), 711.
- Elita, N., Erlinda, R., & Agustamar. (2020). The effect of bioorganic dosage with N, P fertilizer on rice production of SRI methods and increased nutrient content of paddy soil intensification. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology* 4(2): 155-169

- Gusril, A., Rozen, N., & Kasim, M. (2024). Pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.) metode SRI dengan pemberian berbagai jenis mulsa organik. *Jurnal Pertanian Agros*, 26(1), 5361-5367.
- Gusril, A. (2024). Pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.) metode SRI terhadap pemberian pupuk hayati. Universitas Andalas. Padang.
- Khadka, Ram, B., & Uphoff, N. (2019). Effects of Trichoderma seedling treatment with Sistem of Rice Intensification management and with conventional management of transplanted rice. *PeerJ*: e5877.
- Kharim, A. M. N., Wayayok, A., Mohamed Shariff, A. R., & Abdullah, A. F. (2019). Preliminary study of variable rate application–organic liquid fertilizer by using SPAD chlorophyll meter on sistem of rice intensification (SRI) cultivation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(5), 639-649.
- Miftahul, K. (2021). *Pengaruh mulsa organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi (Oryza sativa L.) dengan metode SRI-Jajar Legowo 4: 1*. Universitas Andalas. Padang.
- Muhammad, F. Y. (2020). *Aplikasi mulsa jerami untuk menekan pertumbuhan gulma serta memperbaiki pertumbuhan dan hasil padi (Oryza sativa L.) metode Sri-Jarwo 4: 1*. Universitas Andalas. Padang.
- Pavanakumara, E., Bokado, K., Devi, H. S., Barkha, G. K., & Shyamsunder, B. (2022). Effect of different organic sources of nutrients on growth and development of rice (*Oryza sativa* L.) under the SRI method. *Eco. Env. & Cons.* 29.
- Pohan, A. (2024). *Pertumbuhan tanaman padi (Oryza sativa L.) Varietas batang piaman fase vegetatif metode SRI pada beberapa konsentrasi pupuk hayati FloraOne®*. Universitas Andalas. Padang.
- Rozen, N., Kasim, M., Kusumawati, A., Ikram, H., & Sholihat, I. (2023). The early heading growth stage of rice plants in using the SRI method by giving liquid organic fertilizer of coconut husk and banana stems. In *IOP Conference Series: Earth and*

- Environmental Science* (Vol. 1160, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- Samanhudi, A. Y., & Dinana, A. (2011). Liquid organic fertilizer and planting space influencing the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) in sistem of rice intensification (SRI) methods. *J. Agric. Sci. Tech*, 5(2), 232-238.
- Subardja, V. O., Anas, I., & Widyastuti, R. (2016). Utilization of organic fertilizer to increase paddy growth and productivity using Sistem of Rice Intensification (SRI) method in saline soil. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 3(2), 543.
- Uphoff, N., & Kassam, A. (2009). *Agricultural technologies for developing countries. Case study of The Sistem of Rice Intensification*. FAO UN. 43 hal.



## Teknologi Mulsa dan Pupuk Organik dalam Meningkatkan Produktivitas Kentang



Bab ini membahas tentang budidaya kentang sebagai tanaman hortikultura bernilai gizi tinggi dan stabil secara ekonomi. Ditanam umumnya di dataran tinggi namun kini mulai ditemui di dataran medium. **Warnita** membahas bagaimana produksi kentang sangat dipengaruhi oleh penggunaan benih bermutu, manajemen budidaya, pengendalian hama, dan penanganan pascapanen. Lebih spesifik, tulisan ini juga membahas penggunaan teknologi mulsa dan pupuk organik dapat meningkatkan kualitas tanah dan produksi kentang.





# Teknologi Mulsa dan Pupuk Organik dalam Meningkatkan Produktivitas Kentang

**Warnita**

*Dosen pada Departemen Agronomi,  
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) sebagai tanaman hortikultura sayuran yang mendapat prioritas untuk dikembangkan karena pertambahan jumlah penduduk dan mempunyai nilai jual yang stabil dan dapat disimpan agak lama. Selain itu kentang sangat banyak dibutuhkan untuk bahan baku industri seperti chip, keripik, dan tepung kentang. Kentang mempunyai kandungan protein dan vitamin yang tinggi.

Budidaya kentang adalah kegiatan menanam kentang dengan tujuan untuk mendapatkan hasil panen yang optimal. Kentang merupakan komoditi penting dan dapat dimanfaatkan dalam diversifikasi pangan. Selain itu, budidaya kentang juga dapat menjadi sumber penghasilan dan peluang usaha bagi petani atau pebisnis di bidang pertanian.

Tanaman kentang merupakan tanaman sayuran semusim yang berumur pendek yang berbentuk perdu atau semak. Batang dan daunnya berwarna hijau. Daun tanaman kentang merupakan daun majemuk yang berbulu. Akar kentang adalah akar tunggang. Tanaman kentang menghasilkan umbi yang mengandung karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan mineral. Selain itu umbi kentang solanin.

Di Indonesia tanaman kentang mendapat prioritas untuk dikembangkan. Pertambahan penduduk terutama di kota – kota besar memerlukan kentang dalam jumlah banyak. Demikian juga dengan berkembangnya industri yang berbahan baku kentang sehingga permintaan terhadap kentang terus meningkat.

Pengembangan agribisnis kentang sangat strategis, karena dapat meningkatkan pendapatan dan taraf hidup petani. Disamping itu kentang menunjang program penganeekaragaman (diversifikasi) pangan dan mempunyai potensi ekonomi yang tinggi. Keberhasilan agribisnis

kentang tidak terlepas dari peran teknologi yang maju. Pengembangan teknologi bertujuan untuk mengimbangi permintaan pasar terhadap suatu produksi pertanian seperti kentang. Untuk komponen usaha tani pada komoditas pertanian yang bernilai ekonomis tinggi perlu diterapkan. Salah teknologi tersebut adalah aplikasi mulsa dalam budidaya tanaman kentang.

Penanaman kentang umumnya dilakukan di dataran tinggi, tetapi karena penanaman sayur – sayuran lain juga dilakukan di dataran tinggi maka lahan tersedia menjadi terbatas dan terkendala karena menurunnya kesuburan tanah. Keterbatasan lahan menyebabkan petani memanfaatkan lereng yang tidak memenuhi persyaratan untuk penanaman. Apalagi kalau kelerengannya  $\geq 15\%$  yang mudah longsor. Saat ini selain penanaman dilakukan di dataran tinggi juga diarahkan ke dataran medium dengan ketinggian 500 – 700 mdpl.

Penanaman kentang di dataran medium dapat diterapkan dan juga menghadapi beberapa kendala diantaranya suhu tinggi dan serangan penyakit layu bakteri. Kendala suhu tinggi dapat diatasi dengan memanipulasi lingkungan agar mendekati kondisi lingkungan yang sesuai dengan pertumbuhan tanaman kentang, seperti penggunaan mulsa, pengaturan jarak tanam yang rapat dan penerapan pola tanam tumpang sari. Teknologi lain berupa pemilihan varietas kentang, penyiapan lahan dan pemupukan.

Penggunaan mulsa merupakan salah satu alternatif dalam menstabilkan suhu dan kelembaban serta membantu dalam penyerapan air. Mulsa memiliki manfaat menjaga kestabilan suhu dalam tanah, menjaga kelembaban tanah, mengurangi energi air yang jatuh ke permukaan tanah secara langsung sehingga memperkecil pelindian hara, erosi serta dapat menyumbang bahan organik sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah.

Untuk peningkatan produksi tanaman kentang juga perlu ditunjang dengan perbaikan lahan dan penambahan unsur hara. Pemanfaatan pupuk organik sangat diperlukan karena selain dapat menggemburkan tanah, menambah unsur hara juga tempat hidup mikroorganisme yang bermanfaat. Petani sudah lama menggunakan pupuk organik untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman termasuk tanaman kentang. Menurut Nurhalisyah (2008) penggunaan

pupuk organik dalam budidaya tanaman merupakan keharusan karena dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil. Selain itu kesuburan tanah dapat dipertahankan dengan pemberian pupuk organik.

## II. Tanaman Kentang

Tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan tanaman hortikultura yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Sentra produksi kentang di Indonesia adalah Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, Jambi dan Sumatra Utara. Di Sumatra Barat kentang banyak ditanam di Kabupaten Agam dan Kabupaten Solok. Kedua daerah ini sangat cocok untuk dikembangkannya pembudidayaan tanaman kentang dan petaninya sudah membudidayakan tanaman kentang.

Umbi kentang tidak mengandung lemak dan kolesterol, namun mengandung karbohidrat, natrium, serat pangan, protein, vitamin A, vitamin C (sekitar 50%), kalsium, zat besi, dan vitamin B6 yang cukup tinggi dibandingkan dengan beras (Warnita, 2007). Menurut Idawati (2012), kandungan gizi per 100 g umbi kentang yaitu 2 g protein, 0,1 g lemak, 19,1 g karbohidrat, 11 mg kalsium, 50 mg fosfor, 0,7 mg zat besi, 0,3 g serat, 0,09 mg vitamin B1, 16 mg vitamin C dan 83 Kal kalori.

Produksi Kentang Indonesia tahun 2023 adalah 1.248.543 ton dan di Sumatra Barat 31.602 ton. Produksi kentang di Sumatra Barat terjadi peningkatan dari tahun 2021 – 2023 yaitu: 15.201, 23.974 dan 31.602 ton (BPS, 2024). Meskipun produksi meningkat, masih perlu ditingkatkan untuk mengimbangi kebutuhan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan diversifikasi pangan. Saat ini banyak sekali makanan yang berbahan baku kentang seperti salad, chip, keripik dan kentang goreng. Untuk kebutuhan kentang industri ini Indonesia masih impor.

Industri pengolahan kentang besar di Indonesia hanya menggunakan varietas Atlantik untuk bahan baku industri, tetapi masih impor. Badan litbang pertanian telah mengembangkan beberapa varietas kentang baru salah satunya Medians; pabrik kentang nasional berusaha mengganti varietas atlantik. Varietas ini memiliki potensi hasil 24,9 hingga 31,9 ton/ha, di panen 100 hingga 110 hari setelah tanam, dan memiliki umur simpan 50 hingga 70 hari pada suhu ruang. Umbi yang dihasilkan memiliki panjang 8,5–10 cm dan lebar 5,7–6,5 cm. Kentang jenis ini bagus untuk kentang goreng (Kusandriani, 2014).

Produksi kentang belum dapat memenuhi kebutuhan penduduk. Guna memenuhi kebutuhan kentang masih perlu peningkatan produksi dan produktivitas kentang. Peningkatan produksi dapat dilakukan dengan perbaikan lahan, meningkatkan hara tanah dan memodifikasi lingkungan tumbuh. Dengan perbaikan lingkungan tanam akan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman.

Banyak faktor yang mempengaruhi produksi kentang di Indonesia antara lain adalah belum menggunakan benih bermutu, belum optimalnya manajemen budidaya tanaman kentang, pengendalian hama dan penyakit belum optimal, dan penanganan pasca panen yang belum memadai (Warnita 2024). Penggunaan benih kentang bermutu akan menghasilkan produksi yang tinggi. Dalam penanaman kentang perlu diperhatikan pemilihan varietas yang dapat beradaptasi dengan agroklimat suatu tempat dan sangat penting benih bebas dari hama dan penyakit.

Lehar *et al.* (2017) melaporkan bahwa kentang Nadia yang di tanam di Malang Desa Poncokusumo dengan ketinggian lokasi 700 m dpl dengan temperatur rata-rata 28° C menghasilkan rata-rata tinggi tanaman 110,4 cm dan produksi 66,3 ton/ha. Adapun bibit yang digunakan pada penelitian ini relatif kecil dengan ukuran 10 sampai 20 gr, bibit tersebut berasal dari Jawa Timur dan telah berkecambah, diduga kondisi bibit yang tidak cukup ideal untuk menghasilkan pertumbuhan yang optimal sehingga menyebabkan pertumbuhan awal kentang mengalami gangguan yang berdampak pada penekanan pertumbuhan vegetatif dan berlanjut sampai pada fase pembentukan umbi.

Upaya untuk meningkatkan produktivitas kentang yaitu memperbaiki teknik budidaya seperti pengolahan lahan, penggunaan bibit unggul, dan pemupukan dan penggunaan mulsa. Diantara aspek tersebut pemupukan adalah hal yang paling berpengaruh dalam penentu hasil produksi. Oleh karena itu, sistem budidaya melalui pemupukan diperlukan agar produksi terus meningkat meskipun luasan panen menurun.

### **III. Persiapan Lahan dan Bibit**

Lahan untuk budidaya tanaman kentang dapat berupa bedengan atau guludan. Pada dataran medium, penanaman kentang dapat

dilakukan di tanah sawah. Setelah dilakukan panen padi, tanah sawah dikeringkan selama 2 minggu. Jerami hasil panen dikumpulkan pada suatu tempat yang dapat juga digunakan sebagai mulsa setelah dikeringkan. Tanah yang sudah kering dibajak sedalam 30 cm dan digaru agar struktur tanah gembur. Untuk penanaman kentang jika pH tanahnya rendah, perlu dilakukan pengapuran misalnya dolomit pada saat pengolahan tanah. Kegiatan pembajakan tanah ini sangat penting untuk memusnahkan hama dan penyakit yang ada dalam tanah, dan memperbaiki sirkulasi udara dalam tanah. Pengolahan tanah dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengolahan lahan  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Pengolahan tanah pada lahan datar lebih mudah daripada lahan berbukit. Pada tanah lahan datar lebih praktis menggunakan traktor. Pembajakan tanah dapat dilakukan 2 kali bila perlu sampai kedalaman 30 – 40 cm. Pemecahan tanah berukuran besar dapat dilakukan dengan garu atau cangkul. Kondisi tanah yang gembur sangat untuk perkembangan akar dan perbesaran umbi.

Selanjutnya dilakukan pembuatan bedengan untuk penanaman tanaman kentang, yang biasa dilakukan 2 minggu setelah pembajakan. Lebar bedengan dibuat 1 meter atau sesuai dengan lebarnya mulsa. Panjang disesuaikan kondisi lahan dan tinggi 30 cm dengan jarak antar bedengan 50 cm. Di bawah ini adalah lahan yang telah diolah untuk penanaman tanaman kentang (Gambar 14) dengan ukuran lebar 100 cm.

Tahapan terakhir dari kegiatan persiapan lahan adalah pemberian pupuk dasar. Sebelum tanam diberikan pupuk dasar berupa pupuk

organik. Pupuk organik diberikan pada permukaan bedengan kira-kira satu minggu sebelum tanam. Biasanya pupuk organik dapat dilakukan dengan dua cara mencampurnya dengan tanah bedengan sampai kedalaman 20 cm saat pengemburan tanah terakhir dan dengan diberikan pada lubang tanam.



Gambar 14. Pembuatan bedengan  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Sesudah pembuatan bedengan dilakukan penebaran pupuk dasar atau pupuk kandang. Pemberian pupuk kandang sangat baik untuk memperbaiki struktur tanah, menambah bahan organik dan mengikat air tanah. Sebaiknya pupuk kandang dicampur secara merata dengan lapisan olah tanah. Menurut Rukmana (2002a) pemberian pupuk kandang 10 – 20 ton per hektar.

Pada bedengan dibuat lobang tanam, dimana lobang tanasm untuk tanaman kentang 70cm x 30 cm, 60 cm x 40 cm atau 50 x 30 cm. Penentuan lobang juga ditentukan oleh lebar kanopi tanaman kentang yang sesuai dengan varietas kentang yang ditanam. Jika menggunakan mulsa pembuatan lobang tanam disesuaikan dengan lebar mulsa. Biasanya lobang tanaman pada bedengan dibuat 60 cm x 40 cm). Sultana *et al* (2001) menyatakan bahwa produksi kentang sangat dipengaruhi oleh ukuran umbi, makin besar ukuran umbi bibit makin tinggi produksi umbi kentang. Untuk memperoleh produksi kentang yang tinggi perlu didukung oleh benih yang berkualitas tinggi. Hadisoeganda *et al.* (2009) menyatakan bibit kentang yang berkualitas memiliki ukuran dan bentuk

yang sama dengan umbinya, tanpa cacat dan kulit halus, tunas mulai terbentuk, bibit kentang dapat meningkat-kan produksi.

Benih yang dapat digunakan dalam budidaya kentang berasal dari generatif (biji) yang dikenal dengan TPS (true Potato Seed) dan vegetatif dengan umbi. Di daerah subtropis benih yang digunakan adalah biji karena kentang termasuk tanaman berhari panjang yang membutuhkan lama penyinaran 14 – 16 jam per hari. Sementara di daerah tropis seperti Indonesia dengan lama penyinaran 12 jam maka kentang diperbanyak dengan umbi.

Dalam budidaya tanaman kentang yang sangat penting adalah bibit yang digunakan adalah bibit bermutu. Penurunan produksi kentang dapat terjadi bila yang digunakan adalah adalah benih benih yang berkualitas rendah. Petani kadang – kadang juga menggunakan menggunakan benih dari hasil tanaman sendiri sehingga hasil yang diperoleh rendah.

Permintaan terhadap kebutuhan benih kentang harus dipenuhi dengan ketersediaan benih bermutu dan jumlah yang banyak sesuai kebutuhan petani. Menurut Mulyono *et al*, (2017) benih G<sub>0</sub> dan G<sub>1</sub> masih digunakan sebagai benih sumber , karena umbi yang dihasilkan kecil – kecil. Produksi dan umbi kentang besar (kelas A dan B) dihasilkan paling banyak pada kelas benih G<sub>3</sub>, maka lebih cocok benih G<sub>3</sub> dijadikan sebagai benih sebar bukan benih sumber.

Pagi atau sore hari adalah penanaman bibit kentang yang paling baik. Jarak tanam pada penanaman kentang tergantung varietasnya dan sangat bervariasi. Varietas Granola yang di budidayakan ditanam dengan jarak tanam 30 x 70 cm dengan kedalaman lubang tanam antara 8 –10 cm. Cara menanam bibit kentang yang paling mudah adalah dengan cara menempatkan umbi bibit dalam alur tepat di tengah-tengah dengan posisi tunas menghadap keatas dan jarak antara umbi bibit dalam alur adalah 25 – 30 cm. Jarak tanaman tanaman kentang juga ada yang 40 cm x 60 cm dan dan 40 cm x 50 cm, ini tergantung pada varietas dan percangan tanaman kentang itu sendiri.

Penanaman bibit kentang sangat sederhana dengan cara meletakkan umbi bibit mendatar dengan tunas menghadap ke atas. Umbi jangan ditanam terlalu dalam karena mudah tergenang air, dan

jangan terlalu dangkal karena mudah tumbang. Menurut Samadi (1997) bibit kentang akan mulai tumbuh umur 10 – 14 hari setelah tanam.

Tanaman kentang akan terus tumbuh dan berkembang. Pada awal pertumbuhan jika ada yang dapat dilakukan penyulaman. Penyulaman dilakukan pada 2 minggu awal penanaman, bibit sulaman adalah bibit cadangan yang telah dipersiapkan dalam penanaman yang bersamaan bibit lain di kebun produksi. Dengan demikian tanaman pengganti besarnya sama, dan pertumbuhannya akan seragam dengan tanaman lain. Tanaman kentang akan tumbuh terus dan membesar. Tanaman kentang pada umur 6 – 8 minggu setelah tanam telah membesar dan tampak subur. Pertumbuhan tanaman kentang di lahan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Tanaman kentang  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### IV. Aplikasi mulsa

Mulsa merupakan suatu teknologi penutupan tanah yang bertujuan untuk memanipulasi iklim mikro dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman termasuk tanaman kentang. Penggunaan mulsa memberikan berbagai keuntungan baik dari aspek kimia maupun biologi tanah. Secara fisik mulsa mampu menjaga suhu tanah lebih stabil dan mampu mempertahankan kelembaban di sekitar perakaran tanaman. Dengan adanya mulsa di atas permukaan tanah, benih gulma terhalang sehingga tanaman akan bebas tumbuh tanpa berkompetisi dengan gulma. Tidak adanya kompetisi dengan gulma merupakan salah satu penyebab keuntungan yaitu meningkatkan produksi tanaman budidaya.

Pada saat ini petani banyak menggunakan mulsa dalam budidaya tanaman kentang. Mulsa yang digunakan berupa mulsa organik dan mulsa anorganik. Mulsa anorganik berasal dari plastik dan mulsa organik



dari bahan organik. Mahmood *et al.*, (2002), mulsa organik memiliki konduktivitas termal yang rendah sehingga lebih sedikit panas sampai ke permukaan tanah dibandingkan tanpa penggunaan mulsa.

Mulsa dapat mengurangi pemanasan langsung sehingga suhu tanah tidak naik dan air tidak cepat berkurang karena penguapan tertahan oleh mulsa yang menyebabkan kelembaban ke permukaan tanah sehingga tanaman tumbuh dengan baik (Lasmini *et al*, 2018). Menurut Ahmed *et al*, (2017) mulsa berfungsi sebagai tanaman penutup tanah dan mengurangi operasi pengolahan tanah yang memiliki beberapa keunggulan ekologi dibandingkan lahan konvensional tugas persiapan yang menyebabkan perubahan minimal lingkungan tanah.

Perubahan lingkungan perakaran tanaman salah satunya dapat dilakukan dengan penggunaan mulsa. Utomo *et al.* (2013) menyatakan bahwa penggunaan mulsa dapat memberikan keuntungan, baik dari aspek biologi, fisik maupun kimia tanah. Secara fisik mulsa dapat menjaga suhu tanah tetap hangat dan menjaga kelembaban di sekitar akar tanaman. Kelembaban memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa kelembaban, yaitu dapat menurunkan suhu tanah pada siang hari karena kelembaban dapat mengurangi radiasi yang diterima dan diserap tanah. Mulsa dapat memperbaiki aerasi tanah dan meningkatkan makro pori tanah sehingga kegiatan mikroorganisme dan menyiapkan air bagi tanaman. Mulsa menimbulkan berbagai keuntungan, baik dari aspek fisik maupun kimia tanah. Secara fisik mulsa dapat menjaga suhu tanah tetap hangat dan menjaga kelembaban di sekitar akar tanaman.

Mulsa organik merupakan mulsa yang diperoleh dari limbah atau sisa pertanian seperti eceng gondok, serbuk gergaji, dan juga sekam kopi (Triyanto, 2000). Limbah serai wangi adalah buangan yang berasal dari sisa-sisa limbah yang dapat dijadikan sebagai mulsa organik. Mulsa limbah serai wangi berfungsi untuk memperbaiki struktur tanah dan menghambat pertumbuhan gulma (Effendi, 2010). Mulsa organik berasal bahan organik seperti jerami padi, jerami gandum, sekam padi, sisa bahan organik, eceng gondok, serbuk gergaji, dan limbah pertanian lainnya Peletakan mulsa dapat mengubah iklim organisme tanah sehingga dapat menaikkan kadar air tanah dan memperkecil tumbuhnya alang-alang. Harsono (2012) yang menyatakan bahwa pemberian mulsa organik meningkatkan suhu tanah, kelembaban, kapasitas tukar kation, pH, C organik, bahan organik tanah, N total ketersediaan K dan C/N ratio.

Mulsa jerami padi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan hasil pertanian pada lahan budidaya agar kondisi tanah tetap subur, menekan pertumbuhan gulma serta memodifikasi lapisan atas tanah yang tertutupi (Sumarni *et al.* 2006). Pada tanaman kentang juga dapat digunakan mulsa organik. Mulsa organik mudah melapuk dan jika telah melapuk dapat menyumbang hara bagi tanaman. Dwiwati (2005) mulsa mampu meningkatkan fluktuasi suhu tanah dan menjaga kelembaban tanah sehingga dapat mengefisienkan jumlah pemberian air. Mulsa jerami padi dapat mengurangi fluktuasi suhu, dan meningkatkan kelembaban dan mengurangi evapotranspirasi (Doring *et al.*, 2006).

Pada tanaman kentang dapat digunakan jerami padi agar pertumbuhan gulma terhambat dan suhu tanah stabil. Biasanya pemberian mulsa jerami setinggi 3 cm. Masalah penyediaan mulsa terbatas pada daerah yang banyak menanam padi. Juga penggunaan jerami padi hanya dapat dilakukan untuk satu kali pakai dan tidak bisa dipakai berulang.

Pada budidaya tanaman kentang sering diterapkan penggunaan mulsa anorganik seperti mulsa plastik hitam perak, mulsa plastik hitam, transparan atau mulsa plastik berwarna lain. Mulsa plastik hitam perak memantulkan cahaya dan dapat memantulkan kembali sebagian Cahaya yang diserap sehingga mengurangi serangan kutu daun (aphid) pada tanaman kentang. Menurut Doring *et al.* (2006) mulsa dapat mencegah radiasi matahari langsung. Penggunaan mulsa plastik juga dapat mengurangi perawatan dan biaya penyiangan dan mengurangi erosi atau kerusakan permukaan tanah.

Bharati *et al* (2020) juga melaporkan peningkatan kemunculan tanaman tinggi dan jumlah batang kentang bertambah dengan mulsa plastik hitam. Aplikasi mulsa dapat memberikan banyak keuntungan bagi pertumbuhan tanaman. Penggunaan mulsa di area permukaan tanah memiliki beberapa keuntungan yaitu memperbaiki suhu tanah, mencegah curah hujan, dan paparan langsung cahaya matahari dengan intensitas cahaya tinggi, menghambat evaporasi dan serta mengurangi pertumbuhan gulma.

Haque *et al.* (2018) melaporkan bahwa mulsa plastik mempunyai efek luar biasa dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman pada tanah salin dimana umumnya pertumbuhan tanaman sangat buruk. Mulsa plastik berpotensi mengurangi salinitas tanah dengan mengurangi hilangnya kelembaban dari tanah melalui penguapan. Ini meningkatkan suhu tanah dan mengurangi konduktivitas listrik tanah. Mulsa plastik

sangat efektif mengurangi kelebihan ketersediaan belerang di dalam tanah. Aplikasi isolat rhizobakteri indian menghasilkan diameter umbi yang sama. Diasumsikan setiap bakteri mempunyai peran berbeda dalam meningkatkan pertumbuhan umbi seperti diameter umbi Menurut Gil *et al.* (2000), peningkatan pertumbuhan tanaman bergantung pada spesies bakteri yang terlibat dalam kolonisasi akar tanaman.

Penggunaan mulsa plastik hitam perak mampu meningkatkan tinggi tanaman sebesar 10,24 cm umur 14 HST, di umur 42 HST dan 56 HST kentang tanpa diberi mulsa mempunyai tinggi tanaman tertinggi berturut-turut sebesar 73,80 cm dan 136,15 cm. Produksi umbi per tanaman serta produksi umbi per plot dan per hektar diperoleh paling banyak pada perlakuan yang tidak menggunakan mulsa PHP yaitu berturut-turut sebesar 18,65 g, 582,45 g, 13,74 kg dan 6,55 ton/ha (Rosdiana *et al.*, 2023).

Lapisan berwarna perak pada jenis mulsa MPHP (mulsa plastik hitam perak) dapat memantulkan cahaya matahari, dan dapat juga menjaga kelembaban tanah. Penggunaan mulsa MPHP efektif dalam menurunkan suhu tanah di siang hari dibandingkan dengan tanpa penggunaan mulsa serta efektif dalam mempertahankan kelembaban tanah sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Nugraha *et al.*, 2014).

Penggunaan perak hitam mulsa plastik pada tanaman bawang merah mengakibatkan tinggi tanaman terbaik, jumlah daun, anakan, dan diameter umbi per sampel (Fauziah *et al.*, 2016). Bharati *et al.* (2020) juga melaporkan peningkatan kemunculan tanaman tinggi dan jumlah batang kentang bertambah dengan mulsa plastik hitam. Penggunaan mulsa plastik pada tanaman kentang (Gambar 16).



Gambar 16. Penanaman kentang dengan mulsa hitam perak  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Penggunaan mulsa berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman kentang, dimana mulsa plastik hitam perak (MPHP) berbeda dengan mulsa plastik hitam (MPH). Jumlah daun tanaman kentang lebih banyak pada mulsa MPHP dari mulsa MPH. Datanya dapat kita lihat pada Tabel 10 (Tio, 2021).

Tabel 10. Jumlah daun tanaman kentang pada beberapa jenis mulsa dan konsentrasi chitosan

| Jenis mulsa | Konsentrasi chitosan (ml/l air) |         |         |         | Rata - rata |
|-------------|---------------------------------|---------|---------|---------|-------------|
|             | 0                               | 3       | 5       | 7       |             |
| MPHP        | 56,00                           | 57,50   | 51,25   | 51,08   | 53,95 a     |
| MPH         | 46,66                           | 45,66   | 44,14   | 45,16   | 48,12 b     |
| Rata-rata   | 51,33 A                         | 51,58 A | 47,70 B | 48,12 B |             |

## V. Pupuk organik

Rendahnya hasil panen dapat disebabkan oleh banyak faktor antara lain penggunaan pupuk anorganik yang terus menerus dapat menimbulkan dampak buruk terhadap lahan kentang dengan berkurang tingkat produktivitas akan menurun. Dengan menggunakan pupuk anorganik, tanah akan lebih cepat mengeras, daya simpan air berkurang, cepat asam, dan pada akhirnya produktivitas tanaman yang ditanam pada lahan tersebut akan menurun. Salah satu cara yang dapat meningkatkan produktivitas pada lahan tersebut adalah dengan pemberian pupuk organik. Pupuk organik yang dapat digunakan pada budidaya tanaman adalah berbentuk padat dan cair yang disebut dengan pupuk organik cair (POC).

Saat sekarang ini penggunaan pupuk anorganik sudah melebihi dosis kebutuhan yang seharusnya diberikan. Kebanyakan petani menggunakan pupuk anorganik/kimia secara berlebihan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pupuk maka perlu dicari alternatif penggunaan pupuk, selain pupuk anorganik juga dibutuhkan pupuk organik karena diketahui ramah terhadap lingkungan. Masih banyak pertimbangan yang dapat dijadikan alasan utama yaitu harga pupuk anorganik sangat mahal namun pemerintah sudah tidak menyediakan pupuk subsidi sedangkan ketersediaan bahan baku pupuk organik sangat melimpah.

Bahan organik merupakan bahan yang berasal dari jaringan tanaman atau hewan yang sudah mati atau masih hidup dan mengalami proses dekomposisi secara berkelanjutan. Pengaplikasian pupuk organik pada tanah mineral mampu meningkatkan keragaman hayati tanah (Maharani, 2024). Aplikasi bahan organik berupa pupuk organik akan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Penggunaan pupuk organik akan menggemburkan tanah, menyumbangkan hara bagi tanaman dan meningkatkan populasi, jenis dan aktivitas mikroorganisme tanah.

Pupuk anorganik lebih mudah diserap oleh akar tanaman, tetapi pemakaian yang berlebihan akan berakibat kurang baik terhadap pertumbuhan tanaman. Pupuk organik pabrikan kandungannya hampir sama dengan pupuk kandang kambing dan kulit kopi karena memiliki bahan dasar yang hampir sama yaitu dari limbah hewan. Menurut Pertami *et al.*, (2022), pupuk kotoran hewan, kompos, dan pupuk organik lainnya mampu memperbaiki tekstur tanah.

Pupuk kandang sering digunakan dalam budidaya tanaman kentang. Pupuk kandang ayam biasa diberikan 10 – 20 ton pada tanaman kentang. Penelitian Tireska (2014) menunjukkan pertumbuhan dan hasil baik pada varietas Cipanas dibanding granola. Varietas Cipanas, tingginya 44,14, cm, jumlah cabang per tanaman 3,93 buah, jumlah umbi per tanaman 10,4 umbi, dan bobot umbi per tanaman 632,78 g.

Menurut Shabrina (2019), bobot umbi kentang yang menggunakan pupuk NPK 16:16:16 dosis 600 kg/ha dan pupuk kandang ayam dosis 5 ton/ha nyata meningkat sebesar 34,39%, dibandingkan dengan penggunaan NPK. Pupuk NPK 16:16:16 dosis 600 kg/ha tanpa dicampur dengan pupuk kandang ayam. Pupuk guano merupakan salah satu jenis pupuk organik yang berasal dari kotoran kelelawar. Unsurnya kandungan N, P, K pupuk guano lebih tinggi yaitu lebih tinggi yaitu 8-13% N, 5-12% P, dan 1,5-2% K, dibandingkan kotoran sapi pupuk kandang yaitu 1,23% N, 0,55% P, 0,69% K dan kotoran ayam yaitu 3,77% N, 1,89% P dan 1,76%K (Suwarno, 2007). Penggunaan pupuk Guano bisa mengurangi penggunaan pupuk N, P dan K. (Wahyudin *et al.*, 2017).

Pupuk guano banyak mengandung zat penting unsur hara yaitu : 8-13% N; 5-12%P; 1,5-2%K; 7,5-11% Ca; 0,5-1% Mg; dan 2-3,5% S (Lingga,

2004). Menurut Samijan (2008) untuk mengukur kegunaannya guano untuk tanaman pangan 1 - 2 t ha<sup>-1</sup>, untuk tanaman sayuran bisa 5 - 10 t ha<sup>-1</sup> dan untuk tanaman perkebunan 5 - 10 g per tanaman. Pemberian pupuk guano berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang. Penggunaan pupuk guano 3 ton/ha menghasilkan memberikan jumlah cabang dan jumlah umbi kentang lebih pada sistem tanam zig zag. Dosis pupuk guano 3 ton/ha memberikan bobot umbi per tanaman, per petak, per hektar serta diameter umbi terbesar tanaman kentang (Sari, 2019). Wahyuni *et al.* (2021) menyatakan pemberian pupuk guano berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang. Pemberian pupuk guano 9 ton/ha memberikan pengaruh terbaik untuk jumlah umbi dan diameter umbi. Data diameter umbi disajikan pada Tabel 11.

Kascing diketahui juga bisa memperbaiki tanah dari segi kimia, biologi dan tanah. Pupuk kascing mengandung bahan organik 0,21%, dan unsur hara seperti N sebesar 0,63%, 0,35% Posphor, 0,2% Kalium, 0,23% Calcium, 0,003% Mangan, 0,26% Magnesium, 17,58% Tembaga, 0,007% Zinc, 0,79% besi, 14,48% Molibdenum, 35,80% KTK, jumlah air tersedia 41,23% dan zat organik yang memiliki struktur molekul kompleks dengan berat molekul tinggi 13,88% (Soares & Purwaningsih, 2016).

Tabel 11. Diameter umbi terbesar pada beberapa dosis pupuk guano dan tipe mulsa

| Dosis Pupuk Guano | Tipe Mulsa          |               |             |
|-------------------|---------------------|---------------|-------------|
|                   | Plastik Hitam Perak | Plastik Hitam | Rata - rata |
| 0 ton/ha          | 33,30               | 34,98         | 34,14 C     |
| 3 ton/ha          | 36,89               | 37,52         | 37,20 AB    |
| 6 ton/ha          | 35,06               | 37,26         | 36,16 B     |
| 9 ton/ha          | 37,38               | 39,73         | 38,55 A     |
| Rata - rata       | 35,65 b             | 37,37 a       |             |

Keterangan : Angka - angka pada baris yang sama yang diikuti oleh huruf kecil yang sama dan kolom yang diikuti oleh huruf besar yang sama berbeda nyata menurut uji DNMR 5 %

Terjadi interaksi pemberian dosis pupuk kandang ayam dan NPK (16:16:16) terhadap bobot umbi pertanaman, yaitu pada kombinasi perlakuan dosis pupuk kandang ayam 15 ton/ha dan dosis

NPK (16:16:16) 400 kg/ha. Pengaruh mandiri perlakuan pemberian dosis pupuk kandang ayam 15 ton/ha memberikan pengaruh paling baik terhadap tinggi tanaman, jumlah batang, jumlah umbi pertanaman, bobot umbi pertanaman dan bobot umbi per petak. Sedangkan pengaruh mandiri perlakuan pemberian dosis NPK (16:16:16) 400 kg/ha memberikan pengaruh paling baik terhadap tinggi tanaman, jumlah batang, jumlah umbi pertanaman, bobot umbi pertanaman dan bobot umbi per petak (Minangsih, 2022).

Penggunaan chitosan terhadap jumlah daun sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan, perkembangan terhadap hama dan penyakit. Pupuk Fitosan yang mengandung senyawa chitosan yang berperan sebagai aktifator, regulator, simulator, memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, memobilisasi dan meningkatkan ketersediaan unsur hara dan meningkatkan laju fotosintesis dan distribusi fotosintat. Disamping itu sebagai growht promotor, oligo chitosan juga dapat berfungsi sebagai pengendali dari bakteri dan jamur (Anggara *et al.*, 2016).

Penggunaan pupuk organik cair yang mengandung mikroorganisme streptomycetes dengan dosis 25 ml.l<sup>-1</sup> mampu menghasilkan pertumbuhan yang optimal baik pada parameter pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah batang. Penggunaan pupuk organik cair mampu menghasilkan produksi rata-rata bobot segar umbi sebesar 725,77 g dengan rata-rata jumlah umbi sebanyak 3,75 buah. Bila dikonversi ke hasil produksi per hektar didapatkan hasil 34,56 ton.ha<sup>-1</sup> hal ini diatas rata-rata total produksi kentang granola dataran medium secara umum yang hanya 20 ton.ha<sup>-1</sup> (Karamina dan Fikrinda, 2016).

## **VI. Pengendalian hama dan penyakit**

Salah satu faktor penghambat produksi tanaman kentang adalah organisme pengganggu tanaman (OPT). Organisme pengganggu tanaman adalah setiap organisme yang dapat mengganggu pertumbuhan dan atau perkembangan tanaman sehingga tanaman menjadi rusak, pertumbuhannya terhambat dan mati. Hama dan penyakit yang menyerang tanaman kentang selama pertumbuhan sangat banyak. Sastrahidayat (2011) menyatakan tanaman kentang memiliki hama 266 dan penyakit terdiri dari 23 virus, 38 jamur, 6 bakteri, 2 mikoplasma, 1 viroid, 68 nematoda dan 120 serangga. Dengan

banyaknya hama dan penyakit yang mengganggu pertumbuhan dan hasil tanaman kentang akan menyebabkan penurunan pertumbuhan dan hasil sehingga hasil yang diperoleh menjadi rendah.

Hama dan penyakit yang menyerang tanaman kentang meliputi: *Myzus persicae*, *Agrotis ipsilon*, *Pthorimaea operculella*, *Spodoptera exigua*, hawar daun *Phytophthora*, Layu *Fusarium*, layu bakteri, Potato Leaf Roll Virus, dan Virus Mosaic. Ulat penggerek daun atau umbi menyerang tanaman kentang. Hama ini tersebar luas di daerah beriklim hangat dan kering. Ciri-ciri: larva berwarna putih kelabu dan kepalanya berwarna coklat tua, pupa menempel pada bagian luar kentang. Gejalanya sebagai berikut: larva merusak atau memakan daun kentang di lahan dan umbi kentang di dalam gudang. Daun berwarna merah tua dan terdapat jalinan seperti benang yang membungkus ulat kecil berwarna abu, dan pengendalian dengan pemanfaatan agens hayati *Bacillus thuringiensis* atau *Baculovirus* yang terdapat dalam biopestisida (Aditya *et al.*, 2015).

Ulat grayak (*Spodoptera litura*) Ulat Grayak, menyerang secara bergerombol, menyerang daun, batang muda. Gejala: Daun berlubang-lubang dan pertumbuhan terhambat. Pengendalian : menjaga kebersihan lahan (Reni, 2019) atau penyiangan gulma dilakukan menjelang pemupukan susulan, selanjutnya diulang setiap 2 minggu) (Setyo, 2020). Penggunaan mulsa plastik hitam perak dapat memutus siklus hidup hama. Ulat grayak tidak dapat berkepompong di dalam tanah di sekitar tanaman karena terhalang oleh mulsa plastik tersebut.

Penyakit busuk daun Penyebab: *Phytophthora infestans*. Gejalanya sebagai berikut: serangan mulai saat tumbuh daun dengan letak serangan pada bawah daun lalu merambat ke atas daun yang lebih muda dan batang. Terdapat bercak kebasah-basahan bertepi tidak teratur lalu melebar hingga membentuk daerah nekrotik coklat hingga tanaman mati. Timbul bercak-bercak kecil berwarna hijau kelabu dan agak basah hingga warnanya berubah menjadi coklat sampai hitam dengan bagian tepi berwarna putih yang merupakan sporangium dan daun membusuk/mati. (Kristiyanti, 2010).

Layu Bakteri (*Pseudomonas solanacearum*) Penyebab: Bakteri *Pseudomonas solanacearum*. Gejala: gejala muncul sejak umur tanaman lebih dari satu bulan, diawali layunya pucuk daun dan menyebar pada



bagian tanaman lainnya. Berkas pembuluh pada pangkal batang berwarna coklat dan bila ditekan akan keluar lendir berwarna abu-abu keruh. Saat penyakit sampai pada umbi dapat menimbulkan gejala bercak coklat sampai hitam pada ujungnya. Layunya tanaman bersifat permanen hingga berakibat pada kematian tanaman. Beberapa daun muda pada pucuk tanaman layu dan daun tua, daun bagian bawah menguning (Aditya *et al.*, 2015).

Serangan penyakit hawar daun yang disebabkan oleh patogen *Phytophthora infestans* merupakan salah satu faktor utama penyebab penurunan produksi kentang. Patogen *P. infestans* dapat berkembang dengan cepat pada suhu 18-21°C dengan kelembapan udara (RH) di atas 80% dan umumnya timbul setelah umur tanaman mencapai 5-6 minggu (Widitya *et al.*, 2018).

Penyakit hawar daun dapat menyerang daun dan batang tanaman kentang pada masa pertumbuhan tanaman (Agrios, 2005; Lal *et al.*, 2018). Serangan ini dapat menurunkan produksi kentang berkisar antara 10-100% (Madiyanto, Ekananda dan Gunarto, 2014). Oleh karena itu, diperlukan tindakan untuk menentukan tingkat penyebaran serangan agar nantinya dapat diketahui tindakan pengendalian yang akan meningkatkan produksi. Produktivitas kentang dipengaruhi oleh varietas atau kultivar Thapa *et al.* (2022).

Pada cuaca lembap, bercak dapat muncul di mana saja pada daun, membesar dengan cepat, berubah menjadi nekrotik, dan menghitam, membunuh seluruh daun seketika (Lal *et al.*, 2018). Pada kondisi yang mendukung perkembangan penyakit, *P. infestans* dapat menghasilkan sporangia dan sporangiofor pada permukaan jaringan tanaman yang terinfeksi, yang ditunjukkan dengan adanya pertumbuhan seperti kapas berwarna keputihan pada bagian bawah daun. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman inang mempengaruhi perkembangan penyakit hawar daun. Tanaman muda sangat rentan terhadap penyakit hawar daun, sedangkan tanaman usia paruh baya lebih tahan dibandingkan tanaman muda atau tua (Arora, Sharma dan Singh, 2014).

Pengendalian hama dan penyakit dapat dilakukan dengan secara terpadu dan ramah lingkungan. Dengan semakin kompleksnya permasalahan organisme pengganggu tanaman dan efek negatif yang terjadi khususnya pada lingkungan dan gangguan kesehatan pada

manusia maka upaya pengendalian organisme pengganggu tanaman secara ramah lingkungan menjadi suatu hal yang tidak boleh ditunda. Pemerintah sejak tahun 1986 (Inpres No.3 tahun 1986) telah mencanangkan sistem Pengendalian Hama Terpadu (PHT) sebagai suatu upaya pengendalian OPT secara ramah lingkungan untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil panen dengan mendasarkan pada aspek ekologi dan ekonomi (Jamal, 2020). PHT adalah suatu cara pendekatan atau cara berfikir tentang pengendalian hama (organisme pengganggu tanaman) memadukan beberapa metode yang kompatibel yang didasarkan pada pertimbangan ekologi dan efisiensi ekonomi dalam rangka pengelolaan agroekosistem yang berwawasan lingkungan yang terlanjutkan (Abadi, 2005 ; Untung, 2006).

## **VII. Panen dan Pasca Panen**

Umur panen kentang kentang berkisar 90 – 180 hari, tergantung varietas tanamannya. Pada varietas tanaman kentang yang genjah umur panennya adalah 90 – 120 hari, varietas medium 120 – 150 hari dan varietas dalam 180 hari. Umur panen sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim setempat.

Cara memanen umbi kentang sangat sederhana dan mudah dilakukan, yang tidak merusak dan melukai umbi. Umbi yang rusak mudah terinfeksi patogen dan daya simpan pendek. Untuk mencegah kerusakan mekanis saat panen, hal yang perlu diperhatikan adalah saat pembongkaran umbi dari dalam tanah. Sebaiknya pembongkaran umbi dilakukan dengan garpu atau cangkul dengan cara mencangkul tanah disekitar umbi, lalu mengangkat sehingga semua umbi keluar dari tanah. Setelah itu umbi yang telah dibongkar dikumpulkan pada tempat yang teduh. Di negara – negara maju panen kentang biasanya dilakukan dengan mesin.

Panen umbi kentang dilakukan apabila tanaman kentang telah memiliki ciri – ciri daun dan batang menunjukkan warna kekuningan dan kering, kulit umbi tidak mudah mengelupas apabila digosok dengan jari. Panen umbi dilakukan pada pagi hari yang dimulai dengan memangkas batang kentang dengan pisau kemudian dibongkar secara perlahan dengan cangkul agar tidak rusak. Selanjutnya umbi

dikumpulkan ke dalam wadah keranjang untuk memudahkan transportasi, pengemasan dan penyimpanan. (Sari, 2019).

Kentang dapat dipanen dipanen berdasarkan deskripsi varietas adalah pada umur 110 – 115 hari setelah tanam. Pemanenan kentang sebaiknya dilakukan pada keadaan cuaca cerah . Umbi dibiarkan di atas permukaan tanah beberapa saat supaya mendapatkan sinar matahari dan kering, kemudian baru diangkat, dikumpulkan dalam wadah dan dibawa ke tempat pengumpulan (Rukmana, 2022b).

Penangan pasca panen kentang dengan tahapan sebagai berikut: pembersihan, sortasi, grading, penyimpanan dan pengemasan. Umbi yang dibongkar dari dalam tanah kotor ditemplei tanah maka perlu dibersihkan. Pembersihan umbi sangat penting untuk memudahkan penanganan selanjutnya. Selanjutnya umbi yang telah dibersihkan disortasi dan digrading. Pemisahan (sortasi ) dilakukan antara umbi yang baik dan sehat dengan umbi yang cacat dan terserang penyakit. Kegiatan ini untuk mencegah penularan penyakit dari umbi yang ke umbi yang sehat.

Biasanya umbi kentang setelah dipanen masih dalam kondisi yang kotor. Pada umbi masih terdapat sisa-sisa tanah yang menempel dan juga sisa-sisa akar kecil yang belum dipotong. Kotoran-kotoran yang menempel pada umbi kentang dibersihkan. Cara membersihkan dapat dilakukan dengan cara mencuci umbi pada air yang mengalir. Sisa-sisa akar kecil yang terdapat pada umbi dilakukan pemangkasan menggunakan pisau atau gunting yang tajam. Selanjutnya, dilakukan pengeringan setelah umbi kentang selesai dibersihkan. Dengan demikian umur simpan maupun mutu dari umbi kentang akan lebih terjamin untuk sampai ke tangan konsumen (Tambing *et al.*, 2020)

Agar didapatkan mutu yang berkualitas dan seragam ukurannya, maka perlu dilakukan sortasi pada umbi kentang. Sortasi adalah pemisahan produk yang sudah bersih menjadi bermacam-macam mutu atas dasar sifat-sifat fisik. Kegiatan sortasi dilakukan dengan cara memisahkan umbi kentang yang baik dan sehat. Umbi kentang yang baik dan sehat, yaitu umbi yang bentuknya bagus, tidak cacat serta bebas penyakit. Teknik penyimpanan yang benar berperan penting dalam mencegah kerusakan selepas panen. Jenis kemasan yang digunakan harus bisa untuk melindungi dan mempertahankan mutu dari umbi

kentang. Kemasan yang biasanya digunakan, yaitu keranjang plastik dan karung karena terbuat dari bahan yang aman dan tidak melukai umbi

Setelah sortasi dilakukan pengelompokan terhadap umbi kentang yang sehat menurut ukuran besar atau beratnya, varietas dan tingkat kerusakan umbi. Kegiatan pengelompokan ke dalam kelompok dengan kelas mutu : kelas I, kelas II, kelas III dan kelas IV. Menurut Setiadi (1993) kentang varietas fresh dapat dikelompokkan ke dalam 4 kelas mutu ukuran beratnya :

Kelas Mutu I : Berat antara 250 – 500 g

Kelas Mutu II : Berat antara 100 – 250 g

Kelas Mutu III : Berat antara 60 – 100 g

Kelas mutu IV : Berat antara 30 – 60 g

Tanaman kentang dapat dipanen setelah berumur 3 – 4 bulan tergantung varietasnya. Varietas Granola dipanen pada umur 100 – 115 hari. Waktu yang paling baik untuk memanen kentang adalah di pagi hari keadaan cuaca terang dengan yaitu membongkar guludan dengan menggunakan cangkul, lakukan pembongkaran dari samping guludan, dikumpulkan dan dipisahkan umbi busuk dan yang baik. Umbi yang baik dimasukkan dalam wadah (Tambing *et al.*, 2020).

Perlakuan penyimpanan yang baik pada kentang segar setelah dipanen sebaiknya dilakukan untuk menghindari pembusukan. Cahaya merupakan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kondisi dan kualitas umbi kentang baik secara fisik maupun kimiawi sehingga berpengaruh terhadap viabilitas umbi kentang. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi dan analisis perubahan mutu umbi kentang yang ditanam pada dua ketinggian yang berbeda.

Penanganan pasca panen kentang dilakukan setelah panen hingga pemasaran produk kentang. Tahap pasca panen yang dilakukan sebagai berikut: Pembersihan umbi kentang yang telah selesai dipanen biasanya masih dalam kondisi yang kotor dapat dilakukan dengan cara mencuci umbi pada air yang mengalir. Selanjutnya, setelah umbi kentang selesai dibersihkan lakukan pengeringan. Agar mendapatkan mutu yang berkualitas dan seragam pada ukurannya, perlu dilakukan pemilihan (sortasi) pada umbi kentang. Sortasi adalah pemisahan produk yang sudah bersih menjadi bermacam-macam mutu atas dasar sifat-sifat fisik. Sortasi dilakukan dengan cara memisahkan umbi kentang yang baik dan

sehat. Umbi kentang yang baik dan sehat, yaitu umbi yang bentuknya bagus, tidak cacat serta bebas penyakit.

Kemasan yang digunakan harus mampu melindungi dan menjaga kualitas umbi kentang. Kemasan yang biasanya digunakan, yaitu keranjang plastik dan karung karena terbuat dari bahan yang aman dan tidak melukai umbi. Produk olahan pangan yang berkualitas diperlukan penyediaan bahan baku dengan kualitas fisik dan kandungan gizi yang baik. Penanganan pascapanen kentang diperlukan untuk menjaga kualitas kentang yang baik selama penyimpanan. Kentang yang telah dipanen memiliki tingkat respirasi dan produksi etilen yang sangat rendah, hal ini menunjukkan bahwa kentang memiliki umur simpan yang panjang. Namun seiring dengan waktu penyimpanan, kentang dapat mengalami kerusakan baik secara fisik, kimiawi maupun mikrobiologis. Kerusakan fisik pada kentang sangat berkaitan dengan suhu dan cahaya. Kerusakan kimiawi disebabkan oleh berkurangnya komposisi kimiawi, sedangkan kerusakan mikrobiologis akibat serangan hama dan penyakit biasanya mengikuti kerusakan fisik dan kimiawi pada umbi kentang yang terserang (Broto et. al., 2017).

Teknik penyimpanan yang benar berperan penting dalam mencegah kerusakan setelah panen. Sering kali umbi kentang mengalami, penyusutan, busuk, berkerut-kerut dan mengering secara lebih cepat daripada biasanya. Lama Penyimpanan dan ruang penyimpanan berpengaruh terhadap respon kadar air, kadar pati, total padatan terlarut, gula pereduksi, susut bobot, susut diameter, kekerasan. Pertumbuhan tunas terjadi pada penyimpanan minggu ke-8. Lama penyimpanan meningkatkan susut bobot, susut diameter, gula pereduksi, total padatan terlarut tetapi menurunkan kadar air, kadar pati dan kekerasan. Penanaman pada ketinggian yang berbeda mempengaruhi respon terhadap kadar air, kadar pati, total padatan terlarut, gula pereduksi, susut bobot, susut diameter, kekerasan (Rohima et.al, 2023).

Waktu penyimpanan yang cukup lama akan menyebabkan tingkat perombakan semakin besar yang memicu adanya perubahan struktur kepadatan sel. Besarnya perombakan dipengaruhi oleh respirasi dan transpirasi produk. Perubahan struktur kepadatan sel memberikan

pengaruh terhadap tingkat kekerasan umbi kentang (Purnomo *et.al.*, 2017).

## VIII. Penutup

Teknologi pengembangan kentang dengan menerapkan budidaya yang bersahabat dengan alam sekitarnya merupakan langkah maju dalam pengembangan kentang ramah lingkungan. Sentra – sentra produksi kentang diharapkan menerapkan sistem ini. Produk kentang yang banyak dan berkualitas tinggi akan memiliki nilai jual yang tinggi.

Banyak faktor yang mempengaruhi produksi kentang seperti pemupukan, aplikasi mulsa, penggunaan pupuk organik. Mulsa akan dapat mengendalikan gulma, hama dan penyakit. Mulsa yang digunakan adalah mulsa plastik dan mulsa organik. Mulsa organik disamping berfungsi sebagai mulsa, jika telah melapuk dapat berfungsi sebagai pupuk organik yang dapat menambah hara dan mengemburkan tanah.

Pupuk anorganik yang harga melejit akhir -akhir ini, juga merupakan suatu pembatas dalam budidaya tanaman kentang. Pemanfaatan pupuk organik sangat membantu budidaya dan usaha pengembangan kentang, karena bahan organik dapat diperoleh dari lokasi sekitar dan dapat mengemburkan tanah serta menyumbang hara juga.

## Referensi

- Abadi, A. L. (2005). Permasalahan dalam penerapan sistem pengendalian hama terpadu untuk pengelolaan penyakit tumbuhan di Indonesia. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar dalam Ilmu Penyakit Tumbuhan pada Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Adhitya T.D., Dianawati, M., Sinaga, A. (2015). Petunjuk teknis budidaya kentang, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Barat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Ahmed N.U., Mahmud N.U., Hossain A., Zaman A.U., Halder S.C. (2017). Performance of mulching on the yield and quality of potato. *International Journal of Natural and Social Sciences*. 4(2):07-13.

- Anggara, R., Sularno, S., & Junaidi, J. (2016). Pengaruh pemberian oligo kitosan terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung Srikandi Putih-1. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*, 1(2), 1-8.
- Arora, R., Sharma, S. and Singh, B.P. (2014). Late blight disease of potato and its management. *Potato Journal*, 41(1), 16-41
- BPS. 2024. Badan Pusat Statistik. BPS.go.id
- Bharati S., Joshi B., Dhakal R., Paneru S., Dhakal S., Joshi K. (2020). Effect of different mulching on yield and yield attributes of potato in Dadeldhura, Nepal. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*. 4(2):54-58.
- Broto, W., Setyabudi, D. A., Sunarmani, Qanytah, & Jamal, I. B. (2017). Teknologi Penyimpanan Umbi Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Var. GM-05 dengan Rekayasa Pencahayaan untuk Mempertahankan Kesegarannya. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 14(2), 116-124.
- Doring T., Heimbach U., Thieme T., Finckch M., Saucke H. (2006). Aspect of straw mulching in organic potatoes-I. Effects on microclimate, phytophthora infestans and rhizoctonia solani. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 58(3):73-78.
- Dwiyanti. 2005. Respon pengaturan ketebalan mulsa jerami padi dan jumlah pemberian air pada pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau. *Jurnal Agrivita*. 25(1):12-23
- Effendi, R. (2010). Teknik pemeliharaan tanaman hutan dengan mulsa organik. Prosiding Seminar Nasional MAPEKIXIII. Innaground Bali Beach Hotel, Sanur. Bali.
- Fauziah R., Susila A.D., Sulistyono. (2016). Cultivation of shallots (*Allium ascalonicum* L.) on dry land uses sprinkler irrigation at various volumes and frequencies. *Horticultural crops research and development center. J. Hort., Indonesia*. 7(1):1- 8. 13.
- Hadisoeganda, W. W., Asandhi, A. A., Duriat N., & Gunadi, D. (2009). Pengkajian Perbenihan Kentang di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur. Prosiding Dalam Mendukung Ketahanan Pangan, Perbaikan Nutrisi, Dan Kelestarian Lingkungan. Retrieved from
- Haque, M. A., Jahiruddin, M. and Clarke, D. (2018). Effect of plastic mulch on crop yield and land degradation in south coastal saline

- soils of Bangladesh. *Int. Asian J Agric & Biol.* 2019; Special Issue: 239-245. 245 Soil.Water. Conserv. Res. 6: 317-324
- Harsono. (2012). The effects of organic mulches on microclimate, chemical soil properties and performance of red chilli in vertisol soil in Sukohargo at dry season. *J. Hort. Indonesia* 3(1):35- 41. April 2012.
- Idawati, N. (2012). Petunjuk lengkap menanam kentang, : langkah mudah budidaya kentang dan kiat bisnis olahan kentang. Pustaka Baru Press, Yogyakarta, Indonesia.
- Jamal, E. (2020). Diskusi pestisida di Indonesia : industri, rantai pasok dan penggunaan. Pusat Perlindungan Varietas Tanaman dan Perijinan Tanaman. Kementerian Pertanian RI, Jakarta.
- Kamina, H., W. Fikrinda. (2016). Aplikasi pupuk organik cair pada tanaman kentang varietas granola di dataran medium. *Jurnal Kultivasi*, 15(3)
- Kusandriani, Y. (2014). Uji daya hasil dan kualitas delapan genotip kentang untuk industri keripik kentang nasional berbahan baku lokal. *Jurnal Hortikultura*, 24(4), 283-288. <https://doi.org/10.21082/jhort.v24n4.2014.p283-288>Lasmini SA,
- Wahyudi, I., Rosmini. (2018). Application of mulch and cow urine bioculture on growth and yield of shallots. *J. Hort. Indonesia.* 9(2):103-110.
- Kristyanti B.,.2010. Jenis hama dan penyakit pada tanaman kentang. Penyuluh Pertanian BPP Buntu Pepasan, Kabupaten Toraja Utara
- Lal, M., Sharma, S., Yadav, S., & Kumar, S. (2018). Management of late blight of potato. Potato-From Incas to All Over the World. <https://doi.org/10.5772/in techopen.72472>
- Lehar, L., Wardiyati, T., Moch Dawam, M. and Suryanto, A. (2017). Selection of potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in midlands and the effect of using biological agents. *International Journal of Biosciences* 9(3): 129-138. <http://dx.doi.org/10.12692/i j b/9.3. 129-138>
- Lingga P, Marsono. (2004). *Petunjuk penggunaan pupuk*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Maharani, T. (2024). Usaha peningkatan kesehatan tanah dengan penggunaan pupuk organik dalam bingkai pertanian



- berkelanjutan dalam Pertanian Berkelanjutan. UIR Press. Pekanbaru. 103 – 115.
- Mahmood, M., Farroq, K., Hussain, A., Sher, R. (2002). Effect of mulching on growth and yield of potato crop. *Asian J. Of Plant Sci*, 1(2),122-133
- Madiyanto, R., Ekananda, S., & Gunarto, A. (2014). Uji resistensi beberapa klon kentang terhadap penyakit hawar daun (Phytophthora infestans). *J. Sains Dan Teknologi Indonesia*, 16(1).
- Mahmood, M., Farroq, K., Hussain, A., Sher, R. (2002). Effect of mulching on growth and yield of potato crop. *Asian J. Of Plant Sci*, 1(2),122-133.
- Mulyono, D., Syah, M.J.A., Suyekti, A.I., dan Hilman, Y. (2017). Kelas benih kentang (*Solanum tuberosum* L.) berdasarkan pertumbuhan, produksi dan mutu produk. *J. Hort.* 27(2) : 209 – 216)
- Minangsih, D. M., Yudi, Y., Abdul, N. (2022). Pengaruh dosis pupuk kandang ayam dan NPK (16:16:16) terhadap pertumbuhan dan hasil tanam kentang (*Solanum tuberosum* L.) varietas granola. *Jurnal ilmiah pertanian agrotatanen* 4(2) : 17 - 26.
- Nugraha, M.W., Sumarni, T. dan Suryanto, A. (2014). Penggunaan ajir dan mulsa untuk meningkatkan produksi kentang (*Solanum tuberosum* L.) varietas Granola. *Jurnal Produksi Tanaman*, 2(8), 640-648.
- Nurhalisyah. (2008). Laju tanaman dan produksi kentang (*Solanum tuberosum* L.) varietas Granola pada pemberian pupuk organik kascing dan inokulasi mikoriza arbuskular. *Agrista* 12(3) : 277 – 283.
- Pertami, R.R.D., Eliyatiningih, E., Salim, A., & Basuki, B. (2022). Optimasi penggunaan lahan berdasarkan kelas kesesuaian lahan untuk pengembangan tanaman cabai merah di kabupaten Jember. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 9(1), 163–170. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2022.009.1.18>
- Purnomo, E., Widodo Agung Suedy, S., & Haryanti, S. (2017). Pengaruh cara dan waktu penyimpanan terhadap susut bobot, kadar glukosa dan kadar karotenoid umbi kentang konsumsi (*Solanum*

- tuberosum* L. Var Granola). *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 2(2), 107-113.
- Rohima, I., Marthia, E.N., Ikrawan, Y. (2023). Pengaruh lama penyimpanan dan cahaya terhadap mutu umbi kentang (*Solanum tuberosum* L.) kultivar medians yang ditanam pada dataran medium dan tinggi. *Agroscience* 13(2) : 108 – 123.
- Rosdiana, E, Eva, R., Rahayu, S., Ferdiansyah, M., Kartika, V.S. (2023). Aplikasi berbagai penambahan pupuk organik dan penggunaan mulsa terhadap produksi benih kentang varietas Granola Kembang. *Agroteknika* 6 (1): 23-34
- Rukmana, R. (2002a). *Usaha tani Kentang di dataran medium*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Rukmana, R. (2002b). *Usaha tani kentang sistem mulsa plastik*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Sastrahidayat, I.R. (2011). *Fitopatologi (ilmu penyakit tumbuhan)*. UB Press Malang
- Sultana, M.S., Bari, and Rabbani, M.G. (2001). Effect of seedling size and depth of planting on the growth and yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 4 (10): 1205-1208, 2001.
- Samijan. (2010). Guano fertilizer. Agricultural Research and Development Center. Bogor
- Sari, R. (2019). Pengaruh beberapa sistem tanam dan pupuk guano terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L). Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Andalas. 74 hal
- Setiadi, S. F.N. (1993). *Kentang, varietas dan pembudidayaan*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Shabrina, S. (2019). Aktivitas mikroorganisme tanah, pertumbuhan, dan produktivitas tanaman kentang pada berbagai dosis pupuk kandang dan pupuk NPK. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
- Soares, A., & Purwaningsih, O. (2016). Pengaruh pemberian pupuk kascing terhadap pertumbuhan dan hasil tiga varietas kedelai (*Glycine max* L. Merrill) di lahan pasir pantai. Retrieved from <http://repository.upy.ac.id/117/>
- Sumadi, B. (1997). *Usaha tani kentang*. Kanisius. Yogyakarta.

- Sumarni, N., Hidayat, A., Sumarti, E. (2006). Pengaruh tanaman penutup tanah dan mulsa organik terhadap produksi cabai dan erosi tanah. *J. Hort.* 16:197-201.
- Suwarno, Idris, K. (2007). Potensi dan kegunaan penggunaan pupuk guano secara langsung sebagai pupuk di Indonesia. *Jurnal Tanah dan Lingkungan.* 9(1):37-43.
- Tambing, E., Sitti, R.B., Saida, S. (2020). Sistem penanganan pascapanen dan efisiensi pemasaran usahatani kentang (*Solanum tuberosum* L) di kelurahan pattapang, kecamatan tinggimoncong, kabupaten gowa. *Wiratani: Jurnal Ilmiah Agribisnis,* 3(1) : 94 -110
- Thapa, S., Rokaya, P. R., Parajuli, S., Pokhrel, B., and Aryal, Y. (2022). Evaluation of performance of different varieties of Potato (*Solanum tuberosum* L.) in bajhang, nepal. *International Journal of Applied Biology,* 6(2), 2022. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/ijoab/article/view/21224/9091>
- Tireska, M.Y. (2014). Pengaruh pemberian berbagai dosis pupuk kandang ayam terhadap pertumbuhan dan hasil dua varitas tanaman kentang. *Skripsi* Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Padang. 45 hal.
- Tio, N. (2021). Pengaruh pemakaian mulsa dan pemberian pupuk chitosan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) *Skripsi.* Fakultas Pertanian Universitas Andalas.53 hal.
- Triyanto. R. (2000). Pembuatan dan uji mulsa organik lembaran dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (Skripsi). Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, UB, Malang.
- Untung, K. (2006). *Pengantar pengelolaan hama terpadu (edisi kedua).* Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Utomo, R.R. Agus, S., dan Sudiarmo. (2013). Penggunaan mulsa dan umbi bibit (G4) pada tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) varietas Granola. *Jurnal Produksi Tanama,* 1(1).
- Wahyudin A., Wicaksono F.Y, Irwan A.W., Ruminta, Fitriani R. 2017. Respons tanaman kedelai (*Glycine max*) varietas Wilis akibat pemberian berbagai dosis pupuk N, P, K, dan pupuk guano pada tanah inceptisol jatinangor. *Jurnal Kultivasi.*16(2):333-339.

- Wahyuni, A.N., Herawati, N., Warnita, W. (2021). Application of guano fertilizer and types of mulch on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Asian Plant Research Journal* 7(2): 14-22.
- Warnita, (2007). Pertumbuhan dan hasil delapan genotype kentang di Sumatera Barat. *Akta Agrosia. J.* 10(1): 94-99
- Warnita. (2024). *Teknologi budidaya tanaman kentang ramah lingkungan dalam Pertanian berkelanjutan*. UIR Press Pekanbaru. Hal 27 - 42.
- Widitya, L. M., Sudarto, S., Putra, A. N., & Okiyanto, D. (2018). Estimasi kandungan unsur hara kalium dan magnesium pada tanaman nanas (*Ananas comosus* (L) Merr.) menggunakan unmanned aerial vehicle (uav) di PT. Great Giant Pineapple. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 979-989.

## Teknologi Peningkatan Produksi Padi Gogo Melalui Pemilihan Varietas dan Modifikasi Iklim Mikro



Bagian ini membahas tentang tantangan dan potensi peningkatan produksi padi nasional melalui pengembangan padi gogo yang saat ini masih rendah kontribusinya. Kenapa padi gogo menjadi salah satu solusi potensial terhadap permasalahan *levelling off* produksi padi sawah dibahas dalam tulisan ini. **P.K. Dewi Hayati** menawarkan berbagai varietas yang dapat dipilih, termasuk juga varietas lokal Sumatra Barat, sebagai salah satu teknologi penting apalagi ketika pembudidayaan dilakukan sebagai tanaman sela di lahan perkebunan muda. Teknologi modifikasi iklim mikro dengan memanfaatkan potensi lokal yang terbukti dapat meningkatkan produksi, juga menjadi bahasan.



# **Teknologi Peningkatan Produksi Padi Gogo Melalui Pemilihan Varietas dan Modifikasi Iklim Mikro**

**P.K. Dewi Hayati**

*Dosen bidang Pemuliaan Tanaman, pada Prodi Agroteknologi,  
Fakultas Pertanian Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Padi merupakan komoditas pangan strategis nasional yang memegang peranan vital dalam menjaga ketahanan pangan di Indonesia. Padi dengan produk utamanya beras, menjadi sumber pangan pokok bagi mayoritas penduduk. Kebutuhan beras yang tinggi menjadikan padi sebagai produk pertanian yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi serta berperan penting dalam berbagai aspek sosial dan politik nasional. Tidak hanya memainkan peran penting dalam perekonomian pedesaan dengan banyaknya petani yang menggantungkan hidup dari pertanian padi, produknya menjadi komoditas yang paling strategis untuk mencukupi kebutuhan gizi dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu keberlanjutan produksi padi sangat penting untuk memastikan ketersediaan pangan yang cukup bagi seluruh lapisan masyarakat Indonesia.

Padi gogo atau padi ladang, merupakan salah satu jenis padi yang berdasarkan agroekologinya dibudidayakan di lahan kering. Padi gogo tidak membutuhkan pengairan intensif dalam bentuk genangan air sebagaimana padi sawah selama periode perkembangan tertentu. Namun pertumbuhan dan perkembangan padi gogo bergantung pada curah hujan sehingga curah hujan yang cukup selama periode tanam sangat dibutuhkan untuk budidaya padi gogo.

Sebagai tanaman pangan penting pada wilayah tertentu di Indonesia, padi gogo dikenal karena kemampuan tumbuhnya di daerah dengan curah hujan yang rendah, daerah perbukitan ataupun dataran tinggi. Oleh karena itu panen padi gogo biasanya dilakukan hanya satu kali dalam setahun karena bergantung pada musim hujan. Karakteristik padi gogo lainnya adalah penggunaan teknik penanaman benih langsung atau *direct seeding* tanpa adanya persemaian sebagaimana pada padi sawah.

## II. Potensi dan Tantangan Pengembangan Padi Gogo

Tantangan dalam peningkatan produksi beras nasional adalah penurunan luas lahan sawah yang disebabkan terutama oleh alih fungsi menjadi lahan non-pertanian. Data BPS (2022) menunjukkan bahwa luas lahan sawah nasional pada 2016-2017 yaitu sebesar 8.19 juta ha. Luas lahan sawah ini dilaporkan terus berkurang setiap tahunnya hingga tahun 2019-2020 menjadi sebesar 7,46 juta hektar (BPS, 2024), menunjukkan terjadinya penurunan lahan sawah nasional secara signifikan. Penurunan lahan sawah juga terjadi di provinsi Sumatra Barat. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2015-2019 terjadi penurunan sekitar 30.000 ha (PUSDATIN, 2020). Penurunan luas lahan sawah ini mengindikasikan besarnya tantangan bagi usaha peningkatan produksi padi nasional.

Mengacu pada PUSDATIN (2024) produksi padi gogo selama 2013 – 2017 berkisar 3,63 – 3,78 juta ton, dengan luas tanam berkisar 1,08 – 1,17 juta ha. Dalam kurun waktu yang sama, produksi padi sawah adalah sebesar 64.86 – 77,36 juta ton dengan luas tanam berkisar 12,67 – 14,56 juta ha. Data ini menunjukkan bahwa kontribusi padi gogo terhadap produksi padi nasional baru mencapai 5 persen, dengan produktivitas sekitar 3 t/ha. Tingkat produktivitas padi gogo ini lebih rendah jika dibandingkan dengan produktivitas padi sawah yang mencapai 5 – 6 t/ha.

Kontribusi padi gogo terhadap produksi beras nasional mungkin masih relatif kecil dibandingkan dengan padi sawah, tetapi kontribusinya tetap signifikan. Kontribusi padi gogo tersebut menunjukkan potensi pengembangan padi gogo yang masih besar pada wilayah-wilayah yang tidak memungkinkan pembudidayaan padi sawah secara intensif dan mensyaratkan adanya akses terhadap irigasi. Budidaya padi gogo merupakan solusi alternatif untuk meningkatkan produksi padi nasional karena sulit tercapainya peningkatan produksi padi sawah (*levelling off*) akibat berbagai permasalahan seperti alih fungsi lahan, degradasi lahan, penurunan produktivitas lahan dan keterbatasan air akibat perubahan iklim global. Dengan demikian maka potensi lahan kering perlu lebih dioptimalkan karena potensinya yang besar dari sisi keluasan.



Luas lahan kering di Indonesia adalah 144,47 juta ha. Sekitar 82% dari total lahan kering tersebut merupakan lahan kering sub-optimal yang didominasi oleh lahan kering masam, yaitu sekitar 107,36 juta ha, sedangkan sekitar 10.75 juta ha merupakan lahan kering beriklim kering. Dari luasan tersebut, yang berpotensi untuk pengembangan pertanian untuk lahan kering masam adalah sekitar 62,64 juta ha, sedangkan untuk lahan kering beriklim kering adalah sekitar 7,76 juta ha (Balitbang Pertanian 2014).

Lahan kering masam merupakan lahan kering sub-optimal yang tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan, Jawa, dan Papua. Faktor pembatas utama untuk pemanfaatan tanah jenis ini adalah tingkat kesuburan tanah yang rendah akibat pH tanah yang tergolong masam (<5,5) yang berkaitan dengan tingginya kadar Al yang menyebabkan fiksasi unsur fosfat (P) sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman, kandungan kation basa dan KTK (Kapasitas Tukar Kation) juga rendah, kejenuhan basa <50% dan kandungan besi dan mangan yang tinggi. Ultisol merupakan ordo tanah yang mendominasi tanah kering masam selain Inceptisol, Entisol dan Oxisol. Dengan demikian curah hujan yang tinggi biasanya menjadi penanda lahan kering masam ini, sehingga erosi sering kali juga menjadi faktor pembatas. Produktivitas lahan kering masam yang rendah memerlukan input yang cukup tinggi agar tingkat kesuburan dan produktivitas lahan dapat ditingkatkan.

Lahan kering beriklim kering tersebar di Indonesia bagian timur seperti Nusa Tenggara, Bali, Sulawesi dan Maluku. Wilayah ini memiliki curah hujan rendah yaitu kurang dari 2000 mm/tahun dengan bulan basah hanya 3-4 bulan (Mulyani dan Sarwani, 2013), sehingga ketersediaan air menjadi faktor pembatas utama dari lahan kering iklim kering. Walaupun dari sisi luasan, lahan kering jenis ini jauh lebih sedikit dibandingkan dengan tanah kering masam, potensinya cukup besar karena tanah kering beriklim kering memiliki tingkat kesuburan tanah yang lebih baik. Tanah kering dengan ordo Inceptisol, Vertisol, Molisol dan Alfisol ini memiliki pH tanah >5,5, kejenuhan basa >50%, KTK sedang hingga tinggi.

Berbagai faktor pembatas yang ada dalam upaya pemanfaatan lahan kering di satu sisi dan potensi keluasannya di sisi yang lain, menawarkan peluang yang besar untuk peningkatan produksi padi

dengan penggunaan teknologi yang tepat. Budidaya dan pengembangan padi gogo dengan kemampuannya beradaptasi di lahan marginal, dapat menjadi solusi berkelanjutan, terutama jika disertai dengan pemilihan varietas yang tepat dan teknologi perbaikan lingkungan tumbuh yang efektif.

Perbaikan lingkungan tumbuh untuk budidaya padi gogo di lahan kering, tentu disesuaikan dengan kendala atau faktor pembatasnya. Faktor pembatas berupa kesuburan tanah yang rendah dan fitotoksitas karena tingginya kandungan Al atau Fe, secara umum dapat diatasi dengan ameliorasi tanah dengan bahan organik dan/atau kapur pertanian. Sudah cukup banyak hasil-hasil penelitian berkaitan dengan upaya peningkatan kesuburan tanah di lahan kering masam ini. Faktor pembatas berupa ketersediaan air yang penting untuk menjaga kelembaban tanah akan dibahas lebih lanjut pada bab selanjutnya.

Selain pemanfaatan lahan kering yang tersedia cukup luas di Indonesia, budidaya padi gogo dapat juga dilakukan pada lahan perkebunan dan hutan tanaman industri yang keluasannya di Indonesia mencapai 2 juta hektar per tahunnya (Toha *et al.*, 2009). Padi gogo dapat ditanam secara tumpang sari pada perkebunan seperti sawit dan karet yang baru tanam atau pada saat peremajaan. Penanaman padi gogo di sela-sela perkebunan kelapa sawit ataupun karet dapat dilakukan sampai kanopi tanaman pokok tersebut mencapai 50% (Sopandie *et al.*, 2003) atau sebelum tanaman pokok menghasilkan yaitu sebelum 3 tahun pada sawit atau 5 tahun pada karet.

### **III. Pemilihan Varietas Padi Gogo**

Padi merupakan salah satu tanaman yang mengalami domestikasi paling awal, menyebabkan padi memiliki berbagai *land race* (lanras) yang sebagai hasil adaptasi terhadap kondisi lingkungan yang beragam seperti iklim, altitude dan tanah dalam waktu yang sangat panjang. Seleksi yang dilakukan oleh petani terhadap berbagai lanras padi dengan sifat-sifat tertentu kemudian menghasilkan berbagai varietas lokal padi yang kita kenal sekarang (Syarif, Kasim & Hayati, 2024).

Berkaitan dengan agroekologi pembudidayaan padi yang mengelompokkan padi sawah dengan padi gogo, umumnya varietas padi gogo dapat dibudidayakan di lahan sawah, bahkan memberikan

hasil lebih baik dan tinggi. Potensi genetik padi tercapai pada kondisi optimum untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi, yaitu kondisi tergenangi. Namun tidak semua varietas padi yang biasa ditanam di lahan sawah, dapat dibudidayakan dengan hasil yang baik di lahan kering. Dengan demikian pemilihan varietas padi gogo menjadi salah satu kunci penting untuk keberhasilan pembudidayaan padi gogo.

Keragaman varietas lokal padi di Indonesia mencerminkan keragaman agroekologi yang ada sehingga mempengaruhi karakteristik varietas padi yang berkembang di wilayah tersebut. Setiap varietas lokal memiliki keunggulan genetik tertentu yang memungkinkan varietas tersebut bertahan hidup dalam kondisi lingkungan tertentu. Varietas lokal padi gogo umumnya memiliki karakteristik kemampuan untuk berkembang pada kondisi tanah kering.

Penanaman suatu varietas lokal padi gogo oleh petani tidak selalu disebabkan karena potensi hasil yang tinggi. Walaupun memiliki potensi hasil rendah, varietas lokal padi gogo masih tetap ditanam karena memiliki keunggulan lain yang membuatnya menarik bagi petani. Ada beberapa aspek yang menjadi pertimbangan petani dalam penanaman varietas lokal padi gogo yaitu berkaitan dengan aspek ekologi, ekonomi, dan sosial budaya.

Varietas lokal padi gogo umumnya ditanam di lahan kering yang berupa lahan tadah hujan, lahan dengan akses air yang terbatas seperti di perbukitan atau lahan dengan kondisi marginal lainnya seperti kemasaman tanah yang tinggi. Varietas lokal padi gogo telah beradaptasi secara genetik untuk bertahan dalam kondisi kekeringan, tanah yang kurang subur, atau tanpa irigasi. Dengan demikian varietas lokal tertentu menjadi pilihan yang paling sesuai karena kemampuannya bertahan hidup di kondisi non atau kurang ideal tersebut, berkebalikan dengan varietas padi yang lebih produktif, yang biasanya membutuhkan air dan pemeliharaan yang intensif sehingga sulit diterapkan di lahan kering.

Varietas lokal padi gogo seringkali memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap hama dan penyakit tertentu yang khas atau spesifik di daerah tempat mereka berkembang. Selain itu, varietas lokal padi gogo juga mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak biasa atau

ekstrim seperti suhu tinggi atau rendah, tanah dengan kadar hara rendah, kekurangan cahaya ataupun kondisi curah hujan yang fluktuatif.

Padi gogo lokal jelas membutuhkan input yang jauh lebih sedikit dibandingkan varietas unggul padi sawah, seperti pupuk dan pestisida, tentunya biaya pengadaan irigasi. Dengan biaya produksi yang rendah tersebut, petani masih tetap memperoleh keuntungan meskipun hasil panennya lebih sedikit. Ini akan menguntungkan bagi petani kecil yang memiliki keterbatasan akses terhadap input pertanian modern. Penanaman padi gogo lokal memberikan solusi ekonomi yang lebih berkelanjutan.

Varietas padi gogo lokal sering kali menjadi bagian dari sistem pertanian tradisional yang telah digunakan turun temurun selama berabad. Sistem pertanian seperti perotasian tanaman, penggunaan pupuk organik, pemberaan ataupun praktik-praktik tradisional lainnya akan lebih sesuai bagi varietas lokal dibandingkan varietas pemulia yang cenderung membutuhkan kultur teknis yang lebih intensif. Dengan demikian padi gogo lokal berperan penting dalam ketahanan pangan lokal, menjadi sumber pangan yang dapat diandalkan, bahkan ketika produksi pangan lainnya menurun. Peran penting varietas padi lokal tersebut akan terlihat di daerah terpencil atau daerah dengan akses terbatas ke pasar.

Varietas padi gogo lokal memiliki nilai sosial dan budaya yang tinggi bagi masyarakat. Beberapa varietas memiliki rasa, tekstur, ataupun aroma yang khas, dinilai dan dihargai tinggi dalam budaya setempat. Beberapa varietas padi digunakan dalam upacara adat atau memiliki peran dalam tradisi lokal, yang menjadikan petani enggan untuk mengganti varietas lokal tersebut dengan varietas baru, meskipun hasil panennya lebih rendah.

### **3.1 Varietas padi gogo lokal Sumatra Barat**

Secara umum varietas lokal padi gogo memiliki produktivitas rendah, berkisar dari 1 - 2,5 t/ha. Jika mengacu pada varietas unggul nasional (Inpago), maka produktivitas padi gogo adalah sekitar 3-5 ton per hektar dalam kondisi kesuburan optimal dengan manajemen kultur teknis yang baik. Evaluasi terhadap 28 varietas lokal padi gogo Sumatra

Barat yang ditanam di lahan kering menunjukkan produktivitas rata-rata adalah sebesar 2.6 t/ha (Tabel 12).

Tabel 12. Penampilan agronomis 28 varietas padi gogo lokal Sumatra Barat

| Varietas lokal     | Tinggi tanaman (cm) | Jumlah anakan | Hari panen (hst) | Bobot gabah per ha (t) |
|--------------------|---------------------|---------------|------------------|------------------------|
| Anam Ampek         | 111,00±6,24 *       | 16,00±1,00    | 116,67±0,58 *    | 2,7±0,48               |
| Buyar              | 136,77±10,01        | 16,67±1,15    | 113,00±1,00      | 4,8±0,22*              |
| Cupak              | 197,33±4,04 *       | 7,67±0,58 *   | 133,00±1,00 *    | 1,9±0,15               |
| Pahlawan           | 157,00±10,58 *      | 13,33±0,58    | 131,33±0,58 *    | 2,9±0,43               |
| Peconina Kuning    | 144,40±11,11        | 15,33±2,08    | 120,33±0,58 *    | 3,1±0,89               |
| Peconina Merah     | 151,00±12,29        | 14,00±1,00    | 123,67±0,58 *    | 2,3±0,55               |
| Seribu Goyang      | 161,00±16,52 *      | 10,67±2,08 *  | 131,67±0,58 *    | 2,4±0,30               |
| Silampung          | 129,33±16,17        | 12,00±1,00 *  | 111,67±0,58 *    | 2,3±0,14               |
| Sibagindit         | 99,33±7,64 *        | 15,33±1,15    | 121,67±0,58 *    | 3,1±0,53               |
| Siburnut           | 160,83±5,35 *       | 14,33±2,52    | 148,00±1,00 *    | 1,7±0,21*              |
| Sigadid Burai      | 159,33±10,26 *      | 8,67±0,58 *   | 134,67±0,58 *    | 2,0±0,48               |
| Sigendut Putih     | 156,33±3,06 *       | 11,33±1,53 *  | 123,00±0,00 *    | 2,3±0,57               |
| Siguling Tandai    | 173,00±6,00 *       | 12,67±1,53 *  | 143,00±0,00 *    | 2,5±0,57               |
| Sikerang           | 119,00±18,00 *      | 15,00±1,73    | 125,67±1,15 *    | 1,9±0,43*              |
| Sikuriak           | 110,00±8,54 *       | 16,33±2,08    | 112,33±1,15 *    | 1,9±0,25*              |
| Sikuriak Basunguik | 122,67±9,24         | 16,67±0,58    | 113,33±0,58      | 3,7±0,55*              |
| Silampung 2        | 116,17±4,91 *       | 15,67±0,58    | 116,33±0,58 *    | 1,6±0,24*              |
| Simaritik          | 134,33±6,43         | 13,67±3,21    | 132,00±0,00 *    | 2,2±0,58               |
| Sipahlawan         | 132,00±15,72        | 10,67±2,08 *  | 126,67±0,58 *    | 3,1±0,84               |
| Sipuluik           | 159,33±4,04 *       | 14,67±1,53    | 122,00±0,00 *    | 2,6±0,5                |
| Siputih            | 179,67±21,59 *      | 11,33±2,08 *  | 156,00±1,00 *    | 2,4±0,62               |
| Sirumpun           | 183,67±12,10 *      | 13,33±1,53    | 157,00±1,00 *    | 2,8±0,55               |
| Sigudang           | 141,67±7,77         | 10,33±0,58 *  | 130,00±0,00 *    | 2,9±0,86               |
| Simerah Tandai     | 158,33±11,02 *      | 11,33±3,06 *  | 147,33±0,58 *    | 2,9±0,49               |
| Sipulutan          | 190,00±21,70 *      | 14,67±2,08    | 157,00±1,00 *    | 3,1±0,31               |
| Sirah Gadang       | 165,33±3,51 *       | 13,33±1,53    | 146,33±0,58 *    | 2,8±0,18               |
| Sirah Kualo        | 169,67±12,70 *      | 14,00±1,73    | 150,00±0,00 *    | 1,1±0,08*              |
| Telur Iken         | 168,70±25,09 *      | 12,00±1,00 *  | 146,33±0,58 *    | 3,2±1,22               |
| Jatiluhur          | 137,00±2,00         | 15,33±0,58    | 114,00±1,00      | 2,8±0,19               |

Catatan: Data pada kolom yang sama diikuti oleh \* adalah berbeda tidak nyata menurut uji BNT terencana terhadap varietas lokal Jatiluhur toleran kekeringan pada  $\alpha=0,05$ . hst=hari setelah tanam. Sumber: Marwan *et al.* (2022)

Namun beberapa varietas lokal Sumatra Barat tersebut seperti Sipahlawan, Telur Iken, Sipulitan, Sibagindit, Peconina Kuning, Buyar, Sikuriak Basunguik dapat menghasilkan lebih dari 3 ton per hektare. Bahkan Buyar dan Sikuruik Basunguik memberikan hasil masing-masing 4,8 dan 3,7 t/ha menyamai hasil umumnya varietas nasional padi gogo (3-5 t/ha). Kelemahan dari varietas lokal tersebut adalah penampilan atau postur tanaman yang tinggi, mencapai 197,3 cm dan umur yang dalam (panjang) mencapai 157 hari.

Jumlah anakan varietas padi gogo juga sedikit berkisar 7,67 - 16,67 (Tabel 12), berbeda dengan padi sawah yang dapat mencapai lebih dari 20 anakan produktif. Penampilan tanaman yang tinggi dan umur yang dalam, serta jumlah anakan yang sedikit merupakan kelemahan sifat-sifat varietas lokal padi gogo pada umumnya.

Keragaman plasma nutfah padi gogo di Sumatra Barat menjadi salah satu peluang bagi pemulia dalam merakit varietas unggul baru padi gogo. Variabilitas yang luas dan heritabilitas karakter yang tinggi memperbesar peluang untuk mendapatkan genotipe unggul yang memiliki karakter-karakter yang diinginkan pada generasi berikutnya. Dengan demikian, walaupun varietas lokal umumnya memiliki postur tinggi dengan umur dalam, namun karena masih terdapat sumber daya genetik yang banyak maka terdapat peluang yang besar untuk mendapatkan tinggi tanaman ideal dan produksi yang tinggi yang ditunjukkan dengan nilai heritabilitas yang tinggi untuk penampilan tinggi tanaman (Tabel 13).

Tabel 13. Keragaman genetik dan heritabilitas beberapa karakter agronomis yang dievaluasi pada 28 varietas padi gogo lokal Sumatra Barat

| Karakter       | VG     | VP     | KKG (%)            | KKF (%)            | H                 |
|----------------|--------|--------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Tinggi tanaman | 608,98 | 752,51 | 16,50 <sup>T</sup> | 18,34 <sup>M</sup> | 0,81 <sup>T</sup> |
| Jumlah anakan  | 4,78   | 7,45   | 16,49 <sup>T</sup> | 20,60 <sup>M</sup> | 0,64 <sup>T</sup> |
| Hari panen     | 212,93 | 213,40 | 11,07 <sup>M</sup> | 11,08 <sup>M</sup> | 0,99 <sup>T</sup> |
| Bobot gabah    | 12,00  | 29,61  | 21,72 <sup>T</sup> | 34,12 <sup>T</sup> | 0,41 <sup>M</sup> |

Keterangan: VG=Ragam genotipe; VP=Ragam fenotipe; KKF=Koefisien Keragaman Fenotipik, KKG= Koefisien Keragaman Genotipik; H=Heritabilitas, T=Tinggi, M=moderat

Tabel 13 menunjukkan bahwa varietas lokal padi gogo Sumatera Barat memiliki variabilitas fenotipik dan genotipik yang sedang hingga luas, dan juga nilai duga heritabilitas yang tinggi tidak hanya pada penampilan tinggi tanaman, namun juga pada jumlah anakan dan hari panen. Nilai heritabilitas yang sedang ( $H=0.41$ ) tergolong cukup tinggi untuk karakter bobot biji per tanaman. Ini mengindikasikan bahwa peluang keberhasilan untuk mendapatkan material genetik yang diinginkan dari populasi yang dievaluasi masih cukup tersedia.

Semakin luas variabilitas suatu karakter unggul maka semakin besar peluang keberhasilan dalam penyeleksian karakter tersebut atau dengan kata lain, semakin besar peluang untuk mendapatkan tanaman yang memiliki karakter-karakter yang diinginkan. Apalagi ketika heritabilitas karakter tersebut tinggi, maka besar dugaan bahwa karakter unggul tersebut diwariskan kepada keturunannya. Karakter dengan nilai heritabilitas tinggi sangat memungkinkan untuk dilakukan seleksi karena karakter tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh genetik daripada dipengaruhi oleh lingkungan.

Salah satu yang paling mempengaruhi kualitas beras adalah kandungan amilosa dan amilopektin. Kandungan amilosa dan amilopektin merupakan komponen penting pati yang terkandung dalam beras yang diwariskan secara genetik dan mempengaruhi karakteristik nasi yang dihasilkan, yaitu keras, lengket dan ketan. Kandungan amilosa beras dapat dikelompokkan atas amilosa rendah (8-20%), moderat (21-25%), dan tinggi (>25%).

Kandungan amilosa dalam beras mempengaruhi pengembangan volume beras serta penyerapan air selama ditanak. Semakin tinggi kandungan amilosa dalam beras maka pengembangan volume dan penyerapan air semakin besar saat memasak. Jika ditanak, butiran nasinya tidak saling melekat (pera). Kondisi ini berbeda pada beras dengan tekstur nasi pulen atau lengket yang merupakan tekstur nasi yang disukai oleh sebagian besar masyarakat Indonesia.

Varietas lokal padi Sumatra Barat umumnya memiliki tekstur nasi yang pera, merupakan preferensi mayoritas masyarakat. Namun hasil evaluasi pengujian kandungan pati dari 29 varietas lokal padi gogo Sumatra Barat menunjukkan hasil di luar dugaan (Tabel 14).

Tabel 14. Kandungan amilosa beras serta tekstur nasi beberapa varietas lokal padi gogo Sumatra Barat

| Kultivar           | Amilosa (%) | Kriteria kandungan amilosa | Tekstur Nasi |
|--------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| Anam Ampek         | 23,39       | Moderat                    | Pulen        |
| Buyar              | 23,24       | Moderat                    | Pulen        |
| Cupak              | 20,08       | Moderat                    | Pulen        |
| Pahlawan           | 26,79       | Tinggi                     | Pera         |
| Peconina Kuning    | 23,34       | Moderat                    | Pulen        |
| Peconina Merah     | 25,19       | Tinggi                     | Pera         |
| Seribu Goyang      | 27,13       | Tinggi                     | Pera         |
| Silampung          | 20,26       | Moderat                    | Pulen        |
| Sibagindit         | 23,88       | Moderat                    | Pulen        |
| Siburnut           | 20,8        | Moderat                    | Pulen        |
| Sigadih Burai      | 25,12       | Tinggi                     | Pera         |
| Sigendut Putih     | 21,57       | Moderat                    | Pulen        |
| Siguling Tandai    | 25,87       | Tinggi                     | Pera         |
| Sikerang           | 18,87       | Rendah                     | Pulen        |
| Sikuriak           | 24,56       | Moderat                    | Pulen        |
| Sikuriak Basunguik | 25,58       | Tinggi                     | Pera         |
| Silampung 2        | 26,55       | Tinggi                     | Pera         |
| Simaritik          | 21,94       | Moderat                    | Pulen        |
| Sipahlawan         | 20,76       | Moderat                    | Pulen        |
| Sipuluik           | 23,78       | Moderat                    | Pulen        |
| Siputih            | 24,7        | Moderat                    | Pulen        |
| Sirumpun           | 24,03       | Moderat                    | Pulen        |
| Sigudang           | 24,78       | Moderat                    | Pulen        |
| Simerah Tandai     | 20,05       | Moderat                    | Pulen        |
| Sipulutan          | 19,8        | Rendah                     | Pulen        |
| Sirah Gadang       | 24,22       | Moderat                    | Pulen        |
| Sirah Kualo        | 25,57       | Tinggi                     | Pera         |
| Telur Ikan         | 23,29       | Moderat                    | Pulen        |
| Simarus            | 25,77       | Tinggi                     | Pera         |
| Jatiluhur          | 25,09       | Tinggi                     | Pera         |

Sumber: Munandar *et al.* (2022)

Umumnya varietas padi gogo lokal Sumatra Barat yang dievaluasi memiliki karakteristik kandungan amilosa yang rendah hingga moderat, dikategorikan sebagai beras dengan tekstur nasi pulen. Hanya sembilan



dari 29 varietas lokal padi gogo yang dievaluasi tersebut memiliki kriteria tekstur nasi pera dengan kandungan amilosa berkisar 25,0% sampai dengan 26,7%.

Hasil evaluasi kandungan amilosa pada berbagai varietas lokal padi gogo Sumatra Barat ini memperlihatkan preferensi sekelompok masyarakat yang berbeda. Penanaman varietas lokal dengan tekstur nasi yang pulen mengindikasikan permintaan masyarakat di daerah/lokasi varietas padi tersebut ditanam. Ada beberapa faktor yang menyebabkan kenapa hasil pengujian tekstur nasi padi gogo tersebut didominasi oleh tekstur nasi pulen.

Varietas lokal padi gogo Sumatra Barat yang dievaluasi, dikoleksi dari beberapa tempat di kabupaten Pasaman, Pasaman Barat dan Pesisir Selatan. Padi ditanam di huma/ladang secara mono kultur atau di antara perkebunan karet dengan mengandalkan curah hujan sebagai sumber air. Masyarakat di lokasi tempat koleksi asal benih merupakan masyarakat campuran yang telah beberapa generasi menetap, didominasi oleh etnis Tapanuli Selatan (kabupaten Pasaman dan Pasaman Barat) dan Jawa (kabupaten Pesisir Selatan). Dengan demikian preferensi tekstur nasi yang mendominasi adalah nasi yang agak pulen atau pulen dan akhirnya juga mendominasi penanaman varietas padi gogo di beberapa sentra penanaman padi gogo tersebut. Varietas yang disukai dan kemudian ditanam dan berkembang adalah varietas-varietas padi yang memiliki tekstur nasi pulen.

Hasil evaluasi kandungan amilosa berbagai varietas padi gogo lokal Sumatra Barat yang menunjukkan tekstur nasi yang pulen mengindikasikan peluang keberhasilan adopsi petani padi yang besar terhadap varietas-varietas unggul nasional padi gogo yang umumnya memiliki tekstur nasi pulen. Penerimaan masyarakat yang tinggi terhadap suatu varietas yang sesuai dengan preferensi masyarakat ini terjadi pada varietas Cisokan yang merupakan varietas unggul nasional. Varietas ini berkembang dan diterima secara luas di Sumatra Barat, tidak hanya di kabupaten Solok, kota Solok dan kota Padang. Beras varietas Cisokan disukai karena tekstur nasinya yang pera, bahkan menjadi varietas yang terkategori sebagai varietas Indikasi Geografis dari daerah Solok. Beras Cisokan dihargai tinggi oleh konsumen.

Beberapa varietas padi gogo yang dievaluasi, sekaligus juga merupakan varietas yang biasanya juga ditanam sebagai padi sawah. Ini mengindikasikan bahwa varietas-varietas tersebut memiliki kemampuan untuk berkembang, baik di lahan kering maupun lahan sawah. Berdasarkan nama varietas yang digunakan seperti Anam Ampek, diduga varietas tersebut berasal dari varietas nasional IR64. Namun karena memiliki kemampuan yang baik ketika ditanam sebagai padi gogo, varietas ini kemudian berkembang dan ditanam sebagai salah satu varietas padi gogo di kabupaten Pasaman Barat.

Banyak hal yang masih perlu digali dari kekayaan genetik varietas lokal padi gogo Sumatra Barat. Penelitian yang dilakukan masih terus berlanjut untuk menggambarkan potensi varietas padi gogo lokal Sumatra Barat. Evaluasi toleransi varietas terhadap kondisi lingkungan seperti kemasaman (toleransi terhadap aluminium), dan kekeringan yang merupakan permasalahan utama untuk pembudidayaan di tanah kering masam, ataupun resistensi terhadap organisme pengganggu tanaman masih perlu dikaji dan dilanjutkan.

### **3.2 Seleksi varietas padi gogo lokal toleran naungan**

Penanaman padi gogo di sela-sela perkebunan/tanaman karet merupakan praktik budidaya yang biasa dilakukan di beberapa tempat di Indonesia, termasuk di Sumatra Barat. Pemilihan varietas padi gogo lokal yang akan ditanam menjadi krusial karena naungan menyebabkan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang selanjutnya dapat mengganggu proses metabolisme tanaman dan berimplikasi pada penurunan laju fotosintesis. Dengan demikian kemampuan tanaman dalam mengatasi cekaman cahaya rendah berkaitan erat dengan kemampuan tanaman untuk melanjutkan fotosintesis dan sintesis karbohidrat dalam kondisi kekurangan cahaya dan mengefisienkan respirasi (Murty *et al.*, 1992; Sopandie *et al.*, 2003).

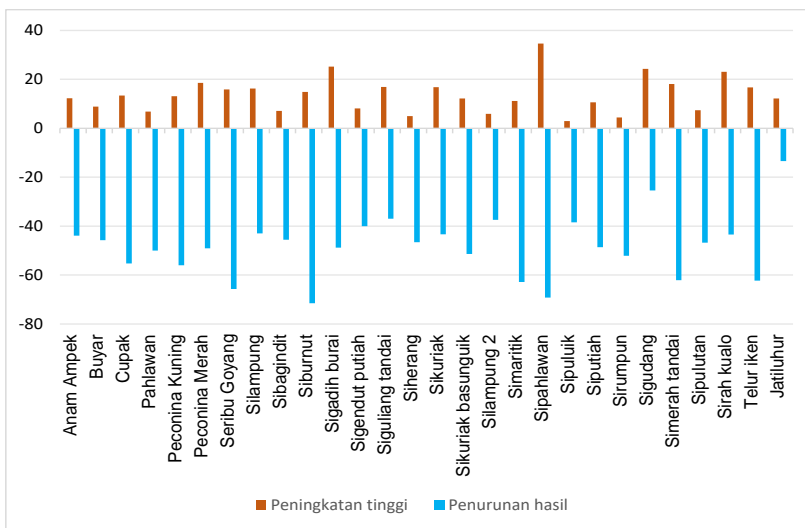
Evaluasi berbagai varietas lokal padi ladang Sumatra Barat pada kondisi naungan dan tanpa naungan (Hayati *et al.*, 2018) menunjukkan adanya interaksi yang nyata antara genotipe dan lingkungan, mengindikasikan adanya perbedaan peringkat genotipe yang dievaluasi pada kondisi tanpa naungan dengan yang dievaluasi pada kondisi naungan (Hayati *et al.*, 2020). Interaksi antara genotipe dan lingkungan merupakan fenomena umum yang menyebabkan perbedaan peringkat

suatu genotipe di berbagai lokasi. Dampak langsung dari cekaman intensitas cahaya yang rendah secara umum adalah penurunan hasil tanaman sebagai dampak dari peningkatan tinggi tanaman.

Namun beberapa varietas mengembangkan mekanisme survival yang menyebabkan penurunan tersebut tidak besar. Ada berbagai mekanisme adaptasi tanaman terhadap naungan yaitu mekanisme avoidance atau penghindaran dengan melakukan perubahan anatomi dan perubahan morfologi daun agar fotosintesis lebih efisien, dan mekanisme toleran yang berkaitan dengan penurunan titik kompensasi cahaya serta respirasi yang efisien (Levitt, 1980; Hale dan Orcutt, 1987).

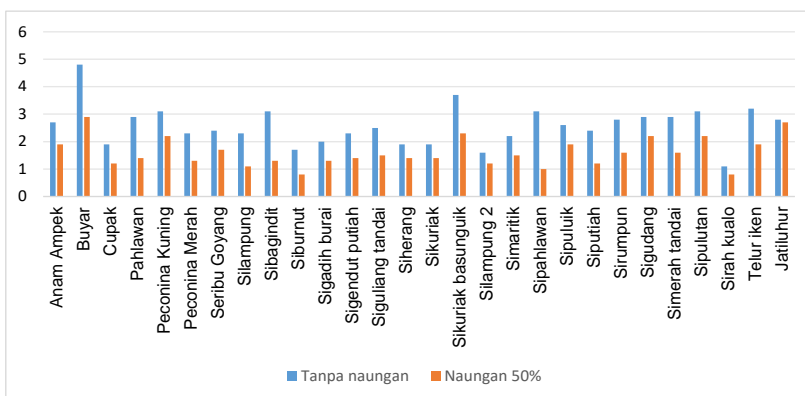
Peningkatan tinggi tanaman pada kondisi naungan dari berbagai varietas yang dievaluasi bervariasi, berkisar sebesar 10,2-21,4% (Gambar 17), lebih tinggi dibandingkan varietas lokal pembanding Jatiluhur. Peningkatan tinggi tanaman pada kondisi intensitas cahaya yang rendah ini dipengaruhi oleh hormon auksin yang mendorong peningkatan pembelahan dan pemanjangan sel yang menghasilkan perpanjangan batang yang lebih cepat dan mengakibatkan terjadinya etiolasi. Ini merupakan mekanisme tanaman untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya pada kondisi intensitas cahaya rendah. Penambahan tinggi tanaman pada saat ternaungi juga dilaporkan oleh Asfaruddin dan Mulatsih (2017), Padang *et al.* (2020), dan Sadimantara *et al.* (2019).

Beberapa varietas yaitu Anam Ampek, Buyar, Silampung, Sibagindit, Sikerang, Sikuriak, Sikuriak Basunguik, Silampung<sub>2</sub> dan Simaritik memiliki postur tanaman yang menyamai atau lebih rendah dibandingkan varietas Jatiluhur baik pada kondisi tanpa naungan maupun dengan naungan (Gambar 17). Penampilan pendek ini diminati oleh pemulia maupun petani, karena tanaman lebih tahan terhadap rebah. Sebaliknya karakter bobot gabah mengalami penurunan yang besar (24-67%) pada kondisi naungan dibandingkan varietas pembanding Jatiluhur yang mengalami penurunan hanya sebesar 2%. Namun terdapat tiga varietas yang memiliki penurunan persentase bobot gabah yang kecil pada kondisi naungan yaitu Sikerang, Sikuriak, dan Silampung 2.



Gambar 17. Persentase pertambahan tinggi tanaman (atas) dan penurunan bobot gabah (bawah) berbagai varietas lokal padi gogo Sumatra Barat pada kondisi naungan

Walaupun beberapa varietas memiliki produksi yang tinggi pada kondisi tanpa naungan melebihi varietas Jatiluhur, yaitu Buyar (4,8 t/ha) dan Sikuriak Basunguik (3,7 t/ha) (Gambar 18), namun kedua varietas tersebut mengalami penurunan hasil yang besar dan signifikan pada kondisi naungan, masing-masing sebesar 39,6% dan 37,8%. Hanya varietas Buyar yang memiliki hasil lebih tinggi dibandingkan varietas lokal pembanding Jatiluhur (2,9 t/ha).



Gambar 18. Bobot gabah (t/ha) beberapa varietas lokal padi gogo Sumatra Barat pada kondisi tanpa naungan dan naungan 50%.

### 3.3 Varietas padi gogo nasional

Mengacu pada VUB padi yang dikeluarkan oleh BBPSI Padi (2023) Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) yang merupakan transformasi dari Balitbangtan (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian) sudah dilepas lebih dari 300 varietas unggul baru (VUB) padi hingga tahun 2023. Namun dari jumlah tersebut, jumlah varietas padi gogo yang dilepas jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan varietas padi sawah.

Sedikitnya jumlah varietas padi gogo dibandingkan varietas padi sawah bisa dipahami karena sulit dan kompleksnya upaya pengembangan dan seleksi varietas padi di lahan kering. Lahan kering memberikan tantangan lingkungan yang lebih besar seperti keterbatasan air dan rendahnya produktivitas tanah terhadap upaya perakitan varietas. Di sisi lain, luasnya lahan sawah di Indonesia berimplikasi pada besarnya kebutuhan varietas padi sawah yang juga sekaligus menjadi prioritas nasional dalam mendukung ketahanan pangan.

Sebelum tahun 2010 telah dilepas beberapa varietas padi gogo seperti Cirata, Towuti, Limboto, Danau Gaung, Batu Tegi, Situ Patenggang dan Situ Bagendit yang produktivitasnya pada lahan kering berkisar antara 3-4,6 t/ha sedangkan potensi hasilnya bisa mencapai 5-7 t/ha (BPTP Sumut, 2011). Setelah tahun 2005, penamaan varietas padi gogo beralih menjadi Inpago yang merupakan singkatan dari inbrida padi gogo. Dari periode tahun tersebut hingga sekarang telah dilepas berbagai varietas padi gogo (BBPSI Padi, 2023) (Tabel 15).

Selain ditujukan untuk pengembangan di lahan kering, beberapa varietas padi gogo memiliki karakteristik keunggulan tertentu seperti kandungan zinc dan protein yang tinggi yaitu masing-masing 34 ppm dan 9,83% pada varietas Inpago 13 Fortiz. Walaupun umumnya varietas unggul padi gogo yang sudah dilepas memiliki kandungan amilosa rendah sehingga menghasilkan tekstur nasi yang pulen, ada dua varietas padi gogo yang memiliki kandungan amilosa tinggi yaitu Inpago 10 dan Rindang 1 Agritan. Artinya kedua varietas ini memiliki karakteristik tekstur nasi yang pera sehingga sesuai untuk dikembangkan di kawasan lahan kering yang masyarakatnya menyukai beras dengan tekstur nasi yang keras.

Tabel 15. Varietas padi gogo yang dilepas setelah tahun 2005

| No | Varietas          | Tahun dilepas | Umur (hari) | Tinggi tanaman (cm) | Rata-rata hasil (t/ha) | Potensi Hasil (t/ha) | Kadar amilosa (%) |
|----|-------------------|---------------|-------------|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------|
| 1  | Inpago 4          | 2010          | ±124        | ±134                | 4,1                    | 6,1                  | 21,9              |
| 2  | Inpago 5          | 2010          | ±118        | ±132                | 4,0                    | 6,2                  | 18                |
| 3  | Inpago 6          | 2010          | ±113        | ±117                | 3,9                    | 5,8                  | 22                |
| 4  | Inpago 7          | 2011          | ±111        | ±107                | 4,6                    | 7,4                  | 20,3              |
| 5  | Inpago 8          | 2011          | ±119        | ±122                | 5,2                    | 8,1                  | 22,3              |
| 6  | Inpago 9          | 2012          | ±109        | ±115                | 5,2                    | 8,4                  | 22,3              |
| 7  | Inpago 10         | 2014          | ±115        | ±104                | 4,0                    | 7,3                  | 25                |
| 8  | Inpago 11 Agritan | 2015          | ±111        | ±124                | ±4,1                   | 6,0                  | ±21,3             |
| 9  | Rindang 1 Agritan | 2017          | ±113        | ±130                | 4,62                   | 6,97                 | 26,4              |
| 10 | Rindang 2 Agritan | 2017          | ±113        | ±138                | 4,2                    | 7,39                 | 16,4              |
| 11 | Inpago 12 Agritan | 2017          | ±111        | ±106                | ±6,7                   | 10,2                 | ±22,8             |
| 12 | Inpago 13 Fortiz  | 2020          | ±114        | ±124                | ±6,53                  | 8,11                 | ±21,56            |

Varietas padi gogo lainnya dirakit dengan tujuan pengembangan yang difokuskan pada inovasi teknologi pertanian untuk mengatasi tantangan lingkungan spesifik, seperti lahan kering masam atau lahan kering ternaungi. Terdapat dua varietas yaitu Rindang 1 Agritan dan Rindang 2 Agritan yang toleran naungan hingga 50%. Dengan demikian kedua varietas ini dapat direkomendasikan untuk pengembangan penanaman di kawasan agroforestri seperti lahan perkebunan belum menghasilkan.

#### IV. Teknologi Modifikasi Iklim Mikro

Iklim mikro tanaman adalah kondisi iklim spesifik di sekitar lingkungan tanaman, biasanya berada pada tingkat yang sangat kecil, mencakup beberapa meter atau bahkan sentimeter di sekitar tanaman. Iklim mikro mencakup faktor-faktor seperti suhu tanah, kelembapan udara dan tanah, intensitas cahaya, serta sirkulasi udara di sekitar tanaman (Jones, 2014). Iklim mikro ini sangat penting karena mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara langsung dan berbeda dari iklim umum (*macro climate*) yang berlaku di wilayah tersebut.

Iklim terutama curah hujan merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan budidaya padi gogo. Hal ini disebabkan karena padi gogo memerlukan air sepanjang pertumbuhannya sedangkan kebutuhan air tersebut hanya diperoleh dari curah hujan.

Dengan demikian teknologi yang dapat mempertahankan ketersediaan air (kelembaban) dalam tanah menjadi sangat penting.

Berbeda dengan budidaya padi sawah yang dapat mengontrol pertumbuhan gulma dengan cara mengatur ketinggian air, maka keberadaan gulma menjadi kendala dalam budidaya padi gogo. Kehadiran gulma menekan pertumbuhan tanaman karena terjadinya persaingan unsur hara, air dan cahaya.

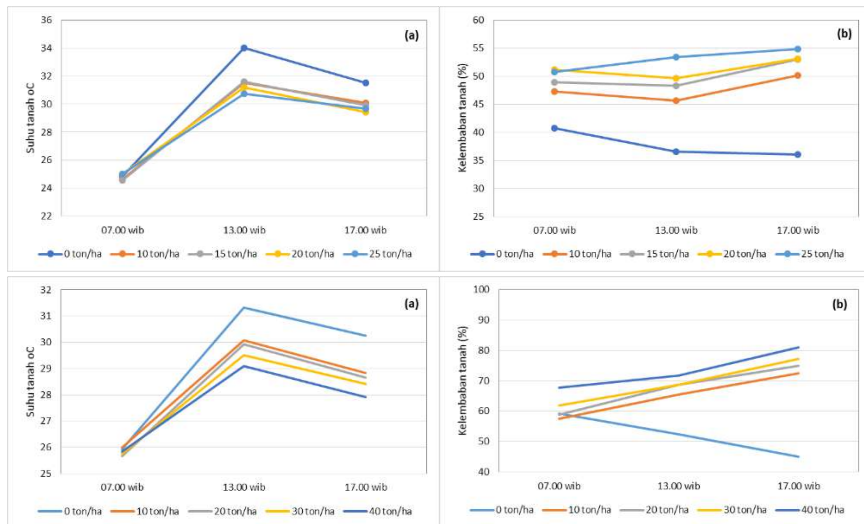
Dengan demikian, teknologi perbaikan lingkungan tumbuh yang dapat diterapkan pada budidaya padi gogo adalah teknologi yang dapat memberikan kondisi iklim mikro yang ideal, yaitu kelembaban tanah yang tinggi dan kemampuan menekan pertumbuhan gulma. Teknologi penggunaan mulsa organik yang dapat bertahan lama sepanjang kehidupan tanaman mampu memberikan efek penutupan permukaan tanah yang maksimal sehingga memberikan kelembaban tanah yang tinggi sekaligus menekan pertumbuhan gulma.

Beberapa jenis gulma dan limbah pertanian yang kesediaannya berlimpah dapat dimanfaatkan sebagai mulsa. Alang-alang (*Imperata cylindrica* L.) memiliki kandungan lignin dan selulosa yang tinggi sehingga sulit terdekomposisi. Kandungan lignin alang-alang adalah 31,29% dan selulosa 18,40 - 9,62% (Sutiya *et al.*, 2012). Famili yang sama dengan alang-alang adalah serai wangi (*Cymbopogon citratus* DC) yang dibudidayakan untuk mendapatkan minyak atsiri. Limbah serai wangi hasil ekstraksi mengandung lignin sebesar 10,48% (Permana, 2020).

Penggunaan mulsa alang-alang mampu mempertahankan suhu tetap rendah dan kelembaban tanah tinggi. Aplikasi dosis alang-alang (10 - 25 t/ha) dan limbah padat hasil penyulingan serai wangi (10 - 40 t/ha) mampu memberikan kondisi suhu yang lebih rendah dan kelembaban yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pemberian mulsa (Gambar 19).

Baik mulsa alang-alang dan limbah serai wangi mampu menekan fluktuasi suhu tanah yang terjadi. Kemampuan menekan fluktuasi suhu tanah ini penting untuk pertumbuhan dan perkembangan akar, anakan padi serta perkembangan mikroorganisme tanah, selain juga tentunya dipengaruhi oleh kelembaban tanah. Suhu udara ideal untuk pertumbuhan anakan padi adalah berkisar antara 25 - 30°C. Suhu tanah

idealnya semestinya juga berada pada kisaran yang sama untuk mendukung aktivitas akar dan penyerapan nutrisi yang optimal.



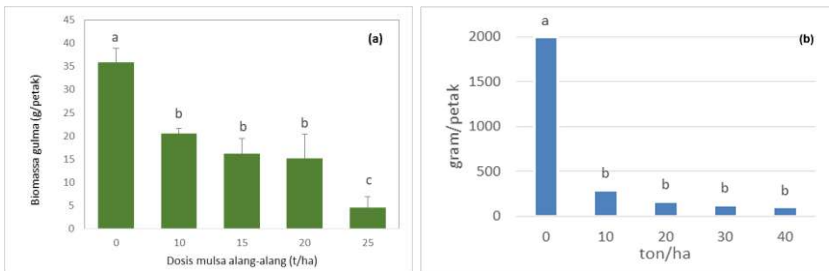
Gambar 19. Perubahan suhu dan kelembapan tanah pada pertanaman padi gogo dengan aplikasi berbagai dosis mulsa alang-alang (atas) dan limbah padat hasil penyulingan serai wangi (bawah), (a) Suhu tanah (b) Kelembapan tanah (Sumber: Hayati et al, 2023a; 2023b)

Pemberian mulsa tidak hanya mampu mempertahankan kelembapan, namun juga mampu meningkatkan kelembapan tanah (Gambar 19b), yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan anakan. Kelembapan atau kandungan air tanah dapat menurunkan suhu tanah dengan cara menyerap panas dari lingkungan sekitar sehingga tidak terjadi kenaikan suhu yang cepat. Air dalam tanah dapat memperbaiki isolasi termal tanah yang berarti suhu tanah menjadi lebih stabil dan tidak cepat berubah dengan perubahan suhu udara. Gambar 19 menunjukkan bahwa pada siang hari kelembapan yang dihasilkan dengan adanya mulsa mencegah suhu tanah meningkat drastis sebagaimana tanpa aplikasi mulsa. Sementara pada malam hari, kelembapan tanah yang tinggi akibat aplikasi mulsa mempertahankan panas lebih lama yang ditunjukkan dengan penurunan suhu yang lebih rendah dari sore menjelang pagi (Gambar 19a).



Hambatan lain dalam budidaya padi gogo adalah pertumbuhan gulma yang menyebabkan persaingan untuk mendapatkan nutrisi, air, cahaya, dan CO<sub>2</sub> yang mempengaruhi proses fotosintesis dan ruang tumbuh. Kehilangan hasil panen akibat gulma pada padi gogo jauh lebih tinggi dibandingkan dengan padi sawah karena penggenangan pada sawah menyebabkan pertumbuhan gulma terhambat karena air mengurangi ketersediaan oksigen di dalam tanah. Berbeda halnya dengan budidaya padi gogo dimana gulma bebas tumbuh dan berkembang ketika tidak dikendalikan. Di sisi lain, gulma memiliki tipe pertumbuhan yang lebih cepat dan kompetitif dibandingkan tanaman.

Hasil penelitian yang dilakukan pada dua kondisi lahan kering menunjukkan bahwa pemberian mulsa alang-alang dan limbah serai wangi mampu menekan kehadiran dan pertumbuhan gulma yang diindikasikan dengan biomassa gulma (Gambar 20).



Gambar 20. Biomassa gulma pada berbagai dosis mulsa pada pertanaman padi gogo, (a) alang-alang, (b) limbah padat serai wangi (Sumber: Hayati et al, 2023a; 2023b).

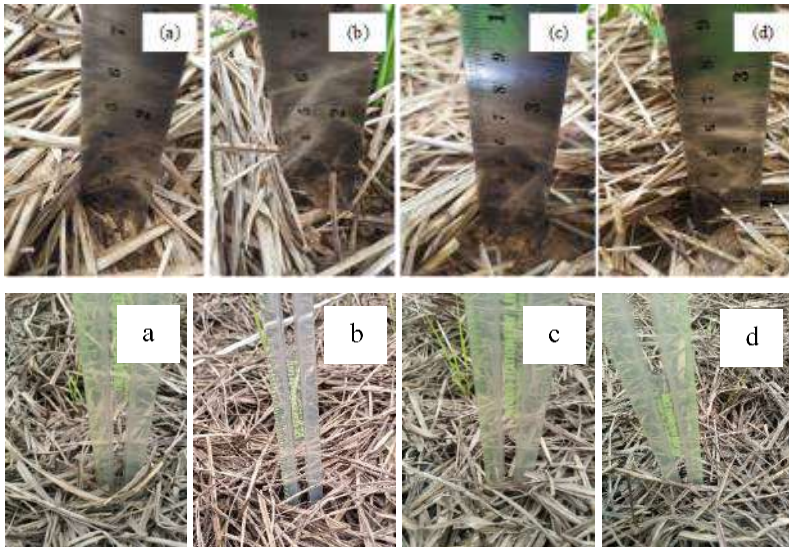
Berbeda dengan tujuan penggunaan mulsa pada budidaya padi sawah yang lebih ditujukan untuk memberikan bahan organik ke tanah dari hasil dekomposisi, maka tujuan penggunaan mulsa pada budidaya padi gogo lebih ditujukan kepada pengaturan/modifikasi iklim mikro dan menekan pertumbuhan gulma. Walaupun pada akhirnya setelah mulsa tersebut terdekomposisi sempurna, mulsa juga dapat menyumbangkan bahan organik ke dalam tanah, jenis mulsa yang diinginkan adalah mulsa yang lama terdekomposisi. Mulsa yang lama terdekomposisi akan mampu memberikan efek atau kemampuan mengendalikan gulma dalam waktu yang lebih lama atau sepanjang

masa pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan gulma pada masa vegetatif tanaman dengan berbagai dosis mulsa dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Pertumbuhan gulma pada beberapa dosis mulsa limbah padat hasil penyulingan serai wangi, a=10 t/ha, b=15 t/ha, c=20 t/ha, d=25 t/ha (Sumber: Hidayat, 2023).

Cacahan alang-alang sepanjang  $\pm 10$  cm yang digunakan sebagai mulsa dengan dosis 10 hingga 25 t/ha memiliki tinggi berkisar 4 hingga 6 cm pada saat aplikasi. Tinggi ini berkurang setengahnya menjadi 2 hingga 4 cm pada saat panen. Begitu juga dengan mulsa limbah serai wangi, terjadi penurunan tinggi mulsa dari 3 hingga 7 cm pada saat awal aplikasi menjadi 0,5 hingga 4 cm pada dosis mulsa 10 hingga 40 t/ha (Gambar 22).



Gambar 22. Ketinggian mulsa pada saat panen, ketinggian mulsa alang-alang (atas); a=10 t/ha, b=15 t/ha, c=20 t/ha, d=25 t/ha, ketinggian mulsa limbah padat hasil penyulingan serai wangi (bawah); =10 t/ha, b=20 t/ha, c=30 t/ha, d=40 t/ha (Sumber: Hayati et al, 2023a; Hidayat, 2023).

Dengan demikian, pemberian mulsa alang-alang dan limbah padat serai wangi mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi gogo (Tabel 16 dan 17). Penggunaan mulsa alang-alang dan limbah padat serai wangi sebesar 10 t/ha secara signifikan dapat menekan pertumbuhan gulma sebesar 85%, dan meningkatkan hasil sebesar 31%. Peningkatan hasil ini sejalan dengan peningkatan pertumbuhan anakan, anakan produktif dan tinggi tanaman. Namun untuk mendapatkan hasil maksimal, maka dibutuhkan 20 t/ha dosis mulsa alang-alang. Sedangkan untuk limbah padat serai wangi, dibutuhkan dosis 40 ton/ha agar diperoleh peningkatan hasil sebesar 85% (4,63 ton/ha) (Hayati et al., 2023b).

Tabel 16. Pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo dengan pemberian berbagai dosis mulsa alang-alang

| Dosis mulsa (t/ha) | Tinggi tanaman (cm) | Jumlah anakan total | Jumlah anakan produktif | Bobot gabah (t/ha) |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| 0                  | 101.43 a            | 12.34 c             | 10.27 a                 | 2.43 c             |
| 10                 | 100.57 a            | 12.17 c             | 10.29 a                 | 2.64 bc            |
| 15                 | 100.27 a            | 16.67 ab            | 10.83 a                 | 2.91 ab            |
| 20                 | 103.73 a            | 19.77 a             | 10.55 a                 | 2.96 a             |
| 25                 | 102.17 a            | 15.30 bc            | 10.43 a                 | 3.10 a             |

Notasi pada kolom yang sama berbeda tidak nyata menurut uji Tukey pada  $\alpha=0,05$

Tabel 17. Pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo dengan pemberian berbagai dosis mulsa limbah padat serai wangi.

| Dosis mulsa (t/ha) | Tinggi tanaman (cm) | Jumlah anakan total | Jumlah anakan produktif | Bobot gabah (t/ha) |
|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|
| 0                  | 87.47 d             | 13,13 c             | 8,93 d                  | 2,50 c             |
| 10                 | 110,33 c            | 14,77 b             | 10,80 c                 | 3,28 b             |
| 20                 | 114,50 b            | 15,40 b             | 11,70 bc                | 3,38 b             |
| 30                 | 116,20 ab           | 15,13 b             | 12,10 b                 | 3,73 b             |
| 40                 | 119,00 a            | 17,23 a             | 13,57 a                 | 4,63 a             |

Notasi pada kolom yang sama berbeda tidak nyata menurut uji Tukey pada  $\alpha=0,05$

## V. Penutup

Padi merupakan komoditas pangan strategis nasional yang memegang peranan vital dalam menjaga ketahanan pangan di Indonesia sehingga keberlanjutan produksi padi baik padi sawah maupun padi gogo sangat penting untuk memastikan ketersediaan pangan nasional. Meskipun varietas lokal padi gogo memiliki potensi hasil yang lebih rendah dibandingkan varietas unggul modern, keunggulan dalam hal adaptasi terhadap lingkungan, ketahanan terhadap stres, biaya produksi yang rendah, kesesuaian dengan sistem tradisional, serta nilai sosial dan budaya yang tinggi membuatnya tetap menjadi pilihan penting bagi banyak petani. Upaya untuk meningkatkan produksi padi gogo melalui pemilihan varietas yang tepat dan perbaikan lingkungan tumbuh, dalam hal ini iklim mikro, menjadi sangat penting.

Pemilihan varietas sebaiknya didasarkan pada preferensi masyarakat dan karakteristik ketahanan yang dimiliki oleh varietas padi gogo, baik berasal dari varietas unggul nasional maupun varietas padi gogo lokal. Saat ini telah tersedia banyak varietas unggul padi gogo dengan karakteristik keunggulan masing-masing. Sementara itu varietas padi gogo lokal memiliki karakteristik spesifik yang bervariasi antara satu dengan varietas yang lain. Dengan demikian penentuan jenis varietas yang akan ditanam di lapangan mesti mempertimbangkan preferensi masyarakat yang berujung pada nilai ekonomi dan karakteristik yang dimiliki setiap varietas.

Teknologi modifikasi lingkungan yang menghasilkan kondisi iklim mikro yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan padi gogo adalah dengan pemberian mulsa organik yang dapat bertahan lama (tidak/sedikit terdekomposisi) sepanjang masa hidup tanaman padi. Mulsa organik alang-alang dan limbah padat serai wangi mampu meningkatkan kelembaban dan menekan peningkatan suhu tanah yang penting untuk pertumbuhan anakan, menekan pertumbuhan gulma dan meningkatkan pertumbuhan, komponen hasil dan hasil tanaman padi gogo.

Dengan demikian, pemilihan varietas yang tepat untuk kondisi agroekologi tertentu dan optimalisasi produksi padi gogo melalui perbaikan lingkungan khususnya lewat modifikasi iklim mikro,

merupakan upaya yang dapat ditempuh untuk dapat meningkatkan hasil produksi padi gogo. Upaya ini berpotensi meningkatkan hasil produksi padi gogo secara optimal dan berkelanjutan sehingga dapat memberikan kontribusi substansial bagi ketahanan pangan nasional.

## Referensi

- Asfaruddin dan Mulatsih, S. (2017). Evaluasi toleransi 32 genotipe hasil persilangan padi gogo lokal Bengkulu terhadap naungan pada kebun kelapa sawit muda. *Jurnal Agroqua* 15(2): 21-28.
- Balitbang Pertanian. (2014). Sumberdaya lahan pertanian Indonesia. Luas penyebaran, dan potensi ketersediaan. Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian. 62 hlm.
- BBPSIP BSIP. (2023). Deskripsi varietas unggul baru padi. Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Padi. Badan Standarisasi Instrumen Pertanian Kementerian Pertanian.
- BPS. (2022). Statistik pertanian: produksi beras nasional. *BPS Report* 2022. Badan Pusat Statistik.
- BPS. (2024). Luas panen dan produksi padi di Indonesia 2023. Berita Resmi Statistik. Badan Pusat Statistik.
- BPTP Sumatera Utara. (2011). Deskripsi varietas unggul padi. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Sumatera Utara. Medan
- Hale, M.G and Orcutt, D.M. (1987). *The Physiology of Plants under Stress*. New York, John Wiley & sons. 224 p.
- Hayati, P.K.D., Anwar, A., dan Marwan, A.P. (2020). Variabilitas genotipe padi (*Oryza sativa* L.) ladang lokal Sumatera Barat dan responnya terhadap kondisi naungan. Laporan Penelitian PTM DRPM Dikti
- Hayati, P.K.D. dan Sutoyo. (2018). Variabilitas genotipe padi (*Oryza sativa* L.) ladang lokal dan responnya terhadap kondisi naungan. Laporan Penelitian BOPTN Fakultas Pertanian Universitas Andalas
- Hayati, P.K.D., Abidah, P.A., Juniarti, and Syarif, A. (2023a). Cogon grass (*Imperata cylindrica* L.) mulch effect on microclimate, weed management and yield of upland rice. IOP Conference Series 1160:012003

- Hayati, P.K.D., Syarif, A., dan Hidayat, R. (2023b). Pemanfaatan limbah industri pertanian sebagai mulsa dalam upaya perbaikan lingkungan tumbuh dan peningkatan hasil padi ladang di lahan kering masam. Laporan Akhir Penelitian Riset Terapan. LPPM Universitas Andalas
- Hidayat, R. (2023). Pengaruh mulsa limbah padat hasil penyulingan serai wangi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman padi gogo (*Oryza sativa* L.). Skripsi Fakultas Pertanian Universitas Andalas
- Jones, H. G. (2013). *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology* (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511845727>
- Levitt, J. (1980). Responses of plant to environmental stress: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York. 607p.
- Marwan, A., Munandar, A., Anwar, A., Syarif, A. and Hayati, P.K.D. (2022). Variability, heritability and performance of 28 West Sumatran upland rice cultivars, Indonesia. *Biodiversitas* 23(2):1058-1064
- Mulyani, A. dan Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan potensi lahan suboptimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(1): 47-58.
- Munandar, A., Hayati, P.K.D., Marwan, A.P., Syarif, A. and Fiana, R.M. (2023). Performance, heritability, and variability of grain characters of 29 West Sumatera local upland rice cultivars. *AIP Proceeding* 2730-010001: 0200061-0200068
- Murty, K.S., Dey, S.K., Swain, P., and Baig, M.J. (1992). Low light adapted restorers of different maturity durations for hybrid rice breeding. *Int. Rice Res. Newsletter*. 17(6): 6-7.
- Padang I.S, Tohari, and Widada, J. (2020). Response of upland rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to different shade levels in sandy soil. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 5(3):158-165.
- Permana, P. (2020). Kombinasi jerami padi dan limbah penyulingan serai wangi fermentasi dalam ransum terhadap pencernaan bahan kering (KCBK), bahan organik (KCBO), dan protein kasar (KCPK) secara in vitro. Skripsi Universitas Andalas.

- PUSDATIN (2020). Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian 2020. Statistik lahan pertanian tahun 2015-2019. <http://epublikasi.setjen.pertanian.go.id/arsip-perstatistikan/167-statistik/statistik-lahan/719-statistik-data-lahan-pertanian-tahun-2015-2019>
- PUSDATIN (2024). Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian 2024. <https://bdsp2.pertanian.go.id/bdsp/id/home.html>
- Sadimantara, G.R., Alwiyah, T., Suliartini, N.W.S., Febrianti, E. and Muhidin. (2019). Growth performance of two superior line of local upland rice (*Oryza sativa* L.) from SE Sulawesi on the low light intensity . *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 260: 1-5.
- Syarif, A., Kasim, M., dan Hayati, P.K.D. 2023. Aspek Botani dan Ekofisiologi Tanaman Padi. Andalas Press. 137 hal
- Sopandie, D., Chozin, M.A., Sastrosumarjo, S., Juhaeti, T., dan Sahardi. (2003). Toleransi padi gogo terhadap naungan. *Hayati* 10(2):71-75.
- Sutiya, B., Istikowati, T.W., Rahmadi, A., dan Sunardi. (2012). Kandungan kimia dan sifat serat alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai gambaran bahan baku pulp dan kertas. *Bioscientiae*, 9(1), 8-19.
- Toha, H.M. (2011). *Padi gogo dan pola pengembangannya*. Balai Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi, Subang.





## Rehabilitasi Tanah Marginal Tropis dengan Teknik Ameliorasi untuk Pertanian Ramah Lingkungan



**Herviyanti** membahas mengenai potensi tanah marginal tropis dalam pertanian seperti Ultisol, Oxisol, dan Inceptisol, dan upaya untuk meningkatkan produktivitasnya melalui teknologi ameliorasi. Teknologi ameliorasi yang ditawarkannya adalah penggunaan bahan alami dan limbah industri, seperti lignit, senyawa humat, kompos, dan biochar, untuk memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ameliorasi juga membantu mengurangi kontaminasi berbahaya, seperti logam berat dan pestisida, sekaligus menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian secara keseluruhan.



# **Rehabilitasi Tanah Marginal Tropis dengan Teknik Ameliorasi untuk Pertanian Ramah Lingkungan**

**Herviyanti**

*Dosen Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan,  
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Pertanian merupakan salah satu sektor utama dalam memenuhi kebutuhan pangan global. Namun, tantangan yang dihadapi pertanian modern semakin kompleks, terutama dalam konteks perubahan iklim, pertumbuhan populasi, dan masalah lingkungan. Salah satu aspek penting dalam pertanian adalah tanah, yang merupakan pondasi utama bagi produktivitas pertanian. Sayangnya, tanah marginal semakin meluas dan perlu menjadi perhatian serius karena tanahnya berpotensi besar untuk dioptimalisasikan, namun faktanya masih berdampak negatif terhadap hasil pertanian dan lingkungan. Tanah marginal atau lahan marginal dapat diartikan sebagai lahan yang memiliki kualitas yang rendah karena memiliki beberapa faktor pembatas jika digunakan untuk pertanian dan perkebunan. Faktor pembatas tersebut dapat diatasi dengan masukan, atau biaya yang harus dibelanjakan. Tanpa masukan yang berarti budidaya pertanian di lahan marginal tidak akan memberikan keuntungan. Maka upaya peningkatan kualitas dan kesehatan tanah marginal melalui pertanian yang ramah lingkungan, adalah imperatif.

Masa era modern ini, tantangan di bidang pertanian semakin kompleks. Berbagai problematika yang dihadapkan pada pertumbuhan populasi yang pesat, sumber daya alam yang semakin terbatas, dan masalah serius terkait degradasi tanah dan polusi lingkungan. Semua ini menyiratkan bahwa perlu dan harus mencari solusi inovatif dan ekonomis yang tidak hanya dapat meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem alam. Dalam rangka menghadapi tantangan ini, inovasi teknologi menjadi kunci untuk mengembangkan solusi yang berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan bahan organik dan anorganik atau dikenal dengan ameliorasi. Pendekatan ini merupakan

inovasi teknologi yang mengoptimalkan bahan yang berasal dari alam ataupun limbah industri potensial dan yang memiliki potensi untuk memperbaiki produktivitas tanah dan mengurangi kontaminasi. Inovasi teknologi ini berfokus pada penggunaan material-material alami yang bersumber secara geologi dan biomassa atau limbah organik ataupun agroindustri seperti batubara muda yang tidak produktif (Lignit dan Sub-bituminus), kapur, biomassa segar, kompos dan biochar serta dalam bentuk reformulasi antara keduanya yang dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas tanah secara berkelanjutan.

Potensi, aplikasi, manfaat, dan tantangan yang terkait dengan penggunaan inovasi teknologi ameliorasi untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang cara mengatasi masalah tanah marginal perlu dijelaskan untuk dapat mendukung pertanian yang berkelanjutan dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan. Suatu inovasi tidak hanya akan mengubah cara pandang terhadap pertanian, tetapi juga akan memberikan dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan yang semakin rentan akan kontaminasi/pencemaran. Inovasi ini melibatkan penggunaan teknologi tepat guna yang berbasis pada bahan organik dan anorganik, yang bertujuan untuk mengameliorasi tanah marginal, sambil mendukung pertanian yang ramah lingkungan.

Ameliorasi tanah juga bertujuan untuk amandemen, pemupukan ataupun sebagai adsorben dalam mengadsorpsi senyawa beracun di lahan pertanian dan perkebunan. Amelioran merupakan bahan yang dapat meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah melalui perbaikan kondisi fisik, kimia dan biologi tanah. Kriteria amelioran yang baik adalah memiliki kejenuhan basa yang tinggi, mampu meningkatkan derajat pH secara nyata, mampu memperbaiki struktur tanah, memiliki kandungan unsur hara yang lengkap dan mampu mengikat atau mengadsorpsi senyawa beracun seperti pestisida, logam berat dan mikroplastik. Pemilihan bahan amelioran menyesuaikan dengan klasifikasi lahan dan hasil evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman yang akan dibudidayakan. Oleh karena itu, sebagai bentuk langkah maju yang menjanjikan dalam menjawab tantangan dan permasalahan lahan marginal dalam rangka menciptakan pertanian yang ramah lingkungan, melalui strategi pengembangan potensi limbah, biomassa hingga

material geologi. Bahan amelioran ini dapat diterapkan dalam meningkatkan kualitas tanah, produktivitas tanah dan tanaman dan menghilangkan kontaminan yang merusak di lingkungan pertanian, sehingga dapat menjaga keberlanjutan ekosistem dan meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.

## **II. Rehabilitasi tanah marginal tropis melalui inovasi dan strategi unggulan**

Tanah marginal tropis memiliki potensi pertanian yang terbatas atau bahkan tidak bisa digunakan sama sekali karena masalah kualitas dan produktivitas tanahnya. Namun, dengan perhatian dan tindakan yang tepat, tanah-tanah ini dapat diubah menjadi aset berharga dalam upaya menjaga ketahanan pangan dan lingkungan. Langkah kunci dalam kebijakan pertanian berkelanjutan yang berfokus pada rehabilitasi dan revitalisasi tanah marginal yaitu:

1. Karakterisasi/Penilaian Tanah, dilakukan sebagai langkah awal untuk melakukan penilaian menyeluruh terhadap tanah marginal dan tercemar untuk memahami masalah produktivitas dan kualitas tanahnya, termasuk mengidentifikasi jenis pencemaran dan masalah kesuburan tanah yang perlu diatasi.
2. Penerapan Teknologi Tepat Guna Melalui Teknologi Ameliorasi sebagai praktek pertanian berkelanjutan, kebijakan ini dilakukan sebagai upaya dalam mempromosikan teknologi dan praktek pertanian berkelanjutan yang sesuai dengan kondisi tanah yang ada, termasuk penggunaan bahan amelioran yang tepat dalam aplikasi secara berkelanjutan. Hal ini juga memerlukan program rehabilitasi yang cermat dalam pemulihan struktur tanah, mitigasi pencemaran, dan peningkatan kesuburan tanah melalui penggunaan bahan amelioran.
3. Pendampingan, Pengawasan, Pengendalian dan Evaluasi Berkelanjutan, melalui sinergi antara petani, peneliti dan stakeholder yang berusaha untuk memulihkan tanah dengan berbagai kebijakan yang harus mencakup pelatihan, bimbingan, percontohan (demplot) dan akses terhadap sumber daya yang diperlukan untuk menerapkan teknologi ameliorasi secara berkelanjutan.

Tanah marginal mempunyai potensi untuk dikembangkan dan sebagian besar dimanfaatkan sebagai lahan pertanian dan perkebunan di Indonesia, khususnya di Sumatra Barat. Berdasarkan sumber bahan induknya, tanah marginal dapat berupa tanah mineral dan tanah organik (Histosol). Tanah mineral yang termasuk marginal umumnya bereaksi masam yang dominan di Indonesia diantaranya ordo Ultisol dan Oxisol dan sebahagian Inceptisol. Ketiga ordo tanah ini berpotensi untuk digunakan sebagai lahan pertanian baik tanaman hortikultura, pangan dan perkebunan. Potensi tanah mineral masam yang sangat luas di Indonesia merupakan kawasan geoekologi yang harus lebih produktif dari masa ke masa. Namun, tidak dapat dipungkiri dibalik potensinya tersimpan kendala bahwa tanah ini memiliki tingkat kesuburan yang rendah. Tanah ini juga mudah terdegradasi dan proses restorasinya memerlukan waktu yang panjang, sehingga pengelolaannya harus melalui strategi dan teknologi yang diperlukan dalam meningkatkan produktivitasnya. Konsepsi pengembangan teknologi tepat guna melalui teknologi ameliorasi terus dikembangkan terhadap pertanian dalam mencapai tujuan untuk menjadikannya wilayah produktivitas tinggi, tanpa adanya gangguan dari tingkat kestabilannya.

Untuk melihat secara detail karakteristik, potensi serta upaya yang dapat dilakukan dalam optimasi tanah marginal dapat dicermati pada Tabel 18. Rehabilitasi tanah marginal ini menjadi bagian penting dari strategi pertanian berkelanjutan untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tanah, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan meningkatkan ketahanan pangan. Kebijakan komprehensif dan berkelanjutan ini menjadi pilar penting dalam mencapai tujuan pertanian berkelanjutan di masa depan.

Ameliorasi adalah upaya pembenahan kesuburan tanah melalui penambahan bahan-bahan tertentu. Amelioran adalah bahan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan kondisi fisik dan kimia. Kriteria amelioran yang baik adalah memiliki kejenuhan basa yang tinggi, mampu meningkatkan derajat pH secara nyata, mampu memperbaiki struktur tanah, memiliki kandungan unsur hara yang lengkap dan mampu mengusir senyawa beracun terutama asam-asam organik. Pemilihan bahan amelioran menyesuaikan dengan klasifikasi lahan dan hasil evaluasi kesesuaian lahan untuk tanaman yang akan

dibudidayakan. Ameliorasi dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan amelioran berupa organik, anorganik maupun kombinasi keduanya.

Tabel 18. Karakteristik, potensi serta upaya optimasi tanah marginal

| <b>Tanah Marginal</b>         |   |
|-------------------------------|---|
| Pengertian                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanah yang kurang subur atau memiliki kualitas tanah yang rendah karena memiliki faktor pembatas untuk digunakan dalam pertanian atau perkebunan</li> </ul>  |
| Potensi                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kunci untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mengurangi tekanan terhadap hutan dan lahan liar, serta mengurangi penggunaan lahan baru. Hal ini dapat membantu mengurangi deforestasi dan kerusakan habitat alami, yang merupakan faktor penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati.</li> </ul> |
| Permasalahan                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memiliki keasaman tinggi atau pH rendah, kurangnya unsur hara penting seperti Nitrogen (N), Fosfor (P) kalium (K), umumnya keracunan logam seperti Al dan Fe serta banyak ditemukan didaerah yang berlereng sehingga mudah tererosi</li> </ul>   |
| Upaya optimasi (Rehabilitasi) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amandemen tanah untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tanah melalui teknologi ameliorasi</li> <li>• Pengendalian erosi melalui penggunaan praktek konservasi tanah dan air.</li> <li>• Konservasi air untuk mengatasi masalah kekeringan dan kelebihan air di tanah marginal.</li> </ul>         |

### 2.1 Potensi dan permasalahan tanah marginal (tanah mineral masam)

Lahan dengan potensi rendah hingga sangat rendah untuk ditanami tanaman dikenal sebagai lahan marginal, karena adanya sejumlah kendala yang membatasi. Kelayakan ekonomi yang kurang

menguntungkan untuk suatu penggunaan lahan disebut dengan lahan marginal. Namun potensi lahan tersebut dapat ditingkatkan menjadi lebih produktif dengan penggunaan teknologi dan teknik pengelolaan yang tepat. Lahan marginal memiliki potensi yang sangat rendah karena kualitas tanah yang kurang baik, lingkungan fisik yang kurang mendukung, atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut yang menghambat pertumbuhan tanaman. Lahan yang telah atau sedang mengalami kemunduran fisik, kimia, atau biologi yang pada akhirnya membahayakan terhadap kegiatan pertanian dan hidrologi serta kehidupan sosial ekonomi, dikenal juga dengan lahan kritis.

Potensi lahan marginal atau kritis, memperhatikan aspek kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh modifikasi komposisi tanah dan lingkungan sekitar, baik lahan kering maupun lahan basah di Indonesia sepanjang garis pantai yang panjangnya 106.000 km adalah 1.060.000 hektar. Menurut Balai Penelitian Tanah di tahun 2015, dan Balitbang Kementerian Pertanian, menggambarkan terdapat 157.246.565 hektar lahan marginal di Indonesia). Namun demikian, hanya 91.904.643 hektar, atau sekitar 58,4%, dari total area tersebut yang dapat digunakan untuk pertanian, dimana terdapat 18 juta hektar lahan kering berupa tanah Oxisols dan Ultisols. Meskipun lahan marginal ini memiliki potensi untuk pengembangan pertanian, namun belum dikelola secara efisien. Lahan kering masam juga dikelompokkan berdasarkan elevasi dan iklim pada beberapa pulau besar di Indonesia. Luasannya disajikan pada Tabel 19.

Lahan marginal dapat ditemukan di lahan kering di Indonesia terdiri dari tanah Ultisol dan Oxisol. Salah satu jenis tanah yang tersebar luas di Indonesia adalah tanah Ultisol, yang luasnya mencapai 45.794.000 hektar, atau hampir 25% dari total luas wilayah Indonesia. Kalimantan (21.938.000 ha) memiliki sebaran terluas, diikuti oleh Nusa Tenggara (53.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sumatera (9.469.000 ha), dan Jawa (1.172.000 ha). Tanah ini tersebar di berbagai macam relief, dari yang rendah sampai yang tinggi. Ultisol merupakan tanah yang memiliki masalah kemasaman tanah (rendahnya pH tanah), kandungan bahan organik dan unsur hara makro, terutama ketersediaan fosfor (P) yang sangat rendah, serta kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah. Sementara kandungan



aluminium (kejenuhan Al) tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan besi (Fe) dan mangan (Mn) yang tinggi mendekati batas meracuni tanaman, dan peka terhadap erosi (Syahputra *et al.*, 2015). Beberapa daerah di Indonesia mengalami curah hujan yang tinggi, yang mempercepat pelarutan unsur hara, terutama basa-basa. Akibatnya, basa-basa di dalam tanah akan segera tercuci dan yang tersisa akan berubah menjadi masam dengan kejenuhan basa (KB) yang rendah.

Tabel 19. Luasan lahan kering masam berdasarkan elevasi dan iklim pada beberapa pulau besar di Indonesia

| Pulau                  | Dataran Rendah (ha):<br>Elevasi < 700 m dpl |                           | Dataran Tinggi (ha):<br>Elevasi ≥ 700 m dpl |                           |
|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------|
|                        | <sup>a</sup> Iklim Basah                    | <sup>b</sup> Iklim Kering | <sup>a</sup> Iklim Basah                    | <sup>b</sup> Iklim Kering |
|                        | <b>Sumatra</b>                              | <b>21.430.119</b>         | <b>153.353</b>                              | <b>9.351.318</b>          |
| Jawa                   | 4.839.397                                   | 632.996                   | 2.454.816                                   | 413.318                   |
| Bali dan Nusa Tenggara | 72.257                                      | 55.347                    | 10.647                                      | 30.541                    |
| Kalimantan             | 37.534.676                                  | 0                         | 1.559.637                                   | 0                         |
| Sulawesi               | 3.434.626                                   | 139.593                   | 3.752.757                                   | 139.503                   |
| Maluku                 | 1.546.756                                   | 0                         | 452.645                                     | 0                         |
| Papua                  | 11.441.158                                  | 1.179.055                 | 6.733.118                                   | 0                         |
| <b>Indonesia</b>       | <b>80.298.989</b>                           | <b>2.160.343</b>          | <b>24.314.938</b>                           | <b>583.362</b>            |

(Sumber: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2015 cit. Herviyanti 2023)

Keterangan :

a = curah hujan ≥ 2000 mm/tahun; rejim kelambapan tanah udik (lembab) dan akuik (basah); b = curah hujan ≤ 2000 mm/tahun; rejim kelambapan tanah ustik (kering).

Berdasarkan Zahrosa & Sari, (2020) menyatakan bahwa Oxisol merupakan salah satu bentuk tanah marginal yang telah mengalami pelapukan lanjut. Penyebarannya yang luas mencapai ± 9,8 juta km<sup>2</sup> atau sekitar 7,5% dari luas permukaan bumi. Tanah Oxisol memiliki beberapa faktor pembatas, seperti KTK yang rendah, kelarutan mineral besi (Fe<sup>3+</sup>) dan aluminium (Al<sup>3+</sup>) yang tinggi, pH yang sangat masam, fiksasi P, dan kesuburan alami yang relatif rendah karena sedikitnya kandungan bahan organik. Tanah Oxisol memiliki sifat-sifat seperti: berwarna merah hingga kuning; konsistensi gembur dan memiliki kestabilan agregat yang baik; kandungan unsur hara dan mineral yang minim.

Tanah ini juga memiliki kandungan mineral dan unsur hara yang rendah karena pencucian dan pelapukan lanjut. Lebih dari 60% tanahnya adalah tanah liat, memberikan tanah yang kental, gembur, warna seragam, dan batas horizon yang kabur.

Lahan marginal dapat terjadi secara alamiah atau sebagai akibat dari tanah longsor, gempa bumi, letusan gunung berapi, kebakaran, banjir, atau genangan air, dan fenomena geologi lainnya. Disamping itu, praktik penggunaan dan pengelolaan lahan yang mengabaikan nilai-nilai kelestarian dan konservasi lingkungan sering kali mengakibatkan terbentuknya lahan marginal. Berdasarkan Food and Agriculture Organization (FAO), sebagai salah satu organisasi yang memantau lahan marginal di Indonesia, memberikan bantuan dalam inisiatif pengembangan lahan marginal untuk mendukung Upaya Program Khusus (UPSUS). Sejak tahun 2017, FAO dan Kementerian Pertanian telah bekerja sama dalam menerapkan model Pertanian Konservasi untuk menanam jagung di lahan marginal di Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat (NTT dan NTB). Pemupukan merupakan salah satu strategi yang digunakan untuk meningkatkan kesuburan lahan marginal. Secara alamiah, proses pemupukan melibatkan keseimbangan jumlah pupuk anorganik dan organik. Pemberian pupuk anorganik saja hanya akan meningkatkan kesuburan kimiawi tanah. Kesuburan biologis tanah justru akan menurun untuk sementara waktu, dan kesuburan fisiknya akan tetap rendah. Aktivitas mikroorganisme tanah yang berkontribusi terhadap kesuburan tanah akan berhenti dengan penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan.

Kemajuan teknologi diperlukan untuk meningkatkan produksi lahan marginal karena kesuburannya yang rendah. Penilaian kesesuaian lahan biasanya digunakan untuk memastikan apakah sebidang lahan merupakan lahan marginal jika digunakan untuk pertanian. Kualitas tanah dapat diubah dengan teknologi dan input untuk membuatnya lebih layak untuk pertanian. Menurut Rizki *et al.* (2024) menegaskan bahwa evaluasi produktivitas lahan memperhitungkan kesuburan alami lahan dan reaksi tanah dan tanaman terhadap penggunaan teknologi pengelolaan lahan. Teknik pengelolaan lahan yang lebih baik dapat meningkatkan produksi lahan secara signifikan dibandingkan dengan kondisi kesuburan tanah yang pada dasarnya buruk. Meskipun

demikian, evaluasi kesuburan tanah dalam beberapa dekade terakhir telah didasarkan pada kesuburan alami.

Kelas kemampuan lahan hanya ditentukan oleh kualitas atau karakteristik tanah alami, yang merupakan satu-satunya dasar kegiatan survei dan pemetaan tanah yang dilakukan pada awal tahun 1960-an oleh Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). Ada dua pendekatan yang digunakan untuk menganalisis kelas kesesuaian lahan, yaitu kesesuaian potensial, yang mempertimbangkan kondisi teknologi dengan perubahan yang terjadi pada kualitas dan karakteristik lahan, dan kesesuaian aktual, yang mendasarkan penilaian pada kondisi teknologi yang ada saat ini. Situasi ini telah ada sejak tahun 1970-an. Kesuburan tanah alami didasarkan pada kandungan mineral dari bahan induk tanah atau komposisi cadangan hara tanah; artinya, semakin tinggi tingkat kesuburan tanah, semakin besar cadangan hara tanah, dan sebaliknya. Cadangan hara tanah ditentukan oleh komposisi, jumlah, dan jenis mineral. Tanah marginal yang berasal dari batuan sedimen masam memiliki cadangan mineral dan hara yang sedikit (Nata, 2010).

Mineral di dalam tanah dapat dikategorikan sebagai mineral yang tahan terhadap pelapukan, mudah lapuk, atau keduanya, tergantung dari tingkat pelapukannya (Bali *et al.*, 2018). Mineral seperti muskovit, illit, biotit, ortoklas, dan sanidin merupakan contoh mineral yang mudah lapuk dan kaya akan unsur hara. Contoh lainnya adalah anorthite dan albit, yang merupakan sumber Na dan K; amfibol, hiperstin, augit, dan olivin, yang merupakan sumber Ca, Mg, dan Fe; serta apatit, yang merupakan sumber P dan Ca. Namun, ada beberapa mineral yang miskin unsur hara dan tahan terhadap pelapukan, seperti kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Karena ketahanannya terhadap pelapukan, kuarsa sering ditemukan pada tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut atau pada tanah yang dihasilkan dari bahan induk yang mengandung kuarsa dalam jumlah yang signifikan, seperti batupasir kuarsa. Susunan mineral spesifik dari setiap batuan induk di dalam tanah memungkinkan pelepasan unsur hara selama pelapukan yang kemudian diserap oleh tanaman. Dengan demikian, besarnya luasan tanah mineral masam di Indonesia dengan beberapa ordo tanah sangat potensial untuk dikembangkan terutama untuk sektor pertanian. Namun, perlu adanya upaya dalam mengembalikan dan meningkatkan produktivitas lahan

pada tanah mineral masam tersebut. Sebagian lahan tanah mineral masam belum dimanfaatkan oleh masyarakat tetapi sebagian lainnya telah termanfaatkan meskipun dengan kesuburan yang rendah.

## **2.2 Potensi dan permasalahan tanah tercemar (pestisida, mikroplastik dan logam berat)**

Pencemaran pada lahan pertanian akan menyebabkan tanah-tanah yang produktif menjadi tanah marginal. Pencemaran dapat digolongkan ke dalam (a) kegiatan pertanian yaitu penggunaan bahan agrokimia yang berlebihan dan (b) kegiatan non-pertanian yaitu kegiatan industri dan pertambangan. Penggunaan bahan agrokimia seperti pestisida yang makin meningkat dalam produksi pertanian terutama tanaman pangan dan hortikultura dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan berdampak negatif terhadap kualitas sumberdaya lahan dan manusia. Sedangkan, pencemaran limbah industri pada umumnya tergantung pada jumlah dan macam industri, produk sampingan yang dihasilkan. Limbah industri yang dihasilkan dapat berdampak negatif bila limbah tersebut dibuang ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu, sehingga menimbulkan pencemaran. Setiap jenis industri menggunakan bahan baku utama dan pembantu dalam proses produksinya. Bahan baku tersebut umumnya menggunakan zat kimia yang mengandung bahan beracun berbahaya, sehingga diperkirakan limbahnya mengandung unsur yang sama dengan bahan bakunya. Kegiatan pertambangan seperti batubara, emas, timah dan minyak bumi yang berada di sekitar wilayah pertanian juga berpotensi menimbulkan dampak yang tidak menguntungkan bagi lahan pertanian, terutama kegiatan tambang yang menggunakan bahan kimia berbahaya dalam proses produksinya. Semua hal ini sebagai sumber pencemaran dilahan pertanian, sehingga kegiatan yang dilakukan dengan tujuan membersihkan atau meningkatkan kualitas lahan pertanian dari zat pencemar melalui berbagai teknik remediasi untuk dapat dijadikan kembali sebagai lahan produktif urgensi untuk dilakukan.

### 2.2.1. Tanah tercemar pestisida

Zat pencemar pertama yang mendominasi di lahan pertanian yaitu adanya aplikasi pestisida. Pestisida merupakan zat yang berasal dari bahan kimia atau senyawa lain yang digunakan untuk membunuh dan mengendalikan hama dan penyakit pada tanaman (Daraban *et al.*, 2023). Pestisida pada umumnya adalah bahan kimia atau campuran bahan kimia yang digunakan untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman/tumbuhan (OPT). Pemakaian pestisida dalam pertanian berfungsi untuk mengendalikan serangga, jamur, dan gulma serta jenis hama lainnya yang dapat merusak produktivitas pertanian (Ayu *et al.*, 2023). Pada bidang pertanian pestisida dengan golongan herbisida (membunuh gulma), fungisida (membunuh jamur), insektisida (membunuh serangga) atau akarisida dapat merusak lingkungan karena adanya kontaminasi pada tanah, air dan makanan. Peran dari pestisida dapat mengendalikan hama dan menyebabkan hasil produksi tanaman meningkat sehingga penggunaan pestisida sebagai senyawa kimia yang dapat membunuh hama meningkat secara drastis (Sinambela, 2024).

Sementara insektisida adalah pestisida yang dirancang untuk menjadi racun bagi kelompok organisme tertentu seperti serangga. Insektisida sudah banyak sekali beredar dengan berbagai macam jenis. Jenis-jenis insektisida dapat dikelompokkan dalam inorganik, organoklorin, organofosfor, karbamat, piretroid, neonikotinoid, fenilpirasol, pirol, avermektin, microbial, organofluorin, *insect growth regulator*, fumigant, repellent, sinergis atau activator dan nabati.

Penggunaan insektisida kimia terdapat banyak masalah dan dampak negatif. Residu insektisida pada tanah Inceptisol di sentra produksi hortikultura, Banuhampu Agam Sumatra Barat, teridentifikasi sebanyak 5 jenis, yaitu: Cypermethrin [ $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$ ]; Permethrin [ $C_{21}H_{20}Cl_2O_3$ ]; Profenofos [ $C_{11}H_{15}BrClO_3PS$ ]; Phenthoate [ $C_{12}H_{17}O_4PS_2$ ], dan Diazinon [ $C_{12}H_{21}N_2O_3PS$ ]. Cypermethrin adalah residu insektisida yang paling banyak terkontaminasi yang ditemukan di tanah sebesar 0,1 mg kg<sup>-1</sup> dan merupakan insektisida piretroid. Pengaruh tingkat kemiringan lereng tidak signifikan terhadap identifikasi jumlah bahan aktif dan total konsentrasi residu insektisida. Namun, jumlah bahan aktif tertinggi pada kemiringan 0-8% dan 25-45% masing-masing

sebesar 3 unit, sedangkan konsentrasi total residu insektisida tertinggi pada kemiringan 0-8% sebesar 0,499 mg kg<sup>-1</sup> (Herviyanti *et al.*, 2023).

Dampak residu pestisida pada bidang pertanian terus meningkat, tercatat bahwa residu pestisida membawa dampak buruk dan menyebabkan keracunan. Sifat racun yang ditimbulkan terhadap pemakaian pestisida secara berlebihan akan menimbulkan permasalahan kesehatan dan lingkungan. Menurut Shaleha *et al.* (2023) terhadap 315 sampel untuk produk pertanian menunjukkan adanya kandungan residu pestisida sebanyak 35% pada produk segar dan 10% pada produk olahan. Terlihat untuk kandungan residu yang tertinggal setelah pengaplikasian masih tinggi. Jika residunya tertinggal dalam tanah akan mempengaruhi kesuburan tanah dan mikroorganisme tanah. Disisi lain, penggunaan mulsa plastik juga sebagai salah satu zat pencemar di lahan pertanian berupa mikroplastik.

#### **2.2.2. Tanah tercemar mikro plastik**

Penggunaan mulsa plastik adalah salah satu upaya perawatan intensif dalam produksi tanaman hortikultura. Mulsa plastik telah terbukti bermanfaat dalam pengendalian gulma, pengelolaan penyakit tanaman, mengurangi penguapan, dan meningkatkan produktivitas tanaman (Meng *et al.*, 2020). Penggunaan mulsa plastik telah meningkat selama beberapa tahun terakhir dan mewakili sekitar 40% dari semua penggunaan plastik di bidang pertanian (Sintim *et al.*, 2019). Disamping itu air limbah yang tidak diolah mengandung sejumlah besar mikroplastik yang kemungkinan berasal dari limbah mesin cuci atau produk perawatan seperti sampo. Penggunaan air limbah langsung tanpa diolah terlebih dahulu dan digunakan untuk irigasi lahan pertanian diasumsikan sebagai salah satu sumber mikroplastik dalam tanah dan menghasilkan plastik yang mengkontaminasi lahan pertanian (He *et al.*, 2018).

Plastik adalah bahan polimer yang sangat banyak digunakan di seluruh dunia. Sejak diperkenalkan, konsentrasi plastik di lingkungan telah terbukti sulit dikendalikan. Plastik dengan cepat menjadi populer dan sekarang telah digunakan di seluruh dunia (Leitão *et al.*, 2023). Plastik secara bertahap dapat terurai menjadi fragmen plastik kecil yang biasanya dikategorikan berdasarkan ukuran seperti makroplastik (> 2 cm), mesoplastik (5 mm – 2 cm), mikroplastik (< 5 mm), dan nanoplastik

(< 1µm). Mikroplastik dikategorikan sebagai large microplastic yang berukuran antara 1-5 mm dan small microplastic dengan ukuran antara ≤ 1 mm (Liu *et al.*, 2018; Vianello *et al.*, 2013). Menurut Galgani *et al.* (2013) menyatakan bahwa degradasi dapat terjadi akibat faktor fisika, faktor kimiawi, maupun faktor biologis dengan peran mikroba yang dikenal dengan biodegradasi. Mikroplastik dikelompokkan dalam beberapa kriteria yaitu bentuk, warna, ukuran dan jenis polimer (Eriksen *et al.*, 2013). Berdasarkan Kovač Viršek *et al.* (2016) bentuk mikroplastik dapat diklasifikasikan ke dalam enam kategori yaitu fragment, film, pelet, granules, filament, dan foams. Selain itu, mikroplastik juga memiliki warna dan ukuran yang berbeda pula bergantung pada polimer pembentuk dan proses degradasinya (Hiwari *et al.*, 2019). Konsentrasi mikroplastik dari permukaan tanah di zona industri dapat 0,03-6,7% (Fischer *et al.*, 2016). Sedangkan, Scheurer & Bigalke, (2018), menyatakan bahwa di tanah dari kawasan cagar alam yang hampir tanpa aktivitas manusia, telah diukur baseline mikroplastik hingga 0,002%.

Lahan yang akan ditanami dengan hortikultura harus diperhatikan kondisinya, karena akumulasi residu plastik dalam tanah dapat menghasilkan efek negatif pada produksi tanaman seperti mengurangi ketersediaan nutrisi dan aktivitas mikroorganisme yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, merusak struktur tanah yang dapat menurunkan sifat fisik tanah dan mempengaruhi kecepatan gerakan unsur hara serta penetrasi kelembaban tanah, menghambat perkembangan akar dan mengganggu pertumbuhan organisme dalam tanah seperti cacing yang berperan penting dalam menguraikan bahan organik tanah (Gao *et al.*, 2019). Menurut Gaylor *et al.* (2013), mengamati efek gabungan mikropartikel busa poliuretan dan *difenil polibrominasi eter* (PBDE) pada cacing tanah *Eisenia fetida*, didapati hasil bahwa bahan kimia yang berasal dari mikroplastik dapat menumpuk di cacing tanah. Selain itu, Rodriguez-Seijo *et al.* (2017) menggunakan tanah buatan untuk menyelidiki efek mikroplastik polietilen pada kelangsungan hidup, pertumbuhan, reproduksi, histopatologi, dan kekebalan tubuh sistem sebagai respon pada cacing tanah *Eisenia andrei*. Ditemukan kerusakan histopatologis dan sistem kekebalan tubuh yang jelas pada cacing tanah tersebut.

Berdasarkan Rezki *et al.* (2024) melaporkan bahwa pada tahap awal telah dilakukan identifikasi mikroplastik pada beberapa Kelas Lereng tanah ordo Inceptisol di Sentral Hortikultura Kecamatan Banuhampu Kabupaten Agam. Konsentrasi mikroplastik tertinggi terdapat pada ladang dengan kelerengan 0-8% yaitu sebesar 475 partikel/kg dan nilai konsentrasi mikroplastik terendah terdapat pada hutan dengan kelerengan 25-45% yaitu sebesar 400 partikel/kg tanah. Mikroplastik berbentuk filamen yang paling banyak ditemukan dibandingkan bentuk yang lainnya. Mikroplastik berwarna transparan yang lebih banyak ditemukan dibandingkan warna yang lainnya. Large microplastic yang berukuran 1-5 mm lebih banyak ditemukan jika dibandingkan dengan small microplastic yang berukuran  $\leq 1$ mm. Mikroplastik memiliki korelasi yang kuat dengan fraksi liat, dengan nilai  $r = 0.650^{**}$ . Selain itu, mikroplastik juga memiliki korelasi yang positif terhadap total ruang pori (TRP) dan kadar air tanah. Implikasi kontaminasi mikroplastik (MPs) terhadap sifat kimia tanah Inceptisol di sentra produksi hortikultura Banuhampu, Agam, Sumatra Barat menunjukkan bahwa pengaruh kelerengan signifikan terhadap komposisi hara makro Inceptisol seperti KTK, N total, K-tersedia, dan S tersedia. Sementara kontaminasi MPs tidak memiliki hubungan yang signifikan terhadap sifat kimia Inceptisols (Herviyanti *et al.*, 2024). Penelitian tentang mikroplastik ini masih berupa identifikasi pada tanah Inceptisol di Banuhampu dan akan dilanjutkan pada daerah sentra hortikultura lainnya di Sumatra Barat seperti Kecamatan Sungai Pua, Kabupaten Tanah Datar, dan Alahan Panjang Kabupaten Solok.

### **2.2.3. Tanah tercemar logam berat**

Kegiatan non-pertanian yang dihasilkan dari industri dan pertambangan sebagai dasar sumber pencemaran logam berat yang dihasilkan ke lahan pertanian. Menurut Aflizar *et al.* (2017) bahwa konsentrasi rata-rata Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, V, Sr, Rb, Ce, Th, Zr di sampel tanah sayuran masing-masingnya yaitu 38, 88,3, 38,7, 3, 8, 101, 96, 98, 87, 31 mg kg<sup>-1</sup> dan di tanah sawah yaitu 218 mg kg<sup>-1</sup>, 26, 39,05, 8,8, 13,5, 31, 231,5, 37, 19, 78, 16 dan 303,5 mg kg<sup>-1</sup> dan pada sedimen sungai yaitu 30, 61,6, 35,7, 9, 22, 294, 65, 12, 78, 14 dan 232 mg kg<sup>-1</sup> di Sumani, Solok Sumatra Barat. Konsentrasi Pb, Rb, Th dan Zr pada tanah sayuran di dataran tinggi, V dan Zr di tanah sawah dan pada sedimen sungai



sebagian besar dua kali konsentrasi pada Sumatra BCSCST (*Bulk composition sediment subducting at trenches*) atau BCC (*Bulk continental crust*). Nilai faktor pengayaan unsur menunjukkan pada kisaran rendah sampai moderat untuk unsur Pb, Zn, Cu, Rb, Ce dan Zr, sedangkan Th menunjukkan kontaminasi yang signifikan di tanah sayuran, berarti menunjukkan kontribusi dari sumber antropogenik.

Kontribusi antropogenik dari logam terutama berasal dari proses alam. Namun, Pb, Ce, Th dan Zr dengan kisaran masing-masing yaitu 108-527, 41-89, 66-117 dan 35-100%, di tanah sayuran dan tanah sawah dan sedimen sungai mengkonfirmasi adanya kontribusi antropogenik. Analisis faktor dan korelasi matrik menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat yang tinggi pada tanah pertanian di DAS Sumani dipengaruhi oleh pH, KTK, Feroxy-hidroksida. Penumpukan logam pada tanah sayuran dan tanah sawah dan sedimen sungai mungkin dikendalikan oleh logam non-ferrous (yaitu, aluminosilikat), ukuran butiran sedimen, atau komposisi batuan induk (andesit, kipas alluvial, undifferentiated material vulkanik, granit dan gneiss). Konsentrasi Cd dalam tanah dan sedimen sungai memiliki tingkat toksisitas yang rendah berdasarkan rekomendasi FAO (Cd 0,4 mg kg<sup>-1</sup>) dan hanya 4 dari 169 lokasi pengambilan sampel yang memiliki kandungan Cd yang melebihi tingkat toksisitas tersebut. Abu vulkanik dari Gunung Talang merupakan sumber alami Cd di DAS Sumani. Konsentrasi Cd rendah di daerah dengan erosi tanah yang tinggi, yang mengindikasikan adanya translokasi material yang disebabkan oleh erosi tanah yang tinggi yang mengakumulasi sedimen di dataran dan sungai. Tanah pertanian ditemukan memiliki pH tanah yang rendah dan liat disertai dengan faktor R yang tinggi dan topografi dataran tinggi sehingga meningkatkan konsentrasi Cd pada tanah. Kelimpahan Cd dalam tanah dapat dipengaruhi oleh pH tanah, tekstur, total karbon, faktor erosi, dan topografi (Aflizar *et al.*, 2018)

Investigasi logam terpilih pada tanah pertanian di lahan sawah, sayuran dan sedimen sungai di daerah aliran sungai Sumani, Sumatra Barat, Indonesia dilakukan untuk menentukan kelimpahannya dan untuk menilai tingkat kontaminasi. pH, KTK dan TC menunjukkan status kesuburan tanah yang sedang hingga tinggi. Konsentrasi rata-rata Pb, Zn, Cu, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> lebih besar dibandingkan dengan *Bulk*

*Composition Crust* (BCC) dan UCC di sebagian besar wilayah. Nilai faktor pengayaan di Sawah menegaskan deplesi hingga pengayaan minimal untuk sebagian besar logam, sementara area sayuran menunjukkan pengayaan moderat untuk Pb, Cu dan Rb, serta deplesi hingga pengayaan minimal untuk Zn, Ni, Cr, V dan Sr. Nilai Igeo untuk Pb, di Sawah tidak tercemar hingga cukup tercemar tetapi praktis tidak tercemar untuk Zn, Cu, Ni, Cr, V, sedangkan area sayuran tercemar sedang dengan Pb, tidak tercemar hingga cukup tercemar untuk Cu dan Rb dan praktis tidak tercemar untuk Zn, Ni, Cr, V, dan Sr. Peningkatan nilai Pb di area sayuran, kemungkinan disebabkan oleh abu vulkanik dari Gunung Talang, penggunaan pupuk dan pestisida yang berlebihan, dan kandungan Pb yang tinggi dalam *gasoline* (Aflizar *et al.*, 2015).

Kegiatan penambangan emas telah menjadi salah satu sumber utama logam merkuri (Hg) yang mencemari tanah dan lingkungan. Pencemaran ini berdampak pada kesehatan manusia. Pada kegiatan penambangan emas di Dharmasraya, Hg masih digunakan dalam proses amalgamasi, sedangkan residu Hg diprediksi dapat mencemari tanah dan lingkungan. Rata-rata kadar Hg pada tanah tambang emas di Dharmasraya adalah sekitar 4,42 mg/kg, yang berada di atas standar kualitas aman dalam tanah menurut WHO, EU, dan US EPA. Kadar Hg di setiap lokasi tambang Gunung Medan (GM) mengikuti urutan  $GM_1 > GM_3 > GM_2$  dengan nilai masing-masing 5,02, 4,23, dan 4,01 mg kg<sup>-1</sup>. Pergerakan Hg ke lapisan bawah permukaan melalui pelindian telah terjadi dengan nilai 3,72 mg kg<sup>-1</sup> pada lapisan permukaan tanah dan 4,51 mg kg<sup>-1</sup> pada lapisan bawah permukaan. Kadar Hg tanah dan mobilitasnya di lahan bekas tambang berkorelasi positif dengan bahan organik, KTK, dan pH tanah. Temuan ini menunjukkan bahwa kadar Hg 88 kali lebih tinggi dari ambang batas aman yang ditetapkan oleh WHO. Namun demikian, penggunaan Hg dalam operasi penambangan emas harus segera dihentikan untuk mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan (Prima *et al.*, 2023).

Perubahan iklim, deforestasi, dan hilangnya lahan pertanian yang cukup besar di dalam konsesi pertambangan emas di Dharmasraya sangat mempengaruhi cadangan karbon tanah (Cs). Estimasi Cs pada tanah bekas tambang emas paling tinggi terdapat pada kedalaman 20-40 cm (5,89E2), dibandingkan dengan kedalaman 0-20 cm (1,38E2), dimana

bulk density (BD), karbon organik tanah (SOC), dan Hg pada tanah bekas tambang emas pada kedalaman 0-20 dan 20-40 cm berturut-turut sebesar 1,46 dan 1,39 g cm<sup>-3</sup>; 0,03 dan 0,05%; 4,11 dan 4,25 mg kg<sup>-1</sup>. Cs pada tanah bekas tambang emas pada kedalaman 0-20 cm sangat signifikan dengan BD ( $r = -0,522^{**}$  atau  $Cs = -628,03 (BD) + 1055,1$ ;  $R^2 = 0,275$ ) dan SOC ( $r = -0,522^{**}$  atau  $Cs = -628,03 (BD) + 1055,1$ ;  $R^2 = 0,275$ ). 275) dan SOC ( $r = 0,948^{**}$  atau  $Cs = 4896,8 (SOC) - 6,4673$ ;  $R^2 = 0,8996$ ) dan Hg total ( $r = 0,518^{**}$  atau  $Cs = 81,373 (Hg) - 196,43$ ;  $R^2 = 0,2688$ ). Namun, pada kedalaman 20-40 cm, sangat signifikan dengan SOC ( $r = 0,836^{**}$  atau  $Cs = 16666 (SOC) - 196,03$ ;  $R^2 = 0,699$ ) (Maulana *et al.*, 2023). Merkuri sebagai zat pencemar berbahaya dan perlu dibersihkan secara berkelanjutan. Indeks faktor kontaminasi/ pencemaran dan geoakumulasi Hg adalah 13,70 dan 1,39 pada kedalaman 0-20 cm, serta 14,16 dan 1,47 pada kedalaman 20-40 cm dengan ambang batas yang ditetapkan secara nasional (0,3 mg kg<sup>-1</sup>) dan internasional (0,05-1 mg kg<sup>-1</sup>). Indeks risiko ekologi prospektif dan hasil bagi risiko adalah 5,48E2 dan 1,03E2 pada kedalaman 0-20 cm, dan 5,66E2 dan 1,06E2 pada kedalaman 20-40 cm. Faktor kontaminasi/ polusi dan indeks risiko ekologi menunjukkan adanya kontaminasi dan polusi Hg yang tinggi di dalam tanah. Oleh karena itu, diperlukan teknologi tepat guna untuk proses remediasi tanah bekas tambang emas yang mempertimbangkan semua unsur hingga ke tingkat yang ramah lingkungan, seperti teknologi ameliorasi dengan teknik inaktivasi logam berat (Maulana *et al.*, 2023).

### **III. Inovasi Teknologi Ameliorasi sebagai Transformasi Tanah Marginal untuk Pertanian Ramah Lingkungan**

Keberhasilan pembangunan pertanian selama ini telah memberikan dukungan yang sangat tinggi terhadap pemenuhan kebutuhan pangan rakyat Indonesia, terutama sekali dalam masa pandemi Covid-19, produk pertanian merupakan andalan bagi ekonomi masyarakat. Namun demikian disadari bahwa dibalik keberhasilan tersebut terdapat kelemahan- kelemahan yang perlu diperbaiki. Produksi tinggi yang telah dicapai banyak didukung oleh teknologi yang memerlukan input (masukan) bahan-bahan anorganik yang tinggi terutama bahan kimia pertanian seperti pupuk buatan dan pestisida. Dilain pihak harga pupuk buatan semakin mahal dan sulit didapatkan

dengan dihapusnya oleh pemerintah subsidi beberapa jenis pupuk seperti ZA, SP 36, dan pupuk organik Petroganik sesuai dengan Peraturan Menteri Pertanian (Permentan) Nomor 10 Tahun 2022. Permentan tersebut membatasi jenis pupuk subsidi hanya menjadi dua jenis yaitu Urea dan NPK, sehingga pupuk buatan semakin tidak terjangkau oleh petani.

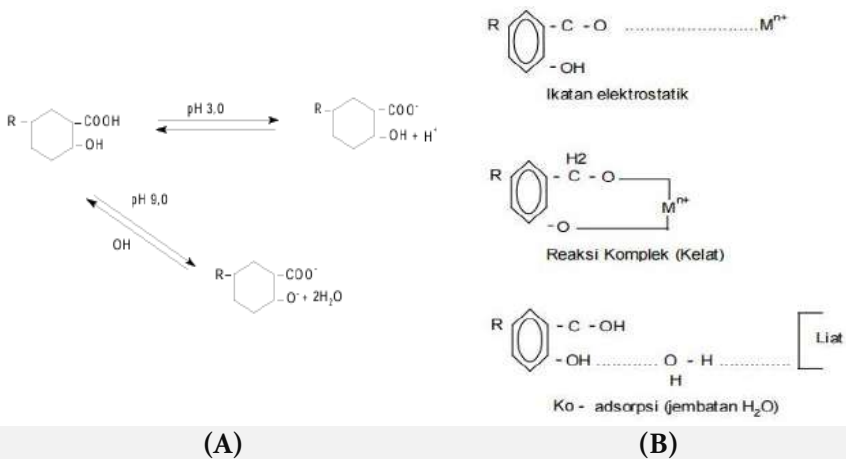
Disamping itu, pupuk dan pestisida sintesis meninggalkan efek residu di dalam tanah dan perairan yang berbahaya bagi kesehatan. Bahan-bahan tersebut terbukti menimbulkan banyak pencemaran baik pada tanah pertanian maupun perkebunan dan degradasi fungsi lingkungan, merusak sumber daya alam, serta penurunan daya dukung lingkungan. Baik di negara industri maupun negara berkembang khususnya Indonesia, kehilangan dan degradasi tanah terjadi pada tingkat yang membahayakan bagi komponen ekosistem tanah. Sejalan dengan kemajuan penelitian pertanian di Indonesia, khususnya Ilmu Tanah, terus mengembangkan berbagai jenis bahan pembenah tanah (amelioran) untuk memperbaiki dan meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan produktivitas tanah, serta mengatasi pencemaran pada tanah dan air.

Beberapa riset telah dilakukan dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah marginal terutama ordo Ultisol dan Oxisol. Salah satu langkah yang tepat adalah dengan aplikasi bahan organik sebagai bahan amelioran dan pensubstitusi pupuk buatan, karena bahan organik berperan penting dalam menentukan kemampuan tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Gambar 23). Hasil dekomposisi bahan organik berupa hara makro (N, P, dan K), makrosekunder (Ca, Mg, dan S) serta hara mikro yang dapat mensubstitusi sebagian pupuk buatan yang harganya mahal dan sulit dijangkau oleh petani. Bahan organik dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah seperti memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kemampuan tanah memegang air, meningkatkan pori-pori tanah, dan memperbaiki media perkembangan mikroba tanah.



Gambar 23. Teknologi ameliorasi tanah marginal dan tercemar

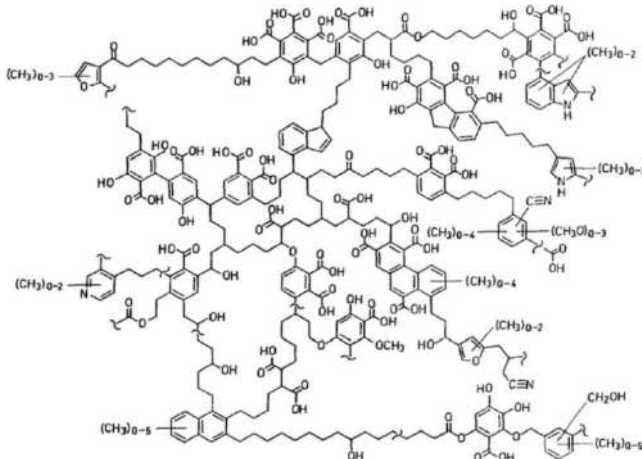
Aplikasi bahan organik dapat mengatasi permasalahan keracunan logam berat yang dominan ditemukan pada tanah mineral masam seperti Ultisol dan Oxisol, karena bahan organik akan menghasilkan asam-asam organik yang mempunyai gugus fungsional karboksil (-COOH) dan fenolat (OH). Disosiasi dari asam asam organik akan menghasilkan gugus fungsional yang bermuatan negatif sehingga dapat mengikat logam yang bermuatan positif (Gambar 24). Apabila logam sudah berikatan dengan asam organik, maka masalah ketersediaan unsur hara, terutama unsur P juga teratasi sehingga dapat tersedia dan diserap oleh tanaman. Bahan organik juga sangat efektif dalam mengatasi permasalahan logam berat seperti Hg yang ditemukan pada tanah bekas tambang emas. Bahan organik didalam tanah dapat berfungsi sebagai cementing agen pengikat partikel tanah sehingga struktur tanah semakin baik. Disamping itu dapat pula digunakan untuk mengikat/ mengadsorpsi residu pestisida yang akhir-akhir ini sudah mulai menjadi perhatian yang serius. Beberapa inovasi teknologi ameliorasi penggunaan bahan organik pada tanah marginal (tanah mineral masam) dan tanah tercemar pestisida sudah memperlihatkan hasil yang menggembirakan sehingga dapat diterapkan kepada petani dalam rangka meningkatkan produktivitas dan kualitas tanah mereka. Inovasi ini juga dikembangkan untuk menghasilkan produk sayur sehat bersertifikat Prima 2 dan 3.



Gambar 24. Mekanisme disosiasi H<sup>+</sup> pada bahan organik (A) dan stabilisasi bahan organik dengan logam dalam tanah pada permukaan liat (B) (Anwar & Sudadi, 2013).

### 3.1 Senyawa humat

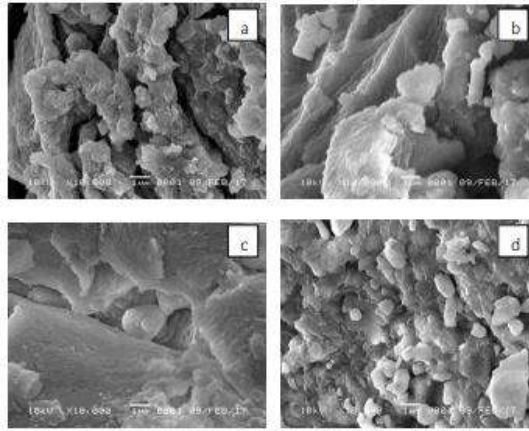
Senyawa humat adalah bagian utama atau senyawa aktif bahan organik, yang dapat ditemukan di berbagai lingkungan (tanah, sedimen, dan lingkungan perairan), merupakan sekelompok polimer molekul tinggi yang terbentuk selama proses transformasi fisik, kimia, dan mikrobiologis (humifikasi) dari jaringan hewan dan tumbuhan yang telah mati. Senyawa humat terdiri atas Asam Humat dan Fulfat mengandung C, H, O, N, S dan P. Struktur makromolekul senyawa humat sangat sensitif terhadap kondisi kimiawi larutan yang berbeda. Gugus karboksilat dan fenolik teridentifikasi dan struktur serta sifat permukaan terkait dengan sifat polielektrolit asam humat (Gambar 25). Reaktivitasnya di lingkungan tergantung pada gugus fungsional, struktur makromolekul (ukuran, bentuk) dan konsentrasi yang disebabkan oleh komposisi media yang bereaksi (Buckner *et al.*, 2016). Di sisi lain, sifat-sifat spesifik dari produk senyawa humat memungkinkan aplikasinya di bidang pertanian, industri, aspek lingkungan, dan biomedis.



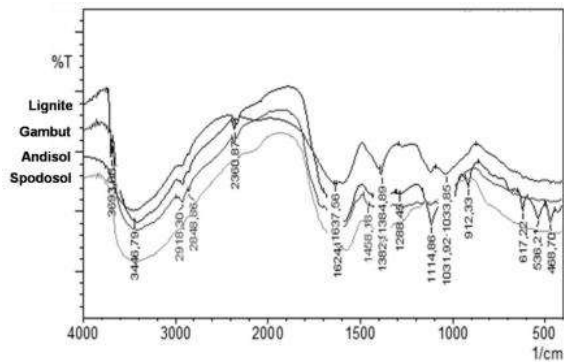
Gambar 25. Struktur kimia asam humat (De Souza & Bragança, 2018).

Karakterisasi senyawa humat yang diekstrak dari tanah ordo Andisol, Spodosol, Histosol, dan lignit, dimana kandungan C organik (48,8%) dan N total (7,6%) tertinggi masing-masing diperoleh dari Histosol. Senyawa humat Andisol menghasilkan keasaman total tertinggi (6,52 cmol kg<sup>-1</sup>). Senyawa humat yang diekstrak dari Spodosols sebagian besar merupakan gugus alifatik dan fenolat -OH, sedangkan pada Andisols dan lignit lebih banyak mengandung gugus aromatik dan fenolat -OH, sedangkan senyawa humat dari Histosol sebagian besar merupakan gugus alifatik dan -COOH. Morfologi permukaan senyawa humat yang diamati menggunakan *scanning electromagnetic* (SEM) (Gambar 26) menunjukkan kepadatan dan bentuk yang bervariasi karena perbedaan tingkat dekomposisi dan proses pembentukannya (Rahmi *et al.*, 2018).

Tanah terutama tanah gambut dan material organik lainnya seperti batubara muda yang tidak produktif ditambang sebagai sumber energi (sub-bituminus) dengan kandungan C organik yang tinggi merupakan sumber alami yang potensial sebagai senyawa humat. Menurut Herviyanti (2007), karakteristik asam humat dari tanah gambut dan kompos jerami padi mempunyai gugus fungsional yang hampir sama, sedangkan asam humat kompos sampah kota dan pupuk kandang mempunyai ciri kimia yang hampir sama pula.



(A)



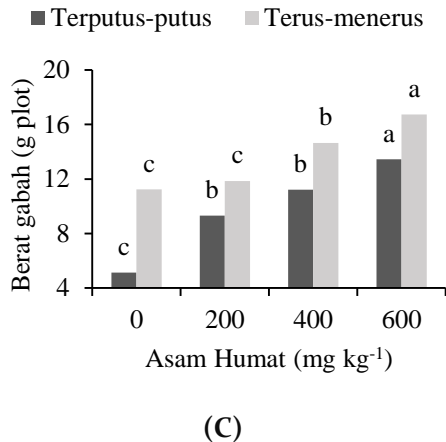
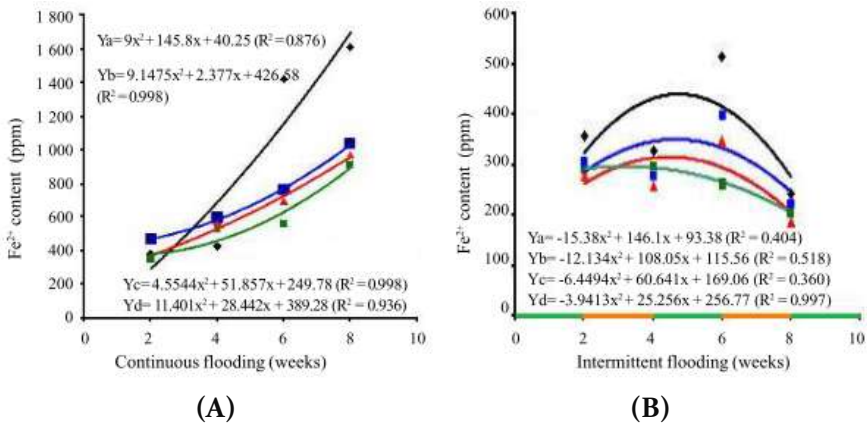
(B)

Gambar 26. SEM (A) dan FT-IR (B) senyawa humat dari (a) Andisols, (b) Spodosols, (c) Histosol dan (d) Lignit (Rahmi *et al.*, 2018).

Karakteristik gugus fungsional dan sifat kimia dari asam humat tanah gambut dan kompos jerami padi relatif lebih baik dibandingkan dengan kompos sampah kota dan pupuk kandang sapi. Hal ini disebabkan tanah gambut dan kompos jerami padi mempunyai kandungan senyawa aromatik yang lebih banyak dibanding kompos sampah kota dan pupuk kandang sapi, sehingga gugus fungsionalnya lebih stabil.

Aplikasi asam humat dari kompos jerami padi pada tanah sawah bukaan baru ordo Ultisol di daerah Sitiung Kabupaten Dharmasraya dapat menurunkan kandungan besi ferro ( $Fe^{2+}$ ) yang meracun pada tanaman padi (Gambar 27).





Gambar 27. Perubahan kadar Fe<sup>2+</sup> pada lahan sawah bukaan baru dengan aplikasi asam humat dari kompos jerami padi diikuti pengairan terus menerus (A) dan terputus-putus (B) setelah digenangi selama 10 minggu, serta pengaruh asam humat (C) terhadap gabah dengan pengairan

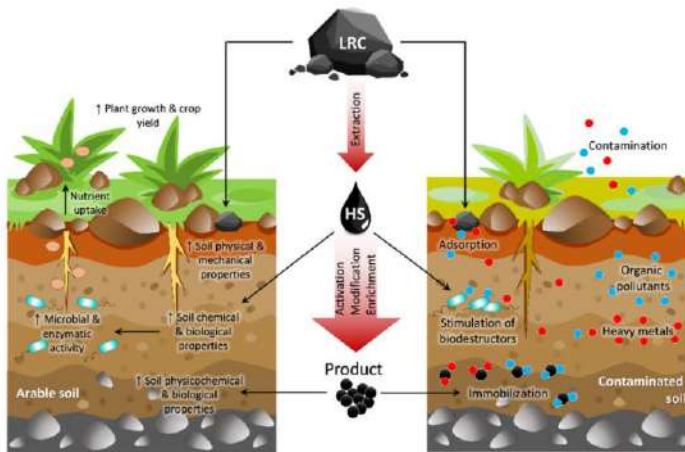
Setelah digenangi selama 10 minggu ternyata tanah sawah bukaan baru yang diaplikasi asam humat dari kompos jerami padi diikuti pengairan berselang 2 minggu (Gambar 27.B) mampu menekan kadar (Fe<sup>2+</sup>) lebih tinggi dibanding tanah digenangi secara terus menerus (Gambar 27.A). Aplikasi asam humat dari kompos jerami padi dosis 600 mg kg<sup>-1</sup> yang diikuti dengan pengairan berselang selama 2 minggu pada tanah sawah bukaan baru ordo Ultisol mampu menurunkan kandungan

Fe<sup>2+</sup> tanah yang mendekati kadar yang tidak toksik bagi tanaman, dengan kadar Fe<sup>2+</sup> tanah yang rendah berkisar antara 180-250 mg kg<sup>-1</sup>. Pengairan berselang setiap 2 minggu sekali dengan perlakuan asam humat kompos jerami padi menurunkan kandungan Fe tanah sebanyak 1094 mg kg<sup>-1</sup> dibandingkan dengan perlakuan digenangi terus menerus dari 1614 menjadi 520 mg kg<sup>-1</sup>. Pertumbuhan dan hasil panen padi meningkat karena penggunaan asam humat dari kompos jerami padi dengan pengairan berselang selama 2 minggu (Gambar 27.C) (Herviyanti *et al.*, 2012).

### 3.2 Batubara peringkat rendah (lignit dan sub-bituminus)

Sumber asam humat lain yang telah dimanfaatkan sebagai bahan amelioran adalah batubara muda subbituminus. Batubara jenis ini tidak produktif digunakan sebagai sumber energi karena mempunyai kalori yang rendah dan berada dekat ke permukaan tanah sehingga tidak mungkin menjadi batubara tua (antrasit). Sub-bituminus banyak terdapat di daerah Bonjol Kabupaten Pasaman Sumatra Barat. Pemanfaatan sub-bituminus sebagai sumber amelioran untuk lahan pertanian memerlukan beberapa inovasi teknologi diantaranya melalui ekstraksi atau aktivasi senyawa humatnya. Pengujian 10 jenis larutan pengestraksi yaitu 0,1 N NaOH; 0,5 N NaOH; 0,1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 0,5 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; 0,1 N HCl; 0,1 N HCl; 0,1 M Asam Formiat; 0,1 M Asam Oksalat; 0,025 N HF; Etanol 70% dan Etanol 90% memiliki kemampuan yang berbeda untuk mengekstrak zat humat dari sub-bituminus. Larutan terbaik yang dapat digunakan secara efektif adalah 0,5 N NaOH. Larutan ini dapat mengekstrak 31,5% senyawa humat dari batubara subbituminus yang berasal dari Kecamatan Bonjol Kabupaten Pasaman, namun hanya 15,4% yang dapat diekstrak dari batubara Sawahlunto, Sumatra Barat (Rezki *et al.*, 2007). Menurut Akimbekov *et al.* (2021) batubara peringkat rendah dan turunannya seperti lignit dan sub-bituminus memberikan aditif yang sangat fungsional untuk pemeliharaan kesuburan tanah dan stimulasi pertumbuhan tanaman. Selain itu, bahan ini sangat efektif untuk melumpuhkan dan mendegradasi berbagai polutan di dalam tanah, sehingga mengurangi ketersediaannya bagi tanaman (Gambar 28).

Batubara peringkat rendah dapat digunakan dengan baik untuk pembenah tanah, pupuk dan adsorben terhadap proses ameliorasi lahan yang tercemar seperti logam berat, pestisida dan mikroplastik. Berbagai jenis dan kombinasi serta formulasi yang telah dikembangkan dengan batubara peringkat rendah (sub-bituminus) yang diaplikasikan pada tanah dengan takaran tertentu dapat memberikan berbagai manfaat jangka pendek dan menengah, yaitu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan mobilitas unsur hara, menstimulasi aktivitas mikroba dan enzimatik, meningkatkan produktivitas tanah dan hasil panen. Dalam perspektif jangka panjang, batubara peringkat rendah dapat berfungsi sebagai sumber bahan organik tanah yang relatif stabil. Namun, perlu pengkajian secara menyeluruh untuk pertimbangan dan pencocokan yang cermat terhadap komponen yang terlibat dan faktor-faktor spesifik (tanah, tanaman, jenis batubara peringkat rendah, lokasi, dan lainnya).



Gambar 28. Fungsi batubara peringkat rendah (low rank coal - LRC) dan turunannya (senyawa humat) untuk pemeliharaan kesuburan tanah dan stimulasi pertumbuhan tanaman (Sumber: Akimbekov *et al.*, 2021).

Herviyanti *et al.*, (2012) telah melaporkan aplikasi senyawa humat dari sub-bituminus yang diekstrak dengan 0,5 N NaOH dalam rangka mengatasi fiksasi unsur hara P oleh logam Al dan Fe pada tanah ordo Ultisol dan Oxisol di daerah Kabupaten Lima puluh Kota Sumatra Barat. Perlakuan terbaik dalam menurunkan Al dan Fe-dapat dipertukarkan

(Al-dd dan Fe-dd) pada tanah adalah pemberian senyawa humat 800 ppm dan pupuk P 100%, nilai penurunan dari 3,42 menjadi 1,77 me 100 g<sup>-1</sup> untuk Al-dd dan 70,35 menjadi 53,48 ppm untuk Fe-dd tanah dimana memberikan hasil jagung maksimum yaitu sebesar 9,21 t ha<sup>-1</sup>. Hasil ini hampir sama dengan pemberian senyawa humat 800 ppm + pupuk P 75% rekomendasi. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan senyawa humat dan pupuk P dapat menghemat pupuk P sintetis sampai 25%.

Begitu pula efek sisa senyawa humat dari sub-bituminus dan kombinasi pupuk P dengan metode inkubasi dapat menurunkan Al-dd dan meningkatkan P-tersedia Oxisols. Penambahan senyawa humat 800 ppm + pupuk P 75 % Rekomendasi juga meningkatkan efisiensi pupuk P hingga 25%, serta meningkatkan produksi padi rata-rata 3,9 t/ha. Disamping itu senyawa humat dari sub-bituminus yang dikombinasikan dengan pupuk P juga mempunyai efek sisa dimana dapat meningkatkan produksi padi gogo pada musim tanam kedua (Herviyanti, Gusnidar, *et al.*, 2019). Penelitian selanjutnya aktivasi senyawa humat dari sub-bituminus dikembangkan dengan menggunakan beberapa jenis pupuk buatan seperti Urea dan KCl serta kapur sebagai aktivator. Perbaikan sifat kimia Oxisols dapat dicapai dengan penambahan bahan humat dari bubuk sub-bituminus yang diaktivasi dengan pupuk buatan dan kapur. Ternyata pupuk Urea mampu menggantikan peran NaOH dalam melarutkan senyawa humat dari sub-bituminus dan memperbaiki sifat kimia Oxisols. Dalam aplikasi teknologi pemupukan dan penambahan bahan organik, bahan humat dari sub-bituminus dosis 0,5% yang diaktivasi dengan pelarut Urea 0,2 g (kg)<sup>-1</sup> dapat digunakan untuk memperbaiki sifat kimia tanah Oxisols (Herviyanti dan Chan *et al.*, 2019).

Penggunaan sub-bituminus yang diaktivasi dengan urea dapat memperbaiki beberapa sifat kimia tanah seperti meningkatkan pH, P tersedia, C-organik, KTK dan menurunkan Al-dd tanah Ultisols (Herviyanti *et al.*, 2017). Pemberian campuran 20 ton.ha<sup>-1</sup> bubuk sub-bituminus dan 10% NaOH mampu meningkatkan pH H<sub>2</sub>O, KTK, C-Organik, P-Tersedia, dan N-Total Ultisol masing-masing sebesar 1,49 unit, 28,08 me.100 g<sup>-1</sup>, 1,63 % C, 2,37 ppm P, 0,06 % N, serta menurunkan Al-dd pada Ultisol sebesar 1,17 me.100g<sup>-1</sup>, dibandingkan tanah alami (Herviyanti *et al.*, 2018). Penambahan senyawa humat dari bubuk sub-

bituminus yang diaktivasi dengan urea dan dolomit juga dapat meningkatkan ketersediaan hara tanah dan serapan hara pada main nursery tanaman kelapa sawit. Penerapan teknik *hatch and carry E. kamerunicus* mampu meningkatkan populasi kumbang penyerbuk *E. kamerunicus* dari 7.655 populasi menjadi 23.725 populasi. Kombinasi bahan humat dari batubara tidak produktif dengan teknik *hatch and carry E. kamerunicus* menghasilkan produksi kelapa sawit terbaik yaitu 12,73 kg / tandan (Rezki *et al.*, 2022).

Aplikasi 450 g sub-bituminus yang diaktivasi dengan 10% (45g) dolomit per lubang tanam mampu memperbaiki sifat kimia Ultisol di Kabupaten Dharmasraya, seperti peningkatan pH, P tersedia, C organik, N total, KTK, dan K, Ca, dan Mg yang dapat dipertukarkan, masing-masing sebesar 0,44, 1,33 ppm P, 0,44% C, 0,04% N, 0,25, 0,27, dan 0,29 cmol kg<sup>-1</sup>, dibandingkan dengan aplikasi 450 g Sub-bituminus tanpa aktivator. Disamping itu terjadi peningkatan pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada tinggi [12,33 cm], diameter batang [0,84 cm] dan konsentrasi hara N, P, dan K daun tanaman sebesar [0,014% N, 0,004% P, 0,002% K] (Herviyanti *et al.*, 2021). Sedangkan, menurut Prasetyo *et al.* (2023) melaporkan bahwa teknologi ameliorasi tanah bekas tambang emas dari Sitiung Kabupaten Dharmasraya dengan aplikasi batubara Sub-bituminus sebanyak 40 t ha<sup>-1</sup> dapat meningkatkan muatan permukaan tanah ( $\Delta$ pH) sebesar 0,60 melalui perubahan sifat kimia tanah bekas tambang emas, dimana terjadi peningkatan pH (H<sub>2</sub>O), KTK, dan bahan organik tanah, berturut-turut sebesar 0,37; 2,14 cmol kg<sup>-1</sup> dan 7,83 % serta dapat menurunkan Hg sebesar 2,50 mg kg<sup>-1</sup>.

### 3.3 Biochar

Biochar merupakan arang hayati yang dihasilkan melalui proses dekomposisi secara termal yang dikenal dengan pirolisis. Pirolisis adalah proses pembakaran bahan organik dengan menggunakan oksigen dalam jumlah yang terbatas atau pembakaran tidak sempurna sehingga menghasilkan arang dan dikenal sebagai arang hayati. Biochar memiliki multifungsi yaitu sebagai bahan amelioran pada tanah pertanian dan perkebunan, sebagai sumber energi seperti pengisi baterai, bahkan telah digunakan sebagai sumber energi listrik. Biochar yang dihasilkan dengan beberapa metode produksi telah diidentifikasi atau

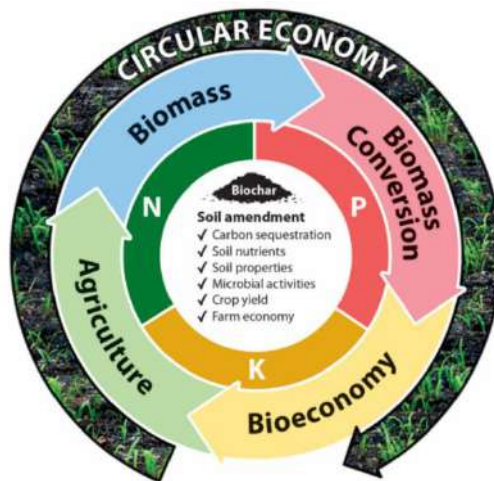
dikarakterisasi oleh tim peneliti Bamboo for Biochar: An Opportunity for Scientific, Societal and Environmental Change In Indonesia (BamBIndo) yang merupakan penelitian kerjasama antara Gent University Belgia dengan Universitas Gajah Mada Yogyakarta, Universitas Andalas Padang, Universitas Syah Kuala Aceh, dan Universitas Udayana Bali menggunakan metode analisis yang dikemukakan oleh Singh *et al.*, (2017). Karakterisasi morfologi dan kimia dari biochar diidentifikasi menggunakan SEM EDX, FTIR, XRF dan analisis unsur yang terkandung didalam biochar tersebut diukur dengan Spektrofometer dan Atomic Absorption Spektrofometer (AAS). Sedangkan beberapa peneliti lainnya juga telah mengkarakterisasi biochar dengan berbagai macam metode.

Beberapa metode sederhana yang telah dipraktekkan dalam memproduksi biochar antara lain Metode Kon-Tiki (tanur bertabir), drum dan soil pit (Gambar 29). Ketiga metode ini praktis dan mudah untuk diadopsi oleh petani. Diantara ketiga metode tersebut Kon-Tiki dan ukuran partikel  $\leq 0,5$  mm menghasilkan sifat kimia biochar limbah kayu surian terbaik (Darfis *et al.*, 2023). Disamping itu biochar limbah buah kelapa muda ukuran  $< 0,50$  mm juga memiliki karakteristik terbaik dibanding ukuran lainnya yaitu pH (10,09), EC ( $1,11 \text{ dS m}^{-1}$ ), potensi pengapuran (7,11%), analisis proksimat (34,5% moisture; 57. 77% volatile matter); KTK ( $780,69 \text{ mmol kg}^{-1}$ ), kation basa ( $393,49 \text{ K}$ ;  $430,31 \text{ Ca}$ ;  $124,37 \text{ Mg}$  dan  $173,42 \text{ mmol kg}^{-1} \text{ Na}$ ); C-Inorganik ( $0,376 \text{ g kg}^{-1}$ ), C-Organik ( $17,93 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Maulana *et al.*, 2022; Lita *et al.*, 2022).

Dengan demikian, biochar memainkan peran utama dalam memperluas pilihan pengelolaan tanah berkelanjutan dengan meningkatkan praktik pengelolaan terbaik yang ada, tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas tanah, tetapi juga untuk mengurangi dampak lingkungan pada tanah dan sumber daya air. Oleh karena itu, biochar tidak hanya dilihat sebagai alternatif dari pengelolaan tanah yang ada, tetapi sebagai tambahan berharga dalam segi ekonomi yang memfasilitasi pengembangan tata guna lahan yang berkelanjutan dan menciptakan lingkungan yang lestari (Gambar 30).



Gambar 29. Produksi biochar dengan metode (A) Kon-Tiki (B) Drum and (C) Soil-Pit.



Gambar 30. Peran biochar dalam model ekonomi sirkular pertanian (Sumber: Allohverdi *et al.*, 2021).

Penyerapan C dengan teknik pertanian tradisional sangat tidak pasti dan sangat lambat, sementara biochar memberikan penyerapan yang sangat stabil, dan dapat berkontribusi pada fungsi tanah lainnya; juga pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O yang konsisten. Sebagai bahan amelioran biochar telah dimanfaatkan dalam mengadsorpsi pestisida dalam tanah dan mengikat logam beracun pada tanah marginal. Kelarutan pestisida terutama herbisida berbahan aktif glifosat dan paraquat telah diteliti melalui kemampuan beberapa jenis biochar dalam mengadsorpsi herbisida tersebut pada tanah ordo Inceptisol. Sedangkan

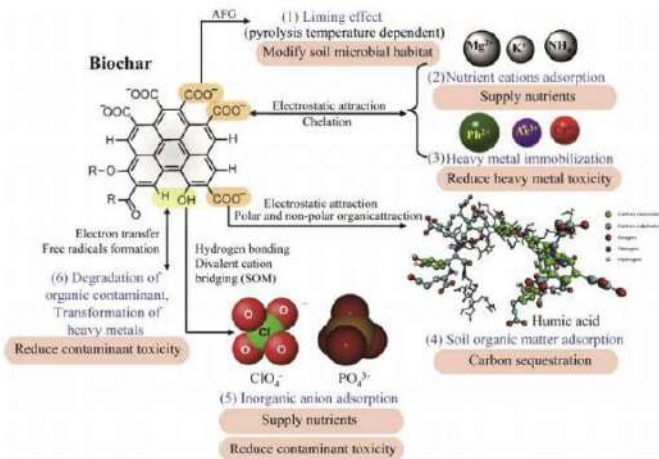
pada tanah bekas tambang emas diidentifikasi kemampuan biochar dalam mengadsorpsi logam merkuri (Hg).

Pemanfaatan limbah buah kelapa muda sebagai sumber biochar dapat memperbaiki sifat kimia Ultisols dimana aplikasi 2% (693 g/ 8kg tanah) biochar LKM meningkatkan pH dan menurunkan Al-dd, sehingga meningkatkan P tersedia, C organik dan KTK masing-masing sebesar 1,70 ppm; 0,99% dan 9,12 cmol[+] kg<sup>-1</sup>. Aplikasi 1,5% [520g/ 8kg] hampir sama dengan 2% biochar limbah kelapa muda dalam meningkatkan N total dan kation-kation yang dapat ditukar [K, Ca, dan Mg]. Sedangkan penambahan hingga 2% biochar limbah kelapa muda belum menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap pertumbuhan bibit tanaman kopi [*Coffea arabica* L.] pada umur 3 bulan [12 MST] (Herviyanti *et al.*, 2020). Aplikasi teknologi ameliorasi dengan penggunaan 2% biochar bambu dapat memperbaiki sifat kimia Ultisols, seperti meningkatkan pH, P tersedia, C organik, N total, KTK, dan Ca-dd serta dapat menurunkan Al-dd sebesar 0,90 unit, 2,50 ppm P, 1. 12% C, 0,13% N, 5,48; 1,79 dan 0,88 cmol/kg<sup>-1</sup>, dan meningkatkan pertumbuhan kedelai dan serapan hara NPK pada batang dan daun [3,57 g N, 2,61 g P, 4,64 g K], serta akar [0,93 g N, 1,03 g P, 0,94 g K], (Maulana *et al.*, 2021).

Pada dosis 20 t ha<sup>-1</sup> biochar kulit buah pinang dapat meningkatkan pH, C Organik, P- tersedia, KTK, N- total, K-dd, Ca-dd dan Mg-dd yaitu masing-masing sebesar 0,14 unit, 0,93%, 18,87 ppm, 21,32 cmol(+)/kg, 0,2%, 0,66 cmol(+)/kg, 1,17 cmol(+)/kg, dan 1,91 cmol(+)/kg (Solfianti *et al.*, 2021). Aplikasi 40 t ha<sup>-1</sup> biochar limbah kelapa muda pada Inceptisols, terjadi perbaikan sifat kimia yaitu peningkatan pH, KTK dan bahan organik. Penurunan transmitansi pada gugus H-O-H air dan C=C alkena (aromatik) (dari 88,95 menjadi 88,83%) dan mineral (dari 50,50 menjadi 50,42%), sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah Inceptisols (Darfis, *et al.*, 2023). Penambahan biochar sekam padi sebanyak 40 ton ha<sup>-1</sup> merupakan dosis terbaik dalam memperbaiki sifat kimia Inceptisol dengan peningkatan pH sebesar 0,93 dan 0,70 unit; KTK 0,05 dan 0,04 ds/m; C-Organik 1,75 dan 1,25%; P-tersedia 10,89 dan 23,79 ppm; N-total 0,19 dan 0,26% serta KTK 34,81 dan 18,64 cmol kg<sup>-1</sup>, masing-masing untuk hutan sekunder dan kebun campuran (Herviyanti *et al.*, 2023).



Gambar 31 menunjukkan peran gugus fungsi biochar (AFG  $\frac{1}{4}$  gugus fungsi asam, SOM  $\frac{1}{4}$  bahan organik tanah): (1) AFG bertanggung jawab atas efek pengapuran biochar yang memodifikasi habitat mikroba tanah; (2) daya tarik elektrostatis antara gugus karboksil biochar dengan kation hara secara efektif menahan hara untuk memastikan pasokan hara bagi mikroba tanah dan (3) melumpuhkan logam berat, sehingga mengurangi toksisitas logam berat terhadap sel mikroba; (4) daya tarik elektrostatis, serta daya tarik organik polar dan non polar, dari molekul asam humat dapat menghasilkan adsorpsi bahan organik tanah yang bermanfaat untuk penyerapan karbon (dibahas lebih lanjut pada bab selanjutnya); (5) ikatan hidrogen antara gugus eOH pada biochar dengan anion teroksidasi dapat mengadsorpsi anion anorganik untuk memasok unsur hara atau mengurangi toksisitas kontaminan anion; (6) transfer elektron untuk membentuk radikal bebas pada permukaan biochar dapat memfasilitasi degradasi kontaminan organik dan transformasi logam berat (akan dibahas lebih lanjut pada bab berikutnya) dan dapat mengurangi toksisitas kontaminan terhadap mikroba (Sumber: Zhu *et al.*, 2017).



Gambar 31. Diagram skematik peran gugus fungsi biochar

Teknik inaktivasi Hg pada tanah bekas tambang emas melalui ameliorasi dengan biochar limbah kelapa muda berpengaruh signifikan terhadap tanah bekas tambang emas. Aplikasi biochar 40 t ha<sup>-1</sup> meningkatkan pH [3,1 unit], KTK [2. 01 cmolc kg<sup>-1</sup>], C-organik [0,62%], N

[0,07%], P [20,53 ppm], K [0,96 cmolc kg<sup>-1</sup>], Ca [0,20 cmolc kg<sup>-1</sup> ] dan Mg [1,46 cmolc kg<sup>-1</sup> ] serta penurunan abu [0,60%] dan Hg [1,69 mg kg], sehingga juga meningkatkan tinggi tanaman jagung [81,66 cm] (Maulana *et al.*, 2023). Sementara aplikasi kombinasi biochar dan sub-bituminus dapat pula memperbaiki kesuburan tanah Ultisol. Perlakuan 50% sub-bituminus + 50% biochar bambu mampu meningkatkan P tersedia [1,1 ppm], KTK [9,04 cmol/kg K<sup>+</sup> [0,51 cmol/kg], Ca<sup>2+</sup> [1,37 cmol/kg], dan Mg<sup>2+</sup> [1,27 cmol/kg]. Selain itu, aplikasi 50% sub-bituminus + 50% biochar bambu memberikan hasil terbaik untuk tinggi tanaman, cabang dan daun tanaman kopi (Prasetyo *et al.*, 2021).

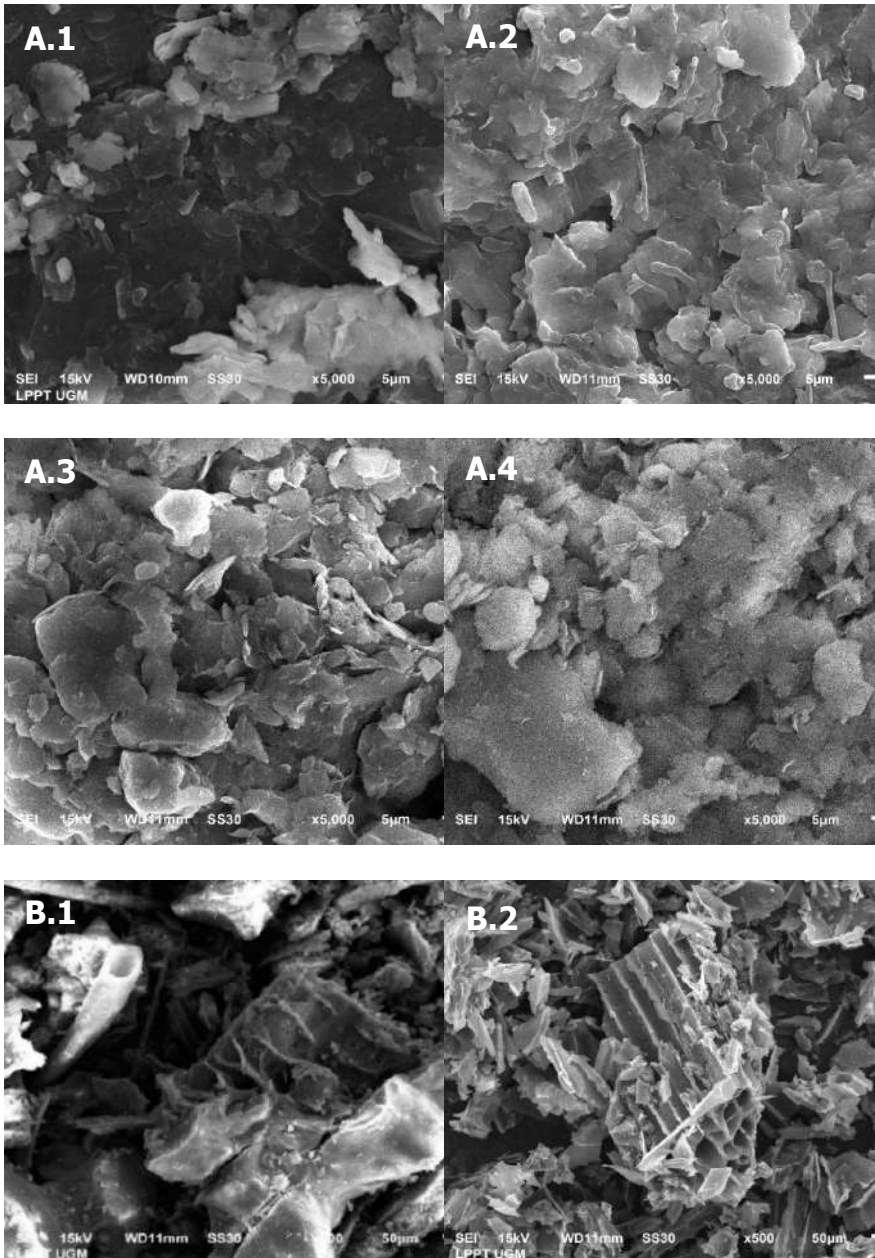
Upaya untuk mengurangi efek residu pestisida pada lahan pertanian yang intensif dapat dilakukan secara biologis dan non-biologis. Aplikasi bahan organik diharapkan mampu menurunkan tingkat meracun pada tanah akibat residu pestisida karena bahan organik dapat menyerap senyawa bahan aktif pestisida. Bahan organik memiliki peran dalam menurunkan kandungan pestisida secara nonbiologis, yakni dengan cara mengabsorpsi pestisida dalam tanah. Selain itu, penambahan bahan organik pada tanah tercemar pestisida bermanfaat untuk mendukung populasi mikroba yang kemudian efektif memineralisasi residu pestisida (Carpio *et al.*, 2021). Mekanisme adsorpsi digambarkan sebagai proses dimana molekul yang semula ada pada larutan, menempel pada permukaan zat adsorben secara fisika maupun kimia. Mekanisme ikatan pestisida dengan bahan organik dapat melalui pertukaran anion, protonisasi, ikatan hidrogen, pertukaran kation dan ikatan kovalen. Proses penyerapan terjadi jika gaya kohesi antara molekul adsorbat dengan molekul adsorben lebih besar dibanding dengan gaya adhesi pada masing-masing molekul ini. Mekanisme reaksi adsorpsi herbisida pada tanah sangat ditentukan oleh gugus-gugus fungsional, baik pada mineral tanah maupun pada komponen organik tanah.

Subbituminus dan biochar merupakan bahan organik yang dapat digunakan sebagai alternatif adsorben pestisida. Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau letak-letak tertentu di dalam partikel (Astuti, 2018). Adsorpsi herbisida sangat

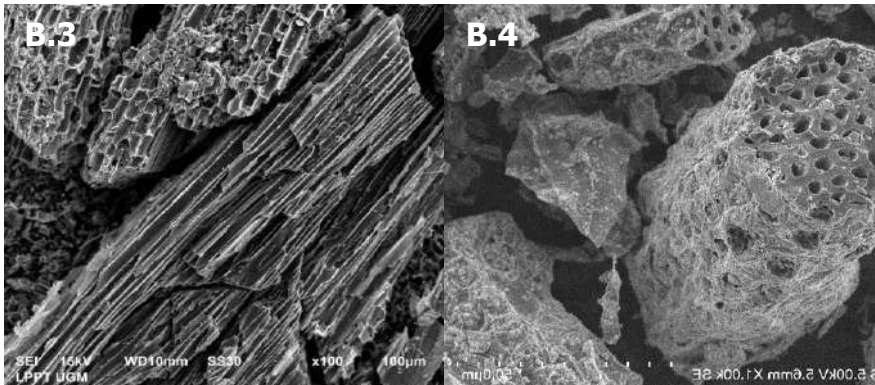
nyata dipengaruhi oleh luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan adsorben, semakin tinggi terjadinya adsorpsi karena semakin banyak kisi-kisi yang tersedia untuk permukaan adsorpsi (Sudirja *et al.*, 2017). Pori-pori pada biochar dapat menangkap partikel-partikel sangat halus. Ketika terjadi kontak antara biochar dengan pestisida maka partikel-partikel pestisida akan terjebak dan terperangkap di dalam pori-pori biochar. Proses tersebut terjadi karena ion dari pestisida ditarik oleh biochar dan melekat pada permukaannya dengan kombinasi daya fisik kompleks dan reaksi kimia. Hal ini dibuktikan dengan morfologi dari batubara dan biochar (Gambar 32).

Biochar memiliki karakteristik berpori dan memiliki mikro porositas yang dominan dan luas permukaan spesifik sehingga cocok dijadikan sebagai adsorben yang dapat digunakan secara efisien dalam pengolahan air tercemar. Semakin luas permukaan adsorben, semakin tinggi terjadinya adsorpsi karena semakin banyak kisi-kisi yang tersedia untuk permukaan adsorpsi. Biochar tempurung kelapa mempunyai luas permukaan pori 114,326 m<sup>2</sup>/g (Trismawati *et al.*, 2022), sedangkan biochar bambu 158,452 m<sup>2</sup>/g (Herviyanti *et al.*, 2022). Pori-pori biochar yang dihasilkan dipengaruhi oleh proses pirolisis dan komposisi bahan baku yang digunakan. Biochar sekam padi dan limbah buah kelapa muda mempunyai pori-pori yang banyak dan beragam. Hasil SEM limbah buah kelapa muda lebih jelas dan lebih banyak menunjukkan keberadaan pori di dalam biochar dibandingkan hasil SEM biochar sekam padi. Sedangkan permukaan biochar bambu paling banyak terdapat pori-porinya dibandingkan biochar kulit pinang dan jenis biochar lainnya. Komposisi bahan baku seperti lignin sangat berperan pada terbentuknya karakteristik pori-pori biochar.

Kandungan lignin yang tinggi akan menghasilkan arang yang semakin baik. Struktur bahan yang tersusun atas selulosa dan lignin akan secara alami memberi struktur berpori yang menjadikan bahan tersebut dapat digunakan sebagai media adsorpsi (Aisyahlika *et al.*, 2018). Sejalan dengan itu, (Li *et al.*, 2017) menjelaskan bahwa biochar bersifat porous dan memiliki stabilitas, luas permukaan, pH dan KTK tinggi, serta memiliki gugus fungsional karboksil, fenol, hidroksil, karbonil, dan kuinon. Karakteristik tersebut diyakini dapat digunakan untuk mengadsorpsi residu pestisida.



Gambar 32. SEM dari batubara (A) yang diaktivasi dengan NaOH (1), Urea (2) dan Dolomite (3) dan biochar (B) sekam padi (1) Biochar limbah buah kelapa muda (2) Biochar bambu (3) Biochar kulit pinang (4) (Sumber: Maulana et al., 2024; Solfianti et al., 2021).



Gambar 32 Lanjutan

Biochar Limbah buah kelapa muda mampu mengadsorpsi bahan aktif herbisida (glifosat) dengan kapasitas dan koefisien adsorpsi sebesar  $0,85 \text{ mg g}^{-1}$  dan  $56,25 \text{ L Kg}^{-1}$  pada pH  $8,03$  dan konsentrasi  $100 \text{ mg L}^{-1}$  glifosat. Isoterm adsorpsi glifosat terjadi pada model Freundlich dan Langmuir (Freundlich > Langmuir), dimana model Freundlich ( $y = 1,8373x - 2,3971$ ;  $R^2 = 0,9771$ ) dengan nilai  $n$  ( $0,54$ ) dan  $K_F$  [ $0,004 (\text{L mg}^{-1})^{1/n}$ ], dan model Langmuir ( $y = -17,066x + 251,58$ ;  $R^2 = 0,7239$ ) dengan nilai  $Q_m$  ( $0,06 \text{ mg g}^{-1}$ ) dan  $K_L$  ( $0,07 \text{ L mg}^{-1}$ ) (Herviyanti *et al.*, 2023)(Herviyanti, Maulana, Prasetyo, *et al.*, 2023). Inceptisol yang diperbaiki dengan  $40 \text{ t ha}^{-1}$  biochar sekam padi meningkatkan muatan permukaan tanah ( $\Delta\text{pH}$ ) dengan meningkatkan pH  $\text{H}_2\text{O}$  tanah, konduktivitas listrik, KTK, dan bahan organik tanah. Model linier dan nonlinier menunjukkan bahwa isoterm Langmuir dan Freundlich yang sesuai untuk penelitian ini. Isoterm adsorpsi glifosat secara berurutan terjadi pada model Freundlich dan Langmuir (Inceptisol +  $40 \text{ t ha}^{-1}$  biochar sekam padi > Inceptisol), dimana model Freundlich ( $R^2 = 0,938$ ) didominasi oleh adsorpsi glifosat pada tanah Inceptisol +  $40 \text{ t ha}^{-1}$  biochar sekam padi dengan  $n$  sebesar  $0,46$  dan  $K_F$  sebesar  $1,747 \text{ mg kg}^{-1}$ , sedangkan model Langmuir ( $R^2 = 0,8608$ ) dengan  $Q_m$  sebesar  $30,01 \text{ mg kg}^{-1}$  dan  $K_L$  sebesar  $0,08 \text{ L mg}^{-1}$  pada tingkat konsentrasi  $100 \text{ ppm}$  dan pH larutan glifosat  $5,20$ . Adsorpsi glifosat juga didukung oleh perubahan gugus fungsi, dimana spektroskopi Fourier transform inframerah (FTIR) menunjukkan adanya penurunan transmitan pada gugus O-H; C=C; C-O; C-H, dan gugus mineral yang mengindikasikan adanya peningkatan

kapasitas adsorpsi pada tanah ordo Inceptisol yang telah diperbaiki dengan biochar sekam padi (Herviyanti *et al.*, 2022).

#### **IV. Penutup**

Tanah marjinal mempunyai potensi untuk dikembangkan dan sebagian besar dimanfaatkan sebagai lahan pertanian dan perkebunan di Indonesia, khususnya di Sumatera Barat. Potensi tanah marjinal terutama tanah mineral masam (ordo Ultisol dan Oxisol dan sebahagian Inceptisol) yang sangat luas di Indonesia merupakan kawasan geoekologi yang harus lebih produktif dari masa ke masa. Namun dibalik potensinya tersimpan kendala bahwa tanah ini memiliki tingkat kesuburan yang rendah, mudah terdegradasi dan proses restorasinya memerlukan waktu yang panjang, sehingga perlu direhabilitasi melalui strategi dan teknologi yang tepat. Konsepsi pengembangan teknologi tepat guna melalui teknologi ameliorasi terus dikembangkan di lahan marjinal dalam mencapai tujuan untuk menjadikannya wilayah produktifitas tinggi, tanpa adanya gangguan dari tingkat kestabilannya (pertanian ramah lingkungan).

Salah satu langkah yang tepat dalam upaya meningkatkan produktifitas tanah marjinal adalah dengan aplikasi material-material alami yang bersumber secara geologi dan biomassa atau limbah organik sebagai bahan amelioran dan pensubsitusi pupuk buatan. Hasil dekomposisi bahan organik berupa hara makro dan mikro dapat mensubsitusi sebagian dan mengefisienkan pemakaian pupuk buatan yang harganya mahal dan sulit dijangkau oleh petani. Bahan organik berupa senyawa humat, kompos, batubara peringkat rendah yang tidak produktif sebagai sumber energi (Sub-bituminus) dan biochar telah diteliti secara mendalam dan diaplikasikan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah baik pada tanah sawah maupun lahan kering.

Aplikasi bahan organik mampu mengatasi permasalahan keracunan logam berat seperti Al dan Fe yang dominan ditemukan pada tanah mineral masam. Asam-asam organik yang dihasilkan mempunyai gugus fungsional karboksil (-COOH) dan fenolat (OH) yang bermuatan negatif sehingga dapat mengikat logam yang bermuatan positif. Apabila logam sudah berikatan dengan asam organik, maka masalah

ketersediaan unsur hara, terutama unsur fosfor (P) juga teratasi. Bahan organik juga sangat efektif dalam mengatasi permasalahan logam berat seperti Hg yang ditemukan pada tanah bekas tambang emas. Bahan organik didalam tanah dapat berfungsi sebagai *cementing agen* sehingga sifat fisik tanah semakin baik. Disamping itu dapat pula digunakan untuk *mengadsorpsi* residu pestisida yang akhir-akhir ini sudah mulai menjadi perhatian yang serius. Beberapa inovasi teknologi ameliorasi penggunaan bahan organik pada tanah tanah mineral masam dan tanah tercemar pestisida sudah memperlihatkan hasil yang mengembirakan sehingga dapat diterapkan kepada petani dalam rangka meningkatkan produktifitas dan kualitas tanah mereka. Inovasi ini juga dikembangkan untuk menghasilkan produk sayur sehat bersertifikat Prima 2 dan 3 di Kabupaten Agam.

## Referensi

- Aflizar, Muzakkir, Afrizal, R., & Rahman, M.A. (2017). Geochemical Investigation of Selected Elements in an agricultural soil: case study in Sumani Watershed West Sumatera in Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, 21(1), 49. <https://doi.org/10.5400/jts.2016.v2i1i.49-66>
- Aflizar, Aprisal, C. I., Alarima, C. I., & Masunaga, T. (2018). Effect of soil erosion and topography on distribution of cadmium (Cd) in Sumani watershed, west Sumatra, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 229(030001), 8. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201822903001>
- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2018). Kapsitas adsorpsi arang aktif cangkang bintaro (Cerbera adollam) terhadap zat warna sintetis raeactive red-120 dan raective blue-198. *Alotrop, Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 2(2), 9.
- Akimbekov, N. S., Digel, I., Tastambek, K. T., Sherelkhan, D. K., Jussupova, D. B., & Altynbay, N. P. (2021). Low-rank coal as a source of humic substances for soil amendment and fertility management. *MDPI - Agriculture*, 11(1261), 25.
- Allohverdi, T., Mohanty, A. K., Roy, P., & Misra, M. (2021). A review on current status of biochar uses in agriculture. *Molecules*, 26(18). <https://doi.org/10.3390/molecules26185584>

- Anwar, S., & Sudadi, U. (2013). Kimia tanah. In *Institut Pertanian Bogor*. Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan.
- Astuti, N. D. (2018). Pengelolaan dan pemanfaatan limbah keramik bayat sebagai alternatif material produk kerajinan tangan. *Ekspresi Seni*, 20(2), 88. <https://doi.org/10.26887/ekse.v20i2.391>
- Ayu, D. T., Putuhena, J. D., & Pattimahu, D. V. (2023). Perilaku petani sawah dalam penanganan pestisida di desa Waimital, Seram Bagian Barat. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 7(2), 181–192. <https://doi.org/10.30598/jhppk.v7i2.10442>
- Bali, I., Ahmad, A., & Lopulisa, C. (2018). Identifikasi mineral pembawa hara untuk menilai potensi kesuburan tanah. *Jurnal Ecosolum*, 7(2), 81. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v7i2.6880>
- Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénoimée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., Masuelli, M., Korrapati, S., Kurra, P., ... Mathijssen, R. H. J. (2016). Chemical characteristics of humic substances in nature. *Intech*, 11(tourism), 13. <https://www.intechopen.com/books/advanced-biometric-technologies/liveness-detection-in-biometrics>
- Carpio, M. J., Sánchez-Martín, M. J., Rodríguez-Cruz, M. S., & Marín-Benito, J. M. (2021). Effect of organic residues on pesticide behavior in soils: a review of laboratory research. *Environments*, 8(4), 32. <https://doi.org/10.3390/environments8040032>
- Daraban, G. M., Hlihor, R. M., & Suteu, D. (2023). Pesticides vs. biopesticides: from pest management to toxicity and impacts on the environment and human health. *Toxics*, 11(12), 26. <https://doi.org/10.3390/toxics11120983>
- Darfis, I., Maulana, A., Fathi, A. N. M., Rezki, D., Junaidi, J., & Herviyanti, H. (2023). The effect of pyrolysis methods and particle size on biochar characteristics of Surian (*Toona ciliata*) as ameliorant. *AIP Conference Proceedings*, 2730(December 2022), 8. <https://doi.org/10.1063/5.0127751>
- Darfis, I., Maulana, A., Prasetyo, T. B., Lita, A. L., & Herviyanti. (2023). Surface charge characteristics of inceptisols ameliorated with biochar from young coconut waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1182, 9. [158](https://doi.org/10.1088/1755-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)



- De Souza, F., & Bragança, S. R. (2018). Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as dispersant of ceramic powders. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(3), 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.008>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1–2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>
- Fischer, E. K., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M. (2016). Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments - A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environmental Pollution*, 213, 648–657. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.012>
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70(2013), 1055–1064.
- Gao, H., Yan, C., Liu, Q., Ding, W., Chen, B., & Li, Z. (2019). Effects of plastic mulching and plastic residue on agricultural production: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651(2019), 484–492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.105>
- Gaylor, M. O., Harvey, E., & Hale, R. C. (2013). Polybrominated diphenyl ether (PBDE) accumulation by earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to biosolids-, polyurethane foam microparticle-, and penta-BDE-amended soils. *Environmental Science and Technology*, 47(23), 13831–13839. <https://doi.org/10.1021/es403750a>
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- Herviyanti, Chan, A., Yusnawati, Prasetyo, T. B., & Hariant, M. (2019). Chemical properties of Oxisols treated with humic materials from sub-bituminous coal. *Asian J Agric & Biol, Special*, 254–260.
- Herviyanti, Gusnidar, Harianti, M., & Maulana, A. (2019). Improvement chemical properties of oxisols and rice production with humic substances from sub-bituminous coal Indonesia. *Agrivita*, 41(3),

- 428–438. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v4i13.1106>
- Herviyanti, H., Maulana, A., Lita, A. L., Harianti, M., Prasetyo, T. B., Khurnianto, R. T., Juwita, P., Ryswaldi, R., & Yasin, S. (2023). Impact of glyphosate contamination on chemical properties of inceptisols amelioration with biochar from rice husks, young coconut waste, and bamboo. *BIO Web of Conferences*, 80, 9. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20238003013>
- Herviyanti, H., Maulana, A., Prasetyo, T. B., Darfis, I., Hakim, L., & Ryswaldi, R. (2021). Activation of sub-bituminous coal with dolomite to improve chemical properties and palm oil growth on ultisols Activation of sub-bituminous coal with dolomite to improve chemical properties and palm oil growth on ultisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012032>
- Herviyanti, H., Maulana, A., Prima, S., Aprisal, A., Crisna, S. D., & Lita, A. L. (2020). Effect of biochar from young coconut waste to improve chemical properties of ultisols and growth coffee [*Coffea arabica* L.] plant seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 497(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/497/1/012038>
- Herviyanti, H., Prasetyo, T. B., Juniarti, J., Prima, S., & Wahyuni, S. (2018). The role of powder sub-bituminous coal with sodium hydroxide (NaOH) to improve chemical properties of ultisols. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(5), 2052–2058. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.5.3543>
- Herviyanti, H., Tatalia, E., Putri, A., Rezki, D., Maulana, A., Darusman, D., Darfis, I., Purwanto, B. H., & Prasetyo, T. B. (2024). The implication of microplastic contamination on chemical properties of Inceptisols in the horticultural production center of Banuhampu , Agam , West Sumatra , Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Land Management*, 12(1), 1001–1017. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.121.0000>
- Herviyanti, Maulana, A., Lita, A. L., Prasetyo, T. B., Monikasari, M., & Ryswaldi, R. (2022). Characteristics of inceptisol ameliorated with rice husk biochar to glyphosate adsorption. *Sains Tanah*, 19(2),

- 230–240. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v19i2.61614>
- Herviyanti, Maulana, A., Lita, A. L., Prasetyo, T. B., & Ryswaldi, R. (2022). Characteristics of biochar methods from bamboo as ameliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959(1), 9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012036>
- Herviyanti, Maulana, A., Prasetyo, T. B., Lita, A. L., Harianti, M., & Monikasari, M. (2023). Characteristics of glyphosate adsorption with biochar from young coconut waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1208(1), 9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1208/1/012050>
- Herviyanti, Prasetyo, T. B., Ahmad, F., & Saidi, A. (2012). Humic Acid and water management to decrease ferro (Fe<sup>2+</sup>) solution and increase productivity of established new rice Field. *J Trop Soils*, 17(1), 9–17. <https://doi.org/10.5400/jts.2012.17.1.9>
- Herviyanti, Prasetyo, T. B., Harianti, M., Maulana, A., Lita, A. L., & Ryswaldi, R. (2023). Chemical characteristics of secondary forest and mixed garden soils on inceptisols with the addition of rice husk biochar. *AIP Conference Proceedings: 3rd International Conference of Bio-Based Economy for Application and Utilization (ICBEAU)*, 9.
- Herviyanti, Prasetyo, T. B., Juniarti, & Rezki, D. (2017). Activation unproductive coal powder with urea to improve chemical properties of ultisols. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(3), 957. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.3.2152>
- Hiwari, H., Purba, N. P., Ihsan, Y. N., Yuliadi, L. P. S., & Mulyani, P. G. (2019). Kondisi sampah mikroplastik di permukaan air laut sekitar Kupang dan Rote , Provinsi Nusa Tenggara Timur Condition of microplastic garbage in sea surface water at around Kupang and Rote , East Nusa Tenggara Province. *BIODIV INDON*, 5, 165–171. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050204>
- Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for microplastics sampling on the sea surface and sample analysis. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, 118. <https://doi.org/10.3791/55161>
- Leitão, I. A., van Schaik, L., Ferreira, A. J. D., Alexandre, N., & Geissen,

- V. (2023). The spatial distribution of microplastics in topsoils of an urban environment - Coimbra city case-study. *Environmental Research*, 218(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114961>
- Li, L., Fan, H., & Hu, H. (2017). Distribution of hydroxyl group in coal structure: A theoretical investigation. *Fuel*, 189, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.091>
- Lita, A. L., Maulana, A., Yulnafatmawita, Gusmini, Herviyanti, & Ryswaldi, R. (2022). Characteristics biochar from young coconut waste based on particle size as ameliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959(1), 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012034>
- Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., Zhou, W., Cao, C., Shi, H., Yang, X., & He, D. (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 242, 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>
- Maulana, A., Harianti, M., Prasetyo, T. B., & Herviyanti, H. (2023). Index of contamination/pollution factor, geo-accumulation and ecological risk in ex-gold mining soil contaminated with mercury. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(4), 4791. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.104.4791>
- Maulana, A., Harianti, M., Prasetyo, T. B., & Herviyanti, H. (2024). The ability of sub-bituminous coal activated with NaOH in removal of mercury: Equilibrium and Isotherm Study. *International Journal of Environmental Science and Development*, 15(3), 130–139. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2024.15.3.1478>
- Maulana, A., Herviyanti, Prasetyo, T. B., Harianti, M., & Lita, A. L. (2022). Effect of pyrolysis methods on characteristics of biochar from young coconut waste as ameliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 959(1), 9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012035>
- Maulana, A., Prima, S., Rezki, D., Sukma, V., Fitriani, A., & Herviyanti. (2021). Carbon sequestration from bamboo biochar on the productivity of ultisols and soybean [*Glycine max* L.] plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 741(1), 8–15.

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012025>
- Maulana, A., Sukma, V., Napendra, Z., Harianti, M., Prasetyo, T. B., & Herviyanti, H. (2023). Application of biochar from young coconut waste to inactivation of Hg contaminated ex-gold mining soil and corn (*Zea mays* L.) vegetative growth. *AIP Conference Proceedings*, 2730, 9. <https://doi.org/10.1063/5.0127760>
- Meng, F., Fan, T., Yang, X., Riksen, M., Xu, M., & Geissen, V. (2020). Effects of plastic mulching on the accumulation and distribution of macro and micro plastics in soils of two farming systems in Northwest China. *PeerJ*, 8, 1–20. <https://doi.org/10.7717/peerj.10375>
- Nata, S. (2010). Karakteristik dan permasalahan tanah marginal dari batuan sedimen masam di Kalimantan. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 29(4), 139–146.
- Prasetyo, T. B., Maulana, A., Harianti, M., Lita, A. L., & Herviyanti, H. (2023). Study of surface charge and chemical properties of ex-gold mining soil ameliorated with Indonesian sub-bituminous coal. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1160(1), 11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1160/1/012032>
- Prasetyo, T. B., Naspendra, Z., Maulana, A., Solfianti, M., Krisna, S. D., & Herviyanti. (2021). Potential of biochar bamboo and sub-bituminous coal as amendment of acid mineral soils for improving the growth of arabica coffee [*Coffea arabica* L.] seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science PAPER*, 10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/741/1/012026>
- Prima, S., Naspendra, Z., Maulana, A., Prasetyo, T. B., Harianti, M., Febriana, K., & Herviyanti, H. (2023). Mercury (Hg) status and its mobility in gold mine soil in Dharmasraya, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2730, 9. <https://doi.org/10.1063/5.0127794>
- Rahmi, E., Suwardi, S., & Sumawinata, B. (2018). Characterization of humic substance extracted from andisols, spodosols, peat, and lignite. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 15(1), 35. <https://doi.org/10.15608/stjssa.v15i1.21622>
- Rezki, D., Ahmad, F., & Gusnidar, G. (2007). Ekstraksi bahan humat dari batubara (subbituminus) dengan menggunakan 10 jenis pelarut.

- Jurnal Solum*, 4(2), 73. <https://doi.org/10.25077/js.4.2.73-80.2007>
- Rezki, D., Efendi, S., & Herviyanti. (2022). Potential of biochar bamboo and sub-bituminous coal as amendment of acid mineral soils for improving the growth of arabica coffee [*Coffea arabica* L.] seedlings. *AGROHITA*, 7(1), 1–10.
- Rezki, D., Maulana, A., Prasetyo, T. B., Tanjung, E. T. A. P., Dwipa, I., & Herviyanti, H. (2024). Correlation of contamination/pollution from microplastics with physical properties of inceptisols. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1315(1), 11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1315/1/012034>
- Rizki, F. C., Wicaksono, P. R., & Wijayanti, F. (2024). Peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas sebagai hasil pengolahan lahan di Dusun Ngadilegi, Pandaan. *JIPM: Jurnal Informasi Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 1–9.
- Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H., & Pereira, R. (2017). Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environmental Pollution*, 220, 495–503. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.092>
- Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental Science and Technology*, 52(6), 3591–3598. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Shaleha, B. A., Afifah, F., Pitriani Salamah, N., NurSehha, S., Hananda Naila Rozni, Z., & Sulistyorini, D. (2023). Potensi dampak kandungan residu pestisida pada sayur dan buah. *Indonesian Journal of Biomedical Science and Health*, 3(1), 1–10. <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/IJBSH>
- Sinambela, B. R. (2024). Dampak penggunaan pestisida dalam kegiatan pertanian terhadap lingkungan hidup dan kesehatan. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 8(1), 76–85. <https://jurnal.fp.umi.ac.id/index.php/agrotek/article/view/478>
- Singh, B., Camps-Arbestain, M., & Lehmann, J. (2017). Biochar : a guide to analytical methods. In *CRC Press*. CSIRO. [www.publish.csiro.au](http://www.publish.csiro.au)
- Sintim, H. Y., Bandopadhyay, S., English, M. E., Bary, A. I., DeBruyn, J. M., Schaeffer, S. M., Miles, C. A., Reganold, J. P., & Flury, M. (2019). Impacts of biodegradable plastic mulches on soil health.

- Agriculture, Ecosystems and Environment*, 273, 36–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.002>
- Solfianti, M., Herviyanti, H., Prasetyo, T. B., & Maulana, A. (2021). Pengaruh aplikasi biochar limbah kulit pinang dosis rendah terhadap sifat kimia inceptisol. *Agrikultura*, 32(1), 77.  
<https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i1.32602>
- Sudirja, R., Joy, B., Yuniarti, A., & Trinurani, E. (2017). Some inceptisol soil chemical properties and soybean (*Glycine max* L.) yield as a result of ameliant application. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi 2017*, 15(2), 198–205.  
<http://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2018/07/Prosiding-2017-20-rija.pdf>
- Syahputra, E., Fauzi, & Razali. (2015). Karakteristik Sifat kimia sub grup tanah ultisol di beberapa wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(572), 1796–1803.
- Trismawati, T., Astuti, A. P., Bahri, M. S., Basit, A., Indrati, W., Putri, F. R. A., Novitasari, R., Mustafafi, W. Z., & Safira, M. (2022). Adaptasi teknologi informasi pembelajaran untuk meningkatkan efektifitas keberhasilan pembelajaran daring di SDN Sumber Wetan 1 Probolinggo. *Jurnal Abdi Panca Marga*, 3(1), 46–50.  
<https://doi.org/10.51747/abdipancamarga.v3i1.986>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.022>
- Zahrosa, D. B., & Sari, S. (2020). Lahan marginal menyimpan ragam potensi. <https://doi.org/10.25047/ppress.41>
- Zhu, X., Chen, B., Zhu, L., & Xing, B. (2017). Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation. *Environmental Pollution*, 227(August), 98–115.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.04.032>





## Restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang Dipulihkan Melalui Pendekatan Teknologi dan Rekayasa Ekologi



Bagian ini memaparkan tentang pentingnya Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam pengelolaan sumber daya tanah, air, dan lingkungan. Apa saja dampak degradasi DAS di Indonesia pada ekosistem dan masyarakat? **Adrinal** dan tim mengidentifikasi teknologi restorasi DAS yang efektif sesuai dengan kondisi ekologisnya, seperti jenis tanah, topografi, dan vegetasi. Bagaimana pendekatan restorasi yang optimal bergantung pada karakteristik unik masing-masing DAS dan aspek lingkungan, sosial, ekonomi, serta kelembagaan ikut dibahas.



# **Restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang Dipulihkan Melalui Pendekatan Teknologi dan Rekayasa Ekologi**

**Adrinal, Aprisal, Gusmini dan Elsa Lolita Putri**

*Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan,  
Fakultas Pertanian, Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) mendefinisikan DAS sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS berfungsi sebagai penyalur air hujan dari bagian hulu ke hilir, serta sebagai habitat bagi beragam flora dan fauna. DAS diklasifikasikan menjadi DAS yang dipulihkan dan DAS yang dipertahankan. DAS yang dipulihkan daya dukungnya mengacu kepada DAS yang kondisi lahan serta kualitas, kuantitas dan kontinuitas air, sosial ekonomi, investasi bangunan air dan pemanfaatan ruang wilayah tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Di Indonesia, banyak DAS yang telah mengalami degradasi akibat aktivitas manusia seperti perubahan tata guna lahan, deforestasi, pertanian intensif, urbanisasi. Penurunan fungsi (degradasi). Data Ditjen PDASRH-KLHK (2022), menunjukkan bahwa hingga tahun 2018 sebanyak 2.149 DAS (12,58%) perlu dipulihkan daya dukungnya. Sementara untuk Sumatra Barat, dari total 22 DAS yang ada, sekitar 74% telah mengalami degradasi berupa penurunan kualitas lingkungan akibat aktivitas pembukaan lahan, penebangan hutan, dan pertanian tidak berkelanjutan.. Degradasi ini menyebabkan erosi tanah, berkurangnya tutupan hutan, dan penurunan kualitas air di DAS menunjukkan bahwa DAS ini sangat berdampak terhadap ekosistem dan kehidupan masyarakat, seperti peningkatan risiko banjir, erosi tanah, penurunan kualitas air, dan hilangnya keanekaragaman hayati (Rachman *et al.*, 2019; Syahputra *et al.*, 2020).

Untuk mengembalikan fungsi ekosistem yang terdegradasi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada DAS tersebut maka upaya-upaya restorasi DAS perlu segera dilakukan. Penglibatan berbagai bentuk intervensi seperti memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologis DAS, serta meningkatkan kapasitas adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim (Marwa et al., 2021). Berbagai teknologi pendekatan teknologi telah dikembangkan dan diterapkan untuk mendukung upaya restorasi DAS, termasuk teknologi penginderaan jauh, sistem informasi geografis (SIG), bioteknologi, rekayasa ekologi, dan pendekatan partisipatif (Indrawati *et al.*, 2022).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan teknologi dan pendekatan dalam restorasi DAS termasuk kondisi ekologis DAS itu sendiri, seperti jenis tanah, topografi, dan vegetasi yang ada. Sebagai contoh, daerah dengan erosi tinggi memerlukan teknik konservasi tanah yang lebih intensif, sementara daerah dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi memerlukan pendekatan yang lebih fokus pada rehabilitasi habitat. Kondisi sosial-ekonomi masyarakat yang tinggal di sekitar DAS juga memainkan peran penting.

## **II. Restorasi DAS**

Restorasi DAS adalah upaya untuk memulihkan fungsi ekosistem yang terdegradasi akibat berbagai aktivitas manusia seperti deforestasi, urbanisasi, dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan. Restorasi DAS bertujuan untuk memperbaiki kualitas air, mengurangi erosi tanah, memulihkan habitat bagi flora dan fauna, serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat (Lal, 2015). Konsep restorasi DAS mencakup berbagai tindakan yang bertujuan untuk memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi dalam DAS, sehingga ekosistem dapat berfungsi secara optimal. Restorasi DAS melibatkan tindakan-tindakan seperti penanaman vegetasi asli, pengendalian erosi, dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan (Palmer *et al.*, 2014).

DAS perlu dipulihkan dan dilakukan restorasi ketika mengalami berbagai bentuk degradasi lingkungan yang mengancam fungsi ekologis dan layanan ekosistemnya. Faktor-faktor utama yang menjadi

indikator kondisi ini meliputi tingkat erosi tanah yang tinggi akibat praktik pertanian intensif yang tidak berkelanjutan atau kegiatan penggunaan lahan lainnya yang merusak (Nassima *et al.*, 2024; Mulugeta *et al.*, 2024), degradasi vegetasi yang mengakibatkan penurunan keanekaragaman hayati (Kamal *et al.*, 2024), pencemaran air akibat limbah industri atau domestik, serta penurunan kualitas air dan habitat yang mengancam spesies-spesies lokal (Gagan *et al.*, 2024).

Pada dasarnya, DAS yang membutuhkan restorasi seringkali menunjukkan tanda-tanda ketidakseimbangan ekologis yang dapat mengakibatkan dampak yang merugikan bagi masyarakat yang bergantung pada sumber daya alam dari DAS tersebut. Misalnya, penurunan kualitas air dapat mengancam pasokan air bersih bagi penduduk lokal dan mengurangi produktivitas pertanian di sekitarnya (Palmer *et al.*, 2005). Selain itu, kerusakan habitat yang parah dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati yang mempengaruhi fungsi ekosistem secara keseluruhan, seperti pengaturan tata air dan mitigasi bencana alam (Alan dan Kenneth., 2022).

Restorasi lahan di DAS sangat penting dalam upaya pemulihan Daerah Aliran Sungai, karena kemampuannya dalam mengurangi erosi dan akumulasi sedimen. Akar tumbuhan memperkuat struktur tanah, sehingga mencegah butiran tanah terbawa arus air hujan (Montgomery, 2007; Morgan, 2005). Lebih dari itu, rehabilitasi lahan juga berfungsi sebagai filter alami untuk polutan seperti logam berat dan nutrisi berlebihan, yang jika tidak dikendalikan dapat menyebabkan eutrofikasi di badan air (Allan & Castillo, 2007; Smil, 2000).

Restorasi DAS bukan hanya untuk memperbaiki kondisi lingkungan fisik, tetapi juga untuk memulihkan fungsi ekologis yang memadai untuk mendukung keberlanjutan pengelolaan sumber daya alam dan kesejahteraan manusia di masa depan. Upaya restorasi yang tepat dan berkelanjutan dapat mengembalikan DAS ke kondisi yang lebih stabil, meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, dan meningkatkan kesejahteraan ekonomi dan sosial masyarakat lokal (Divya *et al.*, 2023)

### **III. Pendekatan teknologi dalam restorasi DAS**

Teknologi dalam restorasi DAS mengacu kepada metoda, alat, dan praktik-praktik yang digunakan untuk menjaga, memulihkan dan meningkatkan kondisi ekosistem kawasan DAS. Berbagai teknologi yang dapat digunakan meliputi:

#### **1. Penggunaan penginderaan jauh dalam restorasi DAS**

Penginderaan jauh adalah teknologi yang menggunakan sensor pada satelit atau pesawat untuk memperoleh informasi tentang permukaan bumi tanpa melakukan kontak langsung. Teknologi ini sangat berguna dalam restorasi DAS karena memungkinkan pemantauan yang luas dan berkelanjutan terhadap kondisi lingkungan DAS. Teknologi penginderaan jauh telah menjadi alat yang penting dalam restorasi DAS karena kemampuannya untuk menyediakan data spasial yang luas dan berkelanjutan. Dengan menggunakan satelit dan drone, penginderaan jauh dapat memantau perubahan tutupan lahan, mengukur kelembaban tanah, dan memantau kualitas air dalam DAS (Chen *et al.*, 2020). Teknologi ini memungkinkan pengelola DAS untuk mendeteksi daerah yang mengalami degradasi dan mengidentifikasi area prioritas untuk restorasi. Menurut Qifeng (2023), pemanfaatan teknologi penginderaan jauh bisa dimanfaatkan dalam pengelolaan DAS dan WS, pengkajian perencanaan wilayah, pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan serta untuk memetakan dan manajemen bencana alam. Teknologi penginderaan jauh akan memberi informasi seperti batas daerah resapan air sehingga mendukung perencanaan lokasi dan saluran air sehingga embung bisa dimanfaatkan dalam jangka waktu yang lama.

#### **2. Pemetaan dan inventarisasi vegetasi**

Penginderaan jauh memungkinkan pemetaan tutupan lahan dan vegetasi secara akurat. Data dari satelit seperti Landsat dan Sentinel digunakan untuk mengidentifikasi jenis dan distribusi vegetasi dalam DAS. Informasi ini penting untuk merencanakan kegiatan revegetasi dan restorasi habitat. Contoh penggunaan citra satelit (Landsat) oleh Kurniawan *et al.* (2018), berhasil memetakan perubahan tutupan lahan di DAS Citarum selama periode 2000-2015. Melalui data dan peta yang dihasilkan akan memberikan dasar untuk intervensi restorasi yang tepat.

### 3. **Pemantauan erosi dan sedimentasi**

Identifikasi dan pemantauan terhadap area dan tingkat erosi dan sedimentasi pada suatu kawasan DAS juga bisa menggunakan teknologi penginderaan jauh. Citra satelit dengan resolusi tinggi, seperti WorldView-3, memungkinkan pemetaan erosi dan akumulasi sedimen di sungai. Studi oleh Arsyad *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan data dari satelit SPOT-6 efektif dalam memantau erosi tanah di DAS Brantas, yang kemudian digunakan untuk merencanakan tindakan konservasi tanah.

### 4. **Pemantauan perubahan penggunaan lahan**

Penginderaan jauh membantu memantau perubahan penggunaan lahan akibat aktivitas manusia seperti urbanisasi dan deforestasi. Data ini penting untuk menilai dampak perubahan tersebut terhadap hidrologi DAS dan merencanakan tindakan mitigasi. Contoh penggunaan ini adalah studi oleh Nugroho *et al.* (2020) yang menggunakan citra Sentinel-2 untuk memetakan perubahan penggunaan lahan di DAS Solo, Jawa Tengah, dan mengidentifikasi area kritis untuk restorasi.

### 5. **Analisis kualitas air**

Sensor penginderaan jauh dapat mendeteksi parameter kualitas air seperti suhu, kekeruhan, dan kandungan nutrisi. Hal ini memungkinkan pemantauan kondisi air sungai secara kontinu. Misalnya, penelitian oleh Sari *et al.* (2017) menggunakan data MODIS untuk memantau kekeruhan air di DAS Kapuas, Kalimantan Barat untuk membantu dalam menilai dampak aktivitas manusia terhadap kualitas air.

### 6. **Deteksi dan pemantauan bencana alam**

Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mendeteksi dan memantau bencana alam seperti banjir dan tanah longsor. Data dari satelit seperti TerraSAR-X dan RADARSAT-2 memungkinkan pemantauan banjir secara real time, membantu dalam respon cepat dan mitigasi dampak. Contoh penerapannya adalah studi oleh Purnama *et al.* (2018) yang menggunakan data TerraSAR-X untuk memantau banjir di DAS Bengawan Solo dan membantu dalam perencanaan tanggap darurat. Kurniawan *et al.* (2018) menggunakan data Landsat untuk

memetakan perubahan tutupan lahan di DAS Citarum dan menemukan bahwa deforestasi dan urbanisasi telah menyebabkan penurunan kualitas lingkungan. Data ini digunakan untuk merencanakan kegiatan restorasi seperti penanaman pohon dan pembuatan zona hijau. Penelitian oleh Arsyad *et al.* (2019) menggunakan data SPOT-6 untuk memantau erosi tanah di DAS Brantas menemukan bahwa erosi tanah yang tinggi terjadi di daerah dengan tutupan lahan yang rendah, dan hasil ini digunakan untuk merencanakan intervensi konservasi tanah, seperti pembangunan terasering dan penanaman vegetasi penutup tanah.

#### **IV. Penggunaan SIG dalam restorasi DAS**

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan alat yang sangat berguna dalam restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) karena memungkinkan pengumpulan, analisis, dan visualisasi data spasial yang komprehensif. SIG dapat mengintegrasikan berbagai jenis data spasial dan non- spasial, seperti topografi, penggunaan lahan, hidrologi, dan sosial-ekonomi, untuk menganalisis dan memvisualisasikan kondisi DAS. SIG membantu dalam perencanaan, pemantauan, dan evaluasi berbagai aspek restorasi DAS, seperti kondisi hidrologis, erosi, dan penggunaan lahan. Melalui analisis data spasial, SIG dapat memberikan informasi yang akurat dan real-time tentang kondisi lingkungan DAS, sehingga memudahkan perencanaan intervensi yang efektif dan efisien. Dengan menggunakan SIG, pengelola DAS dapat membuat peta risiko erosi, memodelkan aliran air, dan merencanakan intervensi restorasi yang efektif (Esin, 2024; Prema *et al.*, 2024).

Penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki berbagai aplikasi. Pertama, SIG digunakan untuk pemetaan perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan di DAS, seperti yang dilakukan oleh Noorul *et al.* (2019) di DAS Skudai-Malaysia dengan menggambarkan sub-daerah aliran sungai, mengidentifikasi masalah penggunaan lahan, dan menyarankan solusi yang ditargetkan. Kedua, SIG digunakan dalam analisis risiko erosi seperti yang dilakukan Arsyad *et al.* (2019) di DAS Brantas, dengan memodelkan topografi, curah hujan, dan jenis tanah untuk



mengidentifikasi area dengan risiko tinggi yang memerlukan tindakan konservasi seperti pembuatan terasering dan penanaman vegetasi penutup tanah. Ketiga, SIG digunakan untuk pengelolaan sumber daya air seperti yang dilakukan Liat (2013) di Kalimantan Barat untuk memetakan data sumber daya air serta mengolah data curah hujan harian sebagai dasar dari analisis hidrologi. Terakhir, SIG digunakan untuk perencanaan penggunaan lahan berkelanjutan di DAS, seperti yang dicontohkan oleh Nugroho *et al.* (2020) di DAS Solo, dengan memodelkan skenario penggunaan lahan untuk mengurangi risiko banjir dan erosi. Studi kasus ini menunjukkan bahwa integrasi SIG dalam strategi restorasi DAS dapat memberikan pemahaman yang mendalam dan solusi yang efektif terhadap tantangan lingkungan yang kompleks.

Arsyad *et al.* (2019) menggunakan SIG untuk menganalisis risiko erosi di DAS Brantas. Dengan memodelkan data topografi, curah hujan, dan jenis tanah, mereka berhasil mengidentifikasi area dengan risiko erosi tinggi. Informasi ini digunakan untuk merencanakan intervensi konservasi tanah seperti pembuatan terasering dan penanaman vegetasi penutup tanah di area kritis, yang membantu mengurangi laju erosi dan sedimentasi di sungai Brantas. Purwanto *et al.* (2019) menggunakan SIG untuk memantau kualitas air di DAS Kapuas. Data hidrologis dan kualitas air yang dianalisis menggunakan SIG menunjukkan peningkatan kadar kekeruhan dan penurunan kualitas air selama musim hujan. Informasi ini digunakan untuk merencanakan pembangunan instalasi pengolahan air dan pengelolaan limbah industri di daerah hulu, yang membantu meningkatkan kualitas air yang digunakan oleh masyarakat setempat.

#### **IV. Peran Bioteknologi dalam Restorasi DAS**

Bioteknologi memainkan peran penting dalam restorasi DAS khususnya dalam mengatasi masalah lingkungan seperti degradasi tanah, pencemaran air, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Peran Bioteknologi bisa melalui penggunaan tanaman dan mikroorganisme yang dapat membantu memperbaiki kualitas tanah dan air seperti penggunaan tanaman fitoremediasi yang mempunyai kemampuan menyerap polutan dari tanah dan air, sementara mikroorganisme

digunakan untuk memecah bahan kimia berbahaya (Singh *et al.*, 2018). Bioteknologi juga mencakup penggunaan varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, sehingga dapat membantu memulihkan lahan yang terdegradasi. Berikut beberapa cara bioteknologi dapat membantu dalam proses restorasi DAS:

### **1. Revegetasi dan rehabilitasi lahan terdegradasi**

Bioteknologi dapat digunakan untuk mengembangkan varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti tanah yang terdegradasi dan tercemar. Penggunaan tanaman transgenik atau hasil seleksi bioteknologi yang memiliki kemampuan fitoremediasi yang tinggi dapat mempercepat proses revegetasi dan rehabilitasi lahan terdegradasi di DAS. Penelitian oleh Hasanuzzaman *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman transgenik dengan kemampuan fitoremediasi yang ditingkatkan dapat mengurangi kadar logam berat di tanah yang tercemar dalam DAS. Tanaman ini mampu menyerap dan mengakumulasi logam berat, sehingga membantu dalam proses pembersihan tanah dan pemulihan fungsi ekosistem.

Hasil penelitian Aprisal *et al* (2024) menunjukkan bahwa mengetahui besarnya aliran permukaan dari berbagai penggunaan lahan di Sub DAS Arau Bagian hulu dapat membantu usaha menekan laju erosi pada berbagai kemiringan lahan. Hal ini dikarenakan mencerminkan kapasitas infiltrasi tanah yang tinggi, menghasilkan pengurangan limpasan permukaan. Hal ini disebabkan oleh revegetasi lahan akan meningkatkan laju infiltrasi tanah, sehingga efektif dalam pengelolaan lahan dalam mengurangi erosi tanah dan limpasan permukaan.

### **2. Bioengineering untuk pengendalian erosi**

Bioengineering, atau rekayasa biologis, melibatkan penggunaan tanaman dan teknik bioteknologi untuk stabilisasi tanah dan pengendalian erosi. Teknik ini melibatkan penggunaan vegetasi dengan sistem akar yang kuat untuk menahan tanah dan mencegah erosi, serta penggunaan mikroorganisme tanah yang dapat meningkatkan struktur tanah. Studi oleh Ghestem *et al.* (2014) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman dengan akar yang dalam

dan luas dapat meningkatkan stabilitas tanah di daerah yang rawan erosi. Penggunaan bioteknologi untuk mengembangkan tanaman dengan sistem akar yang lebih efisien dalam menahan tanah telah terbukti efektif dalam mengurangi laju erosi di DAS yang terdegradasi. Studi oleh Saidi dan Adrinal (2019) melalui teknik bioengineering dengan memanfaatkan tumbuhan vetiver dapat menekan erosi tanah pada tanah berbatu induk vulkanik.

### **3. Bioremediasi untuk pembersihan pencemaran air**

Bioteknologi juga digunakan dalam bioremediasi, yaitu penggunaan mikroorganisme atau enzim untuk mendegradasi atau menetralkan polutan di air. Teknik ini sangat berguna untuk mengatasi masalah pencemaran air di DAS, seperti pencemaran oleh bahan organik, logam berat, dan senyawa kimia berbahaya lainnya. Penelitian oleh Singh *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penggunaan mikroorganisme yang telah direkayasa secara genetik dapat meningkatkan efektivitas bioremediasi di perairan yang tercemar. Mikroorganisme ini mampu mendegradasi polutan organik dan mengakumulasi logam berat, sehingga membantu dalam pemulihan kualitas air di DAS.

Pemulihan lahan berbasis bahan organik dengan memanfaatkan limbah-limbah organik yang dihasilkan baik dari sisa panen sebelumnya, sampah rumah tangga, sampah pasar dan sebagainya dapat diolah menjadi pupuk organik dan dapat juga sebagai bahan pembenah tanah. Hasil penelitian Gusmini *et al.* (2024) berupa aplikasi Biokanat yang merupakan salah satu produk teknologi bahan organik yang terdiri dari beberapa formula campuran biochar (arang hayati), kompos pupuk kandang dan limbah pasar organik dan liat dapat berperan sebagai pembenah tanah, memperbaiki sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Biokanat selain dapat menambahkan kandungan bahan organik juga dapat berperan dalam mereduksi logam berat dalam tanah sebagai pencemar bagi tanah dan juga dapat mencegah terjadinya kelarutan logam dalam tanah dan air, sehingga biokanat dapat juga berperan meminimalkan keracunan dan pencemaran logam berat yang dihasilkan dari aktivitas penambangan liat dan aktivitas lainnya yang menggunakan logam berat seperti merkuri.

#### **4. Penggunaan mikoriza untuk pemulihan ekosistem**

Mikoriza, yaitu asosiasi simbiotik antara jamur dan akar tanaman, dapat meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap nutrisi dan air, serta meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang stres. Penggunaan inokulan mikoriza dalam proyek restorasi DAS dapat membantu mempercepat pertumbuhan tanaman dan memperbaiki struktur tanah. Studi oleh Ruwanthika *et al.* (2024) menunjukkan bahwa mikoriza membantu restorasi ekosistem melalui fitoremediasi dan degradasi kontaminan tanah, tergantung pada jenis polutan dan spesies mikoriza yang terlibat, meningkatkan kesehatan lingkungan. Menurut Mamta *et al.* (2022) mikoriza dapat digunakan untuk restorasi ekosistem dengan meningkatkan aliran nutrisi, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tekanan lingkungan, dan mempromosikan praktek agroekologi berkelanjutan secara global.

#### **5. Rekayasa genetika untuk peningkatan keanekaragaman hayati**

Rekayasa genetika dapat digunakan untuk meningkatkan keanekaragaman hayati di DAS dengan mengembangkan spesies tanaman dan hewan yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan. Hal ini dapat membantu memulihkan fungsi ekosistem dan meningkatkan keberlanjutan jangka panjang dari DAS yang dipulihkan. Penelitian Chen *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan tanaman hasil rekayasa genetika yang lebih tahan terhadap penyakit dan kondisi lingkungan yang ekstrim dapat meningkatkan keberhasilan proyek restorasi DAS. Tanaman ini mampu beradaptasi dengan baik di lingkungan yang sulit dan membantu memulihkan keanekaragaman hayati di DAS yang terdegradasi.

#### **6. Rekayasa ekologi**

Rekayasa ekologi melibatkan penggunaan prinsip-prinsip ekologi untuk merancang dan membangun ekosistem buatan yang dapat mendukung fungsi ekosistem alami. Dalam konteks restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS), rekayasa ekologi bertujuan untuk mengembalikan fungsi ekosistem alami yang rusak akibat aktivitas manusia, seperti deforestasi, urbanisasi, dan pertanian intensif. Pendekatan ini melibatkan berbagai teknik dan strategi yang

mempertimbangkan interaksi antara komponen biotik (makhluk hidup) dan abiotik (lingkungan fisik) dalam ekosistem. Dalam restorasi DAS, rekayasa ekologi dapat mencakup pembangunan bendungan mikro untuk mengendalikan aliran air, pembuatan zona riparian untuk melindungi tepi sungai, dan pembuatan kolam retensi untuk menangkap limpasan air hujan (Odum & Barrett, 2005). Teknik-teknik ini membantu memperbaiki siklus hidrologi dan meningkatkan kualitas air dalam DAS.

## **V. Penerapan Rekayasa Ekologi dalam Restorasi DAS**

### **1. Rehabilitasi Vegetasi Alami**

Mengembalikan vegetasi alami adalah salah satu langkah penting dalam rekayasa ekologi. Ini dapat melibatkan penanaman spesies tumbuhan asli yang memiliki peran penting dalam stabilisasi tanah, penyerapan air, dan penyediaan habitat bagi satwa liar. Vegetasi alami juga membantu mengurangi erosi dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Di DAS Ciliwung, Indonesia, proyek rehabilitasi vegetasi alami dilakukan dengan menanam spesies pohon asli seperti *Ficus variegata* dan *Albizia saman* yang diketahui memiliki sistem perakaran kuat dan kemampuan menyerap air yang baik. Studi oleh Daniel *et al.* (2016) menunjukkan bahwa penanaman spesies ini berhasil mengurangi laju erosi dan meningkatkan kualitas air sungai.

### **2. Pengelolaan Sumber Daya Air**

Rekayasa ekologi juga melibatkan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Ini dapat mencakup pembangunan bendungan kecil, kolam retensi, dan terasering untuk mengatur aliran air dan mengurangi risiko banjir. Selain itu, teknik seperti pengelolaan limpasan air hujan dan pemulihan mata air alami juga dapat diterapkan. Proyek pemulihan mata air alami dilakukan dengan menggunakan pendekatan ekohidrologi. Penelitian oleh Purwanto *et al.* (2019) menunjukkan bahwa dengan memperbaiki vegetasi di sekitar mata air dan mengelola aliran air secara alami, kualitas dan kuantitas air yang dihasilkan meningkat, yang pada gilirannya mendukung kebutuhan irigasi dan domestik masyarakat setempat.

### 3. Penggunaan Bioengineering:

Bioengineering adalah teknik yang menggabungkan prinsip-prinsip biologi dan teknik untuk stabilisasi tanah dan pengendalian erosi. Ini dapat melibatkan penggunaan vegetasi dengan sistem akar yang kuat, serta teknik mekanis seperti penanaman vegetasi penahan tanah dan pembangunan struktur bioengineering. Penelitian oleh Hasmana *et al.* (2018) menunjukkan bahwa Di DAS Citanduy, perangkat sedimen berbasis bambu secara efektif menangkap hingga 1 m<sup>3</sup> sedimen dalam 1,5 bulan, menunjukkan solusi praktis untuk mengendalikan erosi di area kritis. Ian *et al.* (2021) mengemukakan bahwa Bioengineering, seperti menggunakan *Salix alba* var. *Tristis* dan pagar wattle, secara efektif memulihkan tepi sungai, meningkatkan stabilitas lereng, habitat, dan sistem ekologi, seperti yang ditunjukkan dalam proyek restorasi Sungai Huaijiu.

### 3. Pemantauan Real-time

Pemantauan real-time adalah komponen penting dalam upaya restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS). Teknologi pemantauan real-time memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara kontinu dan instan, sehingga dapat memberikan informasi yang akurat dan cepat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam proyek restorasi. Sensor yang ditempatkan di berbagai titik dalam DAS dapat mengukur parameter seperti kualitas air, kelembaban tanah, dan curah hujan secara real-time. Data ini kemudian dapat dianalisis untuk mendeteksi perubahan kondisi ekosistem dan menginformasikan keputusan manajemen yang cepat dan tepat (Li *et al.*, 2019).

Teknologi pemantauan real-time memainkan peran kunci dalam restorasi DAS yang dipulihkan dengan menyediakan data yang akurat dan cepat untuk pengambilan keputusan yang efektif. Dengan menggunakan kombinasi penginderaan jauh, SIG, IoT, model hidrologi, sistem pemantauan cuaca, dan platform data terpadu, proyek restorasi dapat direncanakan dan dievaluasi dengan lebih baik. Penggunaan teknologi ini telah terbukti efektif dalam berbagai kasus di Indonesia, menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan keberhasilan restorasi DAS.

Teknologi penginderaan jauh menggunakan satelit, drone, dan pesawat terbang untuk mengumpulkan data lingkungan dari jarak

jauh. Teknologi ini dapat memberikan informasi tentang tutupan lahan, penggunaan lahan, kesehatan vegetasi, kelembaban tanah, dan parameter hidrologi lainnya. Di DAS Brantas, Indonesia, teknologi penginderaan jauh digunakan untuk memantau perubahan tutupan lahan dan kualitas air. Penelitian oleh Ramdhoni *et al.* (2019) menggunakan citra satelit Landsat untuk memantau dinamika perubahan tutupan lahan dari kawasan hutan menjadi kawasan non-hutan dan mengidentifikasi area yang mengalami deforestasi. SIG mengintegrasikan data spasial dan atribut dari berbagai sumber untuk analisis dan visualisasi. SIG dapat digunakan untuk memodelkan aliran air, risiko erosi, distribusi vegetasi, dan faktor-faktor lingkungan lainnya. Di DAS Citarum, Indonesia, SIG digunakan untuk mengintegrasikan data hidrologi, topografi, dan tutupan lahan.

Internet of Things (IoT) dan sensor terintegrasi memungkinkan pemantauan real-time kondisi lingkungan seperti kualitas air, kelembaban tanah, curah hujan, dan aliran sungai. Sensor-sensor ini dapat ditempatkan di berbagai lokasi strategis dalam DAS dan terhubung melalui jaringan internet untuk mengirimkan data secara terus-menerus. Di DAS Kapuas, Indonesia, proyek pemantauan real-time menggunakan sensor kualitas air yang terhubung dengan sistem IoT. Penelitian oleh Purwanto *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan sensor ini memungkinkan pemantauan instan parameter kualitas air seperti pH, konduktivitas, dan kadar oksigen terlarut. Data yang diperoleh digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran dan mengambil tindakan perbaikan.

Model hidrologi dan simulasi komputer digunakan untuk memprediksi respons DAS terhadap perubahan lingkungan dan intervensi restorasi. Model ini dapat mengintegrasikan data dari berbagai sumber dan memperkirakan dampak dari berbagai skenario restorasi. Di DAS Solo, penggunaan model hidrologi SWAT (Soil and Water Assessment Tool) membantu dalam merencanakan dan mengevaluasi proyek restorasi. Studi oleh Nugroho *et al.* (2020) menunjukkan bahwa model SWAT dapat memprediksi perubahan aliran air, sedimentasi, dan kualitas air sebagai respons terhadap perubahan penggunaan lahan dan tindakan konservasi.

Pengelolaan sumber daya air juga merupakan komponen penting. Pengelolaan limpasan air hujan dilakukan dengan membangun struktur seperti bendungan kecil, kolam retensi, dan terasering untuk mengatur aliran air dan mengurangi risiko banjir. Selain itu, pemulihan mata air dan sumber air alami dilakukan untuk memastikan pasokan air bersih yang berkelanjutan. Dengan memperbaiki vegetasi di sekitar mata air, kualitas dan kuantitas air meningkat, mendukung kebutuhan irigasi dan domestik. Menurut Schwendenmann *et al.* (2014) vegetasi yang tumbuh di sekitar sumber mata air tidak hanya berperan sebagai penyerap air, tetapi juga sebagai penyaring yang membantu menjaga kualitas air. Kehadiran vegetasi merupakan metode yang efektif untuk menjaga kestabilan tanah dan kondisi mata air di dalamnya (Wahyunana *et al.*, (2023) dalam Binsasi *et al.* (2024)

## VI. Penutup

Terdapat berbagai pendekatan teknologi yang dapat digunakan dalam upaya restorasi DAS yang dipulihkan seperti penggunaan penginderaan jauh, SIG, dan bioteknologi . Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan teknologi dalam restorasi DAS termasuk kondisi ekologis DAS itu sendiri, seperti jenis tanah, topografi, dan vegetasi yang ada. Pendekatan yang paling efektif dalam restorasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dipulihkan seringkali bergantung pada karakteristik unik dari setiap DAS, termasuk kondisi lingkungan, sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang ada di dalamnya.

## Referensi

- Alan, J., Rabideau, Kenneth, E., Shockley. (2022). Rivers and watersheds. doi :10.4324/9781315768090-20
- Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer Science & Business Media.
- Aprisal, S., Yasin, Z., Maysara, and Arinsonet (2024). Analysis of surface flow and soil erosion in the up stream arau sub watershed using scs-cn and usle methods. Department of Soil Science and land Resources, Faculty of Agriculture, Andalas University, Padang, Indonesia. 2<sup>nd</sup> Agrifood Sistem International Conference (ASIC).
- Arsyad, A., Susilo, B., & Suprpto, S. (2019). Monitoring of soil erosion



- in brantas watershed using SPOT-6 satellite data. *Journal of Environmental Management*, 234, 156-167.
- Binsasi, Y., & B. W. Amu. (2024). Jenis vegetasi dan peranannya terhadap sumber mata air di kawasan hutan lindung bifemnasi sonmahole desa Taekas. *Jurnal Tengkwang*. Vol. 14 (2): 116 - 123
- Chen, S., Xu, G., & Liu, J. (2020). Remote sensing applications in watershed restoration. *Journal of Environmental Management*, 259, 109671.
- Daniel, C., Allen., Bradley, J., Cardinale., Theresa, Wynn-Thompson. (2016). Plant biodiversity effects in reducing fluvial erosion are limited to low species richness. *Ecology*, DOI : 10.1890/15-0800.1
- Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Barat, (2021). Laporan kinerja tahunan 2021. Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Barat, Tahun 2021. 137 hal.
- Direktorat Jendral Pengelolaan DAS dan Rehabilitasi Hutan (2022). Laporan kinerja tahunan 2022. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Divya, R., G, Gautam., M. Sharma., P. K. Sonsare. (2023). Watershed Management And Sustainability. *IEEE*. DOI: 10.1109/iccsai59793.2023.10421450
- Esin, E.Y.Ö.F., Abdullah, E., Akay. (2024). Spatio-temporal analysis of erosion risk assessment using GIS-Based AHP method: a case study of doğancı dam watershed in bursa (Türkiye). *Forests*, DOI: 10.3390/f15071135
- Gagan, M,D. Jade. (2024). Nine steps towards rehabilitation and restoration of degraded urban rivers. 241-259. doi: 10.1016/b978-0-323-85703-1.00004-3
- Ghestem, M., Veylon, G., Bernard, A., Vanel, Q., Stokes, A. (2014). Influence of plant root sistem morphology and architectural traits on soil shear resistance.
- Gusmini, Adrinal, Arlius, F, dan Elsa L. P. (2024). Aplikasi biokanat guna memperbaiki sifat kimia dan menanggulangi kontaminasi merkuri di tanah bekas tambang emas. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. Vol. 29 (2). 251-258.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H.M.B., Nahar, K., Hossain, M.S., Mahmud, J.A., Hossen, M.S., Masud, A.A.C., Moumita, Fujita

- M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*. 2018; 8(3):31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>
- Hasmana, S., Sudiana, N. (2018). Aplikasi teknologi bioengineering jebakan sedimen di sub DAS citanduy hulu. DOI: 10.29122/JAI.V5I1.2432
- Ian, G., jiarong, G., Ying, L., Yue, W., Biantian, Qian. (2012). Experimental research for riverbank restoration by using soil bioengineering. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*,
- Indrawati, D., Santoso, H., & Pratama, A. (2022). Teknologi dan Pendekatan dalam Restorasi DAS di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 11(1), 45-62.
- Kamal, M., J. Moles., Y. Everett. (2024). Watershed rehabilitation with forest gardens in Moneragala District, Sri Lanka. DOI: 10.55515/illk5779
- Kurniawan, H., Prasetyo, L. B., & Anwar, S. (2018). Land cover change detection in citarum watershed using landsat images. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(3), 123-134.
- Liat, T. B. (2013). Rancang bangun sistem informasi geografis sumber daya air Kalimantan Barat berbasis web. *JUSTIN (Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi)*, 1(2), 103-107.
- Mamta, D., Sharma, L., Kaushik, P., Singh, A. W., Sharma, M. M. (2022). Mycorrhiza: an ecofriendly bio-tool for better survival of plants in nature. *Sustainability*, DOI: 10.3390/su141610220
- Marwa, A., Nugroho, B., & Lestari, S. (2021). Dampak degradasi daerah aliran sungai dan upaya restorasi. *Jurnal Ekologi dan Konservasi*, 9(3), 101-118.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil Erosion and Conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Mulugeta, E., Ketama, T., Abegeja, D., Getachow, G., Gosa, R. (2024). Watershed-based participatory sustainable land management using integrated physical swc measure in ilasa watershed of Goba District, Bale Highland South-Eastern Ethiopia. *Cross current international journal of agriculture and veterinary*

- sciences, 6(02):31-39. DOI: 10.36344/ccijavs.2024.v06i02.003
- Nassima, M., Benzougagh, B., Mastere, M., Fellah, B. E., Lamrani, H. (2024). The impact of soil erosion on environments: A case study of the Oued Beht Watershed (Morocco). *BIO web of conferences*, 115:01006-01006. doi: 10.1051/bioconf/202411501006
- Noorul, H. Z., I. Naubi., S. A. Abbasi., K. A. Jamali., T. F. Miano. (2019). (9) An improved method for watershed management - a case study of arcgis application to the skudai watershed, malaysia. *International Journal of Geomate*, DOI: 10.21660/2019.64.190725
- Nugroho, S. B., Yulianto, E., & Widiatmaka. (2020). Land Use Change Detection in Solo Watershed Using Sentinel-2 Data. *Indonesian Journal of Geography*, 52(1), 45-56.
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamentals of Ecology*. Thomson Brooks/Cole.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Allan, J.D., Lake, P.S., Alexander, G., Brooks, S., & Galat, D.L. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208-217. DOI :10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x.
- Palmer, M.A., Hondula, K.L., & Koch, B.J. (2014). Ecological restoration of streams and rivers: shifting strategies and shifting goals. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Sistematics*, 45, 247-269.
- Peraturan Pemerintah No. 37 (2012). *Pengelolaan daerah aliran sungai*. Lembaran Negara Republik Indonesia. 36 hal.
- Prema, K.,J. Joshi., N.C., Pant. (2024). Micro watershed management of the sai river: applications of geo- informatics (gis). *EPRA international journal of agriculture and rural economic research*, DOI: 10.36713/epra15726
- Purnama, D., Sutopo, W., & Wicaksono, A. (2018). Flood monitoring in bengawan Solo watershed using terraSAR-X Data. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 563-572.
- Qifeng, Z. (2023). Application of remote sensing technologies in environmental monitoring and geological surveys. *Applied and Computational Engineering*, DOI: 10.54254/2755-2721/3/20230403
- Rachman, A., Fauzi, M., & Wardani, R. (2019). Evaluasi keberhasilan restorasi DAS di indonesia. *Jurnal Hidrologi Tropis*, 5(1), 33-47.

- Ramdhoni, F., Hana, F.A., Abdurrasyid, A.H. 2019. Identifikasi deforestasi melalui pemetaan tutupan lahan di Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. DOI: 10.24895/SNG.2018.3-0.987
- Ruwanthika, K., Dayasena. Y.A.P.K., Stephenson, S.L., Tibpromma, S., Xue-Mei, Chen., Yapa, N., Samantha, C., Karunarathna. (2024). Roles of mycorrhizal fungi in phytoremediation of contaminated eco-sistems. *New Zealand Journal of Botany*, DOI: 10.1080/0028825x.2024.2326850
- Saidi, A., and Adrinal (2019). Effect of the conservation plants on runoff, soil erosion, and root characteristics in the volcanic areas. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 393 012065. doi:10.1088/1755-1315/393/1/012065
- Sari, D. P., Wahyuni, S., & Putri, M. R. (2017). Monitoring water quality in kapuas watershed using MODIS data. *Journal of Water Resources and Protection*, 9, 925-937
- Schwendenmann, L., Pendall, E., Sanchez-Bragado, R., Kunert, N., & Hölscher, D. (2015). Tree water uptake in a tropical plantation varying in tree diversity: interspecific differences, seasonal shifts and complementarity. *Ecohydrology*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.1002/eco.1479>.
- Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 53-88.
- Syahputra, M., Lestari, S., & Pratama, A. (2020). *Perubahan Tata Guna Lahan dan Dampaknya terhadap Degradasi DAS*. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 7(2), 55-72
- Singh, A., Agrawal, M., & Marshall, F. (2018). The role of bioremediation technologies in restoring ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(2), 98.

## Pentingnya Pengelolaan dan Penyimpanan Plasma Nutfah Tanaman untuk Ketersediaan Bahan Genetik di Masa Depan



Tulisan ini memaparkan tentang pentingnya KEHATI atau keanekaragaman hayati dan pengelolaan plasma nutfah di Indonesia. Kehati mencakup semua makhluk hidup yang berinteraksi dalam ekosistem, dan plasma nutfah adalah sumber daya genetik yang harus dilestarikan untuk keberlanjutan hidup. **Dini Hervani** juga membahas mengenai pelestarian plasma nutfah melalui penyimpanan in-situ dan ek-situ, sehingga mampu memenuhi kebutuhan sandang, pangan, dan papan di samping mempertahankan variasi genetik. Kenapa pemerintah perlu mendanai dan mengelola plasma nutfah bersama instansi, universitas, petani, dan masyarakat adat, ikut dibahas.



# Pentingnya Pengelolaan dan Penyimpanan Plasma Nutfah Tanaman untuk Ketersediaan Bahan Genetik Di Masa Depan

Dini Hervani

*Dosen bidang Pemuliaan Tanaman, Program Studi Agroteknologi  
Fakultas Pertanian Universitas Andalas*

## I. Pendahuluan

Indonesia menjadi salah satu negara yang diberi kelimpahan anugerah keindahan alam, kekayaan alam dan keanekaragaman yang mencakup banyak hal. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari 17.508 pulau, terbentang di antara Benua Asia dan benua Australia, terletak antara  $6^{\circ} 04' 30''$  lintang utara (LU) dengan  $11^{\circ} 00' 36''$  lintang selatan (LS) dan antara  $94^{\circ} 58' 21''$  dengan  $141^{\circ} 01' 10''$  bujur timur (BT). Bentang alam Indonesia ini membentuk bioregion yang akan memisahkan wilayah geografi sehingga nantinya akan terkait dengan perbedaan ekosistem, dan penyebaran flora fauna di Indonesia.

Para peneliti membuat garis Wallace, garis Weber dan garis Lydekker yang membantu dalam pengelompokan dan penyebaran flora dan fauna (Gambar 33).



Gambar 33. Garis Wallace, Weber dan Lydekker di Indonesia  
(Sumber: rri.co.id)

Garis Wallace yang digagas oleh Alfred Russell Wallace bersama Charles Darwin merupakan garis biogeografi yang memisahkan wilayah geografi flora dan fauna Asia dan Australia. Selanjutnya garis Wallace ini

diperbaiki oleh peneliti lain bernama Antonio Pigafetta dan ia menggeser garis Wallace ke arah timur sehingga menjadi garis Weber, kemudian garis Lydekker merupakan garis biogeografi yang ditarik pada batasan Paparan Sahul di bagian timur Indonesia. Kondisi biogeografi Indonesia inilah yang melandasi keanekaragaman hayati yang sangat tinggi sehingga salah satu artikel mongabay.com pada tanggal 21 Mei 2016 yang ditulis oleh Rhett A. Butler dengan judul ‘*The top 10 most biodiverse countries*’ (Tabel 20), menyampaikan bahwa Indonesia menempati posisi kedua dengan tingkat keanekaragaman hayati tinggi di dunia.

Tabel 20. Urutan negara berdasarkan keanekaragaman hayati

| Rank | Negara    | Aves (%) | Reptilia (%) | Hewan darat (%) | Binatang perairan (%) | BioD |
|------|-----------|----------|--------------|-----------------|-----------------------|------|
| 1    | Brazil    | 17.8     | 14.4         | 7.3             | 12.1                  | 0.78 |
| 2    | Indonesia | 17.1     | 14.6         | 6.7             | 12.1                  | 0.62 |
| 3    | China     | 12.7     | 11.2         | 5.3             | 11.1                  | 0.59 |
| 4    | Colombia  | 18.3     | 6.4          | 5.5             | 8.2                   | 0.57 |
| 5    | Peru      | 18.1     | 4.8          | 4.5             | 8.9                   | 0.51 |
| 6    | Meksiko   | 10.9     | 7.8          | 8.5             | 9.1                   | 0.50 |
| 7    | Australia | 8.0      | 15.1         | 9.6             | 6.0                   | 0.49 |
| 8    | India     | 12.1     | 8.3          | 7.4             | 6.8                   | 0.46 |
| 9    | Ekuador   | 16.1     | 3.3          | 4.1             | 6.9                   | 0.45 |
| 10   | USA       | 9.9      | 9.1          | 4.7             | 6.9                   | 0.40 |

(Sumber: mongabay.com)

Pengertian tentang keanekaragaman hayati atau biodiversitas menurut WWF (1989), merupakan keanekaragaman hidup di bumi, mencakup segala jenis makhluk hidup seperti jutaan spesies tumbuhan, jamur, hewan bahkan mikroorganisme, dimana antara organisme atau materi genetik tersebut akan saling berinteraksi dalam suatu ekosistem yang dibangun sehingga menjadi sebuah lingkungan untuk mendukung kehidupan. Menurut Undang-undang (UU) No. 5 tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Convention on Biological Diversity* (Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Keanekaragaman



Hayati), bahwa keanekaragaman hayati meliputi ekosistem, jenis dan genetik yang mencakup hewan, tumbuhan dan jasad renik (*micro-organism*).

Keanekaragaman hayati khususnya di Indonesia sangat berperan penting untuk berlanjutnya proses evolusi serta terpeliharanya keseimbangan ekosistem dan sistem kehidupan biosfer. Kegiatan melestarikan keanekaragaman hayati ini membutuhkan perhatian dan peranan dari semua pihak serta diperlukannya berbagai pengetahuan, inovasi-inovasi dan praktik-praktik yang berkaitan dengan konservasi keanekaragaman hayati dan pemanfaatannya secara berkelanjutan.

## **II. Istilah Keanekaragaman Hayati dan Plasma Nutfah**

Pada umumnya keanekaragaman hayati (kehati) sering disamakan dengan plasma nutfah, padahal ini adalah dua hal yang berbeda. Kehati menggambarkan keberagaman makhluk hidup di bumi, yang meliputi keragaman genetik, keragaman spesies dan keragaman ekosistem, sedangkan plasma nutfah itu sendiri merupakan sumber daya genetik dari masing-masing spesies makhluk hidup tersebut. Plasma nutfah sebagai sumber daya genetik merupakan hal yang sangat penting untuk dijaga keberadaannya karena pengelolaan plasma nutfah yang baik juga akan berkaitan dengan terjaganya kehati, bahkan kelangsungan hidup suatu negara sangat tergantung dengan bagaimana cara warga negara tersebut bisa untuk mengelola kekayaan kehati secara bijak dan berkesinambungan sehingga bisa bertahan untuk generasi selanjutnya. Kegiatan untuk melestarikan kehati dapat dilakukan dengan melakukan penyimpanan plasma nutfah sehingga nantinya plasma nutfah dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sandang, pangan dan papan, untuk perkembangan ilmu pengetahuan, mendapatkan variasi genetik yang baru, dan mempertahankan jenis plasma nutfah yang asli bahkan yang hampir langka.

Kegiatan penelitian terkait kehati di Indonesia telah dimulai oleh para peneliti asing pada era sebelum kemerdekaan dan banyak memberikan kontribusi terkait bidang taksonomi, biogeografi dan ekologi. Penelitian kehati di Indonesia pertama kali dilakukan oleh seorang berkebangsaan Jerman bernama Georg Eberhard Rumpf

(Rumphius) pada pertengahan abad ke-17. Rumphius telah memetakan flora yang tumbuh di Ambon dan sekitarnya, dan menghasilkan karya Herbarium Amboinense yang diterbitkan dalam enam seri. Buku yang diterbitkan pada tahun 1741–1750 memuat sekitar 1.200 jenis tumbuhan. Setelah Herbarium Amboinense, bermunculanlah buku-buku lain yang memuat kehati Indonesia, khususnya kehati di pegunungan Jawa yang ditulis oleh Reinwardt, Blume, Willem Marius Docters van Leeuwen, Koorders, van Steenis, dan beberapa peneliti botani lainnya. Salah seorang peneliti bernama Reinwardt dipercaya sebagai direktur pertama Kebun Raya Bogor (18 Mei 1817) yang ditugasi melaksanakan penelitian botani, zoologi, dan pertanian di Indonesia. Kegiatan terkait koleksi plasma nutfah juga mulai dilakukan sejak abad XX, dengan cara melakukan pencatatan pada buku induk koleksi berbagai tanaman dan membuka kebun-kebun koleksi/permanen tanaman perennial dan perkebunan di seluruh wilayah Indonesia.

### **III. Pelestarian dan Penyimpanan Plasma Nutfah Tanaman**

Kekayaan kehati yang dimiliki Indonesia, ternyata tidak diiringi dengan sistem pengelolaan plasma nutfah yang maksimal, sehingga Indonesia juga dinilai sebagai negara dengan penurunan kehati yang tinggi dan beberapa spesies pun terancam punah. Indonesia belum memiliki sistem tata kelola plasma nutfah oleh suatu lembaga nasional dan masih terpisah-pisah pengelolaan plasma nutfah ini pada unit kerja masing-masing sehingga pemegang otoritas dan tanggung jawab pelestarian plasma nutfah tidak jelas. Hal ini mengakibatkan tidak adanya jaminan pada kelestarian koleksi plasma nutfah. Menurut Sumarno (2023), sistem pengelolaan sumber daya genetik/plasma nutfah seharusnya dilakukan secara terintegrasi dan terpadu di dalam satu manajemen lembaga yang permanen, yang dipimpin oleh pejabat yang bertanggung jawab dan bertanggung gugat untuk menjamin keberadaan dan pemanfaatan plasma nutfah masa kini dan masa yang akan datang. *International Plant Genetic Resources Institute* (IPGRI) merupakan salah satu organisasi internasional yang fokus dengan sumber daya genetik. IPGRI menjelaskan dalam setiap pertemuannya bahwa plasma nutfah adalah penyangga kelangsungan hidup suatu spesies. IPGRI memfasilitasi kegiatan penelitian dan juga berperan

sebagai katalis dan fasilitator bersama rekan kerja termasuk ke dalamnya program kegiatan dan pengembangan negara terkait plasma nutfah.

Besarnya peranan penyimpanan plasma nutfah, khususnya dalam hal ini plasma nutfah tanaman menjadi hal yang sangat penting untuk dipahami dan diterapkan di suatu negara, oleh karena itu pengelolaan plasma nutfah seharusnya memang dilakukan oleh pemerintah dan didanai oleh negara, melalui kerjasama dengan pemerintah daerah, antar instansi, universitas, badan usaha, petani dan masyarakat adat. Pengelolaan dan penyimpanan plasma nutfah pada tanaman tidak hanya ditujukan untuk persediaan penanaman pada musim berikutnya, tetapi juga ditujukan untuk penyimpanan jangka menengah dan jangka panjang.

Pelestarian atau konservasi plasma nutfah dapat dilakukan dengan cara konservasi *in situ* dan konservasi *ek situ*.

### **1. Konservasi *in situ***

Strategi pelestarian atau konservasi *in situ* berarti kegiatan pelestarian terlaksana di daerah asal tempat tanaman tersebut tumbuh dan berkembang, sehingga konservasi ekosistem dan habitat terjadi secara alamiah. Konservasi ini sangat penting karena berkaitan dengan suatu ekosistem dan spesies yang memiliki ciri khas pada letak geografis dan karakteristik alam tertentu. Contoh konservasi *in situ*; kawasan hutan lindung, taman hutan raya, taman nasional, cagar alam, suaka margasatwa, lahan pertanian untuk pengembangan varietas yang dimiliki oleh petani, lahan untuk pengembangan suatu varietas lokal, dan pemeliharaan lainnya yang berada di tempat asal plasma nutfah tersebut.

### **2. Konservasi *ek situ***

Konservasi *ek situ* berarti pengelolaan kehati dan plasma nutfah dilakukan di luar habitat asal. Di Indonesia, lembaga konservasi diatur dalam Permenhut no. P.53/Menhut-II/2006. Lembaga konservasi ini akan bertugas untuk mengembangbiakan dan menyelamatkan tumbuhan dan satwa dengan mempertahankan kemurnian jenisnya.

Contoh konservasi *ek situ*, khususnya untuk tanaman:

- a. Kebun Raya (Botanical garden), diatur berdasarkan Perpres No. 93 Tahun 2011 tentang Kebun Raya. Kebun raya merupakan kawasan

konservasi tumbuhan yang memiliki koleksi tumbuhan terdokumentasi dan ditata berdasarkan pola klasifikasi taksonomi, bioregion, dan tematik, dengan tujuan untuk kegiatan konservasi, penelitian, pendidikan, wisata dan jasa lingkungan.

- b. Taman Keanekaragaman Hayati (Taman Kehati), diatur berdasarkan Permen LH No. 03 Tahun 2012 tentang Taman Keanekaragaman Hayati. Taman Kehati merupakan kawasan pencadangan sumber daya alam hayati lokal di luar kawasan hutan.
- c. Bank benih, merupakan pengumpulan benih tanaman yang akan disimpan pada suatu lokasi. Biasanya plasma nutfah tanaman yang disimpan dalam bentuk benih adalah dari kelompok tanaman yang menghasilkan benih ortodok atau benih yang tetap tinggi viabilitasnya jika diturunkan kadar airnya dan dapat disimpan pada suhu yang rendah, contoh bank benih padi untuk penyimpanan berbagai jenis padi di IRRI (*International Rice Research Institute*), bank benih koleksi berbagai jagung, gandum, dan wheat di CYMMIT (*International Maize and Wheat Improvement Center*) di Meksiko, dan lain-lain.
- d. Bank penyimpanan pollen dan penyimpanan DNA. Seiring perkembangan ilmu dan teknologi, maka bagian tanaman berupa pollen dan DNA juga bisa disimpan di dalam microtube pada suhu tertentu dan bisa dimanfaatkan kapan saja sesuai dengan kebutuhan.
- e. Penyimpanan in vitro (Gambar 34). Konservasi secara in vitro merupakan penyimpanan dan pemeliharaan jaringan tanaman pada media tanam dalam kondisi yang steril. Penyimpanan secara in vitro harus dijaga pertumbuhan dan perkembangannya dalam suatu ukuran wadah yang terbatas. Penyimpanan in vitro ini bisa meliputi penyimpanan jangka pendek dan jangka menengah. Jika tujuan penyimpanan untuk jangka menengah maka pada media tanam tersebut biasanya ditambahkan dengan zat penghambat tumbuh atau retardant. Tujuan penambahan retardant tersebut agar tanaman lambat pertumbuhannya dan tidak sering dilakukan subkultur sehingga dapat mencegah terjadinya variasi somaklonal.



Gambar 34. Penyimpanan in vitro

- f. Kriopreservasi (Gambar 35). Penyimpanan secara kriopreservasi menjadi satu-satunya cara penyimpanan plasma nutfah untuk jangka waktu yang panjang tanpa merubah komposisi genetik plasma nutfah yang ditanam, bahkan tanaman yang bermasalah dengan penyimpanan benihnya seperti benih rekalsitran maka penyimpanan plasma nutfahnya bisa dilakukan dengan cara kriopreservasi. Kriopreservasi merupakan cara penyimpanan plasma nutfah dengan menggunakan nitrogen cair pada suhu -196°C. Keunggulan teknik kriopreservasi adalah penyimpanan ini akan menghentikan segala proses pembelahan sel, dan proses metabolisme sel, jaringan atau organ yang disimpan tapi sel tanaman tetap dalam keadaan hidup.



Gambar 35. Penyimpanan eksplan tanaman ke dalam wadah yang berisi nitrogen cair

#### **IV. Tantangan dan Ancaman terhadap Kehati dan Plasma Nutfah**

Penyimpanan plasma nutfah harus dilakukan dengan sebaik-baiknya agar di masa yang akan datang sumber genetik ini masih ada keberadaannya. Perlu dipahami bahwa kepunahan suatu spesies adalah permasalahan dan suatu kehilangan yang luar biasa, karena proses spesiasi atau proses untuk satu spesies asal berkembang menjadi satu atau lebih, menjadi spesies baru yang berbeda membutuhkan waktu proses yang berlangsung selama bertahun-tahun bahkan ribuan atau

jutaan tahun. Pengelolaan kehati dan plasma nutfah hingga saat ini masih dihadapkan dengan berbagai tantangan. Konservasi membutuhkan pendekatan terhadap masyarakat karena perlu untuk menumbuhkan kesadaran dan kepedulian masyarakat terhadap lingkungan berupa kearifan lokal (nilai-nilai luhur dan tatanan yang berlaku dalam tata kehidupan masyarakat untuk melindungi dan mengelola lingkungan secara lestari) dan perlu adanya biologi konservasi yang berupa kumpulan berbagai ilmu lintas disiplin (terpadu) yang dapat dikembangkan untuk menghadapi berbagai tantangan demi melindungi spesies dan ekosistem.

Disiplin ilmu terapan pada biologi konservasi, meliputi pengelolaan sumber daya, kehutanan, pertanian, biologi perikanan, dan pengelolaan satwa liar. Biologi konservasi diharapkan dapat: (1). menyelidiki dampak manusia terhadap keberadaan dan kelangsungan hidup spesies, komunitas dan ekosistem, (2) mengembangkan pendekatan praktis untuk mencegah kepunahan spesies, menjaga variasi genetik dalam spesies, serta melindungi dan memperbaiki komunitas biologi dan fungsi ekosistem terkait, (3) mendokumentasikan seluruh aspek keanekaragaman hayati di bumi sebagai informasi masing-masing plasma nutfah.

Dalam pelaksanaannya ada beberapa prinsip etika biologi konservasi yang harus dipahami, diantaranya keanekaragaman spesies dan komunitas biologi harus dilindungi, kepunahan spesies dan populasi yang terlalu cepat harus dihindari, kompleksitas ekologi harus dipelihara, evolusi harus berlanjut dan memahami bahwa keanekaragaman hayati memiliki nilai intrinsik, dimana ia punya nilai hidup sendiri, sejarah evolusi, keberadaannya serta peran ekologis yang unik. Biologi konservasi ini harus dilaksanakan secara serius dan disosialisasikan terhadap seluruh lapisan masyarakat, hal ini karena banyaknya ancaman-ancaman dan gangguan yang dihadapi oleh kehati dan plasma nutfah.

Gangguan dan ancaman terhadap kehati bisa terjadi secara alamiah dan juga buatan. Gangguan dan ancaman yang bersifat alamiah adalah terjadinya bencana alam yang diluar kuasa manusia, seperti gempa bumi, longsor, hujan yang terus menerus sehingga terjadi banjir, musim kemarau yang panjang, angin kencang, badai, perubahan iklim, dan lain sebagainya sehingga gangguan tersebut dapat menyebabkan kematian terhadap flora atau fauna. Selanjutnya gangguan alami juga bisa berasal dari spesies itu sendiri, misalnya; (1) termasuk ke dalam spesies yang sulit berkembang biak sehingga membutuhkan faktor lain, baik dari alam, hewan, tumbuhan lain maupun manusia, (2) spesies tersebut merupakan spesies endemik, dimana spesies tersebut hanya bisa ditemukan di satu tempat dan tidak ditemukan di tempat lain, (3) adanya spesies baru yang invasif muncul sehingga menggantikan keberadaan spesies asli.

Gangguan secara buatan sudah pasti adalah gangguan yang ditimbulkan akibat ulah manusia. Gangguan tersebut antara lain berupa pengambilan sejumlah individu spesies tertentu, baik untuk konsumsi sendiri maupun untuk diperjualbelikan, kegiatan-kegiatan yang bersifat illegal yaitu *illegal hunting*, *illegal fishing*, dan *illegal logging*, hilangnya hutan akibat penebangan, kebakaran hutan dan konversi hutan (deforestasi). Ancaman utama yang muncul akibat kegiatan manusia yang berlebihan tersebut tentunya adalah kerusakan habitat, fragmentasi habitat (pemecahan habitat organisme menjadi kantong-kantong habitat yang membuat organisme kesulitan melakukan pergerakan dari kantong habitat yang satu ke yang lainnya), degradasi habitat (penurunan kualitas lingkungan karena kegiatan manusia), dan terjadinya erosi genetik bahkan hilangnya spesies asli karena pemanfaatan spesies yang berlebihan untuk kepentingan manusia. Ada sejumlah flora dan fauna yang telah didata dan masuk ke dalam kategori dilindungi di Indonesia (Tabel 21).

Tabel 21. Jumlah flora fauna yang dilindungi di Indonesia tahun 1999 dan 2018

| Kingdom                   | Kelas                        | PPRI No 7 <sup>1)</sup> |         | P20 <sup>2)</sup> |         | P92 <sup>3)</sup> |         | P.106 <sup>4)</sup> |         |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|---------------------|---------|
|                           |                              | Jumlah Family           | Spesies | Jumlah Family     | Spesies | Jumlah Family     | Spesies | Jumlah Family       | Spesies |
| Animalia                  | Mamalia                      | 30                      | 71      | 32                | 137     | 32                | 137     | 32                  | 137     |
|                           | Burung                       | 45                      | 92      | 72                | 562     | 71                | 557     | 71                  | 557     |
|                           | Amphibi                      | -                       | 0       | 1                 | 1       | 1                 | 1       | 1                   | 1       |
|                           | Reptil                       | 11                      | 31      | 12                | 37      | 12                | 37      | 12                  | 37      |
|                           | Ikan                         | 6                       | 7       | 7                 | 20      | 7                 | 20      | 7                   | 20      |
|                           | Serangga                     | 2                       | 20      | 2                 | 26      | 2                 | 26      | 2                   | 26      |
|                           | Krustasea                    | -                       | -       | 1                 | 1       | 1                 | 1       | 1                   | 1       |
|                           | Moluska                      | -                       | -       | 4                 | 5       | 4                 | 5       | 4                   | 5       |
|                           | Xiphosura (Ketam Tapal Kuda) | -                       | -       | 1                 | 3       | 1                 | 3       | 1                   | 3       |
|                           | Anthozoa                     | 1                       | 1       | -                 | 0       | -                 | -       | -                   | -       |
|                           | Bivalvia                     | 9                       | 14      | -                 | 0       | -                 | -       | -                   | -       |
|                           | Jumlah                       |                         | 104     | 236               | 131     | 792               | 131     | 787                 | 131     |
| Plantae                   | Tumbuhan                     | 5                       | 58      | 15                | 127     | 15                | 127     | 13                  | 117     |
| Jumlah Family dan Spesies |                              | 109                     | 294     | 146               | 119     | 146               | 914     | 144                 | 904     |

(Sumber: Setiawan. 2022)

## V. Undang-Undang Pengelolaan Kehati dan Plasma Nutfah

Pemerintah mendukung untuk pengelolaan keanekaragaman hayati dan plasma nutfah, dimulai dengan membuat berbagai peraturan yang tertuang dalam sejumlah undang-undang, antara lain:

1. UU no. 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, saat ini status undang-undang ini diubah dengan UU no. 32 Tahun 2024, yang mengatur konservasi ekosistem dan jenis di kawasan lindung, secara intensif oleh lembaga konservasi yang ada.
2. UU no. 12 Tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman.
3. UU no. 5 Tahun 1994 tentang Pengesahan *United Nations Convention on Biological Diversity* (Konvensi Perserikatan Bangsa Bangsa mengenai Keanekaragaman Hayati).
4. UU no. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
5. UU no. 31 Tahun 2004 tentang Perikanan jo Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2009 tentang Perubahan terhadap UU no. 31 Tahun 2004 tentang Perikanan
6. UU no. 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah, kemudian diubah menjadi UU no. 23 Tahun 2014
7. UU no. 4 Tahun 2006 tentang Pengesahan *International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (Perjanjian mengenai Sumber Daya Genetik Tanaman untuk Pangan dan



Pertanian) yang di dalamnya terdapat pengaturan mengenai *Material Transfer Agreement* (Perjanjian Pengalihan Bahan) yang memperbolehkan pertukaran sampel dan/ atau spesimen antar negara untuk kepentingan penelitian.

8. UU no. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang.
9. UU no. 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil
10. UU no. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
11. Dokumen yang berisi strategi dan rencana aksi pengelolaan keanekaragaman hayati Indonesia (*Indonesia Biodiversity Strategy and Action Plan/IBSAP*) 2015-2020.

Tindakan pemerintah untuk menetapkan peraturan perundang-undangan tentang perlindungan keanekaragaman hayati dan habitat atau lingkungan sekitarnya serta aturan penggunaan lahan ini hendaknya didukung dan ditaati oleh semua lapisan masyarakat, dan diperlukan juga Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) yang akan menggerakkan masyarakat untuk melindungi lingkungan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat serta mempertahankan perspektif masyarakat tradisional terhadap konservasi dan lingkungan alami sekitar.

## **VI. Manfaat Kehati dan Plasma Nutfah**

Kehati, plasma nutfah dan kehidupan masyarakat adalah hal yang tidak dapat dipisahkan, dan akan saling mempengaruhi satu sama lainnya. Sebagai contoh kehati dalam bentuk ekosistem, jika terjadi penurunan ekosistem maka jenis spesies atau plasma nutfah dalam ekosistem tersebut juga akan menurun dan tentu akan berkaitan juga dengan kehidupan manusia. Kehati dan plasma nutfah memberikan banyak manfaat untuk mendukung kehidupan manusia secara umum sebagai sumber sandang, pangan, dan papan serta untuk perkembangan ilmu pengetahuan, baik secara langsung atau pun tidak langsung (Tabel 2.2).

Tabel 22. Nilai manfaat kehati dan plasma nutfah

| KATEGORI NILAI KEHATI   |  | BENTUK  |
|---|--|---|
| Nilai Guna Langsung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilai Konsumtif</li> <li>• Nilai Produktif</li> </ul> | Pangan, obat-obatan, bahan bangunan, serat, bahan bakar   |
| Nilai Guna Tidak Langsung   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilai Jasa Lingkungan</li> </ul>                      | a. Pengolahan limbah organik, penyerbukan, regulasi iklim dan atmosfer, perlindungan tanaman, siklus hara dan pemurnian air;<br>b. Budaya, spiritual dan estetika (keindahan) |
| Nilai Non-Guna: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nilai Pilihan (potensi)</li> <li>• Nilai Eksistensi</li> </ul> |  | a. Nilai masa depan, baik sebagai barang atau jasa;<br>b. Nilai keberadaan dan pengetahuan tentang keberadaannya  |

(Sumber: IBSAP, 2016)

Nilai manfaat kehati yang sangat banyak tersebut dapat diperoleh secara maksimal jika adanya aksi pengelolaan yang terarah, seperti:

1. Membentuk kualitas masyarakat Indonesia yang peduli terhadap kelestarian dan pemanfaatan kehati yang seimbang dan berkelanjutan, contoh; pelatihan peningkatan kapasitas masyarakat secara berkala, pola kurikulum iptek pengelolaan hayati untuk sekolah dan program penyuluhan dan penguatan penegakan hukum dalam kaitan pengelolaan kehati.
2. Memperkuat dukungan sumber daya dan mengembangkan ilmu pengetahuan, teknologi serta kearifan lokal bagi perwujudan pelestarian dan pemanfaatan kehati yang berkelanjutan, contoh; mengumpulkan informasi plasma nutfah, program penelitian dasar untuk flora fauna dan program pemetaan untuk data statistik dan peta Kawasan agroekosistem.
3. Memperlambat, mengurangi dan dan menghentikan laju kerusakan dan kepunahan, contoh; restrukturisasi kebijakan pemberian hak pengelolaan hutan, program reboisasi dan rehabilitasi hutan.
4. Meningkatkan penguatan keberdayaan lembaga, kebijakan dan penegakan hukum.
5. Mewujudkan keadilan, keseimbangan peran dan kepentingan serta memperkecil potensi konflik diantara seluruh komponen masyarakat dalam pemanfaatan dan pelestarian kehati dan plasma nutfah.

## VII. Penutup

Kehati yang terdiri dari keanekaragaman genetik, spesies dan ekosistem, masing-masingnya akan menjalankan peranannya tersendiri sehingga membentuk keseimbangan di alam. Jika terjadi gangguan

pada salah satu komponen tersebut maka akan berpengaruh pada komponen yang lain. Kewajiban manusia untuk menjaga keseimbangan keanekaragaman hayati tersebut dan tidak boleh berbuat kerusakan di alam, sebagaimana yang telah disampaikan dalam banyak ayat di dalam Al Qur'an dan salah satunya pada surat Al-A'raf ayat 56, "Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik".

Kepedulian dalam menjaga dan merawat alam sekitar akan berdampak dalam kehidupan manusia pada masa yang akan datang. Harus selalu dipahami bahwa kepunahan suatu spesies adalah permasalahan dan suatu kehilangan yang luar biasa, karena proses spesiasi atau proses untuk satu spesies asal berkembang menjadi satu atau lebih, menjadi spesies baru yang berbeda membutuhkan waktu proses yang berlangsung selama bertahun-tahun bahkan ribuan atau jutaan tahun. Besarnya peranan kehati dan pengetahuan tentang penyimpanan plasma nutfah, menjadi hal yang sangat penting untuk dipahami dan diterapkan di suatu negara, oleh karena itu pengelolaan plasma nutfah seharusnya memang dilakukan oleh pemerintah dan didanai oleh negara, melalui kerjasama dengan pemerintah daerah, antar instansi, universitas, badan usaha, petani, masyarakat adat, dan semua lapisan masyarakat.

## Referensi

- [BAPPENAS] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2003). *Indonesia biodiversity strategy and action plan*. Jakarta (ID): BAPPENAS. 150 hal.
- [BAPPENAS] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional/ Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. (2016). *Indonesia biodiversity strategy and action plan 2015-2020*. Jakarta (ID): BAPPENAS. 289 hal. ISBN- 978-602-1154-49-6
- Butler, R. A. (2016). The top 10 most biodiverse countries. Mongabay. <https://news.mongabay.com/2016/05/top-10-biodiverse-countries/> [1 Agustus 2024]
- Hervani D. (2019). Penyimpanan plasma nutfah pepaya sukma (*Carica papaya* L. cv. Sukma) secara kriopreservasi. [Disertasi]. Bogor. Sekolah Pascasarjana IPB.

- <https://www.kompas.id/baca/paparan-topik/2022/02/28/keanekaragaman-hayati-di-indonesia-sejarah-penelitian-potret-dan-regulasi> litbang Kompas Antonius Purwanto 28 Februari 2022 [1 Agustus 2024]
- <https://www.worldwildlife.org/pages> [1 Agustus 2024]
- <https://peraturan.bpk.go.id/uu> UU no. 5 tahun 1990 dan UU no. 5 tahun 1994 [1 Agustus 2024]
- <https://rri.co.id/cek-fakta/355093/garis-wallace-misteri-yang-membagi-ri-jadi-dua>
- Retnowati, A., Rugayah, Joeni S. Rahajoe, & Arifiani D. (2019). Status keanekaragaman hayati indonesia: kekayaan jenis tumbuhan dan jamur indonesia. Jakarta: LIPI Press. 139 hal. ISBN 978-602-496-083-4 (e-book)
- Setiawan, A. (2022). Keanekaragaman hayati Indonesia: masalah dan upaya konservasinya. Indonesian Journal of Conservation 11 (1): 13-21.
- Sumarno. (2023). Membangun kembali sistem pengelolaan SDG/PN tanaman nasional. Webinar PERIPI Talk 3.
- Zuraida, N & Sumarno. (2007). Pengelolaan plasma nutfah secara terpadu menyertakan industri perbenihan. Iptek Tanaman Pangan 2 (2): 242-252.

## Perkembangan Pertanian Berkelanjutan Menuju Era Digital



**Muhsanati dan tim** membahas berbagai aspek penting tentang pembangunan pertanian modern yang berkelanjutan, terutama dalam menghadapi tantangan abad ke-21. Tulisan bersama ini menyoroti betapa pentingnya pertanian yang efisien, ramah lingkungan, dan produktif melalui penerapan teknologi modern serta konsep pertanian organik yang menggabungkan konsep-konsep pertanian organik, presisi, dan smart farming sebagai langkah menuju sistem pertanian yang lebih maju dan berkelanjutan.



# **Perkembangan Pertanian Berkelanjutan Menuju Era Digital**

**Muhsanati, Nugraha Ramadhan dan Obel**

*Dosen Prodi Agroteknologi,  
Fakultas Pertanian Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

Tantangan bagi sektor pertanian pada abad-21 adalah menyikapi pada sisi permintaan yang menuntut kualitas yang tinggi, kuantitas yang besar, ukuran relatif seragam, ramah lingkungan, kontinuitas produk dan penyampaian produk secara tepat waktu. Dari sisi penawaran yang berkaitan dengan produksi, terdapat beberapa faktor yang harus dicermati, terutama masalah penurunan luas lahan produktif, perubahan iklim secara *eratic* (tidak menentu) akibat fenomena *El-Nino* dan pemanasan global, adanya penerapan bioteknologi dalam proses produksi dan pasca panen, serta aspek pemasaran produk. Untuk menjawab sejumlah tantangan ini, maka diperlukan perubahan mendasar dalam pembangunan pertanian nasional secara konseptual maupun operasional.

Sehubungan dengan potensi keunggulan komparatif yang dimiliki oleh sektor pertanian dan nilai strategisnya bagi pembangunan negara, sementara di lain pihak kontribusi ekonomi sektor pertanian dewasa ini semakin menurun, maka diperlukan suatu paradigma pembangunan pertanian baru dalam menghadapi abad 21. Paradigma pembangunan pertanian baru yang paling tepat untuk mengantisipasi era globalisasi dan perdagangan bebas adalah Pertanian Berkebudayaan Industri.

Pertanian berkebudayaan industri adalah suatu sistem terpadu biologis yang merupakan hasil karya, cipta dan rasa manusia dalam memanfaatkan dan mengelola sumberdaya biologi beserta ekosistemnya. Sistem ini berorientasi pada efisiensi, produktivitas, kualitas serta nilai tambah secara berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Melalui penerapan IPTEK dan manajemen agribisnis secara terpadu dan dinamis, serta dikerjakan oleh pelaku pertanian profesional yang memiliki etos kerja industri dan karakteristik sosial budaya bangsa ber-Pancasila, yang

ditujukan bagi seluruh bangsa Indonesia yang berprinsip pada keadilan dan kesejahteraan.

Melalui pembangunan pertanian berkebudayaan industri, diharapkan sektor pertanian bersama sektor unggulan lainnya (seperti industri manufaktur dan jasa) dapat menjadi penggerak utama pembangunan nasional. Selanjutnya pembangunan pertanian berkebudayaan industri ini dapat mewujudkan bangsa yang maju dan mandiri serta masyarakat adil dan makmur yang diberkahi oleh Tuhan Yang Maha Kuasa di tengah kancan globalisasi dan perdagangan bebas abad 21.

Pergeseran pola pembangunan pertanian dari pola konvensional ke arah pembangunan pertanian berkelanjutan makin diterima oleh banyak negara sebagai konsekuensi logis dari kesadaran masyarakat internasional akan produk yang berkualitas, aman dikonsumsi, dan ramah lingkungan. Perubahan paradigma menuju pembangunan pertanian berkelanjutan tidak dapat dilaksanakan dalam jangka pendek dan parsial, namun merupakan upaya jangka panjang, terus menerus, dan menyeluruh.

Kebijakan yang dipandang tepat di Indonesia adalah pembangunan pertanian berkelanjutan melalui kemitraan usaha agribisnis secara partisipatif. Kebijakan ini dapat menjamin efisiensi dan pertumbuhan, keadilan atau pemerataan, serta berwawasan lingkungan. Pada subsistem produksi diterapkan pendekatan sistem usaha tani rotasi tanaman dan daur ulang bahan organik, teknik konservasi, pengurangan input kimia (*low input sustainable agriculture*), pengendalian hama terpadu, dan sistem produksi tanaman makanan ternak.

Pada subsistem lainnya dilakukan dengan menekan seminimal mungkin limbah yang dihasilkan, mengelola limbah secara baik, serta membangun mekanisme pasar dalam penetapan harga dan pembagian nilai tambah atau keuntungan. Dari konsep Pembangunan Pertanian Berkebudayaan Industri yang dituangkan di atas jelaslah diperlukan adanya keterpaduan dengan sektor-sektor lainnya yang bersifat saling menunjang dan komplementari. Hal ini akan berjalan dengan baik melalui kesungguhan politik pemerintah dalam mendongkrak citra pertanian ini yang dituangkan dalam bentuk pelaksanaan perundangan secara konsisten dan penuh kedisiplinan. Bersamaan dengan itu, semua



prototipe hasil penelitian baik dari bidang IPTEK maupun kelembagaan mulai dibangkitkan untuk kemudian disebarluaskan dalam bentuk paket-paket teknologi dan brosur-brosur untuk informasi pasar, perundangan, dan hal-hal lain yang perlu diketahui oleh petani.

## **II. Pertanian Organik**

Pada saat awal tahapan budidaya suatu tanaman, lahan pertanian yang diolah oleh petani sudah menyediakan unsur hara yang cukup untuk kebutuhan tanaman yang diusahakan selama pertumbuhan dan perkembangannya. Unsur hara ini sudah tersedia secara alami tanpa ada pasokan dari luar. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman berjalan secara normal dengan mengandalkan unsur hara yang ada. Begitupun dengan tindakan budidaya yang lainnya seperti pengendalian hama dan penyakit yang dilakukan secara alami mengandalkan kebaikan alam ataupun tidak dilakukan pengendalian sama sekali.

Namun, seiring waktu yang berjalan dalam pengusahaan tanaman yang sama dan lahan yang sama pula. Hasil produksi yang didapatkan tidak sama dengan hasil produksi yang pertama. Pada awal budidaya didapatkan hasil produksi mencapai 100%, namun pada budidaya yang kedua akan mengalami penurunan menjadi 80% bahkan setengah dari hasil produksi tersebut. Kondisi ini terjadi akibat adanya kehilangan unsur hara yang ada di dalam tanah terangkut oleh bahan atau hasil budidaya yang dilakukan tanpa dilakukan pengembalian dari sebagian bahan tersebut. Sebagai contoh, budidaya padi yang dilakukan di suatu lahan kemudian hasilnya diangkut dan jeraminya dibakar begitu saja tanpa dikembalikan lagi ke lahan. Kegiatan tersebut menyebabkan hilangnya unsur hara tertentu sehingga tanpa ada pasokan dari luar tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Hasil penelitian berbagai Lembaga penelitian dan perguruan tinggi menunjukkan tingkat kesuburan lahan sawah di Indonesia semakin menurun, yaitu lebih dari 65% dari 5 juta ha lahan sawah irigasi memiliki kandungan bahan organik kurang dari 2%, sedangkan dalam kondisi normal lahan sawah yang subur sedikitnya harus mengandung bahan organik minimal 3%. Pada saat masa panen tiba, petani lebih banyak mengangkut Jerami padi keluar sawah baik digunakan sebagai

makanan ternak maupun sebagai bahan baku pembuatan kertas. Kebiasaan petani membakar Jerami agar sawahnya lebih cepat diolah juga merupakan salah satu pemicu menurunnya tingkat kesuburan lahan sawah. Pembakaran jerami juga menyebabkan hilangnya unsur hara yang berdampak pada penurunan kesuburan tanah. Membakar jerami mempengaruhi kesuburan tanah, karena meningkatkan potensi hilangnya nutrisi yang ada di tanah. Nutrisi ini termasuk nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan sulfur (S) berturut-turut berkurang 80%, 25%, 21%, dan antara 40% hingga 60%, serta kehilangan beberapa lainnya bahan organik di tanah.

Pada perkembangan selanjutnya, berdasarkan fenomena produksi yang didapatkan petani membuka lahan baru untuk digunakan sebagai lahan budidaya. Namun permasalahan tetap berlanjut seperti awal budidaya yang dilakukan sebelumnya. Untuk itu, pengusahaan tanaman selanjutnya dilakukan secara menetap dengan pemberian bahan organik namun untuk meningkatkan produksi yang maksimal diberikan penambahan unsur lain berupa bahan anorganik. Pada masa ini dikenal dengan istilah Revolusi Hijau. Tindakan budidaya yang seperti ini menyebabkan ketergantungan yang sangat signifikan terhadap penggunaan bahan anorganik dan pestisida kimia. Penggunaan bahan ini semakin memikat karena hasil yang diberikan dapat terlihat dengan cepat. Adanya revolusi hijau produksi pangan dunia menjadi meningkat dengan tanam sehingga dapat mengatasi krisis pangan dalam beberapa tahun berikutnya.

Seiring budidaya yang sudah dilakukan, ternyata lambat laun memberikan dampak yang mulai dirasakan oleh petani. Tanah yang selama ini diberikan pupuk buatan secara terus menerus mengalami kemunduran kesuburan, kualitas air tanah menjadi buruk, hilangnya keseimbangan ekosistem, hama mengalami peningkatan, kualitas lingkungan kurang sehat dan tentunya bahan tanaman yang dihasilkan menjadi tidak sehat untuk dikonsumsi karena adanya residu dari bahan anorganik yang diberikan. Dampak ini terakumulasi menjadi suatu permasalahan yang serius tanpa ada pemecahan masalah yang diharapkan. Disatu sisi, petani masih mengharapkan hasil yang maksimal namun disatu sisi ada dampak yang sudah mengancam keberlangsungan kehidupan.

Pertanian revolusi hijau dapat dibilang mengalami kegagalan meskipun di awalnya dapat meningkatkan produksi secara cepat namun ternyata terdapat banyak permasalahan yang muncul setelah budidaya tersebut diterapkan. Kesadaran ini membuka mata masyarakat yang menginginkan produk pertanian yang bebas residu bahan kimia, sehat untuk dikonsumsi dan baik bagi Kesehatan untuk memikirkan alternatif budidaya yang dapat mempertahankan produksi, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Untuk itu, semenjak tahun 1970-an negara-negara mancanegara mulai secara perlahan-lahan beralih pada konsep pertanian secara organik dan seterusnya berkembang ke berbagai belahan dunia lainnya.

Tingginya tingkat kesadaran terhadap dampak pertanian masa lalu menjadikan pertanian organik sebagai alternatif pencegahan yang dipercaya dapat mengembalikan lagi tingkat kesuburan tanah dan mempertahankan hasil produksi yang sehat untuk dikonsumsi. Meskipun penggunaan bahan organik bukan merupakan hal baru lagi, tetapi mengingat betapa urgennya suatu bahan organik dalam menunjang produktivitas tanaman sekaligus mempertahankan kondisi suatu lahan budidaya yang mampu produktif secara berkelanjutan maka pembahasan mengenai pertanian organik tak pernah henti untuk terus dikaji.

### ***Prinsip – prinsip dalam pertanian organik***

Pertanian organik modern didefinisikan sebagai sistem budidaya pertanian yang mengandalkan bahan-bahan alami tanpa menggunakan bahan kimia sintetis. Istilah dalam pertanian organik mendorong petani dan konsumen untuk sedapat mungkin menghindari penggunaan bahan kimia dan pupuk sintetis yang dapat meracuni lingkungan agar dapat memperoleh kondisi lingkungan yang sehat. Petani berusaha untuk menghasilkan produk pertanian yang berkelanjutan dengan menggunakan hasil daur ulang limbah pertanian dan sumber daya alami untuk memperbaiki tingkat kesuburan. Pada sistem pertanian organik menekankan pada penerapan praktik-praktik manajemen yang lebih mengutamakan penggunaan input dari limbah kegiatan budidaya di lahan tersebut dengan mempertimbangkan daya adaptasi terhadap keadaan atau kondisi setempat.

Pengelolaan pada sistem pertanian organik didasarkan pada beberapa prinsip yaitu prinsip kesehatan, ekologi, keadilan, dan perlindungan.

1. Prinsip kesehatan pada pertanian organik mengungkapkan bahwa pertanian organik harus melestarikan dan meningkatkan kesehatan tanah, tanaman, hewan, manusia, dan bumi sebagai satu kesatuan dan tak terpisahkan. Peran pertanian organik baik dalam produksi, pengolahan, distribusi, dan konsumsi bertujuan untuk melestarikan dan meningkatkan kesehatan ekosistem dan organisme, dari yang terkecil yang berada di dalam tanah hingga manusia, serta dimaksudkan untuk menghasilkan makanan bermutu tinggi dan bergizi yang mendukung pemeliharaan kesehatan dan kesejahteraan.
2. Pada prinsip ekologi, pertanian organik yang dilakukan mampu menghasilkan produksi yang didasarkan pada proses dan daur ulang ekologis. Budidaya pertanian, peternakan, dan pemanenan produk liar organik haruslah sesuai dengan siklus dan keseimbangan ekologi di alam. Pertanian organik dapat mencapai keseimbangan ekologis melalui pola sistem pertanian, membangun habitat, pemeliharaan keragaman genetika, dan pertanian.
3. Prinsip keadilan dalam sistem pertanian organik menjelaskan bahwa sistem tersebut harus membangun suatu hubungan yang mampu menjamin keadilan terkait dengan lingkungan dan kesempatan hidup bersama. Pertanian organik harus memberikan kualitas hidup yang baik bagi setiap orang yang terlibat, menyumbang bagi kedaulatan pangan dan pengurangan kemiskinan agar ketersediaan pangan tercukupi dan tersedianya produk lainnya yang berkualitas. Prinsip ini juga menekankan bahwa ternak harus dipelihara dalam kondisi dan habitat yang sesuai dengan sifat-sifat fisik, alamiah dan terjamin kesejahteraannya.
4. Prinsip perlindungan menjelaskan bahwa pencegahan dan tanggung jawab merupakan hal mendasar dalam pengelolaan, pengembangan, dan pemilihan teknologi dalam sistem pertanian organik. Pertanian organik harus mampu mencegah terjadinya

resiko merugikan dengan menerapkan teknologi tepat guna dan menolak teknologi yang tak dapat diramalkan akibatnya, seperti rekayasa genetika dan segala yang diambil harus mempertimbangkan nilai-nilai dan kebutuhan dari semua aspek yang mungkin dapat terkena dampaknya, melalui proses-proses yang transparan dan partisipatif.

### ***Budidaya dalam pertanian organik***

Pada sistem pertanian organik lebih mengedepankan hubungan yang harmonis antar unsur-unsur yang ada di alam. Pertanian organik dapat menjadi solusi yang secara langsung menggantikan revolusi hijau untuk menyediakan pangan dan penghidupan secara berkelanjutan, serta mampu memperbaiki kerusakan lingkungan yang terjadi akibat penerapan revolusi hijau. Dengan demikian pertanian organik mendorong perbaikan kualitas sumber daya alam serta kualitas sumber daya manusia, terutama petani yang berperan sebagai produsen bahan pangan dan pengelola usahatani.

Secara garis besar sistem pertanian organik dirancang untuk dapat mengembangkan keanekaragaman hayati secara keseluruhan dalam sistem, meningkatkan aktivitas biologi tanah, menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang, mendaur-ulang limbah asal tumbuhan dan hewan untuk mengembalikan nutrisi ke dalam tanah sehingga meminimalkan penggunaan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui, mengandalkan sumber daya yang dapat diperbaharui pada sistem pertanian yang dikelola secara lokal, meningkatkan penggunaan tanah, air dan udara secara baik, serta meminimalkan semua bentuk polusi yang dihasilkan dari kegiatan pertanian, menangani produk pertanian dengan penekanan pada cara pengolahan yang baik pada seluruh tahapan untuk menjaga integritas organik dan mutu produk dan bisa diterapkan pada suatu lahan pertanian melalui suatu periode konversi, yang lamanya ditentukan oleh faktor spesifik lokasi seperti sejarah penggunaan lahan serta jenis tanaman dan hewan yang akan diproduksi.

Praktik pembudidayaan tanaman yang dilakukan dalam sistem pertanian organik tentunya menghasilkan suatu produk tanaman yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Produk organik dikatakan apabila suatu produk telah diproduksi sesuai dengan standar produksi

organik dan disertifikasi oleh otoritas atau lembaga sertifikasi resmi. Pertanian organik didasarkan pada penggunaan masukan eksternal yang minimum, serta menghindari penggunaan pupuk dan pestisida sintetis. Praktek pertanian organik tidak dapat menjamin bahwa produknya bebas sepenuhnya dari residu karena adanya polusi lingkungan secara umum. Namun beberapa cara digunakan untuk mengurangi polusi dari udara, tanah dan air. Pekerja, pengolah dan pedagang pangan organik harus patuh pada standar untuk menjaga integritas produk pertanian organik.

Pada prosesnya, di dalam sistem pertanian organik tidak hanya sebatas meniadakan penggunaan input sintetis, tetapi juga pemanfaatan sumber-sumber daya alam secara berkelanjutan, produksi makanan sehat dan menghemat energi. Kesadaran akan bahaya yang ditimbulkan oleh pemakaian bahan kimia sintetis dalam pertanian menjadikan pertanian organik menarik perhatian baik di tingkat produsen maupun konsumen. Kebanyakan konsumen akan memilih bahan pangan yang aman bagi kesehatan dan ramah lingkungan, sehingga mendorong meningkatnya permintaan produk organik. Pola hidup sehat yang akrab lingkungan telah menjadi trend baru meninggalkan pola hidup lama yang menggunakan bahan kimia non alami, seperti pupuk, pestisida kimia sintetis dan hormon tumbuh dalam produksi pertanian. Pola hidup sehat ini telah melembaga secara internasional yang mensyaratkan jaminan bahwa produk pertanian harus beratribut aman dikonsumsi (*food safety attributes*), kandungan nutrisi tinggi (*nutritional attributes*) dan ramah lingkungan (*eco-labelling attributes*).

Pada intinya sistem pertanian organik menganut paham organik proses yang berarti semua proses yang dilakukan dalam sistem pertanian organik di mulai dari penyiapan lahan hingga pasca panen memenuhi standar budidaya organik, bukan dilihat dari produk organik yang dihasilkan. Negara Indonesia memiliki potensi dan peluang yang cukup besar dalam rangka pengembangan pertanian organik. Potensi sumberdaya pertanian antara lain lahan, tanaman, manusia, teknologi dan lain-lain, cukup tersedia. Sistem pertanian organik sudah sejak dulu dilakukan oleh petani sebelum program Revolusi hijau. Hingga saat ini masih dijumpai di beberapa daerah, petani tetap mempertahankan cara pertanian tersebut. Teknologi pertanian organik relatif mudah

dilakukan. Bahan dasar pembuatan pupuk organik seperti jerami, pupuk kandang, sisa (limbah) tanaman, sampah kota tersedia melimpah serta mudah diperoleh.

### ***Pertanian organik dalam sistem pertanian berkelanjutan***

Munculnya pertanian organik mempunyai arti tersendiri dalam memberikan sumbangsih pemikiran pada konsep sistem pertanian berkelanjutan. Ada beberapa pakar dan praktisi pertanian yang berpendapat bahwa wujud dari pertanian berkelanjutan adalah hanya berupa pertanian organik. Aliran mazhab ini juga mengungkapkan pendapat bahwa setiap sistem pertanian yang menggunakan input dari luar ekosistem alam tidak bisa disebut sebagai suatu pertanian yang berkelanjutan. Tetapi ada juga pendapat yang menyatakan bahwa pertanian berkelanjutan dapat diwujudkan dengan penggunaan bahan anorganik tetapi dalam jumlah yang terbatas sehingga tidak mencemari lingkungan sekitarnya.

Istilah pertanian berkelanjutan memiliki makna sebagai suatu sistem usaha tani yang mampu mempertahankan produktivitas dan kebermanfaatannya bagi masyarakat dalam waktu yang tidak terbatas. Menurut FAO bahwa sistem pertanian berkelanjutan disebut sebagai sistem yang setiap prinsip, metode, praktek dan falsafahnya memiliki tujuan supaya pertanian layak secara ekonomi, lingkungan dan dapat dipertanggungjawabkan, secara sosial dapat diterima, berkeadilan dan dapat diterima sesuai dengan keadaan masyarakat setempat.

Selanjutnya USDA (*United States Department of Agriculture*) memberikan pandangan mengenai pertanian berkelanjutan sebagai pertanian yang pada waktu mendatang dapat bersaing, produktif, menguntungkan, mengkonversi sumber daya alam, melindungi lingkungan serta meningkatkan Kesehatan, kualitas pangan dan keselamatan.

Sistem pertanian berkelanjutan dapat dilihat dari ciri-ciri sebagai berikut : 1. Secara ekonomi menguntungkan dan dapat dipertanggung jawabkan (*economically viable*). Petani mampu menghasilkan keuntungan dalam tingkat produksi yang cukup dan stabil, pada tingkat resiko yang bisa ditolerir/diterima. 2. Berkeadilan sosial, Sistem pertanian yang menjamin terjadinya keadilan dalam akses dan kontrol

terhadap lahan, modal, informasi, dan pasar, bagi yang terlibat tanpa membedakan status sosial-ekonomi, gender, agama atau kelompok etnis

3. Berwawasan lingkungan yaitu kualitas agroekosistem dipelihara atau ditingkatkan, dengan menjaga keseimbangan ekologi serta konservasi keanekaragaman hayati.
4. Menghormati eksistensi dan memperlakukan dengan bijak semua jenis makhluk yang ada. Dalam pengembangan pertanian tidak melepaskan diri dari konteks budaya lokal dan menghargai tatanan nilai, spirit dan pengetahuan.
5. Mampu menyesuaikan diri terhadap kondisi yang selalu berubah, seperti pertumbuhan populasi, tantangan kebijaksanaan yang baru dan perubahan konstelasi pasar.

### **III. Mewujudkan Pertanian Berkelanjutan**

Tantangannya adalah bagaimana mewujudkan konsep pertanian berkelanjutan ini di tengah arus pembangunan yang masih menganaktirikan kelestarian daya dukung lingkungan, dan terlalu berorientasi pada pertumbuhan ekonomi secara membabi-butu. Untuk menjembatani antara target pertumbuhan ekonomi dan kepentingan konservasi ekosistem, maka pertanian berkelanjutan harus dapat memproduksi produk/ komoditas pertanian secara optimal dengan tidak merusak daya dukung dan kualitas lingkungan, dan dapat memelihara atau meningkatkan kesejahteraan petani secara berkelanjutan. Prinsip ini hendaknya diterapkan di seluruh rantai agribisnis, mulai dari subsistem produksi sampai subsistem pemasaran.

Secara fungsi agribisnis, sistem pertanian berkelanjutan meliputi tiga subsistem utama yang satu sama lain saling terkait erat, yaitu; (1) on-farm agribusiness, (2) off-farm agribusiness, dan (3) business environment. On-farm agribusiness terdiri dari kegiatan-kegiatan budidaya tanaman dan hewan, pemanenan tanaman dan hewan serta penanganan pasca panen, dan penjualan serta pemasaran produk primer (bahan mentah) pertanian. Off-farm agribusiness secara garis besar terbagi dua, yakni kegiatan-kegiatan industri hulu pertanian (backward-linkage industries atau upstream agribusiness activities) dan kegiatan-kegiatan industri hilir pertanian (foreward-linkage industries atau downstream agribusiness activities). Industri dan kegiatan agribisnis hulu pertanian meliputi ; (1) industri input produksi budidaya pertanian



(pupuk, pestisida, dan benih), dan industri mesin serta peralatan budidaya pertanian; dan (2) penyampaian serta distribusi bahan-bahan input budidaya pertanian dan mesin serta peralatan pertanian. Industri dan kegiatan agribisnis hilir pertanian mencakup : (1) procurement bahan mentah, (2) industri pengolahan bahan mentah/produk primer menjadi bahan setengah jadi dan bahan jadi.

Lingkungan bisnis (business environment) adalah berupa prasarana, sarana dan kebijakan yang mendukung bagi berfungsinya subsistem on-farm dan off-farm agribusiness, seperti ; fasilitas kredit dan asuransi, penyuluhan dan penyediaan informasi, transportasi dan komunikasi, prasarana dasar pada tingkat lokal maupun nasional, penelitian dan pengembangan, dan kebijakan ekonomi makro serta tata ruang. Dalam hal subsistem on-farm agribusiness, sebuah pertanian berkebudayaan industri pada intinya mengupayakan agar produksi tanaman dan hewan dapat lebih efisien (murah), produktif, berkualitas, dan sesuai dengan waktu yang diinginkan masyarakat konsumen atau industri hilir pertanian. Dengan perkataan lain, kegiatan produksi pertanian yang selama ini (secara tradisional) sangat bergantung pada alam (iklim, hama, dan penyakit), melalui penerapan iptek yang sesuai (appropriate science and technology) akan diubah menjadi kegiatan produksi yang lebih dapat ditargetkan (reliable), lebih efisien, produktif dan sesuai dengan waktu panen yang diinginkan secara berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (an environmentally efficient, productive, and sustainable agriculture production sistem).

Wujud teknologi produksi dalam pertanian berkebudayaan industri adalah teknologi yang memperkaya basis sumberdaya alam pertanian dan memperkuat kapasitas keberlanjutan (sustainable capacity) ekosistem alam (lahan, perairan, dan hutan) dalam menopang produksi pertanian secara berkesinambungan. Dan bukan teknologi yang mencemari lingkungan serta menggerogoti kapasitas keberlanjutan ekosistem alam. Selain itu, teknologi tersebut juga harus dapat diterapkan secara efisien pada berbagai kondisi lingkungan alamiah dan skala usaha produksi pertanian yang sangat beragam di Indonesia.

Penerapan teknologi hendaknya dilakukan sejak mulai tahap perencanaan (pemilihan lokasi kegiatan produksi) sampai dengan kegiatan produksi (budidaya dan pemanenan) serta penanganan

pascapanen. Mengingat tanaman dan hewan budidaya sebagai makhluk hidup yang memerlukan persyaratan kondisi alam (tanah, air, dan udara) tertentu bagi optimalitas kehidupan dan pertumbuhannya, maka akan lebih efisien serta produktif jika kegiatan produksi (budidaya) tanaman (pangan, hortikultura, perkebunan) dan hewan (ikan dan ternak) berlangsung di kawasan atau wilayah yang memang secara biofisik (ekologis) sesuai (suitable). Untuk keperluan ini, berbagai peta kesesuaian lahan yang sudah diterbitkan oleh instansi yang berwenang dan peta komoditas unggulan dengan beberapa penyesuaian dapat digunakan sebagai arahan dalam memilih lokasi kegiatan budidaya pertanian. Dalam konteks ini pula, kawasan-kawasan yang memiliki tingkat kesesuaian biofisik baik sampai sangat baik bagi produksi pertanian dan kawasan lindung (konservasi) seyogyanya dipertahankan agar tidak semena-mena dikonversi menjadi peruntukan pembangunan lainnya seperti; kawasan industri manufaktur untuk efisiensi, produktivitas dan keberlanjutan (sustainability) sistem produksi pertanian nasional. Dengan cara ini, maka akan terwujud distribusi spasial sistem produksi pertanian nasional secara efisien, produktif, berkelanjutan dan berimbang.

Atas dasar keberagaman kondisi biofisik, sosial-ekonomi-budaya masyarakat, dan tingkat pembangunan, maka jenis teknologi produksi (budidaya) pertanian yang diterapkan pun seyogyanya berbeda dari satu kawasan/ daerah ke kawasan lainnya. Menurut Pretty (1996), bahwa secara garis besar terdapat tiga jenis (tipologi) teknologi budidaya pertanian yang kini dipraktekkan di dunia; (1) sangat padat teknologi, (2) panca usaha tani (revolusi hijau), dan (3) teknologi yang menghemat sumberdaya dan terbarukan (regenerative and resource conserving technologies).

Dengan demikian, teknologi budidaya pertanian untuk pulau Jawa hendaknya berbeda dengan yang untuk di luar Jawa. Demikian juga untuk antar wilayah perkotaan dan pedesaan, dan bahkan antar kawasan yang memiliki sistem lahan (land sistem), kondisi sosekbud serta tingkat pembangunan yang berbeda.

Teknologi tipe-3 akan lebih tepat jika diterapkan di daerah-daerah yang ketersediaan sumberdaya alam dan lingkungannya masih berlimpah, kondisi sosekbud masyarakat masih rendah, dan tingkat

kepadatan penduduk dan pembangunannya juga masih rendah, seperti pedalaman Irian Jaya, Kalimantan, dan Sulawesi. Teknologi hemat sumberdaya dan terbarukan ini juga cocok untuk daerah yang sudah tinggi tingkat kepadatan penduduk dan pembangunannya, keadaan sosekbud masyarakat sudah tinggi dan ketersediaan sumberdaya alam dan lingkungan yang sudah terbatas, misalnya pulau Jawa dan daerah perkotaan. Sementara itu, teknologi tipe-1 dan tipe-2 akan lebih tepat jika diterapkan di daerah-daerah yang kondisi sosekbud, ketersediaan sumberdaya alam dan lingkungan, dan tingkat pembangunannya diantara kondisi ekstrim tersebut.

Akan halnya subsistem off-farm agribusiness, pertanian berkebudayaan industri menekankan pentingnya industri pengolahan dan pemasaran komoditas pertanian menjadi bahan setengah jadi (intermediate products) dan bahan jadi (finished products) sesuai dengan kebutuhan (selera) pasar. Melalui industri pengolahan (pascapanen ini, nilai tambah produk pertanian menjadi berlipat ganda. Selain itu, industri pengolahan juga berfungsi sebagai penyangga (buffer) terhadap terjadinya fluktuasi harga, dimana harga suatu produk pertanian mendadak turun secara tajam ketika panen berlimpah. Namun demikian, perlu ada jaminan bahwa nilai tambah yang diperoleh dari proses pengolahan dan pemasaran komoditas pertanian ini hendaknya mengalir ke petani yang bekerja di subsistem on-farm (kegiatan budidaya dan pemanenan). Sementara itu industri hulu, yang meliputi industri pupuk, pestisida dan bahan-bahan kimia lainnya, benih, dan mesin serta peralatan pertanian harus tangguh, efisien dan harga produknya kompetitif (relatif murah).

Agar subsistem on-farm dan off-farm agribusiness memiliki kinerja secara efisien, produktif dan berkelanjutan, maka lingkungan bisnis (business environment) yang meliputi prasarana, sarana, dan kebijakan pendukung perlu dirancang dan diimplementasikan agar bersifat kondusif bagi bekerjanya kedua subsistem utama di atas secara optimal. Kebijakan lingkungan (tata ruang dan pengendalian pencemaran), kebijakan keuangan (kredit, suku bunga, dan lain-lain). Hukum dan kelembagaan hendaknya ditegakkan untuk mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan.

#### IV. Smart Farming

Berdasarkan prediksi dari United Nations (2022) akan terjadi peningkatan jumlah penduduk di Indonesia pada tahun 2050 yakni mencapai 317 juta jiwa. Oleh sebab itu, peningkatan produksi pertanian sangat perlu untuk ditingkatkan dengan berbagai upaya seperti intensifikasi maupun ekstensifikasi. Cara ini dilakukan agar mampu mencukupi seluruh kebutuhan pangan bagi penduduk Indonesia kedepannya, serta terhindar dari fenomena krisis pangan. Selain upaya peningkatan produksi, aspek yang juga menjadi permasalahan krusial saat ini adalah regenerasi pekerja pada bidang pertanian. Sehingga kondisi ini akan mengarah ke *aging farmer*, yakni dimana umumnya petani hanya terdiri dari kelompok usia lanjut. Kondisi demikian diakibatkan karena minimnya minat masyarakat usia produktif / muda untuk ikut andil dalam pertanian (Rachmawati, 2020).

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) mencatat bahwa rata-rata usia petani di Indonesia adalah 52 tahun, kondisi ini juga diperburuk dengan hasil survei beberapa lembaga sosial seperti United Nations yang mengestimasi bahwa penduduk Indonesia yang berumur  $\geq 50$  tahun hanya sekitar 32,7% saja pada tahun 2050. Dengan demikian, tentu diperlukan suatu pendekatan khusus untuk menarik animo generasi muda agar mau untuk terjun langsung dalam bidang pertanian. Menurut Nugroho *et al.* (2018), sejumlah strategi yang dapat dilakukan untuk menarik atensi generasi muda produktif ke bidang pertanian yakni : 1) Pengenalan pertanian pada pendidikan usia dini, 2) Menarik minat pemuda untuk terlibat dengan kelembagaan pada bidang pertanian, 3) Peningkatan mutu pelaku pertanian, 4) Adanya asuransi dan jaminan pemasaran, 5) Pengembangan *smart farming*, serta penguatan *cooperative farming*.

Dalam rangka mewujudkan pertanian mandiri, maju serta modern untuk mendukung kedaulatan dan ketahanan pangan nasional, di era modern seperti saat sekarang ini *Smart Farming* sudah mulai dikembangkan. Dimana pertanian ini merupakan peralihan pola pengelolaan sumber daya pertanian konvensional menjadi sistem pertanian yang lebih efisien dan produktif oleh sistem monitoring dan otomatisasi kontrol dengan pemanfaatan teknologi IoT (*Internet of Things*). Salah satu model dalam membangun *smart farming* adalah

pertanian presisi. Dimana model ini mengacu pada *Management Information Sistem (MIS)*, *Precision Agriculture (PA)* dan *Cyber Physical Sistem (CPS)* (Dirjen PSP Pertanian, 2023). Pertanian presisi disusun berdasarkan kecerdasan buatan dan *Internet of Things (IoT)* yang dapat membantu para pelaku usahatani dalam merancang, mengotomatisasi, serta mengoptimalkan seluruh aspek dalam meningkatkan produksi.

### ***Pertanian presisi***

Pengintegrasian teknologi dalam aspek pertanian memberikan pengoptimalan serta keakuratan dalam pemantauan kebutuhan dan pertumbuhan dari tanaman. Saraan dan Rambe (2022) beropini bahwa aplikasi teknologi pada bidang pertanian dinilai mampu memberikan nilai yang sangat positif bila dibandingkan dengan penerapan pertanian metode konvensional diantaranya yaitu, mampu meningkatkan hasil tanaman hingga 300%, hemat pupuk sampai 70%, dan efisien dalam penggunaan air mencapai 50%.

Konsep yang digunakan dalam pertanian presisi adalah pendekatan sistem pertanian *low input, high efficiency, dan sustainable*. Sistem pertanian ini sangat berkaitan dengan pemberian input kebutuhan tanaman yang lebih efektif-efisien, baik dari aspek jumlah masukan, lokasi, serta waktu. Pertanian presisi dapat menjadi sebuah jalan keluar dari keterbatasan sumber daya pendukung kebutuhan tanaman seperti pupuk, tanah, air, tenaga kerja produktif, serta aspek produksi lainnya, sehingga peningkatan kuantitas dan kualitas produk pertanian dapat dicapai. Empat hal yang saling terpaut dalam implementasi pertanian presisi yakni : (1) Sistem pengendali yang disempurnakan, (2) Peminimalisir input; (3) Pengoptimalisasian efisiensi; serta (4) Sistem informasi manajemen. Selain itu, Nugroho (2022) menjelaskan juga bahwa pertanian presisi merupakan perwujudan sistem industri pertanian yang menerapkan kecermatan pada setiap aspek agribisnis mulai dari hulu hingga ke hilir, dengan mengoptimalkan *food productivity, food quality, food safety, food security, dan food sustainability*, meminimalisir *food waste, food loss, dan environmental damage*.

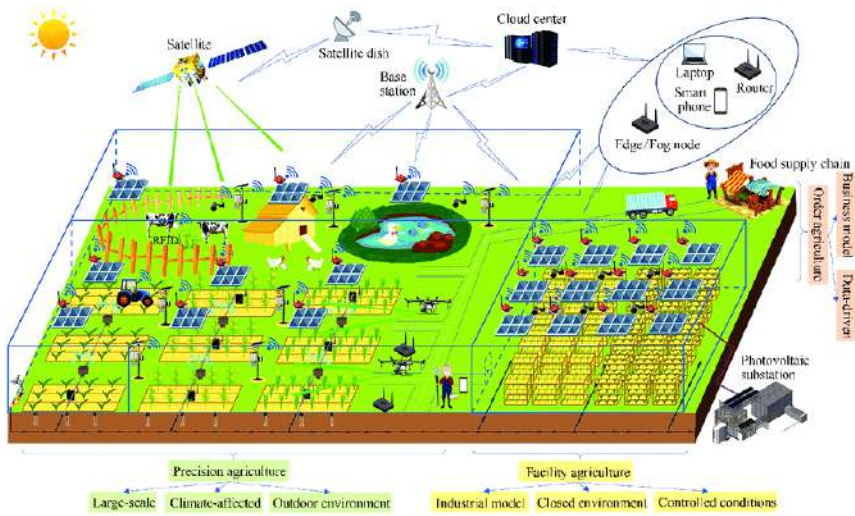
Munculnya *Global Navigation Satellite Sistem (GNSS)* dan *Global Positioning Sistem (GPS)* diduga merupakan awal terbentuk praktek dari

sistem pertanian yang presisi. Kapabilitas peneliti dan/atau petani dalam menemukan letak lokasi mereka secara akurat di lapangan memungkinkan dalam perancangan peta variabilitas spasial dari banyak variabel yang dapat diamati seperti hasil panen, kandungan bahan organik dan unsur hara, pH, topografi, tingkat kelembaban, dan lain sebagainya (McBratney & Pringle, 1999). Data-data tersebut dikumpulkan oleh beberapa rangkaian sensor yang dilengkapi oleh GPS. Rangkaian tersebut tersusun dari sensor waktu nyata yang mengukur beberapa parameter seperti kandungan klorofil hingga kondisi air pada tanaman, bersama dengan citra multispektral. Data ini digunakan bersama dengan penggunaan satelit dan *Variable Rate Technology* (VRT) termasuk seeder, penyemprot, dan lain sebagainya untuk mengalokasikan sumber daya optimal (Sondakh *et al.*, 2020).

Upaya ekspansi sistem pertanian presisi sangat membutuhkan sumber daya manusia yang cakap akan teknologi seperti piawai dalam menggunakan beberapa piranti elektronik yang mendukung dan jaringan informasi online, yang mana notabene sebagian besar ditemukan pada generasi milenial. Dengan kemampuan penguasaan teknologi dan dukungan sarana yang ada, generasi muda seharusnya memiliki lebih banyak peluang dibanding generasi - generasi lawas untuk terjun langsung dalam sistem pertanian presisi ini. Disamping itu, pengaplikasian pertanian presisi juga membutuhkan sokongan penuh dari pemerintah. Mardianto (2014) menyampaikan bahwa penerapan inovasi pertanian pada umumnya negara-negara maju dan berkembang senantiasa memerlukan kontribusi pemerintah dalam mempercepat proses adopsi IPTEKS melalui berbagai program dan fasilitas pendukung.

### ***Model pertanian presisi***

Upaya pembangunan sistem pertanian presisi penting dalam mempertimbangkan model yang mendeskripsikan kegiatan dari hulu hingga hilir yang sistematis dan terintegrasi dalam suatu korporasi petani (Gambar 36).



Gambar 3617. Model pertanian presisi  
(Sumber: Yang et al., 2021)

Pada model pertanian presisi terdapat subsistem yang melakukan usaha tani dengan capaian produk pertanian primer (komoditi pertanian) serta adanya beberapa kegiatan strategis pendukung lainnya. Tahap awal dari sistem pertanian ini ialah pendaftaran petani beserta lahan pertaniannya (secara digital) yang akan tercatat ke dalam wilayah pembangunan pertanian presisi. Lahan pertanian yang telah terverifikasi selanjutnya adalah pemetaan (precision mapping) untuk mendapatkan data ketersediaan air, kesuburan lahan, risiko gangguan OPT. Berpedoman dari hasil *precision mapping* maka ditetapkan usulan berupa rencana dan teknis teknis tanam. Tahapan selanjutnya yakni melakukan analisis pasar agar mendapatkan kesepakatan dari lembaga keuangan/perbankan mengenai pemberian modal seperti investasi serta modal kerja bagi petani. Modal kerja bagi petani juga memperkuat penyediaan pupuk bersubsidi secara kontinu. Setelah investasi dan modal kerja terwujud petani sudah bisa memulai untuk melakukan kegiatan usaha taninya berbasis teknologi pertanian presisi (Ditjen PSP, 2023).

Sebagaimana dilansir pada website benihpertiwi.co.id (2023) bahwa ada beberapa komponen utama dalam pertanian presisi diantaranya adalah :

- a) Kontrol Jarak Jauh dan Pencitraan : Citra satelit maupun drone udara dilengkapi dengan sensor serta kamera yang mampu menangkap gambar lahan pertanian dengan kualitas tinggi. Tangkapan dari alat ini nantinya akan memberikan sebuah laporan penting perihal pertumbuhan dan perkembangan tanaman, serta masalah potensial seperti gangguan oleh organisme pengganggu tanaman, dan kekurangan nutrisi.
- b) Sistem Informasi Geografis (SIG) : Petani dapat mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data spasial terkait dengan lahan pertanian berdasarkan data SIG. Pemetaan dan penyusunan lapisan data yang berbeda, seperti ketinggian tempat, komposisi tanah, serta sejarah produksi panen, petani sanggup membuat keputusan yang lebih akurat dan terinformasi tentang pola tanam, pemupukan, dan irigasi.
- c) Teknologi Tingkat Variabel (VRT) : Teknologi ini mengimplementasikan pemanfaatan piranti khusus yang mampu mengatur intensitas pemberian benih, pupuk, dan pestisida di area budidaya. Tentu dengan mempertimbangkan variasi kebutuhan tanaman serta kualifikasi tanah, petani dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meminimalisir pemborosan.
- d) Sistem robotik / Mesin Otomatis : Sistem pertanian ini akan menggunakan beberapa mesin otomatis ataupun sistem robotik dalam kegiatan penanaman, pemeliharaan, serta panen. Selain itu, teknologi ini memberikan peninjauan yang akurat terhadap operasi, mengurangi kebutuhan sumber daya manusia, dan memungkinkan tugas dilakukan secara efektif dan efisien.
- e) Monitoring Tanah dan Tanaman: Idealnya perangkat sensor yang berada di tanah mampu untuk menghitung kandungan hara, suhu, dan tingkat kelembapan pada tingkat iklim mikro. Sedangkan perangkat sensor yang ada pada tanaman mampu meninjau pertumbuhan, klorofil serta kesehatan daun. Informasi *real-time* tersebut memberikan peluang yang sangat besar bagi petani untuk merespons kebutuhan tanaman budidaya dengan akurat, efektif dan efisien.
- f) Sistem Pendukung Keputusan: Analisis data dengan bantuan *software* memungkinkan para petani untuk memproses informasi-



informasi yang didapat, sehingga menghasilkan sebuah pengetahuan serta membentuk ketetapan yang terinformasi. Praktik ini nantinya mampu menginformasikan rekomendasi perihal waktu dan dosis optimal input yang diberikan pada tanaman, prediksi produksi panen, dan anjuran strategi dalam mengendalikan OPT.

## V. Penutup

Sektor pertanian di Indonesia dalam menghadapi tantangan abad ke-21 untuk memenuhi permintaan produk pertanian yang berkualitas dan ramah lingkungan perlu pendekatan baru berbasis industri yang terintegrasi dengan teknologi dan agribisnis dari hulu ke hilir untuk mencapai pertanian yang berkelanjutan. Untuk mencapai tujuan tersebut, system budidaya dilakukan dengan pendekatan pertanian organik sebagai solusi yang berkelanjutan untuk menjaga kesuburan tanah dan lingkungan serta mampu menjaga keseimbangan ekosistem dan menghasilkan produk yang sehat sesuai dengan prevalensi masyarakat saat ini. Selain itu, Di era modern serba digital saat ini, penggunaan teknologi seperti IoT (*Internet of Things*), drone, dan GPS dapat membantu meningkatkan efisiensi dan produktivitas pertanian yang mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti pupuk, air, dan tenaga kerja dengan lebih efektif.

## Referensi

- Aisyah, Dedik B, Messalina L dan Salampessy. (2019). Pertanian organik dan pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah dan produksi padi. *Jurnal Pertanian Presisi* 3(1)
- Alamban, R.B. (2002). Agriculture: bio-organic farming increases farm production. S&T media service, Science and Technology Information Institute, Department of Science and Technology, Communication Resources and Production Division. Crpd@stii.dost.gov.ph; 18 September 2003. 2 hal.
- AOI. (2011). Produsen dan produk organik bersertifikat meningkat. Bogor. <http://www.organicindonesia.org/05infodata/news.php?id=221>.
- Badan Standarisasi Nasional. (2010). Sistem pangan organik. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.

- Benih pertiwi [Internet] (2023). Pertanian presisi : transformasi pertanian melalui teknologi dan data. Benihpertiwi.co.id : [updated Mai 2023; cited 2024 June 19] Available from : <https://benihpertiwi.co.id/pertanian-presisi-transformasi-pertanian-melalui-teknologi-dan-data/>
- Dadi. (2021). Pembangunan pertanian dan sistem pertanian organik: bagaimana proses serta strategi demi ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Education and development* 9 (3).
- Damardjati, D.S. (2005). Kebijakan operational pemerintah dalam pengembangan pertanian organik di indonesia. Materi workshop dan kongres nasional II MAPORINA, 21 December 2005, Jakarta Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. (2023). Master plan pengembangan pertanian presisi. Bogor : Agro Indo Mandiri, 114 halaman.
- Greene C.R. (2001). Organic farming systems. *Webadmin@ers.usda.gov.* 5 hal.
- IFOAM. (2008). The world of organic agriculture - Statistics & Emerging Trends 2008. [http://www.soel.de/fachtheraaii\\_downloads/s\\_74\\_1\\_O.pdf](http://www.soel.de/fachtheraaii_downloads/s_74_1_O.pdf).
- Mardianto S. (2014). Reformasi sistem inovasi pertanian di Indonesia dalam reformasi kebijakan menuju transformasi pembangunan pertanian. Dalam: Haryono. eds. 2014. Transformasi pembangunan pertanian: reformasi kebijakan menuju transformasi pembangunan pertanian. Jakarta (ID): IAARD Press.
- McBratney, A.B., & Pringle, M.J. (1999). Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture* 1: 125–152.
- Muhsanati. (2012). lingkungan fisik dan agroekosistem, menuju sistem pertanian berkelanjutan. Andalas University Press. Padang
- Nugroho, B.D.A. (2022). Integrasi agri-tech dan agribisnis dalam mendukung pertanian modern dan presisi di Indonesia. Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada.
- Nugroho, A.D., Waluyati, L.R., dan Jamhari, J. (2018). Upaya memikat generasi muda bekerja pada sektor pertanian di Daerah

- Istimewa Yogyakarta. JPPUMA. J Ilmu Pemerintah dan Sos Polit Univ Medan Area. 6(1):76. doi:10.31289/jppuma.v6i1.1252.
- Racmawati, R.R. (2020). Smart farming 4.0 to build advanced, independent, and modern Indonesian agriculture. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, Vol. 38 (2), Desember 2020: 137-154.
- Ramadhan, N., & Muhsanati. (2023). Buku ajar : agroklimatologi. Padang : Hei Publishing.
- Saraan, M.I.K., & Rambe, R.F.A.K. (2023). Kebijakan pengembangan inovasi teknologi pertanian presisi di Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Kajian Agraria dan Kedaulatan Pangan*, 2 (1):1-6.
- Saragih, S.E. (2008). Pertanian organik : solusi hidup harmoni dan berkelanjutan. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sari, W. P., Ramadhan, N., & Muhsanati. (2024). Ekologi tanaman. Padang : Hei Publishing.
- Sondakh, J., Rembang, J.H.W., & Syahyuti. (2020). Characteristics, potential of millennial generations and perspectives of precision agriculture development in Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi* 38 (2) : 155-166.
- Suriadikarta D.A., Simanungkalit R.D.M. (2006). Pendahuluan. Di dalam: Simanungkalit RDM, Suriadikarta DA, Saraswati R, Setyorini D, Hartatik W, editor. Pupuk organik dan pupuk hayati. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. hlm. 1-10. Bogor.
- United Nations [Internet] (2022). World population prospects: the 2022 revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division : [updated 2022; cited 2024 June 19] Available from : <https://www.populationpyramid.net/indonesia/2050/>
- Yang, X., Shu, L., Chen, J., Ferrag, M.A., Wu, J., Nurellari, E., & Huang, K. (2021). A survey on smart agriculture: development modes, technologies, and security and privacy challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 8 (2) : 273-302, February 2021, doi: 10.1109/JAS.2020.1003536.
- Yuriansyah, Y., Dulbari, D., Sutrisno, H., & Maksum, A. (2020). Pertanian organik sebagai salah satu konsep pertanian berkelanjutan. PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat, 5(2), 127- 132



## Menelisik di Luar Batas Garis Pertanian Hijau



**Muhammad Fadli** bercerita tentang pertanian hijau dan teknologi pertanian sebagai solusi ketahanan pangan global. Pertanian hijau mengutamakan praktik ramah lingkungan dan berkelanjutan, namun menghadapi tantangan dari sistem konvensional, penurunan lahan, dan pertumbuhan populasi. Bioteknologi, seperti organisme modifikasi genetik (GMO) dan teknologi CRISPR-Cas9, menjadi solusi yang menjanjikan dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Sementara itu *smart farming*, yang mengintegrasikan teknologi seperti sensor dan IoT, juga ditampilkan sebagai solusi masa depan.



# Menelisik di Luar Batas Garis Pertanian Hijau

**Muhammad Fadli**

*Dosen Prodi Agroteknologi, Fakultas Pertanian  
Universitas Andalas*

## **I. Pendahuluan**

*Green agriculture* atau pertanian hijau adalah istilah yang melekat dengan sistem pertanian yang ramah lingkungan, sosial dan ekonomi. Terminologi ini sangat dekat dengan sistem pertanian organik, meskipun memiliki sedikit perbedaan namun memiliki tujuan yang hampir sama, yaitu menjaga keberlanjutan pertanian dan ramah lingkungan. Pertanian hijau ini diluncurkan untuk menjawab permasalahan yang ada di sistem pertanian konvensional yang memang memiliki usia lebih tua dalam pengaplikasiannya. Seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan ilmu pengetahuan serta diiringi dengan penemuan - penemuan baru nan mutakhir terutama di bidang pertanian, menghasilkan berbagai metode pertanian baru sesuai dengan era dan tingkat kecanggihan teknologi yang diterapkan, seperti smart farming yang menerapkan penggabungan teknologi kecerdasan buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT) bersama dengan sistem pertanian. Penemuan ini diharapkan mampu menjadi solusi bagi masalah ketahanan pangan global.

Isu ketahanan pangan global tidak luput dari peningkatan populasi manusia. Peningkatan jumlah penduduk dunia dari beberapa tahun belakangan sangat drastis. Data statistik menunjukkan bahwa peningkatan populasi manusia di hampir setiap negara mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Rilis data dari world population review di tahun 2023, jumlah penghuni bumi telah mencapai delapan miliar jiwa, Indonesia berada di urutan keempat terpadat di dunia setelah Amerika Serikat. Pertumbuhan penduduk ini sejalan dengan meningkatnya berbagai persoalan, terutama di bidang ketahanan pangan. Suatu negara yang memiliki ketahanan pangan dan mampu menyediakan makanan untuk rakyatnya, merupakan negara yang sangat sejahtera. Banyak kasus kelaparan yang bisa disaksikan di berbagai

belahan dunia, terutama di negara-negara yang berkembang atau pun di negara miskin.

Beras telah memainkan peran sentral dalam nutrisi dan budaya manusia selama 10.000 tahun terakhir. Diperkirakan bahwa produksi beras dunia harus meningkat sebesar 30% dalam 20 tahun ke depan untuk memenuhi proyeksi permintaan dari peningkatan populasi dan pembangunan ekonomi (Tabel 23). Padi yang ditanam di lahan irigasi yang paling produktif telah mencapai produksi yang hampir maksimal dengan varietas yang ada saat ini. Degradasi lingkungan, termasuk polusi, peningkatan suhu malam hari akibat pemanasan global, berkurangnya lahan subur yang sesuai, air, tenaga kerja, dan pupuk yang bergantung pada energi menjadi kendala tambahan. Faktor-faktor ini membuat langkah-langkah untuk memaksimalkan produktivitas padi menjadi sangat penting. Peningkatan potensi hasil panen dan stabilitas hasil panen akan datang dari kombinasi bioteknologi dan pemuliaan konvensional yang lebih baik. Keduanya akan bergantung pada urutan genom padi yang berkualitas tinggi (Peng *et al.*, 2004 dan Virmani *et al.*, 2003).

Tabel 23. Data statistik populasi dunia

| Flag  | Country       | 2024 (Live) v | 2023 Population | Area (km <sup>2</sup> ) | Land Area (km <sup>2</sup> ) | Density (/km <sup>2</sup> ) | Growth Rate | World % | Rank | UN Member |
|---|---------------|---------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|---------|------|-----------|
|  | India         | 1,439,431,176 | 1,428,627,663   | 3.3M                    | 3M                           | 485                         | 0.92%       | 18.01%  | 1    | ✓         |
|  | China         | 1,425,289,489 | 1,425,671,352   | 9.7M                    | 9.4M                         | 151                         | -0.03%      | 17.8%   | 2    | ✓         |
|  | United States | 341,496,765   | 339,996,563     | 9.4M                    | 9.1M                         | 37                          | 0.53%       | 4.27%   | 3    | ✓         |
|  | Indonesia     | 279,404,735   | 277,534,122     | 1.9M                    | 1.9M                         | 149                         | 0.82%       | 3.5%    | 4    | ✓         |
|  | Pakistan      | 244,375,900   | 240,485,658     | 881.9K                  | 770.9K                       | 318                         | 1.96%       | 3.06%   | 5    | ✓         |
|  | Nigeria       | 228,201,476   | 223,804,632     | 923.8K                  | 910.8K                       | 252                         | 2.39%       | 2.86%   | 6    | ✓         |
|  | Brazil        | 217,427,567   | 216,422,446     | 8.5M                    | 8.4M                         | 26                          | 0.56%       | 2.72%   | 7    | ✓         |
|  | Bangladesh    | 174,395,238   | 172,954,319     | 147.6K                  | 130.2K                       | 1,342                       | 1.01%       | 2.18%   | 8    | ✓         |

(Sumber: <https://worldpopulationreview.com/>)

Global Environmental Change (GEC) merupakan terminologi yang dipakai untuk menjelaskan fenomena ini. Ingram *et al.*, 2012 menegaskan bahwa perubahan yang terjadi akibat pemanasan global dan peningkatan suhu bumi sangat mempengaruhi sistem pertanian,



terutama bagi mereka yang mengusahakan pertanian skala kecil. Isu iklim global juga merupakan faktor yang mempengaruhi titik kritis ketahanan suatu bangsa selain dari peningkatan populasi manusia. Perubahan iklim dapat mempengaruhi segala sektor, terutama di bidang pertanian, peternakan (Ingram *et al.*, 2012; Yadav *et al.*, 2024), dan kehutanan. Giménez-Romero *et al.* (2024) menjelaskan bahwa pergantian cuaca yang ekstrim dapat mengubah pola penyebaran suatu penyakit dan menimbulkan epidemi baru. Produksi pangan dunia juga terdampak (Wittwer, 1995; Kibria, 2013). Akibatnya terjadi penurunan jumlah hasil produksi, menurunnya kualitas produksi, rusaknya komponen nutrisi, dan tercemarnya produk-produk pertanian akibat perubahan pola sebaran hama dan penyakit yang terdapat di gudang-gudang penyimpanan.

Kemajuan teknologi di bidang pertanian telah membuka gerbang perubahan dan cara praktek budidaya. Banyak teknik budidaya yang memang telah sukses dilakukan seperti hidroponik (Aini & Azizah, 2018), vertikultur (Murnita *et al.*, 2023) bahkan metode aeroponik (Muni'ah, 2021), hingga mengubah susunan material genetik untuk meningkatkan ketahanan pangan (TEMPO Publishing, 2020) dan masih banyak lagi. Adanya ide ini tidak lepas dari keinginan untuk memecahkan permasalahan pangan. Berbagai opsi solusi tersedia untuk persoalan di atas, salah satunya adalah melakukan perencanaan yang jauh ke depan (*beyond of the future*) dan peningkatan teknologi di bidang pertanian. Namun pertanyaannya ialah, sudah siapkah kita dengan perubahan tersebut?

## **II. Biologi molekuler sebagai Gerbang Menuju Pertanian Masa Depan**

Bio-molekuler atau biologi molekuler merupakan bidang ilmu yang mempelajari molekul-molekul kehidupan, seperti DNA, RNA, dan protein beserta fungsinya, lebih dikenal dengan dogma sentra kehidupan. Sedangkan bioteknologi berasal dari kata *Bio* yang artinya hidup, "*logos*" ilmu dan *teknos* berarti teknologi. Secara harfiah, bioteknologi adalah ilmu yang mempelajari teknologi untuk memanfaatkan makhluk hidup dan bagian-bagiannya. Secara sederhana

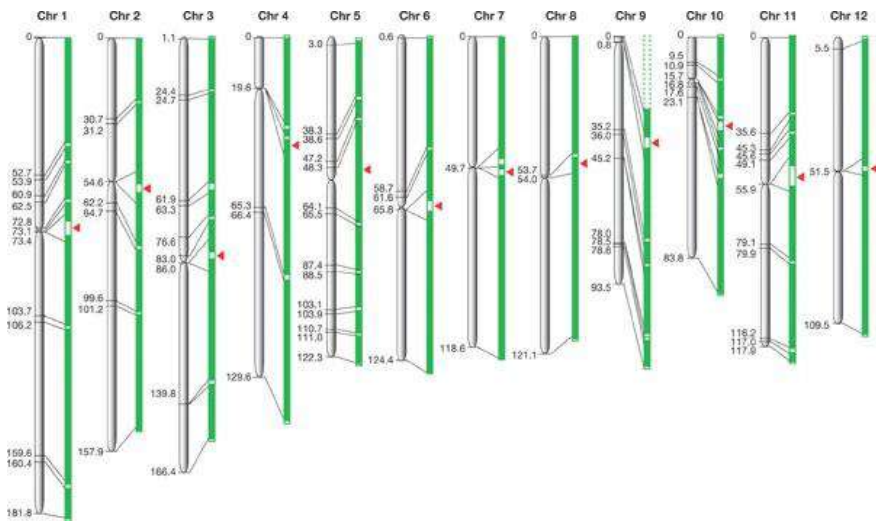
pemanfaatan pupuk kandang sebagai sumber hara untuk tanaman budidaya telah termasuk ke dalam praktik bioteknologi.

Lebih lanjut, pemahaman ilmu ini dapat menjembatani ke tahapan yang lebih jauh ke depan. GMO (*Genetic Modified Organism*) merupakan organisme yang telah mengalami perubahan genetik (penambahan dan pengurangan) di dalam genomnya, dalam kata lain telah mengalami rekombinasi genetik (Ryan *et al.*, 2024). Perubahan material genetik yang sengaja diinduksi memungkinkan mengubah sifat dan kualitas produk pertanian. Peneliti memenuhi kebutuhan pasar hanya dengan mengubah material penyusun kehidupan. Salah satu contoh tanaman transgenik terbaru adalah "*Golden Banana*" atau pisang emas yang telah dimodifikasi sehingga mengandung pro-vitamin A. Pisang ini dikembangkan untuk membantu mengatasi masalah kekurangan vitamin A di beberapa negara berkembang di Afrika, Asia, dan Amerika Latin (Benkeblia, 2020; Prakash *et al.*, 2023).

Produk hasil rekayasa genetika memiliki kelebihan dan kekurangan yang masih menjadi perdebatan dalam dunia sosial dan ilmiah termasuk SARA. Beberapa keunggulan dan kelemahan produk GMO adalah sebagai berikut. GMO dapat meningkatkan hasil dan kualitas panen. Tanaman GMO dapat direkayasa dengan mengintroduksi sifat baru melalui teknologi rekayasa genetika sehingga tahan terhadap serangan hama, infeksi penyakit, dan kondisi lingkungan yang ekstrim, sehingga meningkatkan hasil dan kualitas panen serta mengurangi kerugian akibat penyebaran hama dan penyakit. Tanaman hasil rekayasa lebih toleransi terhadap faktor lingkungan. Beberapa tanaman GMO telah mengalami perbaikan di level molekuler (penambahan bahkan pengurangan informasi genetik) agar tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim seperti kekeringan dan tanah yang miskin nutrisi, sehingga memungkinkan tanaman tersebut ditanam di area yang sebelumnya tidak cocok untuk pertanian. Beberapa produk GMO dirancang untuk memberikan nutrisi tambahan seperti vitamin dan protein yang meningkatkan nilai gizi makanan. Contohnya adalah beras emas yang mengandung provitamin A (Huo *et al.*, 2023; Pinkaew *et al.*, 2012).

Beberapa publikasi penelitian menunjukkan bahwa tanaman GMO berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, contohnya hama menjadi tahan terhadap pestisida dan merusak ekosistem (Ryan *et al.*, 2024). Penggunaan tanaman GMO juga dapat berpengaruh pada keanekaragaman hayati, karena mengurangi keanekaragaman genetik tanaman budidaya dan dapat menggantikan spesies liar. Otoritas kesehatan seperti Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) dan Organisasi Makanan Dunia (FDA) telah merilis produk GMO yang disetujui aman untuk dikonsumsi, namun dampak dari mengkonsumsi produk GMO terhadap kesehatan manusia masih diperdebatkan. Pro dan kontra produk GMO sampai saat ini masih menjadi perdebatan yang hangat di komunitas ilmiah dan masyarakat umum.

Berbagai genom tanaman telah berhasil dipetakan, seperti padi (*Oryza sativa*). Dengan diketahuinya posisi gen dalam genom padi (Gambar 37), banyak informasi yang diketahui terutama sifat esensialnya. Data ini sangat penting untuk mengembangkan teknik pemuliaan dan budidaya tanaman padi di kondisi lahan tertentu, seperti di lahan marginal (Meksem & Kahl, 2006).



Gambar 37. Peta genom tanaman padi (Sumber: Sasaki, 2005)

Tersedianya informasi genetik berbasis peta yang lengkap dan akurat untuk tanaman padi sangat menarik dan memberikan kemudahan. Sebagian besar informasi telah ada di *database* publik (NCBI <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) telah memberikan kemudahan dan peluang untuk mengevaluasi genom, seperti yang ditunjukkan pada beberapa publikasi di bidang biologi dan genetika padi selama beberapa tahun terakhir. Selain itu, ketersediaan informasi *single nucleotide polymorphism* (SNP) dan *simple sequence repeat* (SSR) akan mempercepat pekerjaan pemulia.

Tidak hanya padi, keberhasilan merakit tanaman jagung yang tahan terhadap serangan virus juga telah dilaporkan oleh (Meksem & Kahl, 2006; Xu et al., 2023), bahwa mereka berhasil mendesain tanaman jagung transgenik tahan virus, bahkan dapat berproduksi jika dibudidayakan di lahan marginal. Dari laporan yang telah dirilis perbedaan pertumbuhan tanaman transgenik dengan *Wild Type* (bukan transgenik) sangat kentara. Jagung yang telah direkombinasikan dengan gen pengkode ketahanan, memiliki tampilan yang lebih sehat dibandingkan dengan *wild type*.

Pendekatan molekuler cenderung lebih mahal, terutama dalam hal menganalisis set data yang besar. Metode molekuler memberikan hasil yang presisi dan tervalidasi dengan baik. Tujuan penelitian, biaya, dan kualitas intrinsik penanda adalah faktor penentu dalam pemilihan pendekatan berbasis metode ini, salah satunya penanda molekuler. Penanda molekuler (*molecular marker*), seperti pengulangan urutan sederhana (SSR), DNA polimorfik yang diamplifikasi secara acak (RAPD), dan polimorfisme panjang fragmen yang diamplifikasi (AFLP), telah digunakan untuk mempelajari variasi genetik pada tanaman industri. Seleksi bibit yang dilakukan di tahapan nurseri berbasis penanda molekuler bekerja melacak kode DNA tertentu dapat meminimalkan kerugian bagi perkebunan.

Level RNA (transcription) juga menjadi fokus studi saat ini. Teknologi ini memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi ekspresi gen secara komprehensif, serta deteksi variasi genetik, varian sambatan, dan RNA non-coding. RNA-seq telah menjadi alat yang sangat penting tidak hanya dalam penelitian biologi molekuler dan biologi perkembangan,

tetapi juga dalam bidang pertanian (Wang & Gerstein (2009); Oshlack & Robinson (2009); dan Nagalakshmi *et al.* (2008).

Penemuan spesies baru akibat pesatnya pertumbuhan teknologi dan ilmu pengetahuan berperan serta menjaga keberlangsungan pertanian. Salah satu contoh dari kasus ini adalah penemuan myxovirus (virus yang menginfeksi jamur) dapat digunakan sebagai agen biokontrol sekaligus pembawa material genetik baru untuk meningkatkan produksi pertanian. Das *et al.* (2021) melaporkan bahwa, interaksi antara dua spesies virus yang berbeda dapat mempengaruhi kemampuan infeksi virus lain, sehingga menurunkan kemungkinan inang terinfeksi. Liying *et al.* (2020) menambahkan, *Rosellinia necatrix* yang sengaja diintroduksi virus ke dalam selnya akan menurunkan daya infeksinya terhadap inang dan berdampak pada penurunan risiko terinduksinya gejala penyakit tanaman.

### III. Genome Editing

Pengeditan genom adalah teknik yang digunakan untuk memodifikasi DNA secara tepat dan presisi di dalam genom organisme. Teknologi ini memungkinkan peneliti mengubah urutan DNA secara tepat dengan menambahkan (insersi), menghapus (delesi), atau mengganti bagian tertentu dari genom. Dengan fitur-fitur ini, pengeditan genom memiliki potensi besar untuk berbagai aplikasi terutama di bidang pertanian. Menyusun ulang kembali materi genetik (*genomic re-arrangement*) tanaman akan mengarahkan pada hasil yang lebih optimal. Banyak teknologi yang ditawarkan untuk menyusun ulang susunan genetik, seperti *Homologous recombination* (HR), ZFN, TALEN, CRISPR Cas9 (Yamamoto, 2015), bahkan teknologi dsRNA.

Merancang keragaman genetik pada tanaman adalah kunci pertanian berkelanjutan. Bioteknologi tanaman saat ini memasuki fase baru di mana metode mutagenesis acak seperti EMS dan mutagenesis sinar gamma digantikan oleh teknik pengeditan genom yang memungkinkan manipulasi urutan genom tertentu secara tepat. Teknologi ini didasarkan pada *sequence-specific nucleases* (SSNs), alat atau mesin molekuler yang digunakan untuk membuat *double-strand break* (DSBs) DNA di lokasi yang diinginkan dalam genom. DSB terutama diperbaiki oleh mekanisme intrinsik sel seperti penggabungan

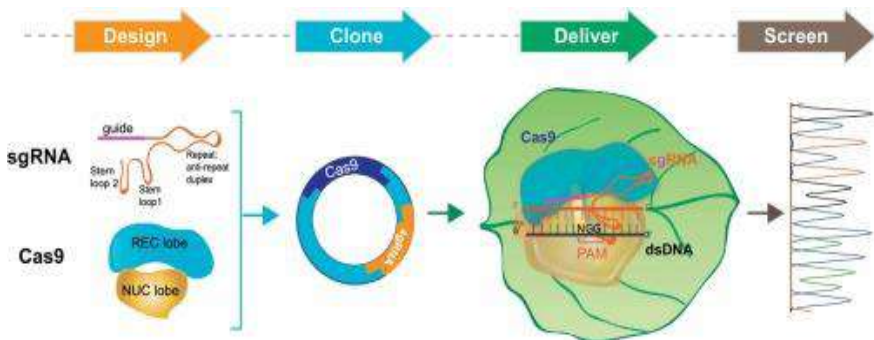
ujung non-homolog (Non-Homologous End Joining/ NHEJ) dan perbaikan terarah homologi (Homology-Directed Repair/ HDR) untuk menyatukan kembali ujung-ujung yang terpisah. Jika basa dihilangkan atau ujung-ujungnya diubah pada HDR, perbaikan mungkin tidak selesai. Namun, karena HDR menggunakan template untuk perbaikan, biasanya perbaikannya sempurna. Dalam situasi alami, kromatid saudara berfungsi sebagai template untuk perbaikan, namun SSN menyediakan template untuk pengkodean ulang situs target atau memasukkan elemen baru di antara daerah homolog yang berdekatan. Dalam sel mamalia, DSB telah terbukti merangsang rekombinasi homolog di lokasi pembelahan sel.

Salah satu teknologi pengeditan genom yang paling populer saat ini adalah CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic repeats – CRISPR-associated Protein 9). CRISPR-Cas9 bekerja dengan menginstruksikan enzim Cas9 untuk memotong DNA di lokasi tertentu dalam genom. Setelah pemotongan, dapat dilakukan perubahan tertentu, seperti memasukkan gen baru atau mengubah urutan DNA yang sudah ada. CRISPR-Cas9 menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan teknologi pengeditan genom sebelumnya, antara lain kemampuan mengedit DNA dengan lebih murah, cepat, dan akurat. Namun, penggunaan CRISPR-Cas9 juga memiliki beberapa tantangan dan kekhawatiran, termasuk kemungkinan menyebabkan perubahan genetik yang tidak diinginkan dan efek yang tidak diharapkan pada organisme hasil rekayasa genetika. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut harus dilakukan dan memperhatikan etika (bioethics) serta regulasi tertentu harus diberikan ketika menggunakan teknologi ini.

Langkah-langkah utama untuk menggunakan CRISPR-Cas9 adalah (Ejaz *et al.*, 2024; Gambino *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024) :

1. Identifikasi target: Urutan DNA target yang akan dimodifikasi diidentifikasi. Target ini biasanya merupakan urutan gen tertentu yang ingin diubah.
2. Desain Guide RNA: Guide RNA (gRNA) dirancang untuk dipasangkan dengan urutan target DNA. gRNA memandu enzim Cas9 ke lokasi targetnya di DNA. Cas9, endonuklease DNA yang dipandu sgRNA dapat menargetkan urutan genom tertentu dengan

- memanipulasi RNA pemandu yang dikodekan secara terpisah untuk membentuk kompleks. Hal ini karena hanya rangkaian RNA pendek yang perlu disintesis untuk memungkinkan pengenalan target baru
3. Pembelahan DNA: Ketika gRNA berikatan dengan DNA target, enzim Cas9 membelah kedua untai DNA di sekitar lokasi target, menciptakan kerusakan pada DNA.
  4. Perbaikan DNA: Setelah kerusakan, sel menggunakan dua mekanisme untuk memperbaiki kerusakan DNA: penggabungan ujung non-homolog (NHEJ) dan perbaikan terarah homologi (HDR). NHEJ: Proses ini sering kali mengakibatkan perubahan acak (indels) pada urutan DNA, yang dapat mengubah atau menonaktifkan gen target. HDR: Jika sekuens DNA tambahan (template) disediakan bersama dengan gRNA dan Cas9, HDR dapat digunakan untuk mengganti sekuens DNA target dengan sekuens yang diinginkan (Gambar 38).



Gambar 38. Cas9, endonuklease DNA yang dipandu sgRNA (Sumber: Belhaj et al., 2015).

#### IV. Smart Farming

Smart farming adalah konsep pertanian yang menggabungkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dan pertanian untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Pertanian cerdas menggunakan teknologi seperti sensor, drone, dan sistem informasi geografis (GIS) untuk membantu petani memantau kondisi tanah, tanaman, dan hewan secara real time untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti air, pupuk, dan

pestisida (Gómez-Gutiérrez & López, 2020 dan Pathan & Jain, 2021). Perbedaan mendasar antara smart farming, precisiuous farming dan green farming dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Perbedaan konsep pertanian terkini

| <b>Fitur</b>    | <b>Smart Farming</b>   | <b>Precision Farming</b>   | <b>Green Farming</b>  |
|-----------------|--|--|---|
| Definisi        | Konsep pertanian yang menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. | Pendekatan dalam pertanian yang menggunakan teknologi untuk mengukur dan merespons variabilitas dalam pertanian. | Pendekatan dalam pertanian yang berfokus pada praktik pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.                      |
| Teknologi Utama | Sensor, drone, robotik, sistem informasi geografis (SIG), dan teknologi TIK lainnya.   | Sensor, GPS, drone, robotic, dan teknologi penginderaan jauh.  | Penggunaan pupuk organik, pengendalian hama alami, konservasi tanah dan air, dan pengurangan penggunaan bahan kimia sintetis. |
| Tujuan Utama    | Meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian.  | Meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi limbah.   | Menghasilkan produk pertanian yang lebih sehat, meningkatkan keberlanjutan lingkungan, dan meningkatkan kesejahteraan sosial. |



Tabel 24 (Lanjutan)

|           |   |  |   |
|-----------|---|--|---|
| Penerapan | Diterapkan dalam pengelolaan tanaman dan hewan, termasuk pemantauan kondisi, penggunaan sumber daya, dan pengambilan keputusan.   | Diterapkan dalam pengelolaan tanaman dan lahan, termasuk pemetaan kondisi tanah dan tanaman, serta memberikan input secara presisi.  | Diterapkan dalam seluruh sistem pertanian, termasuk praktik budidaya, pemeliharaan tanah dan air, serta manajemen limbah.   |
| Referensi | - Gómez-Gutiérrez, Á., & López-Vallejo, M. A. (2020). The role of smart agriculture in the sustainable development goals: A systematic review. - Karnezis, P., & Pantelidis, P. (2018). A review on IoT, Cloud Computing and Big Data in Agriculture. | - Lobley, M., <i>et al.</i> (2017). Precision farming and the ‘new’s (temporary) geographies of precision agriculture. - Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. | - Pimentel, D., <i>et al.</i> (2005). Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. - Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2010). Organic farming and soil carbon sequestration: What do we really know about the benefits? |

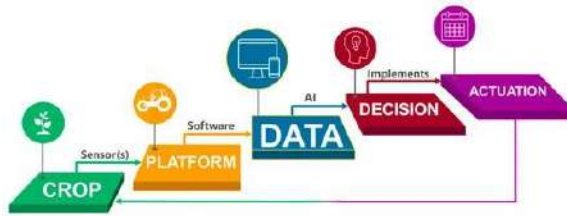
Dalam bahasa Indonesia, *smart farming* diartikan dengan pertanian pintar merupakan praktik di bidang pertanian yang telah berkembang secara signifikan dari waktu ke waktu, terutama dengan diperkenalkannya teknologi dan sensor digital yang semakin canggih (Li & Nanseki, 2021; Pakeerathan, 2023; Poonia *et al.*, 2018; Soussi *et al.*, 2024). Gambar 39 memperlihatkan tahapan penting dalam sistem ini. Tahapan smart farming bergantung pada jenis pertanian dan teknologi yang digunakan. Secara umum, ada beberapa tahapan umum dalam penerapan smart farming. Tahap awal ialah perencanaan meliputi

pemilihan teknologi yang akan digunakan, pemetaan lahan, dan perencanaan cara bercocok tanam dan beternak. Pada tahap ini, petani juga dapat merencanakan efisiensi penggunaan sumber daya seperti air, pupuk, dan pestisida. Setelah perencanaan, produksi tanaman dan ternak dijalankan dengan presisi, menggunakan benih berkualitas tinggi, dan menerapkan teknologi seperti teknologi pengeditan genom jika diperlukan.

Selanjutnya tahap peninjauan atau pemantauan. Tahapan ini menggunakan sensor dan teknologi IoT untuk memantau kondisi tumbuhan dan hewan secara real time. Informasi yang diperoleh dari pemantauan ini dapat digunakan untuk mendeteksi secara dini permasalahan seperti serangan hama atau kekurangan nutrisi. Analisis data: Data yang diperoleh dari pemantauan dianalisis menggunakan teknik big data untuk mendapatkan wawasan lebih dalam mengenai kondisi pertanian. Analisis ini membantu petani membuat keputusan yang lebih baik dan lebih cepat.

Setelah semua data dan informasi diperoleh secara kolektif, barulah dilakukan tindakan pengambilan keputusan. Berdasarkan analisis data, petani dapat mengambil keputusan tentang pengelolaan tanaman dan ternak, pemanfaatan sumber daya, atau tindakan lain yang diperlukan untuk meningkatkan hasil panen.

Setelah mengambil keputusan, petani akan menerapkan tindakan yang diperlukan seperti: Menyiram dan menyuburkan tanaman serta mengobati hama dan penyakit. Selanjutnya melakukan pemantauan dan evaluasi. Praktik smart farming juga mencakup pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap hasil yang dicapai. Evaluasi ini membantu petani menilai efektivitas teknologi yang digunakan dan memperbaikinya untuk masa depan. Berdasarkan hasil pemantauan dan evaluasi yang dilakukan, petani dapat melakukan perbaikan berkelanjutan untuk meningkatkan hasil panen dan efisiensi dalam penerapan smart farming.



Gambar 39. Sebuah siklus yang mewujudkan sistem manajemen umum berbasis data untuk pertanian maju (Rubio and Francisco, 2020 dan Karnezis & Pantelidis, 2018).

Awal tahun 2000-an: smart farming mulai menggunakan teknologi Global Positioning System (GPS) untuk membantu petani mengoptimalkan penggunaan lahan dan sumber daya. Teknologi ini memungkinkan pemetaan lahan yang akurat dan penggunaan traktor yang lebih efisien. Di tahun 2010-an: Dekade ini menyaksikan meluasnya penggunaan teknologi sensor dalam smart farming. Sensor ini memungkinkan pemantauan kondisi tanah, tanaman, dan hewan secara real-time, sehingga memberikan informasi yang dibutuhkan petani untuk mengambil keputusan yang lebih baik. Selanjutnya era rekayasa menggunakan teknologi CRISPR-Cas9 dan pengeditan genom: Perkembangan teknologi pengeditan genom seperti CRISPR-Cas9 membuka kemungkinan baru untuk mengembangkan tanaman yang lebih tahan terhadap hama, penyakit, dan kondisi lingkungan ekstrim. Teknologi ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan kualitas hasil.

Internet of Things (IoT) dan big data: Kedua teknologi ini memainkan peran penting dalam smart farming modern. IoT memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dari berbagai sensor di lapangan, sementara big data dapat menganalisis data tersebut untuk memberikan wawasan berharga bagi para petani. Penggunaan Drone dan Satelit: Drone dan satelit digunakan dalam smart farming untuk pemantauan jarak jauh, pemetaan lahan, dan analisis data spasial. Teknologi ini memberikan petani informasi akurat tentang kondisi lahan mereka tanpa harus memeriksanya secara fisik. Pengembangan aplikasi dan platform digital: Aplikasi dan platform digital sedang dikembangkan untuk membantu petani mengelola operasi mereka dengan lebih efisien. Ini termasuk aplikasi seperti perencanaan

tanaman, manajemen inventarisasi, dan pemantauan cuaca. Seiring kemajuan teknologi, smart farming diharapkan dapat terus meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan pertanian di masa depan.

Walaupun smart farming memiliki banyak keunggulan dan potensi besar, ada beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk menjadi pertimbangan dalam mengaplikasikannya. Penerapan teknologi ini memerlukan investasi awal yang sangat besar dan mahal pada perangkat keras (seperti sensor dan perangkat IoT), perangkat lunak, dan pelatihan petani. Bagian awal ini menjadi tantangan yang sangat besar bagi petani untuk memulai smart farming terutama yang memiliki sumber daya terbatas. Tidak sampai disitu, smart farming menjadikan petani semakin bergantung pada teknologi (manja teknologi) yang berdampak pada kinerja jika terjadi kesalahan sistem. maka petani akan kesulitan mengoperasikannya. Petani juga dituntut untuk memiliki keterampilan dan pengetahuan agar dapat mengadopsi sistem ini, butuh keterampilan dan pengetahuan teknis khusus agar semua sistem berjalan dengan sempurna. Pelatihan dan pendidikan juga sangat diperlukan untuk memanfaatkan teknologi ini sepenuhnya.

Tersedianya infrastruktur yang memadai dan akses internet tanpa batas dan stabil adalah kebutuhan mutlak untuk penerapannya. Ini dapat menjadi masalah di daerah pedesaan dan terpencil di negara-negara berkembang. Adanya risiko masalah privasi dan keamanan data, penggunaan sensor dan teknologi lain dalam smart farming menghasilkan data dalam jumlah besar. Untuk mencegah penyalahgunaan informasi, keamanan data dan perlindungan data harus terjamin dan diatur di dalam undang-undang. Penerimaan masyarakat dan pandangannya terhadap teknologi baru, beberapa orang mungkin skeptis terhadap penggunaan teknologi di bidang pertanian, terutama yang berkaitan dengan keamanan pangan dan ketahanan nasional serta memiliki dampak terhadap kelestarian lingkungan. Peraturan mengenai penggunaan teknologi smart farming masih terus berkembang dan mungkin berbeda dari satu negara ke negara lain. Hal ini mungkin berdampak pada adopsi dan cara penerimaan terhadap teknologi. Namun, kemajuan teknologi tidak dapat dibendung serta

kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan diharapkan mampu mengatasi beberapa keterbatasan ini di masa depan.

Negara yang telah mengaplikasikan smart farming seperti Belanda dianggap sebagai salah satu pionir dalam penerapan pertanian cerdas. Mereka menggunakan teknologi canggih seperti sensor, drone, dan robotika untuk memantau dan mengelola pertanian secara efisien, khususnya menanam tanaman hortikultura. Di Amerika Serikat, mereka telah banyak mengadopsi teknologi pertanian cerdas. Penggunaan sensor, GPS, dan teknologi informasi lainnya telah membantu petani AS meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasi mereka.

Jepang juga telah lama dikenal sebagai negara yang memperkenalkan teknologi pertanian maju dan modern. Mereka memanfaatkan robot, sensor, dan IoT dalam operasional mereka untuk meningkatkan efisiensi dan mengatasi masalah kekurangan tenaga kerja di sektor pertanian. Di Kawasan gurun, seperti Palestina mereka menggunakan teknologi irigasi tetes, sensor tanah, dan teknologi lainnya untuk mengoptimalkan penggunaan air dan meningkatkan produktivitas pertanian di lingkungan yang keras.

Benua Australia juga menerapkan pertanian cerdas dalam skala besar, khususnya di bidang pertanian skala besar seperti budidaya gandum dan peternakan. Mereka menggunakan teknologi seperti drone dan sensor untuk memantau lahan pertanian. Selain itu, banyak negara lain yang telah mengadopsi pertanian cerdas pada tingkat yang berbeda-beda, termasuk Kanada, Tiongkok, dan beberapa negara Eropa. Penggunaan teknologi pertanian cerdas bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi pertanian, mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan pertanian masa depan.

Penerapan smart farming di Indonesia masih dalam tahapan awal dan banyak tantangan yang harus diatasi, antara lain keterbatasan infrastruktur, akses terhadap teknologi dan kurangnya pemahaman di kalangan petani. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kesadaran akan pentingnya pertanian berkelanjutan, penerapannya di Indonesia diperkirakan akan terus berkembang dan membawa manfaat yang signifikan bagi pertanian negara.

## V. Penutup

Peramalan keadaan pertanian masa depan mesti dilakukan jauh di luar batas garis terluar teknologi yang dipakai saat ini. Kemampuan ini harus dimiliki oleh setiap individu, terutama kalangan peneliti dan akademisi. Perubahan iklim yang extreme menjadi salah satu pertimbangan untuk melakukan perubahan. Ada dua hal yang dapat diubah untuk mempertahankan keberlangsungan pertanian, yang pertama ialah mengubah pola pikir dan kebiasaan manusia bahwa masih banyak sumber makanan yang bernutrisi selain dari nasi dan tepung. Pilihan kedua adalah, berdamai dengan lingkungan yang dinamis dan tidak dapat diprediksi sekaligus berpikir keras untuk mengembangkan teknologi terbaru. Kedua solusi tersebut pastinya bisa berjalan beriringan.

Kemampuan multidisiplin ilmu sangat penting untuk kemajuan pertanian Indonesia. Smart farming yang merupakan kolaborasi berbagai cabang ilmu dapat diaplikasikan secara bersamaan. Pemanfaatan big data, IoT dan bidang biologi molekuler sangat membantu untuk memberikan pilihan solusi serta memprediksi kondisi dimasa yang akan datang.

## Referensi

- Aini, N., & Azizah, N. (2018). *Teknologi budidaya tanaman sayuran secara hidroponik*. Universitas Brawijaya Press.
- Belhaj, K., Angela, C, G., Shopien, K., Nicola, P., Vladimir, N. (2015). Editing plant genomes with CRISPR/Caso. *Current opinion in Biothecnology*, 76-84
- Benkeblia, N. (2020). *Vitamins and minerals biofortification of edible plants*. John Wiley & Sons.
- Das, S., Alam, M. M., Zhang, R., Hisano, S., & Suzuki, N. (2021). Proof of concept of the yadokari nature: a capsidless replicase-encoding but replication-dependent positive-sense single-stranded RNA virus hosted by an unrelated double-stranded RNA virus. *Journal of Virology*, 95(17), e0046721.
- Ejaz, R. N., Taylor, N. M. I., & Steiner-Rebrova, E. M. (2024). Protocol for genomic recombineering in *Yersinia ruckeri* using CRISPR Cas12a coupled with the  $\lambda$  Red sistem. *STAR Protocols*, 5(2), 103014.

- Gambino, G., Nuzzo, F., Moine, A., Chitarra, W., Pagliarani, C., Petrelli, A., Boccacci, P., Delliri, A., Velasco, R., Nerva, L., & Perrone, I. (2024). Genome editing of a recalcitrant wine grape genotype by lipofectamine-mediated delivery of CRISPR/Cas9 ribonucleoproteins to protoplasts. *The Plant Journal: For Cell and Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1111/tpj.16770>
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security.
- Giménez-Romero, À., Iturbide, M., Moralejo, E., Gutiérrez, J.M., & Matías, M. A. (2024). Global warming significantly increases the risk of Pierce's disease epidemics in European vineyards. *Scientific Reports*, *14*(1), 9648.
- Gómez-Gutiérrez, Á., & López-Vallejo, M. A. (2020). The role of smart agriculture in the sustainable development goals: A systematic review. *Sustainability*, *12*(5), 2055.
- Huo, H., Hu, C., Zhou, Q., Xiong, L., & Peng, M. (2023). Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals a possible mechanism for the regulation of lipid metabolism via vitamin A in rice field eel (). *Frontiers in Physiology*, *14*, 1254992.
- Ingram, J., Ericksen, P., & Liverman, D. (2012). *Food security and global environmental change*. Routledge.
- Karnezis, P., & Pantelidis, P. (2018). A review on IoT, cloud computing and big data in agriculture. *Procedia Computer Science*, *126*, 831-838.
- Kibria, G. (2013). *Climate change and agricultural food production: impacts, vulnerabilities & remedies*. New India Publishing.
- Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2010). Organic farming and soil carbon sequestration: What do we really know about the benefits?
- Li, D., & Nanseki, T. (2021). *Empirical analyses on rice yield determinants of smart farming in Japan*. Springer Nature.
- Liyang, S., Suzuki, N., Turina, M., Jiang, D., & Xie, J. (2020). *Frontiers in fungal virus research*. Frontiers Media SA.
- Lobley, M., et al. (2017). Precision farming and the 'new's (temporary) geographies of precision agriculture.

- Malkova, A., & Spies, M. (2018). Mechanisms of DNA recombination and genome rearrangements: intersection between homologous recombination, DNA replication and DNA repair. Academic Press.
- Meksem, K., & Kahl, G. (2006). *The handbook of plant genome mapping: genetic and physical mapping*. John Wiley & Sons.
- Muni'ah, S. N. (2021). *Menanam kentang dengan sistem aeroponik*. Elementa Agro Lestari.
- Murnita, Gusriati, & Taher, Y. A. (2023). *Teknik vertikutur dalam pemanfaatan lahan pekarangan sebagai sumber gizi keluarga*. Penerbit P4I.
- Nagalakshmi, U., Wang, Z., Waern, K., Shou, C., Raha, D., Gerstein, M., & Snyder, M. (2008). The transcriptional landscape of the yeast genome defined by RNA sequencing. *Science*, 320(5881), 1344-1349.
- Oshlack, A., & Robinson, M. D. (2009). RNA-seq steps toward a more complete picture of the transcriptome. *Genome Biology*, 10(9), 1-4.
- Pakeerathan, K. (2023). *Smart agriculture for developing nations: status, perspectives and challenges*. Springer Nature.
- Pathan, S. K., & Jain, S. (2021). Smart farming techniques and its significance in agriculture: A review. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 12(3), 717-726.
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R. C., Visperas, R. M., Zhong, X., Centeno, G. S., Khush, G. S., & Cassman, K. G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(27), 9971-9975.
- Pimentel, D., & Burgess, M. (2014). An environmental, energetic and economic comparison of organic and conventional farming systems. *Integrated Pest Management: Pesticide Problems*, Vol. 3, 141-166.
- Pinkaew, S., Nutritionniste, R. H., & Wegmuller, R. (2012). *Vitamin A and zinc efficacy in triple fortified extruded rice*.
- Poonia, R. C., Gao, X.-Z., Raja, L., Sharma, S., & Vyas, S. (2018). *Smart Farming technologies for sustainable agricultural development*. IGI Global.



- Prakash, C. S., Fiaz, S., Nadeem, M. A., Baloch, F. S., & Qayyum, A. (2023). *Sustainable agriculture in the era of the OMICs revolution*. Springer Nature.
- Rahman, S., Ikram, A. R., Azeem, F., Tahir Ul Qamar, M., Shaheen, T., & Mehboob-Ur-Rahman. (2024). Precision genome editing with CRISPR-Cas9. *Methods in Molecular Biology*, 2788, 355–372.
- Rubio, S. V., Francisco, R. M. (2020). From smart towards agriculture 5.0: a review on crop data management. *MDPI. Agronomy* 2020, 10(2), 207; <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Ryan, C. D., Henggeler, E., Gilbert, S., Schaul, A. J., & Swarthout, J. T. (2024). Exploring the GMO narrative through labeling: strategies, products, and politics. *GM Crops & Food*, 15(1), 51–66.
- Sasaki, T. International Rice Genome Sequencing Project. (2005). *Nature* volume 436, pages793–800 (2005)
- Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart sensors and smart data for precision agriculture: a review. *sensors*, 24(8). <https://doi.org/10.3390/s24082647>
- Tempo Publishing. (2020). *Sejumlah kontribusi tanaman transgenik yang ditemukan bagi ketahanan pangan*. Tempo Publishing.
- Virmani, S. S., Mao, C. X., & Hardy, B. (2003). *Hybrid rice for food security, poverty alleviation, and environmental protection*. Int. Rice Res. Inst.
- Wang, Z., & Gerstein, M. (2009). RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. *Nature Reviews Genetics*, 10(1), 57–63.
- Wittwer, S. H. (1995). *Food, climate, and carbon dioxide: the global environment and world food production*. CRC Press.
- Xu, Z., Zhou, Z., Cheng, Z., Zhou, Y., Wang, F., Li, M., Li, G., Li, W., Du, Q., Wang, K., Lu, X., Tai, Y., Chen, R., Hao, Z., Han, J., Chen, Y., Meng, Q., Kong, X., Tie, S., ... Li, X. (2023). A transcription factor ZmGLK36 confers broad resistance to maize rough dwarf disease in cereal crops. *Nature Plants*, 9(10), 1720–1733.
- Yadav, N. K., Patel, A. B., Singh, S. K., Mehta, N. K., Anand, V., Lal, J., Dekari, D., & Devi, N. C. (2024). Climate change effects on aquaculture production and its sustainable management through climate-resilient adaptation strategies: a review. *Environmental*

*Science and Pollution Research International.*

<https://doi.org/10.1007/s11356-024-33397-5>

Yamamoto, T. (2015). *Targeted genome editing using site-specific nucleases: ZFNs, TALENs, and the CRISPR/Cas9 system.* Springer.

## Cara Cepat dan Mudah Mewujudkan Indonesia Menjadi Lumbung Pangan Dunia



**Rasidin Azwar** menawarkan cara untuk mencapai visi Indonesia Maju menuju Indonesia Emas 2045, dengan target pendapatan per kapita US\$ 30.000. Ekonomi perlu tumbuh lebih dari 8% per tahun di semua sektor, termasuk pertanian. Baginya, Lumbung Pangan Dunia (LPD) hanya bisa dicapai melalui pertanian modern dan berkelanjutan. Seperti apakah LPD yang akan mampu mencukupi pangan secara berkesinambungan dan mensejahterakan petani melalui Corporate Farming (CF) dan Food Estate (FE)? Apa hubungannya dengan konversi lahan HGU karet dan sawit menjadi FE juga menjadi bahasan.



# Cara Cepat dan Mudah Mewujudkan Indonesia Menjadi Lumbung Pangan Dunia

**Rasidin Azwar**

*Ahli Peneliti Utama APPERTANI & Konsultan Perkebunan*

## **I. Pendahuluan**

Pangan adalah kebutuhan dasar yang harus dipenuhi negara bagi warganya sebagaimana diamanatkan dalam konstitusi dan diatur dalam Undang-undang No 18 Tahun 2012 tentang Ketahanan Pangan. Untuk terwujudnya ketahanan pangan, negara harus mampu menghasilkan kecukupan pangan utama secara mandiri dan berkelanjutan. Kerawanan pangan adalah suatu hal harus dihindari karena berdampak sosial dan politik yang sangat besar bagi kelangsungan hidup berbangsa dan bernegara. Keinginan untuk swasembada pangan sudah sejak lama dicanangkan dan telah pernah tercapai pada periode kepemimpinan Presiden Suharto, namun tidak bisa dipertahankan karena hambatan teknis dan non-teknis yang berujung terjadinya defisit dan kerawanan pangan terus-menerus hingga saat ini, salah satu diantaranya akibat pergeseran dan perubahan iklim yang makin serius dan makin terbatas lahan subur perkapita. Saat ini terjadi defisit produksi cukup besar yang harus dipenuhi dengan impor beras sebesar 6 juta ton pada 2023 dan diperkirakan masih akan harus impor lagi sebesar 5 juta ton pada 2024 (Hendriyo, 2024a; 2024b).

Menyadari keadaan di atas, Pemerintah saat ini dan Presiden terpilih menyatakan komitmennya untuk memprogramkan kemandirian pangan dan energi nasional bahkan lebih jauh untuk pangan mencanangkan target menjadi Lumbung Pangan Dunia (LPD) guna memastikan ketersediaan secara mencukupi dan berkelanjutan (Subianto, 2024). Namun belum terlihat peta jalan yang lebih konkrit dan terukur guna mewujudkan komitmen dan sasaran tersebut. Upaya mewujudkan swasembada beras yang dilakukan melalui program intensifikasi dan ekstensifikasi dalam dua dekade terakhir belum membuahkan hasil yang memadai. Pemerintah dalam hal ini menempuh jalan pencetakan sawah baru dengan memanfaatkan lahan yang diidentifikasi tersedia seluas 11 juta hektar berupa lahan rawa yang

terdapat di pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua (Subianto, 2024). Berdasarkan pengetahuan teknis dan pengalaman masa lalu menunjukkan bahwa pencetakan sawah baru pada lahan rawa tidaklah mudah dan akan membutuhkan waktu lama, proses panjang dan investasi sangat besar sehingga peluang keberhasilan bersifat jangka panjang. Karena itu perlu pula dikaji cara atau opsi lain yang lebih cepat, mudah, lebih efisien dengan peluang keberhasilan lebih tinggi.

Tulisan ini dimaksudkan untuk mengkaji dan menelaah opsi lain yang mungkin komplementer dengan apa yang sudah dan sedang dicanangkan pemerintah, seperti: (1) peluang dan kelayakan Indonesia menjadi LPD, (2) konsepsi dan strategi membangun LPD, (3) Analisis Gap Antara Target dan kondisi eksisting (4) Cara cepat dan mudah mewujudkan LPD dan (5) langkah-langkah operasional untuk mewujudkan Indonesia menjadi LPD.

## **II. Profil pertanian Indonesia dan permasalahannya**

### **A. Profil pertanian pangan dan permasalahannya**

Pertanian pangan terutama padi saat ini dilakukan pada lahan sawah tradisional atau eksisting. Data BPS (2024) menunjukkan bahwa luas baku sekitar 7,5 juta hektar dimiliki oleh sebanyak 26 juta petani atau dengan rata-rata kepemilikan hanya 0,288 ha/keluarga. Keberadaan sawah tersebut tersebar terluas di Pulau Jawa (47%), disusul Sumatera (24%), Sulawesi (13%), Kalimantan (10%), Bali & Nusa Tenggara (6%), Maluku dan Papua (1%). Areal panen padi 2023 tercatat seluas 10,2 juta ha dengan produksi beras sebanyak 31 juta ton dan produktivitas rata-rata sebesar 3,05 t/ha/musim. Produktivitas masih rendah yaitu hanya 50% dari potensi hasil varietas unggul yang tersedia. Sawah-sawah tersebut dibangun sejak dulu kala sejalan dengan kegiatan pemukiman oleh nenek-moyang dengan kondisi yang sangat beragam di berbagai Kawasan. Karena keberadaan sawah-sawah tersebut umumnya berada di wilayah pemukiman maka dari waktu ke waktu luasannya terus menerus berkurang akibat terjadi konversi ke penggunaan non-sawah rata-rata seluas 100.000 ha/th untuk bangunan, perumahan, infrastruktur dan sebagainya (Agistina dan Budiawan, 2023).

Upaya meningkatkan produksi dalam rangka mempertahankan swasembada telah dilakukan dengan upaya keras melalui program intensifikasi dan ekstensifikasi. Program intensifikasi dilakukan dengan dua pendekatan yaitu peningkatan produktivitas tanaman dan peningkatan indeks panen. Hasil yang diperoleh dari peningkatan produktivitas dan peningkatan indeks panen tersebut ternyata tidak sebanding dengan peningkatan kebutuhan dan diversifikasi pangan penduduk, apalagi dengan penurunan produksi karena penurunan areal sawah baku akibat konversi ke non-sawah, , serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) dan perubahan iklim. Selain itu upaya pencetakan sawah baru ternyata hingga kini belum berjalan mulus seperti halnya pencetakan sawah sejuta hektar di Pulang Pisau Kalimantan Tengah pada tahun 1990-an, di era kepemimpinan Presiden Suharto. Program pencetakan sawah baru pada era reformasi hingga saat ini oleh Presiden Ke-3 hingga Ke-7 saat ini juga belum memperoleh hasil yang signifikan. Faktor-faktor penyebab kegagalan peningkatan produksi melalui program intensifikasi dan ekstensifikasi dapat diurai sebagai berikut.

**1. Faktor pembatas terhadap keberhasilan program intensifikasi**

Program intensifikasi cukup efektif dan berhasil dalam peningkatan produksi pangan dengan penerapan bimbingan massal (BIMAS) pada tiga dekade awal era awal (1970 – 1999) revolusi hijau (*green revolution*) dimana swasembada terjaga cukup aman, tetapi setelah itu tidak lagi efektif diterapkan pada lahan sawah tradisional tersebut disebabkan oleh sejumlah faktor yang saling berkaitan, yaitu:

**a) Kepemilikan lahan per petani menjadi semakin kecil.**

Lahan baku seluas 7,5 juta ha dimiliki 26 juta keluarga petani yang berarti rata-rata hanya 0.288 ha/petani, dimana luasan ini adalah sangat kecil dan jauh dari ukuran skala ekonomi yang layak. Karena sebagian besar petani (sekitar 60%) tidak memperoleh penghasilan yang cukup dari lahan usaha taninya yang sangat kecil (petani gurem), maka mau-tidak-mau mereka harus mencari sumber pendapatan tambahan di luar usaha tani. Akibatnya bertani bagi mereka menjadi pekerjaan sembilan, bukan lagi profesi.

## **b) Perubahan sikap dan perilaku petani**

Dengan semakin kecil lahan usaha yang dimiliki maka semakin besar ketergantungan petani pada pekerjaan di luar usaha taninya. Dengan merasa dan menyikapi bahwa bertani tidak sepenuhnya dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan hidup keluarganya maka pecah konsentrasinya untuk menangani usaha taninya secara baik dan teratur. Dan juga berdampak terhadap berkurangnya kekompakan para petani dalam bekerja secara berkelompok yang berujung kepada program penyuluhan dalam memandu petani tidak lagi berjalan efektif. Tidak berjalannya program tanam serentak di berbagai kawasan hamparan usaha tani padi sawah adalah bukti nyata bahwa tidak ada lagi kekompakan di antara anggota kelompok tani. Padahal, tanam serentak adalah sangat perlu sebagai komponen penting dalam paket pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) secara terpadu (*integrated pest management*). Tanpa tanam serentak dalam hamparan yang luas dapat dipastikan bahwa tingkat kerusakan tanaman dan penurunan hasil akibat serangan OPT menjadi sulit dihindarkan. Selanjutnya, dengan tidak adanya kekompakan petani dalam kelompok maka program intensifikasi yang dikembangkan melalui penyuluhan menjadi sulit dijalankan dan tentu dapat dipastikan peningkatan produksi dan produktivitas yang menjadi target intensifikasi menjadi gagal diwujudkan.

## **c) Gangguan OPT dan perubahan iklim**

Pembudidayaan tanaman padi telah sejak lama dilakukan mengikuti pola curah hujan yang bervariasi berdasarkan lokasi dan waktu. Penanaman padi dilakukan di musim hujan dilanjutkan dengan penanaman palawija sesudahnya. Penetapan waktu tanam didasarkan kepada pengalaman waktu datangnya musim hujan dan musim kemarau. Apabila terjadi perubahan iklim maka penentuan waktu tanam yang sesuai menjadi kacau dan menyebabkan terjadinya keadaan kekurangan dan kelebihan air di lapangan yang semuanya berakibat penurunan produktivitas bahkan bisa gagal panen. Demikian juga perkembangan OPT sangat dipengaruhi oleh terjadinya perubahan pola tanam dan pergiliran komoditas. Terjadinya perubahan iklim juga bisa berdampak terhadap meningkatnya gangguan OPT yang pada gilirannya memperburuk keadaan ke arah turunya produktivitas.



## **2. Faktor pembatas keberhasilan program ekstensifikasi**

Program perluasan areal tanam melalui Pencetakan sawah baru telah diprogramkan dan dilakukan Pemerintah sejak lama. Yang jadi pengalaman pahit adalah program pencetakan sawah sejuta hektar di Kalimantan Tengah pada era kepemimpinan Presiden Suharto yang gagal. Program pencetakan sawah baru lanjutan pada skala lebih kecil juga masih terus dilakukan oleh Pemerintah Pusat (APBN) dan Pemerintah Daerah (APBD), namun hasilnya tetap juga kurang memuaskan. Terdapat dua faktor pembatas utama penyebab kegagalan pencetakan sawah baru, yaitu: (1) Keterbatasan Ketersediaan Lahan yang Sesuai, dan (2) Masalah Perencanaan, Pendanaan dan Pelaksanaan.

### **a) Keterbatasan lahan yang sesuai**

Untuk tumbuh dan berproduksi dengan baik, padi harus dibudidayakan pada lahan subur dan diairi secukupnya baik melalui penggenangan (sawah) atau irigasi permukaan (*surface irrigation*). Guna memenuhi lahan subur dan tersedia air cukup maka lahan sawah irigasi adalah bentuk ideal dalam pembudidayaan padi. Dengan sistem sawah (penggenangan) semua lahan dapat dibuat menjadi sawah yang subur karena pH tanah berproses baik basa maupun asam berubah menjadi netral. Dengan pH tanah netral memungkinkan hara makro dan mikro dapat tersedia (tidak terfiksasi) atau dapat ditambahkan melalui pemupukan. Walaupun semua jenis tanah dapat dibuat jadi lahan sawah produktif, tetapi dalam tingkat kesulitannya sangat berbeda berdasarkan tingkat Klas Kesesuaian Lahan (*soil suitability class*) yang digunakan. Lahan dengan tingkat kesesuaian tinggi (Klas-1) akan lebih cepat, mudah dan murah dapat dikonversi menjadi sawah yang subur dan produktif, sebaliknya lahan dengan tingkat kesesuaian lebih rendah (Klas 2, Klas 3 dan NS) akan membutuhkan waktu lebih lama, pekerjaan lebih sulit dan biaya lebih mahal untuk menjadikannya menjadi lahan sawah yang subur dan produktif. Apalagi bila menggunakan lahan yang tidak sesuai (NS) yang disebabkan adanya berbagai kondisi yang jadi pembatas dari segi fisik, kimia, kesuburan dan Topografi lahan maka proses pengerjaannya makin sulit dan butuh investasi besar dalam jangka waktu lebih lama.

Bila ditelusuri dari kasus kegagalan program cetak sawah, maka faktor ketidaksesuaian lahan menjadi faktor penyebab utama, karena lahan dengan klasifikasi sesuai (Klas-1) dalam skala luas sudah tidak tersedia lagi dalam tiga dekade terakhir. Pada umumnya lahan yang masih tersedia saat ini adalah dalam bentuk lahan gambut dan rawa pasang surut. Faktor sulitnya membuat drainase adalah menjadi kendala utama dalam pemanfaatan lahan ini menjadi lahan sawah. Walaupun padi bisa ditanam di lahan rawa, tetapi masalah kimia dan kesuburan tanah tetap menjadi faktor pembatas dan membutuhkan waktu lama untuk bisa diperbaiki dan dinormalkan. Selama faktor pembatas ini belum bisa diatasi maka kategorinya masih masuk lahan marginal dengan produktivitas tanaman padinya jauh dibawah sawah standar dengan pH netral dan kesuburan tanah baik (Ponnemperuma, 1985).

**b) Masalah perencanaan, pendanaan dan pelaksanaan**

Secara umum Proyek Pencetakan sawah baru oleh pemerintah dikaitkan dengan program pemukiman baru (transmigrasi) yang penanganan dan penganggaran dilakukan lintas Kementrian dan Lembaga (PUPR, Pertanian, Dalam Negeri, Desa dan Pemda). Dari segi perencanaan biasanya tidak dibuat dengan rinci dengan peluang keberhasilan yang terjadwal dan terukur dari awal hingga tuntas. Sinkronisasi antar Kementrian dan Lembaga biasanya menyebabkan faktor pembatas yang serius dalam pelaksanaan proyek ini di lapangan dan berkontribusi terhadap rendahnya hasil pencetakan sawah yang tercapai.

**B. Opsi alternatif dan komplementer (lahan pertanian perkebunan)**

**1. Profil perkebunan indonesia**

Berdasarkan sejarah dan tujuan pengembangannya, budidaya tanaman perkebunan ditujukan untuk memperoleh hasil yang dapat dijual (*cash crop*) dimana pemilihan komoditas lebih ditentukan kepada ukuran nilai ekonomi yang diharapkan. Skala usaha tani tanaman perkebunan sangat variatif mulai dari sangat kecil berupa tanaman pekarang berskala kecil (*smallholders*) hingga sangat luas mencapai ribuan hektar yang dikelola oleh perusahaan besar dan gabungan perusahaan besar (*holding*). Cukup banyak jenis tanaman yang masuk

tanaman perkebunan, tetapi hanya ada beberapa jenis saja yang berhasil dikembangkan dalam skala luas. Diantara tanaman perkebunan, ternyata hanya kelapa sawit yang berkembang sangat pesat dengan luasan hingga kini telah mencapai 17 juta hektar dan akan terus tumbuh dan diperkirakan dapat mencapai 20 juta hektar dalam waktu kurang dari lima tahun ke depan (Azwar, 2023). Dengan perkembangan tersebut, sawit telah berperan sangat nyata dalam peningkatan perekonomian dan pembangunan wilayah, penyediaan lapangan kerja serta sumber devisa bagi negara.

## **2. Arah dan kecenderungan usaha perkebunan**

Berbeda dengan lahan sawah yang terus berkurang, lahan kebun sawit justru terus bertambah baik berupa penanaman baru pada lahan kosong maupun konversi lahan tanaman tertentu ke kebun sawit termasuk konversi lahan sawah rawa dan sawah tadah hujan. Kecendrungan perluasan areal sawit ini dapat bermakna positif dan negatif bagi kepentingan bangsa dan negara. Sisi positif dapat dilihat dengan semakin kuatnya posisi kita sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia berikutan dengan dampak sosial ekonomi yang semakin besar dan nyata juga. Namun bakal ada sisi negatif yang perlu dihindari bila kecendrungan ini tidak bisa dikendalikan dan diarahkan terutama dari segi keseimbangan dan keselarasan dengan perkembangan komoditas lainnya yang dibutuhkan seperti tanaman pangan, hortikultura dan tanaman perkebunan lainnya.

Azwar (2024a) menyatakan ada beberapa faktor yang mendorong perluasan pengembangan sawit dan menekan pengembangan komoditas lainnya, karena sawit:

1. lebih adaptif terhadap kondisi lahan beriklim tropis basah dan tidak sangat terpengaruh terhadap tingkat kesesuaian lahan
2. secara agronomis termasuk mudah dibudidayakan dan tidak sangat padat karya dimana setiap pekerja mampu mengelola kebun seluas 5 hektar atau lebih.
3. ada kepastian hasil dengan tingkat gangguan alam dan OPT yang minimal
4. ada kepastian pasar dengan tingkat harga yang relatif layak

Berdasarkan gambaran kecenderungan di atas, agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap penyediaan lahan untuk

komoditas pangan strategis maka perluasan areal sawit ke depan harus diarahkan kepada lahan-lahan yang kurang sesuai untuk tanaman pangan seperti lahan rawa, dimana sawit dapat beradaptasi cukup baik dan teknik budidaya sudah tersedia untuk itu. Karena perluasan areal sawit itu lebih mudah, maka untuk menjaga keseimbangan perlu kiranya diambil kebijakan untuk mengalihkan lahan Klas-1 HGU yang kini ditanami sawit, terutama yang kurang produktif dan atau terserang hama dan penyakit menjadi lahan FE guna menopang program strategis nasional dalam pembangunan LPD. Khusus kebun karet yang terdapat di Lahan Klas-1 dan lahan beriklim basah pada umumnya harus dialihkan ke lahan kering beriklim kering dalam rangka pewilayahan komoditas berdasarkan kesesuaiannya (Azwar, 2024b).

### **III. Lumbung Pangan Dunia di Era Indonesia Emas**

#### **A. Konsepsi dasar**

Sejalan dengan target posisi Indonesia sebagai Negara Maju pada 2045 dengan pendapatan per kapita US\$ 30.000 (Subianto, 2024), maka profile Lumbung Pangan yang dicita-citakan itu pastilah berbentuk pertanian modern (*smart farming*) yang mampu mensejahterakan bagi pelakunya. Lumbung Pangan itu dibangun pada lahan permanen yang ditata sedemikian rupa untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sangat optimal tanpa gangguan alam yang berarti sehingga memberi kepastian hasil dan mutu hasil yang maksimal serta berkelanjutan. Lumbung Pangan sebagai pertanian modern dikelola dengan menggunakan teknologi canggih (*hi-tech*) dan manajemen yang efektif dan efisien sehingga mampu menekan biaya produksi guna memberikan keuntungan maksimal serta daya saing yang sangat kuat.

Agar target itu tercapai, maka Azwar (2024c) menyarankan pendekatan yang harus dilakukan adalah: (1) melakukan konsolidasi dan modernisasi sistem usaha tani saat ini berupa lahan baku 7,5 juta ha yang dikelola oleh 26 juta petani menjadi unit-unit usaha yang menguntungkan berupa *Corporate Farming* (CF), dan (2) membangun perkebunan padi dan jagung modern (*food estate = FE*) baru pada lahan yang bersesuaian tinggi (Lahan Klas-1) guna melengkapi kekurangan target produksi yang masih harus dicapai. Untuk mewujudkan Indonesia jadi LPD, maka Azwar (2024c) memperhitungkan kapasitas

terpasang sebesar dua kali lipat dari jumlah kebutuhan beras saat ini (37,5 juta ton/th) menjadi 75 juta ton beras per tahun. Dengan pola tanam baku padi-padi-jagung per tahun, diasumsikan produktivitas per hektar per musim masing-masing sebesar 5-ton beras dan 7-ton jagung pakan untuk CF; dan 6,25-ton beras dan 7,5-ton jagung pakan untuk FE (Tabel 25).

Tabel 2512. Target produksi dan produktivitas lumbung pangan dunia

| Wujud Lumbung Pangan | Areal (Juta Ha) | Komoditas | Indeks Panen | Produktivitas | Produksi  |
|----------------------|-----------------|-----------|--------------|---------------|-----------|
|                      |                 |           |              | Ton/Ha/Musim  | Ton/Tahun |
| Corporate Farming    | 5               | Padi      | 2            | 5             | 50        |
|                      |                 | Jagung    | 1            | 7             | 35        |
| Food Estate          | 2               | Padi      | 2            | 6.25          | 25        |
|                      |                 | Jagung    | 1            | 7.5           | 15        |
| Total                | 7               | Padi      | 2            |               | 75        |
|                      |                 | Jagung    | 1            |               | 50        |

## B. Peta jalan kearah lumbung pangan dunia

Terdapat dua jalan yang harus ditempuh untuk mencapai Lumbung Pangan Dunia di Era Indonesia Emas 2045, yaitu:

### 1) Transformasi sawah eksisting/tradisional menjadi Corporate Farming

Dengan target menjadi Indonesia Maju 2045 dengan rata-rata pendapatan per kapita sebesar US\$ 30.000 maka sistem tata kelola pertanian pangan dengan luas baku 7,5 juta ha yang dikelola 26 juta orang sekarang ini harus dimodernisasi menjadi pertanian modern dalam skala ekonomi yang layak dan mensejahterakan, tidak ada lagi petani gurem. Pendekatannya adalah konsolidasi lahan-lahan sehamparan menjadi unit-unit usaha produktif dan efisien yang dikelola dengan menggunakan sarana dan prasarana canggih serta manajemen modern (Gambar 40). Hal ini akan membutuhkan rekayasa sosial dan ekonomi kemasyarakatan yang sangat mendasar yaitu pertama menyeleksi dan meningkatkan kapabilitas dan produktivitas tenaga kerja operator dan pengelola CF di satu sisi dan kedua menyalurkan kelebihanannya ke sektor produktif lainnya.



Gambar 40. Peta jalan ke arah Indonesia menjadi lumbung pangan dunia

## 2) Membangun jalan tol (food estate)

*Food Estate* (FE) adalah ibarat jalan tol menuju LPD dimana industri perkebunan pangan ini pembangunannya harus betul-betul dilakukan mengikuti kaidah pertanian modern (Gambar 41). FE sebagai lumbung pangan harus dikelola oleh badan usaha yang bekerja sangat professional menggunakan teknologi tinggi (*high-tech*) untuk mencapai tingkat produktivitas dan mutu hasil tinggi serta sangat kompetitif dan keberlanjutan. Untuk memastikan keberhasilan dan dapat diandalkan dalam memenuhi kecukupan pangan secara berkelanjutan, FE harus dibangun pada lahan Klas-1 untuk mendukung produktivitas tinggi serta dilengkapi sarana dan prasarana canggih dan modern guna menjamin hasil maksimal dengan tingkat efisiensi tinggi. Mutu lahan lebih diutamakan dari pada luasan areal maka untuk itu harus ada kebijakan negara untuk memprioritaskan lahan terbaik (Klas-1) untuk pembangunan FE. Kebijakan ini tidak akan mengganggu areal perkebunan sawit sebab dalam kenyataan areal sawit terus tumbuh dan dapat beradaptasi baik pada lahan lainnya yang tersisa walaupun memiliki tingkat kesesuaian lebih rendah.



Gambar 41. Profil food estate dalam keberadaannya sebagai lumbung pangan dunia

### 3) Perlunya sinkronisasi pertanian pangan dan perkebunan

#### a) Interaksi genotip dan lingkungan

Rumus sentral dogma ilmu agronomi yaitu  $P = G + E + G \times E$  dengan sangat gamblang menjelaskan bahwa keragaan tanaman (P) ditentukan oleh faktor genotipe (G) dan inter-aksi genotip dengan lingkungan (GxE). Dalam konteks ini, tanaman pangan seperti padi dan jagung lebih membutuhkan lahan Klas-1 dari pada sawit dan karet sebagai tanaman tahunan berbentuk pohon yang lebih mudah beradaptasi pada lahan-lahan dengan tingkat kesesuaian lebih rendah. Apalagi karet yang memiliki karakter menggugurkan daun sesungguhnya lebih baik beradaptasi pada lahan beriklim kering dari pada beriklim basah. Fenomena ini menjelaskan mengapa karet yang tumbuh di Lahan Klas-1 di Indonesia menunjukkan kinerja kurang baik karena terus menerus mengalami gangguan penyakit gugur daun. Sebaliknya, India yang mengembangkan karet pada lahan marginal beriklim kering di India Selatan memberikan produktivitas karet tertinggi di dunia.

#### b) Ketersediaan lahan klas-1

Lahan Klas-1 kosong dalam skala luas sudah tidak tersedia sejak lama karena sudah ditanami untuk tanaman tahunan seperti perkebunan besar karet dan sawit lama yang telah berkembang sejak

zaman kolonial di pulau Sumatera dan Jawa. Perkebunan karet dan sawit lama pada lahan Klas-1 terluas terdapat di sepanjang Pantai Timur Sumatera mulai dari Kabupaten Aceh Timur di Utara dan di Kabupaten Labuhanbatu di Selatan. Kebun-kebun tersebut sesungguhnya saat ini sudah tidak lagi cukup produktif dan kurang menguntungkan karena meningkatnya gangguan serangan penyakit akar seperti jamur akar putih pada tanaman karet dan penyakit busuk pangkal batang pada tanaman sawit. Endemi penyakit akar sudah masuk kategori sangat berat karena terjadinya akumulasi patogen secara kumulatif dengan perjalanan waktu pembudidayaannya secara monokultur pada hamparan lahan yang luas dalam jangka waktu sangat lama hingga ratusan tahun. Lahan Klas-1 itu kini kepemilikannya berupa HGU dari sejumlah Perusahaan Perkebunan Besar Milik Negara (PTPN) dan Perusahaan Perkebunan Besar Milik Swasta Nasional (PBSN) dan Asing (PBSA).

**c) Perlunya sinkronisasi lahan pangan dan perkebunan**

Dengan impian menjadi Negara Maju di Era Indonesia Emas 2045 semua sektor perekonomian harus dikelola secara tepat guna, efektif dan efisien agar memberi dampak ekonomi yang besar dan mensejahterakan bagi pelakunya. Untuk sektor pertanian fenomena interaksi genetik dan lingkungan harus dijadikan dasar dalam pewilayahan komoditas tanaman berdasarkan urgensi dan kesesuaiannya dengan lingkungan. Karena dari segi kepentingan Negara tanaman pangan memiliki urgensi lebih tinggi dan dari segi fenologi memiliki daya adaptasi lebih rendah dibanding tanaman perkebunan tahunan seperti karet dan sawit maka sangat perlu adanya penataan ulang dengan memprioritaskan Lahan Klas-1 untuk pangan dan tanaman perkebunan tahunan memanfaatkan lahan-lahan dengan tingkat kesesuaian lebih rendah. Kebijakan ini pada dasarnya cukup diatur dengan Keputusan Presiden karena tidak ditemukan adanya larangan atau tidak bertentangan dengan peraturan dan perundang-undangan yang ada.

#### **IV. Implementasi pembangunan food estate pada lahan klas-1**

##### **A. Penilaian kelayakan**

Pembangunan FE di Lahan Klas-1 dipastikan memberi hasil sangat optimal dan dapat dikelola menggunakan mesin dan peralatan lengkap



(*fully mechanized*) dari pekerjaan hulu hingga hilir sehingga akan sangat efektif, efisien dan jauh lebih menguntungkan dibanding komoditas karet dan sawit. Dengan demikian pembangunan FE pada lahan HGU-Klas-1 tersebut akan direalisasikan dengan sangat cepat dan mudah apalagi bila pembangunannya melibatkan pemilik HGU lahan tersebut.

### **B. Respons pemilik HGU**

Hampir dipastikan bahwa pemilik HGU lahan Klas-1 tersebut menyetujui dan sangat mendukung program pembangunan LPD sebagai program strategis nasional, apalagi apabila mereka sekaligus diajak berpartisipasi melakukannya pada lahan HGU yang saat ini mereka kuasai. Karena FE memiliki nilai ekonomi jauh lebih tinggi dari Perkebunan Sawit, maka mereka pasti akan melihat FE sebagai peluang bisnis baru yang lebih menguntungkan.

### **C. Implementasi**

Pembangunan FE dimulai pada kebun karet dan sawit lama yang dulu dinasionalisasi dari perusahaan perkebunan zaman kolonial yang lokasinya terdapat di sepanjang Pantai Timur Sumatera, terbentang dari Kabupaten Aceh Timur di Aceh hingga Kabupaten Labuhanbatu Selatan di Sumatera Utara. Lahan-lahan tersebut sudah sangat matang dan stabil dengan sarana dan prasarana lengkap berupa jalan kebun dan sistem drainase sehingga dapat dengan mudah dan segera ditanami tanaman pangan seperti jagung. Untuk dijadikan sawah juga akan sangat mudah karena sumber air cukup tersedia untuk irigasi atau penggenangan dan drainasenya sudah tertata dengan baik dalam kebun-kebun tersebut. Topografi lahan datar untuk hamparan yang sangat luas sehingga semua pekerjaan dapat dilakukan dengan mekanisasi lengkap untuk semua pekerjaan mulai dari persiapan lahan hingga panen dan prosesing hasil.

FE ini betul-betul dapat diandalkan menjadi Lumbung Pangan Modern yang memberikan kepastian hasil dengan produktivitas dan mutu hasil tinggi dengan peluang gangguan alam dan OPT sangat rendah sehingga keberadaannya terjamin secara berkelanjutan. Dengan kinerja sangat baik dipastikan bahwa FE mampu mensejahterakan pelakunya dan berdaya saing kuat untuk masuk ke pasar global.

## **V. Penutup**

### **Kesimpulan:**

1. Konstitusi mengamanatkan dan Undang-undang Ketahanan Pangan mengatur bahwa negara harus memiliki ketahanan pangan yang berkemandirian dan berkelanjutan.
2. Untuk memastikan sasaran ketahanan pangan berkemandirian, Pemerintah menetapkan target Indonesia menjadi LPD pada Era Indonesia Emas 2045.
3. LPD yang dimaksudkan adalah sistem pertanian modern dari hasil modernisasi pertanian rakyat menjadi CF dan membangun FE pada lahan Klas-1.
4. Lahan Klas-1 yang dibutuhkan untuk FE dari segi luasan cukup tersedia, tetapi saat ini berupa HGU dari kebun-kebun karet dan sawit yang dikelola oleh PTPN dan Perkebunan Swasta yang kebetulan sebagiannya sudah kurang produktif karena mengalami endemi penyakit tular tanah atau penyakit akar.
5. Konversi lahan tersebut menjadi FE sangat layak secara teknis dan ekonomis serta menjadi keharusan dari segi urgensinya.
6. Proses konversi akan berjalan cepat dan mudah bila pemilik HGU diajak membangun FE dan tanpa harus membebani APBN dalam pembiayaannya.
7. Diperhitungkan pembangunan FE seluas 2 juta ha dan CF seluas 5 juta ha telah cukup menjadikan Indonesia menjadi LPD dan itu dapat direalisasikan dalam waktu tak lebih dari satu dekade ke depan

### **Saran:**

Disarankan agar pembangunan FE dilakukan pada Lahan Klas-1. Lahan yang dibutuhkan tersedia dalam luasan cukup tetapi saat ini berupa HGU kebun karet dan sawit. Untuk itu diperlukan kebijakan Pemerintah tentang Pewilayahan komoditas dengan ketentuan bahwa Lahan Klas-1 peruntukannya diprioritaskan untuk tanaman pangan strategis. Guna mempercepat dan mempermudah untuk mewujudkan LPD dibutuhkan adanya kerjasama dan pembagian peran serta tanggung jawab antara Kementerian/Lembaga Pemerintah dan Badan Usaha:

1. Pemerintah mengambil peran utama dalam memfasilitasi proses konsolidasi dan transformasi pertanian rakyat berskala kecil (gurem) menjadi unit-unit usaha berskala ekonomi menengah (CF) dengan menerapkan teknologi maju sehingga berkinerja baik, efektif, efisien dan menguntungkan.
2. Badan Usaha pemilik HGU kebun karet dan sawit di lahan Klas-1 mengkonversi usahanya ke tanaman pangan berupa FE modern (*smart farming*) dengan sumberdaya cukup dan kemampuan yang sudah sangat mumpuni.

Pendekatan ini memberi peluang keberhasilan sangat tinggi bagi terwujudnya LPD dalam waktu lebih cepat karena menggunakan lahan yang sesuai serta dalam pelaksanaannya menjadi lebih efektif dan efisien karena tidak perlu membebani anggaran negara (APBN). Dan APBN jadi terkonsentrasi guna meningkatkan kesejahteraan petani melalui pembangunan CF.

### Referensi

- Agustina, P dan Budiawan, S (2023). Alih fungsi lahan mengancam produksi padi Nasional. Kompas, 12 Oktober 2023.
- Azwar, R. (2023). Potensi dan Peluang Keberhasilan Kebun Karet dan Sawit Kurang Produktif menjadi Lumbung Pangan. FGD tentang food estate, *Aliansi Peneliti Pertanian Indonesia (APPERTANI)*, Bogor, 23 Desember 2023,
- Azwar, R. (2024a). Sinkronisasi Lahan Perkabunan dan Pangan guna Mewujudkan Indonesia jadi Lumbung Pangan Dunia. FGD tentang lumbung pangan, *PERAGI*, Bogor, 12 Agustus 2024,
- Azwar, R. (2024b). Pembangunan Food Estate dan Corporate Farming untuk pemantapan swasembada pangan dan peningkatan kesejahteraan petani. FGD Tentang Lumbung Pangan. *PROPAKTANI*, Ditjen Tanaman Pangan, Jakarta, 2 September 2024,
- Azwar, R. (2024c). Alternatif cara cepat dan mudah untuk mewujudkan Indonesia menjadi Lumbung Pangan Dunia. FGD tentang lumbung pangan, Ikatan Keluarga Alumni - University of the Philippines Los Banos (IKA-UPLB), Bogor, 28 September 2024.

- BPS (2024). Luas panen padi mencapai 10,21 juta hektar. Badan Pusat Statistik. [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)>2024/03/01.
- Hendriyo, W. (2024a). Apa tantangan dan peta jalan Prabowo mencapai target swasembada pangan. Kompas, 24 Oktober 2024.
- Hendriyo, W. (2024b). Impor beras tahun ini kembali bertambah 5,17 juta ton. Kompas, 24 Juni 2024.
- Subianto, P. (2024). Talkshow. Trimegah Political and Economic Outlook 2024. [biz.kompas.com](http://biz.kompas.com)

## **Epilog**

### **PERTANIAN REGENERATIF DAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

**Muhammad Prama Yufdy<sup>1</sup> dan Aswaldi Anwar<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Peneliti Ahli Utama pada Pusat Riset Hortikultura,  
Badan Riset dan Inovasi (BRIN)*

*<sup>2</sup>Dosen pada Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian,  
Universitas Andalas*

Seperti telah dibahas pada berbagai topik dalam buku ini, pengelolaan sumber daya hayati dan lingkungan semestinya menggunakan pendekatan pertanian regeneratif dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Berbagai pendekatan yang dapat dilakukan pada intinya adalah menyinergikan sumber daya yang ada dengan inovasi teknologi yang dibutuhkan; menjadi lebih efektif dan efisien, serta melibatkan berbagai pihak terkait sehingga dunia pertanian tidak lagi dipandang sebagai bidang usaha yang kalah pamor dibandingkan bidang usaha lainnya. Berbekal berbagai inovasi teknologi yang sudah tersedia mulai dari hulu hingga hilir, maka dapat dibangun dunia pertanian yang tangguh dan mempunyai daya saing yang kuat dalam bentuk industri pertanian.

Prinsip pertanian regeneratif adalah meningkatkan kualitas lahan pertanian melalui rehabilitasi dan revitalisasi seluruh ekosistem, seperti tanah dan air dengan menitikberatkan kepada manajemen air, penggunaan pupuk, dan mempertahankan keragaman biologis untuk menciptakan lahan pertanian yang sehat. Dengan meningkatkan kesehatan tanah, kadar karbon dan biomassa tanaman yang ditangkap akan lebih banyak, kualitas produk pertanian meningkat, dan harga jual bertambah. Beberapa praktek pertanian regeneratif diantaranya melalui pengolahan tanah konservasi untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat serta menyimpan lebih banyak karbon; meningkatkan keanekaragaman tanaman agar tanah lebih kaya akan nutrisi; menerapkan rotasi tanaman dan tanaman penutup tanah untuk menambah bahan organik yang lebih banyak dan beragam.

Pertanian regeneratif merupakan bagian integral dari konsep pembangunan pertanian berkelanjutan (*Sustainable agriculture*) yaitu dengan pemanfaatan sumber daya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) dan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*) melalui penggunaan sumberdaya secara bijak, meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi dengan menekan dampak negatif terhadap lingkungan seminimal mungkin. Pertanian berkelanjutan merupakan pendekatan dalam bertani yang memperhatikan keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan sosial mencakup penggunaan teknik pertanian ramah lingkungan, konservasi sumber daya alam, dan pemberdayaan masyarakat petani. Aspek penting lainnya adalah upaya pelestarian lingkungan hidup melalui pengurangan limbah industri dan eksploitasi sumberdaya alam secara bertanggungjawab. Setidaknya ada 2 pendekatan dalam implementasi pertanian berkelanjutan yaitu pertanian organik dan pertanian hijau.

Namun demikian, pembangunan pertanian berkelanjutan dihadapkan pada berbagai masalah diantaranya menyusutnya luas lahan pertanian, menurunnya kualitas lahan, pencemaran lingkungan, perubahan iklim yang tidak menentu akibat fenomena El-Nino. Berkurangnya luas lahan pertanian diakibatkan tingginya alih fungsi lahan; sementara penurunan kualitas lahan diakibatkan oleh eksploitasi lahan yang berlebihan serta pengelolaan lahan yang tidak tepat. Kondisi ini banyak terjadi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang telah mengalami degradasi akibat berbagai aktivitas manusia seperti perubahan tata guna lahan, pertanian intensif, deforestasi, dan urbanisasi, berakibat pada peningkatan risiko banjir, erosi tanah, penurunan kualitas air, dan hilangnya keanekaragaman hayati. Masalah lain yang dihadapi adalah penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang tidak terkontrol mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sementara perubahan iklim yang tidak menentu dan musim kering yang berkepanjangan mengakibatkan pola usaha tani akhir-akhir ini sering terganggu dan juga mengakibatkan tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik bahkan banyak petani tidak bisa panen.

Peningkatan kualitas lahan menjadi faktor utama dan penentu saat ini seiring dengan permasalahan lahan yang dihadapi. Upaya restorasi lahan DAS sangat tergantung pada kondisi ekologis masing-masing DAS

seperti jenis tanah, topografi dan vegetasinya. Disamping itu perlu juga dipertimbangkan kondisi lingkungan, sosial, ekonomi dan kelembagaan di wilayah DAS tersebut. Potensi lahan yang cukup besar saat ini adalah lahan-lahan kering yang tergolong marginal seperti tanah Ultisol, Inceptisol, Entisol dan Oxisol serta lahan tercemar. Beberapa inovasi teknologi yang dapat digunakan untuk lahan-lahan ini diantaranya adalah dengan menggunakan bahan-bahan ameliorasi seperti bahan organik, senyawa humat, batu bara peringkat rendah dan biochar. Budidaya padi gogo merupakan solusi alternatif untuk pemanfaatan lahan-lahan kering. Disamping secara alamiah sesuai ditanam di lahan kering, padi gogo juga dapat mendukung upaya peningkatan produksi padi nasional akibat sulitnya peningkatan produksi dari padi sawah karena berbagai permasalahan seperti alih fungsi lahan, degradasi lahan, penurunan produktivitas lahan dan keterbatasan air akibat perubahan iklim global. Berbeda dengan padi sawah, petani masih menanam varietas lokal spesifik lokasi dengan pertimbangan aspek ekologi, ekonomi, dan sosial budaya sehingga tidak mengherankan bila produktivitasnya lebih rendah daripada padi sawah.

Telah banyak inovasi hasil riset yang dapat mendukung pembangunan pertanian regeneratif dan berkelanjutan. Salah satu contoh adalah sistem pertanian organik yaitu metode produksi tanaman yang berfokus pada perlindungan lingkungan, menciptakan agroekosistem yang optimal dan lestari berkelanjutan baik secara sosial, ekologi, maupun ekonomi. Penggunaan pupuk organik terbukti tidak saja dapat meningkatkan produksi tanaman namun juga memberikan dampak positif terhadap kelestarian lingkungan. Disamping pertanian organik, pertanian hijau juga bisa menjadi alternatif solusi. Pertanian hijau menekankan pada usaha pertanian ramah lingkungan seperti pertanian konservasi, pengendalian hama terpadu, pengelolaan hara terpadu serta konservasi sumber daya lahan dan air. Penerapan inovasi ini dapat menjawab permasalahan pencemaran lingkungan yang sangat masif saat ini akibat penggunaan pupuk kimia dan pestisida yang tidak terkontrol mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan (tanah dan air) serta kesehatan.

Pertanian organik disertai teknik budidaya yang lebih efisien dipercaya dapat meningkatkan produksi dan pendapatan petani. Salah

satu inovasi yang sudah cukup berkembang yaitu teknologi SRI pada padi sawah. SRI menjadi solusi alternatif dalam rangka peningkatan produktivitas padi dengan mengubah manajemen tanaman, air tanah dan unsur hara sekaligus mengurangi masukan eksternal seperti pupuk dan herbisida yang terlalu tinggi. Sistem ini menggunakan bibit tunggal yang sangat muda sehingga ruang tanam menjadi lebih luas, satu bibit per lubang (*tanam padi sabatang*), jarak tanam lebar (25 cm x 25 cm atau 30 cm x 30 cm), kondisi lahan tidak tergenang (aerobik). Aplikasi pupuk organik juga berkembang pada pertanaman kentang walaupun belum bisa dikatakan dapat menggantikan pupuk kimia secara keseluruhan. Aplikasi pupuk organik dikombinasikan dengan penggunaan mulsa terbukti dapat meningkatkan produksi kentang. Aplikasi mulsa organik yang memiliki karakteristik lebih lama terdekomposisi, juga mampu memberikan kondisi lingkungan yang lebih sesuai bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga mampu meningkatkan produksi padi gogo.

Kemajuan teknologi di bidang pertanian telah menghasilkan teknik budidaya yang lebih efisien dan terukur yang biasa disebut smart farming. Diantaranya adalah pertanian hidroponik, vertikultur dan aeroponik. Disamping itu telah dikembangkan juga pertanian presisi menggunakan sistem monitoring dan otomatisasi kontrol dengan pemanfaatan teknologi IoT (*Internet of Things*). Pertanian presisi merupakan sistem industri pertanian yang menerapkan kecermatan pada setiap aspek agribisnis mulai dari hulu hingga ke hilir, dengan mengoptimalkan produktivitas, kualitas, keselamatan, keamanan dan keberlanjutan serta meminimalisir sisa makanan, kehilangan makanan dan kerusakan lingkungan.

Dalam upaya menghasilkan varietas tanaman yang lebih unggul telah berkembang bioteknologi dan bio-moleculer yang dapat mengubah susunan material genetik untuk menghasilkan tanaman baru yang lebih unggul. Perubahan material genetik yang sengaja diinduksi memungkinkan mengubah sifat dan kualitas produk pertanian baik produksi maupun ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik. Disamping keunggulan diatas, menggunakan teknik ini juga dapat memperkaya nilai nutrisi pada produk yang dihasilkan. Beberapa tanaman hasil rekayasa genetik GMO (*Genetic Modified Organism*) yang



telah mengalami perbaikan di level molekuler agar tahan terhadap kondisi kekeringan dan tanah yang miskin hara sehingga memungkinkan tanaman tersebut ditanam di area yang sebelumnya tidak cocok untuk pertanian. Beberapa produk GMO juga dirancang untuk memberikan nutrisi tambahan seperti vitamin dan protein guna meningkatkan nilai gizi makanan. Teknologi ini bisa digunakan bila tersedia sumber genetik yang banyak dan beragam. Indonesia dikenal sebagai negara dengan kekayaan keanekaragaman hayati terbanyak kedua di dunia. Keanekaragaman hayati meliputi ekosistem, jenis dan genetik yang mencakup hewan, tumbuhan dan jasad renik (*micro-organism*). Dalam hal ini pemeliharaan keanekaragaman hayati khususnya sumber genetik bagi tanaman atau plasma nutfah sangatlah penting.

Dari berbagai topik yang diungkapkan baik dari perspektif keilmuan, perspektif inovasi teknologi maupun perspektif kebijakan; pertanyaan yang kemudian timbul adalah sanggupkah dunia pertanian di negara kita untuk mewujudkan sistem pertanian dimaksud, apa tantangannya dan bagaimana caranya serta strategi apa yang perlu disusun untuk mewujudkannya, Tentu saja informasi dari buku ini tidak saja hanya menggambarkan betapa pentingnya menerapkan pertanian regeneratif, namun yang terpenting adalah bagaimana kita segenap insan pertanian dan pihak-pihak terkait dapat mewujudkannya.



## **BIODATA PENULIS**



**Prof. Dr. Ir. Azwar Rasyidin, M.S.** kelahiran 23 Agustus 1956 di Rao Rao, kecamatan Sungai Tarab, Kabupaten Tanah Datar. Tahun 1975, masuk ke Fakultas Pertanian dan menamatkan Sarjana Pertanian pada jurusan Ilmu Tanah dengan spesialisasi pada Klasifikasi dan Pemetaan Tanah di bawah bimbingan Ir. Ismail Nur Dt. Rajo Imbang dan Ir. Burhanuddin SU.



Bekerja di Fakultas Pertanian Unand sejak tahun 1984 pada jurusan Ilmu Tanah. Tahun 1991 menamatkan pendidikan Magister di Shimane University Jepang tahun 1991 dan Doctor of Philosophy dari Tottory University dengan disertasi berjudul “The Method for Measuring Rates of Weathering and Soil Formation in Watershed”. Berpengalaman menulis beberapa buku yaitu “Klasifikasi Kesesuaian Lahan menuju Pertanian Organik” dan “Pelapukan dan Pembentukan Tanah di Daerah Aliran Sungai pada Berbagai Tipe Iklim dan Batuan Induk”. Penulis banyak melakukan penelitian yang membahas masalah tanah sawah dan produktivitas lahan dalam kaitan dengan proses genesis. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [rasyidin.azwar@agr.unand.ac.id](mailto:rasyidin.azwar@agr.unand.ac.id) atau [rasyidin.azwarwei@gmail.com](mailto:rasyidin.azwarwei@gmail.com)



**Prof. Dr. Ir. Bujang Rusman, M.S.,** dilahirkan tanggal 10 Oktober 1949 di Sumanik Batusangkar. Pendidikan sekolah dasar ditamatkan di SR Negeri 3 Sumanik, pendidikan sekolah menengah pertama di SMP 2 Pekanbaru dan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Pekanbaru. Lulus sebagai sarjana pertanian Fakultas Pertanian Unand tahun 1976. Lulus program S2 di Universitas Padjadjaran

pada tahun 1984 dan menyelesaikan Program Doktor di Universitas yang sama pada tahun 1990. Hampir selama 40 tahun mengabdikan sebagai dosen tetap di Fakultas Pertanian Unand terhitung tanggal 1 Januari 1979 sampai tanggal 30 Oktober 2019 dan pada tanggal 1 November 2019 memasuki masa purna bakti.

Pada tahun 1976-1979 dipercaya sebagai counterpart team pada Indonesia-United Kingdom Transmigration Project Along Trans Sumatera, tahun 1992-1995 dipercaya sebagai Ketua KKN Universitas Andalas dan pada tahun 1995-1998 menjabat sebagai Pembantu Dekan I dan Dekan Fakultas Pertanian pada tahun 1998-2001 dan sebagai Ketua STMIK Indonesia pada tahun 2005-2009, selanjutnya pada tahun 2005-2009 dipercaya oleh Kementerian Pendidikan Nasional sebagai Sekretaris Pelaksana Kopertis wilayah X untuk wilayah Provinsi Sumatera Barat, Riau, Jambi dan Kepulauan Riau.

Penghargaan yang diterima adalah sebagai Adhitiya Tridharma Nugraha dari Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI sebagai dosen teladan nasional mewakili Universitas Andalas pada tahun 1991 dan memperoleh penghargaan dari Indonesia Development Award tahun 2000 dalam bidang Konservasi Tanah dan Lingkungan.

Penulis merupakan tim ahli dalam pembuatan Dokumen Perencanaan Pengelolaan DAS Terpadu untuk DAS di Sumatera Barat dan Perda Pengelolaan DAS Sumatera Barat, Ketua Forum DAS Multipihak Sumatera Barat tahun 2006-2016 dan Tim Pakar PSLH Universitas Andalas serta anggota komisi penilai AMDAL. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [bujang.rusman@gmail.com](mailto:bujang.rusman@gmail.com)

**Prof. Dr. Ir. Musliar Kasim, M.S.** adalah guru besar bidang Agronomi yang menyelesaikan pendidikan Doktornya di University of the Philippines Los Banos tahun 1992. Sejak tahun 2004, fokus melakukan penelitian tanaman padi terutama budidaya padi Metode SRI (*System of Rice Intensification*). Telah banyak mentransfer Metode SRI ini kepada dosen-dosen di lingkup



Perguruan Tinggi Wilayah Barat. Selain kepada dosen dan mahasiswa, beliau juga aktif membimbing masyarakat melalui kegiatan demplot dan pengabdian masyarakat tentang budidaya padi SRI ini. Beliau bersama tim penelitiannya aktif mengikuti pertemuan nasional dan internasional serta memublikasikan hasil penelitiannya di beberapa jurnal termasuk menulis buku tentang SRI. Salah buku beliau adalah Teknik Budidaya Tanaman Padi Metode SRI (*System of Rice Intensification*) yang diterbitkan tahun 2018.

Selain sebagai akademisi beliau juga aktif di bidang manajemen, penulis meniti karir mulai dari sekretaris jurusan sampai rektor. Penulis menjabat sebagai rektor Universitas Andalas dua periode (2005-2013) dan di tengah masa jabatan periode kedua dilantik menjadi Inspektur Jenderal Depdiknas, dan bulan Oktober 2011 dilantik menjadi Wakil Menteri Pendidikan, Kemdikbud sampai Oktober 2014. Sekarang selain mengajar di Departemen Agronomi, penulis juga menjadi Rektor Universitas Baiturrahmah. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [musliar@agr.unand.ac.id](mailto:musliar@agr.unand.ac.id)



**Prof. Dr. Ir. Warnita, M.P.**

Penulis dilahirkan di Bt. Gadis, Batipuh, Kabupaten Tanah Datar pada tanggal 1 Januari 1964. Pendidikan Sarjana Pertanian di Universitas Andalas diselesaikan tahun 1988. Pendidikan Magister Sains ditempuh pada KPK Institut Pertanian Bogor – Universitas Andalas dan diselesaikan tahun 1995. Studi S3 di Universitas Andalas diselesaikan tahun 2006

dengan disertasi berjudul “Studi pola pengumbian beberapa genotipe kentang (*Solanum tuberosum* L.) introduksi di lapangan dan secara *in vitro* dalam usaha penyediaan bibit”.

Tahun 1989 hingga sekarang, menjadi dosen tetap di Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Tahun 2017 hingga 2022 menerima amanah sebagai Ketua Prodi S2 Agronomi Departemen Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas.

Aktif melakukan penelitian dalam bidang hortikultura dan kultur jaringan tanaman. Hasil – hasil penelitian diseminarkan pada seminar nasional dan internasional serta dipublikasikan pada jurnal nasional, internasional dan internasional bereputasi. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [warnita@agr.unand.ac.id](mailto:warnita@agr.unand.ac.id)



**P.K. Dewi Hayati, S.P., M.Si., Ph.D.**

adalah pemulia tanaman yang dilahirkan di Bukittinggi tanggal 25 Desember 1972, namun menghabiskan masa sekolah di kota Padang. Menamatkan sarjana pertanian dalam bidang Teknologi Benih pada Fakultas Pertanian Universitas Andalas pada tahun 1995, Magister di Institut Pertanian Bogor tahun 1999 dalam bidang Pemuliaan Tanaman, dan PhD dalam bidang Genetics and Plant Breeding dari Universiti Putra Malaysia tahun 2010. Pernah menjalani internship di University of the Philippines Los Banos dan beberapa pelatihan di IRRI tahun 2008. Menjabat sebagai Sekretaris Peminatan Pemuliaan Tanaman tahun 2011-2015 dan Ketua Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Andalas tahun 2016-2020.



Hingga kini penulis aktif melakukan berbagai kegiatan penelitian, salah satunya adalah padi ladang yang menjadi bagian tulisan dalam buku ini. Aktif menyajikan hasil penelitian pada berbagai forum serta memublikasikannya pada berbagai jurnal internasional/nasional. Pemuliaan hibrida dan eksplorasi plasma nutfah, merupakan konsentrasi penelitian penulis yang juga memiliki minat yang besar dalam kegiatan abdimas sehingga berbagai kegiatan PKM telah didanai oleh DRPM Dikti, Kementan dan LPPM Universitas Andalas. Penulis sangat menikmati kegiatan eksplorasi, membaca buku berbagai genre dan menulis. Beberapa buku dari semua kegiatan tersebut antara lain *Breeding of maize for acid soil tolerance: Heterosis, combining ability, and prediction of hybrid based on SSR markers*, *Analisis Rancangan dalam Pemuliaan Tanaman: Penerapan Statistika dalam Penelitian Pemuliaan Tanaman*, *Peluang Usaha Aneka Olahan Jagung*, beberapa buku ajar yang diterbitkan secara online dan yang terbaru *Aspek Botani dan Ekofisiologi Tanaman Padi* pada 2023. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [pkdewihayati@agr.unand.ac.id](mailto:pkdewihayati@agr.unand.ac.id)



**Prof. Dr. Ir. Herviyanti, M.P.**

Lahir di Bukittinggi tanggal 27 Januari 1964 dari pasangan Syahril Sutan Sinaro dan Aisyah Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana pada tahun 1988, memperoleh gelar Magister pada KPK IPB-Unand, tahun 1993 serta memperoleh gelar Doktorat dari Universitas Andalas tahun 2007. Penulis memulai karirnya sebagai Dosen tetap di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya

Lahan Fakultas Pertanian Universitas Andalas Padang sejak bulan Maret tahun 1989.

Penulis aktif dalam mengikuti seminar di dalam dan luar negeri serta mengunjungi berbagai negara. Bersama Dr. Ir. Sandra Prima, M.Sc. telah menginisiasi terbentuknya kerja sama antara Universitas Andalas dengan Murray State University (MSU) Amerika Serikat pada 2019. Hasil penelitian mengenai pemanfaatan bahan amelioran khususnya bahan organik dan batubara muda *sub-bituminus* telah dipublikasikan penulis pada beberapa jurnal nasional dan internasional. Begitu juga dengan pemanfaatan bahan amelioran seperti *biochar* dan kombinasinya dengan *sub-bituminus* pada tanah tercemar pestisida dan tanah tercemar logam berat seperti Hg. Semenjak tahun 2019–2022 penulis telah melakukan kerja sama penelitian dengan Gent University Belgia, Universitas Gadjah Mada, Universitas Syah Kuala dan Universitas Udayana yang disponsori oleh VLIROUS.

Penulis telah menghasilkan Publikasi sebanyak 76 Jurnal Nasional dan Internasional Salah satu judul artikel : Application of Sub-bituminous Coal Activated with Urea to Improve Chemical Properties of Ultisols and Palm Oil's Growth (*Elaeis Guineensis* Jacq.) In Pulau Punjung, Dharmasraya; 4 buah buku salah satu judul bukunya: Ameliorasi Tanah tercemar Berbasis Biochar serta 9 paten Sederhana, salah satu judul patennya: Pembuatan Biochar Sekam Padi Dengan Metode Drum Yang Dikombinasikan Dengan Tanur Bertabir (Flame Curtain Kiln) Untuk Inseptisol Yang Tercemar Herbisida. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [herviyanti@agr.unand.ac.id](mailto:herviyanti@agr.unand.ac.id).

**Ir. Adrinal, MS, Ph.D.**

Lahir di Bukittinggi 20 Desember 1962. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (S1) di Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang (1986), Magister Sains (S2) bidang Fisika dan Konservasi Tanah dan Air di KPK UNAND-IPB (1993), serta Ph.D (S3) dalam bidang Soil Physics and Soil Conservation di Universiti Putra Malaysia (2002). Mengikuti Post Doctor Program di UPM (2003-2004) dan Scheme for Academic Mobility and Exchange (SAME) Program di Prefectural University of Hiroshima-Jepang (Agust-November 2012). Sejak 1988 sampai sekarang bertugas sebagai Dosen tetap pada Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Mata kuliah yang diampu adalah: Fisika Tanah, Hidrologi Pertanian, Konservasi Tanah dan Air, Manajemen Lahan Kering, Manajemen DAS, dan Analisis Tanah dan Tanaman. Melakukan berbagai penelitian dan publikasi dalam bidang pengelolaan lahan dengan fokus utama terhadap perbaikan sifat fisika-kimia tanah pasiran (*sandy soils*), konservasi tanah dan air, manajemen lahan, serta pemulihan lahan terdegradasi. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [adrinal@agr.unand.ac.id](mailto:adrinal@agr.unand.ac.id)





**Prof. Dr. Ir. Aprisal, M.S.**, dilahirkan di Silit Air 21 April 1963 dan menghabiskan masa kecilnya di daerah tersebut hingga menamatkan SD 1977 dan SMP 1981. Sekolah menengah atas (SMA) diselesaikan di SMAN 1 Singkarak 1984. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan tinggi ke Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas pada tahun 1984-1989.

Selama mahasiswa aktif menjadi asisten dosen terutama mata kuliah fisika dasar. Pada tahun 1990 diterima menjadi staf pengajar di Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas.

Pada tahun 1991 penulis melanjutkan pendidikan Magister (S<sub>2</sub>) dengan beasiswa Dikti Kemendikbud di KPK Unand IPB dan selesai tahun 1994. Setahun kemudian pada tahun 1995 ditawarkan beasiswa TMPD Dikti untuk melanjutkan pendidikan Doktor (S<sub>3</sub>) di Jurusan Tanah IPB Bogor. Pada tahun 2000 penulis mendapat gelar Doktor (Dr) Ilmu Tanah bidang Konservasi Tanah dan Air. Tahun 2020 penulis diangkat menjadi Guru Besar (Profesor) di bidang Konservasi Tanah dan Air. Dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi penulis aktif mengajar baik pada tingkat S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> dan S<sub>3</sub> di bidang Konservasi Tanah dan Air, Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Hidrologi Pertanian, Irigasi dan Drainase, Perencanaan Pengembangan Wilayah, Pengelolaan Kawasan Lindung. Selain itu penulis juga aktif sebagai peneliti di bidang konservasi tanah dan air, bersama mahasiswa S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> dan S<sub>3</sub>, disamping rutin mengikuti dan mempresentasikan paper baik pada seminar nasional maupun internasional.

**Ir. Gusmini, S.P., M.P., Ph.D.** diahirkan di Padang 5 Agustus 1972. Menyelesaikan studi program Sarjana di program studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang pada tahun 1996, menyelesaikan Program studi Magister Ilmu Tanah Fakultas Pertanian di Universitas Andalas, Padang pada tahun 2003, serta menyelesaikan program Doktor bidang studi Biological Science di Prefectural University of Hiroshima, Jepang tahun 2014. Pernah bekerja sebagai Asisten Manajer Perkebunan Kelapa Sawit PT. Hindoli (a *Cargill Company*) pada saat lulus program S1. Tahun 2006, diangkat sebagai Dosen di Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Unand. Menduduki jabatan struktural sebagai Ketua Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan sejak 2020- sekarang, Mata kuliah yang diampu antara lain: Bioremediasi dan Reklamasi Tanah, Tanah dan Lingkungan, Pupuk dan Pemupukan Tanah, Dasar-dasar Ilmu Tanah, Kimia Tanah, dan Kesuburan Tanah. Dalam melaksanakan tridharma Perguruan Tinggi, penulis telah melakukan berbagai penelitian dan pengabdian, serta beberapa publikasi baik nasional maupun internasional dalam bidang ilmu tanah, serta kajian khususnya tentang reklamasi lahan bekas tambang emas dan pertanian organik, dan telah menghasilkan produk pupuk organik yang dikenal dengan *Biokanat* (Biochar, kompos dan liat). Beberapa artikel telah diterbitkan di beberapa jurnal internasional di antaranya: *Plant Production Science* (Taylor and Francis online) dan *Journal of tropical soil*. Jurnal nasional diantaranya adalah *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, dan *Jurnal Solum*.





**Elsa Lolita Putri, S.P., M.P.**

Lahir di Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat pada tanggal 5 April 1995, menyelesaikan Sarjana di Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang pada tahun 2018, serta meraih Megister Pertanian di jurusan yang sama pada 2021. Saat ini bertugas sebagai dosen di Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Mata kuliah yang diampu antara lain adalah Konservasi Tanah dan Air, Pengelolaan DAS, Geografi Tanah Indonesia, Geomorfologi dan Analisis Landscape, Fisika, dan Fisika Tanah.

Penulis telah aktif mengeluarkan beberapa artikel nasional maupun internasional mulai tahun 2021. Beberapa artikel telah diterbitkan di beberapa jurnal internasional di antaranya: *Universal journal of agricultural research*, *International journal of enviromental science and development*, dan *journal of tropical soil*. Jurnal nasional yang telah terbit diantaranya: Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia; Jurnal agrosains dan teknologi; *TERRA journal of land restoration*; Jurnal ilmu-ilmu pertanian Indonesia; *Agritopica journal of agricultural sciences*; *Abdi reksa*; Jurnal Solum; *Martabe jurnal pengabdian kepada masyarakat*; Jurnal pengabdian *DEWANTARA*; *Agrista jurnal ilmiah mahasiswa agribisnis* dan Jurnal tanah dan sumberdaya lahan.

**Dr. Dini Hervani, S.P., M.Si.**

Lahir di Bukittinggi, Sumatra Barat, pada tanggal 10 Juni 1980. Menamatkan Program S1 di Prodi Pemuliaan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Program S2 dan S3 dilanjutkan di Institut Pertanian Bogor pada Prodi Pemuliaan dan Bioteknologi Pertanian. Penulis adalah dosen tetap Departemen



Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Sumatra Barat, dari tahun 2002 – sekarang. Penulis mengampu beberapa mata kuliah baik pada level S1 maupun S2 seperti Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman, Dasar-dasar Teknologi Benih, Pengolahan Benih, Genetika Dasar, Botani, Kultur Jaringan, Keanekaragaman Hayati dan Plasmanutfah, Zat Pengatur Tumbuh, Pemuliaan Tanaman untuk Cekaman Lingkungan dan Interaksi Hara-Tanaman. Penulis dipercayakan sebagai Kepala Laboratorium Teknologi Benih periode 2022-2027. Penulis juga terpilih untuk mengikuti *Fulbright Visiting Scholar Program* melalui AMINEF (*American Indonesian Exchange Foundation*) di *University of Maryland Eastern Shore (UMES) United States*, periode 1 September 2024 sampai dengan 28 Februari 2025. Penulis terlibat aktif dalam kegiatan seminar, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, serta aktif menulis pada berbagai jurnal nasional, jurnal internasional dan buku. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [dinihervani@agr.unand.ac.id](mailto:dinihervani@agr.unand.ac.id) dan [dinihervani80@gmail.com](mailto:dinihervani80@gmail.com)



**Ir. Muhsanati, M.S.**

Lahir di Bukittinggi pada tanggal 26 April 1963. Setelah menyelesaikan SMA di Bukittinggi, pada tahun 1982 penulis mengikuti pendidikan S1 di Fakultas Pertanian Universitas Andalas Padang, dan selesai tahun 1986. Pada tahun 1988 penulis diterima sebagai staf pengajar di Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Andalas.

Penulis mengampu beberapa mata kuliah, antara lain; Botani, Dasar-dasar Agronomi Agroklimatologi, Pengantar Ekologi dan Ekologi Tanaman, serta Sistem Pertanian Organik. Penulis melanjutkan pendidikan S2 pada tahun 1989 sampai 1992 di bidang Agronomi di Institut Pertanian Bogor.

Selain aktif sebagai dosen, penulis juga melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat, menulis pada beberapa jurnal serta mengikuti seminar-seminar ilmiah. Penulis telah menulis buku “Lingkungan Fisik Tumbuhan dan Agroekosistem: Menuju Sistem Berkelanjutan” yang merupakan buku ajar sekaligus buku referensi di bidang Ekologi, dan beberapa buku lain diantaranya Sistem Pertanian Organik, Buku ajar: Ekologi Tanaman, dan Agroklimatologi. Untuk meningkatkan wawasan dan pengetahuan di bidang pertanian, penulis mengikuti berbagai pelatihan dan studi banding baik di dalam maupun di luar negeri. Selama periode tahun 2004-2008 penulis menjabat Sekretaris Program Studi Agronomi, dan juga anggota Senat Fak. Pertanian 2 periode 2010-2012 dan 2015-2019. Selain itu penulis juga sudah dua periode terlibat dalam kepengurusan organisasi profesi PERAGI Komisariat Daerah Sumatera Barat. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [muhsanati@agr.unand.ac.id](mailto:muhsanati@agr.unand.ac.id)



**Nugraha Ramadhan, S.P., M.P.**

akrab dipanggil Dimas lahir pada tanggal 18 Maret 1991 di Padang. Menyelesaikan pendidikan sarjana pada Prodi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas tahun 2014 dan menyelesaikan pendidikan magister di Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas pada tahun 2018. Sejak tahun 2019 penulis aktif bekerja sebagai dosen di Program



Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Andalas hingga saat ini. Penulis mengampu beberapa mata kuliah, antara lain; Dasar-dasar Agronomi, Teknologi Produksi Tanaman Pangan, Agroklimatologi, Pengantar Ekologi dan Ekologi Tanaman. Penulis aktif melakukan penelitian di bidang produksi tanaman pangan dan ekologi tanaman. Hasil penelitian telah dipublikasikan di berbagai seminar nasional dan internasional serta jurnal nasional dan internasional bereputasi.



**Obel, S.P., M.P.** Lahir di Pesisir Selatan pada tanggal 10 November 1989. Penulis merupakan alumni Fakultas Pertanian pada tahun 2012 pada program studi S1 Agroekoteknologi. Pada tahun 2018 menamatkan s2 pada Program studi yang sama di Universitas Bengkulu. Penulis di terima sebagai dosen pada tahun 2019 di Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Andalas. Mata kuliah yang diampu

yaitu Teknologi Produksi Tanaman Hortikultura Utama, Teknologi Produksi Tanaman Hortikultura Lanjutan, Dasar Dasar Agronomi, Ekologi Tanaman, Pengantar Ekologi, Botani, Dan Sistem Pertanian Organik. Penulis aktif melakukan penelitian di bidang Produksi Budidaya Tanaman Hortikultura dan ekologi tanaman serta kegiatan pengabdian masyarakat. Hasil penelitian dan pengabdian telah diseminarkan baik tingkat nasional maupun internasional serta dipublikasikan pada jurnal nasional yang terakreditasi dan jurnal internasional yang terindeks scopus.

**Muhammad Fadli, S.P., M.Biotech**

Penulis dilahirkan di Kubang, 29 Mei 1991 dan menempuh jenjang Pendidikan Strata satu (S1) di Fakultas Pertanian, Universitas Andalas, Padang. Program Magister (S2) diselesaikan di Sekolah Pasca Sarjana Universitas Andalas, Padang dengan beasiswa lulusan terbaik. Ditahun 2021 penulis mendapatkan MEXT scholarship award dan berkesempatan untuk melanjutkan studi

Doktoral di Institute of Plant Science and Resources, Okayama University, Japan. Penulis menekuni bidang Bioteknologi Tanaman dan Biologi Molekuler. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [muhammadfadli@agr.unand.ac.id](mailto:muhammadfadli@agr.unand.ac.id)





**Ir. Rasidin Azwar, M.Sc, Ph.D, APU**

Dilahirkan pada 13 Desember 1950 di Pariaman. Berprofesi sebagai Agronomis & Pemulia Tanaman dengan latar belakang pendidikan insinyur pertanian (Ir) dari Universitas Andalas pada 1976, MSc dan PhD dari University of the Philippines at Los Banos (UPLB) masing-masing pada 1981 dan 1984. Karir dimulai sebagai peneliti di Lembaga Pusat Penelitian Pertanian (LP3) (1975-1988), Pusat Penelitian Karet Indonesia (1988-2006). Karir sebagai pendidik dimulai dengan menjabat Dekan Fakultas Pertanian merangkap Wakil Rektor Bidang Pendidikan di Universitas Mahaputra Muhammad Yamin (UMMY) di Solok (1984-1988), dilanjutkan sebagai Dekan di Fakultas Pertanian Universitas Medan Area (UMA) di Medan (1989-1992). Mengasuh beberapa mata kuliah dan membimbing skripsi dan tesis mahasiswa dari berbagai universitas di Sumatera dan Jawa sejak 1984. Pensiun pada 2006 dan melanjutkan karir profesional sebagai Tenaga Ahli (Konsultan) di Lembaga Pemerintah dan Swasta. Di Kementerian Pertanian pernah mendapat beberapa mandat antara lain: (1) Anggota Tim Penilai Varietas (2001-sekarang), Komisioner Perlindungan Varietas Tanaman (2003-2007), dan Staf Ahli bidang Perbenihan dan Pemuliaan Tanaman Perkebunan (2005-2014). Konsultan di perkebunan swasta dan Pemulia Senior di Industri Benih Kelapa Sawit (2006 – sekarang). Berhasil melepas 3 varietas unggul padi, 19 klon unggul karet dan 4 varietas unggul sawit. Bergabung di organisasi profesi: Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI), Masyarakat Perbenihan dan Perbibitan Indonesia (MPPI), Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia (MAKSI) dan Aliansi Peneliti Pertanian Indonesia (APPERTANI). Memperoleh penghargaan: *Distinguish Alumni in Plant Breeding Research and Public Services from University of the Philippines in 2018*. Penulis dapat dihubungi pada alamat email: [rasidin.azwar@yahoo.com](mailto:rasidin.azwar@yahoo.com)

**Ir. Muhammad Prama Yufdy, M.Sc., Ph.D**

Lahir di Padang pada 10 Oktober 1959. Memperoleh sarjana Pertanian pada jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Padang (1984), Magister dari Reading University, UK pada bidang Tropical Agriculture (1991) dan Doctor of Philosophy (S3) dari Universiti Putra Malaysia pada bidang Land Management (2004). Bekerja sebagai peneliti di Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian sejak 1985 dan pada tahun 2014 mencapai jenjang Peneliti Ahli Utama. Tahun 2006 mendapat kesempatan mengikuti training Research Management di Mount Eliza, University of Melbourne.



Karir struktural dimulai sebagai Kepala Balai Pengkajian Sumatera Utara (2006-2009), Kepala Balai Pengkajian Sumatera Barat (2009-2012), Kepala Balai Penelitian Tanaman Hias (2012-2013), Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura (2013-2016) dan Sekretaris Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2016-2019). Selama berkarir di struktural pernah ditugaskan sebagai ketua dan anggota delegasi Republik Indonesia dalam perundingan kerjasama bilateral di bidang pertanian dengan negara Kolombia, Argentina, Mexico, Denmark, Iran, Australia, Rusia, Taiwan dan Jepang. Beberapa pertemuan multilateral yang sempat dihadiri diantaranya adalah APEC Meeting di Beijing (2013), World Economic Forum di Manila (2014) dan FAO di Bangkok (2019). Sejak 2019 kembali bertugas sebagai Peneliti Ahli Utama pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura di Bogor. Terlibat aktif dalam kerjasama dengan organisasi penelitian internasional seperti Australian Center for Agricultural International Research (ACIAR), Asian Food & Agriculture Cooperation Initiatives, Korea Selatan (AFACI) dan Global Research Alliance on Climate Change, New Zealand (GRA). Seiring dengan reorganisasi Lembaga Penelitian di Indonesia, tahun 2022 hingga sekarang bertugas sebagai Peneliti Ahli Utama di Pusat Riset Hortikultura, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Sebagai peneliti, telah menghasilkan 90 karya tulis yang diterbitkan di jurnal nasional dan internasional serta tulisan dalam bentuk buku serta beberapa paten. Dapat dihubungi pada alamat email: muha331@brin.go.id



**Prof. Dr. Ir. Aswaldi Anwar, M.S.**

dilahirkan di Bukittinggi pada tanggal 09 Februari 1962. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar pada tahun 1974 di SD Parabek-Bangkaweh. Pendidikan menengah ditempuh di SMP N 4 dan SMA N 3 Bukittinggi. Pada tahun 1981, penulis diterima di Fakultas Pertanian Universitas Andalas dan selesai tahun 1986 dari Jurusan Budidaya Pertanian, Program Studi Teknologi Benih. Bidang ilmu yang ditekuni penulis adalah Ilmu dan Teknologi Benih yang dilanjutkan pada pendidikan Master dan Doktor di IPB Bogor. Setelah bekerja sebagai Counterpart Consultant Proyek Pencetakan Sawah Baru di Bengkulu selama 2 tahun, penulis kembali ke almamater sebagai dosen di Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Andalas pada tahun 1989. Pada tahun 1996/1997 penulis sempat mengikuti pelatihan di *The Center for Plant Biotechnology Research* di Tuskegee, Alabama Amerika Serikat dan pada tahun 2002 penulis mengikuti pelatihan di bidang *Seed Health Management* di *Plant Research International* di Wageningen, Belanda. Penulis sempat menjabat Sekretaris dan Ketua Jurusan Budidaya Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Andalas dan selama periode 2008-2012 dipercayakan sebagai Asisten Direktur Bidang Umum dan Keuangan di Program Pascasarjana Universitas Andalas. Pada bulan Agustus 2013, penulis dipercaya sebagai Wakil Dekan I Fakultas Pertanian Universitas Andalas periode 2013-2017. Sebagai seorang dosen, selain aktivitas mengajar, penulis juga aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Penulis telah menulis berbagai artikel ilmiah yang diterbitkan di jurnal bereputasi nasional dan internasional serta telah menyusun beberapa buku dan menulis di media massa. Dapat dihubungi pada alamat email: [aswaldianwar@agr.unand.ac.id](mailto:aswaldianwar@agr.unand.ac.id)