



DASAR-DASAR

AGRONOMI



Putra Hidayat Telaumbanua
Ridho Victory Nazara
Helmin Parida Zebua
Bachtiar
Sakka Samudin
Anthon Monde
Jhon Hardy Purba

Retno Sulistiyowati
Adi Oksifa Rahma Harti
Elemonoku Didomoinike Telaumbanua
Susyowati
Ni Luh Kartini
Putri Khide Talenta Mendrofa

DASAR-DASAR AGRONOMI

Penulis:

Putra Hidayat Telaumbanua

Ridho Victory Nazara

Helmin Parida Zebua

Bachtiar

Sakka Samudin

Anthon Monde

Jhon Hardy Purba

Retno Sulistiyowati

Adi Oksifa Rahma Harti

Elemonoku Didomoinike Telaumbanua

SusyLOWati

Ni Luh Kartini

Putri Khide Talenta Mendrofa



Azzia Karya Bersama

Dasar-Dasar Agronomi

Penulis :

Putra Hidayat Telaumbanua, Ridho Victory Nazara, Helmin Parida Zebua, Bachtiar, Sakka Samudin, Anthon Monde, Jhon Hardy Purba, Retno Sulistiyowati, Adi Oksifa Rahma Harti, Elemonoku Didomoinike Telaumbanua, Susylowati, Ni Luh Kartini, Putri Khide Talenta Mendrofa

Editor : Dr. Mukhlis, A.Md., S.P., M.Si.

Penyunting : Sonya Scodia Wulandari, S.Tr.Ak., M.M

Desain Sampul dan Tata Letak : Muhammad Hidayat, S.Ikom

Diterbitkan oleh :

Azzia Karya Bersama

Anggota IKAPI No. 051/SBA/2024

Perumahan Griya Anak Air Permai Blok B19, Batipuh Panjang, Koto Tengah, Kota Padang, Sumatera Barat

Email : penerbitazzia@gmail.com

Website : www.azzia.id

ISBN : 978-623-10-4316-0

Cetakan pertama, Oktober 2024

© Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang keras memperbanyak, memfotokopi dan mendistribusikan, sebagian atau seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, maka Penulisan Buku dengan judul Dasar-Dasar Agronomi dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang Pengantar Agronomi, Ekologi Tanaman, Morfologi dan Anatomi Tanaman, Fisiologi Tanaman, Genetika dan Pemuliaan Tanaman, Ilmu Tanah, Manajemen Air, Nutrisi Tanaman, Pengelolaan Gulma, Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman, Panen dan Pasca Panen, Pertanian Berkelanjutan, Manajemen Produksi Tanaman.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Payakumbuh, Oktober 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENGANTAR AGRONOMI.....	1
1.1 Defenisi Agronomi.....	1
1.2 Pengertian-pengertian Dalam Agronomi	2
1.3 Objek dan Subyek Agronomi	3
1.4 Sarana Produksi.....	4
1.5 Sasaran Agronomi.....	5
1.6 Peranan Agronomi.....	6
1.7 Ruang Lingkup.....	7
1.8 Sejarah Perkembangan Agronomi.....	9
BAB 2 SISTEM PERTANIAN.....	15
2.1. Perkembangan Pertanian.....	15
2.2. Sistem Bertanam Daerah Tropika	18
2.3. Sistem Pertanian di Indonesia	21
2.4. Klasifikasi Sistem Pertanian	22
BAB 3 MORFOLOGI DAN ANATOMI TANAMAN.....	27
3.1 Morfologi Tanaman	27
3.2 Anatomi Tanaman	32
BAB 4 FISILOGI TANAMAN.....	37
4.1. Pengertian Fisiologi Tanaman.....	37
4.2. Fotosintesis.....	37
4.3. Respirasi	43
4.4. Transpirasi.....	51
4.5. Pengangkutan Air dan Nutrisi.....	54
4.6. Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman	57
4.7. Fotoperiodisme dan Vernalisasi	62
4.8. Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Lingkungan....	62
BAB 5 GENETIKA DAN PEMULIAAN TANAMAN	75
5.1. Sejarah Singkat Genetika dan Pemuliaan Tanaman	75
5.2 Tujuan dan Manfaat Pemuliaan Tanaman	76

5.3	Dasar –Dasar Genetika.....	78
5.4	Teknik Genetika Modern.....	81
5.5	Metode Pemuliaan Tanaman	87
5.6	Pemuliaan Berbatuan Marker	89
BAB 6	ILMU TANAH	97
6.1.	Defenisi dan Komponen Tanah	97
6.2.	Proses Pembentukan Tanah (Pedogenesis):.....	98
6.3.	Fungsi Utama Tanah sebagai Media Tumbuh	101
6.4.	Interaksi Tanaman dengan Tanah.....	102
6.5.	Kimia Tanah	102
6.6.	Unsur Mineral Makro Tanah	105
6.7.	Unsur Mikro	108
6.8.	Fisika Tanah.....	109
6.9.	Biologi Tanah.....	113
6.10.	Konservasi Tanah dan Air dalam Pertanian.....	113
BAB 7	MANAJEMEN AIR.....	119
7.1.	Pendahuluan.....	119
7.2.	Peran Air	119
7.3.	Pentingnya Manajemen Irigasi	120
7.4.	Sumber Air.....	121
7.5.	Kebutuhan Air Tanaman.....	122
7.6.	Metode Irigasi.....	124
7.7.	Pengukuran Kadar Lengas Tanah.....	131
BAB 8	NUTRISI TANAMAN.....	137
8.1.	Nutrisi Tanaman	137
8.2	Penyerapan Dan Pengangkutan Nutrisi.....	137
8.3	Kebutuhan Tanaman Terhadap Nutrisi	139
8.4	Ketersediaan unsur hara untuk tanaman.....	139
BAB 9	PENGELOLAAN GULMA	151
9.1	Pendahuluan.....	151
9.2	Klasifikasi dan Identifikasi Gulma.....	152
9.3	Biologi dan Ekologi Gulma	152

9.4	Dampak Gulma pada Pertanian dan Lingkungan	153
9.5	Metode Pengendalian Gulma	153
9.6	Penggunaan Herbisida	154
9.7	Pengelolaan Gulma di Berbagai Sektor.....	155
9.8	Studi Kasus.....	156
9.9	Perkembangan Terkini dalam Pengelolaan Gulma	156
BAB 10 PENGELOLAAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN.....		159
10.1	Identifikasi hama dan penyakit.	161
10.2	Cara Pengendalian Hama Dan Penyakit Tanaman...	173
10.3	Praktik Budidaya yang baik	174
10.4	Pengendalian Hama dan Penyakit	174
10.5	Pemantauan dan Evaluasi	182
10.6	Pendidikan dan Pelatihan.....	182
10.7	Pendekatan Berkelanjutan	183
BAB 11 PANEN DAN PASCA PANEN		184
11.1	Panen	187
11.2	Pasca Panen.....	189
11.3	Tanaman Padi.....	191
BAB 12 PERTANIAN BERKELANJUTAN		209
12.1.	Mengapa Pertanian Berkelanjutan Penting?.....	209
12.2.	Konsep Pertanian Berkelanjutan	213
12.3.	Sejarah Singkat Pertanian Berkelanjutan	215
12.4.	Manfaat Pertanian Berkelanjutan.....	218
12.5.	Teknik Dan Jenis Pertanian Berkelanjutan	234
12.6.	Masa Depan Pertanian Berkelanjutan	245
12.7.	Penutup.....	249
BAB 13 MANAJEMEN PRODUKSI PERTANIAN		257
13.1.	Pengantar Manajemen Produksi Pertanian.....	257
13.2.	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Tanaman	258
13.3.	Ruang Lingkup Manajemen Produksi	260
13.4.	Strategi Manajemen Produksi	262

13.5. Teknik Manajemen Budidaya Tanaman Produksi	264
13.6. Peranan Dan Fungsi Manajemen Produksi	269
BIODATA PENULIS.....	282

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Reaksi Terang Fotosintesis	36
Gambar 2 Reaksi Gelap Fotosintesis (Siklus Calvin)	38
Gambar 3 Struktur Kloroplas Tanaman	40
Gambar 4 Jalur Gloklisis	44
Gambar 5 Siklus Krebs	46
Gambar 6 Rantai Transpor Elektron	48
Gambar 7 Struktur Stomata.....	51
Gambar 8 Pembulu xilem	52
Gambar 9 Pembuluh Phloem	53
Gambar 10 Kurva Sigmoid Pertumbuhan Tanaman	56
Gambar 11 Segi tiga tekstur dan nama-nama tekstur tanah	109
Gambar 12 Saluran Irigasi di Daerah Irigasi Komerling, Sumatera Selatan	126
Gambar 13 Skematis Gerakan air dan unsur hara melalui aliran massa.....	135
Gambar 14 Skema Gerakan difusi pada akar	135
Gambar 15 Diagram pasca panen padi	164
Gambar 16 Mesin perontok jagung.....	171
Gambar 17 Diagram pasca panen jagung.....	172
Gambar 18 Ilustrasi rotasi tanaman	199
Gambar 19 Kacang landep sebagai cover crop.....	200
Gambar 20 Ilustrasi konsep pengendalian hama terpadu	203
Gambar 21 Tumpang sari sebagai bentuk diversifikasi Tanaman.....	205
Gambar 22 Integrasi antar komponen sistem pertanian terpadu	207

BAB 1

PENGANTAR AGRONOMI

1.1 Definisi Agronomi

Pertanian merupakan salah satu penyangga kehidupan di Indonesia. Menurut para ahli, permulaan dari budaya adalah pola kebiasaan hidup manusia sebagai pengumpul makanan dari alam dan berburu menjadi kebiasaan bercocok tanam atau kegiatan dalam memenuhi kebutuhan hidup dengan cara bercocok tanam. Kini perkembangan pertanian di Indonesia tidak hanya dianggap sebagai sumber bahan pangan, sandang dan papan tetapi berkembang menjadi sumber bahan untuk kesehatan, sumber keindahan, kelestarian lingkungan dan juga sebagai salah satu destinasi wisata.

Agronomi merupakan istilah yang berasal dari kata "*agros*" yang berarti *lahan* dan "*nomos*" yang berarti *pengelolaan* sehingga dapat diartikan bahwa Agronomi adalah ilmu yang mempelajari segala faktor biofisik yang mempunyai tujuan utama yakni ilmu yang mempelajari usaha dalam peningkatan produktivitas tanaman budidaya dalam pertanian. Agronomi adalah disiplin ilmu dasar dalam ilmu pertanian yang mencakup berbagai aspek penting untuk produksi dan manajemen tanaman. Ilmu ini mencakup studi tentang kalender tanaman, genotipe, populasi tanaman, pupuk, irigasi, manajemen stres, dan dampak iklim terhadap pertanian (Zhang & Yu, 2020).

Agronomi juga dijelaskan sebagai cabang ilmu pertanian yang membahas tentang prinsip dan praktek pengelolaan media tanam (tanah), air dan tanaman.

1.2 Pengertian-pengertian Dalam Agronomi

Agronomi merupakan cabang ilmu pertanian yang sangat penting dalam prinsip dan praktik produksi tanaman serta pengelolaan tanah untuk mencapai produktivitas yang optimal. Di dalam agronomi terdapat beberapa istilah-istilah yang sering ditemui yaitu sebagai berikut :

Pertanian dalam arti umum adalah kegiatan yang melibatkan budidaya tanaman dan ternak untuk menghasilkan makanan, pakan, serat, dan bahan baku lainnya. Definisi ini mencakup berbagai aspek, mulai dari proses bercocok tanam hingga pengelolaan hewan ternak. Pertanian juga mencakup hal-hal seperti penyuluhan pertanian, penggunaan teknologi, manajemen sumber daya, dan upaya untuk meningkatkan kesejahteraan dan produktivitas petani. Pertanian juga mencakup ide-ide seperti pertanian organik, yang merupakan sistem manajemen produksi holistik yang meningkatkan kesehatan agroekosistem dengan mempertimbangkan biodiversitas, siklus biologis, dan aktivitas biologi di tanah. Pertanian modern juga mencakup praktik pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk mempertahankan kualitas lingkungan, memberikan insentif sosial dan ekonomi kepada petani, dan memastikan produksi yang berkualitas tinggi.

Selain itu, penyuluhan pertanian juga sangat penting dalam pertanian karena memberikan pembelajaran kepada petani agar mereka dapat mengakses informasi pasar, teknologi, permodalan, dan sumber daya lainnya yang dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi usaha, pendapatan, dan kesejahteraan mereka. Selain itu, penyuluhan pertanian juga membantu meningkatkan kesadaran petani tentang pentingnya pelestarian lingkungan hidup (Wahyuddin et al., 2023).

Di dalam agronomi dikenal juga dengan istilah *Tanaman* yang digunakan di dalam budidaya. Secara umum pengertian

tanaman adalah tumbuhan yang dengan sengaja dibudidayakan dengan melalui perlakuan khusus atau campur tangan manusia dalam memenuhi kebutuhan manusia itu sendiri. Dalam pertanian, tanaman tidak hanya mencakup tanaman semusim atau tahunan, tetapi juga hewan ternak yang bermanfaat bagi masyarakat; tanaman juga dapat berupa tanaman hias, tanaman pangan, atau tanaman non-pangan yang ditanam oleh petani untuk memenuhi kebutuhan masyarakat (Rofiqi et al., 2018)

Tanah juga sangat penting dalam pertanian yaitu sebagai medium alami tempat tumbuhnya tanaman yang menyediakan unsur hara, air, dan dukungan fisik bagi akar tanaman. Ketersediaan nutrisi dan kondisi fisik dalam tanah sangat menentukan produktivitas tanaman budidaya dalam pertanian. Selain itu pupuk juga berperan penting dalam peningkatan produktivitas tanaman budidaya. Ada 2 jenis pupuk yaitu pupuk organik yang terbuat dari tanah atau bahan organik yang membusuk, termasuk sisa-sisa tanaman, hewan, dan manusia dan pupuk anorganik yang biasanya dibuat secara kimiawi dan mengandung nutrisi yang mudah diserap tanaman (Telaumbanua et al., 2023).

1.3 Objek dan Subyek Agronomi

Secara umum, tanaman adalah objek penelitian agronomi. Dalam kajian agronomi, tanaman adalah tumbuhan yang dibudidayakan oleh manusia dan memberikan manfaat langsung bagi manusia. Tanaman ini biasanya telah mengalami pemuliaan atau telah melalui seleksi alami yang berlangsung lama. Ciri-ciri tanaman termasuk tidak berbahaya bagi manusia dan dapat dipasarkan, seperti padi, kedelai, jagung, kakao, kopi, kelapa, kelapa sawit, dan hasil berlipat ganda.

Subyek agronomi dapat berasal dari berbagai profesi, seperti petani, agronomist, pengusaha pertanian, penyuluh, dan pemilik

sarana pertanian. Seorang agronomist adalah salah satu subyek agronomi yang haus mampu dan ahli, yang berfungsi sebagai perencana, perancang, atau pemikir dalam pengembangan pertanian, sedangkan petani adalah orang yang secara langsung terlibat dalam kegiatan pertanian dan secara praktis menghasilkan uang dari budidaya tanaman.

Pengusaha pertanian adalah petani atau pengusaha yang menjalankan bisnis pertaniannya dengan teknologi modern, menggunakan akal dan upayanya secara maksimal untuk mencapai tingkat produksi dan keuntungan yang paling tinggi, memiliki modal yang besar, dan mudah menerima perubahan.

1.4 Sarana Produksi

Secara umum, sarana produksi merujuk pada faktor-faktor yang digunakan dalam proses produksi barang dan jasa. Pada bidang pertanian, sarana produksi merujuk pada komponen-komponen utama yang diperlukan untuk menunjang keberhasilan program pertanian, seperti pupuk, insektisida, herbisida, pompa air, dan peralatan pertanian mulai dari cangkul hingga traktor (Syafa'at & Mardianto, 2016).

Dalam pertanian, **pupuk** digunakan untuk meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman. Pupuk ditambahkan ke tanah atau tanaman untuk meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman, dan dapat berasal dari bahan alami seperti kompos, limbah organik, atau bahan kimia seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Selain itu, pupuk juga membantu menjaga keseimbangan nutrisi tanah dan memungkinkan tanaman tumbuh dengan baik dan menghasilkan hasil yang lebih baik (Famela et al., 2023).

Benih dan bibit merupakan sarana pokok dalam budidaya tanaman. Bibit dan benih yang baik akan menghasilkan pertumbuhan dan produksi yang tinggi. Benih dan bibit

merupakan 2 istilah yang sering kita jumpai dalam budidaya pertanian namun secara umum terdapat perbedaan antara kedua elemen tersebut yakni benih adalah tahap awal, yang terdiri dari biji atau bahan vegetatif, dan bibit adalah tahap selanjutnya, yang terdiri dari tanaman muda yang siap ditanam (Setiawati et al., 2016).

Dalam pertanian, **bahan kimia** sangat penting mendukung produksi pertanian, terutama dalam mengendalikan Hama, Penyakit dan Gulma dalam hal ini merujuk pada penggunaan pestisida dan ZPT untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman. Meskipun pupuk kimia dapat meningkatkan produksi pertanian dalam jangka pendek, penggunaan mereka dalam jangka panjang dapat menyebabkan penurunan kuantitas dan kualitas produk pertanian (Fitriana, 2017).

Alat dan mesin pertanian sangat penting untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi pertanian. Beberapa contoh dari alat dan mesin pertanian adalah Traktor, cangkul, mesin penanam, mesin pemanen, dan alat pengolahan tanah (Al-Hafiz et al., 2023).

Sistem irigasi pertanian dirancang untuk mengatur dan menyediakan pasokan air ke lahan pertanian secara terkontrol dengan tujuan memastikan bahwa tanaman menerima jumlah air yang cukup untuk pertumbuhan yang optimal (Dhiya Ulhaq et al., 2023). Dengan memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup, sistem irigasi ini meningkatkan produktivitas pertanian, mengurangi risiko kekeringan tanaman, meningkatkan kualitas hasil panen, dan memungkinkan pertanian dilakukan secara berkelanjutan (Purwantini & Suhaeti, 2018).

1.5 Sasaran Agronomi

Sasaran agronomi adalah untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian melalui pemahaman yang lebih baik

tentang tanaman, tanah, dan lingkungan pertanian secara keseluruhan. Untuk mencapai tujuan ini, agronomi menggunakan berbagai teknik dan teknologi, seperti pemodelan tanaman, pengelolaan tanah, penggunaan teknologi informasi, dan penerapan praktik pertanian yang inovatif. Secara sederhana, sasaran agronomi meliputi optimalisasi pemanfaatan lahan melalui penggunaan benih berkualitas tinggi dari varietas unggul, peningkatan kesuburan tanah, dan penerapan pola tanam yang sesuai dengan agroekosistem.

Oleh karena itu, agronomi berusaha mencapai beberapa tujuan, termasuk meningkatkan produktivitas pertanian, memajukan keberlanjutan lingkungan, mengembangkan praktik pertanian yang inovatif, dan memberikan pendidikan ilmu pertanian yang mencakup perspektif yang luas.

1.6 Peranan Agronomi

Agronomi adalah bidang penting dalam pertanian modern, yang berfokus pada ilmu pengetahuan dan teknologi pengelolaan tanaman dan tanah untuk memastikan **produksi pangan, serat, pakan, dan bahan bakar yang berkelanjutan** (Mohanty et al., 2024). Hal ini mencakup praktik-praktik seperti pertanian presisi, rekayasa genetika, pertanian organik, dan teknik-teknik berkelanjutan, yang semuanya bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, memastikan kelestarian lingkungan, dan menjaga keamanan pangan.

Sistem pertanian berkelanjutan, yang merupakan inti dari agronomi, sangat penting untuk mengatasi perubahan iklim, meningkatkan pasokan dan kualitas air, memulihkan tanah dan ekosistem yang rusak, dan memajukan ketahanan pangan (Lal, 2014).

1.7 Ruang Lingkup

Bidang agronomi terdiri dari tiga unsur utama: **pemuliaan tanaman, fisiologi tanaman, dan ekologi tanaman**. Ketiga aspek ini merupakan gugus ilmu tanaman, atau ilmu tanaman, yang langsung berpengaruh dan sejalan dengan kegiatan agronomi di berbagai tahap. Tujuan utama dari bidang agronomi adalah untuk mencapai tingkat produksi tanaman yang optimal.

Dalam agronomi, **pemuliaan tanaman** memiliki peran yang sangat penting dalam produksi tanaman. Pemuliaan tanaman adalah proses memperbaiki sifat genetik tanaman untuk menghasilkan jenis tanaman yang lebih baik. Varietas unggul memiliki banyak sifat yang lebih berkualitas, seperti ketahanan terhadap pemupukan, ketahanan terhadap penyakit dan hama, produksi tinggi, umur produksi yang lebih cepat, dan bersaing dengan gulma. Misalnya, hasil pemuliaan tanaman dapat menghasilkan suatu varietas dengan berbagai sifat unggul, tetapi keunggulan sifat varietas sangat bergantung pada tindakan agronomi yang dilakukan pada tahap tersebut. Saat ahli agronomi dapat menguasai berbagai sifat fisiologi objeknya, keunggulan varietas dapat terus dikembangkan.

Semua tindakan metabolisme tanaman, dari benih hingga panen dan pasca panen, termasuk dalam **aspek fisiologi agronomi**. Sebagai contoh, suatu varietas tanaman yang memiliki masa dormansi buruk untuk produksi, jadi diusahakan untuk membudidayakan varietas dengan masa dormansi yang lebih baik. Kelakuan fisiologis yang dikenal sebagai dormansi benih pada saat tertentu menguntungkan dalam hal memperpanjang viabilitas benih dan periode simpannya. Namun, hal ini merupakan komponen yang harus dihilangkan jika benih tersebut sudah dikehendaki tumbuh tetapi tidak mau berkecambah karena masih dorman.

Dua faktor ekologi yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman adalah tanah dan iklim. Tanah adalah bagian hidup lingkungan yang penting, dan dapat diubah untuk mempengaruhi penampilan tanaman. Tanah mempunyai tiga fungsi utama untuk mendukung kehidupan tanaman: memberikan unsur hara untuk tanaman, memberikan air dan reservoir, menunjang tanaman, atau berfungsi sebagai tempat berpegang dan bertumpu untuk tegak.

Tanaman adalah objek agronomi yang terdiri dari berbagai kelompok komoditas. Yang pertama adalah kelompok tanaman pangan; yang kedua adalah kelompok tanaman industri; yang ketiga adalah kelompok tanaman perkebunan; yang keempat adalah kelompok tanaman muda/hortikultura (buah-buahan, sayuran, dan tanaman hias); yang kelima adalah kelompok tanaman biofarmaka (obat-obatan), dan yang keenam adalah kelompok tanaman pakan ternak. Jenis pengelompokan komoditas ini disebut sebagai pengelompokan fungsional. Selain itu, pengelompokan secara struktural juga dapat dilakukan, seperti kelompok tanaman serealia, leguminosa, serat-seratan, sayuran, buah-buahan, bunga-bunga, dan sebagainya. Baik komoditas yang dikategorikan secara fungsional maupun struktural adalah objek agronomi yang diusahakan dalam berbagai lingkup agronomi. Semua bidang agronomi berinteraksi satu sama lain untuk mencapai sasaran produksi maksimum.

Agronomi mencakup bidang-bidang seperti teknik benih dan budidaya, pemuliaan tanaman, pencegahan hama dan penyakit, pencegahan gulma, pemanenan, pengolahan, dan penyimpanan. Masing-masing bidang melakukan hal-hal yang berkaitan dengan agronomi, tetapi semuanya dalam konteks agronomi. Misalnya, industri teknologi benih perlu memperbaiki sifat genetik, fisik, dan fisiologis benih. Untuk memaksimalkan produksi, benih dipandang harus sehat, tidak tercemar oleh benih

gulma atau bekas gigitan serangga, dan berumur genjah. Dengan kata lain, semua bidang agronomi berada dalam konteks yang terpadu, dan satu sama lain sangat terkait satu sama lain (Rai, 2018).

1.8 Sejarah Perkembangan Agronomi

Dalam bahasa Inggris, istilah "agronomi" pertama kali digunakan pada tahun 1805–1815, sementara istilah "pertanian" pertama kali digunakan pada tahun 1425–1475. Pada awal perkembangan manusia di Bumi, satu-satunya cara untuk bertahan hidup adalah dengan mencari biji-bijian dan buah-buahan.

Dengan populasi yang meningkat, hutan akan menjadi tidak mencukupi lagi. Dalam situasi seperti ini, orang mulai mempertimbangkan dan mencoba bercocok tanam dan beternak, meskipun mereka tidak memiliki teknologi yang diperlukan untuk melakukannya. Petani mulai berpikir tentang cara menjaga lahan agar tetap subur, terutama dalam jangka panjang, karena bahan organik diangkut dari lahan untuk dimakan dan harus diganti dengan bahan organik.

Selain itu, "pertumbuhan penduduk mengikuti deret ukur sedangkan peningkatan hasil mengikuti deret hitung" menyebabkan kelaparan dan kekurangan makanan. Pengembangan kebudayaan manusia yang memungkinkan migrasi dan hubungan budaya berdampak positif pada pengayaan varietas tanaman pertanian melalui proses introduksi, yaitu penempatan spesies ke habitat baru. Selanjutnya, proses pemuliaan tanaman didorong oleh kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi manusia, terutama setelah penemuan hukum pewarisan Mendel pada pertengahan abad ke-19. Selanjutnya, pemuliaan tanaman juga telah dilakukan melalui jalur mutasi buatan, seperti radiasi gamma atau penggunaan

bahan kimia; hibridisasi somatik; pemanfaatan kultur jaringan dan bioteknologi; dan, terakhir, rekayasa genetik, yang menghasilkan tanaman transgenik yang masih kontroversial. Tidak lama kemudian, varietas unggul baru dengan potensi besar ditemukan, yang dikenal sebagai gerakan "*revolusi hijau*". Namun, varietas ini membutuhkan input produksi yang tinggi untuk mencapai hasil maksimal, seperti pestisida, pupuk kimia, irigasi, dan herbisida.

Dalam jangka panjang, penggunaan bahan kimia dapat merusak lahan pertanian dan lingkungan. Sejak saat itu, ahli pertanian, terutama mereka yang memperhatikan kelestarian lahan dan lingkungan, mulai merasakan pentingnya sistem pertanian organik. Karena tujuan yang berbeda, sistem pertanian organik tidak memiliki produktivitas lahan yang sama dengan sistem pertanian kimiawi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hafiz, N. W., Harianja, H., Jasri, J., Elgamar, E., Nopriandi, H., Haswan, F., Yusufahmi, M., Chairani, S., Aprizal, A., & Erlinda, E. (2023). PELATIHAN PENGENALAN PERANGKAT IoT BIDANG PERTANIAN PADA SMK NEGERI 3 TELUK KUANTAN. *BHAKTI NAGORI (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 3(2). https://doi.org/10.36378/bhakti_nagori.v3i2.3396
- Dhiya Ulhaq, Y., Arif, C., & Suharnoto, Y. (2023). Analisis tapak air pada sistem irigasi bawah permukaan dengan pocket fertigation untuk tanaman melon dalam greenhouse. *Jurnal Irigasi*, 16(2). <https://doi.org/10.31028/ji.v16.i2.33-45>
- Famela, O., Prayudhi, L. A., Zamrodah, Y., & Widiyatmanta, J. (2023). Strategi Penyaluran Pupuk Bersubsidi Di Kecamatan Wonotirto. *RADIKULA: Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(01). <https://doi.org/10.33379/radikula.v2i01.1898>
- Fitriana, M. (2017). Introduksi Teknologi Pertanian Organik Dengan Memanfaatkan Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Tanaman Kacang Tunggak Untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah Di Desa Arisan Jaya Pemulutan Barat Ogan Ilir. *Jurnal Pengabdian Sriwijaya*, 5(2). <https://doi.org/10.37061/jps.v5i2.5673>
- Lal, R. (2014). Climate Strategic Soil Management. *Challenges*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/challe5010043>

- Mohanty, L. K., Singh, N. K., Raj, P., Prakash, A., Tiwari, A. K., Singh, V., & Sachan, P. (2024). Nurturing Crops, Enhancing Soil Health, and Sustaining Agricultural Prosperity Worldwide through Agronomy. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(2).
<https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i22308>
- Purwantini, T. B., & Suhaeti, R. N. (2018). Irigasi Kecil: Kinerja, Masalah, dan Solusinya. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 35(2).
<https://doi.org/10.21082/fae.v35n2.2017.91-105>
- Rai, I. N. (2018). Dasar-Dasar Argonomi. In *Percetakan Pelawa Sari*.
- Rofiqi, A., Ali, M., Lastianti, S. D., & Pratiwi, Y. I. (2018). Peran Bisnis Pertanian Dalam Perekonomian Indonesia. *Ekonomi Pertanian*.
- Setiawati, W., Sumarni, N., Koesandriani, Y., Hasyim, A., Uhan, T. S., & Sutarya, R. (2016). Penerapan Teknologi Pengendalian Hama Terpadu pada Tanaman Cabai Merah untuk Mitigasi Dampak Perubahan Iklim. *Jurnal Hortikultura*, 23(2).
<https://doi.org/10.21082/jhort.v23n2.2013.p174-183>
- Syafa'at, N., & Mardianto, S. (2016). Identifikasi Sumber Pertumbuhan Output Nasional: Pendekatan Analisis Input-Output. *Jurnal Agro Ekonomi*, 20(1).
<https://doi.org/10.21082/jae.v20n1.2002.1-24>
- Telaumbanua, P. H., Telaumbanua, B. V., Lase, N. K., Dawolo, J., & Nazara, R. V. (2023). Kajian Pemanfaatan Pupuk Organik Rumput Laut Terhadap Produksi Dua Varietas Bayam

(*Amaranthus* sp.). *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 11(1).
<https://doi.org/10.35138/paspalum.v11i1.553>

Wahyuddin, W., Ronaldo, R., & Gusti, K. (2023). Penyuluhan pertanian, membimbing masyarakat untuk bertani secara berkelanjutan dengan menggunakan skala tanaman jangka panjang dan pendek di desa bambangan, kec. Malunda, kab. Majene. *Sipissangngi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1). <https://doi.org/10.35329/sipissangngi.v3i1.3884>

Zhang, Y., & Yu, Q. (2020). Characteristics of high-impact agronomic journals. *Agronomy Journal*, 112(5).
<https://doi.org/10.1002/agj2.20320>

BAB 2

SISTEM PERTANIAN

Sistem pertanian adalah pengelolaan tanaman untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, seperti bahan pangan, keuntungan finansial, kepuasan pribadi, atau kombinasi dari ketiganya. Sistem pertanian di wilayah tropis, termasuk Indonesia, berbeda dengan yang ada di daerah subtropis dan beriklim sedang. Hal ini disebabkan oleh perbedaan dalam iklim, jenis tanaman, serta kondisi sosial ekonomi para petaninya. Pada bab ini akan dibahas mengenai perkembangan pertanian, sistem penanaman di daerah tropis, sistem pertanian di Indonesia, serta klasifikasi sistem pertanian.

2.1. Perkembangan Pertanian

Perkembangan masyarakat yang berkelanjutan didasarkan pada ketersediaan pangan yang memadai. Pada tahap awal peradaban manusia, kehidupan bergantung pada kegiatan mengumpulkan makanan atau berburu. Setiap orang berperan aktif dalam usaha mendapatkan sumber makanan. Dalam masyarakat yang hidup nomaden, mereka mengumpulkan biji-bijian dan buah-buahan dari tumbuhan liar selama perjalanan mereka. Alfalfa liar, kacang-kacangan, serta sereal liar menjadi sumber makanan utama yang menopang kehidupan manusia pada masa itu. Kemungkinan besar, kelompok-kelompok nomaden akan memanen tanaman di suatu wilayah pada waktu tertentu, lalu kembali ke wilayah tersebut untuk memanen lagi pada bulan atau tahun berikutnya. Daerah yang memiliki sumber pangan melimpah cenderung sering dikunjungi, terutama selama musim panen yang sama secara berulang.

Pertanian relatif merupakan inovasi yang belum terlalu lama muncul jika dibandingkan dengan sejarah panjang umat manusia, karena pada awalnya manusia hanya bertindak sebagai pengumpul makanan selama periode yang lama. Produksi pangan pertama kali melalui penanaman dan pembudidayaan baru terjadi sekitar 7.000 hingga 10.000 tahun yang lalu pada zaman Neolitikum. Perkembangan bertahap dalam pertanian telah menghasilkan keuntungan berupa surplus pangan yang cukup signifikan. Surplus tersebut memungkinkan banyak individu yang memiliki keterampilan di bidang lain untuk tidak terlibat langsung dalam produksi pangan. Pengembangan keterampilan baru hanya mungkin terjadi ketika peningkatan efisiensi pertanian memberikan waktu luang yang baru ditemukan. Hingga saat ini, prinsip ini masih berlaku, di mana peningkatan taraf hidup terlihat dari hal-hal yang dulu dianggap sebagai kemewahan kini menjadi kebutuhan sehari-hari (Buckman, 1969)

Asal-usul kebudayaan bisa ditelusuri pada penemuan bahwa kelebihan persediaan pangan dapat diperoleh melalui penanaman biji atau bagian lain dari tanaman. Tanaman yang tumbuh cepat dan menghasilkan dalam satu musim kemungkinan besar adalah yang pertama kali dibudidayakan. Sementara itu, teknologi untuk membudidayakan tanaman berumur panjang, seperti pohon buah, memerlukan waktu lebih lama serta teknologi yang lebih canggih. Oleh karena itu, pada masa tersebut, buah-buahan hanya dipetik dari tanaman liar.

Semua tanaman yang ada saat ini telah dikembangkan sejak zaman prasejarah. Pencapaian ini dilakukan melalui dua metode utama: (1) domestikasi, yaitu dengan membudidayakan dan mengelola spesies liar, dan (2) seleksi, yang melibatkan proses penangkaran berbeda dari spesies tersebut (Chaudary, 1982)

Manusia purba menunjukkan kecerdasan luar biasa dalam menjinakkan tanaman liar untuk memenuhi kebutuhan hidupnya.

Sebagai contoh, ubi kayu yang mengandung racun berbahaya seperti asam sianida (HCN) telah lama diketahui bisa dikurangi kadar racunnya dengan proses memasak. Pengetahuan ini bukan sesuatu yang langsung ditemukan, melainkan melalui proses pengalaman yang panjang.

Seleksi kadang-kadang menghasilkan tipe baru dan sangat efektif untuk berbagai tanaman agronomi. Sebagian besar tanaman yang ada saat ini berbeda dari nenek moyang liarnya, dan banyak di antaranya telah mengalami perubahan sehingga garis keturunannya menjadi tidak jelas. Manusia, meskipun tidak memiliki pengetahuan tentang genetika, telah menjadi pemulia tanaman yang sangat efisien (Gardner, 1985)

Manusia turut membawa tanaman pertanian dalam perjalanan dan migrasinya. Introduksi spesies baru merupakan aspek penting dalam kemajuan agronomi. Sebagian besar pusat produksi tanaman pertanian sekarang terletak jauh dari asal-usul awalnya (Coen, 1999)

Upaya domestikasi dan penyebaran tanaman pertanian, khususnya tanaman pangan, terus berkembang seiring dengan kemajuan pengetahuan dan peradaban manusia. Perubahan-perubahan ini semakin cepat berkat penemuan-penemuan teknologi baru. Keberhasilan teknologi tersebut dapat diukur dari jumlah populasi yang terus bertambah. Meskipun lokasi pasti di mana tanaman pertama kali dibudidayakan tidak diketahui, bukti arkeologis menunjukkan bahwa sekitar 7.000 hingga 8.000 tahun yang lalu, tanaman mulai dibudidayakan di dataran tinggi yang terairi dengan baik oleh sungai-sungai Indus, Tigris, Eufrat, dan Nil. Proses yang mendahului ini kemungkinan terjadi ribuan tahun sebelumnya.

Asia Tenggara, dengan variasi geografi dan agroklimat yang beragam, menjadi lokasi yang sangat ideal bagi munculnya pertanian primitif. Wilayah ini kaya akan tanaman yang

berkembang biak secara vegetatif, sehingga kemungkinan besar penanaman bagian vegetatif terjadi lebih awal dibandingkan dengan penanaman biji. Namun, seiring perkembangan, teknik penanaman menggunakan biji menjadi lebih dominan, menggantikan metode vegetatif (Djadar, 1990).

2.2. Sistem Bertanam Daerah Tropika

Terdapat berbagai pandangan mengenai definisi dan klasifikasi sistem bercocok tanam, dan salah satunya akan dibahas di sini. Lima kategori yang cukup dikenal adalah sistem perladangan berpindah, sistem tadah hujan semi intensif, sistem tadah hujan intensif, sistem irigasi, serta sistem campuran tanaman semusim dan tahunan. Sistem bercocok tanam yang pertama dan kedua merupakan sistem tadah hujan yang ditandai oleh adanya masa bera. Jika dilihat dari frekuensi penggunaan lahan, maka terdapat peningkatan dari kategori pertama hingga ketiga. Sebagai ilustrasi, pada sistem perladangan berpindah, lahan ditanami selama satu tahun dan kemudian dibiarkan bera selama sembilan tahun, sehingga frekuensi penggunaan lahan hanya 10 persen. Sementara itu, pada sistem tadah hujan semi intensif, frekuensinya mencapai 30 persen, dan untuk sistem tadah hujan intensif mencapai 70 persen.

Kategori keempat mencakup dua subklas, yaitu lahan kering beririgasi (tanpa genangan) dan sistem yang dapat diterapkan di tiga kondisi lahan: lahan kering tadah hujan, lahan sawah irigasi, atau non-irigasi. Kategori kelima, yaitu sistem campuran antara tanaman semusim dan tahunan, terdiri dari tiga subklas, yaitu sistem tanaman semusim dengan tanaman herba tahunan atau semitahunan, sistem kebun campuran, dan sistem tanaman semusim dengan tanaman pohon tahunan (Harjadi, 1984)

Sistem perladangan berpindah awalnya muncul ketika manusia pertama kali mulai bercocok tanam. Dengan pengetahuan yang sangat terbatas, pada masa itu manusia belum memahami bagaimana mengelola lahan atau menggunakan teknologi yang tepat, sehingga lahan cepat kehilangan kesuburannya karena tidak ada praktik pemupukan. Ketika lahan menjadi tidak subur, mereka berpindah ke hutan baru atau kembali ke lahan lama yang telah pulih kesuburannya. Namun, di beberapa negara seperti Afrika, sistem ini tidak lagi dianggap negatif. Berkat perkembangan teknologi, sistem perladangan berpindah kini dianggap sebagai alternatif yang cocok untuk dikembangkan.

Prinsip dasar sistem perladangan berpindah adalah bahwa selama masa bera, nutrisi yang diserap oleh tumbuhan akan kembali ke tanah dalam bentuk sisa tanaman atau seresah. Bahan organik yang terkumpul di permukaan tanah akan tersedia kembali bagi tanaman selanjutnya setelah vegetasi ditebang atau dibakar (Sri, 1996)

Di Indonesia, sistem perladangan berpindah menimbulkan kekhawatiran karena dapat mengancam fungsi hutan sebagai paru-paru dunia, merusak keanekaragaman hayati, dan berkontribusi pada emisi CO₂ yang memicu pemanasan global. Selain itu, sistem ini sering menyebabkan erosi yang merusak lahan dan lingkungan. Oleh sebab itu, diperlukan solusi, di antaranya melalui: a) Perencanaan menyeluruh dari pemerintah (seperti RUTR tingkat II) yang mencakup penetapan lahan berdasarkan kesesuaian dan permintaan pasar. Beberapa komoditas yang potensial untuk dikembangkan antara lain tengkawang, rotan, meranti, rasamala, kelapa sawit, karet, dan kopi. Selain itu, perlu disiapkan fasilitas pengolahan hasil panen, seperti pabrik pengolahan pulp, penggergajian kayu, dan pengolahan lateks. b) Setiap keluarga tani disediakan lahan seluas

8-10 hektar. Petani dapat mengelola lahan seluas 1,5-2,0 hektar setiap tahun, sesuai dengan kemampuan mereka. Setelah tanaman semusim ditanam, petani diberi bibit tanaman tahunan yang sudah ditentukan. Pada tahun berikutnya, mereka membuka lahan baru dengan cara yang sama hingga seluruh lahan tertanami secara bertahap.

Sistem Tadah Hujan Semi Intensif dan Intensif adalah pola bercocok tanam yang digunakan oleh petani, termasuk interaksinya dengan sumber daya alam dan teknologi yang tersedia. Pola tanam adalah cara mengatur jenis tanaman serta waktu tanam dan masa bera pada lahan tertentu. Pola tanam ini memiliki beberapa variasi.

Sistem Irigasi mencakup pemberian air pada lahan pertanian agar tanaman tidak kekurangan air selama pertumbuhannya. Pengertian irigasi secara luas juga mencakup drainase, yaitu pengaliran air berlebih dari lahan. (Sugito, 1994)

Sistem Irigasi Lahan Kering merujuk pada metode irigasi yang tidak menyebabkan genangan air pada lahan selama masa pertumbuhan tanaman. Sistem ini biasanya diterapkan di lahan bergelombang atau miring, di mana pembuatan teras belum memungkinkan. Tanaman seperti jagung, tembakau, dan sayuran yang tidak tahan kekeringan memerlukan sistem ini. Di Indonesia, petani kini mulai menggunakan pompa bertenaga mesin untuk mengairi lahan kering, meskipun tidak memungkinkan untuk menggenangi lahan karena keterbatasan air dan alat pompa. Sistem ini juga diterapkan di Sudan, di mana curah hujan tahunan rendah, dengan pola tanam kapas-bera-sorghum dan kacang lubia. Untuk menjaga kesuburan tanah, hanya 40-50 persen lahan ditanami setiap tahun (Raharja, 2005)

2.3. Sistem Pertanian di Indonesia

Seperti telah disampaikan, ada pandangan bahwa pertanian pertama kali berkembang di Asia Tenggara. Saat ini, kita menemukan berbagai sistem pertanian yang berbeda, baik dari segi tingkat efisiensi teknologi maupun jenis tanaman yang dibudidayakan, seperti sistem ladang, tegal pekarangan, sawah, dan perkebunan.

Sistem ladang adalah yang paling sederhana, sebagai tahap transisi dari pengumpul makanan ke penanam. Pengolahan tanah dilakukan dengan minimal, dan produktivitas bergantung pada lapisan humus yang terbentuk di hutan. Sistem ini hanya dapat bertahan di daerah dengan populasi rendah dan lahan yang melimpah. Tanaman yang biasa dibudidayakan meliputi tanaman pangan seperti padi, jagung, dan umbi-umbian.

Sistem tegal pekarangan berkembang di lahan kering yang jauh dari sumber air yang tersedia secara terus-menerus. Sistem ini diterapkan setelah masyarakat menetap dalam jangka waktu lama, namun intensitas pengelolaannya masih rendah. Untuk tegal, tenaga yang digunakan umumnya kurang intensif, dan jarang menggunakan tenaga hewan. Tanaman yang diusahakan terutama tanaman yang tahan kekeringan dan pohon-pohonan. (Martin, 1975)

Sistem sawah, di sisi lain, merupakan metode budidaya yang lebih maju, terutama dalam hal pengolahan tanah dan pengelolaan air, yang menghasilkan stabilitas biologi tinggi dan menjaga kesuburan tanah. Hal ini dicapai melalui pengairan yang berkelanjutan dan sistem drainase yang lambat. Sawah memiliki potensi besar untuk produksi pangan, baik padi maupun palawija. Di beberapa daerah, tanaman tebu dan tembakau juga bergantung pada sistem ini. (Ismal, 1979)

Sistem perkebunan, baik perkebunan rakyat maupun besar (estate), awalnya dikelola oleh swasta asing dan sekarang sebagian

besar oleh perusahaan negara, berkembang untuk memenuhi kebutuhan ekspor. Komoditas utama meliputi karet, kopi, teh, dan coklat. Pengelolaan perkebunan ini termasuk yang terbaik, meskipun masih tertinggal dibandingkan dengan kemajuan di negara-negara berkembang lainnya. (Ismal, 1979)

2.4. Klasifikasi Sistem Pertanian

Sistem pertanian tropis dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama (Ruthenberg, 1980):

- a. Sistem pertanian yang berfokus pada pengumpulan hasil tanaman
- b. Sistem pertanian yang berfokus pada budidaya tanaman
- c. Sistem pertanian untuk pakan ternak dan padang penggembalaan

Sistem Pertanian dengan Pengumpulan Hasil Tanaman adalah jenis pertanian yang mengandalkan hasil dari tanaman liar yang tumbuh alami tanpa proses budidaya. Sistem ini sering digabungkan dengan kegiatan berburu dan menangkap ikan, dan jarang dijalankan secara mandiri. Di beberapa wilayah, seperti Irian Jaya, sistem ini masih dapat ditemukan. Sistem pengumpulan ini biasanya digunakan di masyarakat yang masih mengandalkan sumber daya alam langsung tanpa proses pengelolaan intensif.

Sistem Pertanian dengan Budidaya Tanaman adalah sistem pertanian yang paling umum dan utama di daerah tropis. Dalam sistem ini, tanaman secara aktif dibudidayakan melalui berbagai teknik pengolahan tanah dan pemeliharaan tanaman. Di daerah tropis, sistem budidaya tanaman memiliki banyak variasi, yang bisa diklasifikasikan berdasarkan berbagai ciri, seperti intensitas penggunaan lahan, teknik pengairan, jenis tanaman, serta interaksi

dengan hewan ternak atau sumber daya lain. Beberapa contoh sistem budidaya tanaman mencakup pertanian intensif, ekstensif, serta sistem pertanian organik (Janick, 1984)

Sistem Pertanian untuk Pakan Ternak dan Padang Penggembalaan adalah jenis pertanian yang bertujuan untuk menyediakan pakan bagi ternak melalui padang rumput atau area penggembalaan. Sistem ini lebih berfokus pada pemeliharaan lahan untuk menumbuhkan pakan ternak secara alami atau melalui budidaya rumput dan tanaman pakan lainnya. Biasanya, sistem ini ditemukan di daerah yang memiliki area luas dan cocok untuk penggembalaan ternak seperti sapi, kambing, atau domba, dan sering kali dilakukan bersamaan dengan sistem budidaya tanaman yang ditujukan untuk pakan hewan.

Sistem pertanian dengan rotasi tanaman tahunan

Tanaman tahunan mencakup jenis-jenis seperti tebu, teh, kopi, kelapa, karet, dan lain-lain. Tanaman-tanaman ini bisa ditanam secara bergiliran dengan masa bera, tanaman semusim, padang penggembalaan, atau tanaman tahunan lainnya (Janick, 1984)

Sistem Pertanian untuk Padang Penggembalaan dan Peternakan

1. Karena rendahnya potensi lahan untuk padang penggembalaan di wilayah tropis, seringkali terjadi penggembalaan secara berpindah-pindah (nomaden – semi-nomaden), kadang-kadang juga disertai dengan peningkatan kualitas padang penggembalaan dalam sistem Ranch. Rasio ternak per luas lahan umumnya rendah, yaitu sekitar 2-3 ternak besar per hektar. Peternakan biasanya diklasifikasikan berdasarkan ketetapan tempat tinggal peternak dan ternaknya, sebagai berikut:

2. Total nomaden: Peternak tidak memiliki tempat tinggal tetap, tidak ada sistem budidaya makanan ternak yang teratur, sehingga selalu berpindah.
3. Semi-nomaden: Peternak memiliki tempat tinggal tetap dan menanam makanan ternak di sekitarnya sebagai tambahan, tetapi ternak dan penggembalaannya berpindah ke berbagai wilayah dalam jangka waktu tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Buckman, H.O. and N.C. Brady. 1969. The Nature and properties of Soil Copy Right. Macmill Company. New York.
- Chaudary, H.K. 1982. Elementary Principles of Plant Breeding. Oxford and I B H Publishing Co. New Delhi, Calcuta.
- Coen Reijtjes, Bertus Haverkort and Ann Waters-Bayer. 1999. Farming for the future. Kanisius Jakarta.
- Djadar, Z.R. 1990. Dasar-dasar Agronomi. Western Universities. Agricultural Aducation Projeck. Palembang.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce and R.L. Mitchell.1985. Physiology of Crop Plant. IOWA University Press.
- Harjadi, S.S. 1984. Pengantar Agronomi. Departemen Agronomi Fakultas Pertanian IPB. PT Gramedia Jakarta.
- Ismal, G. 1979. Ekologi tumbuh-tumbuhan dan tanaman pertanian. Universitas Andalas. Padang.
- Janick, J., R.W. Schery and V.H. Reittan. 1984. Plant Science. W.H. Preeman and Co. Sanfransisco.
- Martin, J.H., W.H. Leonard and D.L. Stamp. 1975. Principles of Field Crop Production. Mc Millan Publ. Co. Inc. New York.
- Raharja dan Wiryanto, W. 2005. Aneka cara memperbanyak tanaman. Agromedia Pestaka, Jakarta.
- Sri Setyadi Harjadi, M.M. 1996. Pengantar Agronomi. Departemen Agronomi Fakultas Pertanian IPB. Gramedia Pustaka Utaman. Jakarta.
- Sugito, Y. 1994. Ekologi tanaman. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

BAB 3

MORFOLOGI DAN ANATOMI TANAMAN

3.1 Morfologi Tanaman

Morfologi adalah ilmu yang mempelajari bentuk luar organ tumbuhan, termasuk bentuk, fungsi, dan siklus hidupnya. Sebagai cabang penting dalam botani, morfologi tanaman berfokus pada pemahaman mendalam tentang dunia flora. Secara umum, morfologi tanaman mengkaji bentuk dan struktur berbagai bagian tanaman, baik yang terlihat seperti daun, batang, dan bunga, maupun yang tersembunyi di bawah tanah seperti akar. Dengan mempelajari morfologi tanaman secara mendalam, kita bisa memahami bagaimana tanaman beradaptasi dengan lingkungannya dan bagaimana setiap bagian tanaman berperan dalam kelangsungan hidupnya. Selain itu, pengetahuan ini memiliki aplikasi praktis di berbagai bidang, seperti pertanian, hortikultura, dan ekologi (Raven et al., 2005).

Daun merupakan organ utama yang bertanggung jawab dalam proses fotosintesis, yang menyediakan nutrisi bagi tanaman. Daun umumnya terdiri dari tiga bagian: 1) Vagina atau upih daun, 2) Petiolus atau tangkai daun, dan 3) Lamina atau helaian daun. Daun disebut lengkap jika memiliki ketiga bagian tersebut, sementara daun tidak lengkap jika salah satu bagiannya tidak ada. Setiap bagian daun, seperti helaian, tangkai, dan upih daun, memiliki karakteristik tertentu yang kadang dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu jenis tanaman. Dalam beberapa kasus, bagian-bagian ini dapat mengalami modifikasi menjadi bentuk lain namun tetap menjalankan fungsi yang sama seperti bagian aslinya (Esau, 1977).

Helaian daun memiliki karakteristik yang sangat unik dalam setiap tanaman, dan secara alami sangat jarang ditemukan dua

helaian daun yang identik, bahkan pada individu yang sama. Karena keunikan karakteristik ini, helaian daun sering digunakan sebagai kriteria penting dalam klasifikasi tanaman. Daun biasanya terdiri dari helaian daun, tangkai daun (petiolus), dan pelepah daun. Helaian daun adalah bagian yang paling menonjol, dengan berbagai bentuk dan ukuran yang bervariasi tergantung spesies tanaman. Permukaan daun sering dilapisi oleh struktur khusus seperti rambut atau kelenjar, yang memiliki fungsi tambahan. Misalnya, rambut pada daun dapat membantu mengurangi kehilangan air atau melindungi daun dari serangan herbivora. Daun juga berperan penting dalam pertukaran gas dengan lingkungan sekitar, yang sangat penting untuk proses fotosintesis dan respirasi (Fahn, 1990).

Dalam ilmu botani, buah adalah ovarium yang telah matang beserta biji di dalamnya. Meskipun dalam konteks kuliner, buah sering dianggap sebagai bagian tanaman yang mengandung biji dan siap dimakan saat matang, sementara sayuran dianggap sebagai bagian tanaman yang dapat dimakan yang tidak terkait dengan biji, seperti akar, batang, dan daun. Namun, beberapa bagian tanaman yang kita anggap sebagai sayuran dalam dunia kuliner sebenarnya adalah buah secara botani. Misalnya, paprika hijau yang digunakan pada pizza dan tomat yang dijadikan saus pizza sebenarnya adalah buah secara botani. Labu juga merupakan buah botani meskipun sering dianggap sebagai sayuran di dapur (Spjut, 1994).

Dalam konteks perbanyakan tanaman, buah didefinisikan dari sudut pandang botani sebagai ovarium bunga yang matang bersama dengan biji di dalamnya. Selama proses fertilisasi, perkembangan biji juga merangsang pertumbuhan dan perkembangan ovarium. Ovarium ini terus berkembang dan matang menjadi buah. Kadang-kadang, pada buah masih dapat ditemukan bagian-bagian bunga yang tidak gugur, seperti bractea

(daun pelindung), calyx (kelopak), stylus (tangkai putik), dan stigma (kepala putik). Buah yang terbentuk hanya dari ovarium dan tanpa bagian bunga lainnya disebut buah sejati, sedangkan buah yang terbentuk dengan bagian bunga yang berkembang menyerupai buah disebut buah semu (Mauseth, 2009).

Batang adalah struktur utama pada tanaman yang tumbuh di atas permukaan tanah. Batang memiliki peran penting sebagai penopang bagi bagian-bagian tanaman lainnya, seperti daun dan bunga. Selain itu, batang juga berfungsi sebagai saluran transportasi yang menghubungkan akar dengan daun serta bagian-bagian tanaman lainnya. Dalam struktur morfologinya, batang terdiri dari beberapa komponen penting, seperti epidermis atau kulit batang yang melindungi bagian dalam, jaringan pengangkut seperti xilem yang membawa air dan nutrisi dari akar ke daun, serta floem yang mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke bagian lain tanaman (Beck, 2010).

Struktur batang dapat bervariasi. Misalnya, batang pada pohon besar biasanya keras dan tebal, sedangkan batang pada tanaman herba lebih lunak dan fleksibel. Bentuk batang dapat berupa bulat (teres), bersegi (angularis), segi tiga (triangularis) seperti pada *Cyperus rotundus* (rumput teki), segi empat (quadrangularis) seperti pada *Passiflora quadrangularis* (markisa), atau pipih (cladodia) seperti pada *Asparagus* (Esau, 1977).

Batang merupakan organ penting pada tumbuhan karena menjadi tempat melekat dan tumbuhnya organ lain. Batang memiliki nodus (buku) yang menjadi tempat melekatnya organ seperti daun, dan internodus (ruas) yang terletak di antara dua nodus. Batang juga mempengaruhi bentuk dan ukuran tumbuhan, yang dikenal sebagai habitus. Ada empat bentuk habitus tumbuhan yang umum: 1) Herba, dengan batang yang mengandung air; 2) Semak, dengan batang berkayu dan percabangan dekat dengan tanah; 3) Pohon, dengan batang

berkayu, ukuran besar, dan percabangan jauh dari tanah; dan 4) Climber atau tanaman pemanjat, yang memiliki batang kecil dan panjang serta organ khusus untuk memanjat. Dilihat dari penampang melintangnya, batang umumnya memiliki tiga bentuk: bulat (teres), bersegi (angularis) seperti segi tiga (triangularis) dan segi empat (quadrangularis), serta pipih seperti pada filokladia (*phyllocladium*) dan kladodia (*cladodium*) (Raven et al., 2005).

Akar adalah organ tumbuhan paling sederhana yang berasal dari radikula. Fungsi utama akar adalah menyerap nutrisi dari tanah. Radikula berasal dari biji dan memiliki struktur yang halus, memungkinkan untuk menembus tanah dengan mudah. Jika radikula berkembang, ia akan membentuk akar utama yang dikenal sebagai akar tunggang. Akar ini kemudian berkembang lebih lanjut, menghasilkan akar-akar cabang yang juga akan bercabang. Dari percabangan tersebut, akar dapat dibedakan menjadi beberapa bagian berikut: Leher akar (pangkal akar) = collum, Ujung akar = apex radicalis, Batang akar = corpus radicalis, Cabang-cabang akar = radix lateralis, Serabut akar = fibrilla radicalis, Rambut-rambut akar (bulu-bulu akar) = pillus radicalis, Tudung akar = calyptra. Secara umum, ada dua jenis sistem perakaran pada tumbuhan: 1) Akar tunggal (*radix primaria*): berkembang dari lembaga akar. 2) Akar serabut (*radix adventitia*): berkembang bukan dari lembaga akar, melainkan dari organ lain seperti daun atau batang (Esau, 1977).

Akar dapat mengalami modifikasi bentuk untuk fungsi tertentu, seperti penyimpanan makanan. Beberapa bentuk akar yang umum ditemukan termasuk bentuk tombak (*fusiformis*) dan bentuk gasing (*napiformis*) (Esau, 1977).

Bunga adalah organ generatif yang menjadi ciri utama dalam pengelompokan tumbuhan. Karakteristik bunga dipilih karena dianggap tidak mudah berubah oleh pengaruh lingkungan,

meskipun ada beberapa jenis bunga yang bagian-bagiannya dapat termodifikasi menjadi bentuk lain dengan fungsi yang sama. Secara umum, sebuah bunga memiliki bagian-bagian berikut:

1. Tangkai bunga = pedicellus
2. Dasar bunga = receptaculum: tempat melekatnya semua organ bunga
3. Hiasan bunga = perianthium, yang terdiri dari:
 - a. Kelopak = calyx (lembaran kelopak = sepal)
 - b. Tajuk bunga = mahkota (lembaran mahkota = petal)
4. Organ kelamin jantan = androecium, yang terdiri dari:
 - a. Benang sari = stamen
 - b. Kotak serbuk sari = anthera
5. Organ kelamin betina = gynaecium (putik/pistilum), yang terdiri dari: carpela, stylus, stigma (Raven et al., 2005).

Secara keseluruhan, mempelajari morfologi tumbuhan memberikan wawasan mendalam mengenai cara berbagai bagian tumbuhan bekerja sama untuk mendukung kehidupan mereka. Penelitian dalam bidang morfologi tumbuhan melibatkan observasi yang cermat terhadap setiap bagian tumbuhan dan bagaimana bagian-bagian tersebut beradaptasi dengan lingkungannya. Pengetahuan ini tidak hanya memperdalam pemahaman kita tentang kehidupan tumbuhan, tetapi juga memiliki aplikasi yang luas, mulai dari pemuliaan tanaman hingga pengelolaan sumber daya alam dan pertanian yang berkelanjutan. Untuk memperdalam pemahaman tentang morfologi tumbuhan, penting untuk mengeksplorasi lebih jauh bagaimana setiap bagian tumbuhan tidak hanya memiliki fungsi individual, tetapi juga berinteraksi dalam konteks ekosistemnya (Fahn, 1990).

3.2 Anatomi Tanaman

Anatomi tanaman adalah kajian mengenai struktur internal tanaman dan cara bagian-bagian tersebut bekerja sama untuk mendukung kehidupan tanaman secara keseluruhan. Ilmu ini mencakup pemahaman tentang bentuk dan fungsi berbagai organ tanaman serta siklus hidupnya. Pengetahuan tentang anatomi tanaman sangat penting dalam ilmu botani dan juga memiliki berbagai aplikasi praktis di bidang pertanian, hortikultura, dan bioteknologi. Struktur internal tanaman terdiri dari berbagai jenis jaringan, masing-masing dengan peran khusus dalam pertumbuhan, perkembangan, dan respons terhadap lingkungan (Evert & Eichhorn, 2013).

Sel adalah unit struktural terkecil dari semua makhluk hidup, termasuk tumbuhan. Semua tumbuhan terdiri dari sel, yang biasanya berukuran antara 10-100 μm , meskipun beberapa tumbuhan memiliki sel yang lebih besar. Robert Hooke, seorang ilmuwan Inggris, adalah yang pertama kali mengidentifikasi sel pada tahun 1665 dengan mengamati gabus dari pohon oak menggunakan mikroskop primitif, dan menemukan ruang kosong di dalam gabus yang ia sebut sebagai sel. Kemudian, pada akhir abad ke-17 dan pertengahan abad ke-18, Matthias Schleiden, Theodor Schwann, dan Rudolf Virchow mengembangkan teori sel yang menyatakan bahwa sel adalah unit terkecil dari semua makhluk hidup (Bowes, 2008).

Sel tumbuhan memiliki struktur yang berbeda dibandingkan dengan sel hewan, bakteri, dan jamur. Sel tumbuhan memiliki organel khusus seperti dinding sel, vakuola, dan kloroplas yang tidak ditemukan pada organisme lainnya. Dinding sel memberikan bentuk kaku dan tetap pada sel tumbuhan, dan dibedakan menjadi dinding sel primer yang terbuat dari selulosa, serta dinding sel sekunder yang terbuat dari lignin. Vakuola berfungsi untuk mempertahankan tekanan turgor di dalam sel,

sementara kloroplas adalah tempat berlangsungnya fotosintesis dan memberikan warna hijau pada daun serta organ tumbuhan lainnya (Taiz & Zeiger, 2010).

Tumbuhan memiliki berbagai jenis jaringan, termasuk jaringan epidermis, jaringan dasar, dan jaringan pengangkut. Jaringan epidermis terletak di lapisan luar setiap organ tumbuhan dan umumnya terdiri dari satu lapisan, meskipun pada beberapa tumbuhan bisa terdiri dari banyak lapisan. Jaringan epidermis berfungsi sebagai pelindung dan perantara dengan lingkungan luar. Pada daun, jaringan epidermis mengatur pertukaran gas seperti oksigen dan karbon dioksida. Tumbuhan xerofit yang hidup di daerah kering sering memiliki lapisan kutikula yang berlapis lilin untuk mengurangi penguapan. Jaringan epidermis umumnya pipih, rapat, dan transparan, sehingga tidak menghalangi masuknya cahaya ke jaringan palisade. Stomata, yang merupakan modifikasi jaringan epidermis pada daun, dibangun oleh sel penjaga yang mengatur pembukaan dan penutupan stomata (Raven et al., 2005).

Jaringan dasar tumbuhan meliputi parenkim, kolenkim, dan sklerenkim. Jaringan parenkim adalah jaringan dasar yang paling umum ditemukan di berbagai tumbuhan, dengan dinding sel yang tipis, noktah sederhana, dan bentuk isodiametris atau polihedron. Jaringan parenkim berfungsi untuk fotosintesis, penyimpanan cadangan makanan, dan penyimpanan air. Di daun, jaringan parenkim terdiri dari jaringan palisade dan jaringan spons. Jaringan parenkim yang mengandung banyak rongga disebut aerenkim dan sering ditemukan pada tumbuhan air. Jaringan parenkim pada umbi, seperti kentang dan singkong, berfungsi untuk menyimpan cadangan makanan. Jaringan kolenkim memiliki dinding sel yang lebih tebal dan elastis dibandingkan dengan parenkim, berfungsi memberikan dukungan struktural, dan sering ditemukan pada batang tumbuhan herba. Jaringan

sklerenkim memiliki dinding sel yang sangat tebal dan keras, memberikan dukungan mekanik yang kuat (Evert & Eichhorn, 2013).

Jaringan pengangkut, yang terdiri dari xilem dan floem, berfungsi untuk transportasi air, mineral, dan hasil fotosintesis. Xilem mengangkut air dan garam mineral dari tanah ke seluruh bagian tumbuhan dan terdiri dari berbagai sel, seperti trakeid, trakea, serat, dan parenkim. Floem, di sisi lain, mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan dan terdiri dari sel tapis, pembuluh tapis, sel pengiring, dan parenkim tapis. Struktur jaringan floem dapat bervariasi antara jenis tumbuhan, dengan tumbuhan paku hanya memiliki sel tapis dan parenkim, sedangkan tumbuhan berbiji terbuka memiliki pembuluh tapis, sel pengiring, parenkim floem, dan serat. Floem pada tumbuhan berbunga (Angiospermae) adalah yang paling kompleks, dengan tambahan sel seperti sel batu dan pembuluh lateks. Kambium, jaringan yang terletak di antara kulit batang, bertanggung jawab untuk pertumbuhan sekunder batang dan akar, meningkatkan ketebalan batang dan akar (Bowes, 2008).

Jaringan dasar adalah jaringan yang mengisi ruang antara epidermis dan jaringan pengangkut dalam tanaman. Jaringan ini terdiri dari berbagai jenis sel dengan fungsi yang berbeda, seperti penyimpanan cadangan makanan, dukungan struktural, dan fotosintesis. Tiga jenis utama jaringan dasar adalah parenkim, kolenkim, dan sklerenkim. Parenkim adalah jenis jaringan dasar yang paling umum, dengan sel-sel yang memiliki dinding sel tipis dan ukuran besar. Sel parenkim berperan dalam penyimpanan makanan dan air serta fotosintesis pada daun dan organ hijau lainnya. Kolenkim memberikan dukungan fleksibel pada organ tanaman yang sedang tumbuh, seperti batang muda dan daun. Sel-sel kolenkim memiliki dinding sel yang lebih tebal di sudut-sudutnya, sehingga memberikan dukungan mekanik tanpa

menghambat pertumbuhan. Sklerenkim memberikan dukungan struktural yang lebih kuat dengan sel-sel yang memiliki dinding sel yang sangat tebal dan lignifikasi, memberikan kekuatan pada bagian-bagian tanaman yang tidak tumbuh, seperti kulit biji dan serat batang (Evert & Eichhorn, 2013).

Dalam struktur internal daun, ada beberapa lapisan utama yang berperan dalam fotosintesis. Daun terdiri dari epidermis atas dan bawah, jaringan palisade, dan jaringan spons. Epidermis atas adalah lapisan luar yang melindungi daun dan mengandung stomata untuk pertukaran gas. Di bawah epidermis atas terdapat jaringan palisade, yang mengandung sel-sel fotosintetik yang efisien dalam menangkap cahaya matahari. Jaringan spons, terletak di bawah jaringan palisade, memiliki sel-sel dengan ruang interseluler besar yang memfasilitasi pertukaran gas dan pergerakan hasil fotosintesis (Raven et al., 2005).

Secara keseluruhan, anatomi tanaman menjelaskan bagaimana struktur internal tanaman mendukung fungsinya dan beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Setiap jenis jaringan dan struktur memiliki peran khusus dalam mendukung kehidupan tanaman, dari pertumbuhan hingga reproduksi. Pengetahuan tentang anatomi tanaman memungkinkan para ilmuwan dan praktisi untuk memahami cara kerja tanaman secara mendalam dan mengaplikasikan informasi ini dalam bidang seperti pertanian, pengelolaan tanaman, dan konservasi lingkungan (Taiz & Zeiger, 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Beck, C. B. (2010). *An introduction to plant structure and development: Plant anatomy for the twenty-first century* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Esau, K. (1977). *Anatomy of seed plants* (2nd ed.). Wiley.
- Fahn, A. (1990). *Plant anatomy* (4th ed.). Pergamon Press.
- Mauseth, J. D. (2009). *Botany: An introduction to plant biology* (4th ed.). Jones & Bartlett Publishers.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants* (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Spjut, R. W. (1994). *A systematic treatment of fruit types*. Memoirs of the New York Botanical Garden.
- Esau, K. (1977). *Anatomy of seed plants* (2nd ed.). Wiley.
- Fahn, A. (1990). *Plant anatomy* (4th ed.). Pergamon Press.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants* (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Bowes, B. G. (2008). *Plant structure: A colour guide* (2nd ed.). Manson Publishing.
- Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2013). *Raven biology of plants* (8th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). *Biology of plants* (7th ed.). W.H. Freeman and Company.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.

BAB 4

FISIOLOGI TANAMAN

4.1. Pengertian Fisiologi Tanaman

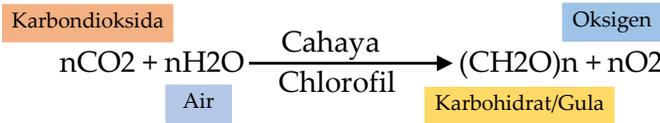
Pengertian fisiologi tanaman dalam perspektif dasar-dasar agronomi adalah pemahaman tentang respon tanaman untuk melakukan fungsi dan proses-proses metabolisme internal dalam berinteraksi dengan lingkungan mikro dan makro di sekitarnya dan diimplementasikan melalui kegiatan-kegiatan percobaan dan penelitian dalam bidang agronomi. Fisiologi tanaman adalah ilmu yang mempelajari tentang proses biokimia, fisik, dan biologis yang terjadi dalam tanaman, termasuk fotosintesis, respirasi, transpirasi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman serta beberapa proses yang berkaitan dengan proses fisiologi tanaman.

Dalam konteks agronomi, pengetahuan fisiologi tanaman sangat penting bagi ilmuwan, mahasiswa dan petani untuk menjadi dasar bagi pengelolaan yang efektif dalam praktik pertanian, memahami bagaimana meningkatkan produksi dan produktivitas tanaman yang efisien dan berkelanjutan. Pemahaman mendalam tentang fisiologi tanaman memberikan wawasan yang diperlukan untuk mengoptimalkan hasil dan kualitas tanaman, lebih tahan terhadap cekaman dan dampak negatif lingkungan serta mengembangkan teknik budidaya yang lebih efektif, dalam mengelola hama dan penyakit dengan lebih baik.

4.2. Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses penggunaan energi cahaya untuk mensintesis molekul karbohidrat ((CH_2O) $_n$) dari karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) melalui serangkaian reaksi yang kompleks. Proses fotosintesis berlangsung dalam dua tahap: pertama,

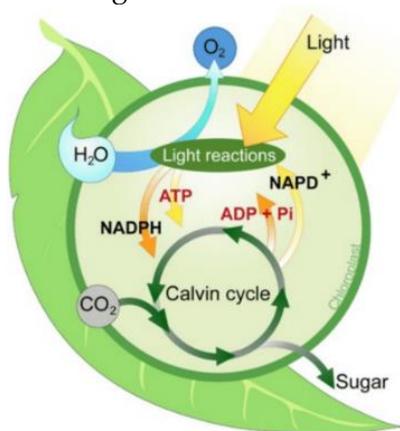
konversi energi cahaya menjadi energi kimia, bergantung pada cahaya, kedua penggunaan energi kimia untuk memfiksasi karbon guna produksi molekul karbohidrat, tahap ini tidak bergantung pada cahaya ini disebut siklus Calvin (Töpke & Dronkers, 2021). Fotosintesis terjadi di kloroplas dan melibatkan reaksi terang dan reaksi gelap. Proses keseluruhannya secara sederhana dapat digambarkan sebagai:



dimana molekul karbohidrat $(\text{CH}_2\text{O})_n$ merupakan monosakarida, contoh: gliseraldehida jika $n=3$, glukosa atau fruktosa jika $n=6$.

Reaksi Terang

Reaksi terang terjadi dalam membran tilakoid. Klorofil dan pigmen lainnya, seperti beta-karoten dalam membran tilakoid terlibat dalam reaksi terang.



Gambar 1. Reaksi Terang Fotosintesis

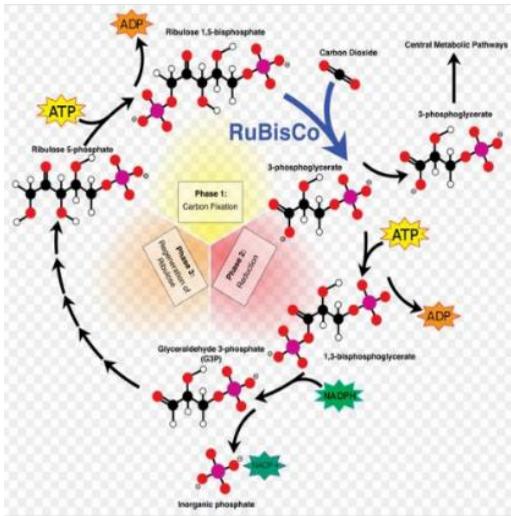
(Villarreal for CK-12 Foundation, <https://www.coastalwiki.org/wiki/Photosynthesis>)

Pigmen klorofil disimpan di dalam organel kloroplas dalam tanaman, merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis, (lihat Gambar 1). Pada bakteri fotosintetik, protein penggumpul cahaya untuk proses fotosintesis tertanam dalam membran sel.

Reaksi terang fotosintesis merupakan tahap pertama, menggunakan pigmen seperti klorofil untuk menyerap cahaya, yang memungkinkan pelepasan elektron dari molekul air. Proses ini menghasilkan gas oksigen sebagai produk sampingan. Elektron berfungsi untuk mereduksi dua molekul ADP dan NADP menjadi ATP dan NADPH (Töpke & Dronkers, 2021). ATP (Adenosin Trifosfat) merupakan senyawa yang dimanfaatkan oleh sel untuk penyimpanan energi, dan terbuat dari adenin nukleotida yang terikat pada gula ribosa dan terikat dengan tiga gugus fosfat (Biologi-sel.com, 2013). ATP dan NADPH menyediakan energi kimia yang digunakan pada tahap kedua, siklus Calvin. Tahap kedua ini enzim RuBisCO menangkap CO₂ untuk produksi gula karbon (Töpke & Dronkers, 2021).

Reaksi Gelap

Reaksi gelap adalah langkah kedua fotosintesis yang melibatkan penggunaan energi dari reaksi terang untuk konversi karbondioksida dan air menjadi glukosa dan oksigen, yang terjadi di stroma dalam kloroplas. Reaksi ini tidak membutuhkan cahaya secara langsung, tapi tetap membutuhkan energi dari ATP dan NADPH yang dihasilkan dari reaksi terang.

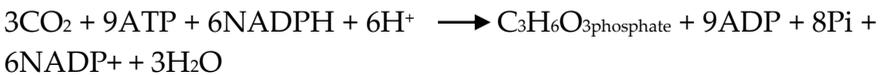


Gambar 2. Reaksi Gelap Fotosintesis (Siklus Calvin)

(Mike Jones, <https://www.coastalwiki.org/wiki/Photosynthesis>)

Reaksi gelap melibatkan siklus Calvin dimana CO₂ diubah menjadi Gula dengan bantuan energi dari ATP. Siklus Calvin secara skematis ditunjukkan pada Gambar 2. Produk awal fotosintesis adalah senyawa gliseraldehida 3-fosfat (tiga karbon). Dua carbon di antaranya bergabung bersama-sama membentuk molekul karbohidrat atau glukosa.

Siklus Calvin melibatkan molekul Adenosine Triphosphate (ATP), NADPH (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) dan Ribulose-1,5-Bisphosphate (RuBP). Enzim Ribulosa-1,5-Bisphosphate Karboksilase-Oksigenase (RuBisCo) mengkatalisis karboksilasi RuBP. Siklus Calvin dapat dinyatakan dengan persamaan:



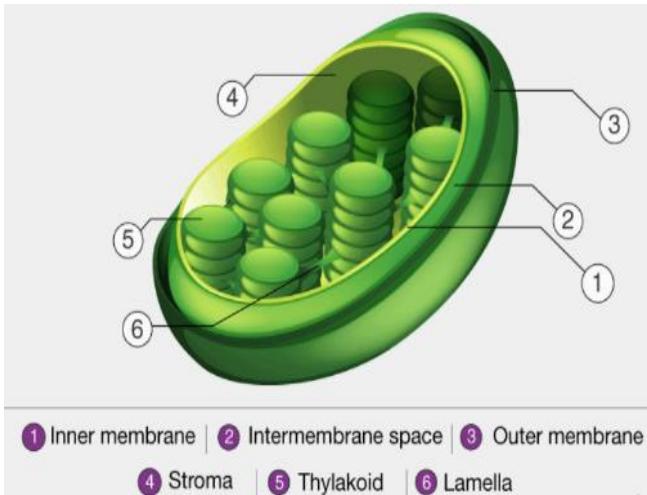
dimana Pi = fosfat anorganik (Töpke & Dronkers, 2021).

Fungsi Fotosintesis

Proses fotosintesis adalah proses penting bagi tanaman karena O_2 yang dihasilkan dapat 1) menyerap nutrisi yang berguna untuk pembentukan jaringan baru dan menunjang tanaman semakin besar (Himawati, 2018). Fotosintesis mempengaruhi berbagai proses metabolik dalam tumbuhan, seperti pembentukan daun, batang, akar, dan buah. Klorofil berperan untuk 2) mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia, selama proses fotosintesis tanaman berlangsung. Fotosintesis membutuhkan karbondioksida sebagai bahan energi, dan 3) mengkonversinya menjadi glukosa dan oksigen (Amelia *et al.*, 2024). Selama proses fotosintesis berlangsung, secara aktif karbondioksida diikat oleh enzim RuBisCo di dalam stroma kloroplas, untuk memenuhi kebutuhan karbon selama proses fotosintesis (Nio Song & Banyo, 2011).

Struktur dan fungsi kloroplas

Fotosintesis terjadi di dalam kloroplas (Gambar 3). Kloroplas adalah organel metabolik dan sensorik unik yang dijumpai pada tumbuhan, alga, dan beberapa protista (Roston *et al.*, 2018). Kloroplas mengandung klorofil (pigmen fotosintesis) yang bertugas menangkap cahaya matahari dan mengkonversinya menjadi energi dan memisahkan O_2 dari H_2O . Kloroplas memiliki struktur, salah satunya adalah membran fotosintesis (tilakoid), terutama terdiri dari galaktolipid yang memungkinkan terjadinya fotosintesis (Rocha *et al.*, 2018, Kobayashi *et al.*, 2017).



Gambar 3. Struktur Kloroplas Tanaman
(<https://byjus.com/biology/chloroplasts>)

Struktur kloroplas lainnya terdiri dari bagian-bagian berikut:

1. Lapisan tipis membran, terdiri dari membran bilayer lipid luar dan dalam yang memisahkan stroma dari ruang antar membran.
2. Ruang antar membran dalam dan luar
3. Sistem Tilakoid (Lamel), klorofil ditemukan di membran tilakoid. Tilakoid tersusun dalam kumpulan grana dan setiap granum berisi sekitar 10 – 20 tilakoid.
4. Stroma, cairan tidak berwarna, kaya protein yang menempati membran bagian dalam kloroplas.
5. Grana adalah tumpukan lamela pada plastida, tempat berlangsungnya konversi energi cahaya menjadi energi kimia.
6. Klorofil adalah pigmen hijau yang berperan penting dalam proses fotosintesis.

Fungsi kloroplas, antara lain: 1) Mensintesis karbohidrat (gula) melalui proses fotosintesis. 2) Menyerap energi cahaya dan

mengubahnya menjadi energi kimia. 3) Klorofil menyerap energi matahari untuk digunakan dalam sintesis makanan (gula) 4) Menghasilkan NADPH dan oksigen molekuler (O_2) melalui fotolisis air. 5) Menghasilkan Adenosin Trifosfat (ATP) melalui proses fotosintesis. 6) Karbon dioksida (CO_2) yang diserap dari udara digunakan untuk menghasilkan karbon dan gula selama reaksi gelap fotosintesis (Siklus Calvin) (<https://byjus.com/biology/chloroplasts/>diakses 15 Agustus 2024)

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis

1. Cahaya matahari, energi cahaya digunakan untuk mengaktifkan reaksi kimia yang mengubah CO_2 dan H_2O menjadi $C_6H_{12}O_6$ dan O_2 . Spektrum cahaya merah efektif diserap oleh klorofil, sehingga sangat penting dalam proses fotosintesis (Harahap, 2017).
2. Karbondioksida (CO_2), adalah bahan baku utama fotosintesis. Ketersediaan CO_2 yang cukup memungkinkan tumbuhan untuk melakukan fotosintesis secara efisien (Saputri, *et al.*, 2022).
3. Suhu, suhu optimum untuk fotosintesis berkisar antara 20-30°C, karena suhu di atas atau di bawah rentang ini dapat mengganggu aktivitas enzim dan struktur kloroplas (Saputri, *et al.*, 2022).
4. Air, digunakan dalam reaksi fotosintesis untuk menghasilkan glukosa dan oksigen. Ketersediaan air yang cukup mempengaruhi efisiensi fotosintesis lebih tinggi (Maulana *et al.*, 2023).

4.3. Respirasi

Respirasi merupakan proses penguraian senyawa organik (karbohidrat, protein, dan lemak) menjadi senyawa anorganik. Respirasi adalah proses oksidatif yang dikendalikan oleh tiga

jalur: 1) glikolisis, 2) siklus asam trikarboksilat (TCA), dan 3) fosforilasi oksidatif (OXPHOS). Metabolisme respirasi pada tumbuhan, melibatkan jalur metabolisme dengan cara menghindari kondisi ketersediaan energi yang rendah, tanaman menunjukkan fleksibilitas yang besar untuk melewati tahap konvensional glikolisis, siklus TCA, dan OXPHOS (Toro & Pinto, 2015). Respirasi pada tanaman dapat dibedakan menjadi dua mekanisme utama yaitu respirasi aerobik dan anaerobik.

Perbedaan Respirasi Aerob dan Anaerob

Respirasi sebagai proses oksidatif bahan organik yang terjadi di dalam sel dapat berlangsung secara aerobik (butuh O₂) maupun anaerobik (tanpa O₂). Beberapa perbedaan respirasi aerob dan anaerob pada Tabel 1 sebagai berikut: (Andhi *et al.*, 2011).

Tabel 1. Perbedaan Respirasi Aerob dan Anaerob

		Jenis Respirasi	
		Aerob	Anerob
1	Penggunaan Oksigen	Memerlukan O ₂ untuk menghasilkan energi ATP	Tidak memerlukan O ₂ untuk menghasilkan energi ATP
2	Proses	Terjadi di dalam mitokondria dan melibatkan rantai transport elektron dan fosforilasi oksidatif untuk menghasilkan ATP	Terjadi di dalam sitoplasma dan melibatkan glikolisis untuk menghasilkan ATP
3	Hasil	ATP, NADH, dan FADH ₂ , serta O ₂ (produk sampingan)	ATP, NADH, dan laktat (glikolisis), serta tidak menghasilkan O ₂
4	Energi yang digunakan	lebih tinggi, menggunakan O ₂ untuk menghasilkan ATP melalui fosforilasi oksidatif	lebih rendah karena tidak menggunakan oksigen untuk menghasilkan ATP

Faktor yang Berpengaruh Terhadap Respirasi

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju respirasi (Handoko & Rizki, 2020) sebagai berikut:

- a. Ketersediaan substrat, peningkatan laju respirasi meningkat disebabkan jumlah substrat yang cukup banyak.
- b. Ketersediaan oksigen yang berbeda, pengaruhnya akan berbeda bagi setiap spesies, bahkan antara organ pada tanaman yang sama.
- c. Suhu, laju reaksi respirasi akan meningkat untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10°C , hal ini tergantung jenis spesies.
- d. Jenis dan umur tanaman, tanaman muda menunjukkan laju respirasi yang lebih tinggi dibandingkan tanaman yang tua (Salisbury *et al.*, 1995).

Fungsi Respirasi

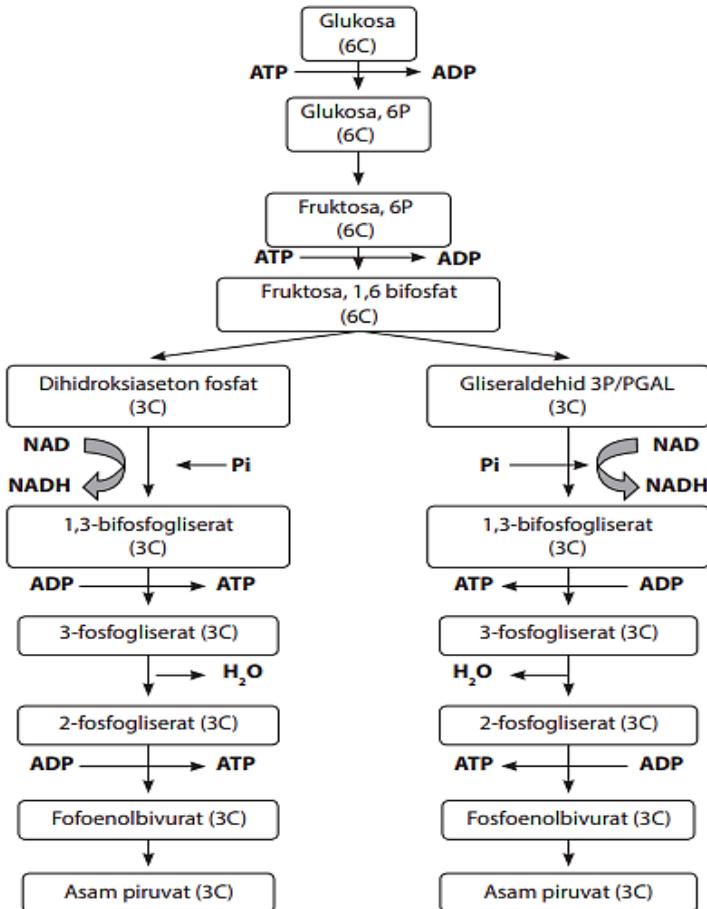
Fungsi respirasi antara lain: 1) Penghasil energi, berbentuk ATP untuk proses metabolisme tanaman dan menjalankan berbagai fungsi. 2) Pengaturan proses metabolik dalam sel, seperti pembentukan glukosa, protein, dan lemak. 3) Penghasil karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) sebagai produk sampingan (Novitasari, 2017).

Tahapan Proses Respirasi Seluler

Proses respirasi terbagi atas tiga tahap: (1) pemecahan polisakarida menjadi gula sederhana, (2) Dekarboksidasi oksidatif gula menjadi asam piruvat dan (3) transformasi piruvat dan asam-asam organik menjadi CO_2 , H_2O dan energi secara aerobik. Proses pemecahan ini melibatkan protein dan lemak berperan sebagai substrat (Paramita, 2010). Secara detail dijelaskan sebagai berikut:

Glikolisis

Jalur metabolik utama dalam proses respirasi seluler adalah glikolisis (Gambar 4). Glikolisis adalah proses yang terjadi di sitoplasma dan tidak memerlukan oksigen. Jalur glikolisis sebagai berikut: (Sereliciouz & Atinirmala, 2020)



Gambar 4. Jalur Glikolisis
(www.quipper.com/id/blog/)

- Glukosa diubah menjadi glukosa, 6-fosfat menggunakan energi yang berasal dari ADP yang terbentuk dari ATP.
- Selanjutnya terbentuk fruktosa, 6-fosfat.
- Fruktosa, 6-fosfat diubah menjadi fruktosa, 1,6-bifosfat menggunakan energi ADP.
- Fruktosa, 1,6-bifosfat (6C) terpisah menjadi dua jalur 1 molekul gliseraldehid 3-fosfat, PGAL(3C) dan 1 molekul dihidroksiaseton fosfat, DHAP(3C). DHAP berubah menjadi 2 molekul PGAL.
- Molekul PGAL dengan mengikat Pi (fosfat organik) diubah menjadi 1,3-bifosfoglisarat. 1 PGAL menghasilkan 1 NADH.
- 1,3-bifosfoglisarat di-ubah ke 3-fosfo-glisarat, menghasilkan energi dalam bentuk ATP.
- 3-fosfoglisarat kemudian diubah menjadi 2-fosfoglisarat.
- 2-fosfoglisarat yang terbentuk diubah lagi menjadi senyawa fosfoenol-piruvat (PEP), dan menghasilkan asam piruvat, dan ATP.

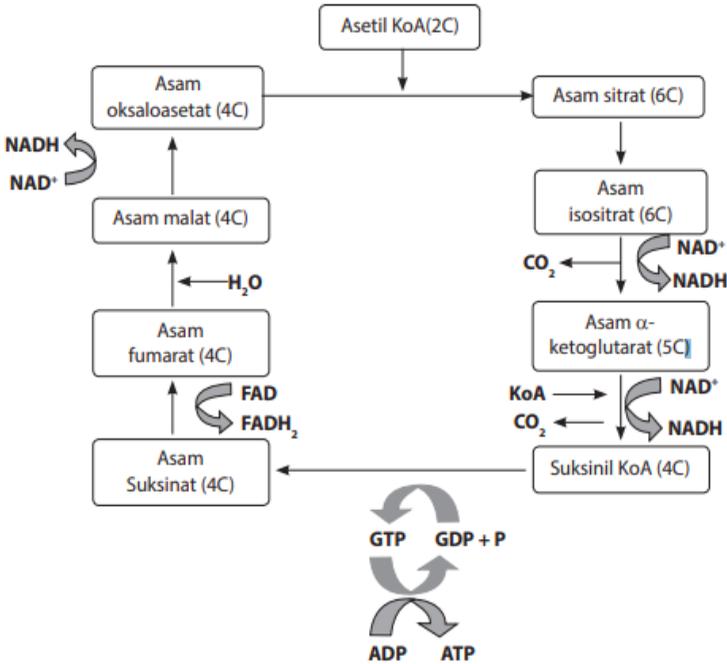
Adenosin trifosfat (ATP) dan 2 molekul NADH merupakan sumber energi yang akan digunakan untuk transpor aktif menuju mitokondria dan akan ditransfer ke tahap transport elektron.

Fungsi Glikolisis adalah 1) Penghasil energi, ATP dan NADH melalui fosforilasi oksidatif. 2) Penghasil enzim Asetil-KoA, yang akan digunakan dalam siklus Krebs atau biasa disebut, siklus asam sitrat dan sintesis asam lemak. 3) Penghasil atau mensintesis glikogen.

Siklus Krebs

Siklus Krebs adalah jalur metabolik utama yang terjadi di dalam mitokondria seluler (Gambar 5). Siklus ini berperan penting dalam proses respirasi seluler, terutama dalam menghasilkan

energi ATP melalui fosforilasi oksidatif. Tahapan Siklus Krebs sebagai berikut: (Sereliciouz & Atinirmala, 2020)



Gambar 5. Siklus Krebs
(www.quipper.com/id/blog/)

- Reaksi Asetil KoA (2C) dengan asam oksaloasetat (4C) membentuk asam sitrat (6C) (siklus asam sitrat).
- Asam sitrat dikonversi menjadi asam isositrat (6C).
- Selanjutnya diubah menjadi asam α-ketoglutarat (5C), dan pelepasan CO₂ dan pembentukan NADH.
- Asam α-ketoglutarat (5C) diubah menjadi suksinil koA (4C), juga disertai pembentukan NADH dan pelepasan CO₂.

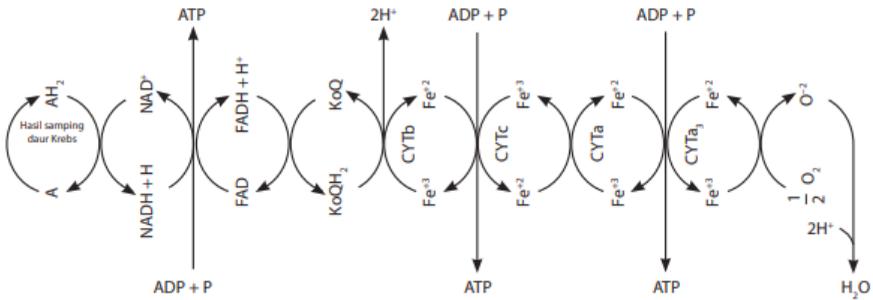
- Suksinil koA kemudian diubah menjadi asam suksinat (4C), menghasilkan ATP yang berasal dari GTP yang terbentuk sebelumnya.
- Selanjutnya menjadi Asam fumarat dan terbentuk FADH₂.
- Reaksi asam fumarat dengan air berubah menjadi asam malat (4C).
- Asam oksaloasetat terbentuk kembali dari Asam malat disertai terbentuknya NADH.

Fungsi Siklus Krebs antara lain 1) Penghasil energi ATP melalui fosforilasi oksidatif. 2) Penghasil NADH dan FADH₂ yang digunakan dalam tahap berikutnya (rantai transport elektron) untuk menghasilkan ATP. 3) Pengaturan proses metabolik dalam sel, terutama dalam menghasilkan energi dari karbohidrat.

Rantai Transport Elektron

Transport elektron dan pembentukan ATP merupakan langkah terakhir proses respirasi aerob, yang berlangsung di dalam krista (membran dalam mitokondria) (Gambar 6).

NADH dan FADH₂ sebagai hasil tahapan ke-2 (Siklus Krebs) terlibat dalam reaksi reduksi dan oksida. Beberapa senyawa yang terlibat dalam transpor elektron antara lain koenzim Q, sitokrom (A, A₃, B, C) dan O₂ (Sereliciouz dan Atinirmala, 2020). Pembentukan rantai transpor elektron sebagai berikut:



Gambar 6. Rantai Transpor Elektron

(www.quipper.com/id/blog/)

- Proses oksidasi NADH menghasilkan elektron berenergi tinggi, yang kemudian ditransfer ke koenzim Q. Elektron berenergi tinggi tersebut digunakan untuk membentuk ATP yang terbentuk dari penggabungan ADP dan fosfat anorganik.
- Reaksi oksidasi oleh sitokrom B, menyebabkan pelepasan elektron dan 2 ion H⁺ dari koenzim Q.
- Reaksi oksidasi pada Sitokrom B oleh sitokrom C, membentuk ATP dari gabungan ADP dan fosfat anorganik, yang mempunyai energi lebih tinggi.
- Terjadi reaksi reduksi pada Sitokrom A oleh sitokrom C.
- Kemudian terjadi reaksi oksidasi lagi pada Sitokrom A3 oleh Sitokrom A dan membentuk energi ATP, sebagai hasil penyatuan ADP dan fosfat anorganik.
- Atom O₂ mengoksidasi Sitokrom A3, yang akhirnya akan membentuk molekul H₂O.

Fungsi Rantai Transport Elektron antara lain: 1) Penghasil energi berbentuk ATP melalui fosforilasi oksidatif. 2) Penghasil oksigen sebagai produk sampingan. 3) Pengaturan proses metabolik dalam sel, terutama dalam menghasilkan energi dari karbohidrat.

4.4. Transpirasi

Transpirasi adalah proses penguapan air dalam tanaman melalui stomata dan bagian lainnya (kutikula) ke udara (Lakitan, 2012; Eskundari *et al.*, 2021). Pengertian lain adalah transpirasi terjadi akibat masuknya H₂O melalui stomata, celah lentisel dan kutikula pada siang hari (Silaen, 2021). Transpirasi berperan dalam proses adaptasi dan regulasi pada kondisi berbeda antara eksternal dan internal, terkait dengan kontrol suhu dalam jaringan tanaman, transportasi dan penyerapan air, garam mineral dan turgiditas sel, (Wang, 2015; Da & Daningsih, 2021).

Kesesuaian laju transpirasi dan jumlah stomata menyebabkan daun dapat menjaga keseimbangan penggunaan air yang berhubungan dengan laju fotosintesis dan penguapan selama radiasi cahaya matahari baik tinggi maupun rendah (Murphy *et al.*, 2012).

Fungsi Transpirasi, berperan penting dalam menjaga keseimbangan air dalam tanaman dan memungkinkan tanaman melakukan fotosintesis yang lebih tinggi dan efisiensi. Fungsi lainnya sebagai berikut:

1. Mengontrol suhu tanaman dengan menghembuskan panas dari dalam tanaman ke atmosfer.
2. Membantu menstabilkan dan menjaga tekanan udara dalam tanaman.
3. Membantu mendistribusikan oksigen sebagai produk sampingan dari fotosintesis.
4. Mengontrol dan menjaga keseimbangan air dalam tanaman, sehingga tanaman tidak kekurangan air atau kelebihan air.

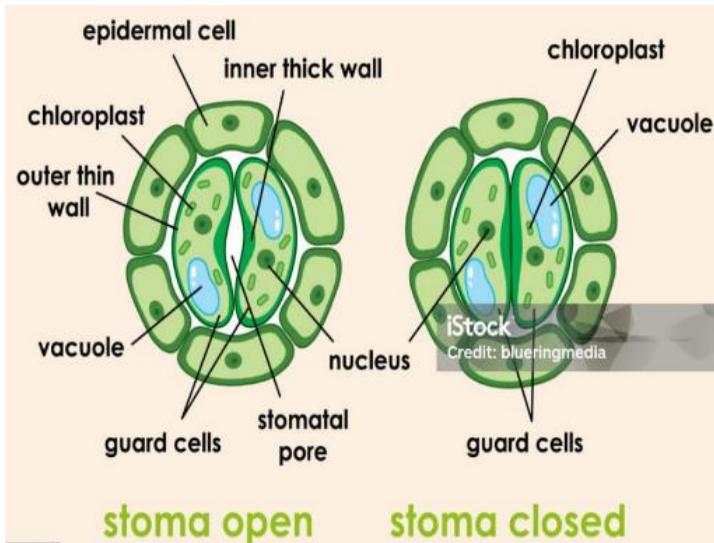
Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi transpirasi

Laju transpirasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tanaman, antara lain:

1. Cahaya matahari, mempengaruhi peningkatan suhu tanaman dan mempercepat proses fotosintesis. Panjang gelombang cahaya merah efektif diserap oleh klorofil.
2. Suhu optimum (berkisar 20 – 30°C), mempengaruhi aktivitas enzim, membuka dan menutupnya stomata dan struktur kloroplas.
3. Kelembaban udara, mengatur keseimbangan air dalam tanaman. Kelembaban yang tinggi dapat mengurangi transpirasi, sedangkan kelembaban yang rendah dapat meningkatkan transpirasi.
4. Kecepatan angin, menghilangkan lapisan udara yang menghalangi penyebaran air dari tanaman ke atmosfer sehingga dapat meningkatkan laju transpirasi dengan.

Stomata: Struktur dan Fungsi

Stomata merupakan lubang kecil yang berada di antara sel-sel epidermis batang dan daun, yang berperan penting dalam mengatur hilangnya air pada proses transpirasi maupun penyerapan CO₂ selama fotosintesis berlangsung (Sukmawati *et al.*, 2015). Stomata diapit oleh struktur sel penutup (*Guard cell*) yang terletak disisi kanan dan kiri porus (Gambar 7). Struktur stomata juga memiliki sel-sel spesifik seperti sel tetangga (*subsidiary cell*) yang akan mengelilingi sel penutup. Sel kunci, memiliki bentuk yang unik dan berfungsi sebagai pengatur buka-tutup stomata (Sutrian, 2011). Tanaman dikotil mempunyai sel-sel penutup berbentuk seperti ginjal sedangkan pada monokotil sel-sel penutup bentuknya bervariasi. Sel terlihat sempit di bagian tengah dan ujungnya membesar (Haryanti, 2010).



Gambar 7. Struktur Stomata
(<https://www.istockphoto.com/>)

Fungsi Stomata adalah 1) Membantu penyerapan air melalui akar dan didistribusikan ke seluruh bagian tanaman selama terjadinya proses transpirasi. 2) Penyerapan karbondioksida (CO_2) dan pelepasan oksigen (O_2) dalam proses fotosintesis.

Mekanisme Buka-Tutup Stomata

Membuka dan menutupnya stomata tergantung pada tekanan turgor dan sel-sel penjaga, konsentrasi karbondioksida, cahaya matahari dan hormon asam absisat (Kufa dan Burkhardt, 2011). Jika tekanan turgor pada sel penjaga meningkat menyebabkan stomata terbuka dan pada saat tekanan turgor berkurang maka stomata menutup (Taluta *et al.*, 2017). Peran sel kunci terhadap menutup dan membukanya stomata, antara lain:

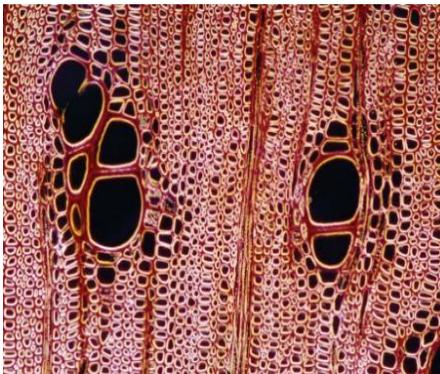
1. Kondisi normal, sel kunci berada dalam posisi tertutup, sehingga stomata menutup.

2. Kondisi membuka, ketika kelembaban udara rendah atau suhu tinggi, sel kunci mengubah bentuknya untuk membuka stomata, sehingga CO₂ dapat diserap dan O₂ dapat dilepaskan.
3. Kondisi tutup, ketika kelembaban udara tinggi atau suhu rendah, sel kunci mengubah bentuknya untuk menutup stomata, sehingga air dapat disimpan dan energi dapat dihemat.

4.5. Pengangkutan Air dan Nutrisi

Mekanisme Sistem Xilem

Sistem xilem terdiri dari dua jenis xilem, yaitu xilem primer yang terbentuk pada saat tanaman masih muda dan xilem sekunder terbentuk pada saat tanaman sudah dewasa (Gambar 8). Peran masing-masing xilem adalah translokasi air dan nutrisi dari akar ke daun dan peningkatan kapasitas transportasinya.



Gambar 8. Pembulu xilem
(<https://www.britannica.com/science/xylem>)

Mekanisme pengangkutan air berhubungan dengan dua jenis sel yakni tracheid yang berfungsi sebagai saluran air dan sekaligus mencegah lewatnya gelembung udara yang merusak dan vessel

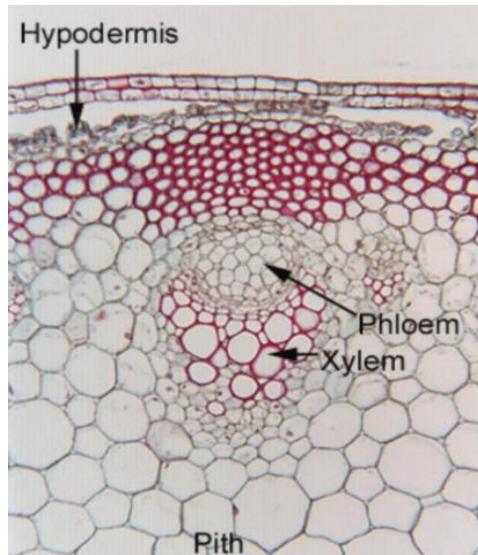
yang berfungsi sebagai saluran utama air. Faktor-faktor kelembaban udara, suhu, dan kecepatan angin, serta hormon seperti asam absisat (ABA) berperan dalam mengatur konduktansi stomata dan mengontrol pengangkutan air.

Mekanisme pengangkutan air melalui xilem sebagai berikut:

1. Penyerapan air melalui akar dipengaruhi oleh proses osmosis dan translokasi air dari jaringan akar ke xilem.
2. Melalui tekanan osmotik dan tekanan hidrostatis, pergerakan air melalui xilem diangkut ke daun.

Mekanisme Sistem Floem

Floem adalah salah satu dari dua jaringan yang membentuk sistem transportasi jarak jauh tumbuhan. Floem primer berasal dari daerah prokambial pada meristem, sedangkan floem sekunder berasal dari kambium pembuluh (Gambar 9).



Gambar 9. Pembuluh Phloem
(<https://www.kbg.fpvai.ukf.s/>)

Floem terdiri atas sel pengangkut (*sieve tube elements*) dan sel penunjang (*companion cells*). Sel pengangkut memiliki dinding yang tipis dan berfungsi sebagai saluran utama untuk mengangkut nutrisi. Sel penunjang berfungsi untuk mengatur aliran nutrisi dan mengontrol konduktansi floem.

Elemen saringan adalah sel panjang dengan protoplasma terbatas dan dinding ujung ditembus oleh pori-pori besar. Tersusun secara vertikal dan seri membentuk tabung saringan yang memungkinkan pergerakan air dan berasimilasi dengan resistansi rendah. Sel berkomunikasi melalui plasmodesmata khusus untuk membentuk kompleks sel pendamping. Sel pendamping memfasilitasi pemuatan asimilasi di jaringan sumber dan pembongkaran di jaringan penyerap (Thompson & Wang, 2017).

Mekanisme Pengangkutan Nutrisi

Sel pengangkut pada floem berfungsi untuk mengangkut nutrisi melalui proses difusi dan osmosis, sedangkan sel penunjang berfungsi untuk mengatur aliran nutrisi dan mengontrol konduktansi floem, mekanisme pengangkutan lewat phloem, terjadi melalui 1) penyerapan nutrisi oleh daun melalui proses fotosintesis dan transpirasi. 2) Nutrisi yang diserap kemudian diangkut ke bagian lain tanaman melalui floem.

Fungsi floem antara lain 1) Mengangkut asimilat dan mineral di sekitar tanaman, 2) Pengangkutan peptida, protein, dan RNA jarak jauh, 3) Mentranslokasi air dan nutrisi dari jaringan sumber (*source*), daun ke daerah penggunaan atau disimpan (*sink*), akar dan batang (Thompson & Wang, 2017). Fungsi lainnya adalah: 4) berperan dalam pengangkutan nutrisi seperti glukosa, amino asam. Pengaturan proses metabolik dalam tanaman, seperti sintesis protein dan karbohidrat. Nutrisi yang diangkut oleh floem digunakan untuk menghasilkan energi dalam bentuk ATP.

Tekanan Akar dan Kapilaritas

Tekanan akar adalah tekanan yang diperlukan untuk mengangkut air dari akar ke daun melalui sistem xilem saat transpirasi tidak banyak. Tekanan ini dihasilkan oleh perbedaan tekanan hidrostatik antara akar dan daun.

Tekanan akar memerlukan energi metabolik, yang mendorong penyerapan (aktif) ion mineral dari tanah ke dalam xilem akar. Potensial osmotik larutan xilem menurun menyebabkan penyerapan pasif air dari tanah ke dalam xilem. Saat tekanan meningkat di dalam xilem akibat air serapan osmotik, larutan xilem dipaksa naik ke daun oleh aliran massa. Tekanan akar dapat mengakibatkan hilangnya air dari daun selama masa transpirasi rendah (gutasi). Tekanan akar maksimum yang berkembang pada tanaman biasanya kurang dari 0,2 MPa, dan gaya untuk pergerakan air ini relatif kecil dibandingkan dengan tarikan transpirasi (Lopez & Barclay, 2017)

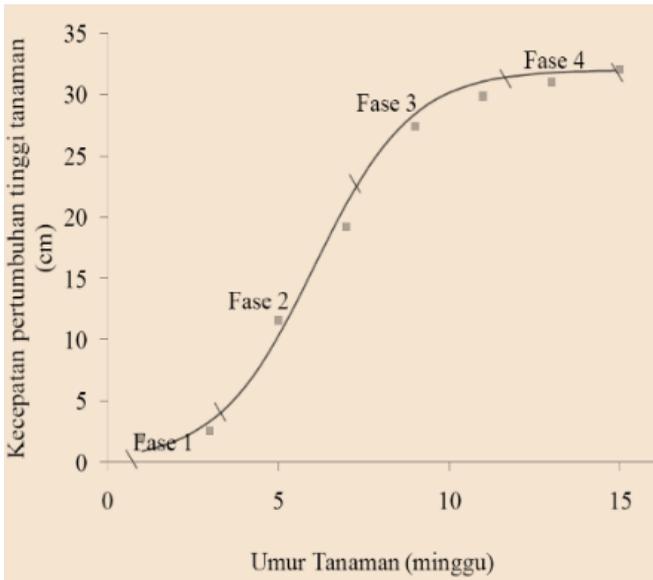
Tekanan akar dan kapilaritas berperan dalam proses translokasi air dan nutrisi dari akar, batang ke daun. Kapilaritas adalah sifat yang memungkinkan air untuk mengalir melalui tabung-tabung tipis, seperti tracheid dan vessel dalam sistem xilem, tanpa kehilangan banyak energi. Kelembaban udara rendah dan suhu tinggi dapat meningkatkan tekanan akar dan kapilaritas untuk mengangkut lebih banyak air.

4.6. Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

Pertumbuhan adalah proses kenaikan berat kering dan volume yang bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) disebabkan adanya bertambahnya substansi dan perubahan bentuk. Perkembangan adalah proses perubahan bersifat kualitatif menuju kedewasaan dan diferensiasi sel, melibatkan perubahan dalam struktur dan fungsi sel, jaringan, dan organ tumbuhan sampai pembentukan bunga dan buah (Latunra *et al.*, 2014).

Fase Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh fase yang terjadi dalam sel yakni fase pembelahan, pembesaran ukuran dan diferensiasi serta spesialisasi sel. Secara umum pertumbuhan tanaman membentuk kurva sigmoid yang terbagi dalam empat fase pertumbuhan (Gambar 10), yaitu:



Gambar 10. Kurva Sigmoid Pertumbuhan Tanaman
(Paiman, 2022).

1. Steady fase (awal), sangat lambat
2. Logarithmic fase (Juvenil), pertumbuhan sangat cepat
3. Decreasing growth rate fase (maturasi), terjadi penurunan kecepatan pertumbuhan
4. Senescence, merupakan fase stagnan dan menuju kematian

Fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman meliputi tahapan yang penting antara lain:

1. Perkecambahan, tahap awal pertumbuhan tanaman adalah aktivasi embrio dalam biji, yang kemudian berkecambah dan bertumbuh menjadi tanaman muda.
2. Pertumbuhan vegetatif, tahap pertumbuhan tanaman yang berfokus pada pembentukan jaringan dan morfologi tanaman berupa organ-organ vegetatif daun, batang, dan akar.
3. Pembungaan, adalah tahap pertumbuhan tanaman yang berfokus pada pembentukan dan perkembangan bunga sebagai bagian dari siklus hidupnya.
4. Pembuahan, tahap perkembangan bunga (mekar) menjadi buah yang didahului oleh proses fertilisasi yang menghasilkan biji.

Hormon Pertumbuhan Tanaman

Hormon tumbuhan (fitohormon) adalah sekumpulan senyawa organik alami dan buatan bukan hara, yang dalam kadar sangat kecil mampu mendorong, menghambat, atau mengubah laju pertumbuhan dan perkembangan, serta pergerakan (taksis) tumbuhan (Rimando, 1983).

Setiap hormon memiliki peran yang spesifik dan lokasi produksi dan kerja berbeda dalam mengatur berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Fitohormon berperan mengubah ekspresi gen, aktivitas enzim, dan sifat membran. Konsentrasi hormon yang seimbang lebih dapat mengontrol pertumbuhan dan perkembangan tanaman daripada peran hormon secara mandiri. Distribusi hormon tumbuhan ke tempat aktifnya terjadi melalui sistem pembuluh, sitoplasma atau ruang antarsel.

Ada lima kelompok utama hormon tumbuhan, tiga kelompok pertama cenderung bersifat positif bagi pertumbuhan pada konsentrasi fisiologis yaitu auksin, sitokinin dan giberelin (GA).

Kelompok Etilena (etena) bersifat mendukung dan menghambat pertumbuhan, sedangkan asam absisat (ABA) berperan sebagai inhibitor pertumbuhan (Ensiklopedia Dunia, 2024).

Adapun peran jenis fitohormon sebagai berikut:

1. Auksin, mempengaruhi pembesaran sel, pembentukan tunas dan menumbuhkan akar dan bersama dengan sitokinin mengatur pertumbuhan batang, akar dan buah sekaligus mengubah batang menjadi bunga (Osborne *et al.*, 2005).
2. Sitokinin, mengatur pertumbuhan dan pembelahan sel, dan mempunyai pengaruh kuat terhadap hasil biji-bijian. Secara kimiawi, sitokinin adalah turunan adenin dan merupakan kelompok hormon paling kompleks dan beragam yang mempengaruhi fisiologi tanaman (Sharma *et al.*, 2022).
3. Giberelin, mengatur pertumbuhan batang dan pembungaan. Diproduksi oleh semua tumbuhan berpembuluh dan spesies jamur dan bakteri yang berasosiasi dengan tumbuhan sebagai patogen atau simbiosis (Hedden, 2020). Disintesis dalam plastida dan kemudian dimodifikasi dalam retikulum endoplasma dan sitosol. GA₃ (asam giberelat 3) adalah senyawa pertama yang ditemukan memiliki efek fisiologi pertumbuhan besar pada tanaman yang terserang fungi *Gibberella fujikuroi* (Ensiklopedia Dunia, 2024).
4. Etilen, berpengaruh pada pertumbuhan dan penuaan daun, bunga, dan buah melibatkan beberapa jaringan genetik, bersama dengan hormon lain, mengintegrasikan sinyal yang berbeda dan memungkinkan timbulnya kondisi yang menguntungkan untuk tahap perkembangan, keberhasilan reproduksi, dan umur panjang organ. Perubahan kadar etilen, persepsinya, dan persilangan hormonal secara langsung atau tidak langsung mengatur umur tanaman (Iqbal *et al.*, 2017).
5. Asam Absisat (ABA), berperan dalam pematangan benih, dormansi benih, respon adaptif terhadap cekaman biotik dan

abiotik, serta absisi daun dan tunas serta pertumbuhan, pematangan, dan penuaan buah. Pada fase pemasakan buah, interaksi antara ABA dan etilen terdapat pada buah klimakterik dan non klimakterik (Gupta *et al.*, 2022). Produksi ABA dalam jumlah besar pada saat tanaman mengalami cekaman, seperti: kekeringan, salinitas tinggi, dan suhu ekstrim.

Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Pertumbuhan

Beberapa faktor fisik lingkungan yang penting dalam mengatur pertumbuhan tanaman.

1. Cahaya matahari, berpengaruh pada proses fotosintesis (pengaruh utama) dan sekundernya mempengaruhi aspek morfogenetik (Zannah *et al.*, 2023).
2. Suhu lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman berkisar antara 20-30°C. Suhu mengubah fungsi enzim di dalam daun dan memicu perubahan pada tahap pertumbuhan perkembangan yang berkaitan erat dengan hasil panen. Lebih jauh lagi, jumlah uap air di udara pada saturasi meningkat secara eksponensial dengan suhu, meningkatkan defisit tekanan uap (VPD), dan mendorong lebih banyak potensi kehilangan air dari tanaman (Timm *et al.*, 2019, Zhu *et al.*, 2018, Grossiord *et al.*, 2020)
3. Ketersediaan Air, berkurangnya air mempengaruhi turgor sel dan perkembangan sel, sintesis protein dan dinding sel, sehingga berdampak pada tanaman menjadi abnormal (kerdil). Kelebihan air dapat membuat tanaman tidak optimal melakukan pertukaran gas dan penyerapan nutrisi yang dibutuhkan. Selain itu tanaman lebih mudah terserang penyakit tanaman.
4. Nutrisi, Ketersediaan nutrisi yang rendah dapat menyebabkan defisiensi nutrisi dan mengganggu proses metabolisme.

4.7. Fotoperiodisme dan Vernalisasi

Fotoperiodisme adalah proses dasar yang memungkinkan tanaman untuk beradaptasi dengan lingkungan dan mengatur perilakunya (mengaktifkan atau menonaktifkan proses fotosintesis, pembungaan, dan pembuahan) berdasarkan panjang hari.

Berdasarkan respon tanaman pada fotoperiodisme, tanaman digolongkan menjadi 3 (tiga): (1) tanaman hari panjang (*long day plants*) yaitu tanaman yang hanya berbunga bila mengalami hari lebih panjang dari pada fotoperiode kritisnya, (2) tanaman hari pendek (*short day plants*), hanya berbunga bila mengalami panjang hari lebih pendek dari pada fotoperiode kritisnya dan (3) tanaman hari netral (*neutral day plants*), tanaman berbunga tidak dipengaruhi oleh fotoperiodisme (Salisbury & Ross, 1992). Panjang hari kritis adalah inisiasi pembungaan masih terjadi pada panjang hari maksimum (tanaman hari pendek) dan minimum (tanaman hari panjang).

Vernalisasi adalah proses tanaman menggunakan periode dingin yang berkepanjangan – musim dingin – untuk mendorong pembungaan (Amasino, 2005). Vernalisasi merupakan perlakuan suhu rendah untuk merangsang hormon pembungaan sehingga masa berbunga lebih cepat. Vernalisasi mampu mempengaruhi dan meningkatkan jumlah persentase pembungaan (Howard, 2012). Rangsangan dari vernalisasi diteruskan oleh suatu hormon vernalin yang berubah menjadi giberelin melalui suatu proses aerob yang penting bagi proses pembungaan tanaman (Finnegan & Dennis, 2007).

4.8. Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Lingkungan

Proses adaptasi tanaman terhadap cekaman diantaranya dilakukan melalui mekanisme, yaitu keluar (*escape*), menghindar (*avoidance*), toleran (*tolerance*) dan pemulihan (*recovery*) (Darmadi *et*

al., 2021). Proses adaptasi fisiologis terhadap cekaman lingkungan, antar lain:

1. **Adaptasi Fisiologis Terhadap Kekeringan** dilakukan dengan cara meningkatkan tekanan osmotik, perubahan laju respirasi dan transpirasi tanaman, penurunan konduktansi stomata, penutupan stomata, akumulasi prolin sebagai osmoregulator (Basu, 2016), serta peningkatan produksi antioksidan untuk melindungi tanaman dari kerusakan oksidatif.
2. **Adaptasi Fisiologis Terhadap Salinitas**, dengan mempertahankan potensial air internal di bawah potensial air tanah dengan cara pengaturan tekanan turgor dan penyerapan air (Tester & Davenport 2003). Akumulasi senyawa yang mempunyai berat molekul rendah agar terjadi keseimbangan ion dalam vakuola dan tidak mempengaruhi reaksi biokimia dalam sel, (Zhifang & Loescher 2003). Kompartementasi ion pada jaringan yang berbeda untuk menjaga fungsi metabolisme (Zhu 2003), serta mengakumulasi glisin betain pada konsentrasi tinggi, dan yang sensitif akan mengakumulasi glisin betain dalam tingkat rendah (Rhodes *et al.* 1989).
3. **Adaptasi Fisiologis Terhadap Suhu Ekstrem**, dilakukan dengan mempertahankan fluiditas membran, meningkatkan kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal dan memodulasi metabolisme (Zhang *et al.*, 2005). Peningkatan produksi prolin, yang berpengaruh terhadap potensi osmotik daun yang lebih negatif dan produksi pigmen xantofil pelindung yang lebih tinggi (Dobra *et al.*, 2010), dan ketersediaan karbohidrat yang tinggi (glukosa dan sukrosa) selama stres panas (Liu & Huang, 2000)
4. **Adaptasi Fisiologis Terhadap Cekaman Hara**, eksudasi Asam Organik dalam mekanisme eksklusi Al dari ujung akar (Kochian *et al.* 2004) dan kemampuan menaikkan pH rizosfer, serta eksudasi fosfor organik oleh akar tanaman sebagai mekanisme

sekunder. Detoksifikasi Al oleh fosfor disebabkan oleh terbentuknya kompleks Al-P (Delhaize *et al.* 1993). Adaptasi cekaman kekahatan P terdiri atas mekanisme internal dicapai melalui kemampuan tanaman untuk (a) memanfaatkan P dengan efisien dan (b) memobilisasi P dari jaringan yang tidak lagi aktif bermetabolisme (Soepandie, 2013). Mekanisme eksternal meliputi: (1) kemampuan tanaman untuk membentuk sistem perakaran yang lebih panjang, (2) kemampuan meningkatkan luas serapan hara dengan pertumbuhan rambut-rambut akar, (3) kemampuan melarutkan P tidak tersedia melalui perubahan pH atau sekresi senyawa pengkelat, (4) kemampuan menggunakan P organik melalui sekresi phosphatase, dan (5) kemampuan dalam bersimbiosis dengan mikorhiza (Peng & Ismail 2004).

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar Handoko dan Anisa Mahda Rizki, 2020. Buku Ajar Fisiologi Tumbuhan. Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung
- Andi Ilham Latunra, Elis Tambaru, Muhtadin Asnady Salam, Eddyman Waliman Ferial, 2014. Buku Ajar Struktur dan Perkembangan Tumbuhan. Jurusan Biologi Universitas Hasanuddin Makassar
- Da Costa Y O dan , Entin Daningsih E., 2022. Ketebalan Daun dan Laju Transpirasi pada Tanaman Hias Dikotil. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. Januari 2022. Vol.27 (1) 40-47. DOI: 10.18343/jipi.27.1.40
- Darmadi, D., Junaedi, A., Sopandie, D., Supijatno, Lubis, I. Homma, K., 2021. Karakteristik Morfofisiologi dan Mekanisme Adaptasi Berbagai Tipe Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Hemat Air dan Toleran Kekeringan. IPB University Scientific Repository, Bogor. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/109532>
- Delhaize E, Ryan PR, Randall PJ., 1993. Aluminum Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). II. Aluminum-Stimulated Excretion Of Malic Acid From Root Apices. Plant Physiology. 103:695–702.
- Didy Sopandie, 2013. Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika. PT Penerbit IPB Press, Kampus IPB Taman Kencana Bogor, Cetakan Pertama: Desember 2013
- Dobra J., Motyka V., Dobrev P., Malbeck J., Prasil IT, Haisel D., 2010. Perbandingan Respons Hormonal Terhadap Panas,

- Kekeringan, dan Stres Gabungan pada Tanaman Tembakau Dengan Kandungan Prolin Tinggi. *J. Plant Physiol.* 167 1360–1370 10.1016/j.jplph.2010.05.013
- Edubio, 2015, Reaksi-Gelap-Fotosintesis-Siklus-Calvin. <https://www.edubio.info/2015/05/reaksi-gelap-fotosintesis-siklus-calvin.html>
- Ensiklopedia Dunia, 2024. Hormon Tumbuhan, https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Hormon_tumbuhan#cite_note-2. Universitas Sains dan Teknologi Komputer.
- Eskundari, R. D., Hanik, N. R., dan Harsono, S., 2021. Physiological Aspects Identification of the *Aloe Vera* Grown at Sukoharjo and Wonogiri District, Central Java. *Eksakta. Berkala Ilmiah Bidang MIPA*. Volume 22 No 02 2021. DOI: 10.24036/eksakta/ vol22-iss2/238
- FB Lopez , GF Barclay, 2017. Anatomi dan Fisiologi Tumbuhan, Tekanan Akar. *Farmakognosi*, ScienceDirect
- Finnegan, EJ., ES Dennis, 2007. Vernalization-Induced Trimethylation of Histone H3 Lysine 27 at Flc is Not Maintained in Mitotically Quiescent Cells. *Curr Biol* 17, 1978–1983.
- Fiqih Wahyudi Maulana, Sukal Minsas, Ikha Safitri, 2023. Laju Pertumbuhan Rumput Laut *Euclima cottonii* Berdasarkan Perbedaan Kedalaman dengan Metode Keramba Jaring Apung di Perairan Pulau Lemukutan. Published in *Jurnal Laut Khatulistiwa*, Corpus ID: 262198048, DOI:10.26418/lkuntan.v6i2.58126. <https://www.semanticscholar.org/aper/63cdc77f0e09a6310ed6fbbbe16b6db056574b434>
- Grossiord C, Buckley TN, Cernusak LA, Novick KA, Poulter B, Siegwolf RTW, Sperry JS, McDowell NG. 2020. *Plant*

- Responses To Rising Vapor Pressure Deficit. *New Phytologist* 226, 1550–1566
- Guillermo Toro, and Manuel Pinto, 2015. . Plant Respiration Under Low Oxygen. *Chilean J. Agriculture. Res.* vol.75 supl.1 Chillán ago. versión Online ISSN 0718-5839. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000300007>
- Gupta K., Shabir H. Wani, Ali R., Milan S., Kajal S., Shubhra G., Deepu P., Sonia G., Sapna G., Vaclav H., Aalok S., Ahmed M. E., Hosam O. E., Abdullah A., and Marian B., 2022. Abscisic Acid: Role in Fruit Development and Ripening. *Front Plant Sci.* 2022; 13: 817500. Published online 2022 May 10. doi: 10.3389/fpls.2022.817500
- Harahap P., 2017. Pengaruh Perbedaan Intensitas Cahaya Warna Merah Terhadap Laju Pertumbuhan *Tetraselmis chunii* Dilihat Dari Kepadatan Sel Pada Skala In Vitro. *Physics, Corpus ID: 194946184*, Citations: <https://www.semantic-scholar.org/paper/cd95a4599cdcc8eb14e86e9b4c5a0bd1ff7221d1>
- Haryanti, S., 2010. Jumlah dan Distribusi Stomata pada Daun Beberapa Spesies Tanaman Dikotil dan Monokotil. *Buletin Anatomi dan Fisiologi.* Vol. XVIII, No. 2
- Hildatul Zannah, Salfa Zahroh A, Evie R, Sudarti, Trapsilo P., 2023. Peran Cahaya Matahari dalam Proses Fotosintesis Tumbuhan The Role Of Sunlight In The Photosynthesis Process Of Plants. *Cermin: Jurnal Penelitian P-ISSN 2580 – 7781 E-ISSN 2615 – 3238 204 Volume 7 Nomor 1, Januari – Juli 2023*
- Himawati, A. W., 2018. Contents Welcoming Speech Organizing Committee List of Articles in Proceeding I, II, III, IV, V. *Journal Seminar Kimia*, 3.

- Howard, D. D., 2012. Vernalisasi dan Aplikasi Praktisnya. Dalam A. B. Editor (Ed.), *Perkembangan Terkini dalam Biologi Tumbuhan*. Penerbit Biologi Modern.
- Ikrima Amelia, Nafalia Anastasia, Nazla Khirziya Rizka, Aisya Shafa Maulida, Ilham Bagus, Rizky Maulida, 2024. Analisis Pengaruh NaHCO_3 Terhadap Kecepatan Proses Fotosintesis. *Jurnal Analis* Vol. 3 No. 1 (Juni 2024) <http://jurnalilmiah.org/journal/index.php/Analis>. Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Semarang
- Joana Rocha, Milène Nitenberg, Agnès Girard-Egrot, Juliette Jouhet, Eric Maréchal, Maryse A. Block, Christelle Breton, 2018. Do Galactolipid Synthases Play a Key Role in the Biogenesis of Chloroplast Membranes of Higher Plants? *Front. Plant Sci.*, 08 February 2018, Sec. Plant Physiology. Volume 9 - 2018 | <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00126>
- Katrien Töpke; Job Dronkers, 2021. Photosynthesis. Available from <http://www.coastalwiki.org/wiki/Photosynthesis> [accessed on 14-08-2024]
- Kochian LV, Hoekenga OA, and Piner MA., 2004. How do Crop Plants Tolerate Acid Soils? Mechanisms of Aluminum Tolerance and Phosphorous Efficiency. *Annu. Rev. Plant Biology*. 55:459–93.
- Koichi Kobayashi, Kaichiro Endo, Hajime Wada, 2017. Specific Distribution of Phosphatidylglycerol to Photosystem Complexes in the Thylakoid Membrane. *Front. Plant Science*, 20 November 2017, Sec. Plant Cell Biology, Volume 8 – 2017, <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01991>
- Kufa T, Burkhardt J., 2011. Stomatal Characteristics in Arabica Coffee Germplasm Accession Under Contrasting

- Environments at Jimma, Southwestern Ethiopia. *International Journal of Botany*. 7: 63-72.
- Lakitan, 2012. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Rajawali Press, Jakarta
- Liu X., Huang B., 2000. Akumulasi Karbohidrat dalam Kaitannya Dengan Toleransi Terhadap Stres Panas pada Dua Kultivar Rumput Teki Merambat. *Journal American Society for Horticultural Science* . 125 442–447
- Madeline R. Murphy, C, Gregory J. Jordan, Timothy J. And Brodribb, 2012. Acclimation To Humidity Modifies The Link Between Leaf Size and The Density of Veins and Stomata. *Plant, Cell and Environment* (2014) 37, 124–131. DOI: 10.1111/pce.12136
- Natasya Hersila, Moralita Chatri M.P, I.M.Si, 2023. Senyawa Metabolit Sekunder (Tanin) pada Tanaman sebagai Antifungi. DOI:10.31317/embrio.v15i1.882. Corpus ID: 259873772. Published in *Jurnal Embrio* 30 April 2023
- Nio Song, A., dan Banyo, Y., 2011. Konsentrasi Klorofil Daun Sebagai Indikator Kekurangan Air Pada Tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*, 15(1), 166. <https://doi.org/10.35799/jis.11.2.2011.202>
- Nita N, Kasmawati Kasmawati, Andi Ermita Sari, 2023. Pemanfaatan Metabolit Sekunder Alami dari Tanaman Lontarak Herbs Plants Di Desa Masago. DOI:10.61142/psnpm.v1.71, Corpus ID: 266928327 Published in *Prosiding Seminar Nasional Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat*, December 2023
- Noushina Iqbal, Nafees A. Khan, Antonio Ferrante, Alice Trivellini, Alessandra Francini, and M. I. R. Khan, 2017.

- Ethylene Role in Plant Growth, Development and Senescence: Interaction with Other Phytohormones. *Front Plant Sci.* 2017; 8: 475. Published online 2017 Apr 4. doi: 10.3389/fpls.2017.00475
- Nova Vivi Clara Saputri, Donna Karolina Br Surbakti, S. Anggraeni, 2022. Desain Eksperimen Fotosintesis Pengaruh Suhu Bermuatan Literasi Kuantitatif. Published in *Jurnal Basicedu*. DOI:10.31004/basicedu.v6i4.3482, Corpus ID: 251365272, Citations: <https://www.semanticscholar.org/paper/7bb7a6d0287eca6fdd8491787d80ec50c586720e>
- Nurmala Pangaribuan, C. Hidayat, Yati Setiati Rachmawati, 2022. Perbaikan Fisik Tanah Pasca Galian Batuan dan Pertumbuhan Cabai Rawit Dengan Pemberian Bahan Organik Dan Mikroorganisme Tanah. DOI:10.15575/17966, Corpus ID: 251236028. Published in *Jurnal Agro* 31 July 2022
- Osborne, Daphne J.; McManus, Michael T. (2005). *Hormones, Signals and Target Cells in Plant Development (Developmental and Cell Biology Series)*. Internet Archive. Cambridge: Cambridge University Press. hlm. 158. ISBN 978-0-521-33076-3.
- Paiman, 2022. *Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman*. Cetakan Pertama, Penerbit UPY Press Universitas PGRI Yogyakarta, Yogyakarta
- Paramita, Octavianti, 2010. Pengaruh Memar terhadap Perubahan Pola Respirasi, Produksi Etilen dan Jaringan Buah Mangga (*Mangifera Indica L.*) Var Gedong Gincu pada Berbagai Suhu Penyimpanan. *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol.2, No.1.

- Peng S, Ismail AM., 2004. Physiological Basis of Yield and Environmental Adaptation in Rice. In Nguyen HT and Blum A (eds). *Physiology and Biotechnology Integration for Plant Breeding*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Peter Hedden, 2020. *Physiol Sel Tumbuhan, Biosintesis Giberelin*. 2020 Nov; 61(11): 1832–1849. Diterbitkan secara daring pada 11 Juli 2020. doi: 10.1093/pcp/pcaa092
- Rahmah Novitasari, 2017. Proses Respirasi Seluler pada Tumbuhan. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta*
- Rebecca L. Roston, Juliette Jouhet, Fei Yu, and Hongbo Gao, 2018. Structure and Function of Chloroplasts. *Front Plant Sci*. 2018; 9:1656. Published online 2018 Nov 14. doi: 10.3389/fpls.2018.01656
- Rhodes D., P.J. Rich, D.G. Brunk, G.C. Ju, J.C. Rhodes, M. H. Pauly and L. A. Hansen, 1989. Development of Two Isogenic Sweet Corn Hybrids Differing for Glycine Betaine Content. *Plant Physiol*. 91:1112–1121
- Richard M Amasino, 2005. Vernalization And Flowering Time. *Current Opinion in Biotechnology*, Volume 16, Issue 2, April 2005, Pages 154-158. Cite <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.004>
- Rimando T.J. 1983. Chemical control of plant growth. Dalam Bautista O.K. *et al*. *Introduction to Tropical Agriculture*. Department of Horticulture, College of Agriculture, University of The Phillipines at Los Baños. Manila. Hal. 266.
- RUDN University, 2019. Biologist Develops New Model for Analyzing Photosynthesis In Vivo, December 12, 2019.

Biologist Develops New Model for Analyzing Photosynthesis
In Vivo (phys.org)

Salisbury, F.B. and Ross C.W., 1992. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Fort Collins, Colorado

Salisbury, Frank B, dan Cleon W. Ross, 1995. *Fisiologi tumbuhan Jilid 1*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Sandhya Sharma, Parampreet Kaur, and Kishor Gaikwad, 2022. Role of Cytokinins in Seed Development in Pulses And Oilseed Crops: Current Status and Future Perspective. *Front Genet.* 2022; 13: 940660. Published online 2022 Oct 12. doi: 10.3389/fgene.2022.940660

Sereliciouz dan Atinirmala, 2020. *Respirasi Aerob*. <https://www.quipper.com/id/blog/mapel/biologi/respirasi-aerob-biologi-kelas-12/>

Silaen S., 2021. Pengaruh Transpirasi Tumbuhan dan Komponen Didalamnya. *Agroprimatech* Vol. 5 No. 1. DOI: <https://Doi.org/10.34012/Agroprimatech.v5i1>

Sukmawati T, Fitrihidajati H, Indah NK., 2015. Penyerapan Karbon Dioksida pada Tanaman Hutan Kota di Surabaya. *LenteraBio*. 4 (1): 108–111.

Supratim Basu, Venkategowda Ramegowda, Anuj Kumar, and Andy Pereiraa, 2016. *Plant Adaptation to Drought Stress*. *F1000Research*, 2016; 5: F1000 Faculty Rev-1554. Published online 2016 Jun 30. doi: 10.12688/f1000research.7678.1

Sutrian, Y., 2011. *Pengantar Anatomi Tumbuh-Tumbuhan (Tentang Sel dan Jaringan)*. Jakarta: Rineka Cipta

Taluta HE, Rampea HL, Rumondora M.J., 2017. Pengukuran Panjang dan Lebar Pori Stomata Daun Beberapa Varietas

- Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). Jurnal MIPA Unsrat Online. 6 (2): 1-5. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo> [Diakses 08 Oktober 2024].
- Tatag Chariesma Andhi.W.A1, Aziz Purwantoro, dan Prapto Yudono, 2011. Studi Aspek Fisiologis dan Biokimia Perkecambahan Benih Jagung (*Zea mays* L.) pada Umur Penyimpanan Benih yang Berbeda. Study on Physiology and Biochemistry Aspects of Corn (*Zea mays* L.) Seed Germination in Different Seed Storage periode <https://journal.ugm.ac.id/jbp/article/viewFile/1362/1154> (Akses 15 Agustus 2024)
- Tester, M. and R. Davenport, 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91:503527.
- Thompson, G.A., H.L. Wang, 2017. Plant Physiology and Development in Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition) ScienceDirect
- Timm S, Woitschach F, Heise C, Hagemann M, Bauwe H. 2019. Faster Removal of 2-Phosphoglycolate Through Photorespiration Improves Abiotic Stress Tolerance of *Arabidopsis*. *Plants* 8, 563
- Wang, Q., dan Jin, J., 2015. Leaf Transpiration of Drought Tolerant Plant Can Be Captured by Hyperspectral Reflectance Using PLSR Analysis. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(1), 3037. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer1634-008>
- Wiwit Yuni Astuti, Dyah Weny Respatie, 2022. Kajian Senyawa Metabolit Sekunder pada Mentimun (*Cucumis sativus* L.), DOI:10.22146/veg.60886, Corpus ID: 249352762, Published in *Vegetalika* 25 May 2022
- Yudiawati, Effi, dan Eva Kurniawati, 2019. Pengaruh Berbagai Macam Mikroorganisme Lokal (Mol) Terhadap Pertumbuhan

- Tanaman Tomat (*Lycopersicum Esculentum* Mill) Varietas Permata Pada Tanah Ultisol. DOI:10.36355/JSA.V4I1.241 Corpus ID: 213868060, Published in Jurnal Sains Agro 1 April 2019 Physics
- Yusrinawati Yusrinawati, I. M. Sudantha, 2016. Peranan Fungi Mikoriza Arbuskular (Fma) Dalam Meningkatkan Ketahanan Kekeringan, Ketahanan Penyakit, Pertumbuhan dan Hasil Pada Tanaman Bawang, Corpus ID 186267822, Published 22 December 2016
- Zhang M., Barg R., Yin M., Gueta-Dahan Y., Leikin-Frenkel A., Salts Y., 2005. Desaturasi Asam Lemak Termulasi Melalui Ekspresi Berlebih Dari Dua Desaturase Omega-3 yang Berbeda Mengubah Toleransi Terhadap Berbagai Stres Abiotik Secara Berbeda Pada Sel dan Tanaman Tembakau Transgenik. Plant J. 44 361–371 10.1111/j.1365313X.2005.02536.x
- Zhifang G. and W.H. Loescher, 2003. Expression of A Celery Mannose 6-Phosphate Reductase In Arabidopsis Thaliana Enhances Salt Tolerance And Induces Biosynthesis Of Both Mannitol And A Glucosyl-Mannitol Dimmer. Plant Cell Environ. 26:275–283.
- Zhu P, Jin Z, Zhuang Q, Ciais P, Bernacchi C, Wang X, Makowski D, Lobell D. 2018. The Important But Weakening Maize Yield Benefit Of Grain Filling Prolongation in the US Midwest. Global Change Biology 24, 4718–4730.
- ZhuJ. K., 2003. Regulation of Ion Homeostasis Under Salt Stress. Curr. Opin. in Plant Biol. 6:441–445.

BAB 5

GENETIKA DAN PEMULIAAN TANAMAN

5.1. Sejarah Singkat Genetika dan Pemuliaan Tanaman

Genetika merupakan salah satu cabang biologi yang fokus pada studi tentang pewarisan sifat-sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya. Dasar-dasar genetika pertama kali diperkenalkan oleh Gregor Mendel pada abad ke-19 melalui penelitian yang ia lakukan pada tanaman kacang polong. Dalam eksperimennya, Mendel mengamati pola pewarisan sifat-sifat tertentu dan merumuskan prinsip-prinsip dasar genetika yang kini dikenal sebagai Hukum Pewarisan Mendel (Griffit, et al., 2008). Prinsip-prinsip ini mencakup hukum segregasi dan hukum assortasi independen, yang menjelaskan bagaimana alel dari gen yang berbeda dipisahkan dan digabungkan selama proses pembentukan gamet. Penemuan DNA sebagai materi genetik oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953 menjadi tonggak penting dalam sejarah genetika. Kemajuan dalam teknik-teknik molekuler seperti Reaksi Rantai Polimerase (PCR), sekuensing DNA, dan rekayasa genetika telah membuka peluang yang sangat besar dalam penelitian genetika. Dengan teknik-teknik ini, para ilmuwan dapat mengidentifikasi, mengisolasi, dan memanipulasi gen dengan tingkat presisi yang tinggi (Acquaah, 2012).

Pemuliaan tanaman merupakan disiplin ilmu dan seni yang berfokus pada modifikasi genetik tanaman untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan. Kegiatan ini telah dilakukan sejak manusia mulai bertani ribuan tahun yang lalu (Hartl and Jones, 2009). Pada masa-masa awal, pemuliaan dilakukan dengan cara sederhana, yaitu memilih tanaman dengan sifat unggul seperti

produksi tinggi, ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta kemampuan beradaptasi dengan lingkungan tertentu (Fehr, 1987; Singh, 2021).

Dengan berkembangnya ilmu genetika, berbagai metode pemuliaan tanaman telah diciptakan. Teknik hibridisasi, misalnya, memungkinkan pemulia untuk menggabungkan sifat unggul dari beberapa varietas tanaman. Teknik mutasi digunakan untuk menghasilkan variasi genetik baru yang bisa dimanfaatkan dalam program pemuliaan. Selain itu, kemajuan dalam teknologi rekayasa genetika dan bioteknologi tanaman telah membuka peluang baru dalam pemuliaan, termasuk pengembangan tanaman transgenik dengan sifat unggul yang tidak mungkin dicapai melalui pemuliaan konvensional (Acquaah, 2012;).

Oleh karena itu, genetika dan pemuliaan tanaman memiliki peran krusial dalam pertanian modern. Pemahaman tentang genetika membantu para pemulia dalam mengidentifikasi serta memilih sifat-sifat unggul, sementara berbagai teknik pemuliaan memungkinkan pengembangan varietas tanaman baru yang lebih produktif, tahan penyakit, dan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan (Hartl and Jones, 2009).

5.2 Tujuan dan Manfaat Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil tanaman, yang mencakup beberapa aspek utama (Acquaah, 2012; Fehr, 1987; Poelhman and Sleper, 1999), antara lain:

1. Peningkatan Hasil Panen: Mengembangkan varietas tanaman yang mampu menghasilkan lebih banyak produk per unit area lahan, yang menjadi kebutuhan penting untuk memenuhi permintaan pangan yang terus bertambah seiring pertumbuhan populasi global.

2. Ketahanan Terhadap Hama dan Penyakit: Varietas tanaman yang tahan terhadap hama dan penyakit dapat meminimalkan kerugian hasil serta mengurangi penggunaan pestisida, sehingga lebih ramah lingkungan dan menghemat biaya.
3. Adaptasi terhadap Lingkungan: Mengembangkan varietas tanaman yang dapat tumbuh optimal dalam berbagai kondisi lingkungan seperti kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem adalah kunci dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.
4. Peningkatan Kualitas: Pemuliaan juga berfokus pada perbaikan kualitas produk tanaman, termasuk rasa, nilai gizi, kandungan minyak, serat, dan karakteristik fisik lainnya yang diinginkan oleh konsumen dan industri.

Manfaat pemuliaan tanaman sangat luas dan berdampak pada berbagai aspek kehidupan manusia, antara lain:

- a. *Ketahanan Pangan*: Dengan menciptakan varietas tanaman yang lebih produktif dan mampu bertahan dari berbagai ancaman biotik dan abiotik, pemuliaan tanaman berperan penting dalam memastikan pasokan pangan yang cukup untuk populasi global.
- b. *Manfaat Ekonomi*: Varietas tanaman unggul dapat meningkatkan pendapatan petani melalui hasil panen yang lebih besar dan kualitas produk yang lebih baik. Selain itu, ini juga bisa mengurangi biaya produksi dengan mengurangi kebutuhan akan input seperti pestisida dan air.
- c. *Lingkungan yang Lebih Sehat*: Pengembangan tanaman yang resisten terhadap hama dan penyakit dapat mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, sehingga menurunkan polusi dan dampak negatif terhadap ekosistem.
- d. *Pelestarian Keanekaragaman Hayati*: Pemuliaan tanaman yang memperhatikan konservasi varietas lokal dan spesies liar berkontribusi dalam menjaga keanekaragaman hayati, yang

sangat penting untuk ketahanan ekosistem dan sumber daya genetik di masa depan.

- e. *Pertanian Berkelanjutan*: Dengan mengembangkan tanaman yang lebih efisien dalam penggunaan sumber daya seperti air dan nutrisi, pemuliaan tanaman mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

5.3 Dasar –Dasar Genetika

Struktur dan Fungsi DNA

DNA (asam deoksiribonukleat) adalah molekul yang menyimpan informasi genetik yang diperlukan untuk pertumbuhan, perkembangan, dan reproduksi semua organisme hidup. Struktur DNA pertama kali dijelaskan oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953 sebagai struktur heliks ganda. Heliks ganda ini terdiri dari dua rantai polinukleotida yang saling melilit, dengan setiap rantai tersusun atas unit-unit yang disebut nukleotida. Setiap nukleotida terdiri dari tiga komponen utama: gula deoksiribosa, gugus fosfat, dan salah satu dari empat basa nitrogen (adenin, timin, sitosin, dan guanin) (Watson and Crick, 1953).

Fungsi utama DNA adalah menyimpan dan mentransfer informasi genetik. Informasi ini dikodekan dalam urutan basa nitrogen yang terdapat pada DNA. Gen merupakan segmen DNA yang mengkode protein atau molekul RNA yang memiliki fungsi spesifik dalam sel. Protein yang dihasilkan oleh gen berperan penting dalam hampir semua proses biologis, seperti pembentukan struktur sel, transportasi molekul, komunikasi antar sel, dan pengaturan metabolisme (Brown, 2018).

Replikasi DNA

Replikasi DNA adalah proses penggandaan DNA yang terjadi sebelum sel membelah, memastikan bahwa setiap sel anak menerima salinan lengkap DNA dari sel induk. Proses ini bersifat semi-konservatif, yang berarti setiap molekul DNA baru terdiri dari satu untai lama dan satu untai baru. Replikasi dimulai pada lokasi tertentu dalam molekul DNA yang disebut asal replikasi. Enzim yang berperan dalam proses ini termasuk DNA helicase, yang membuka heliks ganda; DNA polymerase, yang menambahkan nukleotida baru sesuai dengan cetakan untai lama; dan DNA ligase, yang menyatukan fragmen-fragmen DNA yang terbentuk (Alberts et al., 2020).

Proses replikasi DNA sangat akurat, namun kadang-kadang terjadi kesalahan yang dapat menyebabkan mutasi. Mutasi ini dapat berkontribusi pada variabilitas genetik dan, dalam beberapa kasus, dapat menyebabkan penyakit genetik (Watson et al., 2004).

Mutasi dan Variabilitas Genetik

Mutasi adalah perubahan permanen dalam urutan basa DNA yang dapat mempengaruhi struktur dan fungsi gen. Mutasi dapat terjadi secara spontan atau sebagai hasil dari paparan agen mutagenik seperti radiasi, bahan kimia, atau virus. Ada beberapa jenis mutasi, termasuk mutasi titik (perubahan satu basa), insersi (penambahan basa), dan delesi (penghapusan basa) (Griffith, et al., 2008).

Variabilitas genetik mengacu pada keragaman urutan DNA antara individu dalam suatu populasi. Variabilitas ini sangat penting untuk proses evolusi, karena menyediakan bahan dasar untuk seleksi alam. Mutasi merupakan salah satu sumber utama

variabilitas genetik, selain rekombinasi genetik selama meiosis dan transfer gen horizontal pada beberapa organisme (Strachman and Read, 2011).

Hukum Mendel dan Pewarisan Sifat

Gregor Mendel, melalui eksperimen klasiknya dengan tanaman kacang polong, merumuskan dua prinsip dasar dalam pewarisan sifat: hukum segregasi dan hukum asortasi independen.

1. *Hukum Segregasi*: Hukum ini menyatakan bahwa setiap individu memiliki dua alel untuk setiap gen, satu berasal dari masing-masing orang tua, dan alel-alel ini akan dipisahkan (segregasi) selama pembentukan gamet, sehingga setiap gamet hanya membawa satu alel.
2. *Hukum Asortasi Independen*: Hukum ini menyatakan bahwa gen-gen yang mengatur sifat-sifat yang berbeda akan dipisahkan secara independen satu sama lain selama pembentukan gamet, asalkan gen-gen tersebut berada pada kromosom yang berbeda atau pada lokasi yang berjauhan pada kromosom yang sama.

Hukum-hukum ini menjelaskan pola pewarisan sifat yang diobservasi dalam eksperimen Mendel dan menjadi dasar bagi genetika klasik. Meskipun genetika modern telah menemukan beberapa pengecualian dan tambahan terhadap hukum-hukum ini, prinsip-prinsip Mendel tetap menjadi landasan penting dalam memahami pewarisan sifat (Griffit, et al., 2008.).

5.4 Teknik Genetika Modern

Rekayasa genetik

Rekayasa genetik adalah cabang ilmu yang mempelajari dan menerapkan modifikasi materi genetik suatu organisme untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi ini telah mengalami kemajuan pesat, terutama dengan kemunculan teknik transformasi genetik dan teknologi pengeditan gen CRISPR-Cas9 (Nadakuduti & Enciso-Rodríguez, 2021; Mishra et al., 2024).

Teknik Transformasi Genetik

Transformasi genetik menggunakan *Agrobacterium tumefaciens* adalah metode yang sangat efektif untuk memasukkan gen asing ke dalam tanaman. Teknik ini telah digunakan secara luas dalam penelitian biologi molekuler dan pengembangan tanaman.

Mekanisme Transformasi *Agrobacterium*

Agrobacterium tumefaciens adalah bakteri patogen yang mampu mentransfer DNA (T-DNA) ke dalam sel tanaman. Proses ini melibatkan beberapa langkah penting:

1. *Penempelan Bakteri*: *Agrobacterium* menempel pada sel tanaman melalui interaksi antara molekul di permukaan sel bakteri dan tanaman (Pratiwi and Surya, 2020).
2. *Transfer T-DNA*: Setelah menempel, *Agrobacterium* mengirimkan T-DNA dari plasmid Ti (tumor-inducing) ke dalam sel tanaman. T-DNA ini mengandung gen yang akan diintegrasikan ke dalam genom tanaman.

3. *Integrasi T-DNA*: T-DNA diintegrasikan ke dalam genom tanaman melalui mekanisme rekombinasi homolog atau non-homolog (Hwang et al., 2024).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Transformasi

Efisiensi transformasi dengan *Agrobacterium* dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk konsentrasi *Agrobacterium*, jenis eksplan, waktu infeksi, dan kondisi ko-kultivasi. Penelitian menunjukkan bahwa optimasi faktor-faktor ini dapat meningkatkan efisiensi transformasi secara signifikan (Li et al., 2017).

Aplikasi Transformasi *Agrobacterium*

1. *Peningkatan Tanaman*: Transformasi menggunakan *Agrobacterium* digunakan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama, penyakit, dan stres lingkungan. Misalnya, transformasi pada tanaman kedelai telah meningkatkan efisiensi transformasi dan regenerasi tanaman transgenik (Karmakar et al., 2019).
2. *Produksi Protein Rekombinan*: Teknologi ini juga dimanfaatkan untuk produksi protein rekombinan seperti antibodi dan vaksin dalam tanaman (Feng et al., 2022).
3. *Penelitian Genomik Fungsional*: *Agrobacterium* digunakan dalam studi genomik fungsional untuk memahami fungsi gen dalam tanaman. Misalnya, transformasi transient digunakan untuk studi ekspresi gen dan interaksi protein di dalam sel tanaman (Tsuboyama and Kodama, 2018).

Kesimpulan: Transformasi genetik menggunakan *Agrobacterium tumefaciens* adalah alat yang sangat efektif dalam bioteknologi tanaman, memungkinkan transfer gen dengan efisiensi tinggi dan integrasi yang stabil dalam genom tanaman. Metode ini telah diterapkan secara luas untuk berbagai tujuan, termasuk

pengembangan tanaman, produksi protein rekombinan, dan penelitian genomik fungsional.

CRISPR-Cas9 dan Teknologi Penyuntingan

Gen CRISPR-Cas9 merupakan sebuah teknologi yang sangat inovatif dalam penyuntingan gen, memungkinkan modifikasi spesifik pada genom suatu organisme dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Teknologi ini berasal dari sistem pertahanan alami bakteri terhadap serangan virus, dikenal sebagai Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) dan protein Cas9 (Nadakuduti and Enciso-Rodríguez, 2021).

Cara Kerja CRISPR-Cas9

Teknologi CRISPR-Cas9 beroperasi dengan bantuan RNA pemandu (guide RNA atau gRNA) yang mengenali urutan DNA target. Setelah itu, protein Cas9 melakukan pemotongan pada DNA di lokasi yang ditentukan oleh gRNA tersebut. Setelah pemotongan dilakukan, mekanisme perbaikan DNA alami dalam sel akan memperbaiki potongan tersebut, sering kali dengan menyisipkan atau menghapus sejumlah kecil DNA, yang mengakibatkan perubahan pada genetik (Sander and Joung, 2014).

Penggunaan CRISPR-Cas9

1. *Peningkatan Tanaman*: Teknologi CRISPR-Cas9 telah diterapkan untuk menyunting genom tanaman agar lebih tahan terhadap penyakit, meningkatkan produktivitas, dan memperbaiki kandungan nutrisi (Arora and Narula, 2017).
2. *Penelitian Biomedis*: Teknologi ini memungkinkan peneliti untuk membuat model penyakit genetik pada hewan, mempelajari fungsi gen, serta mengembangkan terapi genetik untuk mengatasi penyakit seperti kanker.
3. *Pengobatan Genetik*: CRISPR-Cas9 digunakan untuk memperbaiki mutasi genetik pada sel manusia, membuka

peluang baru dalam pengobatan penyakit genetik secara langsung (Wang et al., 2017).

Keuntungan dan Tantangan CRISPR-Cas9

Kelebihan utama dari CRISPR-Cas9 adalah kemampuannya dalam menyunting gen dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi dan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan metode sebelumnya seperti ZFN dan TALEN. Namun, teknologi ini juga memiliki tantangan tersendiri, termasuk risiko efek off-target, yakni potongan DNA yang tidak diinginkan yang berpotensi menimbulkan mutasi yang tidak terduga (Zhang et al., 2014).

Inovasi Terkini

- *Optimasi Pengiriman CRISPR-Cas9*: Beragam pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan spesifisitas pengiriman CRISPR-Cas9 ke dalam sel, termasuk melalui nanopartikel, liposom, serta virus rekombinan (Alsaiani et al., 2018).
- *Pengendalian Spatio-temporal*: Berbagai strategi baru telah dirancang untuk mengontrol aktivitas CRISPR-Cas9 secara spasial dan temporal, seperti pemanfaatan promoter spesifik sel, aktivasi molekul kecil, serta vektor yang responsif terhadap sinyal biologis (Zhuo et al., 2021).

Kesimpulan: CRISPR-Cas9 adalah alat yang sangat efektif dan serbaguna untuk penyuntingan gen yang telah mengubah pendekatan kita dalam memahami dan memodifikasi genom. Dengan berbagai perkembangan teknologi dan metode baru, CRISPR-Cas9 terus membuka banyak peluang besar dalam penelitian biologi, bioteknologi, dan dunia medis.

Penggunaan Marker Molekuler

Marker molekuler merupakan alat penting dalam bioteknologi dan genetika, berfungsi untuk mengenali dan

memodifikasi gen tertentu dalam suatu organisme. Terdapat dua jenis utama marker molekuler yang sering digunakan dalam penelitian dan aplikasi praktis, yaitu: marker berbasis DNA dan marker berbasis protein.

Marker Berbasis DNA digunakan untuk mendeteksi variasi genetik pada DNA. Beberapa jenis marker berbasis DNA yang umum digunakan meliputi:

- a. *Restriction Fragment Length Polymorphisms (RFLPs)*: Metode ini menggunakan enzim restriksi untuk memotong DNA di lokasi spesifik, menghasilkan fragmen dengan ukuran bervariasi yang dianalisis melalui elektroforesis gel (Priyono and Putranto, 2016).
- b. *Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs)*: Teknik ini melibatkan penggunaan primer acak untuk mengamplifikasi fragmen DNA yang berbeda, memungkinkan deteksi polimorfisme tanpa memerlukan informasi sekuens sebelumnya (Priyono and Putranto, 2016).
- c. *Simple Sequence Repeats (SSRs) atau Mikrosatelit*: SSRs merupakan sekuens DNA pendek yang berulang dan sangat polimorfik, digunakan untuk analisis keragaman genetik dan sidik jari DNA (Priyono and Putranto, 2016).
- d. *Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs)*: SNPs adalah variasi genetik yang melibatkan perubahan satu nukleotida, berguna dalam pemetaan genetik dan studi asosiasi penyakit (Priyono and Putranto, 2016).

Penggunaan marker berbasis DNA sangat penting dalam pemuliaan tanaman, identifikasi varietas, dan konservasi keanekaragaman hayati. Misalnya, dalam pemuliaan tanaman kopi, marker DNA digunakan untuk mengidentifikasi keragaman

genetik dan meningkatkan kualitas tanaman (Priyono and Putranto, 2016).

Marker Berbasis Protein adalah molekul protein yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur ekspresi gen tertentu atau kondisi fisiologis spesifik. Contoh marker berbasis protein antara lain:

1. *Senescence Marker Protein 30 (SMP30)*: Protein ini digunakan sebagai indikator prognostik pada karsinoma hepatoseluler (HCC). Penurunan ekspresi SMP30 dikaitkan dengan ukuran tumor yang lebih besar dan prognosis yang lebih buruk pada pasien HCC (Mo et al., 2016).
2. *Wisteria floribunda agglutinin-positive Mac-2-binding protein (WFA+-M2BP)*: Marker ini digunakan untuk menilai fibrosis hati dan memprediksi efektivitas terapi antivirus pada hepatitis C. Tingkat serum WFA+-M2BP berkorelasi dengan tingkat fibrosis hati dan dapat digunakan untuk memantau respon terapi (Toshima et al., 2015).
3. *Glial Fibrillary Acidic Protein (GFAP)*: GFAP digunakan sebagai biomarker untuk menilai keparahan penyakit pada multiple sclerosis (MS). Tingkat serum GFAP yang lebih tinggi berkorelasi dengan keparahan penyakit dan jumlah lesi pada MRI (Abdelhak et al., 2018).
4. *Glycosylated Mac-2 Binding Protein (M2BP)*: Marker ini digunakan untuk mengukur fibrosis hati dan memprediksi risiko perkembangan karsinoma hepatoseluler pada pasien hepatitis kronis.

Kesimpulan: Pemanfaatan marker molekuler berbasis DNA dan protein memberikan alat yang sangat berguna dalam berbagai bidang penelitian dan aplikasi praktis. Marker berbasis DNA

seperti RFLP, RAPD, SSR, dan SNP memungkinkan identifikasi variasi genetik dan pemetaan genetik yang lebih rinci. Di sisi lain, marker berbasis protein seperti SMP30, WFA+-M2BP, dan GFAP menyediakan indikator yang andal untuk diagnosis dan prognosis penyakit. Pengembangan dan aplikasi marker ini terus mengalami kemajuan, memberikan dampak signifikan dalam bioteknologi, pemuliaan tanaman, dan kedokteran.

5.5 Metode Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan Konvensional mengacu pada metode tradisional untuk meningkatkan karakteristik tanaman melalui proses persilangan selektif dan seleksi alami, tanpa memanfaatkan teknologi rekayasa genetika modern. Teknik ini melibatkan persilangan antara varietas tanaman yang berbeda untuk menggabungkan sifat-sifat unggul dari kedua induk. Setelah penggabungan sifat-sifat ini terjadi, seleksi dilakukan untuk mendapatkan genotipe yang unggul (Poelhman and Sleper, 1999). Beberapa metode seleksi yang sering digunakan antara lain seleksi massa, galur murni, metode silsilah, dan lainnya (Kar and Halder, 2013).

Seleksi Massa adalah salah satu metode pemuliaan tanaman yang bertujuan meningkatkan kualitas atau kuantitas hasil tanaman melalui pemilihan individu yang memiliki sifat-sifat unggul (Allard, 1960). Pendekatan ini berbeda antara tanaman yang menyerbuk sendiri dan yang menyerbuk silang. *Tanaman menyerbuk sendiri* (self-pollinated plants) adalah tanaman yang serbuk sarinya membuahi ovulum dari bunga yang sama atau bunga lain pada tanaman yang sama. Contoh tanaman menyerbuk sendiri termasuk padi, gandum, dan kedelai. Kelebihan seleksi massa pada tanaman menyerbuk sendiri adalah metode ini sederhana, murah, dan efektif untuk karakter sederhana (karakter

kuantitatif). Namun, kelemahannya adalah membutuhkan waktu yang lama dan efektivitasnya terbatas.

Tanaman menyerbuk silang (*cross-pollinated plants*) adalah tanaman yang serbuk sarinya membuahi ovulum dari bunga pada tanaman yang berbeda. Contohnya termasuk jagung, alfalfa, dan lobak. Kelebihan seleksi massa pada tanaman menyerbuk silang adalah dapat menghasilkan hibrida unggul dengan daya adaptasi yang lebih baik. Namun, kekurangannya adalah prosesnya kompleks dan variabilitas genetiknya tinggi.

Kesimpulan: Seleksi massa merupakan metode yang efisien dan efektif dalam pemuliaan tanaman, baik untuk tanaman menyerbuk sendiri maupun menyerbuk silang. Meskipun setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan, pemahaman yang mendalam mengenai prosedur dan karakteristik tanaman sangat penting untuk mencapai hasil optimal. Melalui seleksi massa, tanaman dengan sifat-sifat unggul diharapkan dapat meningkatkan produktivitas pertanian.

Seleksi Galur Murni adalah sebuah teori pemuliaan tanaman yang bertujuan menghasilkan varietas tanaman dengan karakteristik yang seragam dan unggul. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Johannsen pada awal abad ke-20. Seleksi galur murni dapat diterapkan pada tanaman menyerbuk sendiri maupun menyerbuk silang, meskipun lebih sering digunakan pada tanaman menyerbuk sendiri (Allard, 1960; Falconer and Macay, 1996; Kar and Halder, 2013).

Kelebihan seleksi galur murni pada tanaman menyerbuk sendiri adalah menghasilkan varietas dengan keseragaman genetik yang tinggi, dan prosedurnya relatif sederhana, serta mampu menghasilkan perbaikan sifat yang signifikan dalam waktu yang relatif singkat. Namun, kelemahannya adalah keragaman genetik yang terbatas, dan risiko kehilangan gen-gen

superior yang mungkin tidak terpilih selama proses seleksi (Poelhman and Sleper, 1999).

Pada tanaman menyerbuk silang, kelebihan seleksi galur murni adalah peningkatan heterozigositas dan adaptasi yang lebih baik, tetapi kekurangannya adalah proses yang kompleks, membutuhkan waktu yang lama, dan tingginya variabilitas genetik.

Kesimpulan: Seleksi galur murni adalah metode yang efektif untuk menghasilkan varietas tanaman dengan karakteristik unggul dan seragam. Meskipun memiliki kelebihan seperti keseragaman genetik dan stabilitas hasil, metode ini juga memiliki kekurangan seperti keterbatasan keragaman genetik dan risiko kehilangan gen superior. Penerapan seleksi galur murni memerlukan pemahaman yang mendalam tentang genetika tanaman dan lingkungan, serta ketelitian dalam proses seleksi.

5.6 Pemuliaan Berbatuan Marker

Pemuliaan berbantuan Marker

Pemuliaan berbantuan marker (Marker-Assisted Breeding, MAB) adalah metode pemuliaan tanaman yang menggunakan penanda genetik untuk memilih individu yang memiliki sifat-sifat unggul pada tahap awal pertumbuhan. Teknik ini memungkinkan pemulia untuk mempercepat proses seleksi dan meningkatkan ketepatan dalam memperoleh tanaman dengan karakteristik yang diinginkan (Collard and Mackill, 2008; Xu and Crouch, 2008; Varshney et al., 2014).

Konsep Dasar Pemuliaan Berbantuan Marker:

1. Penanda Genetik. Penanda genetik adalah fragmen DNA dengan lokasi yang diketahui pada genom yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi alel yang berhubungan

dengan sifat tertentu. Contohnya termasuk mikrosatelit dan SNP (Single Nucleotide Polymorphism) atau tipe penanda lainnya ((Mammadov et al., 2012).

2. Peta Genetik. Peta genetik menggambarkan lokasi penanda genetik pada kromosom dan hubungannya dengan sifat-sifat yang diinginkan. Peta ini merupakan komponen penting dalam pemuliaan berbantuan marker (Aziz and Masmoudi, 2024).
3. Seleksi Berbantuan Marker. Proses ini melibatkan identifikasi penanda genetik yang berasosiasi dengan sifat-sifat unggul seperti ketahanan terhadap penyakit atau kualitas hasil. Tanaman yang memiliki penanda tersebut kemudian dipilih untuk dikembangkan lebih lanjut.

Kelebihan Pemuliaan Berbantuan Marker:

- *Kecepatan Seleksi*: MAB memungkinkan seleksi dilakukan pada tahap awal perkembangan tanaman, yang mempercepat proses pemuliaan.
- *Akurasi Tinggi*: Dengan menggunakan penanda genetik, akurasi dalam memilih tanaman dengan sifat-sifat yang diinginkan meningkat.
- *Efisiensi Biaya*: Walaupun ada biaya awal yang tinggi untuk mengembangkan peta genetik dan penanda, MAB dapat mengurangi biaya dalam jangka panjang dengan mengurangi kebutuhan uji lapangan yang ekstensif.

Kekurangan Pemuliaan Berbantuan Marker:

- *Biaya Awal yang Tinggi*: Mengembangkan peta genetik dan mengidentifikasi penanda genetik membutuhkan biaya yang besar dan sumber daya yang signifikan.

- *Kompleksitas Genetik*: Sifat-sifat kompleks yang dikendalikan oleh banyak gen atau QTL dapat mempersulit pemetaan genetik dan seleksi.
- *Ketergantungan pada Teknologi*: MAB sangat bergantung pada teknologi genomik dan bioinformatika, yang memerlukan infrastruktur dan keahlian yang memadai.

Kesimpulan: Pemuliaan berbantuan marker merupakan alat yang sangat efektif dalam pemuliaan tanaman modern. Dengan memanfaatkan penanda genetik, pemulia dapat mempercepat proses seleksi dan meningkatkan ketepatan dalam memperoleh tanaman dengan sifat-sifat unggul. Meskipun memiliki beberapa tantangan, perkembangan dalam teknologi genomik dan bioinformatika terus meningkatkan efisiensi dan efektivitas MAB dalam pemuliaan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhak, A., Huss, A., Kassubek, J., Tumani, H., & Otto, M. (2018). Serum GFAP as a biomarker for disease severity in multiple sclerosis. *Scientific Reports*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33158-8>
- Acquaah, G. (2012). Breeding Selected Crops. In *Principles of Plant Genetics and Breeding*. <https://doi.org/10.1002/9781118313718.part9>
- Alberts Alexander, Johnson, A., & David, J. L. (2020). *Molecular Biology of the Cell* (Issue July).
- Allard, R. W. (1960). *principles of PLANT BREEDING*. John Wiley & Sons, Inc.
- Alsaiani, S. K., Patil, S., Alyami, M., Alamoudi, K. O., Aleisa, F. A., Merzaban, J. S., Li, M., & Khashab, N. M. (2018). Endosomal Escape and Delivery of CRISPR/Cas9 Genome Editing Machinery Enabled by Nanoscale Zeolitic Imidazolate Framework. *Journal of the American Chemical Society*, 140(1), 143–146. <https://doi.org/10.1021/jacs.7b11754>
- Arora, L., & Narula, A. (2017). Gene editing and crop improvement using CRISPR-cas9 system. *Frontiers in Plant Science*, 8(November). <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01932>
- Brown, A. T. (2018). *Genome 4* (4th ed.). Garland Science. <https://doi.org/https://lcn.loc.gov/2017013507>
- Collard, B. C. . and, & D.avid J. Mackill. (2008). Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc*, 363, 557–572. <https://doi.org/doi:10.1098/rstb.2007.2170>

- Falconer, D. S., & Macay. (1996). *Introduction to Quantitative genetic*. John Wiley & Sons, Inc.
- Fehr, W. (1987). Principles of Cultivar Development: Crop Species. In *Agronomy Books*. https://lib.dr.iastate.edu/agron_books/2
- Feng, Z., Li, X., Fan, B., Zhu, C., & Chen, Z. (2022). Maximizing the Production of Recombinant Proteins in Plants: From Transcription to Protein Stability. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21). <https://doi.org/10.3390/ijms232113516>
- Griffit, et al., 2008. (n.d.). *Introduction to analysis genetic*.
- Hartl and jones. (2009). Genetics: Analysis of Genes and Genomes, Sixth Edition. *Neuro-Oncology*, 7(2), 204–205. <https://doi.org/10.1215/s1152851704200059>
- Hong-Xia Wang, M. L., Lee, C. M., Syandan Chakraborty, H.-W. K., & Gang Bao, and K. W. L. (2017). CRISPR/Cas9-Based Genome Editing for Disease Modeling and Therapy: Challenges and Opportunities for Nonviral Delivery. *Chem. Rev*, 117, 9874–9906. <https://doi.org/DOI:10.1021/acs.chemrev.6b00799>
- Hwang, A., Hwang, H., Yu, M., & Lai, E. (2024). *Agrobacterium-Mediated Plant Transformation: Biology and Applications Published By: The American Society of Plant Biologists* *Agrobacterium-mediated plant transformation: biology and applications*. 2017(15). <https://doi.org/10.1199/tab.0186>
- J.D.Watson, & F.H.C. Crick. (1953). A structure for Deoxyribose Nucleic Acid export to Mendeley. *Nature* , 4, 1974.
- Kar, D. ., & Halder, S. (2013). *PLANT BREEDING BIOMETRY BIOTECHNOLOGY*. New Central Book Agency.

- Karmakar, S., Molla, K. A., Gayen, D., Karmakar, A., Das, K., Sarkar, S. N., Datta, K., & S. K. Dattaa. (2019). AgarTrap Protocols on your Benchtop: Simple Development of a rapid and highly efficient Agrobacterium-mediated transformation system for pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp]. *GM Crops & Food*, 10, 115–138. <https://doi.org/DOI:10.1080/21645698.2019.1625653>
- Li, S., Cong, Y., Liu, Y., Wang, T., Shuai, Q., Chen, N., & Gai, J. (2017). Optimization of Agrobacterium -Mediated Transformation in Soybean. 8(February), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00246>
- M. A. Aziz, A., & K. Masmoudi. (2024). Molecular Breakthroughs in Modern Plant Breeding Techniques. *Horticultural Plant Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hpj>.
- Mammadov, J., Aggarwal, R., Buyyarapu, R., & and S. Kumpatla. (2012). SNP Markers and Their Impact on Plant Breeding. *International Journal of Plant Genomics*, 2012, 11. <https://doi.org/doi:10.1155/2012/728398>
- Mishra, S., Nayak, S., Tuteja, N., Poosapati, S., Swain, D. M., & Sahoo, R. K. (2024). CRISPR/Cas-Mediated Genome Engineering in Plants: Application and Prospectives. *Plants*, 13(14), 1884. <https://doi.org/10.3390/plants13141884>
- Mo, Z., Zheng, S., Lv, Z., Zhuang, Y., Lan, X., Wang, F., Lu, X., Zhao, Y., & Zhou, S. (2016). Senescence marker protein 30 (SMP30) serves as a potential prognostic indicator in hepatocellular carcinoma. *Scientific Reports*, 6(December), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep39376>
- Nadakuduti, S. S., & Enciso-Rodríguez, F. (2021). Advances in Genome Editing With CRISPR Systems and Transformation

- Technologies for Plant DNA Manipulation. *Frontiers in Plant Science*, 11(January), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.637159>
- Poelhman and Sleper. (1999). *Breeding Field Crop*. Wiley.
- Pratiwi and Muhammad Imam Surya. (2020). Agrobacterium-Mediated Transformation. *IntechOpen*, 1–14. <https://doi.org/DOI:> <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91132>
- PRIYONO, ., & PUTRANTO, R. A. (2016). Molecular markers and their application for DNA fingerprinting and genetic diversity studies in Coffea species Marka molekuler dan penerapannya untuk studi sidik jari DNA dan keragaman genetik pada spesies Coffea. *E-Journal Menara Perkebunan*, 82(1). <https://doi.org/10.22302/ppbbi.jur.mp.v82i1.30>
- Sander, J. D., & Joung, J. K. (2014). CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes. *Nature Biotechnology*, 32(4), 347–350. <https://doi.org/10.1038/nbt.2842>
- Singh, S. and S. (2021). *Plant Breeding and Cultivar Development*.
- Strachman and A. Read. (2011). *Human Molecular Genetic* (4th Editio). <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203833544>
- Toshima, T., Shirabe, K., Ikegami, T., Yoshizumi, T., Kuno, A., Togayachi, A., Gotoh, M., Narimatsu, H., Korenaga, M., Mizokami, M., Nishie, A., Aishima, S., & Maehara, Y. (2015). A novel serum marker, glycosylated Wisteria floribunda agglutinin-positive Mac-2 binding protein (WFA+-M2BP), for assessing liver fibrosis. *Journal of Gastroenterology*, 50(1), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s00535-014-0946-y>
- Tsuboyama, S., & Kodama, Y. (2018). Agartrap protocols on your

- benchtop: Simple methods for agrobacterium-mediated genetic transformation of the liverwort *marchantia polymorpha*. *Plant Biotechnology*, 35(2), 93–99. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.18.0312b>
- Varshney, R. K., R. Terauchi, & S.R. McCouch. (2014). Harvesting the Promising Fruits of Genomics: Applying Genome Sequencing Technologies to Crop Breeding. *PLOS Biology*, 12(6), e1001883. <https://doi.org/doi:10.1371/journal.pbio.1001883>
- Watson, J. D., Baker, T. ., Bell, S. ., Gann, A., Levine, M., & Losick, R. (2004). *Molecular Biology of the Gene*.
- Xu, Y. and, & Jonathan H. Crouch. (2008). Marker-Assisted Selection in Plant Breeding: From Publications to Practice. *Crop Science*, 48, 391–407. <https://doi.org/doi:10.2135/cropsci2007.04.0191>
- Zhang, F., Wen, Y., & Guo, X. (2014). CRISPR/Cas9 for genome editing: Progress, implications and challenges. *Human Molecular Genetics*, 23(R1), 40–46. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddu125>
- Zhuo, C., Zhang, J., Lee, J. H., Jiao, J., Cheng, D., Liu, L., Kim, H. W., Tao, Y., & Li, M. (2021). Spatiotemporal control of CRISPR/Cas9 gene editing. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41392-021-00645-w>

BAB 6

ILMU TANAH

6.1. Defenisi dan Komponen Tanah

1. **Definisi:** Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terdiri dari material organik dan anorganik **Tanah** adalah lapisan permukaan bumi yang kompleks dan dinamis, terbentuk dari hasil pelapukan batuan induk, aktivitas organisme, serta pengaruh iklim selama jangka waktu yang sangat lama. Tanah merupakan campuran dari berbagai komponen, baik padat, cair, maupun gas, yang saling berinteraksi dan membentuk suatu sistem yang unik. yang telah mengalami proses pelapukan (Banua, 2019).
2. **Tanah sebagai media tumbuh tanaman:** Menyediakan air, nutrisi, dan oksigen yang dibutuhkan tanaman untuk tumbuh. Tanah, sebagai lapisan permukaan bumi yang kompleks, memiliki peran yang sangat krusial dalam mendukung kehidupan tanaman. Ia tidak hanya berfungsi sebagai tempat berpijak bagi akar, tetapi juga sebagai penyedia nutrisi, air, dan udara yang esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Brady, & Weil, 2008).

Komponen utama tanah terdiri atas bahan padat, cair dan gas serta mikroorganisme tanah. Komponen padat terdiri atas mineral-mineral dan bahan organik serta mikroorganisme tanah. Interaksi dari komponen-komponen tersebut membentuk berbagai jenis tanah dan tingkat kesuburannya (Hardjowigeno, 2003).

Air: Mengisi ruang pori-pori tanah dan berperan sebagai pelarut nutrisi serta media transportasi bagi unsur hara.

Udara: Terdapat di dalam ruang pori-pori tanah yang tidak terisi air. Udara sangat penting untuk respirasi akar tanaman dan mikroorganisme. Udara dalam tanah menempati ruang makro.

Sirkulasi dan ketersediaan oksigen dalam tanah dapat berakibat buruk bagi pertumbuhan tanaman. Dalam kondisi tanah yang padat selain secara fisik menghambat perkembangan akar, juga mengakibatkan sirkulasi udara dan air dalam tanah menjadi terhambat.

Organisme: Berbagai jenis makhluk hidup seperti bakteri, jamur, cacing tanah, serangga, dan akar tanaman. Organisme tanah berperan penting dalam proses pembentukan tanah dan siklus hara.

6.2. Proses Pembentukan Tanah (Pedogenesis):

Dalam proses pembentukan tanah terdapat lima faktor utama yakni bahan induk (bi), iklim (i), organisme (o), topografi (t) dan waktu (w) yang berperan dan saling berkaitan satu sama lainnya (Arsyad, 2010). Kelima faktor tersebut dapat digambarkan dalam hubungan fungsi sebagai berikut:

$$\text{Tanah} = f(\text{bi, i, o, t dan w})$$

1. Bahan Induk

Jenis batuan yang menjadi asal mula terbentuknya tanah. Bahan induk merupakan komponen fundamental dalam pembentukan tanah. Ia tidak hanya menyediakan mineral dan unsur hara, tetapi juga memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah. Proses pelapukan yang terjadi pada bahan induk, serta interaksinya dengan faktor lingkungan lainnya, sangat menentukan karakteristik tanah yang terbentuk.

Bahan induk yang telah mengalami pelapukan menyediakan mineral yang menjadi komponen utama tanah. Ada tiga jenis pelapukan: Pelapukan Fisik: Mengakibatkan pemecahan batuan tanpa mengubah komposisinya. Misalnya, perubahan suhu dapat menyebabkan batuan pecah. Pelapukan Kimia: Mengubah

komposisi mineral, seperti proses penguraian feldspar menjadi tanah liat. Pelapukan Biologis: Aktivitas organisme, seperti akar tanaman dan mikroorganisme, yang membantu memecah batuan.

2. Iklim

Iklim memainkan peran krusial dalam pembentukan tanah dengan mempengaruhi proses pelapukan, aktivitas mikroorganisme, dan akumulasi bahan organik. Interaksi antara suhu, curah hujan, kelembaban, dan faktor lainnya menciptakan keragaman dalam jenis dan sifat tanah di berbagai wilayah. Peran iklim secara mikroklimat yakni perbedaan kecil dalam iklim lokal, seperti bayangan pohon atau perbedaan elevasi, dapat menciptakan variasi dalam proses pembentukan tanah. Vegetasi juga dapat menjadi pembentuk mikro iklim.

Suhu sangat mempengaruhi proses pembentukan tanah. suhu yang tinggi mempercepat proses pelapukan fisik dan kimia. Contohnya, di daerah tropis, suhu yang tinggi mempercepat proses dekomposisi bahan organik. Demikian pula kegiatan mikroorganisme, suhu yang hangat mendukung aktivitas mikroorganisme yang penting dalam pembentukan humus dan penguraian bahan organik.

3. Organisme

Organisme: aktivitas mikroorganisme sangat penting dalam proses penghancuran bahan organik dalam tanah maupun di permukaan tanah. Juga berperan dalam mentranslokasikan bahan organik dari permukaan tanah ke dalam tanah. Selain itu mikroorganisme sangat penting dalam proses penyusunan struktur tanah.

4. Topografi

Ketinggian di atas permukaan laut (dpl) sangat mempengaruhi proses pembentukan tanah dalam hal ini berkaitan langsung dengan suhu, semakin tinggi lokasi suatu tanah di atas permukaan laut maka suhu semakin rendah (suhu turun 0,6 °C bila ketinggian

bertambah 100 m dpl). kemiringan, dan bentuk lahan mempengaruhi drainase dan erosi tanah.

Topografi memainkan peran penting dalam pembentukan tanah dengan mempengaruhi laju erosi, pola drainase, dan akumulasi bahan organik. Lereng yang curam cenderung meningkatkan erosi dan mempercepat aliran air, sedangkan daerah datar atau cekungan lebih mampu menahan akumulasi bahan organik dan mineral, menghasilkan tanah yang lebih subur. Selain itu, topografi mempengaruhi jenis vegetasi yang tumbuh, yang pada gilirannya mempengaruhi proses pembentukan tanah melalui pelapukan akar dan perlindungan terhadap erosi. Interaksi dengan faktor lain seperti iklim dan jenis batuan juga memainkan peran penting, membuat topografi kunci dalam menentukan kualitas dan karakteristik tanah di suatu wilayah.

5. Waktu

Proses pembentukan tanah membutuhkan waktu yang sangat lama, bisa mencapai ribuan bahkan jutaan tahun. Waktu merupakan faktor krusial dalam pembentukan tanah karena proses pembentukan tanah memerlukan periode yang panjang untuk berkembang sepenuhnya. Selama waktu, pelapukan batuan menjadi mineral tanah, akumulasi bahan organik, dan perkembangan struktur tanah terjadi secara bertahap. Proses ini mencakup pelapukan fisik dan kimia, akumulasi humus, dan pembentukan horizon tanah yang kompleks. Semakin lama waktu yang tersedia, semakin matang dan beragam karakteristik tanah yang dapat terbentuk, mencakup peningkatan kesuburan dan kemampuan tanah dalam mendukung kehidupan tanaman. Sebaliknya, dalam waktu yang singkat, proses ini mungkin belum sepenuhnya berkembang, menghasilkan tanah yang masih dalam tahap awal pembentukan.

6.3. Fungsi Utama Tanah sebagai Media Tumbuh

Tanah sebagai media tumbuh tanaman memiliki beberapa peran yakni sebagai sumber unsur hara, penyedia air, penyedia udara dan penunjang fisik bagi pertumbuhan tanaman (Sparks, (Ed.), 2003; Hillel, 2004).

1. Penyedia Nutrisi

Unsur Hara Makro: Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Belerang (S) adalah unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Tanah menyediakan unsur-unsur ini dalam bentuk yang dapat diserap oleh akar tanaman.

Unsur Hara Mikro: Besi (Fe), Mangan (Mn), Boron (B), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Molybdenum (Mo), dan Klorin (Cl) dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit, namun sangat penting untuk berbagai proses fisiologis tanaman.

2. Penyedia Air:

Kapasitas Lapangan adalah jumlah air yang dapat ditahan oleh tanah setelah drainase bebas. Kadar air terendah di dalam tanah di mana tanaman sudah tidak dapat lagi menyerap air disebut titik layu permanen. Sedangkan air tersedia adalah jumlah air antara kapasitas lapangan dan titik layu permanen yang dapat digunakan oleh tanaman.

3. Penyedia Udara:

Ruang pori-pori tanah yang tidak terisi air berisi udara. Oksigen dalam udara tanah sangat penting untuk respirasi akar tanaman dan mikroorganisme tanah.

4. Penunjang Fisik:

Tanah memberikan dukungan mekanik bagi akar tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Struktur tanah yang baik memungkinkan akar menembus tanah dengan mudah dan menyerap air serta nutrisi.

6.4. Interaksi Tanaman dengan Tanah

1. *Eksudat Akar*: Akar tanaman mengeluarkan zat-zat organik yang disebut eksudat akar. Eksudat akar ini dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme tanah yang menguntungkan, melarutkan unsur hara yang sulit larut, dan membentuk agregat tanah.
2. *Mikoriza*: Simbiosis mutualisme antara akar tanaman dan jamur. Mikoriza membantu tanaman dalam penyerapan air dan nutrisi, terutama fosfor.
3. *Rhizobia*: Bakteri yang hidup bersimbiosis dengan akar tanaman legum (kacang-kacangan). Rhizobia mampu mengikat nitrogen bebas dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat digunakan oleh tanaman. (Mendes et al, 2013).
4. *Rizosfer*: Rizosfer adalah wilayah di sekitar akar tanaman yang dipengaruhi oleh eksudat akar dan aktivitas mikroorganisme. Karakteristiknya memiliki kandungan nutrisi tinggi, aktivitas mikroba tinggi, dan pH yang unik. Rizosfer berfungsi untuk mempermudah penyerapan nutrisi oleh tanaman, melindungi tanaman dari patogen, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman (Kuzyakov, & Blagodatskaya, 2015).

6.5. Kimia Tanah

Kimia tanah merupakan cabang ilmu kimia yang berfokus pada sifat-sifat kimia tanah serta bagaimana interaksi kimia mempengaruhi kualitas dan kesuburan tanah. Bidang ini sangat penting dalam agronomi, ekologi, dan lingkungan, karena tanah adalah medium utama untuk pertumbuhan tanaman dan mendukung berbagai fungsi ekosistem. Studi kimia tanah melibatkan beberapa aspek penting berikut ini (Brady & Weil, 2008):

1. Reaksi Tanah (pH): pH tanah memainkan peran besar dalam proses pelapukan mineral tanah. Ion H^+ berfungsi sebagai agen utama yang dapat memecah mineral tanah, melepaskan unsur-unsur seperti kalium dari bentuk yang tidak dapat dipertukarkan menjadi bentuk yang larut (Farshadirad et al., 2012; Najafi-Ghiri, 2012). Secara umum, pelapukan mineral tanah meningkat seiring dengan penurunan pH, sehingga lebih banyak unsur dilepaskan dari padatan mineral pada kondisi pH yang lebih rendah. Misalnya, pada tanah Oxisols dan Mollisols, penurunan pH mengakibatkan peningkatan pelepasan unsur hara. Jumlah absolut unsur hara yang dilepaskan sangat tergantung pada jenis tanah dan tingkat kesuburannya; tanah Mollisols yang lebih subur cenderung melepaskan lebih banyak unsur hara dibandingkan dengan tanah Oxisols yang kurang subur.
2. Kapasitas Tukar Kation (KTK): KTK adalah ukuran kemampuan tanah untuk menahan dan menukar kation, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), dan natrium (Na^+). KTK penting untuk kesuburan tanah dan kesehatan tanaman karena mencerminkan seberapa banyak kation yang dapat dipertukarkan antara tanah dan larutan di sekitarnya. Tanah dengan KTK tinggi lebih efektif dalam mempertahankan unsur hara, sementara tanah dengan KTK rendah mungkin memerlukan tambahan pemupukan untuk mencukupi kebutuhan nutrisi tanaman. KTK dipengaruhi oleh komposisi mineral, kandungan bahan organik, dan pH tanah. Tanah dengan kandungan bahan organik dan mineral liat yang tinggi biasanya memiliki KTK yang lebih tinggi karena kapasitas tinggi untuk menahan kation. Sebaliknya, tanah berpasir memiliki KTK lebih rendah karena partikel pasir kurang efektif dalam menahan kation.

3. Kejenuhan Basa: Kejenuhan basa adalah persentase dari KTK yang diisi oleh kation basa seperti kalsium, magnesium, kalium, dan natrium, dibandingkan dengan kapasitas total tanah untuk menukar kation. Ini menunjukkan seberapa jenuh tanah dengan kation basa dan sejauh mana tanah dapat menyerap kation asam seperti hidrogen (H^+) dan aluminium (Al^{3+}). Faktor-faktor yang memengaruhi kejenuhan basa meliputi komposisi tanah, kadar kation basa, pH tanah, dan perlakuan pertanian. Tanah yang memiliki pH lebih tinggi biasanya memiliki kejenuhan basa yang lebih tinggi, sementara tanah asam cenderung memiliki kejenuhan basa yang lebih rendah.
4. Bahan Organik Tanah (C): Bahan organik tanah adalah komponen non-mineral yang berasal dari sisa-sisa organisme hidup, seperti tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme, yang mengalami dekomposisi di dalam tanah. Bahan organik ini memainkan peran penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan ekosistem tanah. Ia memperbaiki struktur tanah dengan membentuk agregat, yang meningkatkan aerasi dan drainase, serta mengurangi kepadatan tanah. Selain itu, bahan organik meningkatkan KTK tanah dan bertindak sebagai sumber nutrisi yang langsung tersedia melalui proses dekomposisi dan mineralisasi.
5. Reaksi Redoks: Reaksi redoks adalah jenis reaksi kimia yang melibatkan transfer elektron antara zat-zat yang bereaksi. Dalam reaksi ini, satu zat mengalami oksidasi (kehilangan elektron) sementara zat lainnya mengalami reduksi (mendapatkan elektron). Reaksi redoks sangat penting dalam proses kimia dan biologi seperti respirasi sel, fotosintesis, dan korosi logam. Misalnya, dalam reaksi pembakaran, karbon (C) dalam bahan bakar teroksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2), sementara oksigen (O_2) direduksi menjadi air (H_2O).

6.6. Unsur Mineral Makro Tanah

Unsur hara makro adalah elemen-elemen yang diperlukan tanaman dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan optimal. Elemen-elemen ini memainkan peran penting dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia tanaman. Berikut adalah penjelasan mengenai unsur hara makro, termasuk fungsi, sumber, dan dampak kekurangan masing-masing (White & Brown, 2010; Marschner, 2012):

1. Nitrogen (N)

Nitrogen adalah komponen utama asam amino, protein, dan klorofil, yang esensial untuk sintesis protein dan proses fotosintesis. Nitrogen mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, mempengaruhi ukuran daun dan pertumbuhan keseluruhan tanaman. Nitrogen biasanya diperoleh dari pupuk organik (seperti kompos dan pupuk kandang) serta pupuk anorganik yang mengandung nitrogen (seperti urea dan amonium nitrat). Kekurangan nitrogen mengakibatkan klorosis (daun menguning), terhambatnya pertumbuhan tanaman, dan hasil panen yang rendah.

Sumber Nitrogen dalam Tanah:

- Atmosfer: Nitrogen atmosferik (N_2) membentuk sekitar 78% dari udara, tetapi tidak langsung dapat dimanfaatkan oleh tanaman.
- Degradasi Materi Organik: Nitrogen di tanah terutama berasal dari dekomposisi bahan organik seperti sisa tanaman dan limbah hewan.
- **Fertilisasi:** Nitrogen tambahan diberikan melalui pupuk berbasis amonia, nitrat, atau urea.
- **Nitrifikasi:** Proses biologis yang mengubah amonia menjadi nitrat oleh mikroorganisme tanah.

- **Fiksasi Nitrogen:** Proses biologis di mana nitrogen atmosfer diubah menjadi amonia oleh bakteri pengikat nitrogen, seperti *Rhizobium* pada tanaman legum.

2. Fosfor (P)

Fosfor memainkan peran penting dalam pembentukan dan perkembangan akar yang kuat, memungkinkan penyerapan air dan nutrisi yang lebih efisien. Fosfor juga esensial dalam sintesis ATP (adenosine triphosphate), molekul energi yang mendukung berbagai proses biokimia dalam tanaman. Fosfor tersedia di tanah baik dalam bentuk anorganik (fosfat) maupun organik, dan ketersediaannya dipengaruhi oleh pH tanah. Pada pH netral hingga sedikit asam, fosfor tersedia dalam jumlah optimal. Sebaliknya, pada pH yang sangat asam atau basa, fosfor menjadi tidak tersedia karena berikatan dengan aluminium, besi, atau kalsium.

Sumber Fosfor:

Fosfor tersedia melalui pupuk seperti superfosfat dan fosfat alam yang berasal dari batuan fosfat, serta dalam jumlah kecil dari bahan organik. Di pasaran, fosfor tersedia dalam bentuk pupuk sintetis seperti Phonska (NPK) dan Super Phosphate (SP36).

3. Kalium (K)

Kalium (K) adalah elemen kimia yang berada dalam golongan logam alkali, dengan simbol K dan nomor atom 19. Kalium penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk fotosintesis, pengaturan osmotik, dan transportasi nutrisi. Kekurangan kalium dapat menyebabkan daun menguning, buruknya pembungaan, dan penurunan hasil panen.

Sumber Kalium:

Kalium tersedia di pasaran dalam bentuk pupuk seperti

Kalium Klorida (KCl), Kalium Nitrat (KNO₃), dan dalam pupuk majemuk seperti NPK (Phonska).

4. **Kalsium (Ca)**

Kalsium merupakan elemen penting dalam pembentukan dinding sel tanaman, yang berperan dalam mendukung kekuatan struktural dan integritas sel. Kalsium juga mempengaruhi pH tanah dan penyerapan nutrisi. Kekurangan kalsium dapat menyebabkan gejala seperti pembusukan ujung akar dan kerusakan dinding sel.

Sumber Kalsium:

Kalsium tersedia dari bahan seperti kapur pertanian dan pupuk yang mengandung kalsium. Pengelolaan yang tepat diperlukan untuk menjaga keseimbangan dan efisiensi penggunaan kalsium dalam pertanian.

5. **Magnesium (Mg)**

Magnesium adalah pusat atom dalam molekul klorofil, membuatnya sangat penting untuk fotosintesis. Magnesium juga terlibat dalam sintesis ATP dan berbagai reaksi enzimatik lainnya.

Sumber Magnesium:

Magnesium diperoleh dari pupuk seperti magnesium sulfat (Epsom salt) atau dolomit. Kekurangan magnesium menyebabkan klorosis pada daun tua dan pertumbuhan yang terhambat.

6. **Sulfur (S)**

Sulfur adalah komponen asam amino tertentu dan vitamin, serta memainkan peran penting dalam sintesis protein dan pembentukan klorofil.

Sumber Sulfur:

Sulfur tersedia melalui pupuk seperti superfosfat dan sulfat amonium. Kekurangan sulfur menyebabkan daun

menguning secara merata dan pertumbuhan tanaman yang terhambat.

6.7. Unsur Mikro

Unsur mikro sangat krusial bagi pertumbuhan tanaman, meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil. Kekurangan unsur hara mikro ini bisa menyebabkan gejala spesifik pada tanaman. Unsur mikro esensial dalam tanah adalah elemen kimia yang diperlukan tanaman dalam jumlah kecil, namun perannya sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Walaupun dibutuhkan dalam konsentrasi rendah dibandingkan dengan unsur makro, kekurangan atau ketidakseimbangan unsur mikro dapat menimbulkan masalah serius dalam pertumbuhan tanaman. Berikut ini adalah penjelasan mengenai beberapa unsur mikro esensial dalam tanah (Broadley et al., 2012; Hänsch & Mendel, 2017).

Beberapa gejala kekurangan unsur hara mikro meliputi:

1. Besi (Fe): Besi berperan dalam pembentukan klorofil dan proses fotosintesis. Sebagai komponen penting dari klorofil, pigmen hijau yang diperlukan untuk fotosintesis, kekurangan besi dapat menghambat proses fotosintesis, mengurangi produksi energi, dan menghambat pertumbuhan tanaman.
2. Mangan (Mn): Mangan diperlukan dalam proses fotosintesis, pembentukan klorofil, dan beberapa reaksi enzimatik. Mangan juga terlibat dalam proses redoks di dalam sel. Gejala kekurangan mangan mencakup klorosis intervenal, yang menyerupai kekurangan besi namun lebih merata pada seluruh daun.
3. Boron (B): Boron memiliki peran penting dalam pembelahan sel, pembentukan dinding sel, dan

transportasi karbohidrat dalam tanaman. Boron juga penting untuk perkembangan akar dan tunas. Gejala kekurangan boron meliputi pertumbuhan titik tumbuh yang terhambat, daun yang mengeriting, dan munculnya bercak-bercak nekrotik.

4. Seng (Zn): Seng berperan dalam sintesis protein, pembentukan hormon pertumbuhan, dan proses fotosintesis. Seng juga penting dalam metabolisme enzim tertentu yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman.
5. Tembaga (Cu): Tembaga terlibat dalam fotosintesis, respirasi, dan pembentukan lignin dalam dinding sel. Tembaga juga berperan dalam metabolisme berbagai enzim.
6. Molibdenum (Mo): Molibdenum berperan dalam metabolisme nitrogen dan sulfur, serta penting untuk proses fiksasi nitrogen oleh bakteri di akar tanaman legum.
7. Klor (Cl): Klor adalah elemen mikro esensial yang berfungsi sebagai komponen kunci dalam proses fotosintesis, khususnya dalam pembentukan klorofil, pigmen yang memberikan warna hijau pada daun dan diperlukan untuk penyerapan cahaya matahari.

6.8. Fisika Tanah

Fisika tanah merupakan cabang dari ilmu tanah yang berfokus pada pemahaman mengenai sifat-sifat fisik tanah, proses fisik yang berlangsung di dalamnya, serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman dan kondisi lingkungan. Fisika tanah sangatlah penting karena sifat fisik tanah secara langsung mempengaruhi ketersediaan air, udara, dan nutrisi bagi tanaman (Hillel, 2004; Gavrilesco, 2021).

Komponen fisik tanah memiliki peranan penting dalam menentukan struktur, fungsi, dan produktivitas tanah. Berikut

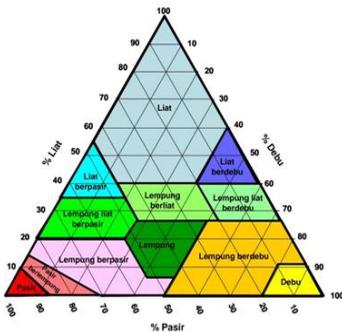
adalah komponen-komponen utama fisika tanah beserta perannya dalam dunia pertanian dan ekosistem (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011):

1. Partikel Tanah

- Pasir (Sand): Partikel tanah terbesar dengan ukuran diameter antara 0,05 - 2 mm. Pasir memberikan tekstur yang kasar pada tanah dan meningkatkan drainase, namun memiliki kapasitas rendah dalam menyimpan air dan menyerap nutrisi.
- Lempung (Clay): Partikel yang sangat halus, berukuran kurang dari 0,002 mm. Lempung memiliki kemampuan tinggi untuk menyimpan air dan bertukar ion, namun jika jumlahnya terlalu banyak, bisa membuat tanah menjadi padat dan mengurangi drainase.
- Debu (Silt): Partikel dengan ukuran antara pasir dan lempung, yakni 0,002 - 0,05 mm. Silt menawarkan keseimbangan antara retensi air dan drainase, namun tanah yang kaya akan silt bisa lebih mudah mengalami erosi.

2. Tekstur Tanah

- Tekstur tanah mengacu pada proporsi relatif dari partikel pasir, lempung, dan silt dalam tanah. Hal ini mempengaruhi berbagai sifat fisik tanah seperti kapasitas untuk menyimpan air, drainase, aerasi, dan kemampuannya dalam mendukung pertumbuhan tanaman.
- Klasifikasi: Berdasarkan komposisi partikel, tanah umumnya diklasifikasikan ke dalam kategori seperti pasir, lempung, loam (campuran seimbang dari pasir, lempung, dan silt), serta variasi campuran lainnya.



No	Tekstur
1	Pasir (Sand)
2	Pasir berlempung (Loamy sand)
3	Lempung berpasir (Sandy loam)
4	Lempung (Loam)
5	Lempung berdebu (Silt loam)
6	Debu (Silt)
7	Lempung liat berpasir (Sandy clay loam)
8	Lempung berliat Clay loam)
9	Lempung liat berdebu (Silty clay loam)
10	Liat berpasir (Sandy clay)
11	Liat berdebu (Silty clay)
12	Liat (Clay)

Gambar 1 Segi tiga tekstur dan nama-nama tekstur tanah

3. Struktur Tanah Struktur tanah mengacu pada cara partikel tanah berkumpul dan membentuk agregat atau gumpalan. Struktur ini berpengaruh pada aerasi, drainase, dan kemampuan akar untuk menembus tanah. Struktur tanah dapat bervariasi, termasuk tipe granular (seperti butiran pasir kecil), blocky (mirip dengan kubus atau balok), platy (berlapis datar), dan prismatic (berbentuk kolom vertikal).
4. Kepadatan Tanah Kepadatan tanah merujuk pada massa tanah per satuan volume, biasanya dinyatakan dalam gram per sentimeter kubik (g/cm^3). Ini melibatkan massa partikel tanah serta ruang pori yang terdapat di antaranya.
 - o Kepadatan Partikel: Mengacu pada massa partikel tanah tanpa mempertimbangkan ruang pori, umumnya sekitar $2,6 \text{ g/cm}^3$.
 - o Kepadatan Bulk: Mengacu pada massa tanah termasuk ruang pori, biasanya berkisar antara 1,1 hingga $1,6 \text{ g/cm}^3$. Kepadatan bulk yang tinggi bisa menghambat pertumbuhan akar dan mengurangi infiltrasi air.

5. Kapasitas Retensi Air Kemampuan tanah untuk menahan air dalam pori-porinya dikenal sebagai kapasitas retensi air. Faktor ini dipengaruhi oleh tekstur dan struktur tanah. Tanah dengan kapasitas retensi air yang baik dapat menyediakan air bagi tanaman selama periode kekeringan. Lempung, misalnya, biasanya memiliki kapasitas retensi air yang lebih tinggi dibandingkan pasir.
6. Aerasi Tanah Aerasi tanah mengacu pada kemampuan tanah untuk menyediakan oksigen yang dibutuhkan oleh akar tanaman dan mikroorganisme. Tingkat aerasi ini sangat dipengaruhi oleh struktur tanah dan jumlah ruang pori yang tersedia. Pentingnya: Aerasi yang baik sangat penting untuk pernapasan akar dan aktivitas mikroba yang menjaga kesehatan tanah. Tanah yang terlalu padat atau tergenang air cenderung memiliki aerasi yang buruk.
7. Ruang Pori Ruang pori adalah celah di antara partikel tanah yang bisa diisi oleh udara atau air. Jenis dan ukuran ruang pori ini mempengaruhi kemampuan tanah untuk menyimpan air dan oksigen. Terdapat dua jenis utama ruang pori: makropori, yang memungkinkan drainase cepat dan aerasi, serta mikropori, yang lebih efisien dalam menyimpan air.
8. Konsistensi Tanah Konsistensi tanah menggambarkan kemampuan tanah untuk mempertahankan bentuk dan strukturnya dalam kondisi basah atau kering. Konsistensi ini memengaruhi kemudahan pengolahan tanah dan penanaman.
 - o Konsistensi Kering: Tanah yang kering bisa menjadi keras dan retak, sehingga sulit untuk diolah dan ditanami.

- Konsistensi Basah: Tanah yang basah mungkin menjadi lengket atau terlalu lunak, yang dapat menghambat pergerakan alat dan pertumbuhan akar.

6.9. Biologi Tanah

Biologi tanah merupakan cabang dari ilmu biologi yang fokus pada studi kehidupan dan aktivitas biologis yang terjadi di dalam tanah, serta bagaimana organisme-organisme ini saling berinteraksi satu sama lain dan dengan lingkungan sekitarnya. Kajian utama dalam biologi tanah meliputi mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan protozoa, serta organisme makroskopis seperti cacing tanah, serangga, dan akar tanaman yang menghuni tanah dan memainkan peran penting dalam ekosistem tanah (Cardoso, 2013).

Pemahaman mendalam tentang biologi tanah memungkinkan kita untuk lebih efektif dalam mengelola tanah untuk keperluan pertanian, konservasi, dan rehabilitasi lingkungan. Pengetahuan ini berkontribusi pada upaya menjaga kesehatan tanah, meningkatkan produktivitas tanaman, dan memahami dampak aktivitas manusia terhadap ekosistem tanah (Jacoby *et al.*, 2017)

6.10. Konservasi Tanah dan Air dalam Pertanian

Upaya konservasi tanah dan air memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keberlanjutan sistem pertanian. Kerusakan pada tanah dan air akibat praktik-praktik yang tidak berkelanjutan dapat mengakibatkan penurunan produktivitas lahan secara drastis. Ada beberapa alasan utama mengapa konservasi ini sangat penting dalam sektor pertanian (Briat *et al.*, 2020):

- Mencegah Erosi: Erosi tanah adalah proses di mana lapisan tanah atas terkikis oleh air atau angin. Akibatnya, tanah yang kaya akan unsur hara berkurang, mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air dan nutrisi, serta

menyebabkan pendangkalan di sungai dan waduk (Banua 2019).

- Meningkatkan Kesuburan Tanah: Dengan praktik konservasi tanah, kandungan bahan organik dalam tanah dapat meningkat, yang pada gilirannya memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air dan nutrisi. Ini secara langsung berdampak positif pada pertumbuhan tanaman dan hasil panen.
- Menjaga Kualitas Air: Konservasi air membantu melindungi kualitas air permukaan dan air tanah. Dengan mengurangi limpasan permukaan, sedimentasi, dan pencemaran dari lahan pertanian, sumber air tetap terjaga kebersihannya (Asdak, 2002; Arsyad, 2010)..
- Mencegah Banjir dan Kekeringan: Metode konservasi seperti pembuatan teras dan saluran drainase dapat membantu mengurangi risiko banjir dan kekeringan.
- Melindungi Keanekaragaman Hayati: Tanah yang subur dan air yang bersih merupakan habitat bagi berbagai jenis organisme. Upaya konservasi tanah dan air berkontribusi pada pelestarian keanekaragaman hayati di lingkungan pertanian.
- Menjamin Keberlanjutan Pertanian: Dengan menjaga kualitas tanah dan air, kita dapat memastikan bahwa sumber daya alam ini tetap tersedia untuk generasi mendatang dan mendukung produksi pangan yang berkelanjutan (Ruiz dan Tavira, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak C., 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Brady, N.C., & Weil, R.R. 2008. *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. Link: Pearson
- Briat JR., Gojon A, Plassard C, Rouached H, Lemaire G, 2020. *Environmental Conservation for Sustainable Agriculture*. **Penerbit:** Springer.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. 2012. *Function of Nutrients: Micronutrients*. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Annals of Botany, 109(1), 49-66. Link: [ScienceDirect](#)
- Cardoso EJBN, Vasconcellos RLF, Bini D, 2013. "Role of Soil Organisms in Maintaining Soil Health, Ecosystem Functioning, and Sustaining Agricultural Production". Jurnal: *Science of Agriculture* Volume 70. DOI: 10.1590/S0103-90162013000400001
- Fageria, N. K. 2002. "Influence of Micronutrients on Dry Matter Yield and Interaction with Other Nutrients in Annual Crops". *Journal of Plant Nutrition* Volume: 25 (5), p 971-984. DOI: 10.1081/PLN-120003931
- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of Soil Science* (8th ed.). New York, NY: John Wiley & Sons. Link: [Wiley](#)

- Gavrilescu, M. 2021. *Water, Soil, and Plants Interactions in a Threatened Environment*. JWater. Volume 13 (19). DOI: [10.3390/w13192746](https://doi.org/10.3390/w13192746)
- Hänsch, R., & Mendel, R.R. 2017. *Micronutrients in Plant Physiology: Functions, Roles, and Applications*. Cham, Switzerland: Springer. [Springer](https://www.springer.com)
- Hardjowigeno S. (2003) *Ilmu tanah*. Akademika Presindo. Jakarta.
- Hardjowigeno S. dan Widiatmaka (2011). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Gadjah Mada University Press
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Amsterdam: Academic Press. Link: [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Amsterdam: Academic Press. Link: [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)
- Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., dan Kopriva K., 2017. "The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions". Jurnal: *Frontiers in Plant Science*. Volume 8. DOI: [10.3389/fpls.2017.01617](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617)
- Kuzyakov, Y., & Blagodatskaya, E. 2015. *Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review*. *Soil Biology and Biochemistry*, 83, 184-199. Link: Elsevier
- Landon, J.R. (Ed.). 1991. *Booker Tropical Soil Manual: A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics*. Essex, UK: Longman Scientific & Technical. Link: Google Books

- Marschner, H. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). London, UK: Academic Press. Link: Elsevier
- Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J.M. 2013. *The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms*. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 634-663. Link: Oxford Academic
- Ruiz BJ., dan Távira SC.. 2022. "Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review". **Jurnal: Soil Systems**. Volume 6(4). **DOI:** 10.3390/soilsystems6040087
- Sparks, D.L. (Ed.). 2003. *Environmental Soil Chemistry* (2nd ed.). San Diego, CA: Academic Press. Link: Elsevier
- White, P.J., & Brown, P.H. 2010. *Plant nutrition for sustainable development and global health*. *Annals of Botany*, 105(7), 1073-1080. Link: Oxford Academic

BAB 7

MANAJEMEN AIR

7.1. Pendahuluan

Tumbuhan dan segala bentuk organisme hidup tidak dapat hidup tanpa air, karena air adalah unsur terpenting dari sekitar 80-90% sel tumbuhan. Air sangat penting tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan pertanian, tetapi juga untuk keperluan industri, pembangkit listrik, pemeliharaan ternak, kebutuhan pedesaan dan rumah tangga, dll. Namun sumber daya ini terbatas dan tidak dapat diciptakan sesuai kebutuhan kita. Karena keterbatasan sumberdaya air, maka perlu dikelola, sehingga pemanfaatannya diupayakan seefisien dan seefektif mungkin.

Pengairan merupakan upaya yang dilakukan manusia untuk mengairi lahan pertanian dengan cara atau teknik tertentu untuk memenuhi kebutuhan air tanaman selama fase pertumbuhan. Dalam dunia modern, saat ini sudah banyak model irigasi yang dapat dilakukan manusia. Pada zaman dahulu, jika persediaan air melimpah karena tempat yang dekat dengan sungai atau sumber mata air, maka irigasi dilakukan dengan mengalirkan air tersebut ke lahan pertanian. Namun, irigasi juga biasa dilakukan dengan membawa air dengan menggunakan wadah kemudian menuangkan pada tanaman satu per satu, atau dalam skala luas mengalirkan air melalui saluran irigasi dari sumbernya ke lahan pertanian (AAK, 2002; Harjadi, 1996; Purba, 2011).

7.2. Peran Air

A. Peran Fisiologis

Sistem tanaman itu sendiri mengandung sekitar 90% air. Jumlah air bervariasi di berbagai bagian tanaman sebagai berikut:

a) bagian apikal akar dan pucuk > 90%, b) batang, daun dan buah

70-90%, c) kayu 50-60%, d) bagian yang matang 15-20, e) biji-bijian yang baru dipanen 15-20% (Chandrasekaran et al., 2010). Air berfungsi sebagai bahan dasar untuk semua aktivitas metabolisme. Semua reaksi metabolisme atau biokimia dalam sistem tanaman membutuhkan air. Air memainkan peran penting dalam respirasi, transpirasi, fotosintesis, mengaktifkan perkecambahan, metabolisme tanaman untuk pertumbuhan vegetatif dan reproduksi, berfungsi sebagai pelarut dalam tanah untuk nutrisi tanaman. Selain itu air juga bertindak sebagai pembawa nutrisi tanaman dari tanah ke sistem tanaman, mempertahankan suhu tanaman melalui transpirasi, membantu menjaga tanaman tetap tegak dengan menjaga turgiditas tanaman, membantu mengangkut metabolit dari sumber ke tempat pembuangan (Chandrasekaran et al., 2010; Darwis, 2019; Purba, 2009).

B. Peran Ekologis

Peran ekologis air antara lain membantu menjaga suhu tanah, membantu menjaga keseimbangan garam, mengurangi salinitas dan alkalinitas, mempengaruhi pertumbuhan gulma, mempengaruhi cuaca atmosfer. Air juga berperan membantu mikroba yang menguntungkan, mendukung kehidupan manusia dan hewan, membantu persiapan lahan seperti pembajakan, genangan air, dll., penyiangan, aplikasi pupuk, dll. (AAK, 2002; Sutriyono ; Haryadi, BW; Ali, 2020)

7.3. Pentingnya Manajemen Irigasi

Pengelolaan irigasi sangat penting dalam berbagai aspek, seperti: i) pembangunan bangsa melalui pengelolaan sumber daya air yang tepat untuk tujuan produksi tanaman dan kegiatan lain seperti industrialisasi, pembangkit listrik, dll., yang pada gilirannya memberikan kesempatan kerja dan kondisi kehidupan

yang baik bagi masyarakat, ii) menyimpan dan mengatur sumber daya air untuk penggunaan lebih lanjut atau penggunaan di luar musim, iii) mengalokasikan air dengan proporsi yang tepat berdasarkan area dan tanaman yang diusahakan, iv) mengalirkan air tanpa banyak kehilangan melalui perkolasi dan rembesan (efisiensi dalam penggunaan), iv) memberikan air dalam jumlah yang cukup untuk tanaman di lapangan (optimalisasi penggunaan), v) memanfaatkan air dengan mempertimbangkan biaya-manfaat (Pengelolaan yang layak secara ekonomi), vi) untuk mendistribusikan air yang tersedia tanpa masalah sosial (distribusi yang adil), vii) untuk memenuhi kebutuhan masa depan pertanian dan bagian lainnya (konservasi sumber daya), viii) untuk melindungi lingkungan dari penggunaan yang berlebihan atau penyalahgunaan air (penggunaan yang aman bagi lingkungan) (Benez-Secanho, 2020; Chandrasekaran et al., 2010; Harjadi, 1996).

7.4. Sumber Air

Curah hujan adalah sumber utama dari semua jenis air. Berdasarkan sumber ketersediaannya, air dapat diklasifikasikan sebagai air permukaan dan air bawah permukaan.

7.4.1 Air Permukaan

Air permukaan meliputi (termasuk curah hujan dan embun) air yang tersedia dari sungai, waduk, kolam, danau, dll. Selain itu, hujan salju juga dapat menyumbangkan sejumlah air di daerah dengan curah hujan salju yang tinggi.

A. Curah Hujan

(a) Karakteristik

Kuantitas harus cukup untuk menggantikan kelembaban yang hilang dari zona perakaran. Frekuensi harus sedemikian rupa sehingga dapat mempertahankan tanaman tanpa tekanan air sebelum mulai layu. Intensitas harus cukup rendah agar sesuai dengan kapasitas penyerapan tanah. Distribusi curah hujan dalam

jumlah hari yang banyak lebih efektif daripada hujan lebat dalam waktu singkat. Distribusi curah hujan yang tepat waktu dan seragam penting untuk perencanaan tanaman yang lebih baik dan untuk mempertahankan produksi tanaman (Bahrun et al., 2014; Chandrasekaran et al., 2010).

(b) Musim

Distribusi curah hujan dalam setahun penting untuk menentukan jenis tanaman dan waktu tanam sesuai dengan karakteristik agronomi tanaman.

7.4.2 Air Bawah Permukaan

Hal ini mencakup kontribusi air di bawah permukaan, air bawah tanah, air sumur, dll.

7.5. Kebutuhan Air Tanaman

Kebutuhan air didefinisikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu tanaman atau pola tanaman yang beragam dalam periode waktu tertentu untuk pertumbuhan normal di suatu tempat dalam kondisi lapangan. Sumber air dapat berupa apa saja, seperti sumur, tangki, sumur artesis, dan kanal sungai.

Kebutuhan air - Kebutuhan air tanaman adalah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk kelangsungan hidup, pertumbuhan, perkembangan dan untuk menghasilkan bagian yang bernilai ekonomis. Kebutuhan ini diterapkan baik secara alami melalui curah hujan atau secara artifisial melalui irigasi. Oleh karena itu, kebutuhan air tanaman mencakup semua kehilangan seperti: a) Kehilangan transpirasi melalui daun (T), b) Kehilangan penguapan melalui permukaan tanah di area yang ditanami (E), c) Jumlah air yang digunakan oleh tanaman (WP) untuk kegiatan metabolisme, yang diperkirakan kurang dari 1% dari total penyerapan air. Ketiga komponen ini tidak dapat dipisahkan dengan mudah. Oleh karena itu, kehilangan ET

dianggap sebagai penggunaan air tanaman atau penggunaan konsumtif air tanaman (Chandrasekaran et al., 2010; Purba et al., 2019; Subedi et al., 2019).

Kehilangan aplikasi lainnya adalah kehilangan pengangkutan, kehilangan perkolasi, kehilangan limpasan, dll., (WL). Air yang dibutuhkan untuk tujuan khusus (WSP) seperti operasi genangan air, operasi pembajakan, persiapan lahan, kebutuhan pencucian, untuk tujuan penyiangan untuk melarutkan pupuk dan bahan kimia, dll.

Oleh karena itu, kebutuhan air secara simbolis direpresentasikan sebagai:

$$WR = T + E + WP + WL + WSP$$

Kehilangan aplikasi lainnya dan tujuan khusus sebagian besar ditujukan untuk budidaya lahan basah. Oleh karena itu, untuk tanaman di lahan kebun, kehilangan ET saja diperhitungkan untuk kebutuhan air tanaman. Perkiraan kebutuhan air tanaman adalah salah satu kebutuhan dasar untuk perencanaan tanaman di kebun dan untuk perencanaan proyek irigasi. Kebutuhan air mencakup kehilangan akibat ET atau CU dan kehilangan selama aplikasi air irigasi serta jumlah air yang dibutuhkan untuk tujuan atau operasi khusus seperti persiapan lahan, penanaman, pencucian, dll. Oleh karena itu, dapat dirumuskan sebagai berikut untuk sudut pandang permintaan sebagai;

$WR = ET$ atau Cu + kehilangan aplikasi + air untuk kebutuhan khusus.

Hal ini juga dapat dinyatakan berdasarkan sumber pasokan sebagai berikut: $WR = IR + ER + S$

Dimana

IR - Kebutuhan irigasi ER - Curah hujan efektif

S - Kontribusi dari permukaan air tanah.

Oleh karena itu, gagasan tentang kebutuhan air tanaman sangat penting untuk perencanaan pertanian sehubungan dengan

jumlah total air yang dibutuhkan dan penggunaan yang efisien dari berbagai skema tanam di lahan pertanian atau area proyek. Kebutuhan air tanaman ini juga diperlukan untuk menentukan ukuran aliran dan merancang kapasitas kanal. Kehilangan gabungan dari penguapan dan transpirasi dari lahan yang ditanami disebut sebagai evapotranspirasi yang juga dikenal sebagai penggunaan konsumtif dan dilambangkan sebagai ET dan ini merupakan bagian dari kebutuhan air.

$$CU = E + T + WP$$

Oleh karena itu, $WR = CU + WL + WSP$

Kebutuhan air tanaman juga dapat didefinisikan sebagai air yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi tanaman dan kebutuhan khusus dalam kasus tanaman lahan basah dan yang juga mencakup kehilangan aplikasi lainnya baik dalam kasus tanaman lahan basah dan lahan kebun. Hal ini juga dikenal sebagai kebutuhan air tanaman (AAK, 2002; Chandrasekaran et al., 2010).

7.6. Metode Irigasi

Penerapan air irigasi ke lahan pertanian dengan berbagai jenis tata letak disebut sebagai metode irigasi. Metode irigasi pada awalnya mungkin dimulai untuk memeriksa aliran air yang berlebihan dari satu ladang ke ladang lainnya. Namun saat ini, telah menjadi penting untuk menghemat air dengan metode yang tepat untuk menahan kehilangan limpasan, kehilangan perkolasi, kehilangan penguapan, dll., dan untuk mengoptimalkan kebutuhan air tanaman. Oleh karena itu, metode irigasi dapat didefinisikan sebagai cara di mana air diaplikasikan pada lahan pertanian tanpa banyak aplikasi dan kerugian lainnya, dengan tujuan untuk mengaplikasikan air secara efektif untuk memfasilitasi lingkungan yang lebih baik untuk pertumbuhan tanaman.

7.6.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Metode Irigasi

Jenis tanah - Sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, porositas, laju infiltrasi, dll. mempengaruhi pemilihan metode irigasi. Tanah dengan tekstur berat membatasi pergerakan air daripada tanah dengan tekstur ringan dimana air bergerak bebas ke bagian yang lebih dalam karena porositas yang tinggi. Tanah berstruktur butiran tunggal memungkinkan air bergerak bebas ke bawah dibandingkan dengan struktur lainnya

Kedalaman tanah - Jika tanahnya dangkal yang menahan lebih sedikit air, ratakan dan bentuklah bundel, dll. untuk menahan air secara maksimal untuk meningkatkan interval irigasi. Demikian pula jika tanahnya dalam, tanah tersebut menampung lebih banyak air dan membutuhkan interval irigasi yang lebih lama. Dengan demikian, metode irigasi dapat dipilih.

Topografi tanah - Pada topografi yang bergelombang, sangat sulit untuk menerapkan metode irigasi yang normal. Kemiringan lahan juga menentukan metode yang akan digunakan. Jika tanah lebih miring, cekungan metode cekungan tidak dapat digunakan. Dalam kondisi ini metode strip dapat digunakan. Untuk topografi yang bergelombang, selain metode strip atau cekungan, metode sprinkler atau tetes dapat digunakan (AAK, 2002; Chandrasekaran et al., 2010; Finkel, 2019; Perry & Steduto, 2017; Yan et al., 2020).

Iklim - Curah hujan, suhu, kelembaban, kecepatan angin, radiasi, dll., mempengaruhi metode irigasi. Sebagai contoh, angin kencang mempengaruhi irigasi sprinkler dan suhu mempengaruhi metode irigasi permukaan dengan kehilangan penguapan yang tinggi.

Sumber air - Kecepatan aliran, kuantitas dan kualitas air yang tersedia adalah faktor utama lainnya, yang menentukan metode irigasi yang akan digunakan.

Tanaman yang akan ditanam - Nilai tanaman dan geometri tanaman yang akan dibudidayakan adalah kriteria utama untuk menentukan metode irigasi. Misalnya, jika tanaman bernilai tinggi atau tanaman komersial atau tanaman dengan jarak tanam yang lebar, metode irigasi sprinkler atau tetes dapat digunakan (Chandrasekaran et al., 2010; García-Santiago et al., 2019; Veiga, 2015).

7.6.2 Klasifikasi Metode Irigasi

Metode irigasi secara garis besar diklasifikasikan sebagai:

- A. Metode permukaan atau metode irigasi gravitasi
- B. Sub permukaan atau sub irigasi
- C. Irigasi bertekanan atau irigasi mikro - Irigasi tetes, irigasi sprinkler, dan irigasi pistol hujan.

A. Irigasi permukaan atau gravitasi

Ini adalah metode irigasi yang umum dipraktikkan di seluruh dunia. Dalam metode ini, air dialirkan langsung ke permukaan dengan memberikan beberapa pemeriksaan pada aliran air.

Keuntungan: mudah dalam perawatan, biaya rendah, dan keterampilan teknis tidak diperlukan.

Prasyarat: tanah yang seragam, permukaan lapangan yang halus atau permukaan yang rata, jumlah air yang memadai.

Metode irigasi permukaan diklasifikasikan lagi menjadi:

1. *Border strip method* - Lahan dibagi menjadi beberapa strip paralel yang panjang dengan menyediakan gundukan tanah paralel kecil atau tanggul atau tanggul di sepanjang kedua sisi strip. Ujung sepanjang strip bisa ditutup atau tidak, tergantung pada panjang strip. Jika panjang strip sangat panjang, ujungnya akan ditutup untuk mendapatkan distribusi yang seragam dan untuk menghindari kehilangan air. Setiap strip diairi secara independen dari ujung atas (dinyalakan) dan air mengalir sebagai lembaran tipis dan menyebar secara merata di sepanjang strip. Air

dimatikan ketika volume yang dibutuhkan dikirim ke strip. Efisiensi aplikasi sistem ini adalah 75-85%.

2. Metode cekungan (bedengan dan saluran) (*Check basin method (beds and channel)*). Metode ini merupakan metode irigasi yang umum dan sederhana yang umumnya digunakan pada permukaan tanah yang rata. Metode ini juga dikenal sebagai metode irigasi bedengan dan saluran. Lahan dibagi menjadi beberapa cekungan/bedengan kecil. Area cekungan dikelilingi oleh ikatan tanah atau tanggul atau tanggul. Air yang diberikan disimpan di dalam cekungan dan tidak dibiarkan mengalir. Ini adalah metode yang paling umum diadopsi untuk sebagian besar tanaman. Ukuran tanggul atau pematang atau pematang tergantung pada kedalaman air yang akan ditampung di dalam baskom. Air dihidupkan di sisi atas dan setelah memberikan jumlah air yang dibutuhkan, air dimatikan (AAK, 2002; Chandrasekaran et al., 2010)

3. Metode cekungan (*Basin method*). Metode irigasi cekungan digunakan dalam metode irigasi perendaman tanah pada padi dataran rendah, padi tadah hujan yang dibendung, dan rumput hijauan, di mana air digenangi hingga kedalaman yang dibutuhkan dengan membuat tanggul di semua sisi dengan lebar dan tinggi yang memadai. Ukuran optimal untuk pengelolaan air yang efisien untuk tanaman padi adalah 0,25-0,40 ha. Lahan harus diratakan secara menyeluruh untuk mendapatkan kedalaman air yang seragam. Penyediaan saluran irigasi dan drainase yang terpisah lebih efisien daripada irigasi dari satu lahan ke lahan lainnya.

4. Cekungan melingkar (*Ring basin*). Metode ini sebagian besar diadopsi untuk tanaman kebun yang berjarak lebar. Cincin-cincin tersebut adalah cekungan melingkar yang dibentuk di sekitar pohon-pohon. Cincin-cincin di antara pohon-pohon dihubungkan

dengan saluran utama melalui saluran-saluran kecil untuk mengalirkan air ke cincin-cincin tersebut. Karena air hanya diperbolehkan masuk ke dalam cincin, pemborosan air yang menyebar ke seluruh ruang antar pohon seperti pada metode irigasi banjir biasa dapat dikurangi. Pertumbuhan gulma di ruang antar lingkaran tidak dicegah. Metode ini memastikan kelembaban yang cukup di zona akar dan menghemat banyak air irigasi.

5. Metode irigasi alur (Furrow method of irrigation). Ini adalah metode umum yang diadopsi untuk tanaman yang ditanam dalam barisan seperti kapas, jagung, tebu, kentang, bit, bawang, sorghum, tanaman sayur, dll. Dalam metode ini, alur atau saluran dangkal kecil yang berjarak sama dibentuk di bedengan. Metode irigasi alur lainnya adalah membentuk punggung dan alur bergantian untuk mengatur air. Air dialirkan di ujung yang tinggi dan disalurkan melalui saluran yang lebih kecil. Air yang diaplikasikan di alur meresap perlahan ke dalam tanah dan menyebar secara lateral untuk membasahi area di antara alur.

6. Irigasi lonjakan (Surge irrigation). Irigasi lonjakan adalah metode irigasi permukaan melalui alur atau jalur pembatas di mana air diaplikasikan secara berkala dalam serangkaian periode waktu hidup dan mati yang relatif singkat selama irigasi. Air dialirkan ke dalam alur panjang atau jalur pembatas dalam aliran terputus-putus, bukan aliran kontinu konvensional. Setiap aliran disebut sebagai lonjakan. Irigasi lonjakan yang dilakukan dalam kondisi yang baik dapat meningkatkan kinerja sistem irigasi permukaan dibandingkan dengan metode irigasi permukaan lainnya. Irigasi diberikan dalam siklus on-off atau dengan metode cut back. Waktu siklus berarti waktu dari awal satu lonjakan hingga awal lonjakan berikutnya. Rasio siklus adalah rasio waktu aliran (berkelanjutan) terhadap waktu siklus. Dengan asumsi waktu siklus 20 menit dan rasio siklus 1:2 (0,5), waktu on adalah 10 menit dan waktu off adalah 10 menit. Rasio siklus ini juga

dapat berupa rasio waktu on dan waktu off sebagai 1:1, jika waktu on adalah 10 menit. Air dibiarkan mengalir selama 10 menit dan dihentikan selama 10 menit. 20 menit ini adalah waktu lonjakan atau waktu siklus. Lonjakan ini diulang hingga air mencapai seluruh alur atau strip (Allen & MacAdam, 2020; Chandrasekaran et al., 2010; Bahrin et al., 2014; Finkel, 2019; Perry & Steduto, 2017; Yan et al., 2020).

B. Irigasi bawah permukaan. Air diaplikasikan di bawah permukaan tanah melalui jaringan pipa atau beberapa perangkat. Tujuan utama dari jenis irigasi ini adalah untuk mengurangi kehilangan penguapan dan mempertahankan muka air tanah buatan di dekat zona akar tanaman.

Kesesuaian - Terutama cocok untuk daerah bersuhu tinggi di mana kehilangan ET sangat tinggi, di mana pengendalian dan pemeliharaan air permukaan dan aplikasi sangat sulit.

Metode irigasi pot kendi - Ini adalah salah satu cara untuk menerapkan air di bawah tanah atau permukaan tanah. Dalam metode ini, beberapa lubang kecil dibuat di dalam pot lumpur dan lubang-lubang tersebut ditutup dengan benang atau bahan yang dapat mengalirkan air dengan sangat cepat. Pot-pot tersebut diletakkan di sekitar zona akar dalam lubang yang dibuat khusus untuknya. Lubang-lubang tersebut ditutup seluruhnya dengan campuran mulsa pasir. Pot-pot tersebut diisi dengan air dan ditutup. Air perlahan-lahan meresap ke zona akar melalui lubang-lubang dan membasahi area zona akar. Metode ini sangat cocok untuk tanaman pohon yang jaraknya berjauhan dalam kondisi kekurangan air (Allen & MacAdam, 2020; Chandrasekaran et al., 2010; Keller, 2011).

C. Metode irigasi bertekanan (*Pressurized irrigation methods*)

Meliputi metode irigasi tetes dan sprinkler, di mana air dialirkan melalui jaringan pipa dengan menggunakan alat bertekanan.

1. Sistem irigasi sprinkler/metode sumber titik. Dalam metode ini, air irigasi disemprotkan ke udara dan dibiarkan jatuh ke permukaan tanah, kurang lebih menyerupai hujan. Percikan air atau semprotan air dilakukan dengan memompa air bertekanan melalui jaringan pipa dan membiarkannya keluar melalui lubang kecil atau nosel atau lubang. Air yang dibutuhkan tanaman dialirkan dalam bentuk semprotan dengan menggunakan beberapa alat, di mana laju aplikasi air harus sedikit lebih rendah daripada laju infiltrasi tanah untuk menghindari limpasan atau genangan air di lahan.

2. Sistem Irigasi Tetes atau Tetesan/irigasi sumber saluran

Air dialirkan melalui jaringan pipa dan dibiarkan jatuh setetes demi setetes di zona akar tanaman oleh perangkat khusus yang disebut emitor atau penetes. Penetes atau emitor ini mengendalikan jumlah air yang akan dijatuhkan. Dalam sistem ini, prinsip utamanya adalah mengalirkan air di zona akar tanaman berdasarkan permintaan ET harian tanaman tanpa tekanan apa pun. Oleh karena itu, zona akar selalu dipertahankan pada tingkat kapasitas lapang. Dalam sistem ini, terdapat emitor yang mengendalikan tetesan air dan jumlah air yang akan disalurkan.

3. Rain gun

Fitur rain gun – Rain gun adalah alat penyiram mega yang kuat yang menyemprotkan sejumlah besar air (hingga 500 liter per menit) ke jarak yang cukup jauh (radius 90 kaki dan bahkan lebih) sebagai hujan buatan. Raingun menawarkan sejumlah manfaat bagi petani. Raingun mengurangi konsumsi air hingga 50 persen dibandingkan dengan irigasi banjir dalam mencapai hasil panen yang sama. Sebagai hasil dari berkurangnya konsumsi air dengan

sistem irigasi raingun, penghematan besar terjadi. Waktu irigasi berkurang (waktu dihemat 60 persen) dan konsumsi daya berkurang. Selain itu, irigasi raingun tidak terlalu padat karya dibandingkan irigasi banjir. Sistem ini meningkatkan hasil panen hingga 10 persen seperti yang dialami petani tebu. Pupuk juga dapat diberikan dengan sistem irigasi raingun, sehingga mengurangi konsumsi pupuk. Irigasi dengan raingun membasmi hama seperti kutu daun, lalat putih, dll. Sistem irigasi raingun mendukung praktik pemulsaan sampah yang sangat direkomendasikan pada tebu, yaitu proses mengubah sampah menjadi nutrisi bagi tanaman. Saat tebu tumbuh, sampah dilepaskan dari tebu sehingga tebu terlindungi dari hama dan penyakit. Pada saat yang sama, sampah berharga karena mengandung banyak nutrisi. Akan tetapi, petani tidak memanfaatkan nutrisi yang tersedia ini dan terpaksa membersihkannya atau membakarnya untuk mengelola sampah dalam jumlah besar. Mulsa adalah praktik di mana sampah digunakan sebagai penutup tanah untuk membantu mempertahankan kelembaban, mencegah perkembangbiakan gulma, dan sampah itu sendiri pada akhirnya diubah menjadi nutrisi. Sistem irigasi raingun memberi petani kemampuan untuk mempraktikkan mulsa sampah dengan baik (Allen & MacAdam, 2020; Chandrasekaran et al., 2010; Keller, 2019).

7.7. Pengukuran Kadar Lengas Tanah

Teknik pengukuran kadar air tanah diklasifikasikan kedalam dua cara, yaitu langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah beberapa pemisahan air dari matrik tanah dan pengukuran langsung dari jumlah air yang dipisahkan tersebut. Pemisahan air dari matriks tanah dapat dicapai melalui: (1) pemanasan; (2) ekstraksi dan penggantian oleh larutan; atau (3) reaksi kimia. Jumlah yang dipisahkan ditentukan dengan: (1)

Mengukur perubahan massa/berat setelah pemanasan dan (2) pengukuran kuantitatif dari hasil reaksi.

Pemisahan air dengan pemanasan biasa disebut dengan metode gravimetri, dan merupakan metode pengukuran secara langsung (Topp dan Ferre, 2002). Metode tidak langsung adalah dengan mengukur beberapa sifat fisik atau kimia tanah yang berhubungan dengan kadar air tanah. Sifat ini meliputi konstanta dielektrik (permittivity relative), konduktivitas elektrik, kapasitas panas, kandungan ion H, dan kepekaan magnetik. Berlawanan dengan metode langsung, metode tidak langsung bersifat lebih tidak merusak atau nondestruktif, sehingga kandungan air dalam contoh tidak berubah selama pengukuran. Akurasi dan ketetapan dari metode ini tergantung pada kedekatan hubungan antara sifat yang diukur dan kadar air volumetrik.

Keperluan untuk menentukan jumlah air yang terdapat dalam tanah, sering kali muncul dalam penelitian bidang agronomi, ekologi, dan hidrologi dalam rangka memahami hubungan kimia tanah, mekanisme hidrologis, dan biologis. Terdapat metode-metode yang bersifat langsung, dan tidak langsung untuk mengukur kadar air (Gardner, 1965). Seperti yang telah dijelaskan bahwa terdapat beberapa alternatif cara untuk menyatakan kadar air secara kuantitatif. Tetapi tidak ada metode pengukuran standar yang digunakan secara umum, dan tidak ada cara yang seragam untuk menghitung dan menyajikan hasil pengukuran-pengukuran kadar air tanah. Berikut ini akan dijelaskan secara singkat, beberapa metode yang paling banyak dipakai dalam penentuan kadar air tanah (Bahrin et al., 2014; Finkel, 2019; Perry & Steduto, 2017; Yan et al., 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. (2002). *Dasar-dasar Bercocok Tanam, Ed. ke-11*. Kanisius.
- Allen, L. N., & MacAdam, J. W. (2020). Irrigation and water management. *Forages: The Science of Grassland Agriculture, 2*, 497–513.
- Bahrin, A., Taufik, M., Afa, L. O., & Sutariati, I. G. A. K. (2014). *AGRONOMI: TEORI DAN APLIKASI PRAKTIS*. Unhalu Press.
- Benez-Secanho, F. J. (2020). Analyzing the provision of ecosystem services by conservation easements and other protected and non-protected areas in the Upper Chattahoochee Watershed. *Science of the Total Environment, 717*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137218>
- Chandrasekaran, B., Annadurai, K., & Somasundaram, E. (2010). *A Textbook of Agronomy*. New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Darwis, V. (2019). Evaluation of Paddy Field Printing Implementation in West Kalimantan Province. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan, 19*(2), 159–167. <http://www.jurnal.polinela.ac.id/JPPT>
- Finkel, H. J. (2019). *Handbook of Irrigation Technology: Volume 1*. CRC press.
- García-Santiago, J. C., Valdez-Aguilar, L. A., Cartmill, D. L., Cartmill, A. D., Juárez-López, P., & Alvarado-Camarillo, D. (2019). Subirrigation of Container-Grown Tomato II: Physical and Chemical Properties of the Growing Medium. *Water, 11*(11), 2211. <https://doi.org/10.3390/w11112211>
- Harjadi, S. S. (1996). *Pengantar Agronomi*. Gramedia.
- Keller, J. (2019). Irrigation system management. In *Irrigation management in developing countries* (pp. 329–352). Routledge.
- Perry, C., & Steduto, P. (2017). *Does improved irrigation technology*

save water?

- Purba, J. H. (2009). Penghematan Air dan Peningkatan Produksi Melalui Budidaya Padi Metode SRI (System of Rice Intensification). *Widyatech, Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(2), 28–46.
- Purba, J. H. (2011). Kebutuhan dan cara pemberian air irigasi untuk tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.). *WIDYATECH: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 10(3), 145–155.
- Purba, J. H., Sasmita, N., Komara, L. L., & NOH NESIMNASI. (2019). Comparison of seed dormancy breaking of *Eusideroxylon zwageri* from Bali and Kalimantan soaked with sodium nitrophenolate growth regulator. *Nusantara Bioscience*, 11(2), 146–152. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n110206>
- Subedi, S., Ghimire, Y. N., Adhikari, S. P., Devkota, D., Shrestha, J., Poudel, H. K., & Sapkota, B. K. (2019). Adoption of certain improved varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) in seven different provinces of Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(4), 404–409. <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.040406>
- Sutriyono ; Haryadi, BW; Ali, M. (2020). Effect of Giving Growth Regulatory Substances (ZPT) Superior Plant Hormones (Ghosts) on Growth and Yields of Shallots (*Allium Ascalonicum* L). *Agricultural Science*, 3(2). <http://agriscience.scientific-work.org/index.php/agriscience/article/view/42>
- Veiga, F. (2015). Water funds as a tool for urban water provision and watershed conservation in Latin America. In *Water and Cities in Latin America: Challenges for Sustainable Development* (pp. 235–255). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?partnerID=HzOxMe3b&scp=84942549135&origin=inward>

Yan, H., Hui, X., Li, M., & Xu, Y. (2020). Development in sprinkler irrigation technology in China. *Irrigation and Drainage*, 69, 75–87.

BAB 8

NUTRISI TANAMAN

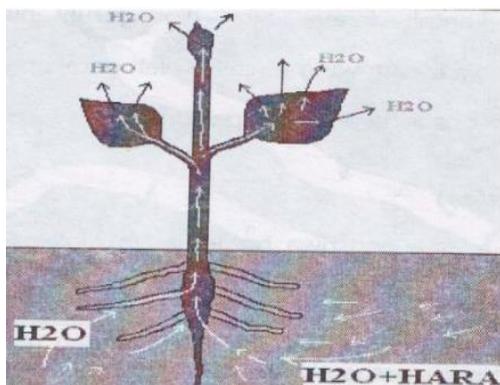
8.1. Nutrisi Tanaman

Tanaman memerlukan zat tanaman atau nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan. Senyawa kimia yang dibutuhkan disebut unsur hara, yang terbagi menjadi makro dan mikro. Unsur hara makro meliputi nitrogen (N), fosfat (P), kalium (K), sulfur (S), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg). Unsur hara mikro meliputi besi (Fe), boron (B), mangan (Mn), seng (Zn), tembaga (Cu), klor (Cl), dan molybdenum (Mo). (Nurhayati, 2021).

8.2 Penyerapan Dan Pengangkutan Nutrisi

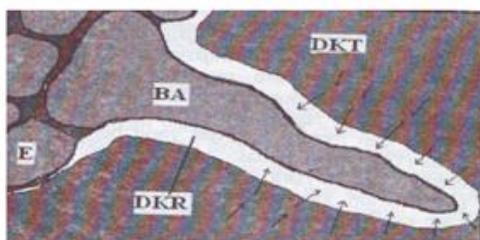
Tanaman dapat menyerap unsur hara dalam bentuk ion lewat akar ataupun lewat daun. Ketersediaan unsur hara disekitar akar tanaman melalui 3 cara, yaitu : 1) aliran masa, 2) difusi, dan 3) intersepsi akar.

1. Aliran massa (*Mass flow*) adalah pergerakan unsur hara menuju permukaan akar bersama dengan aliran air yang diserap dan menguap melalui proses transpirasi. Setiap molekul air yang menguap digantikan oleh molekul air dari bawahnya, yang menarik molekul air di bawahnya hingga ke sel epidermis rambut akar. Rambut akar kemudian menembus sel dan menarik molekul air di sekitarnya. Proses ini tidak memerlukan energi dan disebut transpor hara pasif. Faktor yang mempengaruhi kuantitas unsur hara yang mencapai akar meliputi sifat media tumbuh, kondisi iklim, kelarutan hara, dan spesies tanaman.



Gambar 1. Skematis Gerakan air dan unsur hara melalui aliran massa

2. Difusi adalah perpindahan zat dari area dengan konsentrasi tinggi ke rendah. Dalam tanah, air dan unsur hara membentuk larutan tanah. Ketika akar menyerap unsur hara, unsur hara lain juga bergerak menuju akar melalui difusi, yaitu pergerakan tanpa aliran air dari konsentrasi tinggi ke rendah. (Wiraatmaja, 2016).



Keterangan : BA = bulu akar, E = sel epidermis akar, DKT = daerah konsentrasi tinggi, DKR = daerah konsentrasi rendah (rozosfir), dan arah gerakan unsure hara



Gambar 2. Skema Gerakan difusi pada akar

-
3. Intersepsi akar memperluas jangkauan akar untuk penyerapan unsur hara. Keberhasilan dipengaruhi oleh volume media, morfologi akar, dan konsentrasi unsur hara. (Marschner, 1986 dalam Wiraatmaja, 2016).

8.3 Kebutuhan Tanaman Terhadap Nutrisi

Pertumbuhan optimal tanaman memerlukan kondisi lingkungan seimbang dan unsur mineral esensial dari tanah. Unsur esensial: 1) Terlibat dalam fungsi metabolik dan tidak bisa digantikan, 2) Kekurangan mengganggu pertumbuhan, 3) Berperan langsung dalam gizi tanaman (Nurhidayati, 2017).

Tingkatan hara tanaman adalah:

1. Defisiensi, hara esensial terbatas dan rendah, menyebabkan gejala defisiensi pada tanaman.
2. Kisaran kritis, hara cukup rendah untuk mempengaruhi respons tanaman terhadap tambahan hara, berada di antara defisiensi dan kecukupan.
3. Kecukupan (sufficient), hasil produksi tanaman tidak dipengaruhi oleh serapan hara.
4. Kelebihan atau keracunan, apabila hara esensial tinggi mengakibatkan penurunan pertumbuhan dan hasil tanaman.

8.4 Ketersediaan unsur hara untuk tanaman

1. Nitrogen

Proses penambatan nitrogen adalah konversi nitrogen di atmosfer menjadi senyawa yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan makhluk hidup lainnya. Proses ini terjadi melalui dua mekanisme utama :

- a. Penambatan nitrogen biologis: Mikroorganisme seperti bakteri (misalnya *Rhizobium*) mengubah nitrogen gas (N_2) menjadi senyawa nitrat atau amonium yang bisa digunakan

tanaman, penting dalam siklus nitrogen Proses ini krusial dalam siklus nitrogen dan menyediakan nitrogen dari sumber yang sebelumnya tidak dapat digunakan langsung oleh tanaman (Hakim dkk, 1986).

- b. Penambatan non-biologis : Proses industri mengubah nitrogen gas menjadi senyawa nitrat atau amonium untuk memproduksi pupuk nitrogen.

Gejala kekurangan dan kelebihan nitrogen (N) :

1. Kekurangan : Bagian bawah daun berubah menjadi kekuningan karena kekurangan klorofil. Jika defisiensi parah, tanaman akan mengalami kekeringan dan kerontokan. Daun muda akan tumbuh lambat, kerdil, lemah, dan pucat pada bagian tulang daun. Kekurangan nitrogen mengganggu pembentukan klorofil dan fotosintesis, yang juga berdampak pada pembentukan bunga dan buah.
2. Kelebihan : Tanaman yang kelebihan nitrogen akan mengalami pertumbuhan abnormal dengan daun hijau pekat dan batang mudah patah. Tanaman juga lebih rentan terhadap hama wereng coklat, jamur, dan penyakit. Selain itu, proses pembentukan buah terhambat dan tanaman sekulen seperti adenium akan mengandung banyak air.

2. Fosfor

Penambatan fosfor mengubah fosfor tidak tersedia menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman dan penting untuk siklus fosfor. Manajemen yang baik meningkatkan efisiensi pemupukan dan mengurangi dampak lingkungan. Proses penambatan fosfor meliputi :

-
- a. Mineralisasi fosfat organik : Mikroorganisme menguraikan fosfor organik menjadi fosfat anorganik yang dapat diserap tanaman.
 - b. Solubilisasi fosfat adalah mineral fosfat yang tidak larut, seperti fosfat kalsium, larut dalam tanah melalui reaksi kimia dengan asam organik dari akar tanaman atau mikroba tanah.
 - c. Symbiosis mikoriza : Jamur mikoriza arbuskula (AMF) meningkatkan penyerapan fosfor dengan menambat dan memindahkannya dari tanah ke tanaman.

Gejala kekurangan dan kelebihan fosfor (P) :

- a. Kekurangan : Tanaman yang kekurangan fosfor akan mengalami perubahan warna daun menjadi keunguan atau keabu-abuan pada daun tua, serta tepi daun berubah coklat. Daun muda menjadi hijau gelap, tampak terbakar, mengecil, mudah rontok, dan tanaman menjadi kerdil.
- b. Kelebihan : Kelebihan unsur hara fosfor pada tanaman akan mengalami kekurangan unsur hara besi (Fe), tembaga (Cu), dan seng (Zn).

3. Kalium

Penambatan kalium (K) mengubah kalium tidak tersedia menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman, penting untuk regulasi tekanan osmotik, aktivasi enzim, dan keseimbangan ion. Proses ini juga meningkatkan efisiensi pemupukan dan mengurangi dampak lingkungan (Nurhidayati, 2017). Mekanisme penambatan kalium meliputi :

- a. Desorpsi dari tanah : Kalium terikat pada tanah dilepaskan untuk diserap akar, dipengaruhi oleh pH, air, dan aktivitas akar.

-
- b. Mineralisasi bahan organik : Mikroorganismen mengurai bahan organik menjadi ion kalium yang dapat diserap tanaman.
 - c. Pertukaran ion : Kalium di tanah dipertukarkan dengan ion lain di permukaan akar, memungkinkan penyerapan kalium dengan menggantikan ion seperti kalsium (Ca^{2+}) atau magnesium (Mg^{2+}).

Gejala kekurangan dan kelebihan Kalium (K) :

- a. Kekurangan : Tanaman yang kekurangan kalium (K) akan menunjukkan bercak kekuningan, kekeringan pada daun bagian bawah, dan daun gugur atau terbakar. Daun juga bisa mengerut atau menggulung ke bawah, serta bunga yang baru mekar cenderung rontok. Selain itu, tanaman menjadi rentan terhadap penyakit karena gangguan penyerapan kalsium dan magnesium.
 - b. Kelebihan : Kelebihan kalium dapat mengganggu penyerapan unsur hara kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
4. Magnesium

Penambatan magnesium (Mg) mengubah magnesium menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman dan penting untuk fotosintesis. Ini memastikan ketersediaan hara untuk pertumbuhan optimal dan produksi tanaman yang sehat (Nurhayati, 2021). Mekanisme penambatan magnesium meliputi:

- a. Pertukaran ion : Akar menyerap Mg^{2+} melalui pertukaran dengan ion lain di permukaan akar.
- b. Desorpsi : Mg^{2+} dilepaskan dari partikel tanah karena pH atau kompleksasi.

-
- c. Mineralisasi : Mikroorganisme menguraikan bahan organik menjadi ion magnesium larut.

Gejala kekurangan dan kelebihan Magnesium (Mg) :

- a. Kekurangan : Kekurangan magnesium pada tanaman menyebabkan senyawa dalam tanah tidak dapat diangkut dengan baik, melemahkan jaringan tanaman, dan meningkatkan jarak antar ruas. Ini mengakibatkan kekurangan cahaya, bercak pada daun tua, dan daun yang menguning. Tanaman juga menjadi lebih rentan terhadap penyakit seperti embun tepung.
- b. Kelebihan : Kelebihan magnesium tidak memiliki dampak yang mencolok pada tanaman maupun tanah.

5. Sulfur

Penambahan sulfur mengubah sulfur tidak tersedia menjadi bentuk yang dapat digunakan tanaman, penting untuk sintesis protein dan asam amino (Nurhidayati, 2017). Mekanismenya meliputi :

- a. Oksidasi dan reduksi : Mikroorganisme mengubah sulfur dari bentuk tidak larut (sulfida) menjadi bentuk larut (sulfat).
- b. Mineralisasi : Mikroorganisme mengurai bahan organik untuk melepaskan sulfur yang dapat diserap tanaman.
- c. Pertukaran ion : Akar menyerap ion sulfat (SO_4^{2-}) dari larutan tanah.

Gejala kekurangan dan kelebihan Sulfur (S) :

- a. Kekurangan : Kekurangan sulfur pada tanaman menyebabkan daun menguning karena berkurangnya kandungan klorofil. Hal ini juga menghambat sintesis

protein dan mempengaruhi akumulasi nitrogen dan nitrat organik.

b. Kelebihan : Keracunan sulfur mengakibatkan pH tanah menjadi asam dan daun tanaman akan menjadi mudah rontok

6. Besi

Besi dalam kerak bumi ada sekitar 5% dan diserap tanaman dalam bentuk ion ferri (Fe^{3+}) dari ion ferro (Fe^{2+}) yang dioksidasi secara reversibel selama transfer elektron. Beberapa Fe hadir dalam bentuk terlarut dan beberapa terikat oleh membrane . Kadar Fe dalam tanah sekitar 0,7-55%, sedangkan dalam tanaman sekitar 80% yang terdapat dalam kloroplas/sitoplasma. Dalam kloroplas Fe di ferodoksin hadir dalam bentuk divalent dan trivalent. Kebutuhan Fe tanaman sebanding dengan kebutuhan Mn (Purba et al., 2021).

- Kekurangan : tanaman yang terdefisiensi unsur hara besi mengalami perubahan warna (klorosis), yaitu menjadi kuning, tanaman yang baru tumbuh menjadi putih. Hal ini disebabkan karena tanaman kekurangan klorofil. Unsur hara besi dapat mempengaruhi pertumbuhan akar pada tanaman (Purba et al., 2021).
- Kelebihan unsur hara besi mengakibatkan tanaman mengalami nekrosis yang menyebabkan tanaman muncul bintik berwarna gelap pada daun tanaman (Purba et al., 2021).

7. Boron

Boron merupakan unsur yang berasal dari formalin (golongan mineral), apabila terlapuk akan menghasilkan ion borat (BO_3). Pola ketersediaan B mirip dengan P, yaitu maksimum pada pH 8,75. Unsur ini diserap tanaman dalam bentuk asam borat

(H_3BO_3) atau ion borat ($\text{H}_4\text{BO}_7^{2-}$, H_2BO_3^- , HBO_3^{2-} , BO_3^{3-}) (Purba et al., 2021).

- Kekurangan boron dapat mengganggu proses pembelahan sel dan tanaman tidak dapat membentuk pucuk – pucuk tanaman.
- Kelebihan unsur hara boron mengakibatkan tanaman menjadi stress dan dapat membuat protoplasma pada tanaman menjadi rusak.

8. Mangan

Mangan (Mn) terkandung pada batuan primer yang tersusun oleh mineral sekunder berbahan ferro-magnesian, seperti pirolusit, redokrosit, braunit, rhodonite dan manganit. Kadar Mn dalam tanah berkisar antara 200-300 ppm yang terbentuk dari pelapukan batuan. Mangan diserap tanaman dalam bentuk ion Mn^{2+} , kadar ion ini tergantung pada reaksi oksidasi-reduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, bahan organik, aktivitas mikroorganisme dan kelembaban tanah (Purba et al., 2021).

- Kekurangan : pada tanaman yang memiliki biji berkeping dua dapat mengalami klorosis pada tanaman yang masih muda, yaitu mengalami gejala bintik – bintik berwarna abu – abu pada bagian tepi bawah daun. Pada tanaman kacang – kacangangan mengalami nekrosis pada kotiledon tanaman
- Kelebihan : Keracunan unsur hara mangan, mengakibatkan gejala bintik – bintik berwarna hitam pada kulit kayu yang masih muda. Biasanya gejala ini muncul pada apel.

9. Zink

Zink diserap tanaman dalam bentuk Zn^{2+} yang merupakan hasil dari pelapukan mineral dan penyusun 0,002% tanaman. Zn dalam tanah tersedia sekitar antara 16-300 ppm. Seng merupakan kofaktor fungsional dari sejumlah besar enzim. Jumlah seng yang dibutuhkan dalam 1 siklus pertumbuhan

tanaman sebanding dengan jumlah mangan. Apabila tanaman kekurangan unsur ini maka akan mengalami klorosis, tanaman kerdil, ruas batang memendek dan daun mengecil (Purba et al., 2021).

- Kekurangan : mengakibatkan gejala klorosis pada daun muda yang menyebabkan terbentuknya pita pada daun tanaman. Apabila gejala parah menyebabkan tanaman menjadi kerdil sehingga lambat laun daun akan gugur dan tanaman akan mati. Selain itu pada tanaman berbuah dan kacang – kacangan akan mengalami rosetting pada bagian cabang.
- Kelebihan : Kelebihan unsur hara seng terjadi apabila kandungan unsur ini melebihi angka 200 ppm. Gejala keracunan unsur hara seng pada tanaman ialah ukuran daun menjadi kecil dan daun muda mengalami klorosis, ujung daun mengalami nekrotik, dan pertumbuhan akar menjadi tidak maksimal.

10. Tembaga

Cu diserap tanaman dalam bentuk kation Cu^{2+} dan dapat diserap dalam bentuk senyawa kompleks organik, seperti Cu-EDTA dan Cu-DTPA. Tembaga terbentuk dari pelapukan mineral, beberapa mineral yang mengandung unsur ini adalah kalkosit, kalkopirit, tenorit, krisokola, kovelit, kuprit, malakit dan brokantit. Cu dalam tanaman banyak terdapat dalam kloroplas dan diikat oleh plastosianin.

- Kekurangan unsur hara tembaga menyebabkan tanaman menjadi kekurangan unsur hara besi (Fe). Apabila Cu berinteraksi dengan unsur hara molibdenum (Mo) dapat mengganggu kerja enzimati NO_3 dan penyerapan akar tanaman. Tanaman yang kekurangan Cu menyebabkan tanaman menjadi kerdil, pada daun muda akan mengalami distorsi dan nekrosis pada jaringan apikal meristem pada

tanaman, perubahan warna pada daun muda menjadi putih dan tanaman akan mati pada musim kemarau (Purba et al., 2021).

- Kelebihan : Kelebihan tembaga menghambat pertumbuhan tanaman dan mengganggu proses seluler yang penting (yaitu proses transpor elektron fotosintesis). Gejala toksisitas tembaga ialah akar tanaman tidak dapat memanjang serta akar lateral akan terganggu. Selain itu kelebihan tembaga dapat membuat pH tanah menjadi asam.

11. Klor

Klor merupakan unsur yang menyusun 0,01% tanaman dan diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Cl^- . Ketersediaan anion Cl^- cukup melimpah namun hanya digunakan sedikit oleh tanaman, hal ini karena adanya penguapan dari laut ke atmosfer yang kemudian terlarut dalam air hujan (Purba et al., 2021).

- Kekurangan : Gejala kekurangan unsur hara klor ialah daun muda akan mengalami klorosis dan kemudian tanaman menjadi layu.
- Kelebihan : Gejala kelebihan unsur hara klor ialah perubahan warna daun menjadi kuning sebelum daun tanaman menjadi tua. Daun akan mengalami bronzing dan abisi daun. Selain itu, tanaman akan mengalami gangguan penyerapan anion dan kation dalam tanah akibat pengaruh dari NaCl yang tinggi.

12. Molibdenum

Molibdenum ialah komponen struktural dari enzim nitrogenase dan nitratreductase. Mo menyusun 0,00001% tanaman yang diserap tanaman dalam bentuk MoO_4^{2-} . Molibdenum dalam tanah berasal dari pelapukan mineral yang terakumulasi dalam bahan organik/diabsorpsi oleh fraksi liat

bermuatan positif, contohnya liat oksida, kaolinit, gipsit dan geothit. Ketersediaan Mo dalam tanah sebesar 0,2-36 ppm (Purba et al., 2021).

- Kekurangan : Tanaman yang mengalami defisiensi unsur hara Mo memiliki gejala yang hampir sama dengan nitrogen. Warna daun tanaman akan berubah menjadi kuning, daun tua mengalami klorosis, daun tanaman akan menggulung, dan pertumbuhan bunga tidak banyak.
- Kelebihan : Kelebihan unsur hara Mo tidak berpengaruh pada tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Hakim, N., Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.G., Diha, M.A., Hong, G.B., Bailey, H.H. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p.
- Nurhayati, D. R. 2021. Pengantar Nutrisi Tanaman. Solo : Unisri Press.
- Nurhidayati. 2017. Kesuburan dan Kesehatan Tanah. Malang : Intimedia.
- Purba, T., Ningsih, H., Junaedi, P. A. S., Junairiah, B. G., Arsi, R. F. 2021 . Tanah dan Nutrisi Tanaman. Medan : Penerbit Yayasan Kita Menulis.
- Wiraatmaja, I Wayan. 2016. Pergerakan Hara dan Mineral dalam Tanaman. Badung : Fakultas Pertanian Universitas Udayana.

BAB 9

PENGELOLAAN GULMA

9.1 Pendahuluan

1. Definisi dan Pentingnya Pengelolaan Gulma

Gulma adalah tanaman yang tumbuh di tempat yang tidak diinginkan dan mengganggu tanaman yang dibudidayakan. Pengelolaan gulma melibatkan serangkaian tindakan untuk mengurangi atau menghilangkan dampak negatif gulma terhadap tanaman utama. Pentingnya pengelolaan gulma terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan produktivitas pertanian, menjaga kualitas lingkungan, serta mengurangi kerugian ekonomi akibat penurunan hasil panen.

2. Sejarah dan Perkembangan Ilmu Pengelolaan Gulma

Ilmu pengelolaan gulma telah berkembang dari metode tradisional seperti penyiangan manual hingga penggunaan teknologi modern seperti herbisida dan bioteknologi. Seiring dengan perkembangan zaman, pendekatan pengelolaan gulma semakin terintegrasi dengan memperhitungkan aspek lingkungan dan keberlanjutan.

3. Tantangan dan Permasalahan yang Dihadapi

Beberapa tantangan dalam pengelolaan gulma termasuk resistensi gulma terhadap herbisida, perubahan iklim yang mempengaruhi pola pertumbuhan gulma, dan kurangnya pengetahuan serta teknologi di kalangan petani. Permasalahan ini menuntut adanya inovasi dan penelitian lebih lanjut untuk menemukan solusi yang efektif dan berkelanjutan.

9.2 Klasifikasi dan Identifikasi Gulma

1. Klasifikasi Gulma Berdasarkan Morfologi

Gulma dapat diklasifikasikan berdasarkan morfologi, seperti bentuk daun, sistem perakaran, dan tipe pertumbuhan. Pengklasifikasian ini membantu dalam identifikasi dan penentuan metode pengendalian yang tepat.

2. Identifikasi Gulma di Lapangan

Identifikasi gulma di lapangan penting untuk menentukan strategi pengelolaan yang sesuai. Hal ini melibatkan pengamatan ciri-ciri fisik gulma seperti bentuk daun, batang, dan bunga.

3. Penggunaan Teknologi dalam Identifikasi Gulma

Teknologi modern seperti aplikasi identifikasi gulma berbasis AI dan perangkat lunak analisis citra telah mempermudah proses identifikasi gulma. Teknologi ini meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengelolaan gulma.

9.3 Biologi dan Ekologi Gulma

1. Siklus Hidup dan Reproduksi Gulma

Pemahaman tentang siklus hidup dan reproduksi gulma penting untuk mengembangkan strategi pengendalian yang efektif. Gulma memiliki kemampuan reproduksi yang tinggi, baik melalui biji maupun vegetatif, sehingga dapat menyebar dengan cepat.

2. Interaksi Gulma dengan Lingkungan

Gulma berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya dalam hal kompetisi untuk sumber daya, adaptasi terhadap kondisi cuaca, dan respon terhadap gangguan. Interaksi ini mempengaruhi keberhasilan gulma dalam menginvasi lahan pertanian.

3. Adaptasi Gulma terhadap Lingkungan yang Berubah

Gulma memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan, seperti kekeringan, banjir, atau

penggunaan herbisida. Adaptasi ini membuat gulma menjadi tantangan yang terus berkembang dalam pengelolaan pertanian.

9.4 Dampak Gulma pada Pertanian dan Lingkungan

1. Pengaruh Gulma terhadap Hasil Panen

Gulma dapat menurunkan hasil panen dengan cara bersaing langsung dengan tanaman budidaya untuk mendapatkan air, nutrisi, dan cahaya. Selain itu, gulma juga dapat menurunkan kualitas hasil panen.

2. Dampak Ekonomi dan Lingkungan dari Infestasi Gulma

Infestasi gulma yang tidak terkendali dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani. Selain itu, penggunaan herbisida yang berlebihan untuk mengendalikan gulma juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air.

3. Gulma sebagai Penyakit dan Hama Tanaman

Beberapa jenis gulma dapat menjadi inang bagi hama dan patogen tanaman, yang kemudian dapat menyerang tanaman budidaya dan menyebabkan penyakit. Oleh karena itu, pengelolaan gulma juga merupakan bagian penting dari pengendalian hama dan penyakit tanaman.

9.5 Metode Pengendalian Gulma

1. Pengendalian Secara Mekanis

Pengendalian mekanis melibatkan tindakan fisik seperti penyiangan, pengolahan tanah, atau penggunaan alat pemotong gulma. Metode ini efektif untuk gulma yang tumbuh di area yang terbatas, namun memerlukan tenaga kerja yang lebih banyak.

2. Pengendalian Secara Kimiawi

Pengendalian kimiawi menggunakan herbisida untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan gulma. Metode ini efektif untuk skala besar, tetapi memerlukan perhatian terhadap dosis, waktu aplikasi, dan dampak lingkungan.

3. Pengendalian Secara Biologi

Pengendalian biologi melibatkan penggunaan organisme hidup seperti serangga, jamur, atau bakteri untuk mengendalikan gulma. Metode ini ramah lingkungan dan dapat menjadi bagian dari pengelolaan gulma yang berkelanjutan.

4. Pengendalian Terpadu (Integrated Weed Management)

Pengendalian terpadu menggabungkan berbagai metode pengendalian (mekanis, kimiawi, biologi) untuk mencapai hasil yang lebih efektif dan berkelanjutan. Pendekatan ini mempertimbangkan keseimbangan antara efisiensi pengendalian dan dampak lingkungan.

9.6 Penggunaan Herbisida

1. Jenis-jenis Herbisida dan Cara Kerjanya

Herbisida dapat diklasifikasikan berdasarkan cara kerjanya, seperti herbisida sistemik yang diserap oleh tanaman dan herbisida kontak yang bekerja pada bagian yang terkena. Pemilihan jenis herbisida yang tepat sangat penting untuk efektivitas pengendalian gulma.

2. Aplikasi Herbisida yang Efektif

Aplikasi herbisida yang efektif memerlukan pemahaman tentang waktu, dosis, dan teknik aplikasi yang tepat. Kesalahan dalam aplikasi dapat menyebabkan resistensi gulma atau kerusakan pada tanaman budidaya.

3. Dampak Lingkungan dan Kesehatan dari Penggunaan Herbisida

Penggunaan herbisida yang tidak bijaksana dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia serta satwa. Oleh karena itu, penggunaan herbisida harus dilakukan dengan mempertimbangkan keamanan dan keberlanjutan.

9.7 Pengelolaan Gulma di Berbagai Sektor

1. Pengelolaan Gulma di Lahan Pertanian

Pengelolaan gulma di lahan pertanian melibatkan kombinasi metode mekanis, kimiawi, dan biologi untuk menjaga hasil panen yang optimal. Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan pengelolaan gulma yang berbeda.

2. Pengelolaan Gulma di Perkebunan

Di perkebunan, pengelolaan gulma berfokus pada menjaga area di sekitar tanaman pokok agar tetap bebas dari gulma. Penggunaan mulsa dan tanaman penutup tanah juga sering digunakan untuk mengurangi pertumbuhan gulma.

3. Pengelolaan Gulma di Area Non-Pertanian

Pengelolaan gulma di area non-pertanian seperti taman, jalur transportasi, dan area industri melibatkan metode yang berbeda, tergantung pada kebutuhan estetika dan fungsional dari area tersebut.

9.8 Studi Kasus

1. Studi Kasus Pengelolaan Gulma di Berbagai Wilayah

Studi kasus dari berbagai wilayah menunjukkan bagaimana pendekatan pengelolaan gulma dapat disesuaikan dengan kondisi lokal, seperti jenis tanaman, iklim, dan ketersediaan sumber daya.

2. Evaluasi Keberhasilan Pengelolaan Gulma

Evaluasi keberhasilan pengelolaan gulma penting untuk mengukur efektivitas strategi yang diterapkan. Hal ini juga membantu dalam merumuskan rekomendasi untuk perbaikan di masa depan.

9.9 Perkembangan Terkini dalam Pengelolaan Gulma

1. Teknologi Baru dalam Pengelolaan Gulma

Penggunaan teknologi baru seperti drone untuk aplikasi herbisida, sensor untuk deteksi gulma, dan rekayasa genetika untuk tanaman tahan gulma menjadi tren dalam pengelolaan gulma yang modern.

2. Penelitian Terkini dan Inovasi

Penelitian terkini berfokus pada pengembangan herbisida yang lebih ramah lingkungan, metode biologi yang lebih efektif, serta pendekatan terpadu yang dapat diterapkan dalam berbagai kondisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R. L., & Robinson, R. T. (2022). *Pengelolaan Gulma Modern: Prinsip dan Praktek*. Jakarta: Penerbit Agro.
- Kusuma, T. H., & Arifin, B. (2021). *Klasifikasi dan Identifikasi Gulma*. Bandung: Penerbit Pertanian.
- Sutrisno, A. (2023). *Biologi dan Ekologi Gulma: Panduan Lengkap*. Yogyakarta: Penerbit Agro.
- Wahyudi, R. (2020). *Dampak Gulma pada Pertanian dan Lingkungan*. Surabaya: Penerbit Green Press.
- Fitriani, N., & Haryanto, J. (2022). *Metode Pengendalian Gulma: Mekanis, Kimiawi, dan Biologi*. Semarang: Penerbit Inovasi.
- Prasetyo, D. S. (2024). *Penggunaan Herbisida dalam Pengelolaan Gulma*. Medan: Penerbit Tekno Agri.
- Gunawan, S. (2021). *Pengelolaan Gulma di Berbagai Sektor: Pertanian, Perkebunan, dan Non-Pertanian*. Makassar: Penerbit Multi Sektor.
- Yuniarti, L. (2023). *Studi Kasus dan Evaluasi Pengelolaan Gulma*. Palembang: Penerbit Agristudy.
- Hendrawan, I., & Budianto, M. (2024). *Perkembangan Terkini dalam Pengelolaan Gulma*. Solo: Penerbit Techno Green.

BAB 10

PENGELOLAAN HAMA DAN PENYAKIT TANAMAN

Tujuan utama dari pembangunan pertanian adalah untuk meningkatkan produksi pangan guna memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah dan menghadapi tekanan alih fungsi lahan. Namun, perkembangan teknologi dalam pertanian telah mengubah ekosistem alami dari heterogen yang stabil menjadi homogen yang labil. Dampaknya termasuk hilangnya kontrol alami atas populasi organisme pengganggu tanaman, yang dapat merugikan produksi pertanian secara signifikan (Salikin, 2024). Oleh karena itu, penanganan yang serius terhadap organisme pengganggu tanaman sangat diperlukan, dimulai dari pemahaman mendalam terhadap siklus hidup, biologi, perilaku, perkembangan, dan penyebaran mereka.

Berikut ini beberapa jenis hama yang sering menyerang tanaman pertanian yang menjadi musuh petani yaitu:

1. *Serangga*, merupakan hama utama yang merusak tanaman sejak persemaian hingga pascapanen. Serangga memiliki kemampuan bertahan hidup karena tubuh kecil, makanan melimpah, reproduksi cepat, adaptasi tinggi terhadap lingkungan, dan kemampuan berpindah dengan sayap.
2. *Moluska* (keong, siput), bertulang luar dengan tubuh berlendir, menyerang bagian batang, pucuk, dan daun, terutama pada fase vegetatif.

-
3. *Nematoda*, cacing parasit yang hidup di dalam tanah, menyerang akar dan batang tanaman, tidak terlihat tanpa mikroskop, dan sering diklasifikasikan sebagai patogen.
 4. **Hewan vertebrata** (tikus, burung, tupai, babi hutan, monyet), merusak tanaman dengan memakan atau menggunakan bagian tanaman sebagai sarang, menyerang sejak fase vegetatif hingga generatif.

Penyakit tanaman terjadi ketika fisiologi tanaman terganggu, menyebabkan hambatan dalam pertumbuhan dan penurunan produksi. Penyebab penyakit dapat dibagi menjadi dua faktor:

- a. **Faktor biotik**, yang meliputi organisme patogen seperti cendawan, bakteri, virus, dan mikoplasma. Faktor genetik tanaman yang rentan juga berkontribusi. Penyakit yang disebabkan oleh biotik biasanya menular, kecuali yang bersifat genetik.
- b. **Faktor non-biotik**, terkait dengan kondisi lingkungan yang tidak mendukung, seperti kurangnya sinar matahari, suhu ekstrem, kelembaban tinggi, atau kesalahan manajemen, seperti pemupukan berlebihan atau jarak tanam yang tidak tepat. Penyakit non-biotik tidak menular.

Hama dan penyakit ini berpotensi menyebabkan gagal panen, sehingga pengelolaan yang berkelanjutan perlu dilakukan dengan memperhatikan agroekosistem yang baik.

Pengelolaan hama dan penyakit pada tanaman agar mendapat hasil yang diharapkan maka perlu diterapkan beberapa langkah antara lain :

1. Identifikasi hama dan penyakit tanaman
2. Pelaksanaan budidaya yang baik
3. Pengendalian hama dan penyakit
4. Pemantauan dan evaluasi.
5. Peningkatan pengetahuan petani tentang hama dan penyakit.
6. Pendekatan yang berkelanjutan.

10.1 Identifikasi hama dan penyakit.

Identifikasi hama dan penyakit tanaman melibatkan pengamatan awal terhadap hama dan penyakit yang ada atau pernah ada di suatu area, serta analisis faktor lingkungan yang mendukung perkembangannya (Elisurya Ibrahim *et al.*, 2019). Hal ini penting untuk menentukan metode pengendalian yang tepat. Langkah – Langkah yang dilakukan untuk mengidentifikasi hama dan penyakit tanaman pada lahan yang telah ada tanaman adalah :

- 1) **Observasi rutin.** Periksa tanaman secara berkala untuk mendeteksi tanda-tanda awal serangan. Lihat bagian tanaman seperti daun, batang, dan akar. **Contoh:** Lihat apakah ada bekas gigitan hama / ulat pada daun atau bercak cokelat pada daun akibat serangan penyakit.
- 2) **Identifikasi Spesies Hama/Penyakit:** Melakukan identifikasi tentunya dibutuhkan pengetahuan tentang pengenalan

biologi hama dan penyakit tanaman, demikian juga gejala serangan yang ditimbulkan pada tanaman.

- 3) ***Pemantauan Populasi***: Cek tingkat infeksi atau kerusakan untuk menentukan tingkat keparahan masalah. **Contoh**: Hitung jumlah organisme pengganggu pada tanaman atau ukur luas area bagian tanaman yang terjangkit patogen misalnya bercak jamur yang akhirnya ini berguna untuk menentukan ambang ekonomi serangan hama dan penyakit pada tanaman.

Penentuan ambang ekonomi serangan organisme pengganggu tanaman penting untuk menentukan waktu dan tindakan pengendalian yang tepat, guna mencegah kerusakan besar dan penyebaran hama ke area lain. Prinsipnya adalah membandingkan nilai kerugian dengan biaya pengendalian. Untuk identifikasi hama dan penyakit yang akurat, gunakan panduan, aplikasi ponsel, atau konsultasi dengan ahli pertanian. Pengamatan yang teliti terhadap jenis hama dan penyakit diperlukan agar penanganan efektif, sehingga produksi optimal tetap tercapai.

Agar lebih cepat mendapatkan hasil identifikasi seharusnya pengamat membutuhkan kemampuan mengenal jasad pengganggu tanaman dan gejala serangan pada tanaman yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

➤ ***Hama***

Dari seluruh organisme pengganggu tanaman yang berstatus sebagai hama tanaman di muka bumi ini yang paling banyak menimbulkan kerugian adalah dari kelompok Serangga. Hampir semua tanaman yang berguna bagi kehidupan manusia

dirusak oleh serangga. Untuk memudahkan pengenalan serangga yang lebih mudah adalah berdasarkan tekstur sayap yang mencirikan penentuan ordo serangga ,antara lain :

- **Ordo Orthoptera.** Serangga ini mempunyai 2 pasang sayap, sepasang sayap depan lebih tebal juga sebagai pelindung sayap belakang pada istirahat, sepasang sayap belakang yang tipis seperti membrane berfungsi untuk terbang. Bila istirahat sayap ini dilipat lurus sejajar dengan tubuh. Type metamorfosa Serangga ini adalah hemimetabola, type alat mulut menggigit dan mengunyah. Contoh yang termasuk pada ordo ini adalah: Belalang pedang (*sexava* sp), Belalang kayu (*Valanga nigricornis*), Oromg -orong (*Gryllotapa Africana*). Serangga dari ordo Orthoptera ini merusak tanaman pada fase nymfa dan imago.



- **Ordo Lepidoptera.** Serangga ini mempunyai dua pasang sayap seperti memberan namun penuh dengan sisik halus,



keduanya sayap digunakan untuk terbang. Imago serangga ini aktif pada siang hari biasa disebut kupu -kupu, ada juga

yang aktif di malam hari yang disebut ngengat. Pada ordo ini yang merusak tanaman adalah larvanya (Alat mulut menggigit dan mengunyah). Type metamorfosa holometabola.

- **Ordo Hemiptera** . Serangga ini setengah sayap depan bagian pangkal menebal dan $\frac{1}{2}$ bagian hingga ujung bertekstur selaput/menipis (*membrane*) misalnya : kepik , walang sangit. Yang merusak tanaman pada ordo ini adalah nymfa dan imago. alat mulut menusuk dan mengisap).Serangga ordo ini metamorfosa hemimetabola.



- **Ordo Coleoptera**. Serangga ini mempunyai sepasang sayap depan yang tebal dan keras berbentuk seludang yang berguna untuk melindungi sayap belakang dan tubuhnya, sepasang sayap belakang tipis berguna untuk terbang. Misalnya kumbang yang memiliki metamorfosa holometabola. Yang merusak pada ordo ini adalah larva misalnya kumbang moncong (*Rhynchopus ferrugineus* merusak pucuk kelapa), juga imago misalnya kumbang tanduk (*Oryctes Rhinoseros* merusak/memotong daun kelapa muda), ada juga larva dan imagonya misalnya kumbang pada tanaman famili *solanaseae* (terung) kumbang *epilacna sp.*.



- **Ordo Homoptera**. Serangga ini mempunyai 2 pasang sayap, sayap depan dan sayap belakang bertekstur sama (*membrane*) , saat istirahat dilipat dibelang menyerupai

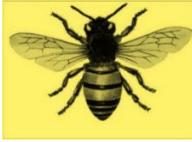
atap , merusak tanaman stadia nymfa dan imago (mengisap cairan tanaman).



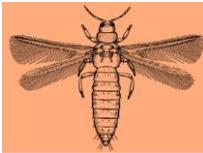
- **Ordo Diptera.** Serangga ini hanya sepasang sayap pada meso toraks tekstur memberan dan tipis berguna untuk terbang, sedangkan sayap belakang pada pada metathorax telah bermodifikasi menjadi kecil yang berguna untuk keseimbangan yang disebut *halter*. Yang merusak tanaman pada ordo ini adalah larva (mulut menggigit dan mengunyah) misalnya lalat buah, lalat bibit.



- **Ordo Hymenoptera.** Serangga ini mempunyai 2 pasang sayap bertekstur seleput/ membrane dan kaku, sayap depan dengan sayap belakang saling terhubung dengan kaitan yang disebut *hamuli* . Ciri khas dari ordo ini yaitu pinggang yang sempit/langsing antara segmen 1 dengan segmen 2 dari abdomen. Contohnya semut , lebah. Sebagian besar dari ordo ini tidak sebagai hama tetapi sebagai parasite/predator terhadap serangga lain, juga membantu penyerbukan. Kerusakan tanaman akibat ordo Hymenoptera ini adalah kadang memotong tangkai serbuk sari / kepala putik saat mengambil nektar (madu) sehingga tidak terjadi penyerbukan pada bunga.



- **Ordo Thysanoptera.** Serangga ini mempunyai 2 pasang sayap , sayap berkembang baik dengan bentuk sayap sempit, Panjang seperti selaput tanpa pembuluh, pada tepi sayapnya terdapat rambut=rambut halus yang pendek atau Panjang tampak berumbai. Type alat mulut menusuk dan mengisap, atau meraut lalu mengisap , mengambil cairan chloropil pada tanaman. Misalnya *thrips oryzae* menyerang bibit padi di persemaian dengan gejala daun padi seperti lidi dan menguning sehingga pertumbuhan terhambat. Metamorfosa paurometabola.



- **Ordo Isoptera** . Serangga ini mempunyai 2 pasang sayap sayap yang kaku bertekstur membrane, dan ada juga yang tidak bersayap. Type alat mulut menggigit dan menguyah.



- **Ordo Acarina.** Acarina, termasuk dalam filum Arthropoda namun bukan serangga, dikenal sebagai tungau dan tergolong kelas Arachnida. Tungau memiliki

tubuh kecil (kurang dari 1 mm), tidak bersegmen, dan menggunakan mulutnya untuk menghisap atau menggigit cairan tanaman. Pada instar pertama, mereka memiliki enam kaki, dan delapan kaki pada instar berikutnya. Tungau berkembang biak cepat, banyak yang hidup di tanaman mati. Beberapa spesies penting sebagai hama adalah Tetranychidae, yang menyebabkan daun coklat, kering, dan gugur, serta Eriophyidae, yang menyebabkan puru dan deformasi pada tanaman. Ada juga tungau pemangsa yang membantu mengendalikan hama tanaman lainnya. Punggung cembung dan perut datar. Tubuh tungau beruas-ruas, lebih menyerupai laba-laba dari pada Serangga. Ciri khas tungau sbb :

- 1) Mempunyai alat mulut untuk menggigit, menusuk dan mengisap
- 2) Bagian kepalanya kerap kali tidak bermata
- 3) Bagian alat mulut berkembang baik sesuai dengan fungsinya
- 4) Batas antara kepala dengan thorax dan abdomen tidak jelas.
- 5) Mempunyai 4 pasang kaki. Sebenarnya kaki depan berfungsi untuk menjepit makanan.

➤ *Penyakit Tanaman*

Penyakit tanaman adalah gangguan pada tumbuhan yang disebabkan oleh patogen maupun non patogen, sehingga menyebabkan proses pertumbuhan tanaman secara keseluruhan atau pada bagian tertentu tidak dapat berjalan sesuai fungsi normalnya, atau dengan kata lain menghambat proses pertumbuhan tanaman.

Untuk melakukan observasi dan identifikasi penyakit tanaman yang lebih dipahami adalah gejala penyakit dan letak pada bagian tanaman yang diserang patogen penyakit pada tanaman. Adapun jenis penyakit tanaman antara lain :

1. *Bercak Daun (Leaf Spots)*

Bercak daun adalah gejala penyakit tanaman yang umumnya disebabkan oleh jamur *Cercospora sp.* atau bakteri patogen. Gejalanya berupa bercak-bercak berwarna coklat, hitam, merah, kuning, atau putih pada daun, tergantung jenis patogennya. Kondisi ini mengurangi kemampuan daun melakukan fotosintesis, sehingga berdampak pada pertumbuhan dan hasil tanaman.

Contoh penyakit dengan gejala bercak daun termasuk bercak daun tomat (Early Blight) dan bercak daun stroberi.



2. *Layu Tanaman (Plant Wilting)*

Layu adalah gejala di mana tanaman kehilangan turgor, yang mengakibatkan daun dan batangnya menjadi lembek dan melunak. Penyebab layu dapat beragam, termasuk infeksi bakteri (*Pseudomonas*

solanacearum) pada tanaman kentang atau jamur *Fusarium oxysporum* pada tanaman cabe dan tomat. Gejala ini biasanya disertai dengan daun yang menggantung, berubah warna menjadi kecoklatan, dan pada akhirnya daun rontok dan tanaman bisa mati. Serangan penyakit hamper di semua fase mulai dari persemaian hingga fase generatif.

Penyebaran penyakit layu ini bisa melalui percikan air, bisa juga melalui angin dan peralatan pertanian



3. Hawar Daun (Leaf Blight)

Hawar daun ditandai dengan bercak-bercak besar, gelap, atau coklat pada daun, batang, dan buah, yang dapat membesar, menyebabkan daun mengering dan mati, serta mengurangi hasil panen. Contohnya adalah hawar daun pada tomat, jagung, dan padi. Penyebabnya bisa berupa jamur patogen seperti *Helminthosporium turcicum*, yang bisa menurunkan hasil jagung hingga 70-100%, atau bakteri patogen seperti *Xanthomonas oryzae pv. oryzae*, yang menyerang tanaman padi di semua fase pertumbuhan, menimbulkan gejala kresek pada fase vegetatif dan hawar pada fase generatif.



4. Embun Tepung (*Powdery Mildew*)

Embun tepung adalah gejala yang terjadi ketika tanaman terinfeksi oleh jamur *jamur Leveillula taurica*. Gejala serangan fase infeksi awal ditandai dengan munculnya bercak-bercak berwarna hijau terang sampai kuning terang lapisan serbuk putih seperti tepung pada permukaan daun tua, batang, atau bahkan buah tanaman.

Embun tepung dapat mengurangi kemampuan tanaman untuk fotosintesis dan menghambat perkembangan buah dan biji. Tanaman yang sering terkena embun tepung meliputi mawar, anggur, tomat, semangka, terung, cabe dan kubis.



5. Busuk Akar (*Root Rot*)

Busuk akar adalah penyakit yang ditularkan melalui tanah, sering terjadi pada tanaman di lingkungan dengan drainase buruk, kepadatan tinggi, dan kurang sinar matahari. Penyebabnya bisa berupa infeksi jamur seperti *Phytophthora sp.* atau bakteri seperti *Pectobacterium*

carotovorum. Gejalanya meliputi perubahan warna akar menjadi coklat atau hitam, akar yang lembek dan berbau busuk, serta penurunan kemampuan akar menyerap air dan nutrisi, sehingga tanaman layu dan mati perlahan. Penyakit ini biasanya berkembang di tanah yang terlalu lembab atau tergenang air.



6. Penyakit Karat (*Rust Diseases*)

Penyakit karat adalah kelompok penyakit tanaman yang disebabkan oleh berbagai jenis jamur dari genus *Puccinia* dan *Cronartium*. Gejala penyakit karat termasuk munculnya bercak-bercak pada daun berwarna coklat kemerahan pada daun yang semakin lama semakin membesar.. gejala ini bisa juga terlihat pada batang, bahkan biji tanaman. Penyakit karat dapat merusak tanaman dengan mengurangi kemampuan fotosintesisnya dan menghambat pertumbuhan.



7. *Penyakit Embun Tepung (Powdery Mildew)*

Penyakit embun tepung disebabkan oleh berbagai jenis jamur dari famili Erysiphaceae. Gejala penyakit ini ditandai munculnya serbuk putih seperti tepung pada daun, batang, atau buah tanaman (Ishak & Daryono, 2020).

Embun tepung mengganggu kemampuan tanaman untuk melakukan fotosintesis dan dapat mengurangi hasil panen (Mauliddiyah, 2021). Jamur ini mengambil nutrisi dari tanaman sehingga pertumbuhan tanaman terhambat. Ketika penyakit berkembang, bagian yang terinfeksi mengerut, daun rontok dan tanaman mungkin mati. Tanaman yang sering terkena penyakit ini termasuk mawar, anggur, dan kubis.



8. *Penyakit Kerdil (Dwarfing Diseases)*

Penyebab tanaman kerdil dapat disebabkan oleh beberapa faktor biotik (pathogen) dan abiotic. Kerdil yang disebabkan oleh abiotic tidak menular pada tanaman sehat contohnya:

- a. Kebutuhan Unsur Hara tidak tercukupi
- b. Tanaman kekurangan sinar matahari
- c. Air yang diperoleh tanaman kurang
- d. Suhu udara yang tidak sesuai

Tanaman kerdil akibat patogen bersifat menular, kecuali kerdil alami. Penyebabnya bisa berupa serangga seperti lalat bibit pada kedelai (*Agromiza phaseoli*), mikroorganisme termasuk virus seperti Rice Grassy Stunt Virus (RGSV) pada padi, atau virus gemini pada cabai yang disebarkan oleh kutu kebul, serta nematoda pada pisang dan bakteri (Suprihanto, 2015). Gejala umumnya meliputi pertumbuhan yang terhambat, daun kecil, dan buah yang tidak berkembang. Pencegahan penyakit ini dilakukan melalui pemilihan benih sehat dan pengendalian serangga vector. Identifikasi dini sangat penting untuk menjaga produktivitas dan kesehatan tanaman.



10.2 Cara Pengendalian Hama Dan Penyakit Tanaman

Pengendalian hama dan penyakit tanaman adalah suatu tindakan yang bertujuan untuk menekan jumlah populasi dan penyebaran organisme hama dan penyakit di bawah ambang ekonomis (Kuswardani & Maimunah, 2013). Kehidupan hama tanaman dipengaruhi oleh faktor genetik dan faktor habitat.

- a. Faktor genetik yaitu faktor yang dimiliki oleh jenis hama tersebut yaitu : kemampuan berkembang biak misalnya kecepatan berkembang biak (waktu siklus hidup yang singkat) dan kemampuan beradaptasi.

-
- b. Faktor habitat. Yaitu factor-faktor yang ada dilingkungan yang mempengaruhi kehidupan hama misalnya : Faktor hayati (keberadaan parasite, predator), factor fisik (iklim), factor makanan (tanaman dan host lain)

10.3 Praktik Budidaya yang baik

Rotasi tanaman adalah praktik menggilir tanaman di lahan secara berkala untuk mencegah akumulasi hama dan patogen serta meningkatkan kesuburan tanah, seperti rotasi dengan tanaman kacang-kacangan (*leguminosa*). Pemilihan varietas resisten melibatkan penggunaan tanaman yang tahan terhadap serangan hama dan penyakit, misalnya varietas padi tahan wereng (VUTW).

Pengelolaan tanah yang sehat dilakukan dengan mengolah tanah untuk memperbaiki struktur dan membasmi hama yang berada di tanah, seperti hama penggerek batang padi (Yusri, 2020). Pengaturan jarak tanam bertujuan menjaga sirkulasi udara, mencegah gulma, dan mengurangi kelembaban yang memicu hama, contohnya pada tanaman kakao. Pemupukan harus disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, karena pemupukan berlebih, khususnya nitrogen, dapat meningkatkan kerentanan terhadap hama dan penyakit.

10.4 Pengendalian Hama dan Penyakit

Pengendalian hama penyakit tanaman dapat dilakukan dengan berbagai metode, namun harus memperhatikan nilai ekonomis , ramah lingkungan dan berkelanjutan . Dengan mempertimbangkan prinsip tersebut maka metode pengendalian hama penyakit yang tepat adalah adalah perpaduan berbagai metode pengendalian hama dan

penyakit dimana metode pengendalian kimia adalah alternatif terakhir, teknik pengendalian ini dikenal dengan Pengendalian Hama Terpadu (PHT).

Pengendalian hama terpadu (PHT) adalah pengendalian hama dan penyakit pada tanaman dengan perpaduan berbagai metode dalam suatu kesatuan dengan tujuan mencegah kerusakan tanaman dan menghindari kerugian secara ekonomis serta mencegah kerusakan lingkungan atau ekosistem. PHT pada dasarnya menekan populasi hama dan penyakit pada tingkat tidak merugikan bukan memusnahkan organisme pengganggu tanaman. Adapun urutan komponen dan pelaksanaan PHT ini adalah

1. Pengendalian dengan penerapan Undang-Undang Karantina:

Penerapan peraturan Karantina tanaman (PP No.6 Th 1995: Perlindungan tanaman) yaitu pencegahan atau pembatasan penyebaran hama / penyakit dari benih, bibit atau bagian tanaman yang terinfeksi hama penyakit dari suatu daerah ke daerah lain. Penerapan ini biasanya dilaksanakan di Pelabuhan udara, pelabuhan laut atau di lintasan perbatasan wilayah suatu daerah.

2. Pengendalian Kultural

Pengendalian kultural yaitu perlakuan pada tanaman yang dibudidayakan sehingga tanaman lebih tahan dan tidak gampang terinfeksi hama / penyakit (Rahmad et al., 2017). Contohnya:

-
- a. Kebersihan alat-alat:** Bersihkan alat dan perlengkapan pertanian yang telah digunakan di suatu areal sebelum berpindah ke areal lain, tujuan pembersihan alat ini yaitu untuk mencegah terbawanya atau menyebarnya hama dan penyakit ke wilayah lain.
- b. Manajemen Irigasi:** misalnya pengaturan sistem irigasi untuk menghindari kondisi lembab yang mendukung perkembangan penyakit sebaliknya perlu perendaman lahan dengan air dilahan sawah untuk mematikan penggerek batang padi yang berdiapause di dalam tanah. Selain itu juga termasuk pembuatan drainase untuk mengatur kelembaban tanah dan juga sebagai isolasi atau pembatasan penyebaran penyakit.
- c. Pengolahan tanah.** Bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah sehingga mendukung pertumbuhan tanaman. Selanjutnya dengan pengolahan lahan akan membongkar hama yang terdapat dalam tanah dan sisa-sisa akar atau bagian tumbuhan yang memungkinkan sebagai sumber inoculum pathogen terhadap tanaman yang akan ditanam.
- d. Pemupukan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.** Pemberian pupuk yang tidak tepat selain mengakibatkan keracunan juga akan menimbulkan kerentanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Demikian juga waktu pemberian pupuk tertentu pada saat tanaman masih sakit juga akan berakibat fatal terhadap perkembangan hama dan penyakit , contohnya pemberian pupuk Nitrogen.

e. Penggunaan varietas tanaman yang tahan hama / penyakit (resisten). Tanaman resisten yang digunakan sebaiknya yang telah direkomendasikan atau telah melalui penelitian sebelumnya.

3. Pengendalian Fisik dan Mekanis

Pengendalian fisik yaitu dengan memanfaatkan/ mengatur faktor temperatur ,Cahaya dan kelembaban. Contohnya pengendalian hama gudang di terapkan dengan pengaturan temperature dan kelembaban , Di lahan pertanian terbuka diterapkan lahan harus lahan selalu disinari matahari akan menghambat perkembangan hama penyakit,kecuali komoditi tertentu membutuhkan pohon pelindung dengan ketentuan tertentu misalnya tanaman cacao , Cahaya lampu dengan warna tertentu bisa digunakan untuk menarik hama di dalam perangkap (Manueke et al., 2017).

Pengendalian mekanis yaitu penggunaan alat/ zat atau dengan tangan langsung. Contohnya : Petani langsung mengumpulkan dan mematikan hama dengan tangan sendiri atau dengan menggunakan tanggok/ jaring, Petani memotong bagian tanaman yang terserang penyakit dengan alat parang agar hama penyakit terpisah dari bagian tanaman yang sehat, sehingga terhindar dari penyebaran pada bagian tanaman lain, penggunaan *jebakan* seperti perangkap feromon atau perangkap lengket untuk mengendalikan hama,pnggunaan alat yang menghasilkn bunyi-buyan untuk mengusir burung

4. *Pengendalian Hayati*

Pengendalian hayati yaitu penggunaan Musuh Alami atau organisme : yang bersifat predator, parasit, dan patogen antagonis. Kultur Sisi: yaitu membudidayakan tanaman penutup yang dapat mengurangi populasi hama atau patogen. Organisme sebagai predator biasanya mempunyai ukuran lebih besar dibanding yang dimangsa contohnya : Capung, Katak. Laba-laba pemakan serangga kecil, organisme sebagai parasitoid umumnya mempunyai lebih kecil dibanding dengan yang diparasit contohnya : jamur *Tricoderma* memparasit telur penggerek batang padi, lebah memparasit berbagai ulat /hama (Roja et al., 2009).

Tanaman penutup tanah (*cover crop*) di lahan pertanian / Perkebunan, contohnya leguminosa akan menghambat hama belalang (*Valanga Nigricornis*) untuk meletakkan telur di tanah, kumbang tanduk (*Oryctes rhinoceros*) terhambat meletakkan telur di tanah (sampah).

5. *Pengendalian Kimiawi*

Pengendalian secara kimiawi yaitu penggunaan bahan kimia sintetis sebagai bahan mengendalikan hama dan penyakit yang biasa disebut pestisida. Penggunaan pestisida sangat membutuhkan pertimbangan yang matang karena pemakaian pestida dapat mengakibatkan keracunan bagi konsumen bahkan terdapat pemakai dan juga mengakibatkan polusi, oleh karena itu pemakaian pestisida disesuaikan kebutuhan dengan mematuhi takaran dosis dan waktu

aplikasi yang dianjurkan. Pilih pestisida yang ramah lingkungan dan spesifik terhadap target hama atau penyakit.

Pemakaian pestida agar lebih efektif sangat dibutuhkan berbagai kemampuan pemahaman tentang target sasaran cara kerja pestisida yang akan digunakan, kandungan bahan aktif serta formula pestisida yang digunakan dan pengetahuan yang berkaitan dengan kehidupan/biologi hama dan penyakit yang akan dikendalikan.

Berdasarkan target sasaran yang dibunuh, pestisida diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu sebagai berikut:

1. **Akarisida**, berasal dari kata akari, yang dalam bahasa Yunani berarti tungau atau kutu. Akarisida sering juga disebut Mitesida. Fungsinya untuk membunuh tungau atau kutu. Contohnya Kelthene MF dan Trithion 4 E.
2. **Algasida**, berasal dari kata alga, bahasa latinnya berarti ganggang laut, berfungsi untuk membunuh algae. Contohnya Dimanin.
3. **Alvisida**, berasal dari kata avis, bahasa latinnya berarti burung, fungsinya sebagai pembunuh atau penolak burung. Contohnya Avitrol untuk burung kakaktua.
4. **Bakterisida**, Berasal dari katya latin bacterium, atau kata Yunani bakron, berfungsi untuk membunuh bakteri. Contohnya Agrept, Agrimycin, Bacticin, Tetracyclin, Trichlorophenol Streptomycin.
5. **Fungsida**, berasal dari kata latin fungus, atau kata Yunani spongos yang artinya jamur, berfungsi untuk membunuh jamur atau cendawan. Dapat bersifat fungitoksik (membunuh cendawan) atau fungistatik (menekan pertumbuhan cendawan). Contohnya Benlate, Dithane M-

45 80P, Antracol 70 WP, Cupravit OB 21, Delsene MX 200, Dimatan 50 WP.

6. **Herbisida**, berasal dari kata lain herba, artinya tanaman setahun, berfungsi untuk membunuh gulma. Contohnya Gramoxone, Basta 200 AS, Basfapon 85 SP, Esteron 45 Pg.
7. **Insektisida**, berasal dari kata latin insectum, artinya potongan, keratan segmen tubuh, berfungsi untuk membunuh serangga. Contohnya Lebaycid, Lirocide 650 EC, Thiodan, Sevin, Sevidan 70 WP, Tamaron.
8. **Molluskisida**, berasal dari kata Yunani molluscus, artinya berselubung tipis atau lembek, berfungsi untuk membunuh siput. Contohnya Morestan, PLP, Brestan 60.
9. **Nematisida**, berasal dari kata latin nematoda, atau bahasa Yunani nema berarti benang, berfungsi untuk membunuh nematoda. Contohnya Nemacur, Furadan, Basamid G, Temik 10 G, Vydate.
10. **Ovisida**, berasal dari kata latin ovum berarti telur, berfungsi untuk merusak telur. J. Pedukulisida, berasal dari kata latin pedis, berarti kutu, tuma, berfungsi untuk membunuh kutu atau tuma.
11. **Rodentisida**, berasal dari kata Yunani rodere, berarti pengerat berfungsi untuk membunuh binatang pengerat. Contohnya Dipachin 110, Klerat RMB, Racumin, Ratikus RB, Ratilan, Ratak, Gisorin. N.
12. **Termisida**, berasal dari kata Yunani termes, artinya serangga pelubang kayu berfungsi untuk membunuh rayap. Contohnya Agrolene 26 WP, Chlordane 960 EC, Sevidol 20/20 WP, Lindamul 10 EC, Difusol CB.

Berdasarkan cara kerjanya, pestisida dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

-
1. **Pestisida Kontak**, yaitu pestisida yang mempunyai daya bunuh setelah tubuh jasad terkena sasaran. Contoh: Gramoxone, Diazinon, Folidol dan BHC.
 2. **Pestisida Fumigan**, yaitu pestisida yang mempunyai daya bunuh setelah jasad sasaran terkena uap atau gas. Contoh: Methyl bromide, Gammexane dan Karbondisulfida.
 3. **Pestisida Sistemik**, yaitu pestisida yang dapat ditranslokasi melalui tanaman. Hama akan mati apabila menghisap atau memakan jaringan tanaman. Contoh: Furadan, Curater dan Dimecron.
 4. **Pestisida Lambung**, yaitu pestisida yang mempunyai daya bunuh setelah jasad sasaran memakan pestisida. Contoh: Parathion dan Klerat.

Berdasarkan kandungan bahan aktif / struktur kimia di dalamnya, pestisida dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. **Golongan Organofosfat**. Jenis pestisida ini mengandung unsur-unsur phosphat, carbon, dan hidrogen. Pestisida ini terdiri dari satu gugus atau lebih fosfor yang terkait pada molekul organik. *Organophosphat* dibuat dari suatu molekul organik yang direaksikan dengan fosforilat. Contoh: Parathion, Malathion dan Tetra Ethyl Pyro Phosphat (TEPP). Di Indonesia yang paling banyak dipakai adalah Diazinon dan Dursband.
2. **Golongan Karbamat**. Karbamat adalah jenis pestisida yang mengandung gugus karbamat. Contoh pestisida yang mengandung gugus karbamat adalah Sevin, Sevin dibuat

dari alpha naphthol yang dikondensasi dengan fosgen dan direaksikan dengan metilamin.

- 3. Golongan Organochlorin.** Organochlor adalah pestisida yang mengandung unsur-unsur karbon, hydrogen dan chlorine. Atom-atom chlor dalam komposisinya terikat pada atom hidrokarbon, misal DDT (Dichloro Diphenil Trichloretane), yang dibuat dengan mengkondensasi klorobenzen dan klorat (trichloro asetal dehidra) (Rasiska et al., 2017). Contoh: Aldrin, Chlordane, DDT, Dieldrin, Endosulfan.

10.5 Pemantauan dan Evaluasi

Catat hasil Observasi: Simpan catatan tentang kejadian hama dan penyakit, metode pengendalian yang digunakan, dan hasilnya.

Evaluasi Efektivitas: Tinjau hasil strategi pengendalian yang diterapkan untuk menilai keberhasilan dan membuat penyesuaian jika diperlukan.

10.6 Pendidikan dan Pelatihan

Pendidikan dan pelatihan bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan petani tentang hama dan penyakit tanaman serta pengendaliannya.

Pelatihan Petani: Berikan pelatihan kepada petani sebagai pelaku tentang cara identifikasi, pencegahan, dan pengendalian hama serta penyakit tanaman.

Sumber Daya Informasi: Akses informasi terbaru melalui seminar, workshop, dan publikasi dari lembaga pertanian atau penelitian.

10.7 Pendekatan Berkelanjutan

Pertanian Organik: Pertimbangkan praktik pertanian organik yang mengutamakan penggunaan bahan alami / organik dan minimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Contohnya penggunaan pupuk organik dan pestisida nabati (Piay et al., 2012).

Konservasi: Lakukan konservasi lingkungan dan biodiversitas yaitu mempertahankan habitat yang ada untuk menjaga keseimbangan ekosistem yang mendukung pengendalian hama dan penyakit

DAFTAR PUSTAKA

- Elisurya Ibrahim, Zahlul Ikhsan, Effi Alfiani Sidik Saripah Ulpah, Nur Rosida, S. (2019). Pengendalian Hama Terpadu (PHT). In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
- Ishak, M. A., & Daryono, B. S. (2020). Identifikasi dan analisis ketahanan terhadap penyakit embun tepung pada melon (*Cucumis melo* L.) kultivar meloni. *BIOEDUSCIENCE: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 4(1), 1–10.
- Kuswardani, R. A., & Maimunah. (2013). Buku Ajar: Hama Tanaman Pertanian. *Universitas Medan Area*, 1–71.
- Manueke, J., Assa, B. H., Pelealu, A. E., & 2017. (2017). Rekomendasi Teknologi Pengendalian Hama Secara Terpadu (PHT) Hama Tanaman Padi Sawah (*Oryza Sativa*) di Desa Makalonsow Kecamatan Tondano Timur Kabupaten Minahasa. *LPPM Bidang Sains Dan Teknologi*, 4(1), 23–34.
- Mauliddiyah, N. L. (2021). *Pengaruh Tumbuhan Berbungan Di Pematangan Terhadap serangan hama Penyerang Batak*. 6.
- Piay, S. S., Romdon, A. S., Samijan, & Paryono, T. J. (2012). *Pertanian Organi (Persyaratan, Budidaya, dan Sertifikasi)* (pp. 2013–2015). <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/540d3a0-9d51-4d91-9cc0-ad809a1ae2e9/content>
- Rahmad, Kadir, M., & Taslim. (2017). SURVEI TEKNIK PENGENDALIAN HAMA PENGGEREK BUAH KAKAO (*Conopomorpha cramerella* Snellen) DI DESA GATTARENG KECAMATAN MARIORIWAWO KABUPATEN SOPPENG Survey On Pest Control Techniques Of Cocoa Pod Borer (*Conopomorpha Cramerella* Snellen) In The Village Of Gattareng Marioriwawo District Soppeng. *Jurnal Agroplanta*, 6(1), 34–39. www.agroplantaonline.com
- Rasiska, S., Pratama, A. B., & Widiyanti, F. (2017). Pengujian Filter Fisik (Slow Sand Filter) Untuk Menurunkan Kadar Pestisida Golongan Organoklorin. *SoilREns*, 15(1), 7–13. <https://doi.org/10.24198/soilrens.v15i1.13339>

-
- Roja, A., Madya, P., Pengkajian, B., Pertanian, T., & Barat, S. (2009). *PENGENDALIAN HAMA DAN PENYAKIT SECARA TERPADU (PHT) PADA PADI SAWAH* Makalah disampaikan pada Pelatihan Spesifik Lokalita Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. 7–18. <http://atmanroja.wordpress.com>
- Salikin, K. A. (2024). Sistem Pertanian Berkelanjutan. Kanisius,. In *Yogyakarta* (Issue June).
- Suprihanto. (2015). *BIOEKOLOGI PENYAKIT VIRUS YANG DITULARKAN WERENG BATANG PADA TANAMAN PADI* Disertasi Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat doktor Program Studi Ilmu Pertanian Minat Studi Fitopatologi disusun oleh Suprihanto. 309372.
- Yusri, A. Z. dan D. (2020). Pengantar Ilmu Pertanian. In *Jurnal Ilmu Pertanian* (Vol. 7, Issue 2).
- Zaller, J. G., König, N., Tiefenbacher, A., Muraoka, Y., Querner, P., Ratzenböck, A., Bonkowski, M., & Koller, R. (2016). Pesticide seed dressings can affect the activity of various soil organisms and reduce decomposition of plant material. *BMC Ecology*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12898-016-0092-x>

BAB 11

PANEN DAN PASCA PANEN

11.1 Panen

Panen didefinisikan sebagai proses mengumpulkan hasil tanaman dari ladang yang telah mencapai tingkat kematangan sesuai persyaratan panen suatu komoditas agar dapat dimanfaatkan. Dalam proses panen yang penting adalah masalah waktu panen dan cara panen, yang dapat mengakibatkan terjadinya kehilangan dan kerusakan hasil. Bila panen tidak dilakukan dengan benar, maka hasil yang akan hilang pada tahapan ini bisa relatif besar. Jika hal ini terjadi, akibat selanjutnya yaitu dapat menurunkan pendapatan petani.

Untuk mendapatkan hasil pertanian yang optimal, maka perlu dilakukan tahapan-tahapan dalam proses panen secara hati-hati. Elfianis (2023) menyatakan, tahapan-tahapan umum dalam proses panen tersebut, adalah: a. waktu panen, b. alat panen, c. metode panen, d. proses panen, e. pengumpulan hasil, dan f. pemanfaatan hasil panen.

- a. **Waktu panen.** Waktu panen sangat dipengaruhi oleh cuaca dan derajat masak/ kematangan. Pada keadaan cuaca buruk, panen tidak dapat dilaksanakan. Apabila dilaksanakan akan banyak terjadi kehilangan hasil dalam proses panen. Kematangan buah yang tepat dapat dilakukan dengan mengamati perubahan-perubahan yang terjadi, seperti perubahan warna, ukuran, dan teksturnya. Waktu panen juga sangat ditentukan oleh ketersediaan alat panen, fasilitas pengepakan dan penyimpanan, pemetiknya, serta ketersediaan transportasi.
- b. **Alat panen.** Dalam kegiatan panen perlu dipersiapkan alat dan peralatan yang akan digunakan. Alat maupun peralatan

tersebut harus disesuaikan dengan komoditas tanaman yang akan dipanen, seperti ani-ani (alat tradisional untuk panen padi), sabit, pisau, gunting, alat dodos/egrek, keranjang, peralatan mekanis seperti mesin pemanen/*combine harvester* (mesin pemanen gabungan).

- c. **Metode panen:** Metode panen dapat dilakukan secara manual atau secara mekanis, hal ini sangat bergantung pada varietas tanaman yang dibudidayakan dan skala produksinya. Metode panen **secara manual** dapat dilakukan dengan menggunakan tangan dengan cara memotong (panen sayuran, buah), penyiangan (panen gandum, padi), atau pencabutan (untuk panen wortel, kentang, singkong, kacang tanah). Sementara metode panen **secara mekanis** dapat dilakukan dengan menggunakan mesin panen untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan panen. Untuk panen padi dapat menggunakan mesin panen berupa kombain, panen tebu dengan mesin penggerek, atau mesin penyedot untuk panen buah-buahan. Penggunaan metode panen secara mekanis ini sangat cocok untuk produksi budidaya tanaman pertanian dalam skala besar.
- d. **Proses panen:** Proses panen ini merupakan tindakan untuk melakukan pengambilan atau pemungutan hasil pertanian dari tanaman atau tempat tumbuhnya, dilakukan secara manual menggunakan tangan atau dengan menggunakan alat bantu berupa sabit, pisau, dan gunting. Proses panen produksi dalam skala besar dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu mesin panen, seperti pada panen padi, tebu, kentang, dan jagung.
- e. **Pengumpulan hasil:** Proses pengumpulan hasil panen harus dijaga agar tidak rusak atau terkontaminasi dengan bahan lain. Hasil panen dapat dikumpulkan dalam suatu wadah berupa keranjang atau kontainer lainnya.

f. **Pemanfaatan hasil panen:** Pemanfaatan hasil panen dapat digunakan sebagai bahan baku industri atau untuk konsumsi.

Tahapan-tahapan umum dalam proses panen tersebut sangat bervariasi tergantung pada jenis tanaman dan skala produksi yang diusahakan, serta keadaan kondisi lingkungan setempat.

11.2 Pasca Panen

Pasca Panen adalah segala aktivitas yang dimulai dari pemungutan hasil, kemudian diproses atau diolah dengan cara tertentu sampai menghasilkan produk setengah jadi (*intermediate product*), kemudian disimpan hingga pada akhirnya akan siap untuk dipasarkan. Tindakan pasca panen bisa diartikan dengan memproses hasil panen mulai dari proses perontokan, pengeringan, penyimpanan, penggilingan, *grading* (pengkelasan) dan standarisasi hingga pemasaran. Dalam pasca panen diperlukan juga sebuah tindakan-tindakan penanganan pasca panen.

Penanganan pasca panen adalah tindakan pengolahan hasil panen dengan tujuan akhir untuk menghasilkan produk yang aman dan siap dipasarkan kepada konsumen untuk dikonsumsi “segar” atau untuk persiapan pengolahan berikutnya. Pengolahan produk bisa dilakukan oleh industri maupun perorangan yang tetap mengedepankan keamanan produk.

Penanganan pasca panen dimaksudkan untuk menjaga hasil panen dan lahan tetap terjaga kondisinya.

Prosedur/perlakuan dari penanganan pasca panen pada umumnya berbeda tergantung tujuan dan kegunaan produk dari setiap hasil komoditas tanaman pertanian.

Kriteria waktu panen dan penanganan pasca panen untuk beberapa komoditas tanaman, sebagai berikut:

-
1. Teknologi benih dilakukan untuk menghasilkan benih berkualitas tinggi dan menjaga daya kecambah serta vigornya hingga waktu penanaman. Proses penanganan pasca panen ini mencakup pemilihan buah yang telah matang secara fisiologis, pengambilan biji, pembersihan, penjemuran, sortasi, pengemasan, dan penyimpanan.
 2. Penanganan pasca panen untuk komoditas hortikultura bertujuan menjaga kesegaran hasil agar tidak mudah rusak dan mencegah perubahan yang tidak diinginkan selama penyimpanan, seperti pertumbuhan tunas, akar, batang yang bengkok, buah yang keriput, polong yang keras, ubi yang berwarna hijau, atau kematangan yang berlebihan. Langkah-langkah penanganan pasca panen yang dapat dilakukan meliputi: pembersihan, pencucian, pengikatan, curing, sortasi, grading, pengemasan, penyimpanan dingin, dan pelilinan.
 3. Penanganan pasca panen untuk komoditas tanaman pangan berupa biji-bijian (seperti padi, jagung, dan sorgum), ubi-ubian, dan kacang-kacangan, yang pada umumnya dapat disimpan dalam jangka waktu cukup panjang, hal ini bertujuan untuk menjaga kualitas hasil panen serta tetap enak untuk dikonsumsi. Langkah-langkah penanganan ini meliputi pemipilan atau perontokan, pengupasan, pembersihan, pengeringan, pengemasan, penyimpanan, serta pencegahan serangan hama dan penyakit.
 4. Penanganan pasca panen untuk komoditas perkebunan yang ditanam secara luas, seperti kelapa sawit, kopi, teh, kakao, tembakau, dan lainnya, sering disebut sebagai pengolahan primer. Tujuannya adalah mempersiapkan hasil tanaman untuk proses industri lebih lanjut. Langkah-langkah pasca panen ini meliputi beberapa proses, seperti pelayuan, penjemuran, pengupasan, pencucian, dan fermentasi.

11.3 Tanaman Padi

Tahapan pekerjaan panen sampai penanganan pasca panen tanaman padi tampak ada pada Gambar 11. 1.

A. Panen

a. Waktu Panen

Berdasarkan penggunaan hasil panen padi dalam bentuk gabah, terdapat dua tujuan utama, yaitu untuk konsumsi dan untuk benih. Waktu panen untuk konsumsi berbeda dengan waktu panen untuk keperluan benih. Untuk menentukan waktu panen yang tepat, perlu dilakukan pengamatan terhadap tingkat kemasakan butir padi sebelum panen. Menurut AAK (1995), ada empat tingkat kemasakan butir padi yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Masak Susu

Tingkat kemasakan ini biasanya terjadi sekitar 10 (sepuluh) hari setelah padi berbunga. Tanda-tandanya meliputi batang yang masih berwarna hijau, malai yang sudah terkulai, ruas batang bawah yang mulai menguning, gabah berwarna kuning kehijauan, dan jika dipijit, akan mengeluarkan cairan yang mirip susu.

2. Masak Kuning

Tingkat ini umumnya terjadi kurang lebih 7 hari setelah masak susu. Ciri-cirinya adalah seluruh bagian tanaman telah berubah menjadi kuning, batang mengering, dan gabah sudah mengeras, meskipun masih dapat dipecahkan dengan kuku.

3. Masak Penuh

Masak penuh terjadi kira-kira 7 hari setelah masak kuning. Ciri-cirinya adalah seluruh bagian tanaman menguning, batang menguning dan gabah sudah mengeras.

4. Masak Mati

Ciri-cirinya meliputi isi gabah yang sudah keras dan kering, cabang-cabang yang mudah untuk dipatahkan, dan gabah mulai rontok dari mala.

Padi yang akan dikonsumsi disarankan dipanen saat masak kuning. Jika lewat atau dipanen pada saat masak penuh, gabah akan banyak yang pecah pada saat digiling. Jika akan digunakan untuk benih sebaiknya padi dipanen saat masak penuh karena pada saat itu syarat-syarat sebagai benih terpenuhi. Pemanenan yang dilakukan saat masak mati bisa berakibat jumlah yang dipanen berkurang karena banyak gabah yang rontok. Disamping itu hanya akan membuang waktu saja sebab panen untuk tujuan konsumsi dan benih sebenarnya bisa dilakukan sebelum padi masak mati.

Penentuan saat panen yang lain adalah “metode optimisasi”, yaitu jika diperkirakan 90 % malai sudah menguning maka dapat dilakukan pemanenan (Prasetyo, 1996).

b. Cara Panen dan Waktu Pemetikan.

Pemanenan padi dapat dilakukan dengan menggunakan sabit bergerigi, yaitu dengan memotong batang padi sekitar 30-40 cm di atas permukaan tanah. Meskipun demikian, pada daerah terpencil, panen masih dilakukan dengan ani-ani meskipun hal ini kurang efisien dari segi penggunaan tenaga kerja. Plastik atau terpal dapat digunakan sebagai alas untuk menumpuk tanaman padi yang baru dipotong sebelum dirontok.

Panen sebaiknya dilakukan pada sore hari ketika biji sedang kering, dan harus ditunda proses panen bila hujan turun.

B. Penanganan Pasca Panen

Tahapan-tahapan dalam proses penanganan pasca panen padi adalah sebagai berikut: (Departemen Pertanian, 1983)

a. Perontokan

Setelah padi dipanen, perontokan gabah bisa dilakukan secara manual atau dengan bantuan alat. Perontokan manual dilakukan dengan memukul atau menghempaskan gabah pada bambu atau kayu yang sudah disiapkan. Gabah dapat dirontokan dengan menggunakan alat perontok gabah, antara lain: pedal, *pedal thresher* atau *power thresher*. Perontokan gabah yang lebih ekonomis dapat dilakukan dengan menggunakan alat *power thresher*. Kerusakan beras akan terjadi, jika perontokan gabah dilakukan lebih dari dua (2) hari.

Dalam perontokan gabah ada beberapa hal yang perlu mendapatkan perhatian, yaitu:

- Perontokan gabah harus sesegera mungkin dilakukan setelah padi dipanen.
- Untuk menghindari banyaknya gabah yang tercecer saat perontokan, sebaiknya digunakan alas, untuk alas bisa dipakai plastik, anyaman bambu atau tikar.

b. Pembersihan

Pembersihan bertujuan untuk menghilangkan benda asing, butir hampa (kosong), dan kotoran lainnya, sehingga dapat memperpanjang masa simpan, meningkatkan efisiensi pengolahan hasil, dan mempengaruhi harga jual. Metode umum untuk membersihkan gabah padi adalah menggunakan alat ayakan atau dengan menampi. Pembersihan ini harus segera dilakukan setelah gabah dirontokkan.

c. Pengeringan

Pengeringan secara alami dilakukan dengan menjemur gabah di atas lantai jemur dengan ketebalan 5-7 cm. Penjemuran

dilakukan antara pukul 08.00 hingga 16.00 atau melihat kondisi cuaca. Kemudian setiap dua (2) jam sekali dilakukan pembalikan untuk mendapatkan panas yang merata. Pada musim hujan, proses pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengering buatan dengan dipertahankan suhu pengering berkisar 50°C untuk gabah konsumsi atau dengan suhu pengering 42°C untuk mengeringkan gabah yang akan dijadikan sebagai benih. Langkah pengeringan ini dilakukan dimaksudkan untuk menurunkan kadar air gabah kering panen yang berkisar 20-25% untuk padi gogo (Prasetyo, 1996) atau kadar air berkisar 23-27% untuk padi pada umumnya (Departemen Pertanian, 1983), untuk menjadi gabah kering giling dengan kadar air sekitar 12-14% untuk gabah konsumsi dan kadar air 10-12 % untuk kadar air benih. Gabah dengan kadar air 14% tidak akan mudah rusak saat disimpan.

d. Pengemasan

Pengemasan gabah dimaksudkan untuk mempertahankan mutu dan memudahkan penyimpanan serta pengangkutan. Wadah yang biasa digunakan untuk pengemasan adalah karung goni dan karung plastik. Wadah ini harus tidak bocor serta bebas dari serangan hama.

e. Pengangkutan

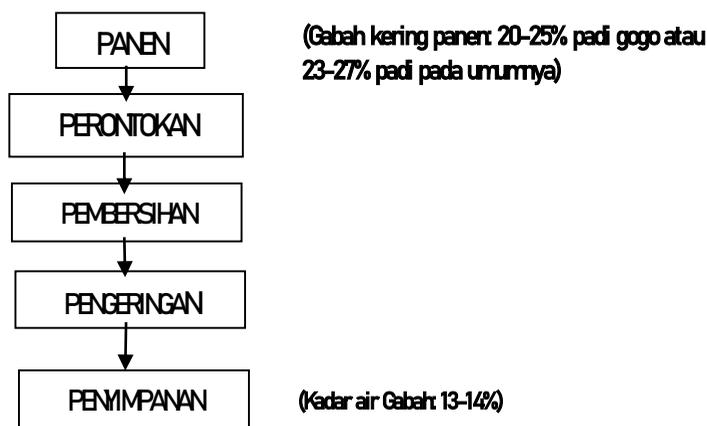
Proses pengangkutan gabah dapat dilakukan pada setiap tahap panen atau pasca panen. Gabah yang belum dirontokkan diangkat dari area penanaman menuju tempat perontokan. Setelah perontokan, gabah diangkat ke tepi jalan, lalu dari tepi jalan dibawa ke rumah atau tempat pengeringan, dan seterusnya.

Selama proses pengangkutan, kehilangan gabah harus diusahakan seminimal mungkin. Hal ini sangat bergantung pada jenis wadah yang digunakan, metode pengangkutan, serta alat angkut yang dipakai.

f. Penyimpanan

Gabah yang akan disimpan harus memiliki kadar air maksimum 14%. Gudang penyimpanan harus memiliki lantai semen, kering, dan dilengkapi dengan alas kayu setinggi sekitar 15 cm. Dengan demikian, karung berisi beras tidak akan bersentuhan langsung dengan lantai, memungkinkan udara di bawah karung untuk beredar dengan baik dan mencegah kondensasi. Selain itu, gudang harus memiliki ventilasi yang memadai. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga keseragaman suhu serta kelembaban di dalam gudang. Selanjutnya bagian dalam gudang diusahakan tidak ada celah-celah yang dapat digunakan oleh serangga gudang untuk bersembunyi.

Gabah yang akan digunakan sebagai benih harus dipilih yang benar-benar bernas. Kadar air perlu diturunkan hingga sekitar 10-12% (11 %) dengan cara dijemur lagi sekitar 1 hari. Kemudian gabah dimasukkan ke dalam kantong-kantong plastik dengan ukuran kecil dan kantong ini dimasukkan ke dalam kaleng. Selanjutnya kaleng ini ditutup sampai kedap udara dengan menggunakan lilin.



Gambar 11. 1. Diagram pasca panen padi

11.4. Tanaman Jagung

Menurut Adisarwanto dan Widyastuti (2000), tahapan panen dan penanganan pasca panen jagung seperti dijelaskan di bawah ini:

A. Panen

a. Waktu panen

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, pemanenan jagung harus dilakukan tepat waktu. Berdasarkan keperluannya, jagung dapat dipanen pada tingkat kemasakan yang berbeda. Untuk keperluan konsumsi, pemanenan terlalu awal akan menghasilkan persentase biji muda yang tinggi sehingga kualitas dan daya simpannya menjadi rendah. Sebaliknya, pemanenan terlambat juga akan menghasilkan butir jagung yang berkualitas rendah dan presentase kehilangan butir jagung meningkat.

Untuk menentukan waktu panen yang tepat, ada dua istilah yang digunakan dan sering diartikan rancu, yaitu masak dan matang. Kedua istilah tersebut sebenarnya mengandung arti yang berbeda, Biji disebut masak (*mature*) kalau berat kering butir jagung sudah mencapai kadar air optimum. Sementara biji disebut matang (*ripe*) kalau kadar air butir jagungnya sudah mengalami penurunan dan hampir seimbang dengan kelembaban sekitar tempat tumbuhnya. Dengan demikian, istilah masak lebih tepat digunakan dalam kegiatan panen.

Penentuan kadar air butir jagung sebenarnya lebih tepat untuk menentukan saat panen jagung. Namun dikalangan petani, cara ini sulit dilakukan karena ketidak- tersediaan alat ukur kadar air. Kenampakan kelobot (kulit pembungkus tongkol jagung) merupakan cara yang paling praktis bagi petani untuk menentukan saat panen yang tepat. Selain kenampakan klobot, ada juga tanda-tanda lain yang dapat digunakan sebagai patokan

saat panen.

Berdasarkan tujuan penggunaannya, kemasakan jagung dapat dibagi menjadi empat tingkat, yaitu masak susu, masak lunak, masak tua, dan masak kering (masak mati) (Najiyati dan Danarti, 1998).

1. Masak susu

Pemanenan pada tahap masak susu biasanya dilakukan untuk menghasilkan jagung sayur, yang lebih dikenal sebagai jagung semi (*baby corn*). Umumnya, jagung semi dapat dipanen sekitar umur 47-48 hari setelah masa tanam pada dataran rendah dan sekitar umur 60 hari setelah masa tanam pada dataran tinggi. Meskipun ada perkiraan umur panen, waktu yang tepat dapat ditentukan dengan memperhatikan tanda-tanda berikut:

- Biji mulai terisi zat pati yang berbentuk seperti cairan susu atau santan.
- Biji belum keras dan bila dipijit akan keluar cairan putih seperti susu atau santan.
- Panjang rambut jagung antara 3-5 cm.
- Klobot pada tongkol jagung berwarna hijau.
- Kondisi tanaman (daun, batang) masih segar dan berwarna hijau.

2. Masak lunak

Pemanenan saat masak lunak biasanya dilakukan untuk keperluan jagung rebus, jagung bakar atau jagung sayur. Untuk melakukan pemanenan pada tingkat masak lunak dapat digunakan indikator panen sebagai berikut:

- Biji jagung mulai agak keras dan apabila dipijit akan keluar isi seperti tepung basah.
- Keadaan tongkol jagung agak besar dan agak berat.

-
- Ujung daun jagung bagian bawah mulai kering.

3. Masak tua

Pemanenan jagung pada tingkat kemasakan tua adalah jenis pemanenan yang paling umum dilakukan oleh petani. Jagung yang dipanen pada tahap ini biasanya digunakan untuk konsumsi, seperti bahan makanan pokok, pembuatan tepung jagung, pakan ternak, atau keperluan lainnya.

Bergantung pada jenis varietasnya, pemanenan pada tingkat kemasakan tua dilakukan antara 80-105 hari setelah penanaman. Jangka waktu dari keluarnya rambut (*silking*) hingga kemasakan biasanya konsisten untuk setiap varietas, yakni antara 50-52 hari. Oleh karena itu, jumlah hari setelah keluarnya rambut dapat dijadikan pedoman untuk menentukan waktu panen.

Selain berdasarkan umur panen, untuk melakukan pemanenan pada tingkat masak tua dapat dilakukan dengan melihat tanda-tanda sebagai berikut:

- Batang, daun dan klobot tongkol jagung berwarna menjadi kuning, tetapi pangkal buah dan pelepahnya masih hijau.
- Biji jagung sudah tampak keras, bernas dan mengkilap.
- Bila ditekan biji jagung dengan kuku tangan, bijinya tidak tampak bekas tekanan. Pada kondisi ini diperkirakan kadar air biji sudah mencapai 35-40 %.
- Pada pangkal butiran jagung sudah terbentuk jaringan berwarna hitam (*black layer*).

4. Masak kering atau masak mati.

Hasil biji jagung yang dipanen pada tingkat masak kering atau masak mati sangat baik dijadikan benih dan persediaan makanan. Pemanenan pada tingkat masak kering ini dapat dilakukan dengan melihat tanda-tanda sebagai berikut:

-
- Biji jagung sudah kering dan sangat keras.
 - Klobot jagung sudah mengering dan berwarna coklat.
 - Semua bagian tanaman (daun, batang) telah kering dan mati.

b. Cara dan waktu pemetikan buah.

Umumnya petani di Indonesia memanen jagung secara manual, yaitu dengan mematahkan tangkai jagung. Sementara batang jagung yang masih berdiri dapat digunakan sebagai tajar (tiang panjatan) tanaman merambat untuk penanaman berikutnya.

Untuk areal penanaman yang luas dan sudah menggunakan teknologi modern, pemanenan jagung dilakukan dengan mesin. Penggunaan mesin panen tersebut dapat diterapkan untuk areal penanaman yang luas dan rata.

Panen sebaiknya dilakukan pada saat cuaca cerah. Panen pada saat cuaca mendung dan dalam kelembaban tinggi dapat mempengaruhi kualitas hasil panen. Cuaca yang kurang baik dapat menimbulkan pertumbuhan jamur pada jagung sehingga mengakibatkan kerusakan hasil atau kehilangan produksi.

B. Penanganan Pasca Panen.

Penanganan pasca panen tanaman jagung meliputi serangkaian kegiatan berupa: (Najiyati dan Danarti, 1998) a. pengupasan, b. pengeringan, c. sortasi, d. pemipilan, dan f. penyimpanan.

a. Pengupasan klobot

Klobot jagung dapat dikupas baik saat tongkol jagung masih menempel pada batang maupun setelah selesai pemetikan. Pengupasan klobot ini bertujuan untuk menurunkan kadar air dalam tongkol dan mencegah kelembaban di sekitar biji yang dapat menyebabkan kerusakan atau pertumbuhan cendawan. Proses pengupasan klobot jagung juga bertujuan untuk

mempermudah pengangkutan selama pengeringan. Untuk jagung masak mati yang digunakan sebagai bahan makanan, kelobot harus segera dikupas setelah panen. Namun, beberapa petani memilih untuk mengupas klobot jagung sambil meninggalkan beberapa helai kelobot sebagai pengikat saat proses pengeringan.

b. Pengeringan tongkol jagung

Pengeringan bertujuan mengurangi kadar air pada tongkol jagung sampai kadar air tertentu agar dapat disimpan lama. Pengeringan tongkol jagung dapat dilakukan secara alami atau buatan. Secara tradisional jagung dijemur di bawah sinar matahari sehingga kadar air berkisar 9–11%. Biasanya penjemuran memakan waktu sekitar 7-8 hari pada musim kemarau dan jika pada musim hujan proses penjemuran bisa memakan waktu hingga 7-14 hari. Penjemuran dapat dilakukan di lantai, dengan alas anyaman bambu atau dengan cara diikat dan digantung (BPTP Gorontalo, 2011).

Pengeringan tongkol jagung secara buatan dapat dilakukan dengan mesin, terutama pada musim hujan dapat menggunakan "*grain dryer*", tongkol jagung akan lebih cepat kering dan selain itu juga penghematan dalam penggunaan tenaga manusia (Suprpto, 1991). Ada berbagai metode pengeringan buatan, namun prinsipnya tetap sama, yaitu menurunkan kadar air dalam biji jagung dengan menggunakan suhu mesin pengering sekitar 38-43°C, sehingga kadar air biji dapat turun menjadi 12-13%. Mesin pengering dapat digunakan kapan saja, dengan pengaturan suhu yang dapat disesuaikan dengan kadar air yang diinginkan pada biji jagung (BPTP Gorontalo, 2011). Pengeringan dilakukan untuk mencegah kerusakan, dan ada beberapa keuntungan dari proses ini, seperti meningkatkan masa simpan, mempertahankan viabilitas benih, meningkatkan nilai ekonomi, mempermudah pengolahan lanjutan, serta mengurangi biaya dan mempermudah

transportasi.

c. Sortasi.

Setelah tongkol jagung kering, dilakukan sortasi untuk memisahkan tongkol jagung berdasarkan ukuran, yaitu tongkol besar dan kecil, tongkol dengan biji rapat dan jarang atau rusak, tongkol dengan biji yang berwarna seragam putih atau kuning serta yang tidak seragam, serta tongkol yang sudah matang dari yang belum matang.

d. Pemipilan

Setelah tongkol jagung dijemur sampai kering, biji-biji jagung segera dipipil. Dalam jumlah kecil pemipilan jagung dapat dilakukan dengan tenaga manusia yaitu menggunakan tangan, tetapi dalam jumlah produksi cukup besar sebaiknya menggunakan mesin/alat pemipil jagung seperti model TPI, tipe pedal, dan tipe sepeda Menurut Suprpto (1991), dengan menggunakan alat pemipil, maka waktu dan tenaga manusia yang diperlukan akan lebih hemat. Berdasarkan hasil penelitian, pemipilan jagung dengan tangan, dalam waktu satu (1) jam kapasitas pipilan kurang lebih 2,82 kg jagung pipilan per orang. Sedangkan dengan menggunakan alat pemipil seperti model TPI dengan tenaga satu orang dalam waktu satu jam dapat menghasilkan 13,6 kg jagung pipilan. Proses 'pemipilan' biji jagung hampir mirip dengan proses perontokan gabah padi, yaitu memisahkan biji-biji jagung dari tempat pelekatnya. Biji-biji jagung menempel pada tongkolnya, sehingga perlu dilakukan pemisahan antara biji-biji jagung dengan tongkolnya.

Tujuan dilakukan pemipilan biji jagung dari tongkolnya adalah untuk menghindari kerusakan, menekan kehilangan, memudahkan pengangkutan, dan memudahkan pengolahan selanjutnya.

Berikut ini beberapa contoh alat pemipil jagung sederhana, ada beberapa macam, yaitu:

-
- Kikian
Pemipilan jagung ini berupa seng berlubang yang dipasang pada kerangka kayu.
 - Pemipil Type Sulawesi Utara
Pemipil ini berupa papan kayu yang bagian atasnya dilapisi ban mobil luar bekas yang diberi alur. Kapasitas alat mencapai 25-30 kg jagung pipilan per jam per orang.
 - Pemipilan Model ARS-2002 Pipil Mungil
Pemipil jagung ini terdiri dari besi cor dengan sistem pemanasan. Kapasitas alat sekitar 30 kg jagung pipilan per jam per orang.



Gambar 11.2. Mesin perontok jagung
(BPTP Gorontalo, 2011)

e. Penyimpanan.

Penyimpanan jagung untuk dikonsumsi dapat dilakukan dalam dua bentuk, yaitu:

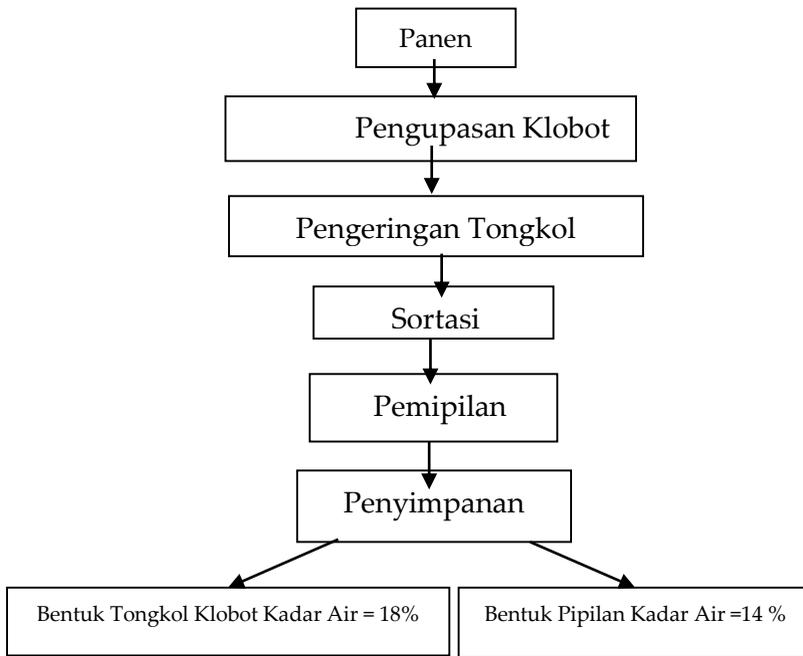
1. Penyimpanan bentuk tongkol berklubot kering. Untuk penyimpanan dalam bentuk tongkol berklubot, jagung dikeringkan sampai kadar air 18%. Tongkol jagung sebanyak 10-20 dan 30-40 buah klubotnya diikat menjadi

satu dan digantung di atas para-para di dapur. Untuk menghindari serangan tikus, sebaiknya di sekeliling para-para dipasang kawat kasa.

2. Penyimpanan bentuk pipilan. Jagung pipilan yang akan disimpan dikeringkan dahulu hingga kadar airnya 14% (Suprpto, 1991). Oleh karena saat dipipil kadar airnya masih 18%, maka sebelum disimpan jagung pipilan tersebut harus dijemur dahulu. Selanjutnya jagung pipilan dimasukkan ke dalam plastik kedap udara dengan rapat, lalu dimasukkan ke dalam drum, kaleng, silo, atau ring dan diberi alas papan atau kayu.

Daya simpan pipilan jagung menjadi lebih panjang jika dilakukan penyemprotan serangan serangga dengan insektisida. Penggunaan Silosan 250 EC dengan dosis 0,5 g bahan aktif per meter kubik permukaan karung goni dan dengan interval penyemprotan 2 bulan sekali dapat memperpanjang umur simpan jagung pipilan selama 12 bulan. Penyemprotan dengan 0,75 mL karbon disulfida per kg jagung pipilan kering dapat mencegah serangan serangga selama 9-24 bulan.

Tahapan dari panen sampai penanganan pasca panen jagung, dapat disimpulkan pada diagram Gambar 11. 3.



Gambar 11. 3. Diagram pasca panen jagung

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1995. *Budidaya Tanaman Padi*. Edisi Keempat. Yogyakarta: Kanisius.
- Adisarwanto dan Widyastuti, Yustina Erna. 2000. *Meningkatkan Produksi Jagung di Lahan Sawah dan Pasang Surut*. Jakarta: P.T. Penebar Swadaya.
- BPTP Gorontalo. 2011. *Innovasi Teknologi. Penanganan Pasca Panen dan Teknologi Pengolahan Hasil Jagung*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Gorontalo.
- Departemen Pertanian. 1983. *Pedoman Bercocok Tanam Padi, Palawija, dan Sayur-sayuran*. Departemen Pertanian. Satuan Pengendali Bimas. Jakarta.
- Prasetyo 1996. *Bertanam Padi Gogo Tanpa Olah Tanah*. Jakarta: Penerbit PT. Penebar Swadaya.
- Elfianis, Rita. 2023. *Pengertian Panen: Tahapan, Metode, Pasca Panen dan Inovasinya*. <https://agrotek.id/pengertian.panen/>
- Najiyati, Sri dan Danarti. 1998. *Palawija Budidaya dan Analisis Usahatani*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Suprpto, H. S. 1991. *Bertanam Jagung*. Penebar Jaya. Jakarta

BAB 12

PERTANIAN BERKELANJUTAN

12.1. Mengapa Pertanian Berkelanjutan Penting?

Pertanian berkelanjutan sangat penting di masa kini karena mampu menjawab berbagai tantangan global yang dihadapi oleh sektor pertanian, termasuk degradasi lahan, perubahan iklim, dan ancaman terhadap kesehatan manusia. Salah satu masalah utama dari praktik pertanian konvensional adalah degradasi lahan, yang disebabkan oleh penggunaan berlebihan pupuk dan pestisida kimia, serta teknik pengolahan tanah yang tidak berkelanjutan. Menurut laporan dari Food and Agriculture Organization (FAO), sekitar 33% tanah pertanian dunia telah mengalami degradasi sedang hingga parah akibat erosi, penipisan nutrisi, dan salinisasi. Praktik ini tidak hanya mengurangi produktivitas tanah dalam jangka panjang, tetapi juga merusak struktur tanah dan mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air, yang pada akhirnya meningkatkan risiko banjir dan kekeringan.

Selain degradasi lahan, penggunaan pupuk dan pestisida kimia dalam pertanian konvensional juga membawa ancaman serius terhadap kesehatan manusia. Pesticide Action Network (PAN) melaporkan bahwa sekitar 385 juta kasus keracunan pestisida terjadi setiap tahun di seluruh dunia, yang berujung pada 11.000 kematian. Banyak dari bahan kimia ini diketahui memiliki efek merugikan pada sistem saraf, hormon, dan sistem kekebalan tubuh manusia. Selain itu, residu pestisida yang tersisa pada makanan dapat menyebabkan berbagai penyakit kronis, termasuk kanker. Penelitian oleh World Health Organization (WHO) menunjukkan bahwa paparan jangka panjang terhadap pestisida dapat meningkatkan risiko penyakit Parkinson, diabetes tipe 2, dan beberapa jenis kanker.

Pertanian berkelanjutan menawarkan solusi untuk masalah-masalah ini dengan mengadopsi praktik yang menjaga kesehatan tanah, mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya, dan meningkatkan kesejahteraan petani serta masyarakat luas. Teknik seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan integrasi tanaman-ternak dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kandungan organiknya, sehingga tanah menjadi lebih subur dan mampu menahan air lebih baik. Selain itu, pertanian berkelanjutan seringkali melibatkan penggunaan biopestisida dan agen pengendali hayati untuk mengelola hama, yang lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Dengan demikian, pertanian berkelanjutan tidak hanya berkontribusi pada ketahanan pangan jangka panjang tetapi juga membantu melindungi ekosistem dan kesehatan manusia.

Adopsi pertanian berkelanjutan juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. FAO mencatat bahwa pertanian konvensional menyumbang sekitar 10-12% dari total emisi gas rumah kaca global. Praktik berkelanjutan seperti agroforestri, pertanian konservasi, dan manajemen tanah yang baik dapat menyerap lebih banyak karbon dioksida dari atmosfer, membantu mitigasi perubahan iklim. Oleh karena itu, transisi menuju pertanian berkelanjutan adalah langkah kritis yang perlu diambil untuk memastikan keberlanjutan lingkungan, kesehatan manusia, dan ketahanan pangan di masa depan.

Alasan lain mengapa pertanian berkelanjutan sangat penting karena pertanian berkelanjutan dapat membawa beberapa manfaat seperti :

12.1.1 Pelestarian Lingkungan

Pertanian berkelanjutan memainkan peran kunci dalam pelestarian lingkungan. Praktik seperti rotasi tanaman, agroforestri, dan penggunaan pupuk organik dapat mencegah erosi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. FAO menyatakan bahwa penggunaan metode ini dapat mengurangi degradasi tanah secara signifikan dan menjaga kesehatan ekosistem pertanian. Selain itu, pengurangan ketergantungan pada pestisida dan pupuk kimia mengurangi polusi tanah dan air serta melindungi keanekaragaman hayati. Ini penting karena polusi dari bahan kimia pertanian telah terbukti merusak ekosistem air dan tanah secara luas. Metode irigasi yang efisien dan pengelolaan air yang baik, seperti irigasi tetes, juga membantu mengurangi pemborosan air dan menjaga sumber daya air yang terbatas, yang sangat penting di tengah krisis air global yang semakin meningkat.

12.1.2 Keberlanjutan Ekonomi

Pertanian berkelanjutan tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan tetapi juga menawarkan keuntungan ekonomi yang signifikan. Pertanian berkelanjutan sering kali lebih menguntungkan dalam jangka panjang karena mengurangi biaya input dan meningkatkan produktivitas tanah. Studi menunjukkan bahwa petani yang mengadopsi praktik berkelanjutan mengalami peningkatan kesejahteraan karena biaya input yang lebih rendah dan hasil panen yang lebih stabil. Selain itu, produk pertanian berkelanjutan memiliki permintaan yang lebih stabil di pasar, karena konsumen semakin sadar akan pentingnya produk yang ramah lingkungan. Pasar untuk produk organik dan berkelanjutan terus tumbuh, memberikan peluang ekonomi yang lebih besar bagi petani yang beralih ke praktik-praktik ini.

12.1.3 Keamanan Pangan

Pertanian berkelanjutan juga meningkatkan keamanan pangan dengan mendorong diversifikasi tanaman. Diversifikasi ini mengurangi risiko kegagalan panen dan meningkatkan ketahanan pangan. FAO melaporkan bahwa sistem pertanian yang beragam lebih tahan terhadap hama dan penyakit, serta kondisi cuaca ekstrem, yang menjadi semakin sering terjadi akibat perubahan iklim. Selain itu, metode pertanian berkelanjutan sering menghasilkan produk yang lebih sehat dan bebas dari residu bahan kimia berbahaya, sehingga meningkatkan kualitas pangan yang dikonsumsi masyarakat.

12.1.4 Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati adalah pilar penting dari pertanian berkelanjutan. Mempertahankan habitat alami di sekitar lahan pertanian membantu menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung spesies lokal. Sistem pertanian yang mendukung keanekaragaman hayati cenderung memiliki lebih banyak musuh alami bagi hama, yang pada akhirnya mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia. Ini tidak hanya melindungi spesies yang ada tetapi juga meningkatkan produktivitas pertanian secara alami.

12.1.5 Pengurangan Dampak Perubahan Iklim

Pertanian berkelanjutan berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Praktik-praktik seperti agroforestri dapat menyerap lebih banyak karbon dioksida dari atmosfer, membantu mengurangi dampak perubahan iklim. Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyebutkan bahwa sistem pertanian yang lebih beragam dan tangguh lebih mampu bertahan terhadap variabilitas iklim dan cuaca ekstrem,

yang semakin sering terjadi . Ini membuat sistem pertanian lebih resilien dan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang cepat.

12.1.6. Kesehatan Masyarakat

Pertanian berkelanjutan juga memberikan manfaat besar bagi kesehatan masyarakat. Makanan yang dihasilkan melalui metode pertanian berkelanjutan lebih aman dan lebih sehat bagi konsumen karena bebas dari residu pestisida dan bahan kimia berbahaya. Selain itu, mengurangi polusi dari pertanian membantu menjaga kualitas udara dan air, yang berdampak positif pada kesehatan masyarakat sekitar . Dengan demikian, adopsi pertanian berkelanjutan tidak hanya melindungi kesehatan individu tetapi juga meningkatkan kualitas hidup komunitas secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, pertanian berkelanjutan tidak hanya bermanfaat bagi lingkungan tetapi juga penting untuk ekonomi lokal, keamanan pangan global, dan kesehatan masyarakat. Ini adalah pendekatan holistik yang memastikan bahwa produksi pangan dapat terus berlanjut di masa depan tanpa merusak sumber daya yang kita andalkan. Adopsi luas praktik ini akan membantu menciptakan sistem pangan yang lebih adil, sehat, dan berkelanjutan.

12.2. Konsep Pertanian Berkelanjutan

12.2.1 Definisi Pertanian Berkelanjutan

Secara umum pertanian berkelanjutan adalah praktik pertanian yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Ini mencakup penggunaan

sumber daya alam yang efisien, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan mendukung kesejahteraan sosial dan ekonomi petani. Pembahasan tentang pertanian berkelanjutan telah sejak lama diperbincangkan oleh para ahli yang kemudian menghasilkan banyak pengertian atau definisi dari pertanian berkelanjutan ini.

1. Pengertian Pertanian Berkelanjutan menurut para ahli:

Keberlanjutan bisa diartikan sebagai "kemampuan untuk bertahan dan mencegah kemerosotan" atau "memastikan suatu usaha tetap berlangsung". Dalam konteks pertanian, keberlanjutan berarti kemampuan untuk terus produktif sambil menjaga sumber daya yang ada (Coen Reijntjes, dkk., 1999).

Menurut FAO, Pertanian Berkelanjutan mencakup prinsip, metode, praktik, dan filosofi yang bertujuan menjadikan pertanian layak secara ekonomi, bertanggung jawab terhadap lingkungan, dapat diterima secara sosial, adil, dan sesuai dengan kondisi sosial budaya setempat, serta diterapkan melalui pendekatan holistik. Menurut Thrupp (1996), Pertanian Berkelanjutan adalah praktik-praktik pertanian yang secara ekologis layak, menguntungkan secara ekonomi, dan dapat dipertanggungjawabkan secara sosial. Pertanian Berkelanjutan adalah sistem usaha tani yang mampu menjaga produktivitas dan manfaatnya bagi masyarakat dalam jangka waktu yang tidak terbatas.

Menurut Technical Advisory Committee of the CGIAR (1988), Pertanian Berkelanjutan adalah pengelolaan sumber daya secara efektif dalam usaha pertanian untuk memenuhi kebutuhan manusia yang terus berubah, sambil tetap mempertahankan hingga bahkan memperbaiki kualitas lingkungan dan melestarikan sumber daya alam.

2. Prinsip-Prinsip Utama Pertanian Berkelanjutan

Prinsip-prinsip pertanian berkelanjutan meliputi berbagai aspek yang bertujuan untuk menjaga keseimbangan secara ekologis, ekonomis dan sosial. Berikut adalah beberapa prinsip utama pertanian berkelanjutan:

- a. Ekologis: Mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan menjaga kesehatan tanah, air, dan biodiversitas. Praktik seperti rotasi tanaman, agroforestri, dan penggunaan pupuk organik sering diterapkan.
- b. Ekonomis: Mencapai kelayakan ekonomi bagi petani dengan meningkatkan produktivitas dan efisiensi tanpa merusak sumber daya alam.
- c. Sosial: Meningkatkan kualitas hidup petani dan masyarakat pedesaan dengan memastikan kondisi kerja yang adil dan meningkatkan akses ke pasar dan pendidikan.

12.3. Sejarah Singkat Pertanian Berkelanjutan

12.3.1 Awal Mula Konsep Pertanian Berkelanjutan di Dunia

Konsep pertanian berkelanjutan mulai mendapatkan perhatian pada pertengahan abad ke-20 sebagai tanggapan terhadap dampak negatif dari Revolusi Hijau, yang dimulai pada tahun 1940-an dan 1950-an. Revolusi Hijau memperkenalkan penggunaan luas pupuk kimia, pestisida, dan varietas tanaman berproduktivitas tinggi untuk meningkatkan hasil pertanian. Meskipun berhasil meningkatkan produksi pangan secara drastis, praktik-praktik ini juga menyebabkan degradasi tanah, pencemaran air, dan hilangnya keanekaragaman hayati .

Pada tahun 1980-an, konsep pertanian berkelanjutan mulai berkembang sebagai reaksi terhadap masalah-masalah ini, dengan

tujuan menciptakan sistem pertanian yang produktif namun juga melindungi lingkungan, kesejahteraan sosial, dan ekonomi petani . Organisasi seperti Food and Agriculture Organization (FAO) dan United States Department of Agriculture (USDA) mulai mempromosikan praktik-praktik pertanian yang lebih ramah lingkungan, seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk organik, dan pengendalian hama terpadu .

12.3.2 Perkembangan Pertanian Berkelanjutan di Dunia

Pada tahun 1992, KTT Bumi di Rio de Janeiro menetapkan Agenda 21, sebuah peta jalan global untuk pembangunan berkelanjutan yang termasuk di dalamnya adalah pertanian berkelanjutan. Konferensi ini menekankan pentingnya mengurangi ketergantungan pada input kimia, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, dan mendukung keanekaragaman hayati . Sejak itu, berbagai inisiatif internasional, termasuk Sustainable Development Goals (SDGs) yang dicanangkan oleh PBB pada tahun 2015, telah menekankan pentingnya pertanian berkelanjutan sebagai kunci untuk mengakhiri kelaparan dan mencapai keamanan pangan global.

12.3.3 Sejarah Pertanian Berkelanjutan di Indonesia

Di Indonesia, praktik pertanian tradisional yang mendekati konsep pertanian berkelanjutan sebenarnya sudah ada sejak zaman dahulu. Sistem subak di Bali, misalnya, merupakan sistem pengairan tradisional yang telah diakui sebagai Warisan Budaya Dunia oleh UNESCO pada tahun 2012. Sistem ini tidak hanya mengatur distribusi air dengan efisien tetapi juga mengandung nilai-nilai sosial dan religius yang menjaga keseimbangan alam .

Namun, adopsi luas pertanian berkelanjutan modern di Indonesia baru mulai berkembang pada akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21. Tantangan utama dalam penerapannya adalah kurangnya pengetahuan dan teknologi di kalangan petani, serta keterbatasan akses terhadap pasar dan sumber daya keuangan. Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Pertanian dan berbagai program, telah berusaha mendorong adopsi praktik pertanian berkelanjutan melalui pelatihan, penyuluhan, dan bantuan teknis.

12.3.4 Kondisi Pertanian Berkelanjutan Saat Ini

Saat ini, pertanian berkelanjutan telah menjadi fokus utama kebijakan pertanian di banyak negara, termasuk Indonesia. Di tingkat global, prakarsa seperti Climate-Smart Agriculture dan FAO's Save and Grow in practice program terus mempromosikan praktik-praktik pertanian yang tidak hanya meningkatkan produksi tetapi juga menjaga lingkungan .

Di Indonesia, berbagai inisiatif lokal dan nasional terus berkembang. Misalnya, program Kampung Iklim yang dicanangkan oleh pemerintah bertujuan untuk mengintegrasikan praktik pertanian berkelanjutan dengan upaya mitigasi perubahan iklim. Selain itu, ada peningkatan minat terhadap pertanian organik dan agroforestri di kalangan petani muda yang lebih sadar lingkungan .

Meskipun demikian, tantangan besar masih ada, termasuk perlunya peningkatan akses terhadap teknologi ramah lingkungan, peningkatan kapasitas petani melalui pendidikan dan pelatihan, serta dukungan kebijakan yang lebih kuat. Namun, dengan dukungan yang terus meningkat dari pemerintah, masyarakat sipil, dan komunitas internasional, ada harapan besar

bahwa pertanian berkelanjutan akan menjadi norma di masa depan.

12.4. Manfaat Pertanian Berkelanjutan

12.4.1. Manfaat Ekologis

1. Pelestarian Keanekaragaman Hayati

Pelestarian keanekaragaman hayati merupakan salah satu aspek penting dalam pertanian berkelanjutan. Keanekaragaman hayati, atau biodiversitas, mencakup semua bentuk kehidupan di bumi - tanaman, hewan, mikroorganisme, dan ekosistem yang mereka bentuk. Dalam konteks pertanian, menjaga keanekaragaman hayati membantu memastikan ketahanan sistem pertanian terhadap berbagai tekanan lingkungan dan ekonomi.

2. Pengelolaan Tanah dan Air yang Lebih Baik

Pengelolaan tanah dan air yang lebih baik merupakan kunci dalam pertanian berkelanjutan. Praktik-praktik ini bertujuan untuk menjaga kesehatan tanah dan memastikan penggunaan air yang efisien dan berkelanjutan.

Pertanian berkelanjutan membawa berbagai manfaat bagi tanah dan air, yang merupakan komponen kunci dalam produksi pertanian dan kesehatan ekosistem. Berikut adalah beberapa manfaat utama pertanian berkelanjutan pada tanah dan air:

Manfaat pada Tanah :

1. Meningkatkan Kesuburan Tanah

- Penggunaan Pupuk Organik : Penggunaan pupuk organik, seperti kompos dan pupuk kandang, meningkatkan kadar bahan organik dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, dan menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman.

-
- Rotasi Tanaman : Menanam berbagai jenis tanaman secara bergilir membantu memperbaiki struktur tanah dan menambah berbagai nutrisi ke dalam tanah.

2. Mengurangi Erosi Tanah

- Penanaman Penutup Tanah (Cover Crops) : Tanaman penutup melindungi permukaan tanah dari erosi oleh angin dan air.
- Pembuatan Terasering : Terasering pada lahan miring mengurangi aliran air permukaan yang dapat menyebabkan erosi.

3. Memperbaiki Struktur Tanah

- Pengolahan Tanah Minimum (Minimum Tillage) : Mengurangi pengolahan tanah membantu menjaga agregat tanah dan struktur tanah yang baik, serta mengurangi pemadatan tanah.
- Agroforestri : Menanam pohon bersama dengan tanaman pertanian meningkatkan struktur tanah melalui akar pohon yang dalam dan interaksi biologis yang kompleks.

4. Meningkatkan Aktivitas Biologis Tanah

- Penggunaan Pupuk Hijau dan Kompos : Menyediakan makanan bagi mikroorganisme tanah, meningkatkan aktivitas mikroba yang bermanfaat, dan mendukung siklus nutrisi yang sehat.
- Konservasi Tanah : Metode konservasi tanah seperti rotasi tanaman dan penggunaan tanaman penutup mendukung habitat mikroorganisme dan fauna tanah.

Manfaat pada Air :

1. Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Air

- Irigasi Tetes dan Irigasi Presisi : Sistem irigasi yang efisien mengurangi pemborosan air dan memastikan tanaman mendapatkan air yang mereka butuhkan tanpa kelebihan.

-
- Penangkapan dan Penyimpanan Air Hujan : Mengumpulkan air hujan untuk digunakan selama periode kering membantu mengurangi ketergantungan pada sumber air irigasi lainnya.
2. Mengurangi Polusi Air
- Penggunaan Pupuk dan Pestisida Organik : Mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis mengurangi risiko kontaminasi air tanah dan air permukaan.
 - Penanaman Buffer Strip : Tanaman penahan di sekitar ladang pertanian menyerap nutrisi berlebih dan pestisida sebelum mencapai saluran air.
3. Menjaga Kualitas Air
- Konservasi Lahan Basah : Melindungi dan mengelola lahan basah di sekitar lahan pertanian membantu menyaring polutan dan menjaga kualitas air.
 - Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Watershed Management) : Mengelola penggunaan lahan di seluruh daerah aliran sungai membantu mengurangi sedimen dan polutan yang memasuki saluran air.
4. Meningkatkan Penyimpanan dan Penyediaan Air
- Agroforestri dan Hutan : Penanaman pohon dan vegetasi lainnya meningkatkan penyerapan air hujan ke dalam tanah, mengisi kembali air tanah, dan mengurangi limpasan permukaan.
 - Penggunaan Mulsa : Mulsa membantu menjaga kelembaban tanah dengan mengurangi penguapan, yang mendukung penyediaan air yang lebih konsisten untuk tanaman.

Pertanian berkelanjutan memberikan berbagai manfaat yang signifikan untuk tanah dan air, yang pada gilirannya mendukung produktivitas pertanian yang lebih tinggi dan kelestarian lingkungan. Dengan meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi erosi, meningkatkan efisiensi penggunaan air, dan menjaga

kualitas air, pertanian berkelanjutan membantu menciptakan sistem pertanian yang lebih resilien dan berkelanjutan.

12.4.2 Manfaat Ekonomi

1. Peningkatan Produktivitas dan Keuntungan

Pertanian berkelanjutan membawa berbagai manfaat yang signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan keuntungan. Berikut adalah beberapa cara bagaimana pertanian berkelanjutan dapat berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan keuntungan bagi petani dan masyarakat luas:

Peningkatan Produktivitas

1. Kesuburan Tanah yang Lebih Baik

- Pupuk Organik dan Rotasi Tanaman : Penggunaan pupuk organik dan rotasi tanaman meningkatkan kesuburan tanah dengan menambah bahan organik dan nutrisi yang diperlukan tanaman.
- Pengelolaan Tanah yang Tepat : Praktik seperti pengolahan tanah minimum membantu menjaga struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyerapan air, dan mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik.

2. Pengendalian Hama yang Efektif

- Pengelolaan Hama Terpadu (IPM) : Menggunakan kombinasi metode biologis, mekanis, dan kimia untuk mengendalikan hama dapat mengurangi kerugian hasil panen akibat serangan hama dan penyakit.
- Keanekaragaman Tanaman : Menanam berbagai jenis tanaman (polikultur) mengurangi resiko serangan hama yang terfokus pada satu jenis tanaman.

3. Penggunaan Air yang Efisien

- Irigasi Tetes dan Irigasi Presisi : Sistem irigasi yang efisien memastikan tanaman mendapatkan jumlah air yang tepat,

mengurangi stres tanaman akibat kekurangan atau kelebihan air, dan meningkatkan hasil panen.

4. Peningkatan Keanekaragaman Hayati

- Agroforestri dan Polikultur : Integrasi tanaman, pohon, dan ternak dalam satu sistem pertanian meningkatkan keanekaragaman hayati, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas melalui sinergi antar spesies dan perbaikan kondisi lingkungan.

Peningkatan Keuntungan:

1. Pengurangan Biaya Input

- Penggunaan Bahan Lokal dan Alami : Mengurangi ketergantungan pada pupuk dan pestisida kimia sintetis dapat mengurangi biaya input, sementara penggunaan bahan organik yang tersedia secara lokal dapat menghemat biaya.
- Efisiensi Penggunaan Sumber Daya : Praktik pengelolaan air dan tanah yang lebih efisien mengurangi pemborosan sumber daya, yang dapat mengurangi biaya operasional.

2. Kualitas Produk yang Lebih Baik

- Produk Organik dan Bersertifikat : Pertanian berkelanjutan sering menghasilkan produk yang dapat dijual dengan harga premium karena kualitasnya yang lebih tinggi dan kepatuhan terhadap standar organik dan keberlanjutan.
- Kepuasan Konsumen : Konsumen semakin peduli terhadap asal usul dan metode produksi pangan mereka, sehingga produk yang dihasilkan melalui praktik berkelanjutan memiliki nilai tambah di pasar.

3. Stabilitas dan Ketahanan terhadap Perubahan Iklim

- Praktik Adaptasi Iklim: Pertanian berkelanjutan meningkatkan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim dan kondisi cuaca ekstrem, mengurangi

risiko kerugian panen dan meningkatkan stabilitas pendapatan.

- Pengelolaan Risiko : Diversifikasi tanaman dan praktik pertanian yang adaptif mengurangi risiko kegagalan total panen dan memberikan sumber pendapatan alternatif bagi petani.

4. Akses ke Pasar dan Dukungan Kebijakan

- Sertifikasi dan Labeling : Produk yang bersertifikat sebagai berkelanjutan atau organik sering mendapatkan akses yang lebih baik ke pasar premium dan ekspor.
- Insentif dan Subsidi : Banyak pemerintah dan organisasi menyediakan insentif dan subsidi bagi praktik pertanian berkelanjutan, yang dapat meningkatkan keuntungan petani.

Pertanian berkelanjutan tidak hanya mendukung lingkungan yang lebih sehat dan sosial yang lebih adil tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan. Dengan meningkatkan produktivitas melalui tanah yang lebih subur, pengendalian hama yang efektif, penggunaan air yang efisien, dan peningkatan keanekaragaman hayati, serta mengurangi biaya input dan meningkatkan nilai pasar produk, pertanian berkelanjutan membantu petani mencapai hasil yang lebih baik dan keuntungan yang lebih tinggi.

5. Stabilitas Ekonomi Jangka Panjang

Pertanian berkelanjutan menawarkan berbagai manfaat yang signifikan untuk stabilitas ekonomi jangka panjang. Berikut adalah beberapa cara bagaimana praktik-praktik ini mendukung stabilitas ekonomi bagi petani, komunitas, dan masyarakat luas:

1. Diversifikasi Pendapatan

- Agroforestri dan Polikultur : Dengan menanam berbagai jenis tanaman dan mengintegrasikan ternak serta pohon

dalam satu sistem pertanian, petani dapat memperoleh sumber pendapatan dari berbagai produk, yang mengurangi risiko ketergantungan pada satu komoditas tunggal.

- Produk Nilai Tambah : Pertanian berkelanjutan sering kali menghasilkan produk organik atau bersertifikat, yang dapat dijual dengan harga premium, menambah sumber pendapatan bagi petani.
2. Pengelolaan Risiko dan Ketahanan terhadap Perubahan Iklim
- Praktik Adaptasi Iklim : Pertanian berkelanjutan melibatkan praktik-praktik yang meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, seperti rotasi tanaman, penggunaan varietas tahan kekeringan, dan pengelolaan air yang efisien.
 - Stabilitas Produksi : Dengan menjaga kesehatan tanah dan keanekaragaman hayati, pertanian berkelanjutan membantu mempertahankan produktivitas tanah dan stabilitas produksi meskipun menghadapi kondisi cuaca ekstrem.
3. Efisiensi Sumber Daya dan Pengurangan Biaya
- Penggunaan Pupuk dan Pestisida Alami : Mengurangi ketergantungan pada input kimia sintetis dan menggunakan pupuk serta pestisida alami dapat mengurangi biaya produksi.
 - Irigasi yang Efisien : Sistem irigasi yang efisien, seperti irigasi tetes, mengurangi pemborosan air dan biaya yang terkait dengan penggunaan air.
4. Pelestarian Sumber Daya Alam
- Kesehatan Tanah : Praktik seperti penggunaan pupuk organik, rotasi tanaman, dan pengolahan tanah minimum membantu menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang.
 - Kualitas Air : Mengurangi polusi dan menjaga sumber daya air melalui pengelolaan air yang baik membantu memastikan

pasokan air yang berkelanjutan untuk pertanian dan kebutuhan lain.

5. Akses ke Pasar dan Dukungan Kebijakan

- Sertifikasi dan Labeling : Produk yang dihasilkan melalui praktik berkelanjutan sering kali memenuhi syarat untuk sertifikasi organik atau label keberlanjutan lainnya, yang membuka akses ke pasar premium dan peluang ekspor.
- Insentif Pemerintah : Banyak pemerintah memberikan insentif dan dukungan untuk praktik pertanian berkelanjutan, termasuk subsidi, bantuan teknis, dan program pelatihan.

6. Kesejahteraan Sosial dan Komunitas

- Pemberdayaan Petani : Dengan mengadopsi praktik berkelanjutan, petani dapat meningkatkan keterampilan dan pengetahuan mereka, yang dapat meningkatkan produktivitas dan pendapatan mereka.
- Kesehatan dan Keselamatan : Mengurangi penggunaan bahan kimia berbahaya dalam pertanian meningkatkan kesehatan petani dan pekerja, serta mengurangi biaya perawatan kesehatan.

7. Pengurangan Dampak Eksternal

- Manfaat Ekologis : Praktik pertanian berkelanjutan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti erosi tanah, polusi air, dan hilangnya keanekaragaman hayati, yang pada gilirannya mengurangi biaya pemulihan lingkungan.
- Manfaat Sosial : Dengan mendukung keberlanjutan sosial, pertanian berkelanjutan membantu menjaga stabilitas sosial dan mengurangi konflik yang mungkin timbul dari pengelolaan sumber daya yang tidak berkelanjutan.

Pertanian berkelanjutan memberikan dasar yang kuat untuk stabilitas ekonomi jangka panjang melalui diversifikasi pendapatan, pengelolaan risiko yang lebih baik, efisiensi sumber daya, pelestarian sumber daya alam, akses ke pasar premium, dukungan kebijakan, kesejahteraan sosial, dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, pertanian berkelanjutan tidak hanya menguntungkan petani secara individu tetapi juga mendukung stabilitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan.

12.4.3 Manfaat Sosial

a. Peningkatan Kesejahteraan Petani

Pertanian berkelanjutan memainkan peran penting dalam meningkatkan kesejahteraan petani dengan berbagai cara. Berikut adalah beberapa manfaat utama pertanian berkelanjutan yang berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan petani:

1. Keamanan Pangan dan Ketahanan Pangan

- Produksi yang Stabil : Pertanian berkelanjutan memastikan produksi yang lebih stabil dengan menjaga kesuburan tanah dan keanekaragaman hayati, sehingga petani memiliki pasokan makanan yang konsisten.
- Kualitas Pangan yang Lebih Baik : Produk pertanian berkelanjutan cenderung memiliki kualitas yang lebih tinggi karena kurangnya penggunaan bahan kimia sintetis, yang berarti makanan yang lebih sehat untuk petani dan konsumen.

2. Peningkatan Pendapatan dan Keuntungan

- Harga Premium : Produk organik dan bersertifikat dari praktik berkelanjutan sering kali mendapatkan harga premium di pasar, meningkatkan pendapatan petani.

-
- Diversifikasi Pendapatan : Sistem pertanian berkelanjutan yang mengintegrasikan berbagai tanaman, ternak, dan pohon memberikan berbagai sumber pendapatan, mengurangi risiko ketergantungan pada satu jenis komoditas.

3. Pengurangan Biaya Produksi

- Penggunaan Input Alami : Mengurangi atau menghilangkan ketergantungan pada pupuk dan pestisida kimia sintetis mengurangi biaya input pertanian.
- Efisiensi Sumber Daya : Praktik seperti irigasi tetes dan penggunaan mulsa membantu mengurangi pemborosan air dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya lainnya, yang menghemat biaya.

4. Kesehatan dan Keselamatan Petani

- Mengurangi Paparan Bahan Kimia Berbahaya : Dengan beralih ke praktik berkelanjutan yang menggunakan pupuk dan pestisida alami, petani mengurangi risiko kesehatan yang terkait dengan paparan bahan kimia berbahaya.
- Lingkungan Kerja yang Lebih Sehat : Pertanian berkelanjutan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat bagi petani dan pekerja pertanian.

5. Pelestarian dan Peningkatan Sumber Daya Alam

- Kesuburan Tanah Jangka Panjang : Praktik berkelanjutan seperti rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik membantu menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang.
- Manajemen Air yang Lebih Baik : Pengelolaan air yang efisien memastikan ketersediaan air yang cukup untuk pertanian dan kebutuhan domestik, yang penting bagi kesejahteraan petani.

6. Kemandirian dan Pemberdayaan Petani

- Pengetahuan dan Keterampilan : Petani yang mengadopsi praktik berkelanjutan seringkali mendapatkan pelatihan dan pengetahuan baru yang meningkatkan keterampilan mereka dalam mengelola lahan secara efisien dan berkelanjutan.
- Kontrol atas Sumber Daya : Pertanian berkelanjutan meningkatkan kontrol petani atas sumber daya mereka, mengurangi ketergantungan pada input eksternal, dan meningkatkan kemandirian ekonomi.

7. Komunitas yang Lebih Kuat

- Kerjasama dan Solidaritas: Pertanian berkelanjutan mendorong kerjasama antar petani melalui inisiatif komunitas dan kelompok tani, memperkuat jaringan sosial dan solidaritas.
- Dukungan Sosial: Dengan peningkatan kesejahteraan individu, komunitas petani secara keseluruhan dapat menikmati peningkatan kualitas hidup, pendidikan, dan layanan kesehatan.

8. Akses ke Pasar dan Insentif Kebijakan

- Sertifikasi dan Labeling: Produk pertanian berkelanjutan yang bersertifikat lebih mudah diakses ke pasar premium, baik lokal maupun internasional.
- Dukungan Pemerintah: Banyak pemerintah dan organisasi internasional menawarkan insentif, subsidi, dan program dukungan untuk praktik pertanian berkelanjutan, yang dapat meningkatkan kesejahteraan ekonomi petani.

Pertanian berkelanjutan memberikan banyak manfaat yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan petani. Dengan menciptakan produksi yang lebih stabil, meningkatkan pendapatan, mengurangi biaya produksi, menjaga kesehatan petani, meningkatkan sumber daya alam, serta

mendukung kemandirian dan pemberdayaan petani, praktik ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga kesejahteraan ekonomi dan sosial petani dan komunitas mereka.

b. Pengembangan Komunitas Lokal

Pertanian berkelanjutan memberikan berbagai manfaat yang signifikan untuk pengembangan komunitas lokal. Dengan mengadopsi praktik-praktik yang ramah lingkungan, adil secara sosial, dan menguntungkan secara ekonomi, komunitas lokal dapat mengalami peningkatan kesejahteraan, stabilitas, dan ketahanan jangka panjang. Berikut adalah beberapa manfaat utama pertanian berkelanjutan pada pengembangan komunitas lokal:

1. Peningkatan Ekonomi Lokal

- Pendapatan yang Lebih Stabil : Praktik pertanian berkelanjutan yang meningkatkan produktivitas dan diversifikasi pendapatan membantu petani dan komunitas memiliki pendapatan yang lebih stabil dan dapat diprediksi.
- Lapangan Kerja Baru : Pertanian berkelanjutan seringkali membutuhkan tenaga kerja tambahan untuk kegiatan seperti kompos, agroforestri, dan pemasaran langsung, menciptakan lapangan kerja baru di komunitas lokal.
- Pasar Lokal : Produk-produk pertanian berkelanjutan sering kali dipasarkan secara lokal, meningkatkan ekonomi lokal dan mendukung usaha kecil lainnya.

2. Ketahanan Pangan dan Gizi

- Ketersediaan Pangan yang Lebih Baik : Dengan meningkatkan produksi lokal dan diversifikasi tanaman, pertanian berkelanjutan membantu memastikan ketersediaan pangan yang lebih stabil dan beragam sepanjang tahun.
- Pangan Sehat: Produk dari pertanian berkelanjutan cenderung lebih sehat karena bebas dari pestisida dan pupuk

kimia sintetis, meningkatkan gizi dan kesehatan komunitas lokal.

3. Peningkatan Kesehatan dan Kesejahteraan

- Pengurangan Paparan Bahan Kimia Berbahaya : Dengan mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis, petani dan komunitas lokal mengalami pengurangan risiko kesehatan yang terkait dengan paparan pestisida dan pupuk kimia.
- Lingkungan yang Lebih Sehat : Praktik berkelanjutan meningkatkan kualitas udara, tanah, dan air di sekitar komunitas, menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan aman bagi semua.

4. Pemberdayaan dan Pendidikan

- Pendidikan dan Pelatihan : Pertanian berkelanjutan seringkali disertai dengan program pelatihan dan pendidikan yang meningkatkan keterampilan dan pengetahuan petani dan anggota komunitas.
- Pemberdayaan Komunitas : Dengan kontrol yang lebih besar atas sumber daya alam dan praktik pertanian, komunitas lokal menjadi lebih mandiri dan berdaya dalam mengambil keputusan yang mempengaruhi kesejahteraan mereka.

5. Pelestarian Budaya dan Tradisi

- Praktik Tradisional : Pertanian berkelanjutan sering kali mengintegrasikan praktik-praktik tradisional yang telah lama digunakan oleh komunitas lokal, membantu melestarikan budaya dan pengetahuan lokal.
- Partisipasi Komunitas : Pendekatan berkelanjutan biasanya melibatkan partisipasi aktif dari seluruh komunitas, memperkuat ikatan sosial dan keterlibatan budaya.

6. Konservasi Sumber Daya Alam

- Pengelolaan Sumber Daya yang Bijak : Praktik-praktik seperti rotasi tanaman, agroforestri, dan penggunaan pupuk organik membantu menjaga kesuburan tanah, kualitas air,

dan keanekaragaman hayati, yang merupakan aset penting bagi keberlanjutan komunitas.

- Pengurangan Erosi dan Degradasi Tanah : Dengan menerapkan teknik konservasi tanah, komunitas dapat mencegah erosi dan degradasi tanah, menjaga produktivitas lahan untuk generasi mendatang.

7. Peningkatan Keamanan Sosial

- Stabilitas Sosial : Komunitas yang lebih stabil secara ekonomi dan memiliki akses ke sumber daya alam yang sehat cenderung memiliki tingkat kejahatan yang lebih rendah dan stabilitas sosial yang lebih tinggi.
- Kolaborasi dan Kerjasama : Pertanian berkelanjutan mendorong kerjasama antara petani dan anggota komunitas lainnya, memperkuat jaringan sosial dan solidaritas di dalam komunitas.

8. Resiliensi terhadap Perubahan Iklim

- Adaptasi Iklim : Dengan praktik-praktik yang meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, seperti penggunaan varietas tanaman tahan kekeringan dan pengelolaan air yang efisien, komunitas lokal menjadi lebih tangguh menghadapi tantangan iklim.

Pertanian berkelanjutan memberikan banyak manfaat yang mendukung pengembangan komunitas lokal. Dengan meningkatkan ekonomi lokal, ketahanan pangan, kesehatan, pemberdayaan, pelestarian budaya, konservasi sumber daya alam, keamanan sosial, dan resiliensi terhadap perubahan iklim, pertanian berkelanjutan berperan penting dalam menciptakan komunitas yang lebih kuat, sehat, dan sejahtera.

12.4.4 Manfaat Kesehatan

A. Produksi Pangan Sehat dan Aman

Pertanian berkelanjutan dikatakan menghasilkan produksi pangan sehat dan aman karena beberapa alasan sebagai berikut :

1. Penggunaan Pupuk dan Pestisida yang Lebih Sedikit : Pertanian berkelanjutan mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis seperti pestisida dan pupuk, yang dapat meninggalkan residu berbahaya pada tanaman dan masuk ke rantai makanan.
2. Praktik Rotasi Tanaman dan Keanekaragaman Hayati : Praktik ini membantu menjaga keseimbangan ekosistem, mengurangi hama secara alami, dan meningkatkan kesuburan tanah, yang semuanya berkontribusi pada kesehatan tanaman.
2. Pemeliharaan Kesehatan Tanah : Pertanian berkelanjutan berfokus pada menjaga dan meningkatkan kesehatan tanah melalui kompos, pupuk alami, dan metode lainnya yang memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang optimal tanpa kontaminasi.
3. Konservasi Air : Dengan teknik irigasi yang efisien dan pemeliharaan tanah yang baik, pertanian berkelanjutan memastikan kualitas air yang baik, mengurangi risiko kontaminasi yang dapat mempengaruhi tanaman dan akhirnya kesehatan manusia.
4. Produksi Lokal dan Skala Kecil : Produk dari pertanian berkelanjutan sering kali diproduksi secara lokal dan dalam skala yang lebih kecil, mengurangi kebutuhan pengawet dan bahan tambahan lainnya yang bisa merugikan kesehatan.

Dengan demikian, melalui praktik-praktik ini, pertanian berkelanjutan memastikan bahwa makanan yang dihasilkan lebih aman dan sehat untuk dikonsumsi.

b. Mengurangi Penggunaan dan Residu Bahan Kimia Berbahaya

Dengan praktik pertanian berkelanjutan, penggunaan bahan kimia dan residu yg tertinggal dapat ditekan. Sehingga menghasilkan produk yg sehat serta aman bagi makhluk hidup dan tanah. Penggunaan bahan kimia pada praktik pertanian berkelanjutan ditekan karena dapat mempengaruhi hal sebagai berikut :

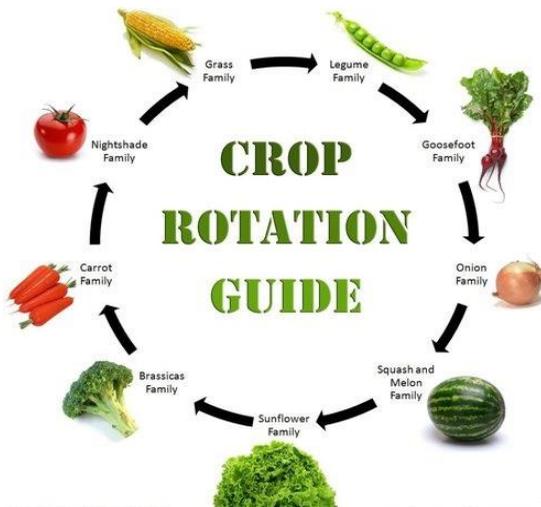
1. Kesehatan Tanah dan Lingkungan : Bahan kimia seperti pestisida dan herbisida dapat merusak struktur dan kesuburan tanah serta mencemari air tanah. Pertanian berkelanjutan bertujuan menjaga ekosistem agar tetap sehat.
2. Kesehatan Manusia : Penggunaan bahan kimia dapat meninggalkan residu pada tanaman yang dikonsumsi manusia, yang berpotensi menimbulkan masalah kesehatan jangka panjang.
3. Keanekaragaman Hayati : Bahan kimia dapat membunuh organisme non-target yang penting bagi ekosistem, seperti serangga penyerbuk dan predator alami hama.
4. Ketergantungan Ekonomi : Penggunaan bahan kimia memerlukan biaya yang tinggi, yang dapat membebani petani, terutama petani kecil. Pertanian berkelanjutan mendorong penggunaan metode alami dan lokal yang lebih ekonomis.
5. Perubahan Iklim : Produksi dan penggunaan bahan kimia pertanian dapat berkontribusi pada emisi gas rumah kaca. Pertanian berkelanjutan mendukung praktik yang mengurangi jejak karbon.

12.5. Teknik Dan Jenis Pertanian Berkelanjutan

12.5.1 Teknik-teknik Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan yang sangat menitik beratkan pada pelestarian agroekosistem tentunya memiliki tantangan sebagai efek dari dibatasinya penggunaan input-input yang berpotensi merusak ekosistem. Sebut saja dalam menangani serangan hama, praktisi pertanian berkelanjutan tidak boleh semena-mena menggunakan pestisida kimia. Tindakan lain seperti pemupukan juga tentunya tetap mempertimbangkan prinsip keberlanjutan, misalnya memilih bahan yang minim residu kimia, menggunakan pupuk yang terbaharukan dan mudah didapat serta dapat meningkatkan kualitas tanah. Berikut ini merupakan beberapa teknik budidaya yang perlu dilakukan untuk menjamin produksi maksimal dalam pertanian berkelanjutan.

1. Rotasi Tanaman (Crop Rotation)



Gambar 5. 1 Ilustrasi rotasi tanaman

Sumber: <https://justagric.wordpress.com/>

Rotasi tanaman merupakan pertukaran jenis tanaman di satu lokasi tanam setelah panen. sebagai contoh, apabila suatu bedengan baru saja panen tomat (*Solanum lycopersicum*), maka pada periode berikutnya sebaiknya tidak ditanami tomat kembali. Penanaman tanaman dalam genus yang sama pun sebaiknya harus dihindari, contohnya dalam kasus pasca tanam tomat, maka penanaman kentang atau terong harus dihindari karena masih dalam satu genus yang sama, yaitu genus *Solanum*. Sugandhi (2021), menyatakan bahwa rotasi tanaman dalam tingkat famili yang berbeda efektif dapat memutus siklus hama dan patogen. Rotasi tanaman juga dapat memberikan keuntungan dari sisi penyediaan unsur hara bagi tanaman, karena beberapa tanaman ada yang bersifat rakus unsur hara, seperti umbi-umbian dan buah-buahan, dan ada pula tanaman yang mampu menyediakan unsur hara seperti tanaman legum yang dikenal mampu meningkatkan kandungan unsur nitrogen dalam tanah melalui simbiosis nya dengan bakteri rhizobium. Nitrogen merupakan unsur yang paling banyak diperlukan tanaman sehingga disebut unsur makro primer (Afner *et al.*, 2023). Melalui rotasi tanaman ini, kelestarian agroekosistem dapat terjaga karena tanah tidak akan terserap habis unsur haranya oleh satu jenis tanaman seperti halnya yang terjadi pada budidaya sistem monokultur.

2. Penanaman Tutupan Tanah



Gambar 5. 2 Kacang landep sebagai cover crop.

Sumber: Google

- a. Tanaman tutupan tanah (*cover crops*) merupakan tanaman yang sengaja ditanam untuk menutupi permukaan tanah dengan tujuan dan manfaat yang beragam. *Cover crops* biasanya tidak dipanen karena diharapkan dapat menutupi permukaan tanah secara merata. Adapun beberapa manfaat dari penanaman *cover crops* diantaranya yaitu:
 - a. Meningkatkan kesuburan tanah: Teasdale (1993) menyatakan *cover crops* dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui serasah yang dihasilkan. Daun dan bagian lain dari tanaman tutupan tanah yang mati dan terurai dapat mensuplai bahan organik dan unsur hara pada tanah yang dapat meningkatkan kesuburan tanah. Perakaran dari *cover crops* juga meningkatkan porositas dan aerasi tanah yang menjamin ketersediaan oksigen bagi biota tanah sehingga aktivitas organisme tanah dapat berlangsung optimal. Sifat biologis tanah yang baik juga akan meningkatkan kesuburan tanah, karena aktivitas mikroorganisme tanah berperan dalam siklus

hara yang berkaitan dengan ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

- b. Mengurangi erosi tanah: salah satu alasan paling umum ditanamnya cover crops adalah untuk mengurangi erosi. dedaunan dan kerapatan vegetasi dari cover crops dapat melindungi tanah dari benturan langsung dari tetesan air hujan. Perakaran tanaman cover crops juga dapat memegang dan mempertahankan struktur tanah sehingga tidak mudah terbawa oleh aliran air hujan.
- c. Mengurangi penggunaan pestisida dan herbisida: Liebman dan Davis (2000) menemukan bahwa beberapa jenis tanaman penutup tanah dapat mengurangi populasi gulma melalui kompetisi langsung dan produksi senyawa alelopati (pelepasan senyawa kimia yang menghambat pertumbuhan gulma). Kondisi ini dapat meminimalisir penggunaan herbisida yang dapat berdampak buruk bagi agroekosistem.
- d. Meningkatkan keanekaragaman hayati: Tanaman penutup tanah menyediakan habitat bagi berbagai mikroorganisme tanah, serangga, dan organisme lainnya, yang dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem (Altieri, 1999).
- e. Mengurangi polusi air: Tanaman penutup tanah dapat mengurangi limpasan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang dapat mencemari badan air. Cover crops tentu memerlukan unsur hara untuk hidup, sehingga keberadaannya dapat menyerap nutrisi berlebih ini dan mencegahnya dari pencucian ke dalam air tanah atau aliran permukaan yang dapat berdampak buruk, terutama pada ekosistem air. Cover

crops tentunya perlu pemeliharaan berupa pemangkasan agar tidak menimbulkan kompetisi dengan tanaman utama.

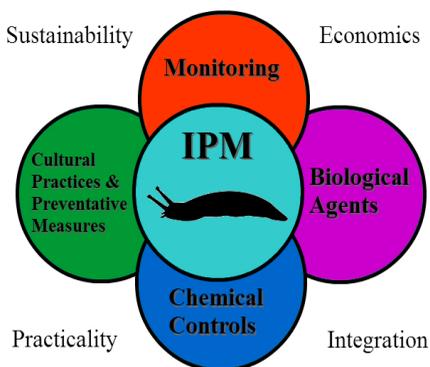
3. Pengelolaan Sumberdaya Air

Pengelolaan sumber daya air sangat penting dalam pertanian berkelanjutan karena air adalah komponen kunci dalam produksi tanaman dan ternak. Pengelolaan air yang baik membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi limbah, dan memastikan penggunaan air yang optimal untuk produksi tanaman. Zwart dan Bastiaanssen (2004) menemukan bahwa peningkatan efisiensi penggunaan air dapat meningkatkan produktivitas tanaman seperti gandum, padi, kapas, dan jagung. Teknik-teknik seperti irigasi tetes dan mulsa dapat mengurangi kehilangan air akibat evaporasi dan limpasan, sehingga menghemat air dan menjaga ketersediaan air untuk jangka panjang (Postel, 1998). Selain itu, pengelolaan air yang baik dapat mengurangi erosi tanah dan degradasi lahan yang disebabkan oleh aliran air yang berlebihan, menjaga kesuburan tanah, dan kualitas air (Pimentel et al., 1995) . Dengan mengelola air secara efisien, pertanian berkelanjutan dapat menjamin bahwa air akan tersedia untuk produksi tanaman dan ternak di masa depan, sehingga memastikan kelangsungan produksi pangan (Rockström et al., 2007) . Pengelolaan air yang tepat juga membantu sistem pertanian beradaptasi dengan perubahan iklim, seperti pola curah hujan yang tidak menentu dan peningkatan frekuensi kekeringan, serta mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengurangi kebutuhan untuk memompa dan mengolah air (Turrall et al., 2011).

Pengelolaan air yang baik juga mendukung kesehatan ekosistem lokal, seperti sungai, danau, dan lahan basah, yang penting untuk keanekaragaman hayati dan layanan ekosistem lainnya (Gordon et al., 2010) . Dengan demikian, pengelolaan sumber daya air yang baik adalah kunci untuk mencapai

pertanian yang berkelanjutan, mendukung produksi pangan yang stabil, melindungi lingkungan, dan memastikan bahwa sumber daya air tetap tersedia untuk generasi mendatang.

4. Pengendalian Hama Terpadu (IPM)



Gambar 5. 3 Ilustrasi konsep pengendalian hama terpadu

Sumber: <https://agsci.oregonstate.edu/>

Pengendalian Hama Terpadu (Integrated Pest Management/IPM) memainkan peran penting dalam praktik pertanian berkelanjutan karena pendekatan ini mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. IPM menggabungkan berbagai strategi pengendalian hama, termasuk metode biologi, fisik, mekanik, dan kimia, untuk mengelola populasi hama dengan cara yang paling aman dan efektif. Salah satu keuntungan utama dari IPM adalah peningkatan kesehatan tanaman dan tanah, yang dicapai melalui penggunaan musuh alami hama, seperti predator dan parasitoid, serta penerapan teknik budaya seperti rotasi tanaman dan penanaman varietas yang tahan hama (Kogan, 1998).

IPM berkontribusi pada keberlanjutan ekonomi pertanian dengan mengurangi biaya yang terkait dengan pembelian dan

penggunaan pestisida, serta mengurangi risiko resistensi hama terhadap bahan kimia (Ehler, 2006). Dengan mengurangi penggunaan pestisida, IPM juga membantu melindungi kesehatan manusia dan keanekaragaman hayati, mengurangi polusi lingkungan, dan menjaga kualitas air dan tanah (Pimentel, 2005). Secara keseluruhan, penerapan IPM dalam pertanian berkelanjutan menciptakan sistem produksi pangan yang lebih resilient dan ramah lingkungan, yang mendukung kesejahteraan jangka panjang bagi petani dan ekosistem mereka.

5. Diversifikasi Tanaman



Gambar 5. 4 Tumpang sari sebagai bentuk diversifikasi Tanaman
Sumber: Google

Diversifikasi tanaman merupakan komponen kunci dalam praktik pertanian berkelanjutan karena memberikan berbagai manfaat ekologi, ekonomi, dan sosial yang mendukung keberlanjutan sistem pertanian. Penanaman berbagai jenis tanaman dapat meningkatkan keanekaragaman hayati di lahan petani, yang secara tidak langsung membantu mengendalikan hama secara alami dan mengurangi risiko penyakit tanaman

(Altieri, 1999). Diversifikasi tanaman juga berkontribusi pada kesehatan tanah melalui peningkatan bahan organik dan siklus nutrisi yang lebih baik, yang dapat meningkatkan produktivitas jangka panjang (Smith, 2011).

Secara ekonomi, diversifikasi tanaman membantu petani menyebarkan risiko dan meningkatkan peluang pendapatan dengan menyediakan berbagai produk pasar, yang dapat mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman dan menstabilkan pendapatan petani (Bradshaw et al., 2004). Dengan demikian, diversifikasi tanaman bukan hanya mendukung keberlanjutan ekologis, tetapi juga ekonomi dan sosial, menciptakan sistem pertanian yang lebih tangguh dan adaptif.

6. Penggunaan Pupuk dan Pestisida Organik

Penggunaan pupuk dan pestisida organik merupakan langkah nyata untuk menjamin keberlanjutan praktik budidaya tanaman. Pupuk organik menjamin terpenuhinya kebutuhan unsur hara makro dan mikro secara berkelanjutan bagi tanaman (slow release sustainable). Kandungan bahan organik yang tinggi pada pupuk organik juga menjamin keanekaragaman organisme yang dapat beraktivitas dalam tanah. Pestisida organik menjamin kesehatan lingkungan pertanian, karena sifatnya yang tidak memiliki residu. Kesehatan konsumen (manusia) pun terjamin karena pestisida nabati/ organik bersifat mudah larut, meskipun terkonsumsi tidak akan menimbulkan dampak kesehatan bagi manusia.

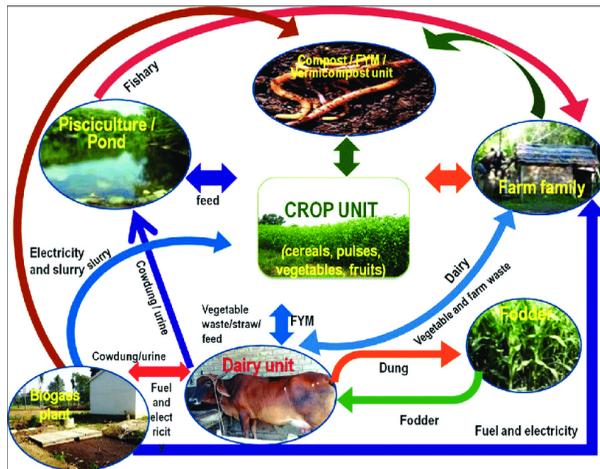
12.5.2 Jenis Pertanian Berkelanjutan

1. Pertanian konservasi

Pertanian konservasi merupakan salah satu praktik penting dalam pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas jangka panjang sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Metode ini melibatkan tiga prinsip utama: gangguan tanah minimal, penutup tanah permanen, dan diversifikasi tanaman. Gangguan tanah minimal, seperti tidak ada atau pengolahan tanah yang sangat terbatas, membantu menjaga struktur tanah dan mengurangi erosi (Hobbs et al., 2008). Penutup tanah permanen dengan menggunakan tanaman penutup atau sisa tanaman melindungi tanah dari erosi, meningkatkan kesuburan tanah melalui penambahan bahan organik, dan membantu mempertahankan kelembaban tanah (Lal, 2004). Diversifikasi tanaman melalui rotasi tanaman dan tumpang sari meningkatkan keanekaragaman hayati, mengurangi tekanan hama dan penyakit, serta meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi (Pretty, 2008).

Dengan mengurangi penggunaan bahan kimia dan menjaga kualitas tanah, pertanian konservasi juga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan sekuester karbon di dalam tanah (West & Post, 2002). Selain itu, praktik ini mendukung keberlanjutan ekonomi petani dengan mengurangi biaya input dan meningkatkan ketahanan terhadap variabilitas iklim. Secara keseluruhan, pertanian konservasi adalah pendekatan holistik yang mendukung keberlanjutan ekologi, ekonomi, dan sosial dalam sistem pertanian (Friedrich et al., 2009).

2. Pertanian Terpadu



Gambar 5. 5 Integrasi antar komponen sistem pertanian terpadu
Sumber: esearchgate.net

Pertanian terpadu (integrated farming) merupakan salah satu praktik kunci dalam pertanian berkelanjutan yang menggabungkan berbagai jenis kegiatan pertanian untuk menciptakan sistem yang lebih efisien, produktif, dan ramah lingkungan. Pendekatan ini mengintegrasikan tanaman (agro), ternak (pastura), dan bahkan perikanan (fishery) dalam satu sistem pertanian untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya dan mengurangi limbah. Komponen atau enterprise lain dalam pertanian terpadu diantaranya adalah peternakan lebah (apikultur), peternakan cacing tanah (vermikultur), tanaman tahunan/hutan (silvo) dan banyak komponen lainnya.

Contoh-contoh pertanian terpadu termasuk agroforestri, di mana pohon dan tanaman tahunan ditanam bersama tanaman pangan untuk meningkatkan keanekaragaman hayati dan kesuburan tanah (Nair, 1993). Agropastura, yang

mengkombinasikan tanaman pangan dengan pemeliharaan ternak di lahan yang sama, membantu dalam pemanfaatan optimal lahan dan menyediakan pupuk organik dari kotoran ternak (Rao et al., 1998). Agrosilvopastura, kombinasi antara agroforestri dan agropastura, menggabungkan tanaman pangan, pohon, dan ternak dalam satu sistem, memberikan manfaat sinergis dalam hal keberlanjutan ekologi dan ekonomi (Kang & Akinnifesi, 2000).

Pertanian terpadu tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan lahan tetapi juga meningkatkan produktivitas dan ketahanan pangan. Sistem ini membantu dalam siklus nutrisi yang lebih baik, pengendalian hama alami, dan manajemen air yang lebih efektif. Dengan mengurangi ketergantungan pada input eksternal seperti pupuk kimia dan pestisida, dan memanfaatkan penggunaan limbah atau waste sebagai bahan inputnya sehingga dapat bersifat minim limbah bahkan *zero waste*. Salah satu sistem pertanian terpadu organik yang terbukti efektif adalah sistem pertanian SaBiCaITaLA yang penulis gagas (Kartini dan Budarga, 2022). Sistem ini telah diterapkan di dua lokasi di Bali, yaitu di Batur dan Tabanan dan menunjukkan hasil yang sesuai harapan dimana kedua lahan yang menerapkan sistem ini mampu beroperasi sepenuhnya organik tanpa memerlukan masukan atau input dari luar sistem.

Pertanian terpadu juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan meningkatkan kesehatan tanah dan ekosistem (Pretty, 2008). Selain itu, diversifikasi produk dari sistem pertanian terpadu dapat meningkatkan pendapatan petani dan mengurangi risiko ekonomi yang terkait dengan kegagalan satu jenis usaha tani (Altieri, 1999). Dengan demikian, pertanian terpadu adalah pendekatan yang holistik dan berkelanjutan yang mendukung kesehatan lingkungan, stabilitas ekonomi, dan kesejahteraan sosial dalam pertanian.

3. Pertanian Organik

Mengacu pada SNI 6729 tahun 2016, sistem pertanian organik merupakan Sistem manajemen produksi yang menyeluruh bertujuan untuk meningkatkan dan memperkuat kesehatan agroekosistem, mencakup keanekaragaman hayati, siklus biologis, dan aktivitas biologis tanah. Pertanian organik menekankan penerapan praktik manajemen yang lebih memprioritaskan penggunaan input dari limbah budidaya di lahan, dengan mempertimbangkan kemampuan adaptasi terhadap kondisi lokal. Jika memungkinkan, tujuan tersebut dicapai melalui penggunaan metode budaya, biologi, dan mekanik, tanpa menggunakan bahan sintesis untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam sistem tersebut. Sistem pertanian organik merupakan salah satu tipe pertanian berkelanjutan yang ideal, karena menitikberatkan pada keberlanjutan agroekosistem sehingga dalam sistemnya tidak diperkenankan melakukan praktik-praktik yang dapat merusak ekosistem pertanian (Kartini dan Budarga 2020).

12.6. Masa Depan Pertanian Berkelanjutan

12.6.1 Trend dan Inovasi Masa Depan

Di masa depan pertanian berkelanjutan akan didorong dan diterpa oleh berbagai perubahan tren dan inovasi. Penggunaan teknologi pertanian presisi, seperti sensor, drone, dan satelit, akan semakin marak digunakan dan memainkan peran penting dalam memantau kondisi tanaman secara real-time dan mengoptimalkan penggunaan air, pupuk, dan pestisida. Selain itu, praktik agroekologi dan polikultur yang mengedepankan keragaman tanaman dan integrasi peternakan akan membantu meningkatkan kesehatan tanah dan keanekaragaman hayati. Pertanian vertikal dan hidroponik di lingkungan urban akan memaksimalkan penggunaan ruang dan mengurangi jejak karbon, sementara bioteknologi dan tanaman transgenik akan menghasilkan tanaman

yang lebih tahan terhadap penyakit dan cuaca ekstrem dengan input yang lebih sedikit. Model ekonomi sirkular akan diimplementasikan untuk meminimalkan limbah dan memaksimalkan penggunaan sumber daya. Semua bentuk kemajuan teknologi tersebut harus mampu diserap dan difiltrasi, yang mana bisa diterapkan dan yang mana sebaiknya tidak diterapkan dalam sistem pertanian berkelanjutan. Sebagai contoh adalah penggunaan tanaman transgenik yang mampu mengancam agroekosistem dan keanekaragaman hayati lokal. Tanaman transgenik yang bersilangan dengan spesies lokal dapat mencemari kemurnian gen dari tanaman spesies lokal.

12.6.2 Peran Kebijakan dan Pemerintah

Tidak bisa dipungkiri bahwa pemerintah akan berperan signifikan dalam mendorong perkembangan pertanian berkelanjutan kedepannya melalui berbagai kebijakan dan regulasi. Pemberian subsidi dan insentif kepada petani yang mengadopsi praktik berkelanjutan akan menjadi langkah penting. Pemberian subsidi dan insentif kepada petani yang mengadopsi praktik berkelanjutan sangat penting karena dapat mengurangi beban finansial yang seringkali menjadi hambatan utama dalam mengimplementasikan teknologi dan metode baru yang ramah lingkungan. Dengan adanya dukungan finansial, petani lebih termotivasi untuk berinvestasi dalam praktik seperti pertanian presisi, penggunaan pupuk organik, dan teknik irigasi efisien yang tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga menjaga kesehatan tanah dan ekosistem. Subsidi dan insentif ini juga dapat mempercepat peralihan dari praktik pertanian konvensional yang merusak lingkungan menuju sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, sehingga memastikan ketahanan pangan jangka panjang dan pelestarian sumber daya alam.

Regulasi lingkungan yang ketat mengenai penggunaan pestisida dan pupuk kimia perlu diberlakukan untuk melindungi ekosistem dan mendorong penerapan sistem pertanian yang berkelanjutan. regulasi ketat akan memaksa petani untuk mencari alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti biopestisida, pupuk organik, dan praktik agroekologi, yang membantu menjaga kesehatan tanah dan air, serta mendorong keberlanjutan jangka panjang. Selain itu, regulasi ini juga dapat meminimalkan risiko kesehatan bagi manusia akibat residu pestisida pada produk pertanian, memastikan pangan yang lebih aman dan sehat. Dengan demikian, regulasi yang ketat tidak hanya melindungi ekosistem tetapi juga mengarahkan sektor pertanian menuju praktik yang lebih berkelanjutan dan bertanggung jawab. Selain itu, dukungan untuk penelitian dan pengembangan teknologi serta praktik pertanian berkelanjutan perlu didorong perkembangannya. Peningkatan infrastruktur yang mendukung distribusi hasil pertanian berkelanjutan dan akses pasar yang lebih luas juga akan menjadi fokus.

12.6.3 Kerjasama Internasional dan Lokal

Kerjasama internasional dan lokal akan menjadi kunci dalam mempromosikan pertanian berkelanjutan. Kemitraan publik-swasta antara pemerintah, perusahaan swasta, dan organisasi non-profit perlu dikembangkan untuk mempromosikan teknologi dan praktik berkelanjutan. Kolaborasi komunitas lokal melalui program-program komunitas dan koperasi petani akan memperkuat jaringan pertanian lokal, memungkinkan berbagi sumber daya dan pengetahuan yang lebih efektif. Contohnya adalah aliansi global seperti Global Alliance for Climate-Smart Agriculture (GACSA) membantu negara-negara berbagi praktik terbaik dalam menghadapi tantangan perubahan iklim di sektor pertanian. Kerjasama ini melibatkan penelitian bersama,

pengembangan teknologi pertanian yang adaptif, dan pelatihan petani di berbagai negara. Di tingkat lokal, program kemitraan antara pemerintah, perusahaan swasta, dan organisasi non-profit seperti Sustainable Agriculture Network (SAN) mendukung petani dalam mengadopsi teknik pertanian yang ramah lingkungan. Inisiatif lokal lainnya termasuk koperasi petani yang memungkinkan petani kecil berbagi sumber daya, alat, dan pengetahuan untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan. Kerjasama ini menciptakan jaringan yang kuat dan saling mendukung, yang mempercepat penerapan praktik berkelanjutan dan memperkuat ketahanan komunitas pertanian terhadap perubahan iklim dan tantangan lainnya.

12.6.4 Pendidikan dan Penyuluhan Pertanian

Pendidikan dan penyuluhan pertanian juga memainkan peran vital dalam masa depan pertanian berkelanjutan. Pelatihan berkelanjutan bagi petani mengenai praktik dan teknologi terbaru akan disediakan secara luas. Pendidikan formal yang mengintegrasikan kurikulum pertanian berkelanjutan di institusi pendidikan dan universitas akan memastikan generasi mendatang memiliki pengetahuan yang dibutuhkan. Penyuluhan digital akan memanfaatkan teknologi untuk menyebarkan informasi dan pendidikan kepada petani melalui aplikasi dan platform online. Program magang dan beasiswa akan ditawarkan untuk mengembangkan minat dan keterampilan generasi muda dalam bidang pertanian berkelanjutan.

12.6.5 Peran Konsumen dalam Mendukung Pertanian Berkelanjutan

Konsumen akan memiliki peran besar dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Meningkatkan kesadaran mengenai pentingnya membeli produk pertanian berkelanjutan melalui edukasi konsumen akan menjadi langkah pertama. Salah satu bentuk dukungan terhadap pasar lokal dan produk organik bisa dilihat melalui pasar petani dan program community-supported agriculture (CSA) yang secara langsung mempertemukan praktisi pertanian ramah lingkungan (petani) dengan konsumen, sehingga selain memangkas permainan harga produk pertanian dari distributor, keterikatan emosional antara konsumen dan petani dapat terjalin dan menimbulkan keterikatan konsumen terhadap produk pertanian berkelanjutan. Label dan sertifikasi produk berkelanjutan perlu diperkenalkan dan dipromosikan untuk membantu konsumen membuat pilihan yang lebih ramah lingkungan. Pengurangan limbah pangan di rumah tangga akan diajarkan, dan pola konsumsi yang bertanggung jawab, seperti memilih produk dengan jejak karbon rendah, akan dianjurkan untuk mendukung perusahaan yang menerapkan praktik berkelanjutan.

12.7. Penutup

12.7.1 Ringkasan dan Kesimpulan

Pertanian berkelanjutan adalah praktik pertanian yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pangan kita saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pengembangan model pertanian berkelanjutan sangat penting didorong oleh semua pihak karena meskipun secara umum, bumi mulai kewalahan dalam mensuplai

pangan untuk manusia yang populasinya telah meningkat drastis, tidak boleh dijadikan untuk kita memacu produksi pangan tanpa upaya pelestarian, yang akhirnya mengarah pada degradasi lahan. Maka dari itu, dalam pertanian berkelanjutan ada tiga prinsip yang perlu diperhatikan, yaitu prinsip ekologis, ekonomis, dan sosial. Pertanian berkelanjutan dapat memberikan segudang manfaat bagi kehidupan ini.

Pertanian berkelanjutan secara konsep tidaklah sulit. Untuk memulainya, ada beberapa teknik yang perlu dilakukan untuk menjamin terlaksananya pertanian berkelanjutan yang optimal. Teknik-teknik tersebut meliputi rotasi tanaman, penanaman tutupan tanah, pengelolaan sumberdaya air, pengendalian hama terpadu, diversifikasi tanaman, serta penggunaan pupuk dan pestisida organik. Praktik pertanian berkelanjutan pun ada beberapa jenis, yang dapat dipilih sesuai kemampuan dan kondisi lingkungan masing-masing. Jenis pertanian berkelanjutan tersebut diantaranya adalah pertanian konservasi, pertanian terpadu, dan pertanian organik.

Kedepannya, sektor pertanian akan terus berkembang. Sentuhan teknologi akan sangat mempengaruhi pertanian di masa depan, tidak terkecuali keberlangsungan pertanian berkelanjutan. Kebijakan pemerintah, kerjasama lokal dan internasional, pendidikan dan penyuluhan, serta peran konsumen sangat diperlukan untuk mendukung tren pertanian berkelanjutan.

Terwujudnya praktik sustainable farming bukan sekedar idealisme dan cita-cita segelintir pihak. Pertanian berkelanjutan sejatinya adalah suatu kebutuhan, yang mau tidak mau, suka tidak suka harus dilaksanakan. Apalah gunanya makan kita cukup saat ini apabila di masa depan anak cucu kita tidak bisa lagi menggunakan tanah untuk bertani.

12.7.2 Harapan untuk Pertanian Berkelanjutan di Masa Depan

Penulis berharap di masa depan, di tengah maraknya praktik *plant factory* dan industrialisasi pertanian yang bergantung pada input kimia seperti pestisida dan pupuk kimia sintetis, masih ada praktisi pertanian berkelanjutan yang dengan sadar dan penuh komitmen mengangkat kearifan lokal leluhur. Hal ini sangat penting, terutama bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara agraris di Asia. Di tengah gempuran modernisasi, harapan penulis adalah agar kita tidak melupakan warisan budaya pertanian yang telah terbukti menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung keberlanjutan pangan. Contoh nyata yang dapat dilihat adalah pulau Bali, yang sejak dulu tetap menjadi salah satu destinasi wisata favorit internasional karena unsur budaya religiusnya yang masih kental. Keunikan Bali tidak hanya terletak pada keindahan alam dan keramahan penduduknya, tetapi juga pada bagaimana budaya dan tradisi lokal tetap dijaga dan dilestarikan.

Hal ini yang membedakan Bali dengan negara-negara destinasi wisata lain yang mungkin secara teknologi telah jauh berkembang dibandingkan Bali. Salah satu bukti nyata pentingnya mempertahankan pertanian yang berlandaskan budaya dan kearifan lokal adalah daerah wisata Jatiluwih Bali, yang menawarkan wisata sistem subak sebagai warisan dunia. Sistem subak ini tidak hanya mengatur distribusi air yang efisien, tetapi juga mencerminkan filosofi hidup masyarakat Bali yang harmonis sesuai konsep *Tri Hita Karana*, yaitu hubungan harmonis ke atas (dengan Tuhan), kesamping (dengan sesama manusia), dan kebawah (dengan alam). Konsep *Tri Hita Karana* ini juga disimbolkan dengan lambang Swastika, dimana apabila keharmonisan ini tetap terjaga, maka niscaya kelestarian alam yang menjadi tujuan pokok pertanian berkelanjutan akan tercapai.

Setiap daerah tentu memiliki kearifan lokalnya tersendiri di bidang pertanian yang layak diangkat dan dilestarikan, dan karena keunikannya, kearifan lokal ini berpotensi dijadikan objek wisata yang menarik. Dengan mengintegrasikan agrowisata pada pertanian berkelanjutan, para petani akan mendapatkan keuntungan lebih, baik secara ekonomi maupun sosial budaya. Para wisatawan yang datang tidak hanya menikmati keindahan alam, tetapi juga belajar tentang cara hidup yang lebih selaras dengan alam. Ini akan membuka peluang ekonomi baru bagi petani, mengurangi ketergantungan pada praktik pertanian konvensional yang merusak lingkungan, dan mendorong regenerasi tradisi pertanian lokal. Penulis berharap agar melalui buku ini, pembaca terdorong untuk mendukung dan mempraktikkan pertanian berkelanjutan yang berbasis kearifan lokal, sehingga kita dapat bersama-sama menjaga warisan budaya sekaligus menciptakan masa depan yang lebih hijau dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afner, S. O. G., K. Utami, D. P. Sari, A. Siregar, Jamilah, R. Sofyani, Saida, A. Yuniarti, B. M. Yamin, S. Mulyani, N. L. Kartini, D. O. Suparwata, D. Rahmawati. 2023. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan, Sumatera Barat*: Heipublishing.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 19-31.
- Bradshaw, B., Dolan, H., & Smit, B. (2004). Farm-level adaptation to climatic variability and change: Crop diversification in the Canadian prairies. *Climatic Change*, 67(1), 119-141.
- Ehler, L. E. (2006). Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science: Formerly Pesticide Science*, 62(9), 787-789.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2017). "Annual report on pesticide residues."
- FAO. (2011). "Save and Grow: A Policymaker's Guide to the Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production."
- FAO. (2011). "State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) - Managing Systems at Risk."
- FAO. (2014). "Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks."
- FAO. (2016). "Agroecology: Key Concepts, Principles and Practices."
- FAO. (2016). "Global Agriculture towards 2050."
- FAO. (2017). "The future of food and agriculture – Trends and challenges."
- FAO. (2018). "Biodiversity for Sustainable Agriculture."
- FAO. (2018). "Climate-Smart Agriculture Sourcebook."

-
- FAO. (2019). "The State of Food Security and Nutrition in the World."
- Friedrich, T., Derpsch, R., & Kassam, A. (2009). Adoption of conservation agriculture and the role of policy and institutional support. *Plant Production Science*, 12(1), 3-8. Taylor & Francis Online
- Gordon, L. J., Finlayson, C. M., & Falkenmark, M. (2010). Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management*, 97(4), 512-519.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 543-555. Royal Society
- IPCC. (2019). "Climate Change and Land: An IPCC Special Report."
- Kartini, N.L., dan Budarga. 2020. *Pertanian Organik Penyelamat Kehidupan*. Yogyakarta: Deepublish.
- Kartini, N. L., dan Budarga, I K. 2022. *Pertanian Terpadu Organik Sistem SaBiCaITaLA Mendukung Ekonomi Berkelanjutan*. Deepublish.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). "Program Kampung Iklim."
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2020). "Strategi dan Kebijakan Pengembangan Pertanian Berkelanjutan."
- Kogan, M. (1998). Integrated pest management: Historical perspectives and contemporary developments. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 243-270.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627. Science

-
- Liebman, M., & Davis, A. S. (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research*, 40(1), 27-47.
- Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *BioScience*, 61(3), 183-193.
- Organic Trade Association. (2021). "U.S. Organic Industry Survey."
- Pesticide Action Network (PAN). (2020). "Pesticide Poisonings."
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7(2), 229-252.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123.
- Pingali, P.L. (2012). "Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead." PNAS.
- Postel, S. L. (1998). Water for food production: Will there be enough in 2025? *BioScience*, 48(8), 629-637.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465. Royal Society
- Rockström, J., Lannerstad, M., & Falkenmark, M. (2007). Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(15), 6253-6260.
- Smith, R. G., Gross, K. L., & Robertson, G. P. (2011). Effects of crop diversity on agroecosystem function: Crop yield response. *Ecosystems*, 11(3), 355-366.
- Sugandhi, J. R. 2021. *Penentuan Rotasi Tanaman yang Paling Menguntungkan dengan Branch and bound*. Makalah IF2211 Strategi Algoritma. Institut Teknologi Bandung.

-
- Teasdale, J. R., & Mohler, C. L. (1993). Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agronomy Journal*, 85(2), 321-329.
- Turrall, H., Burke, J., & Faurès, J. M. (2011). Climate change, water and food security. FAO.
- UNESCO. (2012). "Cultural Landscape of Bali Province: the Subak System as a Manifestation of the Tri Hita Karana Philosophy."
- United Nations. (1992). "Agenda 21."
- United Nations. (2015). "Sustainable Development Goals."
- USDA. (1980). "Report and Recommendations on Organic Farming."
- West, T. O., & Post, W. M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930-1946. Wiley Online Library
- WHO. (2019). "Exposure to Highly Hazardous Pesticides: A Major Public Health Concern."
- World Bank. (2014). "The Economic Lives of Smallholder Farmers."
- World Health Organization (WHO). (2019). "Exposure to Highly Hazardous Pesticides: A Major Public Health Concern."
- Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2), 115-133.

BAB 13

MANAJEMEN PRODUKSI PERTANIAN

13.1. Pengantar Manajemen Produksi Pertanian

Manajemen hasil produksi merupakan suatu prosedur yang disusun dengan mengintegrasikan strategi pengelolaan dan teknik produksi dalam mendukung produksi sektor pertanian. Manajemen produksi pertanian ini mencakup beberapa kegiatan yang dimulai dari awal hingga akhir produksi atau hingga produk siap dikonsumsi, yaitu perencanaan, pengelolaan sumber daya alam, pemeliharaan serta pengendalian hama dan penyakit, hingga teknologi panen dan pasca panen. Manajemen produksi pertanian ini tentunya memiliki tujuan yaitu berfokus untuk mengoptimalkan hasil produksi, meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi pertanian, serta meningkatkan mutu produk agar sesuai dengan permintaan pasar. Disisi lain tujuan utama dari manajemen produksi pertanian adalah menjamin prosedur yang dilakukan selama proses budidaya berjalan baik, membantu menyelesaikan dan juga mengantisipasi permasalahan yang menghambat proses produksi sesuai strategi dan teknik produksi yang tepat untuk memperoleh hasil produk yang siap dipasarkan. (Mamai et al., 2020).

Peranan manajemen produksi pertanian khususnya dalam peningkatan mutu produk, menjadi aspek penting dalam keberhasilan sektor pertanian, peranan utamanya adalah menjadi panduan bagi petani dan sektor pertanian dalam mencapai tujuan produksi yaitu optimalisasi hasil panen dan sumber daya dan peningkatan profit serta mutu produk pertanian. Dalam pelaksanaannya tentunya tahapan-tahapan dalam manajemen produksi pertanian disusun dalam suatu fungsi yang disebut

fungsi manajemen pertanian, yang terdiri dari Planning, Organizing, Actuating, dan Controlling (POAC). (Asmarantaka, 2018).

Planning, adalah perencanaan, yang dibuat sebelum semua kegiatan produksi dilakukan. Perencanaan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan tujuan dan strategi yang akan digunakan dalam proses budidaya tanaman pertanian. **Organizing**, adalah pengorganisasian, yang melibatkan pengelompokan sumber daya dan tenaga kerja yang dibutuhkan dalam menjalankan planning yang sudah dirancang serta kesesuaian dengan rencana yang dibuat. **Actuating**, adalah pelaksanaan planning yang sudah dirancang serta organizing yang sudah disusun, di tahap ini semuanya akan dipastikan berjalan sesuai rencana yang ditetapkan. **Controlling**, adalah pengendalian seperti pengawasan akan kinerja dan juga proses produksi serta evaluasi mulai dari sumber daya, tenaga kerja, hingga berbagai permasalahan yang dihadapi. (Asmarantaka, 2018).

13.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produksi Tanaman

Produksi tanaman adalah serangkaian proses yang dilakukan untuk menghasilkan produk pertanian dan layak dipasarkan, ini merupakan salah satu tujuan dari industri pertanian. Produksi pertanian erat kaitannya dengan pemanfaatan sumber daya baik itu sumber daya alam maupun sumber daya manusia, dimana sumber daya inilah yang menjadi faktor utama keberhasilan suatu proses produksi dibidang pertanian. Faktor produksi pertanian lebih dikenal dengan istilah *Input* yang berarti aspek yang digunakan sekaligus mendukung untuk menjalankan proses produksi, sedangkan hasil dari *Input* itu disebut dengan *Output* yang berarti produk akhir dari serangkaian proses produksi pertanian. (Taufiq, 2015).

Faktor – faktor yang menjadi pendukung proses produksi tanaman ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu

1. Faktor Internal dan eksternal

Faktor ini meliputi ketersediaan berbagai aspek yang ada didalam ataupun dari luar tanaman produksi, setiap faktor yang ada sangat berperan dalam mempengaruhi pertumbuhan hingga kesehatan tanaman produksi. Faktor internal terdiri dari karakteristik genetik dari tanaman produksi, daya tahan, syarat tumbuh jenis tanaman produksi, usia panen dan teknik pemeliharaan. Sedangkan faktor eksternal ini meliputi kondisi iklim dan cuaca yang tepat bagi tanaman produksi, derajat keasaman tanah, tekstur dan struktur tanah yang tepat, ketersediaan air serta pengendalian hama dan penyakit dari tanaman.

2. Faktor Modal

Faktor ini berkaitan erat dengan pengadaan bahan produksi, dimana ketersediaan dana ataupun modal awal dari produksi tanaman sangat menentukan kelancaran dalam proses produksi. Faktor ini meliputi modal awal, ketersediaan lahan pertanian, kemampuan sumber daya manusia, ketersediaan tenaga kerja, hingga ketersediaan teknologi yang mampu membantu proses produksi.

3. Faktor Pasar

Faktor ini mencakup akses produk kepasar, seberapa besar peluang permintaan produk dipasar sehingga para petani mampu memperkirakan kemampuan akses pasar dari produk. Distribusi produk juga termasuk dalam faktor ini seperti transportasi produk menuju tempat distribusi, kondisi dan situasi medan jalan yang dilalui produk saat distribusi, serta informasi pasar yang harus tetap diperoleh agar para petani mampu menargetkan harga pasar (Simatupang dkk, 2021).

13.3. Ruang Lingkup Manajemen Produksi

Manajemen produksi meliputi berbagai kegiatan dan keputusan baik itu keputusan jangka panjang maupun keputusan jangka pendek dimana setiap keputusan ini diterapkan untuk mendukung dan menjamin proses produksi. Luasnya cakupan manajemen produksi bertujuan untuk berjalannya proses produksi dengan tepat diantaranya perencanaan sistem produksi, pengendalian produksi hingga informasi produksi. (Novia Priminingtyas, SP., MSi., 2012)

A. Perencanaan Sistem Produksi

Dalam perencanaan sistem produksi pertanian berbagai pertimbangan harus dilakukan dengan seksama, hal ini akan sangat berpengaruh selama proses produksi apabila terjadi kesalahan perencanaan. Resiko yang ditanggung akan tampak pada hasil atau output produk nantinya, oleh karena itu perencanaan sistem produksi pertanian memerlukan pertimbangan terhadap berbagai standar yang akan ditetapkan. Sistem produksi sendiri mencakup 5 hal yang semuanya perlu perencanaan yang baik, 5 hal ini yaitu produk, lokasi, letak fasilitas produksi, lingkungan, dan standar produksi.

Perencanaan Produk, meliputi pemilihan produk yang dibudidayakan, baik dari segi kualitas dan kuantitas produk. Kualitas produk didasari dari pemilihan bahan baku yang sesuai, semua bahan tentunya ditetapkan standarnya lebih dulu, fungsi produk yang dibutuhkan dipasaran dan seberapa butuh konsumen terhadap produk pertanian ini. Disisi lain analisis pasar produk juga dilakukan diperencanaan ini agar target jumlah produksi dapat diperkirakan, dari analisis ini juga dapat dilakukan survey seberapa mampu usaha pertanian mencapai dan memenuhi target pasar.

Perencanaan Lokasi, lokasi menjadi faktor penting dalam operasi teknis produksi pertanian, ini disesuaikan dengan syarat budidaya

tanaman yang dipilih serta akses ke lokasi produksi. Apabila dalam pemilihan lokasi terjadi kesalahan, maka berbagai tantangan yang menyebabkan kerugian kelak akan terjadi, namun bila pemilihan lokasi tepat maka tentunya keuntungan akan jauh lebih besar.

Perencanaan Letak Fasilitas Produksi, Sarana dan prasarana produksi sangat penting sebagai faktor pendukung yang bahkan mampu mempengaruhi hasil produksi secara langsung. Adanya keteraturan, keserasian dan ketepatan Lokasi fasilitas akan sangat membantu proses produksi, dan meningkatkan efisiensi pekerjaan yang menghasilkan hasil yang diharapkan.

Perencanaan lingkungan kerja, lingkungan yang nyaman dan aman adalah lingkungan yang selalu diharapkan dalam setiap pekerjaan, perencanaan ini berkaitan dengan perencanaan lokasi produksi yang tepat. Lokasi yang tepat akan sangat mendukung produktivitas dan kinerja produksi, terutama pada para tenaga kerja yang memang membutuhkan lokasi kerja yang aman dan nyaman demi terus meningkatkan produktivitas.

Perencanaan Standar Produksi, merencanakan standar produksi menjadi hal utama mulai dari standar budidaya tanaman, standar kerja untuk para tenaga kerja, standar teknis produksi, dan terakhir standar pelaksanaan. Tujuan perencanaan standar ini adalah sebagai pegangan dan pedoman pelaksanaan proses produksi serta pengendalian tenaga kerja dan menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman.

B. Sistem Pengendalian Produk

Pengawasan kegiatan produksi ini menyangkut terlaksana atau tidak terlaksananya keputusan tentang proses produksi. Pengendalian dimulai dari bagian proses produksi seperti teknik, target waktu, target jumlah, perawatan hingga pengendalian hama dan penyakit yang menyerang. Selanjutnya pengendalian tenaga kerja, dilihat dari kinerja mereka, terjalannya standar produksi

yang dibuat untuk tenaga kerja, serta kualitas produksi yang mereka hasilkan. Pengendalian biaya produksi, biaya memang memegang peran penting dalam berbagai kegiatan oleh karena itu memantau biaya yang dikeluarkan harus terus dilakukan. Biaya produksi sendiri sangat mempengaruhi harga jual produk dipasaran, apabila biaya produksi tinggi tentunya harga jual produk juga akan tinggi sebaliknya apabila rendah maka harga jual produk juga lebih rendah.

C. Sistem informasi produk

Informasi produk sangat penting untuk menerangkan produk dikalangan konsumen. Pembentukan struktur organisasi merupakan tahap utama yang dilakukan dalam Menyusun informasi produk, dengan adanya struktur organisasi keterangan produk juga akan muncul, mulai dari informasi lokasi produksi, informasi teknik produksi, daerah budidaya, kandungan gizi produk ataupun kegunaan produk dan berbagai informasi produk lainnya (Hermani & Prabawani, 2014).

13.4. Strategi Manajemen Produksi

Manajemen hasil produksi pertanian, melibatkan serangkaian strategi yang dilaksanakan untuk mengoptimalkan hasil pertanian dengan pemanfaatan sumber daya alam yang lebih efisien. Proses ini dimulai dengan perencanaan produksi, yang meliputi pemilihan jenis tanaman yang hendak diproduksi, sistem rotasi tanaman dan penentuan waktu tanam yang semuanya didasari dengan kondisi lingkungan serta permintaan pasar. Strategi pengolahan lahan dan sumber daya juga sangat penting, dimana berbagai teknik perawatan, seperti pemupukan, penyiangan, irigasi, konservasi tanah menjadi bentuk strategi menjaga kualitas produktivitas lahan. Terakhir manajemen resiko, artinya dalam proses produksi tentunya resiko menjadi tantangan utama keberhasilan produksi. Salah satu resiko yang paling sering

dihadapi adalah serangan OPT atau Organisme Pengganggu Tanaman yaitu hama. Seiring dengan ini juga peningkatan penyakit terhadap tanaman akan terus naik jika tidak ada pengendalian. Oleh sebab itu manajemen resiko ini perlu dilakukan terlebih dahulu tujuannya untuk mengendalikan hama dan penyakit serta mencegahnya berkembang, salah satu solusinya dengan melakukan pendekatan PHT dan penggunaan pestisida secara bijak.

Sumber daya manusia yang dapat kita sebut juga sebagai tenaga kerja, terkadang strategi manajemennya mengalami kegagalan, hal ini karena tidak adanya keefektivan dan konsistensi dalam perekrutan, pelatihan hingga pembagian tugas. Tenaga kerja yang dipekerjakan harus mampu menguasai bidangnya, apabila tidak maka pekerjaan akan terlalaikan, hal ini disebabkan karena kurang profesionalnya tenaga kerja dalam bertanggung jawab terhadap tugas yang diberikan. Ini menjadi catatan penting dalam strategi manajemen, perekrutan hingga pembagian tugas kepada calon tenaga kerja disesuaikan dengan kemampuan yang dimiliki, hindarilah memaksakan tenaga kerja yang tidak ahli melaksanakan tugas tertentu.

Investasi juga menjadi strategi manajemen, terutama dalam perencanaan biaya produksi, investasi pada teknologi, dan diversifikasi produk. Memanajemenkan ini sejak awal akan mengurangi resiko kerugian. Setelah panen, manajemen distribusi dan pasar harus bisa memastikan kualitas produk bertahan sampai ditangan konsumen. Merencanakan pasca panen terhadap produk akan membantu pengambilan Keputusan, yang mana sistem pasca panen yang digunakan agar tepat dengan permintaan konsumen dipasar.

Strategi terakhir yang perlu perencanaan matang adalah manajemen kondisi cuaca, strategi ini mengarah pada jaminan usaha produksi, seperti asuransi pertanian. Strategi ini dilakukan

untuk menjamin usaha ditengah resiko cuaca, iklim dan bencana alam secara keseluruhan. Strategi yang sudah dijelaskan dan dijabarkan ini, diharapkan dapat menjadi panutan yang bertujuan untuk menciptakan produksi pertanian yang berkelanjutan dan kualitas produk yang tinggi. (Sholikhah, 2021).

13.5. Teknik Manajemen Budidaya Tanaman Produksi

Dalam budidaya tanaman produksi, baik dalam skala besar ataupun skala kecil, dan produksi jangka panjang atau jangka pendek. Tentunya semakin besar area produksi maka jumlah hasil produksinya juga semakin meningkat, resiko yang ditimbulkan juga berpeluang besar merugikan. Dalam manajemen produksi tanaman, ada beberapa teknik yang dilakukan yang biasa disebut dengan teknik manajemen budidaya. Adanya teknik ini muncul karena perlunya perencanaan yang tepat terhadap usaha budidaya tanaman. Oleh sebab itu penting untuk mengetahui apa saja tahapan atau teknik yang kita manfaatkan untuk mememanajemenkan budidaya tanaman produksi sehingga produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang diinginkan.

Berdasarkan ruang lingkup dan strategi manajemen, maka beberapa tahapan yang kita perlukan dalam manajemen produksi pertanian

1. Analisis usaha

Analisis menjadi tahapan pertama yang dilakukan sebelum semuanya dipersiapkan. Tentunya menjadikan sebuah ide adalah dari sebuah pengamatan yang dilakukan secara sengaja ataupun tidak disengaja. Misalkan seseorang ingin mendirikan wadah pekerjaan namun keterbatasan ide yang ia miliki menjadikannya terhambat melakukannya, namun dalam suatu kondisi ia bertemu dengan seseorang dari luar daerah yang punya usaha Perkebunan dengan komoditi karet. Ia melihat peluang dari komoditi itu dan mulai menganalisisnya, seberapa layak komoditi ini

dibudidayakan dan bagaimana kebutuhannya dipasar. Dari studi kasus ini, dapat disimpulkan bahwa seseorang dalam memulai suatu usaha khususnya dalam produksi pertanian pasti telah melakukan sejumlah kegiatan analisis. Sebagai seorang wirausahawan pertanian, menganalisis kondisi pasar, kondisi lahan, kondisi modal, kondisi sumber daya, hingga komoditi adalah hal paling penting sebelum melakukan perencanaan.

2. Perencanaan

Seperti yang kita ketahui perencanaan adalah tahap yang sudah sering kita dengar terutama dalam manajemen. Dalam teknik manajemen budidaya tanaman pertanian, perencanaan harus benar-benar matang sehingga produksi pertanian dapat memperkecil peluang kegagalan.

- Identifikasi target pasar, guna melihat seberapa besar peluang komoditi yang hendak dibudidayakan dipasarnya. Seberapa banyak persaingan yang ada, dan bagaimana keadaan harga dipasaran, apakah peluang fluktuasi cukup besar atau mungkin minimalis dan bisa diatasi.
- Modal dan desain lahan, modal tidak selalu tentang uang, tetapi ketersediaan lahan yang digunakan, luas lahan, teknologi yang dimiliki, penyediaan bibit tanaman, jaringan usaha dengan berbagai kerja sama, hingga tenaga kerja yang ditampung. Merencanakan modal dari awal akan memudahkan kita mengetahui kekurangan yang dimiliki, dan segera mengusahakan perbaikannya. Lahan sebagai media yang diusahakan juga tentunya diperhatikan aksesnya, apakah distribusi dilahan dapat dilakukan, jalur pengairan mudah, keseimbangan ekosistem didalamnya dan posisi yang strategis, serta yang paling penting kondisi tanah yang mendukung produksi (ketersediaan hara dan daya serap tanah). Desain lahan sendiri disesuaikan dengan posisi lahan, jangan sampai

lahan yang digunakan tidak menyediakan akses mudah ke tanaman atau ke daerah produksi.

- Manajemen resiko, tujuan ini dilakukan untuk membantu kita mengidentifikasi peluang resiko kedepan, seperti kondisi lingkungan, cuaca, serangan hama dan penyakit, dan termasuk fluktuasi harga pasar. Dengan begitu kita dapat memperkecil luasan resiko yang akan terjadi.
- Rencana operasional, ini berkaitan dengan penetapan jadwal kegiatan dan alokasi sumber daya seperti Menyusun kegiatan harian, mingguan dan bulanan.

3. Pengolahan Tanah

Teknik ini dilakukan untuk tujuan peningkatan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan pengaturan aliran air. Proses ini meliputi pembajakan, penggemburan, pemupukan sebelum tanam yang membantu kondisi ideal yang baik bagi tanaman. Memusnahkan gulma yang ada dan meratakan permukaan tanah sehingga akar tanaman nanti akan lebih mudah menyerap hara tanah, selain itu juga membantu sirkulasi udara dalam tanah, meningkatkan daya serap tanah, serta mendukung aktivitas mikroorganisme yang ada. Pengolahan tanah lebih dulu juga akan membantu mengurangi erosi.

4. Pengolahan Air, Irigasi Dan Darinase

Pengolahan air dan irigasi dalam manajemen produksi tanaman sangat penting untuk memastikan tanaman memperoleh pasokan air yang cukup untuk pertumbuhan tanaman yang efisien. Penggunaan air yang tepat juga akan meningkatkan hasil panen dan menjaga sumber daya air yang ada terutama di tempat yang kekurangan air. Disisi lain apabila pengolahan air dalam suatu lahan pertanian tidak efisien, maka akibatnya akan sangat buruk salah satunya adalah kekurangan air bahkan dapat menimbulkan kerugian lingkungan seperti erosi tanah.

Kebutuhan air tanaman juga harus dicukupi, setiap jenis tanaman memiliki jumlah air yang diperlukannya, bahkan setiap fase pertumbuhan tanaman jumlah air yang dibutuhkan dapat berubah seiring tahapan pertumbuhannya. Oleh karena itu perlu memahami terlebih dahulu kebutuhan air komoditi yang dibudidayakan.

Sistem irigasi, dilakukan untuk menyuplai air dalam lahan pertanian. Ada banyak sistem irigasi yang bisa digunakan seperti irigasi tetes, irigasi permukaan dan lain sebagainya. Sistem drainase juga digunakan sebagai sistem yang digunakan untuk mengalirkan air keluar lahan agar menghindari banjir lahan.

Selain beberapa hal diatas, pengelolaan air, irigasi dan drainase juga tidak mungkin terjadi apabila sumber air tidak tersedia. Maka perlu pengelolaan sumber daya air seperti pemantauan penggunaan serta membuat bendungan atau waduk sebagai penyimpan sumber daya air lahan pertanian. Tentunya melakukan konservasi air juga sangat penting untuk menjaga kualitas dan kuantitas air tetap terjaga. (Firdaus et al., 2023)

5. Budidaya Tanaman

Setelah perencanaan yang matang, dan pengelolaan tanah, sumber daya telah dilakukan maka kegiatan inti budidaya sudah dapat dilakukan seperti penanaman, pemeliharaan, pemupukan, pemangkasan dan penyiangan. Budidaya tanaman mencakup serangkaian tahapan yang dilakukan untuk memastikan pertumbuhan yang optimal. Pemilihan benih yang berkualitas sangat berpengaruh pada hasil produksi nantinya. Selain itu mengetahui syarat tumbuh tanaman juga sangat penting, seperti jarak tanam yang cocok untuk komoditi agar tidak terjadi persaingan untuk memperoleh unsur hara, teknik pemupukan yang tepat dan cuaca serta iklim yang tepat. Selama budidaya berlangsung juga perlu pemantauan yang rutin terhadap kondisi tanaman dan lingkungan tanaman, mempertimbangkan dan

mencegah serangan hama penyakit secara rutin, pelaksanaan pemangkasan dan penyiangan agar tanaman dapat menghasilkan produk yang berkualitas. Semua syarat budidaya tanaman ini kembali pada jenis produk atau komoditi yang hendak dibudidayakan, maka dari itu penguasaan budidaya jenis komoditi yang dimaksud sangat penting untuk dikuasai. (Makassar, 2019)

6. Pasca Panen

Menjadi tindak lanjut dari budidaya tanaman sebagai langkah lanjutan yang dilakukan dalam penanganan hasil panen. Penanganan hasil panen ini tidak hanya sekedar membawa hasil panen keluar dari lahan pertanian dan mendistribusikan tetapi juga mencakup pengolahan produk agar juga berkualitas dan memperoleh peningkatan nilai jual. Penanganan berupa pemilahan, pembersihan, penyimpanan, pengolahan produk hingga pengemasan. Tidak sampai disitu pasca panen diharapkan mampu mempersiapkan produk layak dikonsumsi dan dipasarkan dan memastikan produk yang sampai ditangan konsumen tetap segar dan tahan lama.

7. Analisis Ekonomi

Manajemen produksi pertanian tidak hanya sampai pada tahapan produk sudah sampai ditangan konsumen, tetapi juga menganalisis nilai ekonomi, melakukan evaluasi terhadap semua biaya yang dikeluarkan, jumlah pendapatan, serta keuntungan atau profitabilitas. Analisis ini mencakup jumlah pengeluaran seperti biaya lahan, benih, pupuk, perawatan, tenaga kerja, irigasi, alat teknologi, dimana analisis ini menghitung pendapatan dari hasil panen dan penjualan serta mempertimbangkan resiko yang terjadi selama masa budidaya. Dengan melakukan analisis ekonomi ini, usaha dapat menentukan keuntungan yang diperoleh dan meningkatkan efisiensi strategi yang membantu peningkatan produktivitas.

13.6. Peranan Dan Fungsi Manajemen Produksi

Dalam bidang pertanian manajemen produksi sudah sangat dikenal terutama di usaha pertanian dengan cakupan yang luas baik itu swasta maupun negeri. Dari dampak yang dihasilkan dari manajemen produksi ini, dapat disimpulkan bahwa manajemen memegang peranan yang sangat penting yaitu mengoptimalkan dan mengawasi proses produksi dari awal hingga akhir untuk mendapatkan hasil yang efektif dan sustainable. Manajemen dapat disebut juga sebagai panduan dan aturan yang disepakati dilakukan dengan tujuan peningkatan produktivitas. Tentunya dengan manajemen yang tepat, pelaku pertanian akan mampu meminimalisir kerugian yang terjadi.

Beberapa fungsi manajemen produksi pertanian yaitu ada 5 hal

1. Fungsi perencanaan (*Planning*). Fungsinya ini berperan dalam mempersiapkan keseluruhan hal yang diperlukan, mencari jawaban dari setiap hambatan yang sedang ataupun yang akan dialami, sehingga menghasilkan perencanaan kuat yang matang.
2. Fungsi Pengorganisasian (*Organizing*). Fungsi ini berperan dalam membentuk atau menggolongkan kegiatan yang ada dalam proses produksi serta membagi kekuasaan kepada para pelaku pertanian yang terlibat sesuai dengan kemampuan masing-masing.
3. Fungsi Pengarahan (*Directing*). Fungsi ini dapat diartikan dengan tindakan menghidupkan semangat kerja, memberi petunjuk, menumbuhkan minat kerja, dan pengarahan kelompok kerja secara berkelanjutan.

-
4. Fungsi Pengawasan (*Controlling*). Fungsi ini berperan dalam memantau target proses produksi sesuai atau tidak, mengamati sebab seperti penyimpangan kerja dan mengambil tindakan yang korektif apabila terjadi penyimpangan tujuan sehingga pelanggaran dapat diminimalisir dan tujuan dapat tercapai.
 5. Fungsi Evaluasi (*Evaluation*). Fungsi evaluasi ini merupakan upaya yang dilakukan untuk menilai dan memperbaiki sistem kerja, sejauh apa pekerjaan tercapai sesuai target yang ditentukan.

Fungsi-fungsi manajemen ini dapat berjalan apabila pelaksanaan manajemen produksi berjalan dengan lancar. (Rahim & Hastuti, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Asmarantaka, R. W. (2018). Ruang Lingkup Manajemen Agribisnis. *Manajemen Agribisnis*, 1–33.
- Firdaus, S., Rismawan, T., & Ristian, U. (2023). SISTEM MANAJEMEN PENGAIRAN PADA BUDIDAYA TANAMAN ANGGUR BERBASIS INTERNET OF THINGS. *11(3)*, 907–916.
- Hermani, D. A., & Prabawani, B. (2014). Ruang Lingkup Manajemen Produksi dan Sistem Produksi. *Kebijakan Dan Strategi Produksi*, 1–32.
- Makassar, S. (2019). Pupuk Kaltim pastikan stok pupuk urea subsidi bagi petani di Sulawesi Selatan aman . Perusahaan menyiapkan 277 ribu ton pupuk subsidi bagi petani , dengan tingkat berkaitan dengan budidaya tanaman pangan , hortikultura , perkebunan , hijauan pakan Salah s. *1(1)*, 23–33.
- Mamai, O., Parsova, V., Lipatova, N., Gazizyanova, J., & Mamai, I. (2020). The system of effective management of crop production in modern conditions. *BIO Web of Conferences*, *17*, 00027. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700027>
- Novia Priminingtyas, SP., MSi., D. (2012). Manajemen Operasi Dan Produksi Dalam Agribisnis. *Rancangan Usaha Bisnis*, 1–7.
- Rahim, A., & Hastuti, D. R. D. (2005). Sistem Manajemem Agribisnis. In Badan Penerbit Universitas Negeri Makassar.
- Sholikhah, V. (2021). Manajemen Strategi Ekonomi Agribisnis Dalam Konteks Ilmu Ekonomi Mikro. *LAN TABUR: Jurnal Ekonomi Syariah*, *2(2)*, 113–129. <https://doi.org/10.53515/lantabur.2021.2.2.113-129>
- Simatupang dkk. (2021). Analisis Pengaruh Faktor Produksi Terhadap Produksi dan Pendapatan Usahatani Bawang Merah. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian*, *19(2)*, 37–45.
- Taufiq, R. (2015). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi

Produksi Jagung (Studi Kasus: di Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak). 71.

BIODATA PENULIS



Putra Hidayat Telaumbanua, S.P., M.M
Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias

Penulis lahir di Gunungsitoli tanggal 24 November 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi, Universitas Nasional Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Manajemen, Universitas Nasional Jakarta. Penulis menekuni bidang Menulis dan penelitian dalam bidang Pertanian dan Sosial Pertanian.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: phidayat69@gmail.com

BIODATA PENULIS



Ridho Victory Nazara, S.P., M.Agr.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias

Penulis lahir di Desa Lawira Satua Kecamatan Lotu Kabupaten Nias Utara pada tanggal 04 April 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi Universitas Methodist Indonesia (UMI) dan menyelesaikan pendidikan S2 pada Jurusan Agroteknologi Universitas Sumatera Utara (USU). Penulis menekuni bidang Menulis dan Penelitian.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: victorynaz31@gmail.com

BIODATA PENULIS



Helmin Parida Zebua, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias

Penulis lahir di Hilidundra, tanggal 10 Agustus 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di IKIP Gunungsitoli, selesai S2 pada Jurusan Biologi Kosentrasi Ekologi Tumbuhan di Universitas Sumatera Utara. Dan sedang melanjutkan Program Doktor di Universitas Sumatera Utara. Penulis menekuni bidang Menulis.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: helminparidaz@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. Bachtiar, S.P., M.P

Dosen Program Studi Sains Pertanian
Pascasarjana Universitas Gorontalo

Penulis dilahirkan di Kolaka Sulawesi Tenggara pada Tanggal 5 Februari 1968. Sejak Tahun 1988 sampai tahun 1993 menempuh pendidikan di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Jurusan Budidaya Pertanian Program Studi Agronomi. Selama menempuh pendidikan di S1, Penulis aktif mengajar matakuliah Ilmu-Ilmu Pertanian, terutama Fisiologi Tanaman dan Biologi di berbagai perguruan tinggi negeri dan swasta di Ujung Pandang (Makassar sekarang). Tahun 1997 menyelesaikan S2 pada Program Studi Sistem-Sistem Pertanian Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Gelar Doktor di bidang Pertanian khususnya Agronomi dan Hortikultura diraih pada tahun 2016 di Institut Pertanian Bogor, dengan judul Disertasi: "Studi Fisiologis dan Kecukupan Hara Kedelai dengan Budidaya Jenuh Air Di Tanah Bergambut dan Mineral Lahan Pasang Surut".

Sejak tahun 2001 sampai sekarang bekerja sebagai Dosen di tiga lembaga pendidikan yaitu Strata satu (S1) Program Studi Agronomi di Fakultas Pertanian Universitas Ichsan tahun 2001 -

2002, dan juga mengajar Matakuliah Statistik di Akademi Komputer Mal Komputer tahun 2002 – 2005. Sejak tahun 2003 – 2023 ditugaskan pada Program Studi Kehutanan di Fakultas Kehutanan Universitas Gorontalo dan kembali pindah homebase ke Program Studi Sains Pertanian (S2) Pascasarjana Universitas Gorontalo pada tahun 2023 – sekarang. Selama bergelut di bidang pendidikan khususnya sebagai Dosen, Penulis pernah bertugas menjabat sebagai Kepala Laboratorium Dasar, Kepala Pusat Penelitian Pertanian Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Dekan Fakultas Pertanian Universitas Ichsan Gorontalo tahun 2001-2002 dan Fakultas Kehutanan 2017-2022.

Saat ini aktif bekerja sebagai peneliti dan dosen di Pascasarjana dan mengampu matakuliah Model-model Sistem Pertanian, Manajemen Sumberdaya Pertanian, Metode Statistik, Fisiologi Lingkungan Tanaman, Pemuliaan Pohon, Dasar Klimatologi dll. Beberapa tulisan pernah dimuat di Jurnal Nasional Sinta 2 dan Jurnal Internasional. Pernah menjadi Editor in Chief dan sekarang menjadi Reviewer pada Jurnal Gorontalo Journal of Forestry Research (GJFR).

Sebagai penulis juga pernah aktif sebagai pengurus maupun anggota organisasi profesi di daerah yakni, IDI (Ikatan Dosen Indonesia), PERAGI (Perhimpunan Agronomi Indonesia), HA-IPB (Himpunan Alumni Institut Pertanian Bogor), APPERTI (Asosiasi Penyelenggara Perguruan Tinggi).

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: tiarfpug@gmail.com

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Sakka Samudin, MP. IPM. Asean Eng.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Tadulako

Penulis lahir di Tentena Kabupaten Poso Provinsi Sulawesi Tengah tanggal 28 Desember 1966. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tadulako. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian Universitas Tadulako, tahun 1990. Strata dua pada Program Studi Magister Ilmu Pertanian Universitas Brawijaya, lulus tahun 1997. Strata tiga pada Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Brawijaya Malang, lulus tahun 2002. Penulis mengajar Matakuliah Genetika dan pemuliaan Tanaman, Pemuliaan Tanaman Lanjutan, Bioteknologi Pertanian, Teknologi Produksi Bahan Tanam, Teknologi Produksi Benih Unggul, dan Teknik Penelitian dan Penulisan Ilmiah. Selain mengajar, penulis telah menulis beberapa buku yaitu Pemuliaan Tanaman I suatu konsep dasar, Pemuliaan Tanaman II suatu konsep Teoristis, Pemuliaan Tanaman III suatu terapan, dan Parameter Genetik Tanaman Tembakau Madura. Artikel yang ditulis telah diterbitkan pada

jurnal nasional, terakreditasi kementerian pendidikan tinggi,
terakreditasi internasional maupun bereputasi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: sakka01@yahoo.com

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Anthon Monde, M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Tadulako

Penulis lahir di Makassar tanggal 16 Februari 1960. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Tadulako. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budi Daya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Tadulako dan menempuh Program S2 pada Jurusan Ilmu-Ilmu Pertanian di Universitas Hasanuddin Makasar dan kemudian menyelesaikan Program S3 (Doktor) pada Jurusan Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan pada Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB). Penulis menekuni bidang Ilmu Tanah.

Penulis dapat dihubungi melalui E-mail:
anthonmonde@gmail.com

BIODATA PENULIS



Ir. Jhon Hardy Purba, M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian dan Teknik
Universitas Panji Sakti, Singaraja-Bali

Penulis lahir di Bungasampang (Sumatera Utara) tanggal 16 Mei 1968. Penulis adalah dosen LLDikti Wilayah VIII dpk pada Universitas Panji Sakti, Singaraja-Bali, Fakultas Pertanian dan Teknik, Program Studi Agroteknologi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Agronomi, Jurusan Budidaya Pertanian, Universitas Sumatera Utara (USU), Medan dan melanjutkan S2 pada Program Studi Agronomi, PPs Universitas Gadjah Mada (UGM), dan saat ini sedang mengikuti studi lanjut S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Pertanian di Universitas Udayana, Bali.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: jhonhardyp@gmail.com

BIODATA PENULIS



Retno Sulistiyowati, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga

Penulis lahir di Kota Kediri tahun 1975. Menyelesaikan Pendidikan Sarjana dari Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (1993 – 1998) dan Magister Pertanian dari Universitas Jember (2002 – 2005). Profesi penulis sebagai dosen tetap Fakultas Pertanian Universitas Panca Marga mulai tahun 2002 hingga sekarang. Mengampu beberapa mata kuliah seperti Hortikultura, Dasar Ilmu Tanah, Konservasi Tanah & Air, Kesuburan & Kesehatan Tanah, Biopestisida dan Pengelolaan Perubahan Iklim.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
retnosulistiyowati2675@gmail.com

BIODATA PENULIS



Ir. Elemonoku Didomoinike Telaumbanua
Kepala Laboratorium Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias

Penulis lahir di Pematang Siantar tanggal 02 April 1959. Penulis adalah Kepala Laboratorium pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara. Penulis menekuni bidang Menulis dan penelitian dalam bidang Pertanian dan Sosial Pertanian. Penulis dapat dihubungi melalui telfon 081361683630.

BIODATA PENULIS



Ir. Hj. Susylowati, M.P.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman

Penulis Lahir di Surabaya, 27 Maret 1960. Merupakan anak bungsu dari 12 bersaudara dari pasangan bapak Soegeng Jusuf (alm) dan Ibu

Soemirah (almh). Menikah dengan Ir. H. Rusdiansyah Indra, M.M. (alm) di Balikpapan 4 Januari 1986. Dikarunia 2 orang putra dan satu orang putri, telah mempunyai mantu dua orang dan enam cucu. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Menyelesaikan Pendidikan S1 Program Studi Agronomi Jurusan Budidaya Pertanian Faperta Unmul pada tahun 1984, dan menyelesaikan S2 tahun 1993 pada Jurusan Ilmu Ilmu Pertanian Program Studi Ilmu Tanaman Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Ni Luh Kartini, MS.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian, Universitas Udayana

Ni Luh Kartini, Guru Besar Bidang “Pertanian Organik “ Laboratorium Biologi Tanah, Konsentrasi Tanah dan Lingkungan, PS. Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana. Merupakan Putri pertama dari pasangan I Nyoman Simeka (alm) dan Ni Made Ginarci (alm) dan Cucu dari I Wayan Tebus (alm). Lahir di Desa Bulian, Kecamatan Kubutambahan, Kabupaten Buleleng-Bali, 21 April 1962. Penulis masa kecil sangat dekat dengan alam dan banyak belajar dari alam yang dibimbing oleh kedua orang tua sebagai petani dan Kakek mantan kepala desa dan *Pengusade* (pengobat tradisional). Beliau selalu mengajak belajar dari alam karena alam dapat memenuhi semua kebutuhan makhluk hidup termasuk Manusia di dalamnya dengan rantai kehidupan, rantai makanan dimana antara satu dengan yang lain mempunyai hubungan yang saling ketergantungan, ketika salah

satu terputus akan berpengaruh terhadap yang lain. Kata kata yang tidak terlupakan selalu menjadi acuan penulis adalah peliharalah alam, karena alam akan memelihara kita "ketika memberi sesuatu ke alam terjadi perubahan kearah tidak baik pasti itu sebuah kesalahan" untuk tahu itu belajar dan perjuangkanlah. Penulis menyelesaikan Pendidikan sarjana (S1) 1987 Bidang Ilmu Tanah FP UNUD, Magister (S2) bidang ilmu tanah dan Doktor (S3) bidang Ilmu Pertanian, di Pascasarjana Uniniversitas Padjadjaran pada tahun 1993 dan 1997. Penulis hingga kini sebagai dosen Fakultas Pertanian Universitas Udayana 03 Maret 1988 sampai sekarang. Ketua Laboratorium Biologi Tanah tahun 2016-2018, Sebagai Ketua Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering FP UNUD dua periode tahun 2007-2015, sebagai Wakil Dekan Bidang Akademik dan perencanaan Fakultas Pertanian. Penulis juga aktif dalam Gerakan penyelamatan lingkungan, sebagai ketua Forum Danau Nusantara tahun 2017-sekarang, sebagai Ketua Yayasan Bali Organic Association (BOA) tahun 1990-sekarang, sebagai Ketua Masyarakat Tani dan Pertanian Organik Indonesia (MAPORINA) Bali tahun 2022 – sekarang. Penulis mendapat penghargaan Paul Harris Fellow, dari The rotary Foundation of Rotary International tahun 2005; 22 Ibu-Ibu Paling Berpengaruh di Bali, Penghargaan dari Harian Umum Nusa Bali; Penghargaan Pembina Lingkungan Bali dari Gubernur Bali pada tahun 2007. Penghargaan Pembina Lingkungan dari Menteri Lingkungan Hidup RI pada tahun 2007; "Women Who Inspire Women" Exceptional Community Service, dari Women Who Inspire Women" Exceptional Community Service tahun 2010; Penghargaan Bina Lingkungan dari Gubernur Bali tahun 2010; Penghargaan

Bali Mandara Parama Nugraha(pengabdian dan kerjasamanya dalam pelaksanaan Program Bali Mandara (pertanian organik dan cacing tanah)dari Gubernur Bali tahun 2017; Penghargaan Kategori tokoh masyarakat peduli penyelamatan danau dari Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan,tahun 2017; Penghargaan Kategori tokoh Perempuan Akademisi yang berprestasi yang berjasa bagi masyarakat dari Rektor Universitas Udayana,tahun 2018; Penghargaan International Tourism Leaders Summit (ITLS)Awards 2024, dari Cicle Excellence Of HGMA Bali sebagai tokoh inspiratif berkontribusi dalam perkembangan dan kemajuan pariwisata berkelanjutan Bali,tahun 2024. Akhir kata Penulis mengucapkan puji syukur Kehadapatan Tuhan Yang Maha Esa atas karuniaNya Book chapter “Pertanian Berkelanjutan” dalam Buku Dasar Dasar Agronomi dapat diselesaikan. Atas bantuan semua pihak dalam penyelesaian Book Chapter kami mengucapkan terimakasih. Semoga dengan penulisan Book Chapter ini mampu memberikan kontribusi yang positif dalam perkembangan system pertanian berkelanjutan

BIODATA PENULIS



Putri Khide Talenta Mendrofa

Mahasiswi Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Nias

Penulis lahir di Lolowua tanggal 08 Maret 2004. Penulis merupakan mahasiswi semester 5 di Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Nias. Menamatkan diri dari bangku Sekolah Menengah Atas pada tahun 2022 dan memutuskan melanjutkan studi kejenjang perkuliahan dengan memilih Program Studi Agroteknologi, kini penulis sedang berusaha mempersiapkan diri termasuk melatih diri untuk menulis dan mulai menekuni bidang penelitian dalam pertanian. Penulis berharap kelak akan mampu menulis lebih banyak sehingga mampu membantu banyak kalangan.

Penulis juga dapat dihubungi melalui e-mail: putrihidetalentamendrofa@gmail.com