

DASAR-DASAR PEMULIAAN TANAMAN



Erina Riak Asie; Rahmi Aurya Bella; Sakka Samudin;
Rahmawati Ning Utami; Dara Arubi; Susanti Diana;
Lizza Fauziah Suroya; Ummu Fitrothul Hidayah;
Arifah Husna; Rika Miftakhul Jannah; Zulfa Az Zahroh

DASAR-DASAR PEMULIAAN TANAMAN

Penulis:

Erina Riak Asie

Rahmi Aurya Bella

Sakka Samudin

Rahmawati Ning Utami

Dara Arubi

Susanti Diana

Lizza Fauziah Suroya

Ummu Fitrothul Hidayah

Arifah Husna

Rika Miftakhul Jannah

Zulfa Az Zahroh



Azzia Karya Bersama

Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman

Penulis:

Erina Riak Asie; Rahmi Aurya Bella; Sakka Samudin;
Rahmawati Ning Utami; Dara Arubi; Susanti Diana;
Lizza Fauziah Suroya; Ummu Fitrothul Hidayah; Arifah Husna;
Rika Miftakhul Jannah; Zulfa Az Zahroh

Editor: Prof. Dr. Ir. Muhammad Ansar, MP., C.Ed.

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: 978-634-7617-13-2

Cetakan pertama, Maret 2026

© Hak cipta dilindungi undang-undang.

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

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur kami sampaikan ke hadirat Allah swt. atas rahmat dan karunia-Nya, buku berjudul *Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman* ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai bahan ajar dan referensi bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta praktisi pertanian yang ingin memahami konsep, prinsip, dan penerapan pemuliaan tanaman secara sistematis dan komprehensif.

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu pilar utama dalam pembangunan pertanian berkelanjutan. Melalui kegiatan pemuliaan, berbagai varietas unggul dengan produktivitas tinggi, ketahanan terhadap hama dan penyakit, toleransi terhadap cekaman lingkungan, serta mutu hasil yang lebih baik dapat dihasilkan. Peran pemuliaan tanaman menjadi semakin penting di tengah tantangan perubahan iklim, keterbatasan lahan, serta meningkatnya kebutuhan pangan akibat pertumbuhan penduduk.

Buku ini membahas pengertian dan ruang lingkup pemuliaan tanaman, prinsip-prinsip genetika tanaman, teknik pemuliaan tanaman konvensional, dasar-dasar seleksi tanaman, hama dan penyakit pada pemuliaan tanaman, fisiologi tanaman dan pemuliaan, hingga tantangan dan peluang pemuliaan tanaman di masa depan. Penyajian materi diupayakan secara runtut, sederhana, dan mudah dipahami tanpa mengurangi kedalaman substansi ilmiah.

Penulis berharap buku ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan dalam upaya meningkatkan kualitas dan produktivitas pertanian nasional.

Padang, Februari 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pengantar Pemuliaan Tanaman.....	1
1.2 Pengertian Pemuliaan Tanaman.....	3
1.3 Sejarah dan Perkembangan Pemuliaan Tanaman.....	5
1.4 Ruang Lingkup Pemuliaan Tanaman.....	9
1.5 Tujuan dan Manfaat Pemuliaan Tanaman.....	12
1.6 Peran Pemuliaan Tanaman dalam Ketahanan Pangan dan Lingkungan.....	15
BAB 2 PRINSIP-PRINSIP GENETIKA TANAMAN.....	25
2.1 Konsep Dasar Genetika.....	25
2.2 Struktur dan Fungsi Gen.....	27
2.3 Pewarisan Mendelian dan Non-Mendelian.....	29
2.4 Interaksi Genetik.....	31
2.5 Variabilitas Genetik dalam Populasi.....	32
2.6 Implikasi Genetika terhadap Teknik Pemuliaan.....	34
BAB 3 TEKNIK PEMULIAAN TANAMAN	
KONVENSIONAL.....	39
3.1 Latar Belakang Pemuliaan Tanaman Konvensional.....	39
3.2 Landasan Teori Genetika Klasik.....	41
3.3 Metode Pemuliaan Konvensional.....	45
3.4 Seleksi Galur Murni.....	48
3.5 Persilangan (<i>Hybridization</i>).....	50
3.6 Silang Balik dan Silang Uji dalam Pemuliaan Tanaman..	52
3.7 Seleksi Silang Berulang.....	54
3.8 Tantangan & Prospek dalam Pemuliaan Tanaman.....	57
BAB 4 DASAR-DASAR SELEKSI TANAMAN.....	63
4.1 Pendahuluan Seleksi Tanaman.....	63
4.2 Prinsip Dasar Seleksi.....	68

4.3 Jenis Seleksi Tanaman	69
4.4 Metode dan Teknik Seleksi.....	72
4.5 Faktor yang Memengaruhi Keberhasilan Seleksi	74
4.6 Aplikasi Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman	77
BAB 5 HAMA DAN PENYAKIT PADA PEMULIAAN	
TANAMAN	85
5.1 Klasifikasi Respons Inang Terhadap Patogen.....	86
5.2 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Hama	87
5.3 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit.....	88
5.4 Analisis Genetika dan Pewarisan Sifat Ketahanan.....	92
5.5 Strategi Pengendalian	93
5.6 Ketahanan Biotik dan Rekayasa Genetik dalam Pemuliaan Tanaman	95
BAB 6 FISILOGI TANAMAN DAN PEMULIAAN	111
6.1 Definisi dan Hubungan Fisiologi Tanaman Dengan Pemuliaan.....	111
6.2 Fisiologi sebagai Dasar Penentuan Karakter Seleksi.....	112
6.3 Peran Fisiologi dalam Adaptasi Lingkungan.....	113
6.4 Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan.....	115
6.5 Hubungan Fisiologi Hormon dengan Pemuliaan	117
6.6 Fisiologi Reproduksi dan Keberhasilan Persilangan.....	119
6.7 Fisiologi sebagai Pendukung Seleksi Tidak Langsung..	120
6.8 Integrasi Fisiologi dengan Bioteknologi Pemuliaan.....	122
6.9 Fisiologi dan Interaksi Genotipe × Lingkungan (G×E)...	124
BAB 7 PEMULIAAN TANAMAN UNTUK KUALITAS	
HASIL.....	129
7.1 Kualitas Fisik.....	130
7.2 Kualitas Kimia.....	132
7.3 Kualitas Fungsional.....	134
7.4 Kualitas Industri	135
7.5 Studi Kasus Pemuliaan Tanaman Pangan untuk Kualitas Hasil.....	135

7.6 Peran Marker Molekuler dalam Pemuliaan Kualitas Fisik Gabah.....	137
BAB 8 PENGUJIAN DAN EVALUASI VARIETAS TANAMAN	141
8.1 Prinsip Dasar Pengujian Varietas.....	143
8.2 Tahapan Pengujian Varietas dalam Program Pemuliaan.....	144
8.3 Hubungan Pengujian Varietas dengan Perlindungan Varietas Tanaman.....	151
8.4 Alur Proses Pelepasan Varietas Tanaman	151
BAB 9 PERATURAN DAN ETIKA DALAM PEMULIAAN TANAMAN	155
9.1 Hak Kekayaan Intelektual dalam Pemuliaan Tanaman.....	158
9.2 Prosedur Perlindungan Varietas Tanaman	160
9.3 Protokol Internasional dan Akses Sumber Daya Genetik.....	165
9.4 Peraturan Keamanan Hayati dan Pangan	167
9.5 Etika dalam Pemuliaan Tanaman	169
9.6 Prosedur Pendaftaran dan Pelepasan Varietas	171
BAB 10 PENERAPAN PEMULIAAN TANAMAN PADA TANAMAN TERTENTU.....	175
10.1 Konsep Dasar Penerapan Pemuliaan Tanaman Spesifik Komoditas	175
10.2 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Pangan Strategis.....	181
10.3 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Hortikultura.....	184
10.4 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Perkebunan.....	188
BAB 11 TANTANGAN DAN PELUANG DI MASA DEPAN	195
11.1 Tantangan Pemuliaan Tanaman	196
11.2 Peluang Pengembangan Pemuliaan Tanaman.....	201
11.3 Arah dan Strategi Pemuliaan Tanaman di Masa Depan.....	206
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 5.1 Klasifikasi respons inang terhadap patogen	86
Gambar 5.2 Mekanisme ketahanan tanaman terhadap hama...	87
Gambar 5.3 (a) trikoma ; (b) duri; (c) lilin epikutikular (d) pengerasan daun	89
Gambar 5.4 Protein pertahanan tanaman (Jain <i>et al.</i> , 2022).....	90
Gambar 5.5 Pertahanan hipersensitivitas tanaman.....	91
Gambar 10.1 Tahapan pemuliaan tanaman	178

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Komponen Ketahanan Biotik.....	97
Tabel 7.1 Marker Spesifik untuk Kualitas Fisik (Andarini and Nugroho, 2023)	138
Tabel 10.1 Perbedaan utama heritabilitas arti luas dan sempit.....	180

BAB 1

PENDAHULUAN

Erina Riak Asie

1.1 Pengantar Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu cabang ilmu yang memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan, peningkatan kesejahteraan petani, dan pelestarian lingkungan. Di tengah dinamika global yang ditandai oleh pertumbuhan populasi, perubahan iklim, dan keterbatasan sumber daya alam, pemuliaan tanaman menjadi kunci dalam menyediakan pangan yang cukup, bergizi, dan berkelanjutan. Dalam beberapa dekade ke depan, sistem pertanian global akan menghadapi tekanan yang semakin besar. Menurut FAO (2023), peningkatan produksi pangan hingga sekitar 60% pada tahun 2050 menjadi prasyarat penting untuk menjamin ketersediaan pangan bagi populasi dunia yang terus berkembang.

Di sisi lain, lahan subur semakin berkurang akibat urbanisasi, degradasi lahan, dan perubahan iklim. Di Indonesia, kondisi degradasi lahan masih menjadi permasalahan serius dalam pembangunan pertanian. Laporan Status Lingkungan Hidup Indonesia yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa luas lahan kritis dan terdegradasi mencapai sekitar 14 juta hektar. Kondisi ini berpotensi menurunkan fungsi ekologis lahan, termasuk kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan menjaga keberlanjutan produktivitas pertanian. Selain degradasi lahan,

perubahan iklim turut memperburuk tekanan terhadap sistem pertanian melalui peningkatan kejadian cuaca ekstrem, seperti kekeringan dan banjir di berbagai wilayah. Fenomena tersebut tidak hanya mempengaruhi ketersediaan lahan produktif, tetapi juga mengancam stabilitas produksi pangan nasional (KLHK, 2022).

Melalui pemuliaan tanaman, varietas-varietas baru yang adaptif terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, salinitas, serta hama dan penyakit, dapat dikembangkan untuk memastikan keberlanjutan produksi pangan. Contoh nyata keberhasilan pemuliaan tanaman adalah pengembangan varietas padi IR8 yang memicu Revolusi Hijau pada tahun 1960-an, yang berhasil mengurangi ancaman kelaparan di banyak negara Asia. Varietas ini mampu meningkatkan hasil panen hingga dua kali lipat dibandingkan varietas tradisional, sehingga mempercepat swasembada pangan di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Revolusi Hijau juga berdampak positif pada kesejahteraan petani melalui peningkatan pendapatan, akses teknologi, dan perluasan infrastruktur pertanian (Evenson & Gollin, 2003; Hazell, 2009), meskipun di sisi lain menimbulkan tantangan baru seperti ketergantungan pada input eksternal dan degradasi lingkungan (FAO, 2010).

Pemuliaan tanaman terus berkembang seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, mulai dari pemuliaan konvensional hingga teknik mutakhir seperti marker-assisted selection dan *genome editing*. Hal ini menciptakan peluang baru dalam menghadirkan solusi inovatif untuk menjawab kebutuhan pangan global yang semakin kompleks.

1.2 Pengertian Pemuliaan Tanaman

Dalam kehidupan sehari-hari, tanpa kita sadari, banyak hasil pertanian yang kita konsumsi berasal dari tanaman yang telah melalui proses pemuliaan. Mulai dari padi yang menjadi makanan pokok, jagung, kedelai, hingga buah-buahan dan sayuran, sebagian besar telah dikembangkan agar mampu memberikan hasil yang lebih baik bagi manusia.

Secara umum, pemuliaan tanaman dapat didefinisikan sebagai proses ilmiah dan sistematis yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat tanaman agar lebih sesuai dengan kebutuhan manusia. Upaya perbaikan tersebut mencakup peningkatan hasil dan kualitas, peningkatan ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta kemampuan tanaman beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan (Acquaah, 2012). Dengan demikian, pemuliaan tanaman merupakan bentuk intervensi manusia dalam mengarahkan perkembangan genetik tanaman agar memberikan manfaat yang lebih optimal.

Proses pemuliaan tanaman sebenarnya sudah dilakukan sejak ribuan tahun yang lalu. Masyarakat tradisional di berbagai belahan dunia, termasuk Indonesia, telah melakukan pemilihan dan penanaman tanaman yang dianggap unggul. Misalnya, petani akan lebih memilih benih dari tanaman yang berbuah besar atau tahan terhadap kekeringan, lalu menanamnya kembali di musim berikutnya. Meski dilakukan secara sederhana dan tanpa memahami dasar ilmiah di baliknya, praktik ini pada dasarnya adalah bentuk awal dari pemuliaan tanaman.

Dalam perkembangannya, pemuliaan tanaman semakin maju seiring dengan ditemukannya hukum-hukum genetika oleh Gregor Mendel. Ilmu genetika menjadi dasar yang kokoh

bagi para pemulia untuk memahami bagaimana sifat-sifat tanaman diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Pemahaman ini memungkinkan para ilmuwan untuk melakukan seleksi dan persilangan secara lebih terarah.

Saat ini, pemuliaan tanaman telah berkembang jauh melampaui teknik konvensional seperti seleksi fenotip dan persilangan, dan mencakup berbagai pendekatan bioteknologi modern. Metode-metode tersebut meliputi kultur jaringan untuk perbanyakan dan regenerasi tanaman secara cepat, seleksi berbasis penanda molekuler (*marker-assisted selection*) untuk mendeteksi gen atau alel yang mengontrol sifat unggul, serta rekayasa genetika dan teknik pengeditan genom seperti CRISPR yang memungkinkan modifikasi gen secara presisi. Penggabungan teknologi molekuler dengan metode klasik ini tidak hanya meningkatkan akurasi pemilihan sifat, tetapi juga mempercepat siklus pemuliaan sehingga varietas baru yang lebih unggul dapat dihasilkan dalam waktu yang lebih singkat dibanding pendekatan tradisional saja (Sun et al., 2024; Anand et al., 2023).

Yang perlu digarisbawahi, pemuliaan tanaman bukanlah sekadar persoalan mendapatkan hasil panen yang tinggi. Lebih dari itu, pemuliaan tanaman menyangkut berbagai aspek seperti kelestarian lingkungan, keberlanjutan produksi, dan kesejahteraan petani. Misalnya, pengembangan varietas padi yang tahan cekaman kekeringan tidak hanya membantu petani tetap panen di musim kemarau, tetapi juga mengurangi kebutuhan air irigasi yang kian langka.

Selain itu, pemuliaan tanaman juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas gizi dan kesehatan masyarakat. Contohnya adalah pengembangan varietas padi kaya vitamin A atau jagung dengan kandungan protein yang lebih tinggi.

Melalui pendekatan ini, pemuliaan tanaman berkontribusi dalam upaya mengatasi permasalahan kekurangan gizi yang masih banyak terjadi di berbagai negara, termasuk Indonesia.

Sebagai suatu bidang ilmu, pemuliaan tanaman juga memiliki keterkaitan erat dengan berbagai disiplin ilmu lainnya seperti ekologi, fisiologi tanaman, agronomi, bioteknologi, bahkan ilmu sosial dan ekonomi. Hal ini menunjukkan bahwa pemuliaan tanaman merupakan ilmu yang holistik dan multidimensi, yang peranannya sangat strategis dalam menjawab tantangan-tantangan besar di sektor pertanian dan pangan.

1.3 Sejarah dan Perkembangan Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman bukanlah ilmu yang lahir dalam sekejap. Ia tumbuh dan berkembang seiring perjalanan panjang umat manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup. Sejak ribuan tahun yang lalu, manusia telah mulai menjinakkan tanaman liar menjadi tanaman budidaya, suatu langkah awal yang menjadi tonggak perkembangan pemuliaan tanaman hingga saat ini.

Pada masa prasejarah, nenek moyang kita hidup sebagai pemburu-pengumpul yang sangat bergantung pada alam. Mereka mulai memperhatikan bahwa beberapa tanaman liar memiliki rasa yang lebih enak, buah yang lebih besar, atau waktu panen yang lebih cepat. Tanaman-tanaman dengan karakter tersebut kemudian lebih sering dimanfaatkan dan ditanam kembali di sekitar tempat tinggal. Kebiasaan ini, yang berlangsung secara bertahap tanpa perencanaan khusus, menjadi dasar berkembangnya proses domestikasi tanaman sebagai bentuk paling awal dari kegiatan pemuliaan yang

sederhana namun berpengaruh besar terhadap perkembangan peradaban manusia (Purugganan & Fuller, 2009).

Peradaban-peradaban besar seperti Mesir Kuno, Cina, dan India telah mengenal berbagai jenis tanaman budidaya. Namun, proses pemuliaan kala itu masih sangat bergantung pada intuisi dan pengalaman, tanpa didukung oleh ilmu pengetahuan yang terstruktur. Baru pada abad ke-19, ilmu genetika mulai memberikan pencerahan baru dalam dunia pemuliaan tanaman.

Sosok yang memiliki peran fundamental dalam sejarah pemuliaan tanaman adalah Gregor Mendel. Melalui percobaan terkontrol menggunakan tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*), Mendel merumuskan prinsip-prinsip dasar pewarisan sifat yang dikenal sebagai hukum Mendel. Temuan ini menunjukkan bahwa pewarisan sifat mengikuti pola yang teratur dan dapat dirumuskan secara sistematis, sehingga menjadi landasan bagi lahirnya genetika modern (Griffiths et al., 2020).

Pengakuan terhadap hukum Mendel menandai perubahan paradigma dalam pemuliaan tanaman, dari praktik berbasis pengalaman menuju disiplin ilmu yang berlandaskan hukum biologis yang dapat diuji dan dijelaskan secara ilmiah. Pemahaman mengenai pola pewarisan sifat memungkinkan pemulia tanaman merancang strategi persilangan dan seleksi secara lebih terarah, yang kemudian menjadi dasar pengembangan pemuliaan tanaman modern (Sleper & Poehlman, 2006).

Memasuki abad ke-20, pemuliaan tanaman mengalami kemajuan pesat seiring lahirnya Revolusi Hijau pada dekade 1960-an. Di berbagai negara, termasuk Indonesia, penggunaan varietas unggul hasil pemuliaan seperti padi IR8 terbukti

meningkatkan produksi pangan secara signifikan dan berperan penting dalam menekan ancaman kelaparan massal (Pingali, 2012). Pada periode ini pula, berbagai pusat penelitian pemuliaan tanaman mulai berkembang, termasuk di Indonesia melalui lembaga-lembaga penelitian nasional seperti Balai Besar Penelitian Tanaman Padi dan Balitbangtan.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membawa pemuliaan tanaman memasuki era baru yang lebih canggih. Pemuliaan tidak lagi sekadar mengandalkan seleksi dan persilangan konvensional, tetapi juga memanfaatkan bioteknologi, kultur jaringan, penanda molekuler (*marker-assisted selection*), hingga rekayasa genetika (*genetic engineering*). Teknologi ini memungkinkan para ilmuwan mempercepat perbaikan sifat tanaman secara lebih presisi dan efisien (Acquaah, 2012).

Pemuliaan tanaman saat ini berkembang pesat menuju era genomik dan digital, ditandai oleh pemanfaatan teknologi pengurutan DNA yang memungkinkan identifikasi gen atau lokus penting secara cepat dan presisi. Integrasi data genom berskala besar dengan pendekatan bioinformatika, kecerdasan buatan, serta teknik penyuntingan genom seperti CRISPR/Cas telah membuka peluang baru dalam percepatan perakitan varietas unggul dengan karakter adaptif dan produktivitas tinggi (Varshney et al., 2021). Namun demikian, keberhasilan pemuliaan tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, melainkan juga oleh kesesuaian varietas dengan kondisi agroekologi dan kebutuhan pengguna akhir.

Dalam konteks tersebut, pemuliaan tanaman partisipatif berkembang sebagai pendekatan alternatif yang menempatkan petani sebagai aktor penting dalam proses seleksi dan evaluasi genotipe. Melalui keterlibatan langsung petani sejak tahap

awal, varietas yang dihasilkan cenderung memiliki daya adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan lokal serta lebih sesuai dengan preferensi sosial dan ekonomi setempat (Ceccarelli & Grando, 2020). Pendekatan ini terbukti meningkatkan relevansi hasil pemuliaan sekaligus mempercepat adopsi varietas di tingkat lapangan, sehingga berkontribusi pada penguatan sistem pertanian yang berkelanjutan dan tangguh terhadap perubahan lingkungan (Noru et al., 2024).

Sejarah panjang pemuliaan tanaman menunjukkan bahwa ilmu ini selalu berkembang menyesuaikan kebutuhan zaman. Dari sekadar memilih benih terbaik secara tradisional hingga menciptakan tanaman tahan cekaman melalui modifikasi genetik, semuanya bertujuan untuk satu hal: menciptakan tanaman yang lebih baik bagi kehidupan manusia. Namun, dalam setiap langkahnya, pemuliaan tanaman juga dihadapkan pada dilema etika, keberlanjutan lingkungan, dan keadilan sosial yang tidak boleh diabaikan.

Masa depan pemuliaan tanaman akan sangat ditentukan oleh bagaimana ilmu ini mampu bersinergi dengan berbagai tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, krisis pangan, dan kebutuhan gizi masyarakat.

1.4 Ruang Lingkup Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman merupakan cabang ilmu yang sangat luas dan dinamis. Ruang lingkungannya tidak hanya terbatas pada kegiatan persilangan tanaman di lapangan, tetapi mencakup berbagai aspek ilmu pengetahuan dan teknologi yang saling terkait. Seiring perkembangan zaman, ruang lingkup pemuliaan tanaman semakin meluas dan kompleks, mengikuti kebutuhan masyarakat dan tantangan global yang terus berkembang.

Secara umum, pemuliaan tanaman melibatkan semua upaya yang bertujuan untuk meningkatkan sifat genetik tanaman agar lebih bermanfaat bagi manusia. Sifat-sifat yang menjadi target perbaikan bisa sangat beragam, mulai dari peningkatan hasil (produktivitas), kualitas hasil panen, ketahanan terhadap hama dan penyakit, toleransi terhadap kondisi lingkungan ekstrem, hingga peningkatan kandungan zat gizi tertentu.

1.4.1 Perbaikan Produktivitas dan Kualitas

Salah satu tujuan utama pemuliaan tanaman adalah meningkatkan produktivitas. Tanaman yang berpotensi menghasilkan panen lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat. Selain kuantitas, kualitas hasil panen juga menjadi perhatian penting. Sebagai contoh, pemuliaan padi tidak lagi berfokus semata pada peningkatan hasil, tetapi juga mempertimbangkan berbagai atribut mutu beras yang memengaruhi penerimaan konsumen, seperti tekstur nasi yang berkaitan dengan kadar amilosa serta karakter kualitas lainnya (Peng et al., 2009).

1.4.2 Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit

Tanaman yang rentan terhadap serangan hama dan penyakit berisiko mengalami kehilangan hasil yang signifikan, sehingga pemuliaan tanaman diarahkan untuk meningkatkan ketahanan genetik terhadap berbagai gangguan biotik, termasuk hama serangga, patogen jamur, bakteri, dan virus (St. Clair, 2010). Dengan ketahanan yang lebih baik, petani dapat mengurangi penggunaan pestisida, sehingga mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan.

1.4.3 Toleransi terhadap Cekaman Lingkungan

Perubahan iklim dan degradasi lingkungan mendorong pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas yang toleran terhadap berbagai cekaman abiotik, termasuk kekeringan, salinitas, suhu ekstrem, serta kondisi lingkungan marginal lainnya, guna menjamin stabilitas produksi (Fita et al., 2015).

1.4.4 Peningkatan Kandungan Nutrisi dan Fungsi Kesehatan

Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan dan kecukupan gizi mendorong pemuliaan tanaman untuk tidak hanya berorientasi pada peningkatan hasil, tetapi juga pada perbaikan mutu dan nilai gizi bahan pangan. Di Indonesia, arah pemuliaan ini tercermin pada pengembangan padi dengan kandungan provitamin A sebagai upaya mendukung perbaikan gizi masyarakat, serta jagung dengan kualitas protein yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan pangan dan pakan. Selain itu, biofortifikasi tanaman pangan lokal, seperti padi, jagung, dan ubi jalar, dengan zat besi, seng, dan mikronutrien esensial lainnya menjadi strategi penting dalam mengatasi masalah kekurangan gizi mikro, terutama

pada wilayah dengan ketergantungan tinggi terhadap satu jenis pangan pokok (Bouis & Saltzman, 2017).

1.4.5 Pemuliaan Berbasis Teknologi Modern

Ruang lingkup pemuliaan tanaman terus berkembang seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Saat ini, pemuliaan tanaman tidak hanya mengandalkan metode konvensional, tetapi juga memanfaatkan berbagai teknologi canggih, seperti bioteknologi dan rekayasa genetika, seleksi berbasis penanda molekuler (marker-assisted selection), serta teknik penyuntingan gen menggunakan sistem CRISPR-Cas9. Selain itu, perkembangan teknologi digital turut mendorong lahirnya pemuliaan berbasis data, di mana pemanfaatan *big data*, penginderaan jauh melalui satelit, dan kecerdasan buatan digunakan untuk meningkatkan ketepatan, efisiensi, dan kecepatan proses seleksi dalam menghasilkan varietas unggul (Varshney et al., 2021).

1.4.6 Pemuliaan Tanaman Lokal dan Konservasi Sumber Daya Genetik

Selain mengejar produktivitas, pemuliaan tanaman juga berperan penting dalam konservasi plasma nutfah atau keanekaragaman genetik tanaman. Varietas lokal yang memiliki adaptasi khusus terhadap lingkungan setempat, meskipun produksinya relatif rendah, tetap perlu dilestarikan dan dikembangkan agar tidak punah. Pemuliaan berbasis tanaman lokal mendukung diversifikasi genetik dan ketahanan pangan, sejalan dengan rekomendasi FAO (2010) yang menekankan pentingnya pelestarian dan pemanfaatan sumber daya genetik tanaman untuk mendukung pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan global.

1.5 Tujuan dan Manfaat Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Sejak awal domestikasi tanaman hingga era modern saat ini, upaya untuk memperbaiki sifat-sifat tanaman telah menjadi bagian tak terpisahkan dari usaha manusia dalam menjamin ketersediaan pangan, meningkatkan kualitas hidup, dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

1.5.1 Tujuan Pemuliaan Tanaman

Secara umum, pemuliaan tanaman bertujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat-sifat genetik tanaman agar lebih sesuai dengan kebutuhan manusia maupun adaptif terhadap lingkungan. Beberapa tujuan pokok dalam pemuliaan tanaman meliputi:

1. Meningkatkan Produksi dan Produktivitas

Salah satu tujuan utama pemuliaan tanaman adalah menghasilkan varietas dengan potensi hasil yang lebih tinggi. Tanaman dengan hasil panen melimpah sangat diperlukan untuk memenuhi permintaan pangan global yang terus meningkat (Tester & Langridge, 2010).

2. Memperbaiki Kualitas Hasil

Kualitas hasil yang baik mencakup berbagai aspek seperti cita rasa, aroma, kandungan gizi, umur simpan, hingga keamanannya untuk dikonsumsi. Sebagai contoh, pemuliaan tomat tidak hanya mengejar kuantitas, tetapi juga ketebalan daging buah, kadar vitamin, dan ketahanan saat distribusi (Klee & Tieman, 2018).

3. Meningkatkan Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit

Dengan memperbaiki ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan patogen, pemuliaan tanaman membantu mengurangi kebutuhan pestisida dan

mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (St. Clair, 2010).

4. Meningkatkan Toleransi terhadap Cekaman Lingkungan
Tanaman yang mampu tumbuh optimal di bawah kondisi cekaman lingkungan seperti kekeringan, salinitas, atau tanah asam menjadi kunci dalam mengatasi tantangan akibat perubahan iklim dan keterbatasan lahan subur (Fita et al., 2015).
5. Memperbaiki Efisiensi Pemanfaatan Sumber Daya
Pemuliaan tanaman juga bertujuan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, seperti air, hara, dan lahan, sehingga produktivitas pertanian dapat ditingkatkan tanpa memperbesar tekanan lingkungan atau jejak ekologi (Tilman et al., 2011).
6. Mengembangkan Tanaman untuk Kebutuhan Industri
Pemuliaan tanaman juga diarahkan untuk memenuhi kebutuhan industri, seperti pengembangan tanaman penghasil bioenergi, bahan baku farmasi, atau serat berkualitas tinggi untuk material industri (Stolarski, 2021).

1.5.2 Manfaat Pemuliaan Tanaman

Dari berbagai tujuan di atas, pemuliaan tanaman memberikan manfaat nyata yang sangat luas, baik bagi individu, masyarakat, maupun lingkungan. Beberapa manfaat penting di antaranya:

1. Menjamin Ketahanan Pangan
Dengan varietas unggul yang berdaya hasil tinggi dan stabil, pemuliaan tanaman menjadi pilar utama dalam memastikan kecukupan pangan, terutama di negara-negara berkembang (Pingali, 2012).

2. Meningkatkan Pendapatan dan Kesejahteraan Petani
Tanaman hasil pemuliaan yang lebih produktif, tahan cekaman, dan berkualitas akan memberikan hasil panen yang lebih menguntungkan bagi petani, sehingga meningkatkan kesejahteraan mereka.
3. Menjaga Keanekaragaman Genetik
Pemuliaan yang berwawasan konservasi mampu melestarikan sumber daya genetik lokal agar tidak punah dan tetap berkontribusi dalam ketahanan pangan jangka panjang (FAO, 2010).
4. Mengurangi Dampak Lingkungan
Pengembangan tanaman yang tahan penyakit, efisien dalam penggunaan air dan pupuk, serta toleran terhadap stres lingkungan mendukung pertanian berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan.
5. Memenuhi Kebutuhan Khusus Masyarakat
Pemuliaan juga berkontribusi pada pemenuhan kebutuhan pangan fungsional, seperti tanaman dengan kandungan nutrisi khusus untuk kesehatan (Golden Rice, biofortifikasi) (Bouis & Saltzman, 2017).
6. Mendorong Inovasi Teknologi dan Ilmu Pengetahuan
Pemuliaan tanaman terus mendorong kemajuan di bidang bioteknologi, genomik, bioinformatika, dan pertanian digital yang berdampak luas pada berbagai sektor.

1.6 Peran Pemuliaan Tanaman dalam Ketahanan Pangan dan Lingkungan

Ketersediaan pangan yang cukup, bergizi, dan berkelanjutan merupakan salah satu kebutuhan mendasar manusia. Tantangan ini semakin besar seiring meningkatnya jumlah penduduk dunia yang diproyeksikan mencapai hampir 10 miliar jiwa pada tahun 2050 (United Nations, 2017). Tantangan dalam menciptakan sistem pangan yang aman dan berkelanjutan menjadi semakin mendesak. Di sinilah pemuliaan tanaman memegang peran strategis sebagai tulang punggung dalam mendukung ketahanan pangan sekaligus menjaga kelestarian lingkungan.

1.6.1 Peran Pemuliaan Tanaman dalam Ketahanan Pangan

Ketahanan pangan didefinisikan sebagai kondisi di mana semua orang, setiap saat, memiliki akses fisik, sosial, dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, aman, dan bergizi (FAO, 2009). Pemuliaan tanaman berkontribusi langsung terhadap pencapaian ketahanan pangan melalui beberapa cara berikut:

1. Meningkatkan Produksi Pangan

Dengan menghasilkan varietas tanaman yang berdaya hasil tinggi, adaptif terhadap berbagai kondisi agroekosistem, serta memiliki masa panen yang lebih singkat, pemuliaan tanaman memungkinkan peningkatan produksi pangan baik di lahan subur maupun di lahan marginal (Pingali, 2012).

2. Stabilitas Produksi

Pemuliaan tanaman membantu meningkatkan stabilitas produksi melalui pengembangan varietas yang toleran terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, banjir, dan

salinitas, serta varietas yang memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit. Stabilitas produksi menjadi sangat penting dalam menghadapi ketidakpastian iklim yang semakin ekstrem (Challinor et al., 2014).

3. Peningkatan Nilai Gizi Pangan

Melalui pendekatan biofortifikasi, pemuliaan tanaman juga bertujuan memperbaiki kandungan zat gizi penting dalam tanaman pangan. Contoh nyata adalah pengembangan padi Golden Rice yang kaya provitamin A atau varietas jagung dengan kandungan protein lebih baik (Bouis & Saltzman, 2017). Inovasi ini berperan penting dalam mengurangi kekurangan mikronutrien di negara-negara berkembang.

4. Mengurangi Ketergantungan Impor

Pemuliaan tanaman berperan penting dalam mengurangi ketergantungan suatu negara terhadap impor pangan. Melalui pengembangan varietas unggul lokal yang adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat dan memiliki produktivitas tinggi, kebutuhan pangan dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri. Upaya ini tidak hanya mendukung tercapainya swasembada pangan, tetapi juga memperkuat ketahanan pangan nasional, khususnya di negara-negara berkembang (Singh et al., 2025).

1.6.2 Peran Pemuliaan Tanaman dalam Pelestarian Lingkungan

Selain kontribusinya terhadap ketahanan pangan, pemuliaan tanaman juga memiliki dampak positif dalam menjaga kelestarian lingkungan dan mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan.

1. Mengurangi Penggunaan Pestisida dan Pupuk Kimia

Pemuliaan tanaman memungkinkan pengembangan varietas yang memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit serta efisiensi penggunaan hara. Karakter ketahanan yang bersifat kuantitatif cenderung lebih stabil dan berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada aplikasi pestisida kimia. Selain itu, varietas yang lebih efisien dalam pemanfaatan hara berpotensi menekan kebutuhan pupuk anorganik, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan dan menjaga keberlanjutan ekosistem pertanian (St. Clair, 2010)

2. Pemanfaatan Lahan Marginal

Pemuliaan tanaman dapat menghasilkan varietas yang mampu tumbuh di lahan marginal seperti tanah gambut, tanah kering, atau tanah dengan kadar salinitas tinggi. Dengan demikian, lahan-lahan yang sebelumnya kurang produktif dapat dimanfaatkan tanpa harus membuka hutan atau lahan baru (Fita et al., 2015).

3. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca

Pengembangan varietas tanaman yang lebih produktif, tahan cekaman, dan berumur genjah berkontribusi pada praktik pertanian cerdas iklim, yang dapat menurunkan emisi gas rumah kaca per satuan hasil produksi. Pendekatan ini mendukung upaya mitigasi perubahan

iklim sekaligus meningkatkan ketahanan pangan secara berkelanjutan (Lipper et al., 2014).

4. Konservasi Keanekaragaman Hayati

Pemuliaan tanaman yang memanfaatkan plasma nutfah lokal dan spesies liar berkontribusi terhadap pelestarian keanekaragaman hayati pertanian serta mendukung ketahanan sistem pangan dalam jangka panjang. Keanekaragaman genetik tersebut merupakan modal dasar untuk meningkatkan kapasitas adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim serta munculnya hama dan penyakit baru (FAO, 2010).

Pemuliaan tanaman merupakan bidang keilmuan yang berkembang seiring dengan upaya meningkatkan kualitas dan keberlanjutan produksi pertanian. Sejak tahap awal domestikasi hingga penerapan prinsip-prinsip genetika modern, pemuliaan tanaman telah menjadi sarana penting dalam perbaikan sifat tanaman, baik yang berkaitan dengan produktivitas, adaptasi lingkungan, maupun ketahanan terhadap berbagai cekaman biotik dan abiotik. Perkembangan tersebut menegaskan bahwa pemuliaan tanaman tidak berdiri sebagai kegiatan teknis semata, melainkan sebagai proses ilmiah yang berlandaskan pemahaman biologis yang kuat.

Kemajuan ilmu genetika dan bioteknologi telah memperluas cakupan pemuliaan tanaman serta meningkatkan ketepatan dalam perakitan varietas unggul. Pemahaman mengenai pewarisan sifat, keragaman genetik, dan interaksi antara genotipe dan lingkungan menjadi dasar penting dalam pengembangan varietas yang stabil dan adaptif. Dalam menghadapi tantangan pertanian masa kini, termasuk perubahan iklim dan degradasi sumber daya alam, pemuliaan

tanaman berperan strategis dalam menjaga keberlanjutan sistem produksi dan ketahanan pangan.

Bab pendahuluan ini menyajikan gambaran umum mengenai latar belakang, perkembangan, dan peran pemuliaan tanaman dalam konteks pertanian. Uraian tersebut menjadi dasar konseptual untuk memahami pembahasan pada bab-bab selanjutnya, sehingga keseluruhan materi dalam buku ini tersusun secara runtut dan saling terkait sebagai satu kesatuan pemahaman tentang dasar-dasar pemuliaan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. 2012. Principles of plant genetics and breeding (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Anand, A., Subramanian, M., and Kar, D. 2023. Breeding techniques to dispense higher genetic gains. *Frontiers in plant science*, 13, 1076094. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1076094>
- Bouis, H. E., and Saltzman, A. 2017. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
- Ceccarelli, S., and Grando, S. 2020. Why participatory plant breeding now? *Quantitative Plant Biology*, 1, e5. <https://doi.org/10.1017/qpb.2020.5>
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., and Chhetri, N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287–291. <https://doi.org/10.1038/nclimate2153>
- Evenson, R. E., and Gollin, D. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758–762. <https://doi.org/10.1126/science.1078710>
- FAO. 2010. The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i1500e/i1500e_brief.pdf
- FAO. 2009. Declaration of the World Summit on Food Security. Rome, Italy: FAO.

- FAO. 2023. *FAO Statistical Yearbook 2023: World food and agriculture*. Rome: FAO.
<https://www.fao.org/statistics/yearbook/>
- Fita, A., Rodríguez-Burruezo, A., Boscaiu, M., Prohens, J., and Vicente, O. 2015. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*, 6, 978. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00978>
- Griffiths, A. J. F., Doebley, J., Peichel, C., and Wassarman, D. A. (2020). *An introduction to genetic analysis* (12th ed.). W. H. Freeman & Company.
- Hazell, P. B. 2009. *The Asian green revolution*. International Food Policy Research Institute, 911.
- Klee, H. J., and Tieman, D. M. 2018. The genetics of fruit flavour preferences. *Nature Reviews Genetics*, 19(6), 347–356. <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0002-5>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia. 2022. *Status lingkungan hidup Indonesia 2022*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., ... and Torquebiau, E. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Noru, R. S. R., Thomas, B., Kshirsagar Maraskole, S., Patil, V., Panotra, N., Rajesh, J., Karthickraja, A., and Kumar, V. 2024. *Participatory plant breeding: A pathway to*

- sustainable and resilient agriculture. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(8), 1293–1306. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i81253>
- Peng, S., Khush, G. S., Virk, P., Tang, Q., and Zou, Y. 2009. Strategies for overcoming the yield barrier in rice. *Trends in Plant Science*, 14(6), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.03.004>
- Pingali, P. L. 2012. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109 (31) 12302–12308, <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>.
- Purugganan, M. D., & Fuller, D. Q. 2009. The nature of selection during plant domestication. *Nature*, 457(7231), 843–848. <https://doi.org/10.1038/nature07895>
- Singh, M., Sahu, R., Panchal, J., Soni, R., Gulwane, V. P., Panotra, N., and Choudhary, S. 2025. The role of plant breeding in enhancing food security: A review of recent developments and challenges. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 26(9–10), 219–236. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2025/v26i9-109796>
- Sleper, D. A., and Poehlman, J. M. 2006. *Breeding field crops* (5th ed.). Blackwell Publishing.
- St. Clair, D. A. 2010. Quantitative disease resistance and quantitative resistance loci in breeding. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 247–268. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081904>
- Stolarski, M. J. 2021. Industrial and bioenergy crops for bioeconomy development. *Agriculture*, 11(9), 852. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090852>
- Sun, L., Lai, M., Ghouri, F., Nawaz, M. A., Ali, F., Baloch, F. S., Nadeem, M. A., Aasim, M., and Shahid, M. Q. 2024. Modern plant breeding techniques in crop improvement

- and genetic diversity: From molecular markers and gene editing to artificial intelligence—A critical review. *Plants*, 13(19), 2676. <https://doi.org/10.3390/plants13192676>
- Tester, M., and Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818-822.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2017. World population prospects: The 2017 revision, key findings and advance tables. New York, NY: United Nations.
- Varshney, R. K., Bohra, A., Yu, J., Graner, A., Zhang, Q., and Sorrells, M. E. 2021. Designing future crops: Genomics-assisted breeding comes of age. *Trends in Plant Science*, 26(6), 631–649. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.010>

BAB 2

PRINSIP-PRINSIP GENETIKA TANAMAN

Rahmi Aurya Bella, S.P. M.Si.

2.1 Konsep Dasar Genetika

Genetika merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari bagaimana sifat biologis diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui materi genetik. Bidang pemuliaan tanaman, genetika menjadi hal dasar ilmiah untuk memahami bagaimana karakter suatu tanaman dikendalikan, diwariskan atau diturunkan, dimodifikasi, dan diwujudkan dalam fenotipe. Ilmu genetika memiliki peran yang sangat penting karena dapat menentukan keberhasilan dalam upaya para pemuliaan untuk menciptakan varietas unggul, mengelola keragaman genetik, menciptakan maupun merakit sifat-sifat baru yang sangat dibutuhkan saat ini dalam peningkatan produktivitas pertanian, tahan terhadap cekaman lingkungan serta mampu bertahan dalam kondisi lingkungan yang kurang subur atau pada lahan-lahan marginal.

Secara umum genetika memiliki tiga dasar utama yang mampu mempengaruhi bidang pemuliaan tanaman yaitu genotipe, lingkungan dan fenotipe. Genotipe merupakan informasi yang sangat penting karena berhubungan dengan genetik yang dimiliki oleh individu sedangkan lingkungan adalah faktor luar yang menentukan pertumbuhan serta hasil dari suatu tanaman seperti tanah, air, nutrisi, suhu, patogen, hama serta perlakuan atau teknik budidaya. Interaksi antara genotipe dan lingkungan akan menghasilkan fenotipe pada tanaman, yaitu sifat yang tampak atau penampilan nyata pada

suatu tanaman, sifat tersebut terdiri dari tinggi tanaman, warna bunga, ukuran buah, ketahanan penyakit bahkan juga hasil panen. Keberhasilan pemuliaan tanaman sangat bergantung pada kemampuan memisahkan pengaruh genetik dari pengaruh lingkungan sehingga seleksi terhadap tanaman dapat dilakukan secara efektif. Bahan genetik pada tanaman tersusun dalam bentuk DNA (untaian double helix) yang terdapat di dalam inti sel, kloroplas, dan mitokondria. DNA mengandung gen yang berfungsi sebagai satuan pewarisan sifat pada makhluk hidup. DNA sangat memengaruhi gen, setiap gen menempati lokasi tertentu pada kromosom yang disebut *lokus*, dan variasi gen tersebut disebut *alel*. Tanaman pada umumnya memiliki dua alel untuk setiap gen (diploid), walaupun ada juga beberapa spesies mempunyai lebih dari dua set kromosom (poliploid). Kemunculan alel yang berbeda ini dapat memperlihatkan terjadinya variasi sifat, sehingga menjadi landasan awal untuk pemuliaan melakukan pemilihan metode seleksi, perbaikan keturunan yang mampu menghasilkan suatu sifat baru. Selain itu, genetika juga mempelajari sumber variasi genetik. Variasi genetik juga dapat muncul atau terjadi secara alami melalui mutasi spontan, rekombinasi pada meiosis, dan aliran gen antar populasi. Di samping itu, pemulia tanaman sering memanfaatkan mutasi buatan, kultur jaringan, atau persilangan untuk menciptakan keragaman baru.

Variasi inilah yang sangat dibutuhkan dan nantinya akan menjadi dasar bagi seleksi untuk menghasilkan individu dengan sifat yang diinginkan dan dibutuhkan. Genetika juga berkembang seiring kemajuan ilmu pengetahuan. Saat ini, genetika tidak hanya mencakup pola pewarisan Mendel, tetapi juga meluas ke genetika molekuler, epigenetika, genomik, dan

bioinformatika. Meskipun demikian, prinsip genetika klasik tetap menjadi kerangka dasar yang sangat penting dalam memahami mekanisme pewarisan dan merancang strategi pemuliaan. Pembiakan tanaman dan pengembangan varietas menampilkan keseimbangan optimal antara alat dan teknik klasik dan modern yang terkait dengan pembiakan tanaman.

2.2 Struktur dan Fungsi Gen

Gen ialah unit terkecil pada makhluk hidup yang mampu membawa pewarisan sifat atau yang membawa informasi biologis, mengatur pembentukan sifat makhluk hidup, dan menentukan fungsi-fungsi dasar suatu organisme. Pada tanaman, gen tersusun dari molekul DNA yang berlokasi di dalam inti sel, tetapi ada juga gen yang ditemukan pada kloroplas serta mitokondria tetapi tidak berperan signifikan seperti pada inti sel. Pemahaman struktur dan fungsi gen sangat penting dan harus diketahui dalam mempelajari ilmu pemuliaan tanaman, karena gen menentukan bagaimana suatu sifat diwariskan, dimunculkan, serta bagaimana sifat tersebut dapat diubah melalui teknik pemuliaan. Gen memiliki beberapa bagian utama yaitu promotor, ekson dan intron, terminator, *UTR (Untranslated Regions)* dan organel-organel gen. Bagian promotor adalah wilayah awal gen yang berperan untuk tempat menempelnya enzim RNA polimerase yang bertujuan untuk mengekspresikan gen. Variasi pada promotor sering kali menyebabkan perbedaan fenotipe meskipun urutan gen pengkode protein sama. Bagian ekson dan intron adalah bagian penyandi protein dan bagian non koding, selama proses transkripsi, seluruh gen disalin menjadi pre mRNA, kemudian intron dihilangkan melalui proses penyambungan. Sehingga satu gen dapat menghasilkan beberapa jenis protein

yang berbeda. Terminator penanda akhir dari transkripsi, UTR ialah wilayah yang berperan dalam mengatur stabilitas mRNA, efisiensi translasi, dan waktu hidup RNA.

Gen berfungsi secara spesifik dan akurat dan sebagai cetak biru bagi seluruh proses kehidupan, mulai dari perkembangan, morfologi, metabolisme, hingga respons terhadap lingkungan. Dalam pemuliaan tanaman, pemahaman fungsi gen membantu pemulia menentukan gen mana yang harus diseleksi, digabungkan, atau dimodifikasi. Fungsi utama gen mengarahkan sintesis protein menyediakan instruksi untuk membuat protein melalui proses transkripsi dan translasi. Protein yang dihasilkan menentukan sifat tanaman, seperti warna bunga, ketahanan penyakit, atau efisiensi fotosintesis. Mengontrol karakter fenotipe, mengatur aktivitas genetik atau respon tanaman terhadap cekaman, stress dan kurangnya unsur hara pada tanah dan mampu menyumbang variasi genetik. Interaksi genetik pada tanaman biasanya berinteraksi secara dominansi dan dominansi tak sempurna dimana fenotipe heterozigot ditentukan oleh salah satu alel yang dominan, dan ada juga yang disebut dengan interaksi secara kodominansi yaitu kedua alel dapat muncul secara bersamaan dalam fenotipe, atau menghasilkan sifat campuran dan epistasis yaitu ekspresi suatu gen dipengaruhi atau ditutupi oleh gen lain. Pemahaman interaksi genetik sangat penting dalam menyusun strategi seleksi, memprediksi segregasi, serta merancang persilangan.

2.3 Pewarisan Mendelian dan Non-Mendelian

Pewarisan genetik adalah cara bagaimana sifat-sifat biologis diturunkan dari generasi satu ke generasi berikutnya melalui materi genetik. Pemuliaan tanaman sangat bergantung pada pemahaman ini, karena pola pewarisan menentukan bagaimana suatu sifat akan muncul pada keturunan. Secara garis besar, pola pewarisan dapat dibagi menjadi mendelian (klasik) dan non-mendelian (di luar hukum mendel). Pewarisan Mendelian dinamai berdasarkan Gregor Johan Mendel atau yang lebih dikenal dengan Gregor Mendel merupakan bapak genetika, seorang biarawan abad ke-19 yang melakukan eksperimen klasik pada tanaman kacang polong (*Pisum sativum*). Dari eksperimennya, Mendel merumuskan dua prinsip dasar yang menjadi dasar genetika klasik.

Hukum mendel I atau Segregasi bebas menyatakan bahwa setiap individu memiliki sepasang alel untuk setiap sifat, dan kedua alel tersebut akan berpisah (tersegregasi) saat pembentukan gamet. Akibatnya, setiap gamet hanya membawa satu alel dari pasangan alel tersebut. Pada saat fertilisasi, pasangan alel akan terbentuk kembali ketika gamet jantan dan betina bergabung. Hukum mendel I dapat dibuktikan dengan persilangan monohibrid. Menyilangkan tanaman kacang ercis yang berwarna putih dengan ungu.

Hasil persilangan tersebut menghasilkan semua keturunan atau filial 1 (F1) berwarna ungu. Kemudian setiap keturunan dibiarkan oleh Mendel melakukan penyerbukan sendiri sehingga sekaligus menjadi P2. Hasil persilangan tersebut ternyata menghasilkan warna bunga yang berbeda, yaitu ungu dan putih. Hasil keturunan tersebut disebut

sebagai filial 2 (F₂). Namun, dari hasil keturunan yang dihasilkan, jumlah bunga ungu lebih banyak dibandingkan bunga putih dengan rata-rata rasio 3:1.

Hukum Mendel II atau hukum assortasi bebas/berpasangan bebas menyatakan bahwa alel-alel dari gen yang berbeda diwariskan secara independen satu sama lain selama pembentukan gamet, asalkan gen-gen tersebut berada pada kromosom yang berbeda atau terletak cukup jauh sehingga tidak saling terpaut. Artinya, kombinasi alel yang masuk ke dalam gamet tidak bergantung pada kombinasi alel dari gen lain. Proses ini menghasilkan variasi keturunan yang lebih beragam. Hukum Mendel II dapat dibuktikan menggunakan persilangan dihibrid. Persilangan dihibrid dilakukan untuk mengetahui pewarisan dua sifat beda apakah selalu menghasilkan sifat anakan yang berbeda atau sama dengan tetuanya. Dua sifat beda tersebut misalnya adalah karakter bentuk biji dan warna biji. Mendel melakukan persilangan antara biji bulat kuning dengan biji kisut hijau. Kedua biji ini merupakan P₁. Hasil dari persilangan P₁ ini menghasilkan semua keturunan biji bulat berwarna kuning. Hasil persilangan tersebut merupakan F₁. Mendel kemudian melakukan penyerbukan sendiri keturunan F₁ untuk menghasilkan keturunan F₂. Hasil keturunan F₂ hasil persilangan oleh Mendel menunjukkan sifat yang bervariasi, yaitu ada 4 sifat anakan yang berbeda. Sifat-sifat tersebut di antaranya adalah biji kisut kuning, biji bulat kuning, biji kisut hijau dan biji bulat hijau. Rasio perbandingan jumlah empat sifat yang dihasilkan yaitu 9:3:3:1.

2.4 Interaksi Genetik

Interaksi genetik merupakan kondisi ketika dua atau lebih gen saling mempengaruhi dalam menentukan fenotipe suatu sifat. Pada tanaman, banyak sifat penting seperti warna biji, tinggi tanaman, ketahanan penyakit, dan toleransi cekaman lingkungan dimana tidak dikendalikan oleh satu gen saja, tetapi oleh interaksi kompleks antar gen. Karena itu, pemahaman interaksi genetik sangat penting bagi pemulia tanaman dalam memprediksi pola pewarisan, menentukan strategi seleksi, serta merakit varietas unggul. Secara umum, interaksi genetik dapat dibagi menjadi beberapa bentuk utama yang terdiri dari beberapa interaksi gen, epistasis, komplementasi, duplikasi gen, interaksi aditif, interaksi dominansi, dan serta interaksi gen-gen dalam sifat kuantitatif.

Setiap pola interaksi memberikan konsekuensi berbeda terhadap rasio fenotipe keturunan. Yang terdiri dari : epistasis terjadi ketika ekspresi suatu gen pada suatu lokus dipengaruhi atau bahkan ditutupi oleh gen lain pada lokus berbeda. Gen yang menutupi disebut dengan gen epistatik, sedangkan gen yang tertutupi disebut dengan gen hipostatik. Pola ini menyebabkan penyimpangan rasio mendelian klasik. Adanya komplementasi yang terjadi ketika dua gen berbeda bekerja sama untuk menghasilkan suatu fenotipe. Jika salah satu gen mengalami mutasi atau kehilangan fungsi, sifat tersebut tidak muncul. Pada beberapa tanaman, dua gen atau lebih memiliki fungsi yang mirip akibat proses duplikasi genom atau poliploidi. Jika satu gen mengalami mutasi, gen lain dapat menggantikannya. Dua gen atau lebih dapat berkontribusi secara aditif, di mana efek masing-masing gen bertambah untuk menentukan bagaimana penampilan fenotipe. Sebaliknya, interaksi dominansi terjadi jika satu gen lebih kuat

mempengaruhi fenotipe dibanding gen lain, sebagian besar sifat penting dalam pemuliaan tanaman ialah karakter agronomi seperti hasil panen, toleransi kekeringan, dan ukuran biji yang lebih besar dimana dikendalikan oleh banyak gen yang bekerja bersama. Interaksi antara gen-gen tersebut disebut interaksi poligenik.

Perkembangan ini telah memperluas pemahaman tentang mekanisme genetik dan peran berbagai gen/alel dalam mempengaruhi sifat fisik dan nutrisi kunci pada gandum. Sifat-sifat tersebut meliputi rasa, aroma, dan cita rasa kandungan protein biji yang tinggi, mineral, fitokimia dan profil asam amino. Dengan pemuliaan tanaman konvensional, sifat-sifat yang diinginkan pada gandum dapat diidentifikasi, dimanfaatkan, dan dikembangkan, memungkinkan perbaikan fisik dan nutrisi.

2.5 Variabilitas Genetik dalam Populasi

Variabilitas genetik adalah keberagaman komposisi gen atau alel dalam suatu populasi. Keberagaman ini menjadi dasar bagi para pemulia tanaman untuk melakukan seleksi dan mengembangkan varietas unggul. Dalam populasi tanaman, variabilitas genetik muncul karena perbedaan genotipe antar individu, yang kemudian tercermin pada variasi fenotipe seperti ukuran biji, warna bunga, tinggi tanaman, atau ketahanan terhadap penyakit. Variabilitas genetik sangat penting karena tanpa adanya perbedaan genetik, pemulia tidak dapat memilih atau memperbaiki sifat tertentu. Populasi yang memiliki keragaman tinggi memberikan peluang lebih besar untuk memperoleh individu superior. Sebaliknya, populasi dengan keragaman rendah rentan terhadap cekaman biotik dan abiotik serta memiliki

kemampuan adaptasi yang lebih lemah. Sumber variasi genetik dapat timbul melalui beberapa mekanisme yaitu mutasi, rekombinasi genetik, aliran gen (*gene flow*), perkawinan acak dan poliploidi. Keragaman genetik populasi berkontribusi dalam mengungkap dinamika populasi dan strategi reproduksi.

Mutasi merupakan perubahan acak pada urutan DNA. Mutasi dapat terjadi secara alami atau diinduksi oleh radiasi, bahan kimia, atau teknik mutagenesis modern. Meski sebagian mutasi bersifat netral atau merugikan, sebagian lain dapat menghasilkan sifat baru yang bermanfaat. Rekombinasi terjadi selama proses meiosis ketika kromosom homolog bertukar segmen. Mekanisme ini menghasilkan kombinasi alel baru sehingga keturunan memiliki genotipe berbeda dari induknya. Perpindahan alel antar populasi melalui penyerbukan silang atau pertukaran materi genetik menghasilkan variabilitas baru. Dalam tanaman menyerbuk silang, aliran gen sering menjadi faktor utama pembentuk keragaman. Pada populasi yang menyerbuk silang secara bebas, kombinasi gen terjadi secara acak sehingga tercipta variasi genotipe yang luas. Beberapa tanaman mengalami penggandaan set kromosom (poliploidi). Poliploidi sering menghasilkan keragaman fenotipe lebih besar, meningkatkan vigor, dan memunculkan sifat-sifat baru.

2.6 Implikasi Genetika terhadap Teknik Pemuliaan

Genetika merupakan dasar ilmiah bagi seluruh kegiatan pemuliaan tanaman. Setiap teknik yang digunakan pemulia, mulai dari seleksi hingga rekayasa genetik, sangat bergantung pada pemahaman terhadap bagaimana sifat diwariskan, bagaimana variasi genetik muncul, serta bagaimana gen dan lingkungan berinteraksi. Oleh karena itu, pemahaman genetika tidak hanya membantu pemulia memahami perilaku pewarisan sifat, tetapi juga menentukan strategi pemuliaan yang paling efektif untuk menghasilkan varietas unggul. Variasi genetik mendasari kemampuan pemulia menciptakan perbaikan sifat.

Pemulia tanaman menggunakan berbagai metode pemuliaan, pilihan mana yang sebagian besar dipengaruhi oleh sistem perkawinan spesies, dan jenis varietas yang dapat disebarakan dengan mudah kepada petani. Peningkatan terbaru dalam metode pemuliaan meliputi pengeditan gen, pengumpulan data genetik dan fenotipik dengan kapasitas tinggi, serta metode statistik untuk menggabungkan data genomik dan sifat tanaman di berbagai lingkungan, populasi, dan generasi guna meningkatkan efisiensi seleksi.

Variasi dapat muncul melalui rekombinasi genetik akibat persilangan, mutasi alami maupun induksi mutasi, serta melalui pengenalan gen baru dari spesies liar atau varietas lokal. Konsep genetika populasi menjelaskan bagaimana frekuensi alel dapat berubah dari generasi ke generasi, sehingga memungkinkan pemulia mengarahkan populasi menuju kondisi genetik yang diinginkan. Semakin luas keragaman genetik yang tersedia, semakin besar peluang pemulia mendapatkan individu dengan sifat unggul seperti hasil tinggi, ketahanan penyakit, atau toleransi stres

lingkungan. Tanaman berbeda dalam sistem reproduksinya, sehingga strategi pemuliaan juga harus disesuaikan. Pada tanaman menyerbuk sendiri, seperti padi dan kedelai, pengaruh *inbreeding* yang tinggi membuat populasi cepat menjadi homogen.

Hal ini memberi keuntungan dalam pembentukan varietas galur murni melalui metode seleksi pedigree, bulk, atau *single seed descent*, sebaliknya, pada tanaman menyerbuk silang seperti jagung dan kelapa, populasi cenderung heterozigot sehingga teknik pemuliaan seperti seleksi rekuren atau perakitan varietas hibrida menjadi lebih efektif. Pada tanaman yang diperbanyak vegetatif, seperti singkong dan pisang, stabilitas genetik klon memungkinkan seleksi dilakukan terhadap individu tunggal, dan sifat unggul dapat langsung dipertahankan melalui perbanyak vegetatif.

Heritabilitas sangat penting dalam pemuliaan yang berperan dalam mengukur atau menggambarkan seberapa besar pengaruh faktor genetik terhadap variasi fenotip. Pada sifat dengan heritabilitas tinggi, seperti warna bunga atau tinggi tanaman, seleksi langsung berdasarkan penampilan sangat efektif karena lingkungan memiliki dampak yang relatif kecil. Sebaliknya, untuk sifat dengan heritabilitas rendah seperti hasil panen, seleksi harus dilakukan dengan lebih hati-hati, biasanya melalui uji multilokasi atau seleksi keluarga, agar pengaruh lingkungan dapat dikendalikan.

Interaksi antar gen (epistasis) sering kali menghasilkan efek fenotip yang berbeda dari pengaruh masing-masing gen secara terpisah. Dalam pemuliaan hibrida, epistasis dan dominansi berperan besar dalam menghasilkan heterosis atau vigor hibrida. Oleh karena itu, pemilihan tetua perlu dilakukan secara hati-hati melalui pengujian nilai gabung

umum (GCA) dan nilai gabung khusus (SCA). Memahami interaksi gen memungkinkan pemulia merancang kombinasi genetik yang memberikan performa maksimal pada keturunannya. Kemajuan genetika molekuler telah membawa revolusi dalam pemuliaan tanaman. *Marker-assisted selection* (MAS) memungkinkan seleksi genetik dilakukan pada tahap bibit tanpa menunggu tanaman dewasa. Pemetaan QTL membantu mengidentifikasi lokus gen yang berperan dalam sifat kuantitatif. Lebih lanjut, seleksi genomik dan teknologi CRISPR-Cas9.

Penemuan alat editing genom bernama CRISPR telah membuat modifikasi genom tanaman menjadi lebih efisien secara biaya, cepat, dan dapat diprediksi, sehingga mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengomersialkan varietas tanaman baru. Alat-alat ini memungkinkan modifikasi beberapa sifat secara bersamaan, seperti peningkatan hasil panen, ketahanan penyakit yang lebih baik, dan toleransi kekeringan yang lebih tinggi. Keuntungan lain dari pengeditan genom adalah tidak memerlukan pengenalan materi genetik dari spesies lain, pendekatan yang digunakan dalam pemuliaan tanaman transgenik (GM), memungkinkan pemulia melakukan prediksi genetik secara lebih akurat serta modifikasi gen secara presisi. Pendekatan ini sangat penting dalam menghadapi tantangan pertanian modern seperti perubahan iklim, serangan penyakit baru, dan peningkatan kebutuhan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. 2020. *Principles of Plant Genetics and Breeding*. 3rd ed. Wiley-Blackwell.
- Allard, R.W., 2010. *Principles of Plant Breeding*. Wiley, New York.
- Ambarwati, E. 2014. *Pengantar Genetika Kuantitatif*. Yogyakarta: UGM Press.
- Ardaniah dan Oktavia A.R, A. 2023. Laporan Praktikum Uji Tingkat Kematangan Buah Terhadap Viabilitas Benih Tomat (*Lycopersicon esculentum* L.), Paser: Fakultas Pertanian dan Bisnis Digital, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur
- Ariati, S.R., Waluyo, B. & Nuraini, A. 2021. *Genetika dan Pemuliaan Tanaman*. Malang: UB Press.
- Baihaki, A. & Purnamaningsih, S., 2018. *Pemuliaan Tanaman: Teori dan Aplikasi*. Unpad Press, Bandung.
- Brown, T.A. 2017. *Genomes 5*. Garland Science.
- Iqbal, M., Khan, A., Hussain, M. and Ali, M. 2018. Fundamentals of Plant Breeding: Genetic Principles and Methods. *Plant Breeding Reviews*, 42, 1–35.
- Poehlman, J.M. & Sleper, D.A., 2014. *Breeding Field Crops*. Blackwell, Iowa.
- Raharjo, S.H.T., Jambormias, E. & Laisina, J.K.J. 2025. *Pemuliaan Tanaman: Prinsip dan Teknik*. Ambon: UNPATTI Press.
- Sadimantara, G.R. & Muhidin. 2020. *Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman*. Kendari: Unhalu Press.
- Sobir & Syukur, M. 2018. *Genetika Tanaman*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Sutoro, D., 2015. *Teknik Pemuliaan Tanaman*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Syukur, M., Sujiprihati, S. & Yuniarti, R. 2015. *Teknik Pemuliaan Tanaman*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Taryono. 2018. *Pengantar Bioteknologi untuk Pemuliaan Tanaman*. Yogyakarta: UGM Press.
- Zhang, X., Zhou, S. and He, Z. 2020. Modern genetics and its application in plant breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 133(3), 633–650.

BAB 3

TEKNIK PEMULIAAN TANAMAN KONVENSIONAL

Prof. Dr. Ir. Sakka Samudin, MP. IPM. Asean Eng

3.1 Latar Belakang Pemuliaan Tanaman Konvensional

Pemuliaan tanaman konvensional adalah seni dan ilmu yang melibatkan seleksi dan persilangan tanaman untuk menghasilkan generasi baru dengan sifat genetik yang lebih unggul—seperti hasil tinggi, ketahanan terhadap penyakit, atau adaptasi terhadap lingkungan. Proses ini tidak hanya bersifat teknis, melainkan juga responsif terhadap dinamika lingkungan dan tuntutan konsumen yang terus berubah (Chan, 2011).

Sebagai contoh, dalam konteks pertanian lokal, varietas padi unggul yang dulu dikembangkan untuk produktivitas kini harus direkayasa lebih lanjut untuk tahan terhadap genangan air atau kekeringan, menyesuaikan dengan fenomena iklim yang semakin tidak stabil.

3.1.1 Peran dalam Ketahanan Pangan & Pertanian Berkelanjutan

Pemuliaan tanaman memiliki peran strategis dalam membangun sistem pangan yang tahan guncangan dan ramah lingkungan:

- **Produktivitas Berkelanjutan:** Melalui persilangan dan seleksi genetik, varietas baru dapat menghasilkan hasil lebih tinggi, sekaligus mempertahankan stabilitas dalam kondisi variatif (Efendi et al., 2018).

- **Ketahanan terhadap Lingkungan & Hama:** Varietas yang dikembangkan mampu tahan terhadap stres seperti kekeringan, banjir, dan serangan hama, sehingga berkontribusi mengurangi ketergantungan pada pestisida dan input kimia lainnya (Efendi et al., 2018).
- **Perbaikan Kualitas Nutrisi:** Pemuliaan juga difokuskan pada peningkatan kandungan nutrisi—seperti protein, vitamin, serta senyawa bioaktif—untuk meningkatkan kesehatan konsumen dan nilai ekonomi produk pertanian (Efendi et al., 2018).

3.1.2 Relevansi dengan Kondisi Lokal/Nasional

Di Indonesia, kegiatan pemuliaan tanaman—khususnya padi—menjadi instrumen utama dalam upaya pencapaian swasembada pangan. Pendekatan *pemuliaan partisipatif*, yang melibatkan petani sejak awal, terbukti lebih efektif menyesuaikan varietas dengan preferensi lokal dan kondisi lahan (Hidayah et al., 2021).

Kebijakan nasional mendukung pengembangan varietas yang adaptif terhadap kondisi spesifik lokal, sekaligus memperkuat kemandirian benih melalui riset dan perlindungan hak kekayaan intelektual.

Selain itu, tanaman hortikultura berperan penting dalam menyokong gizi masyarakat dengan penyediaan pangan sehat kaya vitamin serta memperkuat keanekaragaman genetik nasional (Shourabh Joshi, 2017).

3.2 Landasan Teori Genetika Klasik

3.2.1 Pendahuluan

Genetika klasik merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari pewarisan sifat berdasarkan hukum-hukum yang pertama kali dirumuskan oleh Gregor Johann Mendel pada abad ke-19. Meskipun genetika modern kini banyak berfokus pada aspek molekuler dan bioteknologi, genetika klasik tetap memiliki relevansi fundamental karena memberikan kerangka dasar dalam memahami bagaimana sifat-sifat diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Konsep-konsep yang dikembangkan Mendel menjadi pondasi bagi disiplin pemuliaan tanaman, hewan, maupun bidang kedokteran, sehingga teori ini masih dipelajari secara mendalam dalam berbagai kurikulum biologi dan pertanian (Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, 2021).

Pemahaman tentang genetika klasik penting dalam menjelaskan hubungan antara struktur genetik dengan ekspresi fenotipe. Melalui teori ini, dapat dipahami bahwa variasi genetik merupakan hasil dari kombinasi alel yang diwariskan dari kedua induk. Variasi inilah yang menjadi bahan dasar bagi proses seleksi alam maupun seleksi buatan yang dilakukan manusia dalam kegiatan pemuliaan tanaman dan hewan. Oleh karena itu, mempelajari konsep dasar pewarisan sifat, hukum Mendel, dan terminologi penting dalam genetika klasik menjadi langkah awal untuk memahami dinamika pewarisan sifat secara menyeluruh (Chalfant et al., 2022).

3.2.2 Konsep Dasar Pewarisan Sifat

Konsep pewarisan sifat menjelaskan bahwa karakter organisme ditentukan oleh gen yang terdapat pada kromosom dan tersusun dari DNA. Informasi gen ditranskripsi menjadi RNA dan ditranslasi menjadi protein yang mengatur fungsi biologis. Pada organisme diploid, gen hadir berpasangan dari kedua induk, dengan kombinasi homozigot atau heterozigot yang memengaruhi ekspresi sifat ((Andersson & Purugganan, 2022).

Genotipe adalah susunan genetik, sedangkan fenotipe merupakan sifat yang tampak. Hubungan keduanya tidak selalu linier karena faktor lingkungan, misalnya nutrisi atau ketersediaan air, dapat memengaruhi ekspresi gen. Dengan demikian, pewarisan sifat merupakan hasil interaksi antara gen dan lingkungan ((Dida, 2022); (Nadeem et al., 2018).

Selain itu, variasi genetik yang muncul melalui kombinasi alel, mutasi, dan rekombinasi menjadi dasar keanekaragaman hayati serta memungkinkan terbentuknya sifat baru yang mendukung adaptasi terhadap perubahan lingkungan.

3.2.3 Hukum Mendel I (Hukum Segregasi)

Hukum Mendel I, atau hukum segregasi, menyatakan bahwa setiap individu memiliki sepasang alel untuk suatu sifat, dan kedua alel tersebut akan dipisahkan secara acak selama pembentukan gamet. Akibatnya, setiap gamet hanya membawa satu alel dari pasangan tersebut. Proses ini sesuai dengan mekanisme pemisahan kromosom homolog pada **meiosis**, di mana kromosom dari induk jantan dan betina terdistribusi secara acak ke sel anak ((Wani, P., 2023).

Contoh nyata dari hukum segregasi dapat dilihat pada persilangan monohibrid tanaman kacang ercis (*Pisum*

sativum) yang dilakukan Mendel. Pada persilangan antara individu homozigot dominan (AA) dengan individu homozigot resesif (aa), keturunan F1 semuanya heterozigot (Aa) dengan fenotipe dominan. Ketika F1 disilangkan sesamanya, rasio fenotipe yang muncul pada F2 adalah 3:1 (tiga dominan dan satu resesif). Rasio ini membuktikan bahwa alel dari masing-masing induk disegregasikan secara acak, bukan bercampur secara permanen seperti yang diduga pada teori sebelumnya.

Hukum segregasi menjadi salah satu dasar penting dalam pemuliaan tanaman. Dengan memahami cara segregasi berlangsung, pemulia dapat memprediksi kombinasi gen yang mungkin muncul pada keturunan, sehingga dapat mempercepat pencapaian genotipe unggul.

3.2.4 Hukum Mendel II (Hukum Asortasi Bebas)

Hukum Mendel II, atau hukum assortasi bebas, menyatakan bahwa gen-gen yang mengendalikan sifat berbeda dan berada pada kromosom yang berbeda akan bersegregasi secara independen selama pembentukan gamet. Dengan kata lain, pewarisan suatu sifat tidak akan memengaruhi pewarisan sifat lainnya. Prinsip ini dibuktikan melalui persilangan dihibrid antara dua tanaman dengan sifat berbeda, misalnya warna biji dan bentuk biji.

Hasil persilangan dihibrid menunjukkan rasio fenotipe 9:3:3:1 pada generasi F2, yang mencerminkan adanya kombinasi bebas antara gen-gen pengendali sifat tersebut (Kantar et al., 2017). Sebagai contoh, pada persilangan kacang ercis dengan biji bulat-kuning (RRYY) dengan biji keriput-hijau (rryy), keturunan F1 semuanya heterozigot (RrYy). Persilangan F1 sesamanya menghasilkan kombinasi sifat baru

pada F₂, misalnya biji bulat-hijau atau keriput-kuning, yang sebelumnya tidak ditemukan pada induknya.

Namun, perkembangan ilmu genetika modern menunjukkan bahwa hukum asortasi bebas tidak berlaku mutlak. Pada kenyataannya, gen-gen yang terletak berdekatan pada kromosom yang sama cenderung diwariskan bersama karena adanya fenomena pautan gen (genetic linkage). Akan tetapi, prinsip asortasi bebas tetap relevan dan menjadi dasar dalam analisis persilangan, terutama untuk gen-gen yang berada pada kromosom berbeda.

3.2.5 Terminologi Penting dalam Genetika Klasik

1. Gen

Gen adalah unit dasar pewarisan sifat yang menyandi protein atau RNA fungsional. Pada tanaman, gen dapat mengendalikan berbagai sifat penting, seperti warna bunga, ketahanan terhadap hama, dan produktivitas hasil (Nickle & Barrette-ng, 2025).

2. Alel

Alel merupakan variasi dari suatu gen yang menempati lokus tertentu pada kromosom homolog. Misalnya, gen warna bunga pada ercis memiliki dua alel, yaitu alel dominan ungu dan alel resesif putih.

3. Homozigot dan Heterozigot

Homozigot adalah kondisi di mana individu memiliki dua alel yang sama untuk suatu sifat (AA atau aa). Sebaliknya, heterozigot adalah kondisi di mana individu memiliki dua alel berbeda (Aa). Kombinasi alel ini berperan besar dalam menentukan ekspresi sifat pada keturunan.

4. Fenotipe

Fenotipe adalah ekspresi nyata dari suatu sifat, yang dapat diamati secara langsung, seperti tinggi tanaman atau bentuk biji. Fenotipe merupakan hasil interaksi antara genotipe dan lingkungan.

5. Genotipe

Genotipe adalah susunan genetik individu pada gen tertentu atau keseluruhan gen. Genotipe menentukan potensi sifat yang dapat diekspresikan, meskipun pengaruh lingkungan dapat memodifikasi hasil akhirnya ((Brown et al., 2014).

3.3 Metode Pemuliaan Konvensional

3.3.1 Seleksi Massa

Prinsip Seleksi Massa

Seleksi massa adalah metode pemuliaan tanaman paling tua dan sederhana, yang dilakukan dengan memilih tanaman unggul berdasarkan penampilan (fenotipe) dari suatu populasi. Prinsip dasarnya adalah tanaman yang menunjukkan sifat terbaik diasumsikan membawa gen yang baik pula, sehingga benih yang berasal dari tanaman tersebut diharapkan menghasilkan keturunan yang seragam dan berdaya hasil tinggi. Metode ini sangat sesuai untuk tanaman menyerbuk sendiri, meskipun dapat pula diterapkan pada tanaman menyerbuk silang dengan beberapa modifikasi ((Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, 2021).

Dalam praktiknya, seleksi massa dilakukan berulang dari generasi ke generasi untuk meningkatkan frekuensi gen yang menguntungkan di dalam populasi. Dengan cara ini, diharapkan karakter agronomis yang diinginkan seperti hasil

tinggi, ketahanan penyakit, atau kualitas biji dapat diperbaiki secara bertahap.

3.3.2 Tahapan Seleksi Massa

- a. Pengumpulan Populasi Dasar
Pemulia mengumpulkan benih dari berbagai sumber atau varietas lokal sehingga tersedia populasi dengan keragaman genetik cukup luas.
- b. Penanaman Populasi Campuran
Semua benih ditanam bersama dalam suatu lahan percobaan. Tujuannya adalah agar tanaman dapat dibandingkan secara langsung dalam kondisi lingkungan yang sama.
- c. Seleksi Berdasarkan Fenotipe
Tanaman yang memperlihatkan sifat unggul (misalnya tanaman lebih tinggi hasilnya, tahan penyakit, atau memiliki ukuran biji lebih besar) dipilih secara visual.
- d. Pencampuran Benih Terpilih
Benih dari tanaman terpilih dikumpulkan dan dicampur menjadi satu untuk dijadikan sumber populasi pada musim tanam berikutnya.
- e. Pengulangan Seleksi
Proses ini diulang beberapa musim tanam hingga sifat yang diinginkan relatif stabil dan populasi menunjukkan keseragaman lebih tinggi (Acquaah, 2012).

3.3.3 Contoh Penerapan Seleksi Massa

- **Padi Gogo Lokal di Sulawesi Tengah:** Petani sering memilih malai yang berisi penuh, berbatang kokoh, dan tahan rebah sebagai sumber benih untuk musim berikutnya. Hasilnya, secara bertahap diperoleh varietas lokal dengan adaptasi baik terhadap lahan tadah hujan dan cekaman kekeringan.
- **Jagung:** Pada varietas jagung komposit, pemulia memilih tongkol yang bernas, berbaris rapi, dan bebas hama. Benih dari tongkol terpilih dicampur untuk ditanam kembali, sehingga secara perlahan diperoleh populasi dengan produktivitas lebih stabil.
- **Kacang-kacangan:** Seleksi massa juga dipakai untuk memperbaiki daya hasil kacang tanah, dengan memilih tanaman yang berpolong banyak dan sehat, lalu menggunakannya sebagai sumber benih (Dwivedi et al., 2016).

3.3.4 Kelebihan dan Keterbatasan

- **Kelebihan:** sederhana, murah, mudah dilakukan petani, dan mampu meningkatkan mutu populasi secara bertahap.
- **Keterbatasan:** ketepatan rendah karena hanya berdasarkan fenotipe, tanpa memperhatikan informasi genetik; hasil seleksi juga bisa dipengaruhi oleh lingkungan.

3.4 Seleksi Galur Murni

3.4.1 Definisi

Seleksi galur murni adalah metode pemuliaan tanaman yang bertujuan menghasilkan varietas seragam dengan cara memilih satu tanaman unggul dari populasi heterogen, kemudian memperbanyak keturunannya hingga mencapai kestabilan genetik. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Johannsen pada awal abad ke-20 melalui eksperimen pada kacang *Phaseolus vulgaris* ((Allard, 1960). Prinsipnya adalah setiap galur murni bersifat homozigot, sehingga keturunannya akan relatif seragam dari generasi ke generasi.

3.4.2 Prosedur Seleksi Galur Murni

a. Pengumpulan Populasi Awal

Benih dari varietas lokal atau populasi heterogen ditanam dalam jumlah besar untuk memperoleh variasi yang luas.

b. Pemilihan Individu Unggul

Tanaman dengan penampilan terbaik (misalnya produktivitas tinggi, tahan hama, atau kualitas hasil baik) dipilih secara individu.

c. Panen dan Penanaman Keturunan

Benih dari setiap tanaman terpilih ditanam secara terpisah (barisan atau plot individu) sehingga dapat diamati keragaman keturunannya.

d. Evaluasi Keturunan

Keturunan yang menunjukkan keseragaman tinggi dan stabil untuk sifat unggul dipilih, sementara yang tidak seragam dieliminasi.

e. Uji Lanjutan

Galur-galur terpilih kemudian diuji di berbagai lokasi dan musim untuk melihat kestabilan hasil serta adaptasinya.

f. Pelepasan Varietas

Galur murni yang konsisten unggul dapat diajukan sebagai varietas baru setelah melalui uji adaptasi resmi (Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, 2021; Acquaaah, 2012).

3.4.3 Keunggulan Seleksi Galur Murni

- **Keseragaman Tinggi:** Karena bersifat homozigot, hasil panen dari galur murni sangat seragam.
- **Stabil Antar Generasi:** Sifat unggul yang dipilih cenderung bertahan dari musim ke musim.
- **Metode Sederhana:** Relatif mudah dilakukan dengan observasi langsung dan tidak membutuhkan teknologi canggih.
- **Cocok untuk Tanaman Menyerbuk Sendiri:** Misalnya padi, gandum, atau kacang hijau yang secara alami mudah menghasilkan galur murni.

3.4.4 Keterbatasan Seleksi Galur Murni

- **Kurang Efektif pada Tanaman Menyerbuk Silang:** Karena tanaman tersebut cenderung heterozigot, sulit mempertahankan sifat unggul dengan galur murni.
- **Tidak Menghasilkan Keragaman Baru:** Metode ini hanya memanfaatkan variasi yang sudah ada, sehingga perbaikan terbatas pada populasi awal.
- **Waktu Seleksi Lama:** Membutuhkan beberapa generasi untuk memastikan galur benar-benar stabil.
- **Rentan Terhadap Perubahan Lingkungan:** Keseragaman genetik yang tinggi membuat galur murni kurang fleksibel menghadapi kondisi lingkungan yang berubah (Naqvi et al., 2022).

3.5 Persilangan (*Hybridization*)

3.5.1 Definisi

Persilangan atau *hybridization* adalah proses mengawinkan dua individu tanaman dengan sifat genetik berbeda untuk memperoleh keturunan (hibrida) yang menggabungkan sifat-sifat unggul dari kedua tetuanya. Dalam pemuliaan tanaman, persilangan dilakukan secara terkontrol sehingga hasilnya dapat diprediksi dan dianalisis sesuai prinsip genetika Mendel (Allard, 1960).

3.5.2 Persilangan Monohibrid

Persilangan monohibrid adalah persilangan yang melibatkan **satu sifat beda** antara dua tetua.

- **Contoh:** Menyilangkan tanaman ercis (*Pisum sativum*) berbunga ungu dengan tanaman berbunga putih.
- **Hasil:** Pada generasi F1, seluruh keturunan biasanya menunjukkan sifat dominan (ungu). Pada generasi F2, sifat tersebut akan segregasi dengan rasio fenotipe sekitar **3:1** (3 ungu : 1 putih) (Mendel, 1996; Hallauer, A. R., 2010).
- **Manfaat:** Persilangan ini membantu memahami hukum segregasi Mendel dan digunakan untuk memperbaiki satu sifat tertentu, misalnya warna bunga atau ketahanan penyakit tunggal.

3.5.3 Persilangan Dihibrid

Persilangan dihibrid melibatkan dua sifat beda sekaligus.

- **Contoh:** Menyilangkan ercis biji bulat-ungu dengan ercis biji keriput-putih.
- **Hasil:** Generasi F1 biasanya seragam menampilkan sifat dominan (bulat-ungu). Pada generasi F2, terjadi segregasi

- dengan rasio fenotipe sekitar **9:3:3:1** (9 bulat-ungu : 3 bulat-putih : 3 keriput-ungu : 1 keriput-putih).
- **Makna:** Persilangan dihibrid menunjukkan prinsip **asortasi bebas** (independent assortment), di mana gen untuk sifat berbeda diwariskan secara bebas jika berada pada kromosom yang berbeda (Allard, 1960).
 - **Aplikasi:** Digunakan untuk memperbaiki dua sifat sekaligus, misalnya ukuran biji dan warna kulit buah pada tanaman hortikultura.

3.5.4 Metode Kontrol Penyerbukan dalam Persilangan

Agar persilangan berlangsung sesuai rencana, diperlukan teknik pengendalian penyerbukan:

1. **Emaskulasi (Pembuangan Benang Sari)**

- Dilakukan pada bunga betina dengan membuang benang sari sebelum serbuk sari matang.
- Tujuan: Mencegah penyerbukan sendiri.
- Cocok diterapkan pada padi, gandum, atau tomat ((Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, 2021).

2. **Bagging (Pembungkusan Bunga)**

- Setelah emaskulasi, bunga dibungkus dengan kertas perkamen atau plastik transparan.
- Tujuan: Menghindari masuknya serbuk sari asing yang tidak diinginkan.

3. **Polinasi Buatan (*Hand Pollination*)**

- Serbuk sari dari tetua jantan diambil dan ditempatkan secara manual pada kepala putik bunga betina.
- Contoh penerapan: pada jagung dilakukan dengan mengoleskan serbuk sari ke rambut tongkol.

4. Labeling dan Pencatatan

- Setiap bunga yang disilangkan diberi label berisi informasi tetua jantan dan betina, tanggal, dan kode silangan.
- Hal ini penting untuk akurasi dalam penelitian dan pemuliaan.

5. Isolasi atau Ruang Khusus

- Pada beberapa kasus, digunakan rumah kaca atau sangkar serangga untuk mengontrol penyerbukan, terutama pada tanaman menyerbuk silang.

3.6 Silang Balik dan Silang Uji dalam Pemuliaan Tanaman

3.6.1 Silang Balik (*Backcross*)

Silang balik adalah metode persilangan antara keturunan hibrida (F1) dengan salah satu tetua (induk jantan atau betina). Tujuannya adalah mengembalikan atau mempertahankan sifat unggul dari tetua yang diinginkan sambil tetap memperkenalkan sifat baru dari tetua lain (Acquaah, 2020).

- **Contoh sederhana:** Jika padi varietas A tahan penyakit tetapi hasil rendah, disilangkan dengan varietas B yang hasil tinggi tetapi rentan penyakit, maka F1 yang dihasilkan disilangkan kembali dengan varietas A. Dengan cara ini, generasi berikutnya diharapkan memiliki ketahanan penyakit dari varietas A sekaligus membawa potensi hasil tinggi dari varietas B.

3.6.2 Silang Uji (*Testcross*)

Silang uji adalah persilangan antara individu yang ingin diketahui genotipnya dengan individu homozigot resesif. Tujuan utama silang uji adalah untuk menguji kemurnian atau heterozigositas suatu individu (Allard, 1960).

- **Contoh:** Jika seekor tanaman ercis berbunga ungu memiliki genotipe tidak diketahui (apakah homozigot dominan atau heterozigot), maka tanaman tersebut disilangkan dengan tanaman berbunga putih (homozigot resesif).
 - Jika semua keturunan berbunga ungu → tetua dominan homozigot.
 - Jika keturunan menunjukkan perbandingan 1:1 (ungu: putih) → tetua dominan heterozigot.

3.6.3 Manfaat Praktis dalam Pemuliaan

a. Silang Balik

- **Perbaikan Varietas:** Banyak varietas unggul baru dikembangkan dengan memperkenalkan satu sifat penting, seperti ketahanan penyakit, tanpa menghilangkan sifat unggul tetua utama.
- **Produksi Galur Isogenik:** Digunakan untuk menciptakan galur isogenik yang identik secara genetik kecuali pada satu gen tertentu, sehingga bermanfaat dalam penelitian genetika dan fisiologi tanaman (Prabhu et al., 2023).
- **Pemuliaan Tahan Hama/Penyakit:** Backcross sering dipakai untuk mentransfer gen resistensi dari spesies liar ke varietas budidaya. Contoh nyata adalah pemuliaan padi tahan hawar daun (*bacterial blight*) di Asia (Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, 2021).

b. Silang Uji

- **Identifikasi Genotipe:** Sangat berguna untuk menentukan apakah tanaman pembawa sifat dominan bersifat homozigot atau heterozigot.
- **Pemurnian Galur:** Digunakan untuk menjaga konsistensi sifat unggul dalam program pemuliaan.
- **Pemetaan Genetik:** Dalam penelitian, testcross membantu mempelajari pola segregasi dan hubungan gen, sehingga berguna dalam konstruksi peta genetik (Acquaah, 2020).

3.7 Seleksi Silang Berulang

3.7.1 Definisi

Seleksi silang berulang (*recurrent selection*) adalah metode pemuliaan tanaman yang dilakukan dengan cara mengulangi siklus seleksi dan persilangan dalam suatu populasi untuk meningkatkan frekuensi alel yang menguntungkan. Prinsip utamanya adalah memilih individu terbaik dari suatu populasi, kemudian mengawinkannya kembali secara terkontrol untuk membentuk generasi baru. Proses ini dilakukan berulang kali sampai diperoleh populasi dengan rata-rata daya hasil dan mutu yang lebih tinggi (Acquaah, 2020; Hallauer et al., 2010).

3.7.2 Tahapan Umum Seleksi Silang Berulang

1. Pembentukan Populasi Dasar
Populasi dasar berasal dari varietas komposit, varietas lokal, atau hasil persilangan beberapa tetua yang memiliki keragaman genetik luas.

2. Seleksi Individu
Tanaman individu dipilih berdasarkan penampilan fenotipe atau nilai genetik yang diestimasi.
3. Persilangan Ulang
Individu terpilih disilangkan kembali (baik secara alami maupun terkendali) untuk menghasilkan populasi baru dengan frekuensi alel unggul lebih tinggi.
4. Pengulangan Siklus
Proses seleksi dan persilangan diulang setiap generasi, biasanya dalam 3–5 siklus, hingga diperoleh perbaikan yang nyata terhadap sifat yang diinginkan (Naresh & Kumar, 2023).

3.7.3 Aplikasi pada Tanaman Menyerbuk Silang

Metode seleksi silang berulang sangat relevan untuk tanaman menyerbuk silang karena tanaman jenis ini secara alami memiliki tingkat heterozigositas tinggi. Dengan demikian, metode ini mampu menjaga keragaman genetik sambil meningkatkan frekuensi sifat unggul.

Beberapa contoh aplikasinya:

- **Jagung (*Zea mays* L.)**
Seleksi silang berulang digunakan untuk meningkatkan daya hasil, ketahanan terhadap penyakit, dan kualitas biji. Program seleksi berulang di jagung terbukti meningkatkan produktivitas populasi komposit tanpa mengurangi keragaman genetik yang penting untuk keberlanjutan pemuliaan (Hallauer, A. R., 2010).

- **Rumput Pakan (Forage Crops, misalnya Brachiaria dan Alfalfa)**

Pada tanaman pakan, metode ini dipakai untuk memperbaiki kandungan protein, daya tahan terhadap kekeringan, dan ketahanan terhadap serangan hama. Seleksi berulang memungkinkan perbaikan bertahap tanpa kehilangan kemampuan adaptasi yang luas (Poehlman & D.A. Sleeper, 1995).

- **Kelapa dan Tanaman Perkebunan Lain**

Pada tanaman perkebunan yang menyerbuk silang, seperti kelapa, metode ini digunakan untuk meningkatkan hasil buah sekaligus mempertahankan sifat adaptif terhadap lingkungan tropis.

3.7.4 Manfaat Seleksi Silang Berulang

- **Mempertahankan Variabilitas Genetik:** Tidak menghilangkan keragaman, sehingga populasi tetap menjadi sumber gen bagi pemuliaan selanjutnya.
- **Meningkatkan Daya Hasil Bertahap:** Setiap siklus menghasilkan populasi yang sedikit lebih baik dari sebelumnya.
- **Fleksibel:** Bisa digunakan untuk memperbaiki berbagai sifat kompleks yang dikendalikan banyak gen (*quantitative traits*).
- **Cocok untuk Tanaman Outcrossing:** Karena mampu menyeimbangkan kebutuhan perbaikan sifat tanpa mengurangi heterozigositas yang penting pada tanaman menyerbuk silang.

3.8 Tantangan & Prospek dalam Pemuliaan Tanaman

3.8.1 Keterbatasan Metode Konvensional

Metode pemuliaan konvensional, seperti seleksi massa, persilangan sederhana, maupun seleksi galur murni, telah berperan besar dalam menghasilkan varietas unggul sejak Revolusi Hijau. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, waktu yang dibutuhkan relatif lama, sering kali mencapai 7–10 tahun untuk merakit satu varietas baru. Kedua, tingkat ketepatan rendah karena seleksi didasarkan pada fenotipe yang sangat dipengaruhi lingkungan. Ketiga, metode konvensional cenderung terbatas pada eksplorasi keragaman genetik yang tampak, sehingga sulit untuk mendeteksi sifat kuantitatif kompleks seperti toleransi kekeringan atau resistensi penyakit poligenik (Dwivedi et al., 2016).

Selain itu, pemuliaan konvensional kurang mampu menghadapi tantangan penyakit tanaman baru maupun perubahan iklim yang mengubah ekologi hama dan patogen. Akibatnya, produktivitas varietas hasil metode konvensional sering mengalami penurunan daya adaptasi pada kondisi ekstrem atau lahan marjinal (Furber & Tester, 2011).

3.8.2 Integrasi dengan Bioteknologi Modern

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, integrasi pemuliaan konvensional dengan bioteknologi modern menjadi solusi strategis. Pendekatan bioteknologi seperti *marker-assisted selection* (MAS), *genomic selection* (GS), kultur jaringan, rekayasa genetik (transgenik, CRISPR-Cas9), hingga bioinformatika memungkinkan pemuliaan dilakukan lebih cepat, tepat, dan efisien.

MAS mempermudah identifikasi sifat-sifat unggul berbasis penanda DNA, sehingga seleksi bisa dilakukan sejak fase awal pertumbuhan. Genomic selection memperkuat pemuliaan tanaman dengan memprediksi nilai genetik kompleks melalui data genomik skala besar. Teknik kultur jaringan mempercepat multiplikasi genotipe unggul, sedangkan teknologi CRISPR memungkinkan pengeditan gen spesifik untuk meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik maupun abiotik (Jaganathan et al., 2018; Simarmata, 2024). Integrasi ini bukan menggantikan metode konvensional, melainkan memperkuatnya sehingga proses perakitan varietas lebih adaptif terhadap kebutuhan pertanian modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding* (First). John Wiley & Sons, Ltd Wiley-Blackwell.
- Allard, R. W. (1960). *principles of PLANT BREEDING*. John Wiley & Sons, Inc.
- Andersson, L., & Purugganan, M. (2022). Molecular genetic variation of animals and plants under domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(30), 1–10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2122150119>
- Brown, J., & P. C., & Campos, H. (2014). *Plant Breeding* (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Chalfant, J. M., Cooper, R. L., Lexie, T. A., Loveless, M., Wilson, J., Harrison, D., & Education, S. (2022). Revisiting Mendel: use of a Behavioral Assay to Examine Inheritance of Traits in *Drosophila*. *Advances in Biology Laboratory Education*, 42, 1–13. <https://doi.org/10.37590/able.v42.art56>
- Chan, Y. K. (2011). Pineapple breeding: Fulfilling expectations of the global supply chain. *Acta Horticulturae*, 902(3), 109–114. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.902.8>
- Dida, G. (2022). Molecular Markers in Breeding of Crops: Recent Progress and Advancements. *Open Access Journal of Microbiology & Biotechnology*, 7(4), 1–11. <https://doi.org/10.23880/oajmb-16000244>
- Dwivedi, S. L., Ceccarelli, S., Blair, M. W., Upadhyaya, H. D., Are, A. K., & Ortiz, R. (2016). Landrace Germplasm for Improving Yield and Abiotic Stress Adaptation. *Trends in Plant Science*, 21(1), 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.012>

- Efendi, E., Mahdianoor, Ninasari, A., & Loppies, Y. (2018). *Teknik Pemuliaan Tanaman untuk Pertanian Berkelanjutan*.
- Furbank, R. T., & Tester, M. (2011). Phenomics - technologies to relieve the phenotyping bottleneck. *Trends in Plant Science*, 16(12), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.09.005>
- Hallauer, A. R., M. J. C. & J. B. M. F. (2010). *Quantitative Genetics In Maize Breeding*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Hidayah, R., Wiyono, W., & Karyanto, O. (2021). Lesson-Learned: Participatory Action Research Project with Upland Smallholder Farmers Practicing Cropland Agroforestry System in Wonogiri Regency to Support National Food Security. *Habitat*, 32(3), 141–153. <https://doi.org/10.21776/ub.habitat.2021.032.3.16>
- Jaganathan, D., Ramasamy, K., Sellamuthu, G., Jayabalan, S., & Venkataraman, G. (2018). CRISPR for crop improvement: An update review. *Frontiers in Plant Science*, 9(July), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00985>
- Kantar, M. B., Nashoba, A. R., Anderson, J. E., Blackman, B. K., & Rieseberg, L. H. (2017). The Genetics and Genomics of Plant Domestication. *BioScience*, 67(11), 971–982. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix114>
- Mendel, G. (1996). EXPERIMENTS IN PLANT HYBRIDIZATION (1865). *Scholarly Publishing*, 1–39.
- Nadeem, M. A., Nawaz, M. A., Shahid, M. Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M., Hatipoğlu, R., Ahmad, F., Alsaleh, A., Labhane, N., Özkan, H., Chung, G., & Baloch, F. S. (2018). DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology and*

- Biotechnological Equipment*, 32(2), 261–285.
<https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>
- Naqvi, R. Z., Siddiqui, H. A., Mahmood, M. A., Najeebullah, S., Ehsan, A., Azhar, M., Farooq, M., Amin, I., Asad, S., Mukhtar, Z., Mansoor, S., & Asif, M. (2022). Smart breeding approaches in post-genomics era for developing climate-resilient food crops. *Frontiers in Plant Science*, 13(September), 1–19.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.972164>
- Naresh, K. & Kumar, L. (2023). Recurrent Selection: An Overview. *The Agriculture Magazine*, 2(3), 118–121.
- Nickle, T., & Barrette-ng, I. (2025). *Online Open Genetic. Libretexts.*
- Poehlman, J. M., & D.A. Sleeper. (1995). *Breeding Field Crops Page* (4th (ed.)). Iowa State University Press /Ames.
- Prabhu, K. R., Kumar, A., Yumkhaibam, R. S., Janeja, H. S., Krishna, B., & Talekar, N. (2023). A review on conventional and modern breeding approaches for developing climate resilient crop varieties. *Journal of Applied and Natural Science*, 15(3), 987–997.
<https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4653>
- Shourabh Joshi, R. (2017). The Role of Horticultural Crops in Enhancing Nutrient Security. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(9), 311–316.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.039>
- Simarmata, N. (2024). *Molecular breeding for climate-resilient crops: Strategies and success stories* . 7(2), 8–9.
<https://doi.org/10.35841/aapbm-7.2.175>
- Singh, D.P., Singh, A.K., Singh, A. (2021). *Plant Breeding and Cultivar Development* (B. J. Fernandez (ed.)). Charlotte Cogle.

Wani, P., S. M. K. & R. G. (2023). Marker Assisted Selection Approach for Improvement of Quality Traits in Tomato. *Just Agriculture*, 3(9), 152–156.

BAB 4

DASAR-DASAR SELEKSI TANAMAN

Dr. Rahmarwati Ning Utami, S.Pd., M.Si.

4.1 Pendahuluan Seleksi Tanaman

4.1.1 Pengertian Seleksi Tanaman dalam Pemuliaan

Seleksi tanaman dalam pemuliaan merupakan proses sistematis untuk memilih individu dengan sifat unggul dari suatu populasi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar pembentukan varietas baru. Menurut Vieira *et al.* (2025), seleksi adalah inti dari pemuliaan karena menentukan arah peningkatan sifat kuantitatif seperti hasil, kualitas, dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan. Disini menekankan bahwa simulasi pemuliaan modern membantu pemulia memahami efektivitas metode seleksi dalam berbagai kondisi.

Dalam lingkungan tanaman menyerbuk sendiri, seleksi memiliki peran penting karena sifat genetik yang cepat menjadi homozigot. Penerapan seleksi berbasis genomik pada tanaman menyerbuk sendiri mampu mempercepat perbaikan sifat kompleks, sekaligus mengurangi siklus pemuliaan (Sabadin *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa seleksi tidak hanya bergantung pada fenotipe, tetapi juga pada informasi genetik yang lebih mendalam.

Seleksi tanaman juga dipandang sebagai strategi untuk meningkatkan efisiensi pemuliaan melalui integrasi teknologi genomik dan fenotipe berkecepatan tinggi. Jadhav & Jumbo (2024) menegaskan bahwa seleksi berbasis genomik telah melampaui teknik konvensional karena mampu memprediksi

nilai pemuliaan dengan akurasi tinggi, sehingga mempercepat identifikasi genotipe unggul.

Selain itu, Gupta & Kushawha (2025) menyoroti bahwa seleksi dalam pemuliaan tanaman modern tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada ketahanan terhadap perubahan iklim dan kebutuhan nutrisi masyarakat. Seleksi tanaman menjadi instrumen penting dalam menjawab tantangan global, dengan memanfaatkan pendekatan integratif antara bioteknologi, genomik, dan pemodelan.

4.1.2 Tujuan Seleksi

a. Meningkatkan Mutu Genetik

Seleksi tanaman bertujuan untuk memperbaiki mutu genetik dengan memilih individu yang memiliki sifat unggul, seperti ketahanan terhadap penyakit atau kualitas hasil. Menurut Singh *et al.* (2022), seleksi genetik pada tanaman menyerbuk sendiri mampu menghasilkan galur murni dengan tingkat homozygositas tinggi, sehingga sifat unggul dapat dipertahankan secara stabil. Contohnya pada pemuliaan gandum, seleksi berbasis genotipe digunakan untuk memperbaiki kualitas biji dan ketahanan terhadap penyakit utama.

b. Meningkatkan Produktivitas

Meningkatkan produktivitas tanaman melalui pemilihan genotipe dengan hasil panen tinggi. Vieira *et al.* (2025) menegaskan bahwa simulasi pemuliaan berbasis seleksi kuantitatif dapat mengoptimalkan sifat hasil, sehingga varietas baru mampu memberikan produktivitas lebih tinggi dibandingkan varietas lama. Sebagai contoh, pada pemuliaan jagung, seleksi kuantitatif digunakan untuk

meningkatkan hasil biji sekaligus menjaga stabilitas produksi di berbagai lokasi.

c. Meningkatkan Adaptasi Lingkungan

Seleksi juga bertujuan untuk meningkatkan kemampuan tanaman beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang beragam. Jadhav & Jumbo (2024) menjelaskan bahwa seleksi berbasis genomik memungkinkan pemulia memilih genotipe yang tahan terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan salinitas. Contohnya pada pemuliaan padi, seleksi genomik digunakan untuk mengidentifikasi varietas yang mampu beradaptasi di lahan marginal dengan produktivitas tetap tinggi.

d. Menghasilkan Varietas Unggul yang Serbaguna

Seleksi tidak hanya berorientasi pada satu sifat, tetapi juga pada kombinasi sifat unggul yang serbaguna. Gupta & Kushawha (2025) menekankan bahwa pemuliaan modern melalui seleksi integratif bertujuan menghasilkan varietas yang tidak hanya produktif, tetapi juga tahan terhadap perubahan iklim dan memiliki kualitas nutrisi lebih baik. Sebagai contoh, pada pemuliaan sayuran, seleksi dilakukan untuk meningkatkan kandungan gizi sekaligus ketahanan terhadap penyakit.

4.1.3 Peran Seleksi dalam Menghasilkan Varietas Unggul

a. Seleksi Berperan dalam Meningkatkan Hasil dan Produktivitas Tanaman

Seleksi berperan penting dalam meningkatkan hasil tanaman dengan cara memilih individu-individu yang memiliki potensi produksi lebih tinggi dibandingkan populasi awal. Melalui seleksi yang dilakukan secara

berulang pada setiap generasi, frekuensi gen-gen yang mengendalikan sifat hasil dapat ditingkatkan sehingga varietas yang dihasilkan memiliki produktivitas yang lebih baik dan stabil. Sebagai contoh, pada tanaman padi dan jagung, seleksi dilakukan untuk mendapatkan tanaman dengan jumlah malai atau tongkol lebih banyak, biji bernas, serta efisiensi pemanfaatan hara yang lebih baik. Proses seleksi ini terbukti mampu meningkatkan hasil panen secara signifikan dibandingkan varietas lokal yang belum mengalami pemuliaan intensif (Crossa *et al.*, 2022).

b. Seleksi Berperan dalam Meningkatkan Ketahanan Terhadap Hama dan Penyakit

Selain meningkatkan hasil, seleksi juga berperan besar dalam menghasilkan varietas yang tahan terhadap hama dan penyakit. Dengan menyeleksi tanaman yang mampu bertahan atau menunjukkan gejala serangan yang ringan, pemulia dapat mempertahankan gen ketahanan dalam populasi dan mengurangnya pada individu yang rentan. Sebagai contoh, pada tanaman padi, seleksi digunakan untuk memperoleh varietas yang tahan terhadap penyakit blas dan hawar daun bakteri, sedangkan pada kedelai seleksi diarahkan untuk ketahanan terhadap penyakit karat daun. Varietas tahan hasil seleksi ini tidak hanya meningkatkan hasil, tetapi juga mengurangi ketergantungan petani terhadap pestisida kimia, sehingga lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Xu *et al.*, 2022).

c. Seleksi Berperan dalam Meningkatkan Adaptasi dan Stabilitas Hasil di Berbagai Lingkungan

Seleksi juga berperan dalam menghasilkan varietas unggul yang memiliki daya adaptasi luas dan hasil yang stabil pada berbagai kondisi lingkungan. Melalui seleksi berbasis

uji multilokasi dan multi-musim, pemulia dapat mengidentifikasi genotipe yang mampu berproduksi dengan baik meskipun terjadi perbedaan iklim, jenis tanah, atau pola curah hujan. Sebagai contoh, varietas jagung hibrida yang dilepas secara nasional umumnya merupakan hasil seleksi panjang yang diuji di berbagai wilayah agroekologi untuk memastikan kestabilan hasilnya. Dengan demikian, seleksi membantu menghasilkan varietas yang tidak hanya unggul di satu lokasi, tetapi juga dapat beradaptasi secara luas dan konsisten (Yan *et al.*, 2021).

d. Seleksi Berperan dalam Mempercepat Perakitan Varietas Unggul Modern

Perkembangan teknologi pemuliaan modern menjadikan seleksi sebagai alat utama dalam mempercepat proses perakitan varietas unggul. Seleksi berbasis marka molekuler dan seleksi genomik memungkinkan pemulia memilih tanaman unggul sejak fase awal pertumbuhan tanpa menunggu tanaman menunjukkan fenotipe secara penuh. Sebagai contoh, pada tanaman padi dan kedelai, seleksi genomik digunakan untuk memprediksi potensi hasil dan ketahanan terhadap cekaman abiotik, sehingga waktu pemuliaan dapat dipersingkat. Peran seleksi dalam situasi ini sangat strategis karena mampu meningkatkan efisiensi, ketepatan, dan kecepatan program pemuliaan tanaman modern (Santantonio *et al.*, 2020).

4.2 Prinsip Dasar Seleksi

Prinsip dasar seleksi dalam pemuliaan tanaman mencakup variabilitas genetik, pewarisan sifat serta pengaruh lingkungan, dan konsep genotipe fenotipe. Ketiga prinsip ini menjadi fondasi dalam menghasilkan varietas unggul. Berikut penjelasannya:

4.2.1 Variabilitas Genetik sebagai Syarat Utama Seleksi

Variabilitas genetik merupakan syarat utama dalam seleksi karena menjadi sumber keragaman sifat yang dapat dimanfaatkan pemulia untuk menghasilkan varietas unggul. Menurut Prasanna *et al.* (2025), integrasi kecerdasan buatan dalam analisis variabilitas genetik mempercepat identifikasi genotipe unggul dengan sifat adaptif dan produktif. Contohnya, pada pemuliaan padi, variabilitas genetik digunakan untuk memilih genotipe yang tahan terhadap cekaman kekeringan sekaligus memiliki hasil tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa variabilitas genetik, seleksi tidak dapat dilakukan secara efektif.

4.2.2 Pewarisan Sifat (Hereditas) dan Pengaruh Lingkungan

Seleksi tanaman sangat bergantung pada pewarisan sifat atau heritabilitas, serta pengaruh lingkungan terhadap ekspresi fenotipe. Akurasi heritabilitas dalam program pemuliaan pohon hutan menunjukkan bahwa sifat dengan heritabilitas tinggi lebih mudah diperbaiki melalui seleksi, sedangkan sifat dengan heritabilitas rendah memerlukan uji multilokasi. Sebagai contoh, pada pemuliaan barley, sifat ketahanan terhadap penyakit memiliki heritabilitas tinggi sehingga dapat diperbaiki dengan seleksi generasi awal,

sementara sifat hasil panen memerlukan uji multilokasi karena sangat dipengaruhi oleh lingkungan (Sagariya *et al.*, 2025).

4.2.3 Konsep Genotipe dan Fenotipe dalam Seleksi

Seleksi tanaman didasarkan pada hubungan antara genotipe dan fenotipe, di mana genotipe merupakan susunan genetik suatu individu, sedangkan fenotipe adalah ekspresi genotipe yang dipengaruhi oleh lingkungan. Menurut Kumar *et al.* (2024), pemahaman tentang interaksi genotipe dan fenotipe sangat penting dalam pemuliaan tanaman, terutama dalam menilai kualitas hasil dan ketahanan terhadap penyakit. Sebagai contoh, pada pemuliaan jagung, seleksi fenotipe digunakan untuk memilih tanaman dengan tongkol besar dan biji seragam, sementara seleksi genotipe digunakan untuk memastikan ketahanan terhadap penyakit utama. Integrasi antara genotipe dan fenotipe memungkinkan pemulia menghasilkan varietas unggul yang tidak hanya memiliki potensi genetik tinggi tetapi juga mampu mengekspresikan sifat tersebut secara konsisten di lapangan.

4.3 Jenis Seleksi Tanaman

4.3.1 Seleksi Massa (*Mass Selection*)

Seleksi massa adalah metode seleksi dengan cara memilih sejumlah individu tanaman terbaik berdasarkan penampilan fenotipenya, seperti tinggi tanaman, ukuran malai atau tongkol, dan hasil biji, tanpa melakukan pencatatan silsilah. Benih dari tanaman terpilih kemudian dicampur dan ditanam kembali sebagai populasi generasi berikutnya. Metode ini sederhana, cepat, dan efektif diterapkan pada populasi yang masih memiliki keragaman genetik tinggi, terutama pada tanaman menyerbuk silang. Contoh penerapannya dapat

ditemukan pada jagung lokal, di mana petani memilih tongkol dengan ukuran besar dan biji bernas untuk benih musim tanam berikutnya guna meningkatkan produktivitas populasi secara bertahap (Acquaah, 2020; Begna & Teresa, 2024).

4.3.2 Seleksi Galur Murni (*Pure Line Selection*)

Seleksi galur murni merupakan metode seleksi yang bertujuan memantapkan sifat-sifat unggul melalui pemilihan individu homozigot dari populasi tanaman menyerbuk sendiri. Setiap individu terpilih ditanam dan dievaluasi secara terpisah hingga diperoleh galur yang seragam secara genetik. Metode ini efektif untuk meningkatkan stabilitas hasil dan keseragaman sifat pada varietas. Contoh seleksi galur murni terdapat pada padi sawah, di mana satu tanaman unggul dengan hasil tinggi dan umur genjah dipilih, kemudian dikembangkan menjadi varietas unggul yang stabil dan seragam (Acquaah, 2020; Singh *et al.*, 2021).

4.3.3 Seleksi Pedigree (*Pedigree Selection*)

Seleksi pedigree adalah metode seleksi yang dilakukan dengan mencatat silsilah atau asal-usul setiap individu tanaman dari generasi ke generasi. Metode ini memungkinkan pemulia melacak pewarisan sifat unggul secara sistematis, terutama pada tanaman menyerbuk sendiri hasil persilangan. Seleksi dilakukan sejak generasi awal hingga diperoleh galur yang stabil. Contoh penerapannya terdapat pada pemuliaan kedelai, di mana pencatatan silsilah digunakan untuk menyeleksi galur dengan potensi hasil tinggi dan toleran terhadap cekaman lingkungan tertentu (Bernardo, 2020; Xu *et al.*, 2022).

4.3.4 Seleksi Bulk (*Bulk Selection*)

Seleksi bulk adalah metode seleksi dengan cara memelihara populasi tanaman dalam jumlah besar tanpa seleksi ketat pada generasi awal. Seleksi baru dilakukan setelah populasi mencapai generasi lanjut, ketika tingkat homozygositas sudah tinggi. Metode ini efisien dalam hal tenaga dan biaya, serta sesuai untuk tanaman menyerbuk sendiri. Contoh seleksi bulk dapat dijumpai pada gandum dan padi, di mana populasi hasil persilangan dibiarkan berkembang secara alami hingga beberapa generasi sebelum dilakukan seleksi untuk sifat hasil dan adaptasi lingkungan (Acquaah, 2020; Singh *et al.*, 2021).

4.3.5 Seleksi Rekuren (*Recurrent Selection*)

Seleksi rekuren adalah metode seleksi yang dilakukan secara berulang dengan tujuan meningkatkan frekuensi gen unggul dalam suatu populasi. Setiap siklus seleksi melibatkan pemilihan individu terbaik, kemudian dilakukan persilangan kembali untuk membentuk populasi baru. Metode ini banyak digunakan pada tanaman menyerbuk silang. Contoh penerapannya terdapat pada jagung, di mana seleksi rekuren digunakan untuk meningkatkan daya hasil dan ketahanan terhadap penyakit melalui beberapa siklus seleksi berturut-turut (Bernardo, 2020; Cobb *et al.*, 2021).

4.4 Metode dan Teknik Seleksi

4.4.1 Seleksi Berdasarkan Fenotipe

Seleksi berdasarkan fenotipe atau seleksi visual adalah metode seleksi yang dilakukan dengan mengamati langsung penampilan luar tanaman, seperti tinggi tanaman, jumlah anakan, ukuran buah, atau hasil panen. Metode ini paling sederhana dan paling sering digunakan karena mudah diterapkan di lapangan tanpa memerlukan peralatan khusus. Seleksi visual umumnya efektif untuk sifat-sifat yang mudah diamati dan memiliki pengaruh genetik yang cukup besar. Sebagai contoh, pada tanaman padi, pemulia dapat memilih tanaman dengan malai panjang dan gabah bernas hanya berdasarkan pengamatan visual di sawah. Meskipun demikian, metode ini memiliki keterbatasan karena fenotipe dapat dipengaruhi oleh lingkungan, sehingga hasil seleksi tidak selalu mencerminkan keunggulan genetik yang sesungguhnya (Begna & Teresa, 2024).

4.4.2 Seleksi Berdasarkan Genotipe

Seleksi berdasarkan genotipe dilakukan dengan mengidentifikasi sifat unggul secara langsung pada tingkat DNA menggunakan marka molekuler. Metode ini dikenal sebagai *marker-assisted selection* (MAS) dan memungkinkan pemulia memilih tanaman yang membawa gen target tanpa harus menunggu tanaman menampilkan fenotipe tertentu. Seleksi ini sangat bermanfaat untuk sifat yang sulit diamati secara visual atau sangat dipengaruhi oleh lingkungan, seperti ketahanan terhadap penyakit dan toleransi cekaman abiotik. Sebagai contoh, pada tanaman padi, marka molekuler digunakan untuk menyeleksi gen ketahanan terhadap penyakit blas sejak fase bibit. Dengan demikian, seleksi

genotipe dapat meningkatkan ketepatan dan efisiensi pemuliaan dibandingkan seleksi visual semata (Xu *et al.*, 2022).

4.4.3 Seleksi Berdasarkan Uji Lapang

Seleksi berdasarkan uji lapang dilakukan dengan menanam genotipe terpilih di berbagai lokasi dan musim tanam untuk mengevaluasi stabilitas dan daya adaptasinya. Metode ini penting karena performa tanaman sering kali berbeda-beda tergantung kondisi lingkungan seperti iklim, tanah, dan pola curah hujan. Melalui uji multilokasi dan multi-musim, pemulia dapat mengidentifikasi genotipe yang memiliki kinerja stabil dan konsisten di berbagai kondisi lingkungan. Sebagai contoh, pada jagung, varietas calon unggul diuji di beberapa daerah agroekologi selama beberapa musim sebelum dilepas sebagai varietas baru. Metode ini membantu memastikan bahwa keunggulan fenotipe benar-benar berasal dari genetik dan bukan akibat lingkungan tertentu (Yan *et al.*, 2021).

4.4.4 Seleksi Berbasis Teknologi (DNA Marker, Genomik, dan Bioinformatika)

Seleksi berbasis teknologi merupakan pendekatan modern dalam pemuliaan tanaman yang memanfaatkan kemajuan di bidang genomik dan bioinformatika. Metode ini mencakup penggunaan marka DNA skala luas, *genomic selection*, serta analisis data genetik berbasis komputer untuk memprediksi nilai genetik suatu individu. Seleksi ini memungkinkan pemulia melakukan seleksi secara lebih cepat dan akurat, terutama untuk sifat kuantitatif yang dikendalikan oleh banyak gen. Sebagai contoh, pada tanaman kedelai dan jagung, seleksi genomik digunakan untuk memperkirakan

potensi hasil dan ketahanan tanaman tanpa harus menunggu tanaman tumbuh hingga panen. Pendekatan ini terbukti mampu mempercepat siklus pemuliaan dan meningkatkan efisiensi program seleksi modern (Crossa *et al.*, 2022).

4.5 Faktor yang Memengaruhi Keberhasilan Seleksi

4.5.1 Tingkat Heritabilitas Sifat yang Diseleksi

Heritabilitas merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan seleksi dalam pemuliaan tanaman. Sifat dengan heritabilitas tinggi lebih mudah diperbaiki karena pengaruh lingkungan relatif kecil, sedangkan sifat dengan heritabilitas rendah memerlukan uji multilokasi untuk memastikan stabilitas genotipe. Menurut Sagariya *et al.* (2025), akurasi estimasi heritabilitas sangat penting dalam program pemuliaan pohon hutan karena sifat dengan heritabilitas rendah sering kali menimbulkan bias dalam seleksi. Sebagai contoh, pada pemuliaan barley, sifat ketahanan terhadap penyakit memiliki heritabilitas tinggi sehingga dapat diperbaiki dengan seleksi generasi awal, sementara sifat hasil panen memerlukan uji multilokasi karena sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat heritabilitas menjadi penentu keberhasilan seleksi dalam menghasilkan varietas unggul.

4.5.2 Ukuran Populasi dan Intensitas Seleksi

a. Ukuran Populasi dalam Seleksi

Ukuran populasi merupakan faktor penting dalam keberhasilan seleksi karena semakin besar populasi yang digunakan, semakin tinggi peluang menemukan genotipe unggul dengan kombinasi sifat yang diinginkan. Simulasi seleksi kuantitatif menunjukkan bahwa populasi besar

meningkatkan akurasi pemilihan genotipe unggul dan mempercepat perbaikan genetik. Sebagai contoh, pada pemuliaan jagung, populasi besar memungkinkan pemulia menemukan genotipe dengan hasil tinggi sekaligus tahan terhadap cekaman abiotik. Hal ini membuktikan bahwa ukuran populasi yang memadai menjadi syarat penting dalam keberhasilan seleksi (Vieira *et al.*, 2025).

b. Intensitas Seleksi dalam Pemuliaan

Intensitas seleksi juga memengaruhi keberhasilan program pemuliaan tanaman. Semakin tinggi intensitas seleksi, semakin cepat perbaikan genetik dapat dicapai, meskipun berisiko mengurangi keragaman genetik jika tidak diimbangi dengan strategi pemuliaan yang tepat. Menurut Pati *et al.* (2025), intensitas seleksi yang tinggi dalam pemuliaan tanaman dapat mempercepat pencapaian ketahanan terhadap penyakit dan produktivitas, tetapi harus diimbangi dengan pemeliharaan keragaman genetik agar keberlanjutan program tetap terjaga. Sebagai contoh, pada pemuliaan gandum, intensitas seleksi tinggi digunakan untuk memperbaiki ketahanan terhadap karat batang, sehingga varietas unggul dapat dihasilkan lebih cepat.

4.5.3 Lingkungan Tumbuh dan Interaksi Genotipe dengan Lingkungan

a. Lingkungan Tumbuh dalam Seleksi

Lingkungan tumbuh merupakan faktor penting yang memengaruhi keberhasilan seleksi karena kondisi agroekologi menentukan ekspresi fenotipe suatu genotipe. Perbedaan lingkungan tumbuh seperti suhu, kelembapan, dan ketersediaan nutrisi dapat menyebabkan variasi hasil

yang signifikan pada perbaikan tanaman. Sebagai contoh, perbaikan varietas yang menunjukkan hasil tinggi di daerah subtropis dengan suhu rendah tidak selalu menunjukkan performa yang sama di daerah tropis dengan suhu tinggi. Hal ini menegaskan bahwa keberhasilan seleksi tidak hanya bergantung pada genotipe, tetapi juga pada kesesuaian lingkungan tumbuh (Li *et al.*, 2022).

b. Interaksi Genotipe dengan Lingkungan dalam Seleksi

Interaksi genotipe dengan lingkungan sering menjadi tantangan dalam pemuliaan tanaman karena genotipe yang unggul di satu lokasi belum tentu menunjukkan performa yang sama di lokasi lain. Menurut Mwale *et al.* (2020), analisis interaksi pada pemuliaan kacang tanah menunjukkan bahwa beberapa genotipe berdaya hasil tinggi di lokasi dengan curah hujan tinggi, tetapi performanya menurun drastis di lokasi kering. Sebagai contoh, varietas kacang tanah yang unggul di daerah semi lembab tidak menunjukkan hasil yang sama di daerah semi arid. Oleh karena itu, pemulia perlu melakukan uji multilokasi untuk memastikan stabilitas hasil dan adaptasi varietas di berbagai agroekosistem.

4.5.4 Ketersediaan Sumber Daya Genetik

Ketersediaan sumber daya genetik merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan seleksi dalam pemuliaan tanaman. Keragaman genetik yang tersedia, baik dari plasma nutfah lokal maupun koleksi genetik global, memberikan peluang bagi pemulia untuk menemukan genotipe dengan sifat unggul yang diinginkan. Pemanfaatan plasma nutfah lokal sangat penting untuk meningkatkan hasil dan adaptasi terhadap cekaman abiotik. Sebagai contoh, pada

pemuliaan padi di Asia, plasma nutfah lokal digunakan untuk menghasilkan varietas yang tahan terhadap kekeringan sekaligus memiliki produktivitas tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan seleksi tidak dapat dicapai tanpa adanya sumber daya genetik yang memadai (Dwivedi *et al.*, 2021).

Selain itu, akses terhadap koleksi genetik global juga berperan penting dalam mendukung keberhasilan seleksi. Menurut Milner *et al.* (2020), koleksi genetik global yang tersimpan dalam bank gen menyediakan keragaman genetik yang luas untuk pemuliaan tanaman. Sebagai contoh, pada pemuliaan barley, pemanfaatan koleksi genetik global dari *International Barley Core Collection* memungkinkan pemulia menemukan genotipe dengan ketahanan terhadap penyakit dan adaptasi lingkungan yang lebih baik. Dengan demikian, keberhasilan seleksi sangat bergantung pada pemanfaatan sumber daya genetik baik lokal maupun global.

4.6 Aplikasi Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman

4.6.1 Perbaikan Sifat Hasil

Seleksi dalam program pemuliaan tanaman memungkinkan para pemulia untuk mengidentifikasi dan memilih genotipe yang memiliki potensi hasil tinggi. Proses ini dapat didukung oleh teknik pemuliaan molekuler seperti seleksi berbasis genom (*genomic selection*) dan penggunaan indikator genetik untuk memprediksi performa hasil tanaman sebelum fase produksi. Misalnya, studi oleh Su *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pendekatan molekuler dalam pemuliaan mempercepat identifikasi tanaman dengan potensi hasil lebih tinggi dan kestabilan performa agronomis di berbagai kondisi lingkungan, sehingga memberikan kontribusi signifikan

terhadap peningkatan hasil produksi tanaman komersial melalui seleksi yang lebih akurat.

4.6.2 Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit

Seleksi juga diaplikasikan dalam pemuliaan untuk mengembangkan varietas tanaman yang tahan terhadap serangan hama dan penyakit, sehingga risiko penurunan hasil akibat gangguan biotik dapat diminimalkan. Melalui identifikasi gen-gen resistensi dan pemanfaatan penanda genetik, pemulia dapat meningkatkan frekuensi alel yang mengontrol ketahanan penyakit dalam populasi tanaman. Pendekatan pemuliaan molecular yang berfokus pada ketahanan penyakit telah dibahas secara komprehensif, termasuk penggunaan teknik seperti *marker-assisted selection* (MAS) untuk mendapatkan varietas yang tahan patogen dengan stabilitas tingkat serangan yang rendah di lapangan (Lee *et al.*, 2024).

4.6.3 Toleransi terhadap Cekaman Abiotik (Kekeringan, Salinitas)

Seleksi genotipe yang toleran terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, salinitas, atau suhu ekstrem merupakan bagian penting dari pemuliaan tanaman modern untuk menghadapi tantangan perubahan iklim. Pagnotta (2025) menjelaskan bahwa pemuliaan molekuler memungkinkan integrasi teknik seperti CRISPR/Cas9 dan pemetaan QTL untuk mempercepat seleksi sifat toleransi stres lingkungan tanpa mengorbankan hasil. Melalui seleksi genetik untuk mekanisme toleransi seperti akumulasi prolin, respon antioksidan dan regulasi transkripsi tertentu, varietas yang lebih adaptif dapat dikembangkan.

4.6.4 Peningkatan Kualitas Hasil (Rasa, Aroma, Nilai Gizi)

Seleksi dalam pemuliaan tidak hanya fokus pada kuantitas hasil tetapi juga pada kualitas produk seperti rasa, aroma, ukuran biji, dan komposisi nutrisi yang unggul. Teknik seleksi genetik dan molekuler membantu para pemulia mengenali gen-gen yang memengaruhi kualitas hasil dan mengevaluasi calon varietas berdasarkan profil genetiknya. Artikel tinjauan oleh Sun *et al.* (2024) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi modern seperti marka molekuler, *gene editing*, dan perangkat kecerdasan buatan dalam pemuliaan dapat mengidentifikasi dan memperkuat sifat-sifat kualitas hasil tanaman (misalnya kandungan nutrisi, tekstur buah) di luar sekadar peningkatan produktivitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Begna, T. & Teressa, T. 2024. Genetic Variability and its Role in Crop Improvement: A Review. *Middle East Journal of Agricultural Research*, 13(1), pp.128–136. DOI: <https://doi.org/10.36632/mejar/2024.13.1.6>.
- Crossa, J., Pérez-Rodríguez, P., Cuevas, J. & Montesinos-López, O. 2022. Genomic Selection in Plant Breeding: Methods, Models, and Perspectives. *Trends in Plant Science*, 27(2), pp.1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.10.004>.
- Dwivedi, S.L., Ceccarelli, S., Blair, M.W., Upadhyaya, H.D., Are, B., Mengoni, A., Ortiz, R., Baum, M., Rieseberg, L.H., Prasanna, B.M. & Varshney, R.K. 2021. Landrace Germplasm for Improving Yield and Abiotic Stress Adaptation. *Nature Genetics*, 53(6), pp.795–806. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41588-021-00852-3>.
- Gupta, K.K. & Kushawha, N. 2025. Modern Breeding Approaches in Vegetable Crops: A Comprehensive Review of Tools and Applications. *International Journal of Research in Agronomy*, 8(4), pp.277–284. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2025.v8.i4d.2784>.
- Jadhav, Y. & Jumbo, M.B. 2024. Genomic Selection in Plant Breeding. In: *Advances in Plant Breeding Strategies, Volume 4*. Springer, pp.145–181. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-12345-6_7.
- Kumar, C.S., Singh, P. & Singh, M. 2024. Next-Gen Breeding: The Impact of Phenotyping and Genotyping on Crop Improvement. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(8), pp.442–450. DOI: <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i8f.1771>.

- Lee, A.M.J., Foong, M.Y.M., Song, B.K., Tan, S.H., Wong, C.L. & Lim, J.H. 2024. Genomic Selection for Crop Improvement in Fruits and Vegetables: A Systematic Scoping Review. *Molecular Breeding*, 44, 60. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11032-024-01497-2>.
- Li, H., Zhang, Y., Wang, J., Liu, Q. & Zhao, X. 2022. Environmental Effects on Yield Performance of Rapeseed Varieties Across Different Agroecological Zones. *Agronomy Journal*, 114(3), pp.1456–1468. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21045>.
- Milner, S.G., Jost, M., Taketa, S., Mazón, E.R., Himmelbach, A., Oppermann, M., Weise, S., Knüpffer, H., Basterrechea, M., König, P., Schüler, D., Sharma, R., Pasam, R.K., Rutten, T., Druka, A., Gough, J., Morrell, P.L., Stein, N., Scholz, U., Mascher, M., Muehlbauer, G.J., Sato, K., Close, T.J., Graner, A. & Stein, N. 2020. Genebank Genomics Highlights The Diversity of A Global Barley Collection. *Nature Genetics*, 52(2), pp.195–205. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41588-019-0566-x>.
- Mwale, S.E., Shimelis, H., Mashilo, J. & Laing, M.D. 2020. Genotype × Environment Interaction and Stability Analysis of Groundnut (*Arachis Hypogaea* L.) Genotypes Under Diverse Environments. *Agronomy*, 10(11), pp.1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111599>.
- Pagnotta, M.A. 2025. Molecular Breeding for Abiotic Stress Tolerance in Crops: Recent Developments and Future Prospectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(18), 9164. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26189164>.
- Pati, R., Sandhu, S., Kawadiwale, A.K. & Kaur, G. 2025. Unveiling The Underlying Complexities in Breeding for Disease Resistance in Crop Plants. *Frontiers in Plant*

- Science*, 16, pp.1–15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1559751>.
- Prasanna, S.G.S., Joshi, J.L., Ganesan, S., Shoba, D. & Muralidharan, A. 2025. Advances in Genetics and Plant Breeding with Artificial Intelligence, Data Science and Machine Learning. *International Journal of Agriculture and Food Science*, 7(9), pp.399–403. DOI: <https://doi.org/10.33545/2664844X.2025.v7.i9e.772>.
- Sabadin, F., DoVale, J.C., Platten, J.D. & Fritsche-Neto, R. 2022. Optimizing Self-Pollinated Crop Breeding Employing Genomic Selection: from Schemes to Updating Training Sets. *Frontiers In Plant Science*, 13, p.935885, pp.1–12. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.935885>.
- Sagariya, C., Steffenrem, A., Gezan, S., Pook, T., García-Gil, R., Kastally, C., Pyhäjärvi, T. & Lstibůrek, M. 2025. The Heritability Accuracy in Forest Tree Breeding Programs Relying on Random Mating. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40(5–6), pp.292–302. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2530427>.
- Santantonio, N., Robbins, K.R., Taylor, J.F. & Hayes, B.J. 2020. Genomic Selection: A Review of Methods and Applications in Plant Breeding. *Frontiers in Genetics*, 11, pp.1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00015>.
- Singh, R.J., Kumar, A. & Sharma, R. 2022. Genetic Uniformity and Breeding Strategies in Self Pollinated Crops. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(9), pp.2875–2888. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04125-9>.
- Su, Y., Cheng, Z., Ying, J., Liu, C. & Li, Z. 2024. New Insights Into Crop Molecular Breeding and Genetics. *Agronomy*, 14(12), 2999. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14122999>.

- Sun, L., Lai, M., Ghouri, F., Nawaz, M.A., Ali, F., Baloch, F.S., Nadeem, M.A., Aasim, M. & Shahid, M.Q. 2024. Modern Plant Breeding Techniques in Crop Improvement and Genetic Diversity: from Molecular Markers and Gene Editing to Artificial Intelligence A Critical Review. *Plants*, 13(19), 2676. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13192676>.
- Vieira, R.A., Nogueira, A.P.O. & Fritsche-Neto, R. 2025. Optimizing The Selection of Quantitative Traits in Plant Breeding Using Simulation. *Frontiers in Plant Science*, 16, pp.1–15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1495662>.
- Xu, Y., Li, P., Yang, Z. & Liu, C. 2022. Genomic Selection and Marker-Assisted Breeding in Plants: Methods and Applications. *The Crop Journal*, 10(1), pp.1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.05.007>.
- Yan, W., Frégeau-Reid, J., Martin, R. & Pageau, D. 2021. Genotype by Environment Interaction and Crop Variety Evaluation. *Crop Science*, 61(1), pp.1–15. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20305>.

BAB 5

HAMA DAN PENYAKIT PADA PEMULIAAN TANAMAN

Dara Arubi, S.P., M.Si

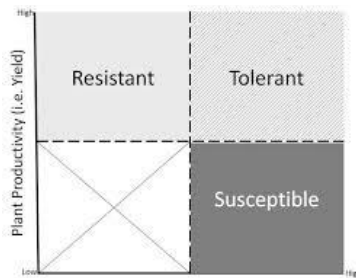
Pertanian modern memikul tanggung jawab besar untuk menopang populasi dunia yang diprediksi mencapai 9,8 miliar jiwa pada tahun 2050. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, produksi pangan global harus ditingkatkan sebesar 60-70%, dengan target ketersediaan 1 miliar ton biji-bijian di tahun 2050. Namun, pencapaian target ini terhambat oleh tantangan kompleks seperti perubahan iklim, serangan hama, dan penyakit tanaman (Zewdu et al. 2022). Menurut estimasi tahun 1996, serangga menyebabkan kerugian sebesar 6% pada tanaman buah meskipun telah menggunakan insektisida. Tanpa perlindungan insektisida, kerugian tersebut dapat mencapai 23% (Krattiger 1997). Dalam kategori cekaman biotik, selain penyakit, hama serangga juga menyebabkan kerugian hasil yang sangat besar.

Penyakit tanaman juga menjadi ancaman karena dapat memicu gagal panen total. Secara statistik, infeksi bakteri dan cendawan mengurangi hasil panen sekitar 15%, sementara virus sebesar 3%. Bahkan pada beberapa komoditas tertentu, total kerugian akibat patogen mikroba (penyakit tanaman) diperkirakan mencapai 30% (Oerke dan Dehne 2004). Menghadapi kondisi ini, program pemuliaan tanaman kini berfokus pada pengembangan varietas yang toleran terhadap stres biotik maupun abiotik (Borem et al. 2012). Selain itu, pemuliaan varietas tanaman terhadap hama dan penyakit juga

menjadi salah satu solusi yang ramah lingkungan untuk mengatasi kerugian yang disebabkan oleh hama dan penyakit.

5.1 Klasifikasi Respons Inang Terhadap Patogen

Secara umum, interaksi antara tanaman inang dan patogen menentukan status ketahanan tanaman. Berdasarkan responsnya, tanaman diklasifikasikan ke dalam empat kriteria, yaitu:

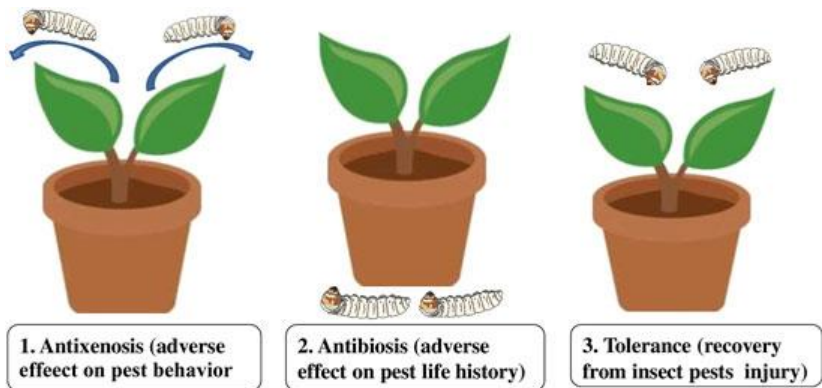


Gambar 5.1 Klasifikasi respons inang terhadap patogen
Sumber: Timerman *et al.* (2012)

- a. Rentan (*Susceptible*): Tanaman tidak mampu menahan serangan patogen sehingga penyakit berkembang luas.
- b. Resisten (*Resistant*): Tanaman memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan atau perkembangan patogen.
- c. Imun (*Immune*): Tanaman sama sekali tidak dapat diinfeksi oleh patogen tertentu.
- d. Toleran (*Tolerant*): Tanaman tetap mampu memberikan hasil panen yang baik meskipun terinfeksi penyakit.

5.2 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Hama

Tanaman memiliki sistem pertahanan alami untuk melawan serangga herbivora melalui tiga mekanisme utama, yaitu: antixenosis, antibiosis, dan toleransi. Ketiga mekanisme ini dapat bekerja secara mandiri atau bersamaan, baik secara permanen (*constitutive*) maupun sementara (*transient*). Namun, ketahanan yang paling efektif dan tahan lama biasanya dihasilkan dari kombinasi ketiga mekanisme tersebut (Ahman, 2009).



Gambar 5.2 Mekanisme ketahanan tanaman terhadap hama
(Kumari *et al.* 2022)

a. Antixenosis (Penolakan Inang)

Antixenosis berfungsi sebagai garis pertahanan pertama untuk mengusir serangga sebelum tanaman diserang. Mekanisme ini bekerja dengan cara:

- Mencegah peletakan telur (*oviposition deterrency*): Tanaman berperan sebagai inhibitor untuk menekan preferensi serangga melakukan peletakan telur.

- Penghambat makan (*antifeedant*): Ketahanan tanaman didukung oleh struktur fisik tanaman (seperti bulu halus atau kulit yang keras) maupun senyawa biokimia tertentu dimana hal ini menyebabkan penurunan preferensi makan serangga terhadap inang.
- b. Antibiosis (Gangguan Biologis)
Dalam mekanisme antibiosis, serangga mungkin tetap hinggap dan memakan tanaman, namun pertumbuhan dan perkembangan serangga akan terganggu atau melambat. Hal ini terjadi karena adanya metabolit sekunder alami di dalam tanaman yang bersifat racun atau menghambat pencernaan serangga.
- c. Toleransi (Ketahanan terhadap Dampak)
Toleransi adalah kemampuan unik tanaman untuk tetap tumbuh dan memberikan hasil panen yang stabil meskipun sedang di serang oleh hama. Tanaman yang toleran tidak mengusir atau membunuh serangga, tetapi memiliki kemampuan pemulihan jaringan yang sangat cepat.

5.3 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit

5.3.1 Pertahanan Mekanis / Struktural / Fisik

Bentuk fisik merupakan baris pertahanan pertama tanaman yang melibatkan ciri-ciri morfologi untuk membuat tanaman inang menjadi kurang menarik bagi hama maupun penyakit (War *et al.*, 2012). Variasi morfologi ini memberikan keuntungan kelangsungan hidup bagi individu yang resisten dibandingkan individu yang rentan.



Gambar 5.3 (a) trikoma; (b) duri; (c) lilin epikutikular; (d) pengerasan daun

Beberapa bentuk fisik tanaman yang dapat menjadi pertahanan mekanis meliputi:

- a. Trikoma (Bulu Daun): Lapisan rambut halus pada daun yang menghambat pergerakan, pemberian makan, dan perilaku peletakan telur serangga. Trikoma tertentu juga memiliki kelenjar (glandular) yang menyekresikan metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, dan terpenoid yang bersifat racun atau lengket untuk menjebak herbivora (Hanley et al., 2007).
- b. Duri dan Tonjolan: Struktur tajam seperti duri (spines/thorns) secara fisik mencegah herbivora besar maupun kecil untuk mendekati.
- c. Lilin Epikutikular: Lapisan lilin pada permukaan luar yang membuat permukaan tanaman licin atau sulit ditembus.
- d. Pengerasan Daun: Daun yang lebih tebal atau keras akibat penumpukan lignin dan silika mempersulit serangga dalam mengunyah jaringan tanaman.

Pertahanan mekanis melibatkan penghalang fisik yang mencegah penetrasi patogen, seperti ketebalan dinding sel, lapisan lilin pada kutikula, dan struktur morfologi bunga yang tertutup.

5.3.2 Pertahanan Kimiawi (Struktur Biokimia)

Tanaman menghasilkan metabolit sekunder yang tidak berperan langsung dalam pertumbuhan, tetapi berfungsi membuat jaringan tanaman tidak disukai atau beracun bagi hama maupun penyakit (Howe dan Jander, 2008).

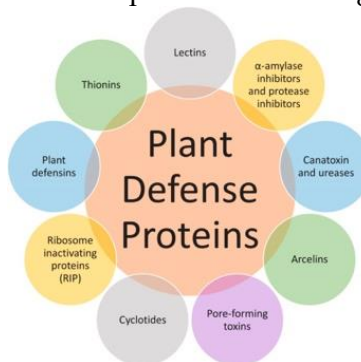
a. Senyawa Fenolik

Senyawa ini adalah kelompok pertahanan yang paling banyak ditemui, meliputi:

- Lignin: Polimer yang memperkeras daun, menghambat pergerakan, dan menurunkan kualitas nutrisi daun.
- Kuinon: Hasil oksidasi fenol yang bersifat racun langsung atau mengikat protein daun secara permanen sehingga tidak dapat dicerna.
- Tanin: Polifenol pahit yang bersifat astringent (kelat). Tanin mengendapkan protein di dalam usus serangga, sehingga mengurangi kemampuan serangga dalam menyerap nutrisi.

b. Protein Pertahanan

Tanaman menghasilkan protein khusus untuk melumpuhkan sistem pencernaan serangga:

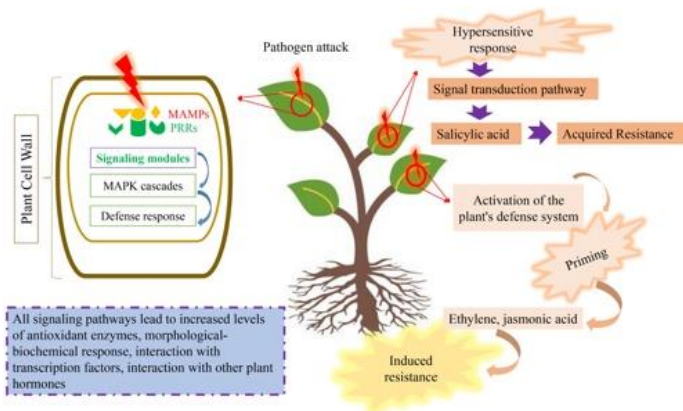


Gambar 5.4 Protein pertahanan tanaman (Jain *et al.*, 2022)

- Lektin: Mengikat gula di membran saluran pencernaan serangga, menyebabkan kerusakan sel dan gangguan penyerapan nutrisi.
 - Penghambat Proteinase (PIs): Mengikat enzim pencernaan di usus serangga dan menghentikan aktivitasnya, menyebabkan serangga kekurangan asam amino dan pertumbuhannya melambat.
- c. Enzim Oksidatif

Enzim seperti peroksidase (POD) dan polifenol oksidase (PPO) meningkat saat tanaman diserang. Enzim ini menciptakan radikal bebas dan senyawa kimia (seperti o-kuinon) yang sangat reaktif dan beracun bagi serangga, serta membantu proses penyembuhan luka dan pengerasan dinding sel (lignifikasi) (War *et al.*, 2012).

5.3.3 Pertahanan Hipersensitivitas



Gambar 5.5 Pertahanan hipersensitivitas tanaman (Riseh dan Vazvani 2024)

Respons pertahanan aktif berupa kematian sel terprogram di sekitar area infeksi guna mengisolasi patogen dan mencegah penyebarannya lebih lanjut.

5.4 Analisis Genetika dan Pewarisan Sifat Ketahanan

Ditinjau dari aspek genetik, ketahanan tanaman diatur oleh interaksi genetik yang spesifik antara inang dan pengganggu:

5.4.1 Resistensi Vertikal vs. Horizontal

Konsep yang diperkenalkan oleh Van der Plank ini membedakan cara tanaman menghadapi populasi patogen:

- a. Resistensi Vertikal (Spesifik): Dikendalikan oleh gen tunggal atau gen mayor (oligogenik). Ketahanan ini sangat efektif tetapi hanya bekerja pada ras patogen tertentu. Jika patogen bermutasi menjadi ras baru yang lebih ganas, ketahanan ini bisa "patah".
- b. Resistensi Horizontal (Umum): Dikendalikan oleh banyak gen minor (poligenik). Ketahanan ini tidak mematikan patogen sepenuhnya, melainkan memperlambat laju penyebarannya. Keunggulannya adalah lebih stabil dan tidak mudah dipatahkan oleh mutasi patogen.

5.4.2 Hipotesis Gene-for-Gene (H.H. Flor)

Ketahanan tanaman diatur oleh hukum genetika, di mana model yang paling diakui adalah Hipotesis Gene-for-Gene yang dikemukakan oleh Flor (1951). Prinsip utama yaitu untuk setiap gen ketahanan (R-gene) pada tanaman inang, terdapat gen avirulensi (Avr-gene) yang bersesuaian pada patogen.

- a. Interaksi Resisten: Terjadi jika gen ketahanan tanaman mengenali produk dari gen avirulensi patogen dan memicu sistem imun.
- b. Interaksi Rentan: Terjadi jika patogen mampu mencocokkan semua gen ketahanan tanaman dengan gen virulensi yang sesuai, atau jika tanaman tidak memiliki gen pengenalan (gen ketahanan) terhadap patogen tersebut.

5.4.3 Pewarisan Sifat Ketahanan

- a. Oligogenik: Dikendalikan oleh satu atau beberapa gen mayor; biasanya bersifat dominan dan menghasilkan reaksi imun yang kuat.
- b. Poligenik: Dikendalikan oleh banyak gen minor; menghasilkan gradasi ketahanan (dari lemah ke kuat) dan sangat dipengaruhi oleh lingkungan.
- c. Sitoplasmik: Ketahanan atau kerentanan yang diturunkan melalui materi genetik di luar inti sel (sitoplasma), contohnya pada kasus hawar daun jagung.

5.5 Strategi Pengendalian

Pemuliaan tanaman merupakan upaya terencana manusia untuk memodifikasi aspek genetik tanaman agar memiliki fungsi yang lebih unggul. Strategi ini terbagi menjadi dua metode: tradisional dan modern. Pemuliaan tradisional mengandalkan proses alami melalui teknik hibridisasi (persilangan) antara tanaman yang berkerabat dekat untuk membentuk kultivar baru (Acquaah 2012). Metode konvensional ini tidak memasukkan gen baru, melainkan hanya mengoptimalkan potensi genetik yang sudah tersedia di

dalam spesies tersebut. Karena sifatnya yang memakan waktu, padat karya, dan hanya bergantung pada keragaman genetik alami, metode tradisional dianggap kurang mampu menjawab lonjakan permintaan pangan global secara cepat (Al Khayri et al. 2015).

Pemuliaan tanaman modern menggunakan pendekatan ilmiah untuk mengubah sifat genetik demi memperbaiki aspek keturunan (hereditas) tanaman. Metode ini memerlukan pemahaman mendalam tentang prinsip genetika, karakteristik botani, epidemiologi hama dan penyakit, hingga faktor fisiologis dan nilai gizi tanaman. Keberhasilan pengembangan tanaman sangat bergantung pada pengetahuan mengenai keragaman genetik dan variasi morfologi pada plasma nutfah lokal di wilayah target. Keunggulan utama pemuliaan modern adalah kemampuannya dalam menyeleksi sifat-sifat spesifik sejak fase bibit, sehingga mempercepat proses identifikasi fenotipe tanaman secara signifikan (Bashir et al. 2013).

Ketahanan terhadap hama dan penyakit menjadi prioritas utama karena varietas unggul harus memiliki paket lengkap: produktivitas tinggi, tahan hama dan penyakit, performa agronomis yang baik, serta kualitas hasil akhir yang memenuhi standar konsumsi. Berbagai teknologi canggih seperti seleksi berbantuan marka (*marker-assisted selection*), teknik transgenik, interferensi RNA, kultur jaringan, dan pengeditan genom CRISPR/Cas9 menjadi instrumen penting dalam menciptakan tanaman yang resisten terhadap bakteri, cendawan, dan virus. Tantangan besar di abad ke-21 adalah membangun sistem pertanian berkelanjutan yang mampu menghasilkan pangan, pakan, serat, dan bahan bakar secara efisien dengan keterbatasan lahan, air, dan nutrisi (Brummer et al. 2011).

5.6 Ketahanan Biotik dan Rekayasa Genetik dalam Pemuliaan Tanaman

Ketahanan biotik didefinisikan sebagai kemampuan tanaman untuk memitigasi dampak negatif dari organisme hidup (stres biotik) seperti virus, cendawan, bakteri, nematoda, serangga, dan gulma. Organisme-organisme ini merupakan faktor pembatas utama dalam produktivitas pertanian yang menyebabkan kehilangan hasil secara signifikan di seluruh dunia (Rogers 2004). Secara ekonomis dan ekologis, pemanfaatan resistensi genetik dianggap sebagai strategi yang paling efisien dan murah dibandingkan penggunaan pestisida kimia untuk menekan kerugian tersebut.

1. Dinamika Ko-evolusi dan Gene Pool

Proses pembentukan varietas tahan dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengintegrasikan gen dari tetua donor (donor parents) yang tersedia dalam gene pool (kumpulan gen). Namun, tantangan utama dalam pemuliaan ketahanan biotik adalah sifat patogen yang dinamis. Melalui proses seleksi alam, patogen terus berevolusi untuk mematahkan sistem pertahanan tanaman. Oleh karena itu, fokus pemuliaan terhadap stres biotik memerlukan pemutakhiran secara berkelanjutan agar varietas yang dihasilkan tetap relevan terhadap tekanan hama dan patogen di lapangan.

2. Mekanisme Transgenik

Salah satu terobosan dalam pemuliaan modern untuk ketahanan serangga adalah pemanfaatan gen dari bakteri tanah *Bacillus thuringiensis* (Bt). Pengembangan tanaman transgenik berbasis *Bacillus thuringiensis* (Bt) diawali dengan isolasi gen Cry yang mengode protein

kristal insektisida dari bakteri tersebut, yang kemudian diintegrasikan ke dalam genom tanaman target melalui teknik rekayasa genetika. Melalui integrasi ini, tanaman mampu mengekspresikan protein insektisida secara mandiri di dalam jaringan tubuhnya. Mekanisme toksisitas dimulai saat serangga hama mengonsumsi bagian tanaman tersebut, sehingga protein Bt masuk ke dalam saluran pencernaan. Di dalam lingkungan usus tengah (midgut) serangga yang bersifat basa (alkalin), protein kristal teraktivasi menjadi toksin aktif yang berikatan secara spesifik pada reseptor membran sel epitel usus. Interaksi ini memicu terbentuknya pori-pori pada dinding usus yang menyebabkan gangguan keseimbangan osmotik dan lisis sel secara masif. Kondisi fisiologis tersebut pada akhirnya mengakibatkan kematian serangga akibat kegagalan fungsi pencernaan (kelaparan) atau infeksi sistemik berupa septikemia (Kumar et al. 2018).

3. Dampak terhadap Ketahanan Pangan

Implementasi tanaman transgenik seperti jagung Bt dan kapas Bt terbukti dalam memberikan perlindungan endogen (dari dalam) terhadap hama target. Hal ini tidak hanya menjaga integritas fisik tanaman tetapi juga secara tidak langsung mengurangi infeksi patogen sekunder (seperti cendawan oportunistik) yang sering masuk melalui luka bekas gigitan serangga.

Tabel 5.1 Komponen Ketahanan Biotik

Komponen	Penjelasan Ilmiah
Agen Biotik	Organisme hidup yang mengganggu metabolisme dan struktur tanaman.
Gene Pool	Sumber variasi genetik untuk mencari gen resistensi (R-genes).
Transgenik	Organisme yang disisipkan materi genetik dari spesies lain (misal: Bakteri ke Tanaman).
Protein Cry	Protein spesifik dari <i>Bt</i> yang bersifat toksik hanya pada ordo serangga tertentu.

Contoh berbagai cara pemuliaan tanamannya:

1. Pemuliaan Tanaman Tradisional dalam Pengendalian Penyakit

Pemuliaan tanaman konvensional adalah proses menciptakan jenis tanaman baru menggunakan metode tradisional dan proses biologis alami. Inti dari cara ini adalah memilih tanaman induk yang memiliki sifat-sifat unggul, lalu menyilangkannya agar sifat tersebut muncul pada keturunan berikutnya. Selama lebih dari 10.000 tahun, manusia telah melakukan seleksi tanaman untuk mendapatkan hasil panen, pakan ternak, dan bahan serat yang lebih berkualitas. Setiap tahun, pemuliaan konvensional ini merilis ratusan jenis tanaman baru untuk meningkatkan produksi pangan, keamanan pangan, gizi, serta pilihan bagi konsumen (Al Khayri et al. 2015).

2. Strategi Persilangan dan Ketahanan Tanaman

Pengembangan varietas unggul dilakukan melalui teknik hibridisasi, yaitu proses persilangan antara kultivar (tanaman budidaya) yang memiliki potensi hasil tinggi namun rentan terhadap serangan, dengan kerabat liar tanaman yang memiliki resistensi alami yang kuat. Tujuannya adalah untuk menggabungkan sifat produktivitas maksimal dengan gen ketahanan bawaan agar tanaman hasil persilangan tersebut mampu bertahan dari infeksi patogen secara mandiri.

Beberapa contoh keberhasilan pemuliaan konvensional dalam menciptakan tanaman tahan penyakit adalah (Miah et al. 2012):

- Gandum: Penciptaan varietas yang tahan terhadap penyakit karat batang, karat daun, dan karat kuning.
- Padi: Pengembangan varietas yang tahan terhadap penyakit hawar daun bakteri.
- Kapas: Menghasilkan tanaman yang tahan terhadap penyakit layu dan hawar daun.

Metode konvensional ini memiliki keterbatasan, seperti proses yang memakan waktu lama, biaya tinggi untuk lahan dan tenaga kerja, serta risiko terbawanya sifat-sifat buruk yang tidak diinginkan karena keterbatasan teknologi genetik (Sharma et al. 2019). Oleh karena itu, dikembangkan pemuliaan tanaman modern yang memanfaatkan kemajuan ilmu genetika molekuler. Teknologi modern seperti CRISPR, seleksi berbantuan marka, dan transgenik (contohnya jagung Bt) memungkinkan ilmuwan untuk memodifikasi gen secara lebih akurat, cepat, dan terarah guna menciptakan tanaman yang lebih kuat terhadap serangan bakteri, virus, maupun

chendawan demi menjaga ketahanan pangan jangka panjang (Krimsky 2019).

Metode Pemuliaan Tanaman Modern untuk Pengendalian Penyakit

1. Pemuliaan dengan Bantuan Marka Molekuler (MAB)

Pemuliaan dengan Bantuan Marka Molekuler atau Molecular Marker-Assisted Breeding (MAB) merupakan metode pemuliaan modern yang menggunakan penanda DNA untuk meningkatkan sifat tanaman secara lebih efisien dan akurat. Dalam sistem ini, marka DNA berfungsi sebagai label genetik yang letaknya sangat berdekatan dengan gen target, seperti gen ketahanan terhadap penyakit. Karena marka ini selalu diwariskan bersama gen tersebut dari satu generasi ke generasi berikutnya, para pemulia dapat menggunakannya sebagai indikator untuk menentukan apakah suatu tanaman membawa sifat unggul yang diinginkan tanpa harus menunggu tanaman tumbuh dewasa atau terpapar hama dan penyakit di lapangan (He et al. 2014).

Selain mempercepat waktu pemuliaan, MAB sangat efektif untuk melakukan gene pyramiding, yaitu teknik menggabungkan beberapa gen ketahanan sekaligus ke dalam satu varietas tanaman. Hal ini sulit dilakukan dengan metode tradisional karena efek dari beberapa gen yang bekerja bersamaan sering kali tidak bisa dibedakan hanya dengan pengamatan visual (fenotipe). Dengan bantuan marka DNA, peneliti dapat memastikan bahwa setiap gen ketahanan yang ditargetkan benar-benar telah masuk ke dalam genom tanaman, sehingga menciptakan varietas yang memiliki perlindungan lebih kuat dan tahan

lama terhadap berbagai serangan patogen seperti virus, bakteri, dan cendawan (Galiano-Carneiro dan Miedaner 2017).

2. Pendekatan Transgenik dalam Pengendalian Patogen Tanaman

Teknologi transgenik merepresentasikan bentuk rekayasa genetika tingkat lanjut di mana materi genetik asing diintroduksi ke dalam genom tanaman budidaya untuk mencapai sifat agronomis tertentu. Teknik ini menjadi instrumen unik dalam manajemen hama dan penyakit melalui insersi dan ekspresi berlebih (*overexpression*) gen yang mengode protein fungsional. Protein-protein ini bertanggung jawab dalam biosintesis senyawa kimia yang bersifat toksik bagi bakteri, virus, cendawan, dan nematoda, sehingga secara langsung menghambat proliferasi organisme patogen tersebut. Beberapa gen yang sering diintroduksi untuk menginduksi resistensi meliputi gen penyandi enzim degradasi dinding sel patogen seperti chitinase dan glucanase, serta protein mirip thaumatin dan berbagai toksin spesifik. Selain itu, tanaman diberikan gen yang mampu memicu peningkatan produksi senyawa pertahanan endogen seperti saponin, reactive oxygen species (ROS), fitoaleksin, dan peptida antimikroba yang secara aktif menyerang faktor virulensi patogen (Strange dan Scott 2005).

Implementasi teknik transgenik dalam beberapa tahun terakhir telah menunjukkan keberhasilan signifikan pada berbagai komoditas strategis. Sebagai contoh, insersi gen Cre3 ke dalam genom gandum telah menghasilkan kultivar

yang memiliki resistensi substansial terhadap nematoda kista serealia. Dalam upaya pengendalian penyakit cendawan, isolasi gen Lr10 dari plasma nutfah CIMMYT yang kemudian diintroduksi ke berbagai varietas gandum telah berhasil membentuk resistensi terhadap karat daun (Stein et al. 2000). Pada tanaman padi, transfer gen *afp* yang berasal dari cendawan *Aspergillus giganteus* terbukti efektif menghasilkan protein anticendawan yang memberikan proteksi terhadap penyakit blas padi (rice blast) (Coca et al. 2004). Selain pemanfaatan gen alami, pengembangan peptida sintesis seperti D4E1 yang diintegrasikan ke dalam tanaman kapas juga telah memberikan ketahanan yang efektif terhadap infeksi cendawan *Thielaviopsis basicola* (Rajasekaran et al. 2005).

3. Teknologi Pembungkaman Gen Berbasis RNAi dalam Pengendalian Patogen

Interferensi RNA (RNAi) merupakan mekanisme pengaturan ekspresi gen melalui degradasi mRNA yang kini menjadi instrumen krusial dalam terapi gen tanaman untuk melawan berbagai patogen. Mekanisme RNAi dimulai ketika enzim Dicer memotong molekul RNA utas ganda (dsRNA) menjadi potongan-potongan kecil berupa miRNA atau siRNA berukuran 21–24 nukleotida. Potongan RNA kecil ini kemudian ditangkap oleh kompleks efektor yang disebut RISC (RNA-induced silencing complex) untuk diarahkan menuju sekuens mRNA target yang sesuai, sehingga memicu degradasi mRNA tersebut dan menghentikan sintesis protein spesifik. Saat patogen menginfeksi, mesin biologis tanaman dapat mendeteksi dsRNA patogen yang terbentuk selama proses replikasi,

mengubahnya menjadi siRNA patogen, dan menggunakan kompleks RISC inang untuk menghambat translasi protein patogen, yang pada akhirnya menyebabkan kematian organisme pengganggu tersebut (Karthiyeekan et al. 2013).

Dalam beberapa tahun terakhir, telah berkembang teknik yang dikenal sebagai Host-Induced Gene Silencing (HIGS), di mana tanaman inang digunakan sebagai jalur pengiriman untuk membungkam gen pada patogen. Melalui rekayasa tanaman transgenik, konstruksi genetik seperti RNA hairpin, miRNA artifisial, atau RNA sense/antisense dirancang untuk menargetkan gen vital pada genom patogen. Ketika patogen menginfeksi dan mulai mengambil nutrisi dari tanaman transgenik tersebut, molekul siRNA akan berpindah ke dalam sel patogen, mengaktifkan respons RNAi di dalamnya, dan membungkam gen target secara efektif.

Efektivitas teknologi RNAi telah dibuktikan dalam pengendalian berbagai penyakit, seperti penyakit puru akar (crown gall) pada *Arabidopsis thaliana* dengan menargetkan gen *iaaM* dan *ipt* (Escobar et al. 2015). Selain itu, teknologi pembungkaman gen ini telah berhasil diimplementasikan pada berbagai komoditas strategis seperti tembakau, singkong, kapas, padi, kubis, tomat, dan kacang polong untuk menciptakan resistensi yang beragam terhadap berbagai mekanisme proliferasi patogen.

4. Pendekatan Kultur Jaringan dalam Produksi Tanaman Bebas Penyakit

Dalam industri hortikultura global, teknologi kultur jaringan memegang peranan krusial dalam menyediakan bahan tanam bebas penyakit, khususnya bagi tanaman

yang diperbanyak secara vegetatif. Metode utamanya, yaitu kultur meristem, memanfaatkan multiplikasi sel dari jaringan meristem (ujung tunas) untuk menghasilkan planlet yang bersih dari infeksi virus dan organisme patogen lainnya. Hal ini dimungkinkan karena jaringan meristem umumnya belum terinfeksi oleh patogen sistemik seperti virus. Melalui teknik mikropropagasi, tanaman dapat diperbanyak secara *in vitro* dengan cepat dan akurat pada media nutrisi buatan di lingkungan yang terkontrol, sehingga menjamin kualitas kesehatan bibit sebelum ditanam di lapangan.

Efektivitas kultur meristem sebagai metode pengendalian penyakit telah dibuktikan dalam berbagai penelitian. Sebagai contoh, varietas tebu yang bebas dari virus daun kuning (yellow leaf virus) berhasil dihasilkan secara aseptik melalui kultur meristem (Tiwara et al. 2008). Pada tanaman pisang, resistensi terhadap cendawan *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* berhasil diidentifikasi dan dikembangkan melalui kultur embriogenik yang berasal dari ujung tunas (Ghag et al. 2015). Selain itu, penggunaan bibit stroberi dan apel hasil kultur meristem terbukti mampu menghasilkan tanaman yang masing-masing bebas dari penyakit busuk pangkal batang (crown rots) dan virus bercak hitam (Black Spot virus) (Raman dan Goodwin 2000; Chandra et al. 2010).

5. Teknologi Pengeditan Gen CRISPR/Cas dalam Pemuliaan Tanaman Modern

Teknologi CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) merupakan inovasi revolusioner dalam pengeditan gen yang terdiri dari urutan

DNA sepanjang 25–50 nukleotida yang dipisahkan oleh urutan pendek yang disebut spacer. Teknologi ini berpotensi mengubah total lanskap pemuliaan tanaman karena mampu melakukan modifikasi genom secara sangat spesifik pada tingkat nukleotida, baik dengan cara mengubah, menambah, maupun menghapus gen tertentu secara presisi. Keunggulan utama CRISPR-Cas dibandingkan metode konvensional adalah kemampuannya untuk mempercepat peluncuran produk baru ke pasar dengan tingkat akurasi yang jauh lebih tinggi (Bortesi dan Fischer 2015).

Dalam pengendalian hama dan penyakit, teknologi CRISPR/Cas9 awalnya banyak difokuskan untuk melawan infeksi virus, namun kini telah berkembang untuk meningkatkan resistensi terhadap bakteri, cendawan, serta nematoda. Resistensi terhadap virus dapat dicapai melalui dua strategi: menargetkan dan menghapus komponen inang yang membantu replikasi virus, atau secara langsung menghancurkan genom virus itu sendiri untuk menghentikan replikasinya. Sebagai contoh, penggunaan sistem CRISPR/SpCas9 untuk menargetkan gen protein yang terkait dengan replikasi pada Beet Severe Curled Top Virus dan Bean Yellow Dwarf Virus telah menghasilkan tanaman dengan tingkat ketahanan yang sangat tinggi terhadap virus-virus tersebut (Gomez et al. 2018).

Selain virus, CRISPR juga efektif dalam meningkatkan resistensi terhadap bakteri dengan cara memodifikasi gen kerentanan atau gen S (Susceptibility genes). Selama infeksi bakteri, patogen sering kali menyuntikkan efektor tipe III ke dalam sel tanaman untuk mengganggu jalur pertahanan inang atau mengaktifkan gen S guna mendukung

perkembangan penyakit. Oleh karena itu, gen S menjadi target ideal untuk pengeditan gen. Contoh sukses dari pendekatan ini adalah modifikasi gen SWEET13 pada padi yang mengode transporter sukrosa, yang menghasilkan ketahanan terhadap penyakit bakteri. Di tanaman mentimun, penggunaan CRISPR/Cas9 untuk mengubah gen kerentanan eIF4E juga berhasil menciptakan tanaman yang tahan terhadap Potyvirus. Selain itu, pengeditan wilayah promotor gen OsSWEET11, OsSWEET13, dan OsSWEET14 pada padi memberikan resistensi spektrum luas terhadap penyakit hawar daun bakteri (Xoo) (Oliva et al. 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G., 2012. Principles of Plant Genetics and Breeding. 2nd Edn., John Wiley and Sons, Ltd, ISBN-13: 9781118313718, Pages: 740.
- Ahman I (2009) Breeding for inducible resistance against insects—applied plant breeding aspects. In: Schmitt A, Mauch-Mani B, Birch N, Dicke M (eds) Proceedings working group on induced resistance in plants against insects and diseases, Heraklion, Crete, 27–29 April. IOBC/WPRS Bull 44:121–130
- Al-Khayri, J.M., S.M. Jain and D.V. Johnson, 2015. Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools. 1st Edn., Springer Cham, ISBN-17: 978-3-319-79407-5, Pages: 656
- Bashir, E.M.A., A.M. Ali, A.M. Ali, A.E. Melchinger, H.K. Parzies and B.I.G. Haussmann, 2013. Characterization of Sudanese pearl millet germplasm for agro-morphological traits and grain nutritional values. *Plant Genet. Resour.*, 12: 35-47
- Borém, A., M.A.P. Ramalho and R. Fritsche-Neto, 2012. Abiotic Stresses: Challenges for Plant Breeding in the Coming Decades. In: *Plant Breeding for Abiotic Stress Tolerance.*, Fritsche- Neto, R. and A. Borém, (Eds.), Springer Berlin, Heidelberg, Berlin, ISBN-17: 978-3-642-30552-8, pp: 1-12.
- Bortesi, L. and R. Fischer, 2015. The crispr/cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnol. Adv.*, 33: 41-52.
- Brummer, E.C., W.T. Barber, S.M. Collier, T.S. Cox and R. Johnson et al., 2011. Plant breeding for harmony

- between agriculture and the environment. *Front. Ecol. Environ.*, 9: 561-568.
- Chandra, R., M. Kamle, A. Bajpai, M. Muthukumar and S. Kalim, 2010. In vitro selection: A candidate approach for disease resistance breeding in fruit crops. *Asian J. Plant Sci.*, 9: 437-446.
- Coca, M., C. Bortolotti, M. Rufat, G. Peñas and R. Eritja et al., 2004. Transgenic rice plants expressing the antifungal AFP protein from *Aspergillus giganteus* show enhanced resistance to the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. *Plant Mol. Biol.*, 54: 245-259.
- Escobar, M.A., E.L. Civerolo, K.R. Summerfelt and A.M. Dandekar, 2001. Rnai-mediated oncogene silencing confers resistance to crown gall tumorigenesis. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 98: 13437-13442.
- Galiano-Carneiro, A.L. and T. Miedaner, 2017. Genetics of resistance and pathogenicity in the maize/*Setosphaeria turcica* pathosystem and implications for breeding. *Front. Plant Sci.*, Vol. 8. 10.3389/fpls.2017.01490.
- Ghag, S.B., U.K.S. Shekhawat and T.R. Ganapathi, 2015. Fusarium wilt of banana: Biology, epidemiology and management. Informa UK Limited, *Int. J. Pest Manage.*, 61: 250-263.
- Gomez, M.A., Z.D. Lin, T. Moll, R.D. Chauhan and L. Hayden et al., 2018. Simultaneous CRISPR/Cas9- mediated editing of cassava eiF4E isoforms nCBP-1 and nCBP-2 reduces cassava brown streak disease symptom severity and incidence. *Plant Biotechnol. J.*, 17: 421-434.
- Hanley ME, Lamont BB, Fairbanks MM et al (2007) Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 8:157–178

- He, J., X. Zhao, A. Laroche, Z.X. Lu, H. Liu and Z. Li, 2014. Genotyping-by-sequencing (GBS), an ultimate marker-assisted selection (MAS) tool to accelerate plant breeding. *Front. Plant Sci.*, Vol. 5. 10.3389/fpls.2014.00484
- Howe GA, Jander G (2008) Plant immunity to insect herbivores. *Annu Rev Plant Biol* 59:41–66
- Jain M, Amera GM, Muthukumar J, Singh AK. 2022. Insights into biological role of plant defense proteins: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 40 (2022) : 102293. Doi:10.1016/j.bcab.2022.102293
- Karthikeyan, A., M. Deivamani, V.G. Shobhana, M. Sudha and T. Anandhan, 2013. Rna interference: Evolutions and applications in plant disease management. *Arch. Phytopathol. Plant Prot.*, 46: 1430-1441.
- Krattiger AF (1997) Insect resistance in crops: a case study of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and its transfer to developing countries. In: ISAAA Briefs no. 2. ISAAA, Ithaca, NY, p 42.
- Krimsky, S., 2019. Traditional Plant Breeding. In: *GMOs Decoded: A Skeptic's View of Genetically Modified Foods*, Krimsky, S., (Ed.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts, ISBN-25: 9780262039192, 0262039192, pp: 10-103.
- Kumar, M., M.A. Yusuf, M. Nigam and M. Kumar, 2018. An update on genetic modification of chickpea for increased yield and stress tolerance. *Mol. Biotechnol.*, 60: 651-663.
- Kumari P, Kashyapp PL, Kumar S, Jasrotia P, Kumar S, Singh GP, Kumar D, Mishra CN. 2022. Biotechnological approaches for host plant resistance to insect pests. *Front. Genet.* 13 (2022). doi:10.3389/fgene.2022.914029

- Miah, G., M.Y. Rafii, M.R. Ismail, A.B. Puteh, H.A. Rahim, R. Asfaliza and M.A. Latif, 2012. Blast resistance in rice: A review of conventional breeding to molecular approaches. *Mol. Biol. Rep.*, 40: 2369-2388.
- Oerke, E.-C. and H.-W. Dehne, 2004. Safeguarding production—losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Prot.*, 23: 275-285.
- Oliva, R., C. Ji, G. Atienza-Grande, J.C. Huguet- Tapia and A. Perez-Quintero et al., 2019. Broad- spectrum resistance to bacterial blight in rice using genome editing. *Nat. Biotechnol.*, 37: 1344-1350.
- Rajasekaran, K., J.W. Cary, J.M. Jaynes and T.E. Cleveland, 2005. Disease resistance conferred by the expression of a gene encoding a synthetic peptide in transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants. *Plant Biotechnol. J.*, 3: 545-554.
- Raman, H. and P.B. Goodwin, 2000. In vitro screening of apple germplasm for resistance against black spot caused by *Venturia inaequalis*. *J. New Seeds*, 2: 37-46.
- Riseh RS dan Vazvani. 2024. Unveiling methods to stimulate plant resistance against pathogens. *Front. Biosci. (Landmark Ed)* 2024; 29(5): 188. doi:10.31083/j.fbl2905188
- Rogers, D.L , 2004. Genetic erosion: No longer just an agricultural issue. *Native Plants J.*, 5: 112-122
- Sharma, A., J.B. Jones and F.F. White, 2019. Recent advances in developing disease resistance in plants. *F1000Research*, Vol. 8. 10.12688/f1000research.20179.1.
- Stein, N., C. Feuillet, T. Wicker, E. Schlagenhauf and B. Keller, 2000. Subgenome chromosome walking in wheat: A 450-kb physical contig in *Triticum*

- monococcum L. spans the Lr10 resistance locus in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 97: 13436-13441.
- Strange, R.N. and P.R. Scott, 2005. Plant disease: A threat to global food security. *Annual Rev. Phytopathology*, 43: 83-116.
- Timmerman AD, Giesler LJ, Harveson RM, Jackson-Ziems T, Wegulo SN. 2012. What's new in plant pathology: resistance: mystery and misunderstandings. 2012 Proceedings- Crop Production Clinics.
- Tiwari, A., S. Yadav, S. Tripathi, J. Rastogi, J. Bharti, M. Lal and M. Sharma, 2008. Performance of micropropagated, SCYLV infected and healthy plants of sugarcane. *Indian J. Sugarcane Technol.*, 23: 41-44.
- War AR, Paulraj MG, Ahmad T et al (2012) Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal & Behav* 7:1306–1320
- War AR, Paulraj MG, Ahmad T et al (2012) Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signal & Behav* 7:1306–1320
- Zewdu GA, Tamene W, Assefa Z, Tamiru T, Bankseni L, Borja M, Nesru S, Hasen T. 2022. The role of modern plant breeding to control plant disease : a review. *Agricultural Journal*. 17(4): 19-27.

BAB 6

FISIOLOGI TANAMAN DAN PEMULIAAN

Dr. Susanti Diana, S.P, M.Si.

6.1 Definisi dan Hubungan Fisiologi Tanaman Dengan Pemuliaan

Pemuliaan tanaman adalah ilmu yang mempelajari dan pengembangan sifat pewarisan tanaman sehingga didapat varietas tanaman baru yang memiliki sifat yang lebih baik dari kedua induknya. Pemuliaan bertujuan untuk menghasilkan kultivar yang unggul dalam setiap karakteristik seperti, produksi tinggi, kualitas lebih baik, resisten hama dan penyakit tanaman, resisten pada lahan suboptimal, memiliki sifat yang respons terhadap pemupukan.

Fisiologi Tanaman adalah ilmu yang mempelajari tentang proses metabolisme yang terjadi dalam tanaman (tumbuhan yang sudah dibudidayakan) sehingga tanaman tersebut bisa tumbuh dan berkembang dengan baik. Metabolisme adalah semua proses biokimia yang kompleks yang terjadi dalam tubuh tanaman. Tujuan dalam mempelajari fisiologi tanaman yaitu dapat mengetahui bagaimana proses fotosintesis dan respirasi tanaman dan semua faktor yang berperan dalam proses tersebut.

Fisiologi tanaman dan pemuliaan tanaman merupakan dua bidang ilmu yang saling berkaitan dan saling melengkapi. Fisiologi tanaman mempelajari **fungsi dan proses kehidupan tanaman**, sedangkan pemuliaan tanaman bertujuan memperbaiki sifat tanaman secara genetik untuk menghasilkan varietas unggul. Keberhasilan pemuliaan

tanaman sangat bergantung pada pemahaman proses fisiologis tanaman.

6.2 Fisiologi sebagai Dasar Penentuan Karakter Seleksi

Proses fisiologis seperti fotosintesis, respirasi, penyerapan air dan hara, serta efisiensi penggunaan cahaya menjadi **indikator penting dalam seleksi genotipe unggul**. Pemulia tanaman menggunakan parameter fisiologi untuk menilai produktivitas genotipe, mengidentifikasi efisiensi metabolisme, dan menentukan potensi hasil. Contoh genotipe dengan laju fotosintesis tinggi cenderung memiliki potensi hasil lebih tinggi.

Fotosintesis merupakan proses fisiologis utama pada tanaman hijau yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia dalam bentuk karbohidrat. Proses ini berlangsung di kloroplas daun dengan melibatkan pigmen klorofil, air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), dan energi cahaya. Fotosintesis terdiri atas dua tahap utama, yaitu reaksi terang **dan** reaksi gelap (siklus Calvin). Pada reaksi terang, energi cahaya digunakan untuk menghasilkan ATP dan NADPH, sedangkan pada reaksi gelap energi tersebut dimanfaatkan untuk asimilasi CO_2 menjadi senyawa gula yang menjadi sumber energi dan bahan pembentuk biomassa tanaman.

Tingkat fotosintesis yang tinggi sangat berpengaruh terhadap **produksi tanaman**, karena hasil fotosintesis berupa karbohidrat digunakan untuk pertumbuhan vegetatif, pembentukan organ reproduktif, dan pengisian hasil (biji, buah, atau umbi). Semakin tinggi laju fotosintesis bersih, semakin tinggi akumulasi fotosintat yang dapat dialokasikan

ke bagian hasil tanaman, sehingga meningkatkan produktivitas.

Fotosintesis yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Nitrogen berperan penting dalam pembentukan klorofil dan enzim fotosintesis, fosfor berperan dalam transfer energi (ATP), sedangkan kalium berperan dalam pengaturan buka-tutup stomata dan efisiensi penggunaan air. Selain itu, luas daun dan durasi daun aktif (leaf area duration) juga menentukan kemampuan tanaman dalam menangkap cahaya. Tanaman dengan luas daun optimal dan klorofil yang tinggi mampu meningkatkan penyerapan cahaya, sehingga laju fotosintesis meningkat dan berdampak langsung pada peningkatan hasil tanaman. Dengan demikian, fotosintesis yang berlangsung secara optimal melalui dukungan faktor lingkungan dan hara yang memadai akan menghasilkan akumulasi biomassa yang lebih besar, meningkatkan efisiensi pengisian hasil, dan pada akhirnya berkontribusi terhadap produksi tanaman yang tinggi.

6.3 Peran Fisiologi dalam Adaptasi Lingkungan

Pemuliaan tanaman bertujuan menghasilkan varietas yang **adaptif terhadap lingkungan tertentu**. Adaptasi ini ditentukan oleh mekanisme fisiologis seperti: pengaturan stomata, toleransi terhadap cekaman air, salinitas, dan suhu, efisiensi penggunaan air (WUE), Sifat toleransi cekaman dipelajari secara fisiologis sebelum ditetapkan sebagai target pemuliaan.

Fisiologi tanaman berperan penting dalam menentukan kemampuan tanaman untuk beradaptasi terhadap berbagai

kondisi lingkungan yang berubah, baik faktor abiotik maupun biotik. Adaptasi fisiologis memungkinkan tanaman mempertahankan pertumbuhan, perkembangan, dan produksi meskipun berada pada kondisi lingkungan yang kurang optimal. Salah satu bentuk adaptasi fisiologis yang utama adalah pengaturan keseimbangan air. Tanaman mampu menyesuaikan bukaan stomata untuk mengendalikan transpirasi dan penyerapan CO₂. Pada kondisi kekeringan, tanaman menutup stomata secara parsial untuk mengurangi kehilangan air, meskipun berdampak pada penurunan laju fotosintesis (Salisbury & Ross, 1995). Mekanisme ini merupakan bentuk adaptasi penting terhadap cekaman kekeringan. Selain itu, **penyesuaian osmotik** juga berperan dalam adaptasi terhadap stres air dan salinitas. Tanaman mengakumulasi senyawa osmotik seperti prolin, gula terlarut, dan ion anorganik untuk mempertahankan tekanan turgor sel, sehingga aktivitas metabolisme tetap berlangsung pada kondisi lingkungan ekstrem.

Adaptasi fisiologis juga terlihat pada respons terhadap suhu ekstrem. Pada suhu tinggi, tanaman meningkatkan aktivitas enzim antioksidan untuk melindungi sel dari kerusakan akibat radikal bebas, sedangkan pada suhu rendah tanaman menyesuaikan komposisi membran sel agar tetap stabil dan fungsional. Dalam menghadapi keterbatasan hara, tanaman melakukan penyesuaian fisiologis dan metabolik, seperti meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, mengoptimalkan aktivitas enzim metabolisme, serta meningkatkan asosiasi dengan mikroorganisme tanah, misalnya mikoriza, untuk memperluas daerah serapan akar.

Secara keseluruhan, adaptasi fisiologis memungkinkan tanaman bertahan dan berproduksi pada berbagai kondisi

lingkungan melalui pengaturan proses fotosintesis, respirasi, penyerapan air dan hara, serta perlindungan terhadap stres lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman fisiologi tanaman menjadi dasar penting dalam pengembangan varietas unggul yang adaptif terhadap perubahan lingkungan dan cekaman iklim.

6.4 Fisiologi Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan tanaman adalah proses penambahan ukuran dan massa tubuh tanaman yang bersifat irreversible (tidak dapat kembali) sebagai akibat dari pembelahan sel, pembesaran sel, dan penambahan bahan kering hasil metabolisme. Pertumbuhan dapat diukur secara kuantitatif, misalnya melalui tinggi tanaman, luas daun, volume, atau berat kering tanaman.

Perkembangan tanaman adalah proses perubahan kualitatif menuju tingkat organisasi dan fungsi yang lebih kompleks, meliputi diferensiasi sel, pembentukan jaringan dan organ, serta peralihan fase pertumbuhan dari fase vegetatif ke fase generatif. Perkembangan tidak selalu diikuti oleh penambahan ukuran, tetapi ditandai oleh perubahan fungsi dan struktur tanaman.

Pemahaman fisiologi pertumbuhan, diferensiasi jaringan, dan fase perkembangan tanaman membantu pemulia dalam menentukan umur genjah, mengatur arsitektur tanaman, mengoptimalkan pembungaan dan pembuahan. Pemuliaan tanaman genjah didasarkan pada pemahaman fisiologi pembungaan dan transisi vegetatif–generatif.

Fisiologi pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan dasar ilmiah yang sangat penting dalam kegiatan pemuliaan tanaman. Pemuliaan tanaman bertujuan

menghasilkan varietas unggul dengan karakter tertentu, seperti hasil tinggi, toleran terhadap cekaman lingkungan, dan efisien dalam penggunaan hara. Seluruh karakter tersebut pada dasarnya dikendalikan oleh proses fisiologis tanaman.

Proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman mencakup pembelahan sel, pembesaran sel, diferensiasi jaringan, serta pengaturan fase vegetatif dan generatif. Pemahaman fisiologi tanaman membantu pemulia dalam menentukan karakter seleksi yang berkaitan dengan laju fotosintesis, efisiensi penggunaan air dan hara, aktivitas enzim dan metabolisme, pembentukan organ reproduktif, karakter-karakter tersebut menjadi indikator penting dalam seleksi genotipe unggul.

Fotosintesis merupakan proses fisiologis utama yang menentukan akumulasi biomassa dan hasil tanaman. Pemuliaan tanaman modern banyak diarahkan pada peningkatan kapasitas fotosintesis, distribusi asimilat, dan efisiensi konversi energi. Genotipe dengan laju fotosintesis tinggi dan distribusi asimilat yang efisien umumnya memiliki potensi hasil yang lebih baik.

Hormon tanaman seperti auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat berperan penting dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pemuliaan tanaman memanfaatkan pemahaman fisiologi hormon untuk menghasilkan varietas dengan sifat toleran rebah, umur genjah, sinkronisasi pembungaan, ketahanan terhadap stres. Pemahaman regulasi hormonal memungkinkan pemulia mengaitkan ekspresi gen dengan respons fisiologis tanaman.

Fisiologi pertumbuhan juga berperan penting dalam pemuliaan tanaman tahan cekaman abiotik (kekeringan, salinitas, suhu ekstrem) dan biotik. respons fisiologis seperti

pengaturan stomata, akumulasi osmolit, dan aktivitas antioksidan menjadi dasar seleksi genotipe adaptif terhadap lingkungan tertentu.

Pemuliaan tanaman modern mengintegrasikan fisiologi dengan genetika dan bioteknologi. Karakter fisiologis yang kompleks (quantitative traits) seperti efisiensi fotosintesis dan hasil panen dikendalikan oleh banyak gen. Oleh karena itu, pemahaman fisiologi pertumbuhan sangat membantu dalam menginterpretasikan ekspresi gen dan stabilitas hasil suatu varietas.

Fisiologi pertumbuhan dan perkembangan tanaman memiliki hubungan yang sangat erat dengan pemuliaan tanaman. Pemahaman proses fisiologis menjadi landasan dalam menentukan kriteria seleksi, meningkatkan potensi hasil, serta menghasilkan varietas tanaman yang adaptif dan berkelanjutan.

6.5 Hubungan Fisiologi Hormon dengan Pemuliaan

Hormon tumbuh (auksin, giberelin, sitokinin, etilen, ABA) berperan dalam pembentukan akar dan tunas, pembungaan, pemasakan buah dan senesens. Pemulia tanaman memanfaatkan respons hormon untuk seleksi galur dengan pertumbuhan optimal, induksi sifat tertentu melalui regulasi hormon.

Hormon tanaman (fitohormon) merupakan senyawa organik yang diproduksi dalam jumlah kecil tetapi memiliki peran penting dalam mengatur pertumbuhan, perkembangan, dan respons tanaman terhadap lingkungan. Fisiologi hormon menjadi salah satu dasar utama dalam pemuliaan tanaman karena ekspresi sifat unggul tanaman sangat dipengaruhi oleh keseimbangan dan sensitivitas hormon.

Fitohormon seperti auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat mengendalikan pembelahan sel, pemanjangan sel, diferensiasi jaringan, pembungaan, pembentukan buah, dan pemasakan. Pemuliaan tanaman memanfaatkan pemahaman ini untuk menyeleksi genotipe dengan respons hormon yang optimal sehingga diperoleh tanaman dengan pertumbuhan vigor, umur genjah, dan arsitektur tanaman yang sesuai dengan sistem budidaya.

Banyak karakter agronomis penting merupakan hasil interaksi antara gen dan regulasi hormon, seperti tinggi tanaman (dipengaruhi giberelin), percabangan dan dominansi apikal (auksin dan sitokinin), pembungaan dan pembentukan buah (auksin dan giberelin), pematangan dan gugur daun (etilen dan asam absisat). Pemuliaan tanaman modern menargetkan gen-gen yang terlibat dalam biosintesis, transport, dan transduksi sinyal hormon untuk menghasilkan varietas unggul.

Hormon tanaman juga berperan dalam adaptasi terhadap cekaman abiotik dan biotik. Asam absisat berperan penting dalam respons kekeringan melalui pengaturan penutupan stomata, sedangkan etilen terlibat dalam respons stres dan penuaan. Pemuliaan tanaman memanfaatkan indikator fisiologis berbasis hormon untuk menyeleksi genotipe yang lebih toleran terhadap kondisi lingkungan ekstrem.

Perkembangan pemuliaan tanaman saat ini mengintegrasikan fisiologi hormon dengan genetika dan bioteknologi. Identifikasi gen pengatur hormon memungkinkan pemulia melakukan seleksi berbasis penanda (*marker-assisted selection*) dan rekayasa genetik untuk meningkatkan stabilitas hasil dan adaptasi lingkungan.

6.6 Fisiologi Reproduksi dan Keberhasilan Persilangan

Pemuliaan tanaman membutuhkan keberhasilan penyerbukan dan pembuahan yang ditentukan oleh viabilitas polen, pertumbuhan tabung serbuk sari, sinkronisasi pembungaan, studi fisiologi reproduksi meningkatkan keberhasilan hibridisasi.

Fisiologi reproduksi tanaman mempelajari proses biologis yang berkaitan dengan pembentukan organ reproduksi, penyerbukan, pembuahan, serta perkembangan biji dan buah. Keberhasilan persilangan dalam pemuliaan tanaman sangat ditentukan oleh kesesuaian dan sinkronisasi proses fisiologi reproduksi antara tetua jantan dan betina.

Keberhasilan persilangan sangat dipengaruhi oleh tingkat kematangan organ reproduksi, baik benang sari maupun putik. Serbuk sari harus berada pada tingkat viabilitas dan vigor yang tinggi, sementara putik harus dalam kondisi reseptif agar mampu mendukung perkecambahan serbuk sari dan pertumbuhan tabung polen.

Viabilitas serbuk sari merupakan faktor fisiologis utama dalam keberhasilan persilangan. Serbuk sari yang viabel memiliki kemampuan berkecambah di permukaan stigma dan membentuk tabung polen yang mampu mencapai bakal biji. Faktor fisiologis seperti kandungan nutrisi, enzim, dan keseimbangan hormon sangat memengaruhi viabilitas polen.

Reseptivitas stigma ditentukan oleh kondisi fisiologis seperti kelembapan, sekresi eksudat, dan aktivitas enzimatik. Keberhasilan persilangan sangat bergantung pada kemampuan stigma dalam mendukung pertumbuhan tabung polen melalui jaringan stilus hingga mencapai ovul. Gangguan fisiologis pada tahap ini dapat menyebabkan kegagalan pembuahan.

Setelah tabung polen mencapai bakal biji, terjadi proses pembuahan yang diikuti pembentukan embrio dan endosperma. Keberhasilan tahap ini dipengaruhi oleh kompatibilitas fisiologis dan genetik antara tetua, serta keseimbangan hormon seperti auksin dan giberelin yang berperan dalam perkembangan embrio dan biji.

Beberapa kegagalan persilangan disebabkan oleh ketidakcocokan fisiologis (*incompatibility*), baik sebelum maupun sesudah pembuahan. Ketidakcocokan ini dapat berupa hambatan perkecambahan polen, pertumbuhan tabung polen yang terhenti, atau abortus embrio. Pemahaman fisiologi reproduksi memungkinkan pemulia mengatasi hambatan tersebut melalui teknik seperti persilangan buatan, penggunaan zat pengatur tumbuh, dan kultur embrio.

Fisiologi reproduksi tanaman memiliki peranan penting dalam menentukan keberhasilan persilangan. Pemahaman yang baik terhadap proses fisiologis reproduksi memungkinkan pemulia meningkatkan peluang keberhasilan persilangan dan memperoleh keturunan unggul.

6.7 Fisiologi sebagai Pendukung Seleksi Tidak Langsung

Parameter fisiologis dapat digunakan sebagai kriteria seleksi tidak langsung, seperti kandungan klorofil, laju transpirasi, aktivitas enzim, seleksi fisiologis sering lebih cepat dan efisien dibanding seleksi berbasis hasil.

Dalam pemuliaan tanaman, seleksi tidak langsung dilakukan dengan menyeleksi karakter tertentu yang berkorelasi erat dengan karakter target (misalnya hasil), terutama ketika karakter target sulit, mahal, atau memerlukan waktu lama untuk diukur. Fisiologi tanaman berperan penting

sebagai pendukung seleksi tidak langsung karena banyak karakter fisiologis berkaitan erat dengan produktivitas, adaptasi, dan stabilitas hasil.

Banyak karakter hasil (seperti produksi biji atau biomassa) baru dapat diukur pada akhir siklus tanaman. Sebaliknya, karakter fisiologis seperti laju fotosintesis, konduktansi stomata, kandungan klorofil, dan efisiensi penggunaan air dapat diamati pada fase awal pertumbuhan. Hal ini memungkinkan pemulia melakukan seleksi lebih cepat dan efisien.

Produktivitas tanaman merupakan akumulasi dari proses fisiologis sepanjang siklus hidup tanaman. Laju fotosintesis, distribusi asimilat, dan efisiensi metabolisme memiliki korelasi positif dengan hasil panen. Oleh karena itu, seleksi berbasis karakter fisiologis dapat mencerminkan potensi hasil secara tidak langsung.

Beberapa karakter fisiologis memiliki heritabilitas lebih tinggi dan variabilitas lingkungan yang lebih rendah dibandingkan karakter hasil. Kondisi ini menjadikan karakter fisiologis lebih andal sebagai indikator seleksi, terutama pada lingkungan yang heterogen atau di bawah cekaman abiotik.

Pada kondisi cekaman, karakter hasil sering menurun drastis sehingga sulit digunakan sebagai kriteria seleksi. Karakter fisiologis seperti efisiensi penggunaan air, kemampuan osmoregulasi, dan aktivitas antioksidan dapat digunakan sebagai indikator toleransi cekaman. Dengan demikian, fisiologi menjadi alat penting dalam seleksi tidak langsung untuk memperoleh varietas adaptif.

Pemuliaan tanaman modern mengintegrasikan data fisiologis dengan pendekatan genetika dan pemuliaan berbasis penanda. Karakter fisiologis berperan sebagai jembatan antara

ekspresi genetik dan performa fenotipik tanaman, sehingga memperkuat akurasi seleksi tidak langsung.

Fisiologi tanaman berperan sebagai pendukung seleksi tidak langsung karena karakter fisiologis lebih mudah diamati, berkorelasi dengan hasil, relatif stabil, dan mencerminkan respons adaptif tanaman. Pemanfaatan fisiologi dalam seleksi tidak langsung meningkatkan efisiensi dan ketepatan program pemuliaan tanaman.

6.8 Integrasi Fisiologi dengan Bioteknologi Pemuliaan

Fisiologi tanaman menjadi dasar dalam kultur jaringan (organogenesis dan embriogenesis somatik), transformasi genetik, pemuliaan berbasis marka. Keberhasilan teknik bioteknologi sangat bergantung pada kondisi fisiologis eksplan.

Integrasi fisiologi tanaman dengan bioteknologi merupakan pendekatan modern dalam pemuliaan tanaman yang menggabungkan pemahaman proses fisiologis dengan teknik molekuler untuk menghasilkan varietas unggul yang berdaya hasil tinggi, adaptif, dan berkelanjutan. Fisiologi tanaman berperan sebagai penghubung antara genotipe dan fenotipe, sedangkan bioteknologi menyediakan alat untuk mengidentifikasi, memodifikasi, dan mempercepat perbaikan sifat tanaman.

Karakter target dalam pemuliaan seperti toleransi cekaman, efisiensi fotosintesis, dan penggunaan hara merupakan karakter fisiologis kompleks yang dikendalikan oleh banyak gen. Pemahaman fisiologi memungkinkan pemulia menentukan indikator yang relevan, sehingga bioteknologi dapat diarahkan pada gen-gen pengendali proses fisiologis tersebut.

Data fisiologis digunakan untuk mengaitkan karakter fenotipik dengan penanda molekuler (Marker Assisted Selection/MAS) memanfaatkan informasi genetik yang berkaitan dengan sifat fisiologis seperti toleransi kekeringan dan efisiensi penggunaan air, sehingga seleksi menjadi lebih cepat dan akurat.

Bioteknologi memungkinkan manipulasi langsung gen-gen yang berperan dalam fotosintesis, hormon tanaman, dan respons stres. Rekayasa genetik yang didasarkan pada pemahaman fisiologi menghasilkan tanaman dengan peningkatan efisiensi metabolisme, ketahanan cekaman, dan stabilitas hasil.

Pendekatan omics membantu mengungkap mekanisme fisiologis pada tingkat molekuler. Integrasi data fisiologis dengan genomik dan transkriptomik mempercepat identifikasi gen kandidat yang berperan dalam pertumbuhan, perkembangan, dan adaptasi lingkungan.

Teknik kultur jaringan merupakan aplikasi bioteknologi yang sangat bergantung pada prinsip fisiologi, terutama keseimbangan hormon dan nutrisi. Integrasi ini dimanfaatkan untuk perbanyakan cepat, seleksi *in vitro*, dan penyelamatan embrio dalam program pemuliaan tanaman.

Integrasi fisiologi tanaman dengan bioteknologi memperkuat efektivitas pemuliaan tanaman dengan menghubungkan proses biologis dasar dengan teknologi molekuler. Pendekatan ini memungkinkan perbaikan sifat tanaman secara lebih cepat, presisi, dan berkelanjutan.

6.9 Fisiologi dan Interaksi Genotipe × Lingkungan (G×E)

Respons fisiologis tanaman terhadap lingkungan menjelaskan perbedaan performa genotipe pada lokasi berbeda. Hal ini membantu pemulia dalam evaluasi stabilitas varietas, penentuan zona adaptasi

Interaksi Genotipe × Lingkungan (G×E) terjadi ketika respons fisiologis dan performa suatu genotipe berbeda pada lingkungan yang berbeda. Dalam konteks fisiologi tanaman, G×E mencerminkan bagaimana proses fisiologis tanaman dipengaruhi secara simultan oleh faktor genetik dan kondisi lingkungan, sehingga menghasilkan variasi fenotipe seperti pertumbuhan, perkembangan, dan hasil.

Genotipe menentukan potensi fisiologis tanaman, seperti kapasitas fotosintesis, efisiensi penggunaan air, dan regulasi hormon. Lingkungan (cahaya, suhu, air, hara) memodulasi ekspresi potensi tersebut. Perbedaan respons fisiologis antar genotipe terhadap kondisi lingkungan inilah yang menyebabkan terjadinya interaksi G×E.

Faktor lingkungan memengaruhi berbagai proses fisiologis, antara lain **fotosintesis dan respirasi** (dipengaruhi cahaya dan suhu). Transpirasi dan konduktansi stomata (dipengaruhi ketersediaan air dan kelembapan). Serapan dan asimilasi hara (dipengaruhi sifat tanah). Genotipe yang berbeda menunjukkan kemampuan adaptasi fisiologis yang berbeda terhadap kondisi lingkungan tersebut, sehingga menghasilkan perbedaan stabilitas hasil.

Interaksi G×E sering menyebabkan perubahan peringkat genotipe antar lingkungan. Secara fisiologis, genotipe yang memiliki mekanisme adaptif seperti efisiensi fotosintesis tinggi, osmoregulasi yang baik, dan pengaturan stomata yang

efektif cenderung menunjukkan stabilitas hasil yang lebih tinggi pada berbagai lingkungan.

Pendekatan fisiologi membantu menjelaskan penyebab terjadinya $G \times E$, bukan hanya mendeskripsikannya secara statistik. Karakter fisiologis digunakan sebagai indikator untuk memahami mekanisme adaptasi dan dasar seleksi genotipe yang spesifik lokasi atau beradaptasi luas. Pemahaman fisiologi dan $G \times E$ sangat penting dalam pemuliaan varietas adaptasi luas, pemuliaan spesifik lokasi, seleksi tanaman toleran cekaman. Dengan memahami respons fisiologis genotipe terhadap lingkungan, pemulia dapat meningkatkan efisiensi seleksi dan stabilitas hasil varietas unggul.

Fisiologi tanaman berperan penting dalam menjelaskan interaksi Genotipe \times Lingkungan ($G \times E$) melalui respons fisiologis tanaman terhadap faktor lingkungan. Integrasi fisiologi dalam analisis $G \times E$ membantu pemulia memahami mekanisme adaptasi, meningkatkan akurasi seleksi, dan menghasilkan varietas tanaman yang stabil dan adaptif.

Fisiologi tanaman merupakan fondasi ilmiah dalam pemuliaan tanaman. Tanpa pemahaman fisiologi, proses seleksi dan pengembangan varietas unggul akan bersifat empiris dan kurang efisien. Integrasi fisiologi tanaman dalam pemuliaan memungkinkan pengembangan varietas yang produktif, adaptif, dan berkelanjutan.

Fisiologi Tanaman mempelajari proses internal tanaman dan menghasilkan parameter respons fisiologis. Variasi fisiologis ini menjadi dasar untuk memilih genotipe yang produktif dan adaptif terhadap lingkungan. Pemuliaan Tanaman menggunakan variasi ini untuk seleksi dan pengembangan varietas unggul. Hasil akhir berupa varietas

yang memiliki produktivitas tinggi, stabil, dan toleran terhadap cekaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G., 2012. *Principles of plant genetics and breeding*. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Blum, A., 2011. *Plant breeding for water-limited environments*. New York: Springer.
- Ceccarelli, S. 1996. Adaptation to low/high input cultivation. *Euphytica*, 92, 203–214.
- Davies, P. J. 2010. *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*. Springer.
- Evans, L. T. 1993. *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press.
- Fitriah, & Boe, J. C. 2022. Pembuatan Pupuk dari Tanaman Gamal dan Pengaruhnya terhadap Tanaman Kangkung Darat. *Jumat Pertanian: Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 3(3): 150–155.
- Fitter, A. H. & Hay, R. K. M., 2002. *Environmental physiology of plants*. 3rd ed. London: Academic Press.
- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. 2008. *Plant Propagation by Tissue Culture*. Springer.
- Heslop-Harrison, J., & Shivanna, K. R. 1977. The receptive surface of the angiosperm stigma. *Annals of Botany*, 41, 1233–1258.
- Hopkins, W. G., & Hüner, N. P. A. 2009. *Introduction to Plant Physiology* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Marschner, H. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). London: Academic Press.
- Raghavan, V. 2003. *Some Reflections on Double Fertilization, from its Discovery to the Present*. *New Phytologist*, 159, 565–583.

- Salisbury, F.B. & Ross, C.W., 1995. *Plant Physiology*. 4th ed. Belmont: Wadsworth Publishing.
- Shivanna, K. R., & Sawhney, V. K. 1997. *Pollen Biotechnology for Crop Production and Improvement*. Cambridge University Press.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A., 2015. *Plant physiology and development*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Tester, M., & Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327(5967), 818–822.
- Varshney, R. K., Graner, A., & Sorrells, M. E. 2005. Genomics-assisted breeding for crop improvement. *Trends in Plant Science*, 10(12), 621–630

BAB 7

PEMULIAAN TANAMAN UNTUK KUALITAS HASIL

Lizza Fauziah Suroya, S.Si., M.Si.

Pemuliaan tanaman tidak hanya berfokus pada hasil tinggi (*yield*), tetapi juga kualitas hasil. Kualitas hasil didasarkan pada kebutuhan dan permintaan konsumen dan industry serta mengusahakan keberlanjutan pertanian. Pemuliaan tanaman untuk kualitas hasil dapat didefinisikan sebagai sebuah kegiatan memodifikasi genetik tanaman yang diarahkan untuk meningkatkan nilai tambah (*value-added*) suatu produk pertanian berdasarkan kriteria fisik, kimia, fungsional, dan industri.

Ruang lingkup pembahasan pemuliaan tanaman untuk kualitas hasil pada pendidikan vokasi memperhatikan beberapa hal yang perlu diperhatikan. Hal tersebut mencakup standar mutu, efisiensi produksi, dan hilirisasi. Standar mutu yang berlaku di Indonesia saat ini ialah Standar Nasional Indonesia (SNI). Selain itu, standar yang diperhatikan dalam ruang lingkup vokasi yang terikat dengan Dunia Usaha dan Dunia Industri (DUDI) ialah permintaan industri. Contohnya, dalam industri beras yang bergerak dalam bidang pangan atau pengolahan pangan, terdapat standar SNI terkait dengan kadar amilosa pada beras yang akan diolah menjadi tepung.

Selain itu, efisiensi produksi menjadi fokus yang diperlukan dalam keahlian vokasi. Efisiensi produksi salah satunya dapat dicontohkan pada lingkup pemuliaan tanaman itu sendiri. Pemuliaan tanaman merupakan upaya untuk

merakit varietas tanaman dalam rangka untuk memperbaiki genetika sifat tanaman. Berkaitan dengan efisiensi produksi, perakitan varietas tanaman tidak hanya bertujuan untuk mendapatkan hasil yang tinggi, tetapi juga yang mudah dibudidayakan dalam jumlah yang besar. Fokus vokasi selanjutnya ialah hilirisasi. Hilirisasi ini dimaksudkan bahwa hasil panen dipastikan memiliki daya simpan yang lebih lama atau sesuai dengan mesin pengolahan pascapanen (Tasliyah *et al.*, 2016).

Kualitas hasil dibagi menjadi beberapa komponen yaitu kualitas fisik, kimia, fungsional, dan industri. Masing-masing komponen kualitas hasil dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan sub-bab berikut.

7.1 Kualitas Fisik

Kualitas fisik merupakan jenis kualitas hasil yang paling mudah untuk diamati. Kualitas fisik juga menjadi indikator pertama dalam tahap seleksi pada pemuliaan tanaman. Karakter fisik dapat memberikan pengaruh yang cukup kuat terhadap daya tarik konsumen. Selain itu, kualitas fisik menentukan kemudahan dalam penanganan pascapanen dan menjadi salah satu indikator kesesuaian produk dengan standar yang ada, baik pada industri atau pasar secara lebih umum.

Kualitas fisik terdiri atas beberapa aspek yaitu ukuran, bentuk, warna, dan keseragaman.

a. Ukuran

Contoh ukuran hasil pada karakter seperti bobot biji, panjang tongkol, dan diameter umbi. Karakter tersebut menjadi gambaran akumulasi biomassa hasil fotosintesis tanaman dan terkait dengan efisiensi hasil.

Bidang pemuliaan tanaman sering menemui korelasi antara ukuran dengan produktivitas. Namun, ukuran lebih banyak ditemui tidak berkorelasi dengan kualitas gizi. Catatan hasil evaluasi atau seleksi hasil untuk indikator ukuran ialah perlu diperhatikan dengan karakter mutu lainnya agar tidak hanya menghasilkan varietas yang berukuran besar tetapi juga memiliki kualitas gizi yang tinggi.

b. Bentuk

Bentuk dari hasil pemuliaan tanaman memiliki pengaruh terhadap kemudahan pengolahan. Selain itu, bentuk juga menjadi penentu preferensi pasar dan industri. Bentuk yang seragam dan proporsional memudahkan penanganan pascapanen, seperti sortasi dan pengemasan serta pengolahan di industri. Pemuliaan tanaman untuk kualitas hasil memiliki peran untuk memperbaiki bentuk hasil melalui seleksi genotipe.

c. Warna

Warna menjadi kualitas fisik yang berkaitan dengan kandungan pigmen pada tanaman, seperti klorofil, karotenoid, dan antosianin. Warna-warna tersebut sangat berpengaruh terhadap daya tarik visual hasil. Selain itu, warna tersebut berkaitan dengan nilai fungsional pada tanaman tersebut. Pemuliaan tanaman untuk kualitas hasil, mengevaluasi warna dengan meneliti lebih jauh korelasinya dengan nilai gizi selain sebagai indikator kematangan hasil panen.

d. Keseragaman

Kualitas fisik yang tidak kalah penting ialah keseragaman dari ukuran, bentuk, dan warna.

Varietas hasil pemuliaan yang memiliki keseragaman yang tinggi lebih disukai karena pertimbangan kemudahan panen, sortasi pascapanen, dan pengolahan hasil dalam skala yang besar. Keseragaman varietas diperoleh melalui tahapan stabilitas genetik dan seleksi galur homogen pada pemuliaan tanaman.

7.2 Kualitas Kimia

Kualitas kimia menjadi cerminan kandungan hasil panen yang juga menentukan nilai gizi dan manfaat dari hasil. Karakter kimia pada umumnya bersifat kuantitatif. Karakter kuantitatif diketahui dipengaruhi oleh lebih dari satu gen dan dilaporkan ikut dipengaruhi oleh lingkungan. Beberapa contoh kualitas kimia yang akan dibahas lebih lanjut ialah kandungan protein, pati dan gula, lemak/minyak, tanin dan senyawa fenolik, dan serat.

a. Protein

Kandungan protein menjadi indikator penting pada jenis tanaman pangan dan pakan. Pemuliaan tanaman memiliki tujuan meningkatkan kandungan protein tanpa mengesampingkan tingkat produktivitas. Beberapa komoditas tertentu tujuan pemuliaan dilakukan untuk peningkatan kualitas protein (kandungan asam amino) sebagai fokus utama dibandingkan dengan hanya sekedar kuantitas hasil.

b. Pati dan gula

Pati dan gula merupakan sumber energi utama bagi manusia dan sebagai bahan baku utama pada industri. Rasio pati dan gula menjadi penentu karakter rasa, tekstur, dan kesesuaian produk untuk konsumsi

secara langsung atau olahan industri. Pemuliaan tanaman diarahkan untuk menghasilkan varietas dengan kandungan rasio pati dan gula tertentu sesuai dengan kebutuhan pasar.

c. Minyak

Tanaman yang menjadi penghasil minyak tidak hanya ditentukan oleh kandungan minyak tetapi komposisi asam lemak di dalamnya. Pemuliaan tanaman berfokus pada peningkatan rendemen minyak sekaligus memperbaiki kualitas minyak agar sesuai untuk target penggunaan. Target tersebut meliputi bidang pangan maupun industri nonpangan.

d. Tanin dan senyawa fenolik

Tanin merupakan metabolit sekunder yang dapat berdampak positif atau negatif tergantung tujuan penggunaan. Dalam pemuliaan tanaman, kadar tanin dapat dikendalikan untuk meningkatkan pencernaan pakan atau meningkatkan sifat fungsional tertentu, seperti aktivitas antioksidan.

e. Serat

Kandungan serat mempengaruhi nilai gizi, tekstur, serta kegunaan industri. Pemuliaan tanaman dapat diarahkan untuk meningkatkan atau menurunkan kadar serat sesuai tujuan, misalnya serat tinggi untuk pangan fungsional atau serat rendah untuk pakan ternak.

7.3 Kualitas Fungsional

Kualitas fungsional berkaitan dengan performa hasil panen selama penyimpanan dan pengolahan, serta persepsi konsumen terhadap produk.

a. Daya simpan

Daya simpan menentukan lamanya produk dapat disimpan tanpa mengalami penurunan mutu. Karakter ini dipengaruhi oleh struktur jaringan, kadar air, dan aktivitas metabolik. Pemuliaan tanaman berperan dalam menghasilkan varietas dengan laju respirasi rendah dan ketahanan terhadap kerusakan pascapanen.

b. Ketahanan olah

Ketahanan olah menunjukkan kemampuan hasil panen mempertahankan kualitas selama proses pengolahan, seperti pemanasan, penggilingan, atau fermentasi. Varietas dengan ketahanan olah baik menghasilkan produk dengan mutu yang lebih konsisten dan efisien secara industri.

c. Sifat sensori

Sifat sensori meliputi rasa, aroma, tekstur, dan penampilan hasil olahan. Karakter ini sangat menentukan penerimaan konsumen dan sering menjadi target akhir pemuliaan tanaman, terutama untuk tanaman pangan segar dan olahan.

7.4 Kualitas Industri

Kualitas industri berkaitan dengan efisiensi dan stabilitas bahan baku dalam proses produksi skala besar.

a. Rendemen

Rendemen menunjukkan persentase produk utama yang dihasilkan dari bahan baku. Pemuliaan tanaman diarahkan untuk meningkatkan rendemen tanpa meningkatkan biaya produksi, sehingga mendukung efisiensi agroindustri.

b. Kemudahan ekstraksi

Kemudahan ekstraksi dipengaruhi oleh struktur jaringan dan komposisi kimia hasil panen. Varietas dengan karakter ini memungkinkan proses pengolahan yang lebih cepat, hemat energi, dan ramah lingkungan.

c. Konsistensi bahan baku

Konsistensi mutu bahan baku sangat penting bagi industri agar produk akhir memiliki kualitas seragam. Pemuliaan tanaman berperan dalam menghasilkan varietas dengan stabilitas mutu tinggi antar musim dan lokasi tanam.

7.5 Studi Kasus Pemuliaan Tanaman Pangan untuk Kualitas Hasil

a. Padi

Pemuliaan padi awalnya berfokus pada peningkatan hasil gabah dan ketahanan terhadap cekaman biotik. Namun, tuntutan konsumen dan industri mendorong pengembangan varietas dengan kualitas beras yang lebih baik (A'yun, Aryana and Sudika, 2023).

- Kualitas fisik: ukuran dan bentuk beras ramping, warna putih cerah, tingkat pecah rendah
 - Kualitas kimia/nutrisi: kandungan amilosa menentukan tekstur nasi (pulen–pera)
 - Kualitas fungsional: daya simpan beras, stabilitas tekstur setelah pemasakan
 - Kualitas industri: rendemen beras kepala tinggi
 - Arah pemuliaan: seleksi galur dengan rendemen beras tinggi dan kadar amilosa sesuai preferensi konsumen.
- b. Sorgum
- Sorgum memiliki potensi besar sebagai pangan alternatif, pakan, dan bahan baku industri bioenergi.
- Kualitas fisik: ukuran biji dan keseragaman malai
 - Kualitas kimia/nutrisi: kadar pati tinggi, tanin rendah–sedang sesuai tujuan pemanfaatan
 - Kualitas fungsional: pencernaan tepung dan sifat sensori produk olahan
 - Kualitas industri: efisiensi konversi pati menjadi bioethanol
 - Arah pemuliaan: pengendalian kadar tanin dan peningkatan pati fermentabel.
- c. Jagung
- Jagung merupakan komoditas multiguna dengan kebutuhan mutu yang sangat beragam.
- Kualitas fisik: ukuran biji, kekerasan endosperma
 - Kualitas kimia/nutrisi: pati, protein, dan minyak
 - Kualitas fungsional: ketahanan penggilingan dan kualitas tepung
 - Kualitas industri: konsistensi bahan baku pakan dan pangan olahan

- Arah pemuliaan: pengembangan jagung kualitas khusus (quality protein maize, jagung pati tinggi).
- d. Ubi kayu
- Ubi kayu berperan penting sebagai sumber pati dan bahan baku industri.
- Kualitas fisik: ukuran dan bentuk umbi seragam
 - Kualitas kimia/nutrisi: kadar pati tinggi, kandungan serat terkontrol
 - Kualitas fungsional: ketahanan umbi selama penyimpanan
 - Kualitas industri: rendemen pati dan kemudahan ekstraksi
 - Arah pemuliaan: peningkatan rendemen pati dan stabilitas mutu umbi.

7.6 Peran Marker Molekuler dalam Pemuliaan Kualitas Fisik Gabah

Marker molekuler berperan krusial dalam mempercepat pemuliaan kualitas fisik gabah padi melalui *Marker-Assisted Selection* (MAS), memungkinkan deteksi gen target seperti kadar amilosa (AC) dan konsistensi gel (GC) sejak generasi awal tanpa menunggu fenotip (Utami, 2017).

Fungsi Utama Marker

SSR, STS, SNP, dan Indel (14 polimorfik dari 19 primer) asosiasi signifikan ($p < 0.05$) dengan ukuran butir, bentuk (rasio L/W), warna translusen, serta tekstur nasi pulen/pera pada galur toleran Fe. STS paling efektif (terbanyak terkait mutu) (Slamet *et al.*, 2018).

Aplikasi Praktis (Carsono *et al.*, 2014)

- Seleksi Dini: PCR deteksi alel AC (RM171, peningkatan 15-20% presisi vs fenotipik).
- Efisiensi: Kurangi siklus pemuliaan 2-3 tahun, tingkatkan galur unggul 30% (mutu fisik gabah kelas I SNI).
- Contoh: Galur IPB toleran Fe pakai STS/SSR capai berat 1000 butir >26g, warna kuning cerah, seragam 90%.

Tabel 7.1 Marker Spesifik untuk Kualitas Fisik (Andarini and Nugroho, 2023)

Karakter Gabah	Marker Terkait	Lokus Utama [Sumber]
Ukuran Butir	SSR RM171	Kromosom 6
Bentuk (L/W)	STS pid-2	AC rendah
Warna	Indel GS3	Translusen
Keseragaman	SNP Wx	Tekstur pulen

MAS hindari pengaruh lingkungan pada pengukuran manual, hasilkan varietas premium seperti Ciherang-Sub1 dengan mutu beras >85%.

DAFTAR PUSTAKA

- Andarini, Y.N. and Nugroho, K. (2023) "Review Pemanfaatan Marka Simple Sequence Repeat (SSR) dalam Kegiatan Analisis Keragaman Genetik Plasma Nutfah Padi Lokal di Indonesia," *Vegetalika*, 12(1), pp. 47–63. Available at: <https://doi.org/10.22146/veg.77050>.
- A'yun, A.Q., Aryana, I.G.P.M. and Sudika, I.W. (2023) "Karakteristik Morfologi Galur-Galur Padi (*Oryza sativa* L.) Fungsional yang Ditanam pada Dataran Medium: Morphological Characterization of Functional Rice (*Oryza sativa* L.) Lines Planted in Medium Plains," *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN*, 9(2), pp. 281–290. Available at: <https://doi.org/10.29303/jstl.v9i2.407>.
- Carsono, N. *et al.* (2014) "IDENTIFIKASI POLIMORFIS MARKA-MARKA MOLEKULER YANG DIDUGA BERKAITAN DENGAN KARAKTER DAYA HASIL TINGGI PADA 30 GENOTIP PADI," *Chimica et Natura Acta*, 2(1). Available at: <https://doi.org/10.24198/cna.v2.n1.9141>.
- Slamet, W.Y. *et al.* (2018) "Seleksi Karakter Kandungan Amilosa Sedang pada Populasi Hasil Persilangan Sintanur x PTB33 dan Pandanwangi x PTB33 berdasarkan Marka Fenotipik dan Molekuler SSR," *Kultivasi*, 17(3), pp. 732–737. Available at: <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v17i3.18508>.
- Tasliyah, T. *et al.* (2016) "Analisis Molekuler dan Keragaan Agronomis Galur-galur Padi BC1F1 Persilangan Code x qTSN4 dan Code x qDTH8 (Molecular Analysis and Agronomic Performance of BC1F1 Crosses Code x

qTSN4 and Code x qDTH8),” *Jurnal AgroBiogen*, 11(1), p. 17. Available at: <https://doi.org/10.21082/jbio.v11n1.2015.p17-24>.

Utami, S. (2017) *Evaluasi Marka Molekuler Untuk Seleksi Mutu Beras Pada Galurgalur Harapan Padi (Oryza Sativa L.) Toleran Cekaman Fe*. Thesis. Bogor Agricultural University (IPB). Available at: <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/85527> (Accessed: February 10, 2026).

BAB 8

PENGUJIAN DAN EVALUASI VARIETAS TANAMAN

Ummu Fitrothul Hidayah, S.Agr. M.Si.

Pengembangan varietas tanaman merupakan salah satu pilar utama dalam upaya peningkatan produktivitas pertanian, adaptasi terhadap perubahan lingkungan, serta ketahanan terhadap tekanan hama dan penyakit. Pemuliaan tanaman sebagai disiplin ilmu memfasilitasi identifikasi, seleksi, dan pengembangan genotipe unggul yang memiliki nilai agronomis tinggi serta manfaat ekonomi bagi petani dan konsumen. Namun demikian, varietas yang dihasilkan dari proses pemuliaan tersebut belum memiliki jaminan kualitas dan manfaat sampai varietas tersebut diuji secara ilmiah dan dinyatakan layak dilepas sebagai varietas unggul secara resmi oleh otoritas negara. Pengujian varietas tanaman menjadi langkah krusial untuk memastikan bahwa varietas yang diusulkan benar-benar berbeda, seragam, stabil, dan memiliki nilai tambah nyata bagi pertanian dan pemanfaatan pengguna akhir. Pengujian varietas ini menjadi komponen penting dalam sistem pemuliaan tanaman modern, khususnya dalam konteks pelepasan varietas di Indonesia di bawah payung regulasi nasional.

Pemuliaan tanaman dilandasi pada serangkaian kegiatan penelitian, pengujian, dan evaluasi untuk menghasilkan varietas baru yang unggul serta mempertahankan kemurnian benih varietas yang dihasilkan. Secara global, perlindungan varietas dan sistem pengujian varietas tanaman menjadi

bagian dari sistem hak kekayaan intelektual serta mekanisme penjaminan kualitas varietas. Pengujian varietas ditujukan untuk menilai identitas varietas (melalui uji DUS: *Distinctness, Uniformity, Stability*) dan manfaat agronomis varietas (*Value for Cultivation and Use – VCU*), sehingga varietas yang lolos pengujian dapat direkomendasikan untuk digunakan secara luas oleh petani dan pemangku kepentingan lainnya.

Pengujian varietas mencakup dua komponen utama:

1. Uji DUS (*Distinctness, Uniformity, Stability*) – bertujuan untuk menetapkan identitas varietas secara ilmiah sehingga varietas yang diusulkan jelas berbeda dari varietas lain yang sudah dikenal atau dilepas, menunjukkan tingkat seragaman yang tinggi, serta mempertahankan karakteristik khasnya setelah beberapa generasi perbanyakan .
2. Uji VCU (*Value for Cultivation and Use*) – mengevaluasi manfaat varietas dalam aspek budidaya dan pemanfaatannya, termasuk potensi hasil, mutu produk, ketahanan terhadap stres abiotik/biotik, serta kesesuaian varietas terhadap kondisi agroekosistem tertentu .

Pengujian varietas tidak hanya berlaku sebagai evaluasi ilmiah tetapi juga sebagai *prasyarat administratif* dalam sistem pendaftaran varietas, pelepasan varietas unggul nasional, serta sertifikasi benih. Di Indonesia, kerangka pengujian varietas diatur dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 38 Tahun 2019 tentang Pelepasan Varietas Tanaman dan perubahannya melalui Peraturan Menteri Pertanian Nomor 23 Tahun 2023, yang memberikan dasar hukum, definisi varietas, serta syarat administratif dan teknis dalam pelepasan varietas tanaman baru.

8.1 Prinsip Dasar Pengujian Varietas

8.1.1 Objektivitas dan Keterulangan

Pengujian varietas harus dilakukan secara objektif dengan menggunakan metode yang terstandar dan dapat diulang. Hasil pengujian harus konsisten apabila dilakukan pada waktu, lokasi, atau penguji yang berbeda, selama kondisi lingkungan relatif sebanding (Ceccarelli, S., Grando, S. (2020).

8.1.2 Relevansi Agroekologi

Pengujian varietas harus dilakukan pada lingkungan yang relevan dengan wilayah pengembangan varietas. Hal ini penting karena performa varietas sangat dipengaruhi oleh interaksi antara genotipe dan lingkungan.

8.1.3 Perbandingan dengan Varietas Pembanding

Evaluasi varietas selalu dilakukan secara komparatif dengan varietas pembanding yang telah dilepas atau dikenal luas. Perbandingan ini bertujuan untuk menilai keunggulan relatif varietas uji secara ilmiah.

8.1.4 Ketertelusuran dan Dokumentasi

Seluruh proses pengujian varietas harus terdokumentasi dengan baik, mulai dari asal-usul galur, metode pengujian, hingga hasil evaluasi. Dokumentasi ini menjadi dasar pertanggungjawaban ilmiah dan administratif.

8.2 Tahapan Pengujian Varietas dalam Program Pemuliaan

Dalam program pemuliaan tanaman, pengujian varietas dilakukan secara bertahap dan sistematis. Tahap awal meliputi pengujian galur-galur hasil seleksi untuk menilai potensi hasil dan karakter agronomis dasar. Selanjutnya, galur-galur terpilih diuji lebih lanjut pada berbagai lokasi dan musim tanam untuk menilai stabilitas dan daya adaptasi. Pada tahap akhir, varietas diuji secara resmi melalui pengujian DUS dan VCU sebagai prasyarat pelepasan varietas (Fehr, W. R. (1987). Tahapan pengujian ini dirancang untuk mengurangi risiko pelepasan varietas yang tidak stabil atau tidak sesuai dengan kebutuhan pengguna.

8.2.1 Pengujian Dus (*Distinctness, Uniformity, Stability*)

Pengujian DUS (*Distinctness, Uniformity, Stability*) merupakan pengujian resmi yang bertujuan untuk menetapkan identitas varietas tanaman dan memastikan bahwa varietas tersebut dapat dibedakan secara jelas, memiliki tingkat keseragaman yang memadai, serta mampu mempertahankan karakteristik khususnya dari generasi ke generasi. Pengujian ini menjadi fondasi utama dalam sistem pendaftaran, pelepasan, dan perlindungan varietas tanaman.

Dalam konteks pemuliaan tanaman, pengujian DUS berfungsi sebagai mekanisme seleksi akhir untuk memastikan bahwa varietas hasil pemuliaan memiliki karakter yang konsisten dan dapat dikenali secara ilmiah. Di Indonesia, pengujian DUS dilaksanakan di bawah koordinasi Pusat Perlindungan Varietas Tanaman dan Perizinan Pertanian (PPVTTP) dengan mengacu pada pedoman nasional yang disusun berdasarkan standar UPOV (*International Union for the*

Protection of New Varieties of Plants) (UPOV, 2011). Pengujian DUS bersifat deskriptif, bukan komparatif dalam hal keunggulan hasil. Dengan demikian, tujuan utama pengujian ini bukan untuk menilai produktivitas varietas, melainkan untuk menetapkan identitas dan konsistensi varietas dalam sistem perbenihan dan perlindungan varietas tanaman.

Karakter yang digunakan dalam pengujian DUS harus bersifat heritable, dapat diamati secara konsisten, dan relevan untuk membedakan varietas (Acquaah, G., 2012). Karakter DUS umumnya diklasifikasikan menjadi karakter kualitatif (misalnya warna bunga, bentuk biji), karakter kuantitatif (misalnya tinggi tanaman, panjang malai), dan karakter pseudo-kualitatif. Pemilihan karakter dilakukan secara spesifik untuk setiap jenis tanaman melalui pedoman pengujian (*Test Guidelines*) yang diterbitkan oleh UPOV dan diadaptasi secara nasional.

Beberapa aspek penilaian pada uji DUS antara lain:

a. *Distinctness* (Keberbedaan)

Distinctness merupakan kemampuan suatu varietas untuk dapat dibedakan secara jelas dari varietas lain yang telah dikenal atau telah dilepas sebelumnya. Suatu varietas dinyatakan berbeda apabila memiliki setidaknya satu karakter penting yang menunjukkan perbedaan yang jelas dan konsisten dibandingkan varietas pembanding.

Penilaian *distinctness* dilakukan dengan membandingkan varietas uji terhadap varietas pembanding yang paling mirip (*most similar variety*). Perbedaan dapat dinyatakan apabila terdapat perbedaan yang konsisten pada satu atau lebih karakter morfologi atau fisiologi yang diwariskan secara genetik.

Karakter yang umum digunakan antara lain bentuk dan warna daun, tipe malai atau tongkol, warna biji atau gabah, tinggi tanaman, serta umur berbunga (UPOV, 2011). Penilaian dilakukan melalui observasi lapangan dan, pada kondisi tertentu, dapat didukung oleh data tambahan seperti pengamatan laboratorium.

b. *Uniformity* (Keseragaman)

Uniformity atau keseragaman menunjukkan tingkat variasi karakter dalam suatu varietas. Varietas yang memenuhi kriteria *uniformity* memiliki tingkat homogenitas yang memadai, sehingga individu tanaman dalam satu populasi menunjukkan karakter yang relatif seragam sesuai dengan sifat genetiknya (Allard, R. W. 1999).

Tingkat keseragaman yang dipersyaratkan bergantung pada sistem perbanyakan tanaman, seperti tanaman menyerbuk sendiri, menyerbuk silang, atau tanaman hibrida. Oleh karena itu, toleransi terhadap variasi dalam pengujian *uniformity* ditentukan secara spesifik dalam pedoman pengujian masing-masing tanaman.

Keseragaman varietas berperan penting dalam menjamin konsistensi mutu benih dan keseragaman pertumbuhan tanaman di lapangan. Dalam sistem perbenihan nasional, *uniformity* menjadi dasar bagi kegiatan sertifikasi benih yang dilaksanakan oleh **BPSB**, karena varietas yang tidak seragam berisiko menurunkan mutu benih dan hasil panen.

c. *Stability* (Kestabilan)

Stability atau kestabilan mengacu pada kemampuan suatu varietas untuk mempertahankan karakteristik khasnya secara konsisten dari satu generasi ke generasi berikutnya (Fehr, 1987). Varietas yang stabil tidak menunjukkan perubahan sifat penting meskipun telah melalui beberapa siklus perbanyakan benih. Stabilitas menjadi indikator bahwa varietas tersebut memiliki dasar genetik yang mantap dan layak untuk dikembangkan secara berkelanjutan dalam sistem perbenihan.

Evaluasi stabilitas umumnya dilakukan dengan mengamati konsistensi karakter varietas pada lebih dari satu musim tanam atau generasi perbanyakan. Apabila varietas telah memenuhi kriteria *distinctness* dan *uniformity* secara konsisten, maka varietas tersebut umumnya dianggap stabil.

Pelaksanaan Pengujian DUS di Indonesia dilaksanakan berdasarkan pedoman nasional yang dikeluarkan oleh PPVTPP dan mengacu pada prinsip serta standar UPOV. Pengujian dilakukan melalui uji lapangan (*growing trials*) selama dua musim tanam atau lebih di lokasi yang relevan. Pengujian DUS berbasis karakter fenotip memiliki beberapa keterbatasan, terutama terkait pengaruh lingkungan dan lamanya waktu pengujian. Oleh karena itu, perkembangan terkini mengarah pada integrasi data molekuler sebagai alat bantu dalam pengujian DUS, meskipun hingga saat ini data molekuler belum menggantikan peran utama karakter fenotip dalam sistem DUS resmi (VanBuren, R., et al. (2021).

8.2.2 Pengujian VCU (*Value For Cultivation And Use*)

Pengujian *Value for Cultivation and Use* (VCU) merupakan tahapan evaluasi varietas yang bertujuan untuk menilai nilai guna suatu varietas dalam kegiatan budidaya dan pemanfaatannya (Fehr, 1987). Berbeda dengan pengujian DUS yang berfokus pada identitas varietas, pengujian VCU menitikberatkan pada keunggulan fungsional dan manfaat praktis varietas bagi petani, industri, dan konsumen. Dalam konteks pemuliaan tanaman, pengujian VCU berperan sebagai penilaian akhir terhadap performa varietas di lapangan, khususnya terkait daya hasil, stabilitas, mutu hasil, ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta kemampuan adaptasi terhadap lingkungan tumbuh tertentu. Varietas yang diuji tidak harus unggul pada seluruh karakter, namun harus menunjukkan keunggulan nyata dan konsisten dibandingkan varietas pembanding.

Di Indonesia, pengujian VCU merupakan syarat utama pelepasan varietas tanaman, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pertanian, dan hasilnya menjadi bahan pertimbangan utama bagi Tim Penilai dan Pelepas Varietas Tanaman.

1. Beberapa tujuan utama dalam sistem pemuliaan tanaman dan pengembangan varietas, yaitu:
 - a. Menilai keunggulan agronomis varietas, khususnya daya hasil dan stabilitas hasil.
 - b. Menentukan kesesuaian varietas terhadap agroekosistem sasaran, baik secara spesifik maupun luas.
 - c. Menilai mutu hasil dan nilai ekonomi varietas, termasuk kualitas produk dan preferensi pengguna.

- d. Mendukung rekomendasi wilayah pengembangan varietas, sehingga varietas yang dilepas dapat diadopsi secara optimal.
 - e. Meminimalkan risiko kegagalan adopsi varietas, dengan memastikan bahwa varietas yang dilepas benar-benar memberikan manfaat nyata di lapangan.
2. Aspek yang dinilai dalam Pengujian VCU:
 - a. Daya Hasil dan Stabilitas Hasil
 - b. Mutu Hasil dan Nilai Guna Produk
 - c. Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit
 - d. Toleransi terhadap Cekaman Abiotik
 - e. Kesesuaian dengan Sistem Budidaya

3. Metode dan Tahapan Pengujian VCU

Pengujian VCU dilaksanakan secara bertahap untuk memperoleh data yang komprehensif dan reliabel mengenai performa varietas.

1) Uji Pendahuluan (Preliminary Yield Trial)

Uji pendahuluan dilakukan pada tahap awal seleksi galur untuk menyaring galur-galur potensial berdasarkan daya hasil dan karakter agronomis utama (Ceccarelli, S., & Grando, S. 2020). Pengujian ini umumnya dilakukan di satu atau dua lokasi dengan jumlah ulangan terbatas.

2) Uji Lanjutan (Advanced Yield Trial)

Galur terpilih dari uji pendahuluan selanjutnya diuji pada uji lanjutan dengan jumlah lokasi dan ulangan yang lebih banyak. Tahap ini bertujuan memperoleh informasi yang lebih akurat mengenai performa galur, termasuk stabilitas hasil dan ketahanan terhadap faktor biotik.

3) Uji Multi Lokasi

Uji multi lokasi bertujuan untuk menilai daya adaptasi varietas pada berbagai kondisi lingkungan yang mewakili agroekosistem sasaran. Data dari uji ini menjadi dasar analisis interaksi genotipe \times lingkungan ($G \times E$).

4) Uji Adaptasi dan Demonstrasi

Pada tahap akhir, varietas diuji melalui uji adaptasi dan plot demonstrasi dalam skala yang lebih luas. Tahap ini melibatkan petani dan pemangku kepentingan lain untuk menilai performa varietas dalam kondisi budidaya nyata serta mendukung proses diseminasi dan adopsi varietas.

Di Indonesia, pengujian VCU merupakan komponen wajib dalam proses pelepasan varietas tanaman. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan di lokasi yang mewakili agroekosistem sasaran, dengan mengacu pada pedoman teknis yang ditetapkan oleh Kementerian Pertanian. Hasil pengujian VCU menjadi bahan utama penilaian oleh **Tim Penilai dan Pelepas Varietas Tanaman** (Guerra, L. et al., 2024). Varietas yang tidak menunjukkan keunggulan yang signifikan atau tidak stabil umumnya tidak direkomendasikan untuk dilepas sebagai varietas unggul nasional.

Pengujian VCU menghadapi berbagai tantangan, antara lain keterbatasan waktu dan sumber daya, kompleksitas interaksi genotipe \times lingkungan, serta kebutuhan untuk mengevaluasi karakter yang semakin kompleks, seperti efisiensi penggunaan input dan ketahanan terhadap perubahan iklim. Perkembangan ke depan mengarah pada integrasi pendekatan statistik lanjutan, pemanfaatan teknologi digital, serta keterlibatan petani secara partisipatif dalam

pengujian VCU. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan relevansi dan efisiensi pengujian varietas.

8.3 Hubungan Pengujian Varietas dengan Perlindungan Varietas Tanaman

Pengujian varietas memiliki keterkaitan erat dengan sistem perlindungan varietas tanaman (PVT). Dalam kerangka hukum nasional dan internasional, varietas yang ingin memperoleh perlindungan harus memenuhi kriteria baru, berbeda, seragam, dan stabil.

Di Indonesia, pengujian DUS menjadi dasar utama dalam pemberian hak perlindungan varietas tanaman oleh PPVTPP. Prinsip ini sejalan dengan ketentuan UPOV (*International Union for the Protection of New Varieties of Plants*) yang mengatur standar perlindungan varietas secara global (UPOV, 2011). Dengan demikian, pengujian varietas tidak hanya berfungsi sebagai evaluasi teknis, tetapi juga sebagai instrumen hukum dalam melindungi hak pemulia dan mendorong inovasi di bidang pemuliaan tanaman.

8.4 Alur Proses Pelepasan Varietas Tanaman

Secara umum, sistem pelepasan varietas tanaman di Indonesia mengikuti alur sebagai berikut:

1. **Pengajuan Permohonan:** Pemulia atau institusi mengajukan permohonan pendaftaran varietas kepada PPVTPP dengan melampirkan deskripsi varietas dan data pendukung.
2. **Pengujian DUS:** Varietas diuji untuk memastikan keberbedaan, keseragaman, dan kestabilan karakter sesuai pedoman PPVTPP yang mengacu pada UPOV.

3. **Pengujian VCU:** Varietas diuji untuk menilai nilai guna dalam budidaya dan pemanfaatannya melalui uji hasil, uji adaptasi, dan uji multi lokasi.
4. **Penilaian oleh Tim Pelepas Varietas:** Data hasil pengujian dievaluasi secara komprehensif untuk menentukan kelayakan varietas.
5. **Penetapan dan Pelepasan Varietas:** Varietas yang memenuhi persyaratan ditetapkan dan dilepas melalui Keputusan Menteri Pertanian.

Alur ini menjamin bahwa varietas yang dilepas telah melalui pengujian ilmiah yang ketat dan relevan dengan kondisi agroekosistem Indonesia.

- 1) Tahap yang harus dilalui pemuliaan untuk proses pelepasan varietas antara lain:
 1. Identifikasi garis calon varietas yang menjanjikan,
 2. Uji DUS dan VCU,
 3. Persetujuan varietas baru untuk penggunaan komersial oleh komite pelepasan varietas,
 4. Entri varietas dalam katalog nasional,
 5. Menjadikan benih pembibit tersedia untuk multiplikasi komersial.
- 2) Langkah-langkah sertifikasi benih meliputi:
 1. Inspeksi lapangan (kesesuaian varietas dengan deskripsi resmi),
 2. Uji laboratorium (*germination, purity, viability*)
 3. Penandaan dan pelabelan kelas benih resmi.Ini konsisten dengan praktik sertifikasi yang diterapkan di banyak negara.

Sertifikasi Benih (*Seed Certification*) adalah sistem jaminan mutu benih setelah varietas resmi dilepas dan terdaftar, dengan tujuan: memastikan identitas varietas benar, menjamin kemurnian genetik dan fisik benih, validasi bahwa benih memenuhi standar yang ditetapkan untuk komersialisasi. Proses sertifikasi tidak bisa dilakukan kecuali varietas sudah resmi dilepas dan terdaftar melalui DUS dan VCU karena sertifikasi memerlukan gambaran varietas yang jelas sebagai dasar inspeksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Wiley-Blackwell.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118313718>
- Allard, R. W. (1999). *Principles of Plant Breeding*. John Wiley & Sons.
<https://archive.org/details/principlesofplan00alla>
- Ceccarelli, S., Grando, S. (2020). *Participatory Plant Breeding*. FAO.
<https://www.fao.org/3/i1070e/i1070e.pdf>
- Fehr, W. R. (1987). *Principles of Cultivar Development*. Macmillan.
- Guerra, L. et al. (2024). *Assessing the Opportunities and Risks of DUS and VCU Variety Testing*. *Agriculture*, 14, 1817.
<https://doi.org/10.3390/agriculture14101817>
https://lib.dr.iastate.edu/agron_books/1/
- UPOV (2011). *General Introduction to the Examination of DUS (TG/1/3)*.
https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg_1.pdf
- VanBuren, R., et al. (2021). *Plant Variety Protection: Current Practices and Insights*. *Genes*, 12(8), 1127.
<https://doi.org/10.3390/genes12081127>

BAB 9

PERATURAN DAN ETIKA DALAM PEMULIAAN TANAMAN

Arifah Husna, SP., MP.

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu cabang ilmu pertanian yang tidak hanya mencakup kegiatan ilmiah dan teknis dalam rangka menghasilkan varietas unggul, namun juga meliputi praktik yang memiliki konsekuensi hukum, sosial, dan moral. Dalam rangkaian kegiatan pemuliaan tanaman, seorang pemulia akan berhadapan dengan berbagai kepentingan, mulai dari perlindungan sumber daya genetik, hak pemulia dan petani, keselamatan lingkungan, hingga penerimaan masyarakat terhadap produk hasil pemuliaan tanaman. Oleh karena itu, pemahaman terhadap peraturan dan etika dalam pemuliaan tanaman menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kompetensi seorang pemulia.

Peraturan dalam pemuliaan tanaman hadir untuk memberikan kepastian hukum dan rambu-rambu yang jelas dalam kegiatan penelitian, perakitan, pelepasan, dan pemanfaatan varietas tanaman. Aturan tersebut mencakup aspek perlindungan varietas tanaman, pemanfaatan plasma nutfah, peredaran benih, hingga *biosafety dan biosecurity*, terutama pada teknologi pemuliaan tanaman modern. Bagi seorang peneliti dan pemulia tanaman, kepathan terhadap peraturan dan hukum bukan hanya sekedar kewajiban administratif saja, melainkan hal tersebut adalah upaya dalam menjaga integritas ilmiah serta keberlanjutan sistem pertanian (Girard and Christine, 2018).

Di sisi lain, etika pemuliaan tanaman berperan sebagai landasan moral yang membimbing sikap, perilaku, dan pengambilan keputusan pemulia dalam menghadapi berbagai dilema yang tidak selalu terjawab secara tegas pada peraturan tertulis. Dalam praktik pemuliaan, sering kali muncul situasi yang tidak dapat diperkirakan, sebagai contoh dalam pemanfaatan sumber daya genetik lokal, pembagian manfaat hasil penelitian, atau penentuan prioritas tujuan pemuliaan. Etika mendorong pemulia untuk dapat bersikap adil, transparan, dan bertanggungjawab, serta dapat menghargai kontribusi dari seluruh pihak yang terlibat, termasuk petani lokal, masyarakat adat, komunitas pemilik pengetahuan tradisional yang terkait dengan pemuliaan tanaman, serta yang memiliki peran sebagai penjaga dan pengelola sumber daya genetik. Dengan demikian, etika menjadi kompas yang menjaga agar kegiatan pemuliaan tidak hanya berorientasi pada capaian teknis dan ilmiah semata, namun juga dapat mempertimbangkan keadilan sosial, keberlanjutan lingkungan, serta dampak jangka panjang dari varietas yang dihasilkan bagi sistem pertanian maupun masyarakat pengguna.

Bab ini disusun untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai urgensi dari peraturan dan etika dalam pemuliaan tanaman sebagai satu hal yang saling melengkapi satu sama lain. Selain menyajikan kerangka hukum dan prinsip etis yang relevan, bab ini juga mengarahkan pembaca, khususnya peneliti, pemulia, dan calon pemulia tanaman, untuk dapat merefleksikan peran, tanggung jawab, serta peran strategisnya dalam pembangunan pertanian. Pemahaman yang baik terhadap aspek hukum dan etika diharapkan dapat membantu pemulia dalam mengambil

keputusan yang tepat, menghindari potensi konflik, serta meningkatkan kepercayaan publik terhadap hasil pemuliaan. Diharapkan pada akhirnya, penerapan aturan dan etika secara konsisten akan dapat mendukung terlaksananya kegiatan pemuliaan tanaman yang profesional, berkelanjutan, dan selaras dengan nilai-nilai ilmiah serta kepentingan masyarakat luas (Doggalli *et al.*, 2023).

Pemahaman terhadap peraturan dan etika dalam pemuliaan tanaman diharapkan tidak dianggap sebagai beban tambahan dalam kegiatan penelitian pemuliaan tanaman, namun justru sebagai bagian integral dari proses pemuliaan itu sendiri. Peraturan dapat memberikan batas dan kepastian, sementara etika dapat menanamkan kepekaan dan tanggung jawab dalam setiap tahapan pekerjaan pemulia. Dengan mengintegrasikan keduanya secara sadar dan konsisten, pemulia tanaman dapat menghasilkan inovasi yang tidak hanya unggul secara ilmiah dan teknis, namun juga dapat dipertanggungjawabkan secara sosial dan moral. Melalui perspektif ini, pemuliaan tanaman diharapkan mampu berkontribusi secara nyata terhadap ketahanan pangan, pertanian yang berkelanjutan, serta kesejahteraan masyarakat, tanpa mengabaikan nilai-nilai keadilan dan penghormatan terhadap sumber daya hayati.

9.1 Hak Kekayaan Intelektual dalam Pemuliaan Tanaman

Salah satu prosedur yang penting untuk dilakukan setelah menghasilkan varietas baru adalah pengurusan hak kekayaan intelektual. Hak kekayaan intelektual berkaitan erat dengan peraturan dan etika dalam pemuliaan tanaman. Hak kekayaan intelektual dalam pemuliaan tanaman merupakan instrument penting yang mengatur hubungan antara inovasi ilmiah, kepentingan ekonomi, dan kepentingan publik. Dalam konteks pemuliaan tanaman, HKI hadir sebagai bentuk pengakuan dan perlindungan terhadap hasil kerja intelektual pemulia yang diwujudkan dalam varietas baru, metode pemuliaan maupun teknologi pendukung yang lainnya. Bagi seorang peneliti dan pemulia tanaman, pemahaman terhadap HKI bukan hanya sekedar aspek hukum, tetapi bagian dari strategi penelitian dan pengelolaan hasil riset agar dapat dimanfaatkan secara optimal, berkelanjutan, serta bertanggung jawab (Blakeney, 2016).

Salah satu jenis/bentuk hak kekayaan intelektual yang paling relevan dalam pemuliaan tanaman adalah perlindungan varietas tanaman (PVT), yang memberikan hak eksklusif kepada pemulia atau pemegang hak produksi, memperbanyak, dan mengomersialkan varietas yang dihasilkan dalam jangka waktu tertentu. Tujuan utama perlindungan varietas tanaman (PVT) tidak hanya untuk melindungi kepentingan pemulia, melainkan juga mendorong lahirnya inovasi varietas unggul dengan memberikan insentif yang layak atas investasi waktu, tenaga, serta sumber daya penelitian. Meski demikian, sistem perlindungan varietas tanaman (PVT) juga mengatur pengecualian tertentu, seperti hak petani dan pemulia lain untuk menggunakan varietas

yang terlindungi sebagai bahan pemuliaan lanjutan, sehingga keseimbangan antara perlindungan dan akses terhadap varietas tetap terjaga.

Selain perlindungan varietas tanaman (PVT), bentuk HKI lain seperti paten juga dapat bersinggungan dengan kegiatan pemuliaan berbasis bioteknologi, misalnya pada teknik transformasi genetik, marka molekuler, atau metode seleksi tertentu. Dalam praktik penelitian, keberadaan paten menuntut peneliti untuk lebih cermat dalam menggunakan teknologi, bahan biologi maupun metode yang dilindungi hak pihak lain. Kesadaran ini penting untuk menghindari pelanggaran hak kekayaan intelektual (HKI) sekaligus mendorong budaya pertanian yang menghargai karya intelektual kolaboratif, dan memperhatikan etika.

Di sisi lain, penerapan HKI dalam pemuliaan tanaman juga tidak lepas dari perdebatan utama mengenai akses terhadap sumber daya genetik dan keadilan bagi petani serta masyarakat local. Banyak varietas unggul modern yang berakar pada plasma nutfah lokal dan ilmu serta praktik tradisional yang dikembangkan secara turun-temurun. Oleh karena itu, pengelolaan hak kekayaan intelektual (HKI) yang baik perlu mempertimbangkan prinsip pembagaaian manfaat (*benefit sharing*) dan pengakuan terhadap kontribusi komunitas asal sumber daya genetik. Dalam konteks ini, peneliti dan pemulia memiliki peran yang penting dalam memastikan apakah perlindungan hak varietas tanaman (PVT) justru mempersempit akses atau merugikan pihak-pihak yang selama ini menjadi fondasi pemuliaan tanaman.

Dengan memahami hak kekayaan intelektual secara utuh, pemulia tanaman diharapkan mampu menempatkan perlindungan hasil inovasi dalam kerangka yang seimbang

antara kepentingan ilmiah, ekonomi, dan social. Hak kekayaan intelektual (HKI) sudah semestinya menjadi alat untuk dapat memperkuat ekosistem penelitian dan pemuliaan, bukan sebagai penghalang pertuokaran ilmu pengetahuan dan pemanfaatan sumber daya genetic secara berkelanjutan. Bagi peneliti, sikap kritis dan etis dalam menyikapi HKI akan membantu memastikan bahwa hasil pemuliaan tanaman dapat memberikan manfaat yang luas, adil, dan berjangka panjang bagi pertanian dan masyarakat.

9.2 Prosedur Perlindungan Varietas Tanaman

Perlindungan Varietas Tanaman (PVT), yang sering pula disebut sebagai hak pemulia tanaman, merupakan salah satu bentuk hak kekayaan intelektual yang secara khusus dirancang untuk melindungi hasil inovasi dalam bidang pemuliaan tanaman. Hak ini memberikan kewenangan kepada pemulia atau pihak yang secara sah ditetapkan sebagai pemegang PVT untuk menguasai dan mengatur pemanfaatan varietas tanaman baru yang dihasilkannya. Kewenangan tersebut mencakup pengendalian terhadap bahan perbanyak tanaman, baik dalam bentuk benih, stek, anakan, maupun kultur jaringan, serta terhadap bagian tanaman hasil panen seperti buah, bunga potong, atau bagian vegetatif lainnya, selama jangka waktu perlindungan yang telah ditetapkan oleh peraturan perundang-undangan.

Agar suatu varietas atau kultivar dapat memperoleh perlindungan PVT, varietas tersebut harus memenuhi sejumlah persyaratan yang bersifat teknis dan administratif. Persyaratan tersebut meliputi sifat kebaruan, yang menunjukkan bahwa varietas belum pernah diperdagangkan secara luas; keunikan, yang membedakannya secara jelas dari

varietas lain yang telah ada; keseragaman, yang mencerminkan konsistensi sifat dalam satu populasi; serta kestabilan, yaitu kemampuan varietas untuk mempertahankan karakteristiknya dari satu generasi ke generasi berikutnya. Selain itu, varietas juga wajib memiliki nama yang jelas dan tidak menimbulkan kekeliruan. Kriteria-kriteria ini bertujuan memastikan bahwa varietas yang dilindungi benar-benar merupakan hasil pemuliaan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan praktis.

Pemberian hak PVT pada dasarnya merupakan bentuk penghargaan atas jerih payah pemulia tanaman dalam melakukan proses penelitian, seleksi, dan pengujian yang sering kali memakan waktu panjang serta sumber daya yang tidak sedikit. Di sisi lain, keberadaan PVT juga berfungsi sebagai sarana perlindungan bagi pengguna varietas, baik petani, penangkar benih, maupun konsumen akhir, dengan menjamin keaslian dan mutu bahan tanam atau produk yang berasal dari varietas tersebut. Dengan demikian, PVT tidak hanya menguntungkan pemulia sebagai pencipta varietas, tetapi juga memberikan kepastian dan perlindungan dalam rantai produksi dan distribusi tanaman.

Secara yuridis, pengertian Perlindungan Varietas Tanaman telah diatur secara jelas dalam Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2000. Dalam Pasal 1 ayat (1) disebutkan bahwa Perlindungan Varietas Tanaman adalah bentuk perlindungan khusus yang diberikan oleh negara, yang pelaksanaannya dilakukan oleh pemerintah melalui Kantor Perlindungan Varietas Tanaman, terhadap varietas tanaman yang dihasilkan oleh pemulia melalui kegiatan pemuliaan tanaman. Definisi ini menegaskan bahwa PVT merupakan instrumen hukum resmi negara untuk menjamin hak pemulia

sekaligus mendukung pengembangan inovasi dan kemajuan pemuliaan tanaman secara berkelanjutan (Dirjen HKI. 2023).

Perlindungan Varietas Tanaman (PVT) merupakan bentuk perlindungan hukum khusus yang diberikan oleh negara terhadap varietas tanaman hasil kegiatan pemuliaan untuk menjamin hak eksklusif pemulia dalam memanfaatkan varietas tersebut dalam jangka waktu tertentu. Hak ini memberikan kewenangan kepada pemegangnya untuk menggunakan varietas secara mandiri maupun memberikan izin kepada pihak lain sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Secara konseptual, PVT merupakan bagian dari pelaksanaan komitmen internasional dalam perlindungan kekayaan intelektual sekaligus berperan dalam menjaga keanekaragaman hayati serta mendukung pembangunan pertanian yang berkelanjutan. Kehadiran varietas unggul generasi baru diharapkan mampu menjawab berbagai tantangan sektor pertanian, seperti perubahan iklim, serangan organisme pengganggu tanaman, dan keterbatasan lahan. Oleh karena itu, perlindungan terhadap sumber daya genetik menjadi aspek strategis dalam keberlanjutan produksi pertanian.

Permohonan hak PVT diajukan melalui surat permohonan bermaterai yang disertai kelengkapan administratif, antara lain identitas pemohon, data kewarganegaraan pemulia, serta nama varietas yang diusulkan. Dokumen permohonan juga harus memuat uraian varietas secara menyeluruh, termasuk asal-usul atau silsilah, karakter morfologi, sifat penting, serta dokumentasi pendukung berupa gambar atau foto. Varietas yang dapat diajukan merupakan varietas hasil pemuliaan, baik

melalui metode konvensional maupun bioteknologi, termasuk varietas transgenik.

Permohonan dapat diajukan oleh pemulia individu, badan hukum, maupun konsultan PVT. Setiap pemohon wajib melengkapi dokumen pendukung seperti identitas diri, Nomor Pokok Wajib Pajak (NPWP), akta pendirian badan hukum, surat kuasa apabila diwakilkan, serta bukti ahli waris dalam hal pengajuan dilakukan oleh pihak yang berhak. Kelengkapan administrasi menjadi faktor penting untuk memastikan kelancaran proses permohonan.

Setelah permohonan diterima, otoritas berwenang melakukan pemeriksaan administratif. Apabila dokumen dinyatakan lengkap dan sesuai, pemohon akan memperoleh perlindungan sementara, dan varietas yang diajukan diumumkan kepada publik selama enam bulan. Pada tahap ini masyarakat diberikan kesempatan untuk menyampaikan keberatan atau tanggapan, sementara pemohon berhak memberikan klarifikasi yang akan menjadi bahan pertimbangan dalam proses penilaian.

Tahapan selanjutnya adalah pemeriksaan substantif melalui pengujian BUSS yang meliputi unsur Baru, Unik, Seragam, dan Stabil. Aspek kebaruan menunjukkan bahwa bahan perbanyakan belum pernah diperdagangkan atau masih dalam batas waktu tertentu; keunikan mengindikasikan adanya perbedaan yang jelas dengan varietas lain yang telah dikenal; keseragaman menandakan konsistensi sifat utama; sedangkan kestabilan menunjukkan bahwa karakter varietas tetap sama meskipun ditanam berulang kali.

Pengujian BUSS dapat dilaksanakan melalui beberapa metode, seperti official test di kebun uji milik otoritas PVT, breeder test di lahan pemohon, atau evaluasi dokumen bagi

varietas yang telah diuji di luar negeri. Hasil pengujian kemudian dirumuskan dalam laporan yang menjadi dasar pertimbangan sidang komisi PVT untuk menetapkan apakah permohonan dapat diterima atau harus ditolak.

Apabila komisi memberikan rekomendasi persetujuan, Kepala Pusat PVTPP akan menerbitkan sertifikat hak PVT sebagai bukti sah perlindungan hukum terhadap varietas tersebut. Sebaliknya, jika permohonan ditolak, pemohon memiliki hak untuk mengajukan banding secara tertulis kepada komisi banding dalam jangka waktu yang telah ditentukan.

Proses permohonan juga mencakup berbagai komponen biaya yang menjadi tanggung jawab pemohon sesuai dengan ketentuan tarif yang berlaku. Biaya tersebut meliputi pendaftaran, pencatatan pengalihan hak, perjanjian lisensi, iuran tahunan, hingga pengajuan banding. Setelah sertifikat diterbitkan, pemegang hak PVT memperoleh kewenangan penuh untuk memproduksi atau memperbanyak benih, menyiapkan bahan propagasi, mengiklankan, memperdagangkan, mengeksport, mengimpor, serta memberikan izin pemanfaatan kepada pihak lain. Namun demikian, hak tersebut juga diikuti oleh kewajiban tertentu, dan pelanggaran terhadap kewajiban dapat berimplikasi pada pencabutan hak PVT.

Dengan demikian, prosedur perlindungan varietas tanaman merupakan suatu mekanisme terstruktur yang mencakup tahap pengajuan permohonan, verifikasi administratif, pengumuman kepada publik, pengujian substantif, hingga penerbitan sertifikat. Sistem ini dirancang untuk memberikan kepastian hukum, mendorong inovasi

dalam pemuliaan tanaman, serta memperkuat pengembangan industri perbenihan dan sektor pertanian secara nasional

9.3 Protokol Internasional dan Akses Sumber Daya Genetik

Sumber daya genetic tanaman merupakan bahan dasar yang sangat krusial dalam pemuliaan tanaman. Pemanfaatan sumber daya tersebut tidak hanya memiliki nilai ilmiah dan ekonomi, namun juga berkaitan erat dengan aspek kedaulatan negara, keadilan, serta keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, akses dan pemanfaatan sumber daya genetic diatur melalui berbagai protocol dan perjanjian internasional yang bertujuan untuk memastikan penggunaan yang bertanggung jawab, adil, dan beretika (Butler, 2002).

Salah satu kerangka internasional yang paling berpengaruh adalah *Convention on Biological Diversity* (CBD), yang menegaskan bahwa negara memiliki hak kedaulatan atas sumber daya genetic yang berada di wilayahnya, CBD mengatur bahwa akses terhadap sumber daya genetic wajib didasarkan pada *prior informed concensent* (PIC) dari negara penyedia serta kesepakatan bersama (*mutually agreed terms*) MAT antara pihak pengguna dan peneydia. Ketentuan ini bertujuan untuk mencegah adanya kegiatan eksploitasi sumber daya genetic tanpa izin serta melindungi kepentingan masyarakat lokal dan negara.

Sebagai turunan dari CBD, *Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from Their Utilization* memberikan pedoman yang lebih rinci mengenai mekanisme akses dan pembagian manfaat (*access and benefit-sharing / ABS*). Protokol tersebut menjelaskan bahwa setiap penggunaan sumber daya genetic, baik untuk

tujuan penelitian maupun pemuliaan tanaman, harus disertai dengan pembagian manfaat yang adil dan seimbang. Manfaat ini dapat diwujudkan dalam bentuk keuntungan finansial ataupun nonfinansial, seperti alih teknologi, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, dan akses terhadap hasil penelitian.

Penerapan protocol internasional dalam konteks pemuliaan tanaman memiliki implikasi langsung terhadap kegiatan eksplorasi plasma nutfah, introduksi bahan genetic, serta Kerjasama penelitian lintas negara. Peneliti atau pemulia tanaman dituntut untuk memahami dan mematuhi ketentuan hukum yang berlaku, baik di Tingkat nasional, maupun internasional, supaya tidak melanggar prinsip etika dan hukum dalam kegiatan pemuliaan tanaman. Pelanggaran terhadap aturan akses sumber daya genetic dapat menimbulkan konsekuensi hukum serta merusak kepercayaan dalam Kerjasama ilmiah (Staub, Gabert and Wehner, 1996).

Selain CBD dan Protokol Nagoya, terdapat pula *International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture* (ITPGRFA) yang secara khusus mengatur sumber daya genetic tanaman pangan dan pertanian. Perjanjian tersebut memperkenalkan sistem multilateral guna memfasilitasi akses terhadap plasma nutfah tanaman tertentu yang penting bagi ketahanan pangan global, sekaligus untuk mengatur pembagian manfaat yang dihasilkan dari pemanfaatannya. Sistem tersebut memberikan kemudahan bagi peneliti dan pemulia tanaman, akan tetapi tetap menekankan prinsip keadilan dan keberlanjutan (Yu and Chung, 2021).

9.4 Peraturan Keamanan Hayati dan Pangan

Keamanan hayati (*biosafety*) adalah aspek penting dalam pengembangan dan penerapan ilmu pemuliaan tanaman, khususnya yang melibatkan penggunaan teknologi modern seperti bioteknologi hingga rekayasa genetika. Peraturan keamanan hayati bertujuan untuk meminimalisir atau mencegah adanya risiko yang ditimbulkan terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan akibat konsumsi atau penggunaan organisme hasil modifikasi atau GMO (*genetically modified organisms*) serta produk turunannya. Dalam hal ini, keamanan hayati menjadi bagian integral dari tata kelola pemuliaan tanaman yang bertanggung jawab dan beretika.

Pengaturan keamanan hayati secara internasional mengacu pada *Cartagena Protocol on Biosafety*. Protokol ini mengatur perpindahan, penanganan, serta pemanfaatan organisme hidup hasil modifikasi genetik (*Living Modified Organisms* / LMO) yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dan kesehatan manusia. Prinsip kehati-hatian atau *precautionary principle* menjadi landasan utama dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan LMO (Atanassova and Keiper, 2018).

Di Indonesia, penerapan keamanan hayati diatur melalui berbagai aturan perundang-undangan yang bersifat lintas sektor. Salah satu regulasi utama adalah Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2005 tentang Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik. Peraturan ini menjadi dasar hukum dalam kajian, pengujian, pemberian izin terhadap produk rekayasa genetik sebelum dimanfaatkan secara terbatas ataupun dilepas ke masyarakat. Regulasi tersebut mempertegas bahwa setiap

produk rekayasa genetik harus melalui proses penilaian keamanan hayati secara ilmiah dan transparan.

Pelaksanaan penilaian keamanan hayati di Indonesia melibatkan Komisi Keamanan Hayati Produk Rekayasa genetik (KKH PRG), yang memiliki peran dalam memberikan rekomendasi kepada pemerintah berdasarkan hasil kajian risiko terhadap lingkungan, pangan, dan pakan. Dalam konteks pemuliaan tanaman, kajian ini mencakup evaluasi stabilitas genetik, potensi aliran gen ke kerabat liar, dampak terhadap organisme non-target, serta keamanan konsumsi bagi manusia dan hewan. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa varietas hasil pemuliaan berbasis rekayasa genetik aman dan tidak menimbulkan dampak yang merugikan (Natarajan, 2010).

Peraturan keamanan hayati di Indonesia juga menekankan pentingnya keterbukaan informasi serta tanggung jawab sosial. Peneliti dan pemulia tanaman diharuskan untuk mematuhi setiap tahapan dan prosedur administratif, serta memastikan bahwa kegiatan penelitian dan pengembangan dilakukan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku. Hal ini mencerminkan upaya pemerintah dalam menyeimbangkan kemajuan ilmu pengetahuan dengan perlindungan kepentingan publik dan lingkungan.

Penerapan peraturan keamanan hayati berpengaruh terhadap tahapan pemuliaan tanaman, mulai dari penelitian laboratorium, uji terbatas di rumah kaca, hingga uji lapangan dan pelepasan varietas. Pemahaman terhadap regulasi ini menjadi penting bagi peneliti dan pemulia tanaman agar proses inovasi dapat berjalan efektif tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan kepatuhan hukum. Dengan demikian, peraturan keamanan hayati tidak dimaksudkan untuk

menghambat perkembangan pemuliaan tanaman, melainkan untuk memastikan bahwa inovasi yang dihasilkan bersifat aman, bertanggung jawab, dan berkelanjutan.

9.5 Etika dalam Pemuliaan Tanaman

Etika dalam pemuliaan tanaman merupakan seperangkat prinsip moral dan tanggung jawab profesional yang menjadi landasan dalam seluruh proses pengembangan varietas tanaman. Etika ini berfungsi untuk memastikan bahwa kegiatan pemuliaan tidak hanya berorientasi terhadap peningkatan produktivitas dan keuntungan ekonomi, namun juga memperhatikan dampak sosial, lingkungan, dan budaya. Dalam konteks pembangunan pertanian berkelanjutan etika pemuliaan tanaman memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan anatar kemajuan teknologi dan kepentingan masyarakat.

Salah satu prinsip utama dalam etika pemuliaan tanaman adalah tanggung jawab terhadap lingkungan. Pemulia tanaman dituntut untuk mempertimbangkan potensi dampak jangka panjang dari varietas yang dikembangkan, termasuk risiko terhadap keanekaragaman hayati, stabilitas ekosistem, dan keberlanjutan sumber daya alam. Pengembangan varietas unggul seharusnya tidak mendorong terjadinya erosi genetik atau ketergantungan berlebihan pada input tertentu yang dapat merugikan lingkungan dan petani dalam jangka panjang.

Aspek etika lainnya berkaitan dengan tanggung jawab social dan keadilan. Pemuliaan tanaman idealnya memberikan manfaat yang merata, khususnya bagi petani dan masyarakat lokal. Dalam konteks Indonesia, etika pemuliaan tanaman menuntut penghargaan terhadap pengetahuan tradisional dan

peran petai sebagai pengelola dan pelestari plasma nutfah lokal. Pemanfaatan varietas lokal sebagai bahan pemuliaan seharusnya dilakukan dengan menghormati hak dan kontribusi komunitas asal, serta tidak mengabaikan kepentingan ekonomi dan social.

Etika dalam pemuliaan tanaman juga mencakup kejujuran dan integritas. Pada setiap tahapan penelitian, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pelaporan hasil, harus dilakukan secara obyektif, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan. Manipulasi data, klaim berlebihan terhadap keunggulan varietas, atau mengabaikan faktor risiko merupakan pelanggaran etika yang dapat merugikan kepercayaan publik terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi pertanian. Dalam praktik pemuliaan modern, isu etika juga terkait dengan penggunaan bioteknologi dan rekayasa genetic. Meskipun teknologi ini menawarkan peluang besar untuk meningkatkan ketahanan dan produktivitas tanaman, penerapannya harus disertai dengan pertimbangan etis, termasuk aspek keamanan, penerimaan masyarakat, serta kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku. Di Indonesia, etika pemuliaan tanaman menuntut agar pengembangan varietas berbasis teknologi maju tetap sejalan dengan nilai-nilai social, budaya, dan agama yang ada di masyarakat.

Secara kelembagaan, penerapan etika dalam pemuliaan tanaman tercermin dalam kepatuhan terhadap perundang-undangan, kode etik profesi, serta mekanisme pengawasan dan evaluasi. Lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan sektor swasta memiliki tanggung jawab untuk menanamkan nilai-nilai etika kepada peneliti dan pemulia tanaman melalui Pendidikan, pelatihan, dan budaya kerja yang menjunjung tinggi tanggung jawab ilmiah dan social. Dengan demikian,

etika dalam pemuliaan tanaman merupakan fondasi penting yang memastikan bahwa inovasi serta varietas tanaman tidak hanya unggul secara teknis tetapi juga bermanfaat, adil, dan berkelanjutan. Pemahaman dan penerapan prinsip etika yang konsisten akan memperkuat peran pemuliaan tanaman dalam mendukung ketahanan pangan, kesejahteraan petani, dan pelestarian lingkungan di Indonesia.

9.6 Prosedur Pendaftaran dan Pelepasan Varietas

Prosedur pendaftaran varietas lokal dan pelepasan varietas merupakan bagian dari sistem pengaturan perbenihan nasional yang dikoordinasikan oleh Direktorat Jenderal Perlindungan Varietas Tanaman dan Perizinan Pertanian (Ditjen PVTPP). Prosedur ini bertujuan untuk memberikan pengakuan resmi terhadap varietas tanaman serta menjamin bahwa varietas yang beredar memiliki identitas yang jelas, mutu yang terjamin, dan manfaat bagi pengguna.

Pendaftaran varietas lokal dilakukan terhadap varietas yang telah lama dibudidayakan oleh masyarakat dan berkembang secara alami di wilayah tertentu. Proses pendaftaran diawali dengan pengajuan permohonan kepada Ditjen PVTPP yang dilengkapi dengan data identitas varietas, asal usul, deskripsi morfologi, serta informasi wilayah sebaran dan pemanfaatannya. Selanjutnya dilakukan verifikasi administrasi dan teknis untuk memastikan bahwa varietas tersebut benar merupakan varietas lokal dan bukan hasil pemuliaan baru. Varietas yang memenuhi persyaratan kemudian dicatat dalam daftar varietas lokal sebagai bentuk pengakuan dan perlindungan terhadap keberadaan varietas tersebut.

Pelepasan varietas dilakukan terhadap varietas hasil pemuliaan tanaman yang akan diedarkan dan dimanfaatkan secara luas. Prosedur pelepasan diawali dengan pengajuan permohonan pelepasan oleh pemulia atau institusi pemuliaan, disertai dokumen deskripsi varietas dan hasil pengujian. Varietas calon dilepas harus melalui uji adaptasi dan uji keunggulan untuk menilai keseragaman, kestabilan, serta keunggulan dibandingkan varietas pembanding. Hasil pengujian tersebut dievaluasi oleh tim penilai pelepasan varietas. Apabila memenuhi kriteria yang ditetapkan, varietas ditetapkan sebagai varietas unggul dan dilepas secara resmi oleh pemerintah.

Dalam pelaksanaannya, pendaftaran varietas lokal dan pelepasan varietas memerlukan koordinasi antara pemulia, lembaga penelitian, pemerintah daerah, serta instansi teknis terkait. Kelengkapan data, keakuratan deskripsi varietas, dan kepatuhan terhadap ketentuan yang berlaku menjadi faktor penting dalam kelancaran proses tersebut. Oleh karena itu, pemahaman yang baik terhadap prosedur ini sangat diperlukan agar tidak terjadi kesalahan administrasi maupun sengketa terkait status varietas di kemudian hari.

Dalam konteks etika pemuliaan tanaman, prosedur pendaftaran varietas lokal dan pelepasan varietas menuntut tanggung jawab pemulia untuk menghormati hak masyarakat atas varietas lokal, menghindari klaim yang tidak sah, serta memastikan bahwa varietas yang dilepas memberikan manfaat nyata bagi petani, konsumen, dan keberlanjutan sistem pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- AAK. 1995. *Budidaya Tanaman Padi*. Edisi Keempat. Yogyakarta: Kanisius.
- Ardaniah dan Oktavia A.R, A. 2023. Laporan Praktikum Uji Tingkat Kematangan Buah Terhadap Viabilitas Benih Tomat (*Lycopersicum esculentum* L.), Paser: Fakultas Pertanian dan Bisnis Digital, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur
- Justice, Oren L. dan Bass, LouisN. 2002. *Prinsip dan Praktek Penyimpanan Benih*. Edisi Ketiga. Jakarta: Raja Grafindo Perkasa.
- Oshin Y.S, A. 2021. Uji Tetrazolium dan Daya Kecambah Benih Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Anjasmoro dan Biosoy 2. <https://doi.org/10.35326/agribisnis.v5i2.1651>
- Purwasanmito, M. dan Sutaryat, A. 2012. *Padi SRI Organik Indonesia*. Jakarta: Swadaya.
- Purwono dan Purnamawati, H. 2011. *Budidaya 8 Jenis Tanaman Pangan Unggulan*. Edisi Keenam. Jakarta: Swadaya.
- Sutopo, L. 1998. *Teknologi Benih*. Edisi Keempat. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Atanassova, A. and Keiper, F. (2018) "Plant breeding innovation: A global regulatory perspective," *Cereal Chemistry*, 95. doi: 10.1002/cche.10021.
- Blakeney, M. (2016) "Agricultural Innovation: Patenting and Plant Variety Rights Protection," in *International Food Law and Policy*, pp. 145–176. doi: 10.1007/978-3-319-07542-6_6.
- Butler, L. (2002) "Conflicts in intellectual property rights of genetic resources: implications for agricultural biotechnology.," in, pp. 17–29. doi:

- 10.1079/9780851996189.0017.
- Doggalli, G. *et al.* (2023) "Exploring the Future of Plant Breeding: Advancements and Challenges," 35, pp. 49–55.
- Girard, F. and Christine, F. (2018) *The Commons, Plant Breeding and Agricultural Research Challenges for Food Security and Agrobiodiversity*.
- Natarajan, S. (2010) "Plant genetic resources conservation and use in light of recent policy developments," *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1.
- Dirjen HKI(2023)"Modul Penunjang Kurikulum Kekayaan Intelektual Perlindungan Varietas Tanaman" pp. 1–63.
- Staub, J., Gabert, A. and Wehner, T. (1996) "Plant Variety Protection: A Consideration of Genetic Relationships," *HortScience*, 31. doi: 10.21273/HORTSCI.31.7.1086.
- Yu, J.-K. and Chung, Y. S. (2021) "Plant Variety Protection: Current Practices and Insights," *Genes*, 12, p. 1127. doi: 10.3390/genes12081127.

BAB 10

PENERAPAN PEMULIAAN TANAMAN PADA TANAMAN TERTENTU

Rika Miftakhul Jannah, S.P., M.Si.

10.1 Konsep Dasar Penerapan Pemuliaan Tanaman Spesifik Komoditas

Pemuliaan tanaman (*plant breeding*) adalah ilmu terapan yang bertujuan memperbaiki susunan genetik tanaman untuk menghasilkan varietas baru yang lebih unggul dalam hal produktivitas, kualitas, dan adaptasi terhadap lingkungan serta kebutuhan pasar. Ilmu ini bukan hanya berkutat pada teknik persilangan, tetapi juga memahami kebutuhan spesifik dari setiap komoditas tanaman berdasarkan karakter biologis dan tujuan agronomi yang berbeda-beda.

Penerapan pemuliaan tidak bersifat homogen untuk semua jenis tanaman. Faktor seperti sistem reproduksi, siklus hidup, dan karakter genetik spesifik memengaruhi pemilihan strategi pemuliaan. Faktor yang perlu diperhatikan meliputi:

10.1.1 Sistem Reproduksi (Menyerbuk Sendiri vs Silang)

Tanaman menyerbuk sendiri (misalnya padi) umumnya memerlukan teknik pemuliaan yang fokus pada pengembangan galur murni (*pure lines*) dan pemanfaatan *male sterility* untuk menghasilkan hibrida yang unggul. Penggunaan *male sterility* sangat penting dalam produksi benih hibrida untuk meningkatkan efisiensi persilangan pada spesies yang secara alami tidak mudah bersilangan.

Tanaman dengan penyerbukan silang (misalnya jagung) dapat memanfaatkan *heterosis* (vigor hibrida) yang signifikan. Metode hibridisasi dengan pemilihan kelompok heterotik menjadi strategi sentral untuk mencapai hasil seragam yang unggul.

10.1.2 Siklus Hidup

Siklus hidup tanaman dapat berupa tahunan (*annual*), dua tahunan (*biennial*), atau tahunan panjang/perennial (*perennial*). Perbedaan ini memengaruhi lamanya waktu yang dibutuhkan untuk merakit varietas baru serta desain program seleksi.

Tanaman tahunan dengan siklus hidup pendek (misalnya padi, kedelai) memungkinkan percepatan generasi dan seleksi yang lebih cepat karena dapat ditanam beberapa kali dalam setahun. Variasi genetik biasanya diperoleh dari persilangan buatan, mutasi, atau introduksi plasma nutfah.

Tanaman perennial (misalnya kakao, kopi, kelapa sawit) memiliki periode juvenil panjang dan umumnya menunjukkan tingkat heterozigositas tinggi. Variasi genetik pada kelompok ini sering kali sangat luas, namun proses seleksi memerlukan waktu lama. Oleh karena itu, pemuliaan sering dikombinasikan dengan seleksi klonal dan teknik perbanyakan vegetatif untuk mempertahankan kombinasi gen unggul.

Tanaman vegetatif (seperti pisang, kentang, dan aneka umbi-umbian), variasi genetik dalam satu klon relatif rendah karena diperbanyak secara aseksual. Namun, secara populasi, variasi dapat tetap tinggi apabila berasal dari sumber genetik berbeda. Strategi pemuliaan pada tanaman ini sering memanfaatkan mutasi, hibridisasi awal yang kemudian diikuti seleksi klonal, atau teknik bioteknologi seperti kultur jaringan

dan marka molekuler untuk memperluas dan mengidentifikasi variasi genetik.

10.1.3 Karakter Variasi Genetik

Karakter variasi genetik dalam suatu spesies sangat menentukan pendekatan seleksi yang digunakan. Beberapa aspek penting meliputi:

- Tingkat heterozigositas: Spesies dengan heterozigositas tinggi cenderung menunjukkan segregasi luas pada keturunan, sehingga seleksi populasi dan hibridisasi lebih efektif.
- Heritabilitas: Karakter dengan heritabilitas tinggi (misalnya tinggi tanaman atau warna bunga) lebih mudah diperbaiki melalui seleksi langsung. Sebaliknya, sifat dengan heritabilitas rendah (misalnya hasil) sangat dipengaruhi lingkungan sehingga memerlukan uji multilokasi.
- Jenis pengendalian genetik: Karakter monogenik (dikendalikan satu gen) lebih mudah diseleksi dibandingkan poligenik yang dikendalikan banyak gen dengan efek kecil.
- Interaksi genotipe \times lingkungan (G \times E): Variasi respons genotipe terhadap lingkungan menentukan apakah seleksi diarahkan pada adaptasi spesifik atau stabilitas luas.

Tujuan pemuliaan tanaman tidak hanya mengejar produktivitas, tetapi juga *value-added traits* yang relevan untuk setiap jenis komoditas. Tujuan disesuaikan dengan kebutuhan agronomi, mutu produk, dan preferensi pasar seperti:

- Tanaman pangan strategis biasanya berfokus pada hasil tinggi, stabilitas produksi, toleransi terhadap cekaman lingkungan, dan ketahanan terhadap hama/penyakit.
- Tanaman hortikultura menambahkan parameter mutu konsumsi, warna, ukuran, rasa, dan umur simpan sebagai bagian dari nilai tambah terhadap konsumen.
- Tanaman perkebunan memiliki siklus panen yang panjang sehingga stabilitas dan adaptasi pada lingkungan spesifik menjadi kunci utama.

Penerapan pemuliaan tanaman merupakan hasil integrasi antara karakter biologis tanaman, tujuan pemuliaan, dan lingkungan tumbuh, yang akhirnya menghasilkan varietas unggul spesifik komoditas. Tahapan pemuliaan tanaman hingga pelepasan varietas unggul disajikan pada Gambar 1.



Gambar 10.1 Tahapan pemuliaan tanaman

Pemuliaan tanaman melibatkan beberapa komponen inti yang saling terkait:

1. Pengembangan Populasi dan Variasi Genetik

Pengembangan populasi unggul di awal program pemuliaan merupakan langkah penting untuk memastikan adanya variabilitas genetik yang cukup. Hal ini bertujuan memilih genotipe terbaik untuk karakter yang diinginkan.

2. Seleksi dan Heritabilitas

Seleksi dilakukan untuk memilih individu yang menunjukkan hasil terbaik terhadap karakter tertentu. Nilai heritabilitas memberikan gambaran sejauh mana suatu sifat dapat diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya, sehingga sangat menentukan efektivitas seleksi dalam program pemuliaan.

Heritabilitas dibedakan menjadi dua konsep utama, yaitu heritabilitas arti luas (*broad-sense heritability*) dan heritabilitas arti sempit (*narrow-sense heritability*). Perbedaan heritabilitas arti luas dan sempit disajikan dalam Tabel 1.

3. Peran Teknologi Modern dalam Pemuliaan

Integrasi teknologi molekuler dan digital semakin mempercepat proses pemuliaan. Teknik seperti *marker-assisted selection (MAS)*, *gene pyramiding*, dan pendekatan *genomic selection* telah meningkatkan efisiensi pengembangan varietas baru.

Tabel 10.1 Perbedaan utama heritabilitas arti luas dan sempit

Aspek	Heritabilitas Arti Luas (h_{bs}^2)	Heritabilitas Arti Sempit (h_{ms}^2)
Rumus	$h_{bs}^2 = \frac{\sigma^2 g}{\sigma^2 p}$ $\sigma^2 g$ = ragam genetik $\sigma^2 p$ = ragam fenotipe total ($\sigma^2 g + \sigma^2 e$) $\sigma^2 e$ = ragam lingkungan	$h_{ms}^2 = \frac{\sigma^2 a}{\sigma^2 p}$ $\sigma^2 g$ = ragam gen aditif $\sigma^2 p$ = ragam fenotipe total ($\sigma^2 g + \sigma^2 e$)
Komponen genetik	Aditif + dominan + epistasis	Aditif
Makna biologis	Proporsi variasi fenotipe yang disebabkan oleh seluruh efek genetik	Proporsi variasi fenotipe yang diwariskan secara langsung dari tetua ke keturunan
Tujuan utama	Menilai peran genetik total	Memprediksi respons seleksi
Kegunaan	Populasi awal hasil persilangan, tanaman yang diperbanyak secara vegetatif (klonal), studi genetika dasar dan karakterisasi sifat	Seleksi individu pada tanaman menyerbuk sendiri, seleksi famili atau galur, prediksi kemajuan genetik (<i>genetic gain</i>)
Ketepatan untuk seleksi	Terbatas	Tinggi
Pengaruh lingkungan	Tidak dipisahkan	Lebih terkontrol

Penerapan pemuliaan yang efektif menghadapi berbagai tantangan seperti:

- Variabilitas lingkungan dan interaksi *genotype-environment* yang rumit.
- Kebutuhan untuk mengakomodasi lebih dari satu karakter sekaligus (misalnya hasil dan mutu).
- Permintaan pasar yang berubah dengan cepat dan membutuhkan varietas yang responsif terhadap preferensi konsumen.

10.2 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Pangan Strategis

Tanaman pangan strategis menjadi fondasi ketahanan pangan nasional karena sumber karbohidrat pokok dan nilai ekonomi bagi masyarakat luas. Padi (*Oryza sativa* L.), jagung (*Zea mays* L.), dan gandum (*Triticum aestivum* L.) adalah komoditas utama yang mendapatkan prioritas dalam program pemuliaan guna memenuhi kebutuhan pangan domestik dan mengurangi ketergantungan impor di Indonesia. Pendekatan pemuliaan untuk tiap komoditas ini disesuaikan dengan karakter biologi tanaman, dinamika produksi, dan kebutuhan sosial-ekonomi petani serta konsumen. Pemuliaan tanaman pangan strategis memberi kontribusi penting terhadap ketahanan pangan nasional melalui: 1) Peningkatan produktivitas varietas baru yang lebih tinggi dari varietas lokal atau lama; 2) Adaptasi terhadap cekaman biotik maupun abiotik; 3) Diversifikasi varietas dengan karakter agronomi dan konsumsi yang lebih luas; 4) Peran teknologi modern seperti pemuliaan mutasi yang menghasilkan variasi baru yang bermanfaat dalam konteks adaptasi dan produktivitas.

10.2.1 Pemuliaan Padi di Indonesia

Pemuliaan padi di Indonesia fokus pada:

- Produktivitas tinggi dan stabil, untuk meningkatkan produksi gabah nasional.
- Ketahanan terhadap cekaman biotik (hama dan penyakit) dan abiotik (kekeringan, genangan, dan perubahan iklim).
- Mutu konsumsi dan nilai gizi, termasuk sifat pulen, aromatik, maupun kandungan nutrisi tinggi.
- Adaptasi terhadap kondisi lokal dan preferensi petani/konsumen. Pendekatan partisipatif dengan petani telah terbukti meningkatkan relevansi pilihan varietas terhadap lingkungan target.

Pengembangan varietas unggul padi di Indonesia terus berjalan dengan melibatkan lembaga riset dan pemulia nasional. Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian (BRMP) meluncurkan varietas unggul padi biofortifikasi seri *Inpari Nutrizinc AR1, AR2, dan AR3*, yang memiliki tekstur nasi pulen, aromatik, ukuran gabah besar, kandungan zinc tinggi, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit yang baik di berbagai kondisi budidaya (BRPM 2025).

Perakitan varietas padi melalui bioteknologi dan pendekatan molekuler telah menghasilkan puluhan varietas unggul padi yang diharapkan membantu ketahanan pangan dengan produktivitas tinggi dan adaptasi terhadap stres lingkungan, seperti kekeringan atau salinitas tinggi (Sitaresmi et al. 2025). Metode pemuliaan tanaman partisipatif, yang melibatkan langsung petani dalam seleksi varietas unggul, terbukti meningkatkan adopsi varietas dan relevansi hasil pemuliaan terhadap lingkungan pertanian spesifik di Indonesia. Pendekatan ini juga membantu mengidentifikasi

preferensi lokal dan memastikan varietas yang dikembangkan sesuai kebutuhan pengguna akhir.

10.2.2 Pemuliaan Jagung di Indonesia

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan komoditas pangan dan pakan penting dengan karakter penyerbukan silang yang memungkinkan pemanfaatan heterosis secara optimal untuk menghasilkan varietas hibrida produktif. Strategi pemuliaan jagung di Indonesia menekankan: 1) Hasil tinggi dan stabil di berbagai iklim dan musim panen; 2) Toleransi terhadap penyakit utama, seperti hawar daun dan bulai; 3) Adaptasi naungan dan variasi lingkungan tumbuh.

Contoh varietas jagung unggul yang dikembangkan di Indonesia antara lain *JHANA 234* dan *JHANA 333*, varietas hibrida yang memiliki potensi hasil di atas 11 ton/ha, toleran terhadap naungan, dan menunjukkan ketahanan terhadap beberapa penyakit daun penting, yang sekaligus menunjang produktivitas di berbagai lahan pertanian nasional (BRPM 2025).

10.2.3 Pemuliaan Gandum di Indonesia

Gandum bukan tanaman pangan tradisional tropis, namun upaya pemuliaan gandum di Indonesia berperan dalam mengurangi ketergantungan impor serta memperluas basis produksi komoditas strategis nasional. gandum secara ekologis lebih cocok pada zona beriklim empat musim, pemuliaan gandum lokal Indonesia difokuskan pada adaptasi terhadap lingkungan tropis dan produktivitas yang kompetitif di dataran rendah hingga menengah (~200–800 m dpl).

Contoh varietas baru gandum yang diperkenalkan adalah *Guri 7 Agritan* dan *Guri 8 Agritan*, dengan potensi hasil

masing-masing mencapai sekitar 5 ton/ha dan 4,67 ton/ha, serta mampu beradaptasi di ketinggian rendah hingga menengah di Indonesia (BRPM 2025).

10.3 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Hortikultura

Tanaman hortikultura mencakup kelompok komoditas sayuran, buah, dan tanaman hias yang memiliki nilai ekonomi tinggi, siklus produksi beragam, serta orientasi pasar yang sangat kuat. Berbeda dengan pemuliaan tanaman pangan strategis yang umumnya menitikberatkan pada peningkatan hasil dan stabilitas produksi, pemuliaan tanaman hortikultura menuntut keseimbangan antara produktivitas dan mutu produk. Mutu dalam konteks hortikultura mencakup aspek visual, sensorik, nutrisi, serta daya simpan, yang secara langsung memengaruhi penerimaan konsumen dan nilai jual. Oleh karena itu, pendekatan pemuliaan pada kelompok tanaman hortikultura umumnya lebih kompleks karena melibatkan banyak karakter kuantitatif dan kualitatif secara simultan.

Program pemuliaan hortikultura sangat dipengaruhi oleh preferensi pasar dan tren konsumsi. Perubahan selera konsumen terhadap warna, rasa, ukuran, kandungan nutrisi, serta bentuk produk dapat menggeser arah seleksi dalam waktu relatif singkat. Hal ini menyebabkan program pemuliaan hortikultura bersifat dinamis dan adaptif. Selain itu, rantai pasok hortikultura yang melibatkan penyimpanan, transportasi, dan distribusi jarak jauh menuntut adanya perbaikan sifat pascapanen, seperti ketahanan simpan, kekerasan jaringan, dan stabilitas kualitas produk. Dengan demikian, keberhasilan pemuliaan hortikultura tidak hanya

diukur dari performa di lapangan, tetapi juga dari performa produk setelah panen hingga sampai ke konsumen.

Pemuliaan tanaman sayuran umumnya diarahkan pada peningkatan hasil, keseragaman panen, umur genjah, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit utama. Banyak tanaman sayuran memiliki siklus hidup pendek sehingga memungkinkan dilakukannya beberapa generasi seleksi dalam satu tahun. Keuntungan ini menjadikan sayuran sebagai model yang efektif untuk penerapan berbagai metode pemuliaan, baik konvensional maupun modern. Tanaman menyerbuk sendiri seperti tomat dan selada, metode seleksi galur murni dan pedigree digunakan untuk mendapatkan keseragaman genetik yang tinggi. Sementara itu, pada sayuran dengan potensi heterosis yang kuat seperti cabai, mentimun, dan beberapa jenis kubis, pengembangan varietas hibrida menjadi strategi utama untuk meningkatkan vigor, keseragaman, dan produktivitas (Farinati et al. 2023).

Pemuliaan sayuran juga menekankan peningkatan kualitas nutrisi dan sifat fungsional. Biofortifikasi pada sayuran, seperti peningkatan kandungan vitamin, mineral, dan senyawa antioksidan, menjadi salah satu arah pengembangan penting seiring meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pangan sehat. Di sisi lain, ketahanan terhadap penyakit menjadi target utama karena sistem budidaya sayuran intensif sering menghadapi tekanan patogen yang tinggi. Introgresi gen ketahanan dari kerabat liar ke dalam varietas budidaya merupakan pendekatan yang banyak dilakukan, meskipun sering diikuti oleh tantangan *linkage drag* yang memerlukan perbaikan lanjutan melalui backcross dan seleksi berulang (Swarup et al. 2021).

Berbeda dengan sayuran, pemuliaan tanaman buah menghadapi tantangan tambahan berupa periode juvenil yang panjang, tingkat heterozigositas tinggi, dan dominasi perbanyak vegetatif. Tanaman buah tahunan seperti mangga, jeruk, apel, dan kakao memerlukan waktu bertahun-tahun sejak persilangan hingga evaluasi produksi, sehingga satu siklus pemuliaan dapat berlangsung sangat lama. Kondisi ini menyebabkan biaya dan risiko program pemuliaan menjadi lebih tinggi dibanding tanaman semusim. Oleh karena itu, strategi pemuliaan tanaman buah sering menggabungkan hibridisasi terarah dengan seleksi klonal dan evaluasi multi-lokasi serta multi-tahun (Callipo et al. 2025).

Karakter utama yang menjadi sasaran pemuliaan buah meliputi ukuran dan keseragaman buah, rasa dan aroma, kandungan gula, warna kulit dan daging buah, serta ketahanan simpan dan transportasi. Karakter pascapanen menjadi semakin penting karena produk harus mampu mempertahankan kualitas selama distribusi. Selain itu, pemuliaan juga diarahkan pada peningkatan ketahanan terhadap gangguan fisiologis dan penyakit pascapanen. Pemanfaatan plasma nutfah dan kerabat liar sangat penting dalam pemuliaan buah, terutama sebagai sumber gen ketahanan penyakit dan toleransi cekaman lingkungan. Namun demikian, pemanfaatan sumber gen liar memerlukan strategi introgresi bertahap agar karakter mutu komersial tetap terjaga.

Pemuliaan tanaman hias lebih menekankan pada nilai estetika dan kebaruan fenotipe. Karakter yang menjadi fokus seleksi meliputi warna bunga atau daun, pola warna, bentuk dan ukuran organ, arsitektur tanaman, serta ketahanan kesegaran. Berbeda dengan tanaman pangan, keberhasilan

varietas tanaman hias sering ditentukan oleh keunikan dan daya tarik visual, sehingga nilai kebaruan (*novelty value*) menjadi faktor penting. Oleh karena itu, metode pemuliaan yang mampu menghasilkan variasi fenotipe luas dalam waktu singkat sangat diminati pada tanaman hias.

Induksi mutasi melalui radiasi atau bahan kimia telah lama dimanfaatkan dalam pemuliaan tanaman hias untuk menghasilkan variasi warna dan bentuk baru. Selain itu, poliploidisasi juga digunakan untuk meningkatkan ukuran bunga dan intensitas warna. Perkembangan teknik kultur jaringan memperluas peluang seleksi somaklonal dan perbanyak cepat genotipe unggul. Kombinasi antara mutasi, kultur jaringan, dan seleksi visual intensif telah menghasilkan banyak varietas tanaman hias baru dengan karakter unik dan bernilai ekonomi tinggi (Wang et al. 2023).

Perkembangan bioteknologi telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pemuliaan hortikultura modern. Teknologi *marker molekuler* memungkinkan seleksi dini terhadap karakter yang sulit diamati secara fenotipik atau memiliki heritabilitas rendah. *Marker-assisted selection* mempercepat proses seleksi resistensi penyakit dan karakter mutu spesifik. Selain itu, teknik doubled haploid pada beberapa tanaman sayuran mempercepat pembentukan galur murni. Pendekatan *genomic selection* dan *genome editing* mulai diterapkan untuk meningkatkan presisi perbaikan sifat, terutama pada komoditas hortikultura bernilai tinggi. Integrasi pemuliaan konvensional dan molekuler terbukti meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kecepatan perakitan varietas hortikultura unggul (Wang et al. 2018).

Pemuliaan tanaman hortikultura menuntut pendekatan multidimensional yang mengintegrasikan aspek genetik,

agronomi, pascapanen, dan preferensi pasar. Kompleksitas karakter yang ditargetkan menyebabkan strategi pemuliaan harus dirancang secara spesifik untuk setiap komoditas. Integrasi data fenotip presisi, teknologi molekuler, dan pendekatan partisipatif dengan pelaku industri dan konsumen akan semakin menentukan keberhasilan program pemuliaan hortikultura.

10.4 Penerapan Pemuliaan pada Tanaman Perkebunan

Tanaman perkebunan merupakan kelompok komoditas strategis yang berperan penting dalam perekonomian nasional, perdagangan internasional, dan sistem agroindustri. Komoditas seperti kelapa sawit, karet, kopi, kakao, tebu, dan kelapa memiliki karakteristik biologis dan sistem produksi yang berbeda dibanding tanaman semusim. Sebagian besar tanaman perkebunan bersifat tahunan, berumur panjang, dan menunjukkan periode juvenil yang relatif lama sebelum memasuki fase produksi. Kondisi ini menyebabkan program pemuliaan tanaman perkebunan menghadapi tantangan unik, terutama dalam hal lamanya siklus seleksi, kebutuhan lahan uji yang luas, serta biaya evaluasi jangka panjang. Oleh karena itu, strategi pemuliaan pada tanaman perkebunan harus dirancang secara jangka panjang, sistematis, dan berbasis populasi.

Pemuliaan tanaman perkebunan umumnya diarahkan pada peningkatan produktivitas jangka panjang, stabilitas hasil, mutu produk industri, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit utama. Berbeda dengan tanaman hortikultura yang sering berorientasi pada mutu visual dan konsumsi segar, komoditas perkebunan lebih banyak diarahkan pada mutu bahan baku industri, seperti rendemen minyak, kadar

gula, kandungan karet kering, atau mutu biji fermentasi. Selain itu, efisiensi panen, keseragaman pertumbuhan, dan respons terhadap sistem budidaya intensif juga menjadi target penting. Dalam konteks perubahan iklim, toleransi terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan suhu tinggi semakin menjadi prioritas dalam program pemuliaan perkebunan modern.

Tanaman perkebunan memiliki tingkat heterozigositas yang tinggi, terutama pada spesies menyerbuk silang. Kondisi ini menghasilkan keragaman genetik luas namun sekaligus menyebabkan ketidakseragaman fenotip jika diperbanyak melalui biji. Oleh karena itu, banyak komoditas perkebunan dikembangkan melalui seleksi klonal, di mana individu unggul hasil seleksi diperbanyak secara vegetatif untuk mempertahankan kombinasi genetik terbaik. Seleksi klonal memungkinkan eksploitasi langsung genotipe superior tanpa perlu menunggu fiksasi genetik melalui beberapa generasi, sehingga sangat efisien untuk tanaman tahunan (Acquaah 2012).

Komoditas kelapa sawit, misalnya, program pemuliaan difokuskan pada peningkatan produksi tandan buah segar, rendemen minyak, serta efisiensi penggunaan lahan. Sistem pemuliaan kelapa sawit banyak memanfaatkan persilangan antara tipe dura dan pisifera untuk menghasilkan tipe tenera yang memiliki ketebalan cangkang lebih tipis dan potensi rendemen minyak lebih tinggi. Program seleksi dilakukan melalui uji progeni jangka panjang dan evaluasi multi-lokasi untuk memastikan stabilitas performa. Selain produktivitas, ketahanan terhadap penyakit seperti busuk pangkal batang juga menjadi target penting dalam pemuliaan sawit modern.

Komoditas karet, sasaran pemuliaan mencakup peningkatan produksi lateks, kecepatan aliran getah, ketahanan terhadap penyakit gugur daun, serta adaptasi terhadap kondisi lingkungan suboptimal. Umur ekonomis tanaman karet sangat panjang, sehingga keputusan seleksi harus didasarkan pada data evaluasi bertahun-tahun. Kombinasi antara seleksi populasi, uji klon, dan evaluasi agronomi intensif menjadi pendekatan utama. Penggunaan marka molekuler mulai dikembangkan untuk membantu seleksi dini karakter produksi dan ketahanan penyakit.

Pemuliaan kopi dan kakao menunjukkan karakteristik tersendiri karena kedua komoditas ini sangat dipengaruhi oleh mutu biji dan kualitas cita rasa. Pada kopi, target pemuliaan mencakup produktivitas, ketahanan penyakit karat daun, toleransi cekaman lingkungan, dan kualitas seduhan. Pada kakao, sasaran utama meliputi hasil biji kering, ketahanan terhadap penyakit penting seperti busuk buah, serta mutu fermentasi. Tantangan utama dalam pemuliaan kedua komoditas ini adalah adanya interaksi kuat antara genotipe, lingkungan, dan pengelolaan pascapanen yang secara bersama-sama menentukan mutu akhir produk.

Tanaman tebu sebagai komoditas perkebunan semitahunan memiliki pendekatan pemuliaan yang agak berbeda karena diperbanyak secara vegetatif namun memiliki latar genetik kompleks hasil persilangan antarspesies. Program pemuliaan tebu diarahkan pada peningkatan rendemen gula, biomassa, ketahanan penyakit, dan kemampuan ratoon yang baik. Karena struktur genom tebu sangat kompleks (poliploid dan aneuploid), seleksi fenotipik masih memegang peran besar, meskipun teknologi molekuler mulai dimanfaatkan untuk membantu pemetaan sifat penting.

Lamanya siklus pemuliaan tanaman perkebunan mendorong pemanfaatan teknologi percepatan seleksi. Kultur jaringan digunakan untuk memperbanyak cepat klon unggul dan produksi bahan tanam bebas penyakit. Teknik *marker-assisted selection* membantu identifikasi genotipe potensial pada fase awal pertumbuhan, sehingga mengurangi waktu dan biaya evaluasi lapangan jangka panjang. Selain itu, pendekatan *genomic selection* mulai diperkenalkan pada beberapa komoditas perkebunan untuk meningkatkan akurasi prediksi nilai pemuliaan individu pada umur muda. Integrasi data genotipik dan fenotipik dalam skala besar menjadi arah penting pemuliaan tanaman perkebunan ke depan.

Pemuliaan tanaman perkebunan Indonesia memiliki peran strategis karena banyak komoditas utama dunia diproduksi di wilayah tropis. Keberhasilan program pemuliaan tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada daya saing ekspor, keberlanjutan sistem produksi, dan kesejahteraan petani. Oleh karena itu, program pemuliaan perkebunan modern semakin menekankan pendekatan terpadu yang menggabungkan perbaikan genetik, kesesuaian agroekologi, dan kebutuhan industri hilir. Kolaborasi antara lembaga riset, industri, dan sektor perkebunan rakyat menjadi faktor kunci dalam mempercepat adopsi varietas dan klon unggul di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acquaah, G., 2012, *Principles of plant genetics and breeding*, Wiley-Blackwell.
- BRPM, 2025, *BRMP Luncurkan Delapan Varietas Unggul Baru Perkuat Kemandirian Pangan Nasional*, Bogor.
- Callipo, P., Schmidt, M., Strack, T., Robinson, H., Vasudevan, A. & Voss-Fels, K.P., 2025, 'Harnessing clonal diversity in grapevine: from genomic insights to modern breeding applications', *Theoretical and Applied Genetics*, 138(196), 1–18.
- Cros, D., Denis, M., Sánchez, L., Cochard, B., Flori, A., Durand, T., Bruno, G., Alphonse, N., Virginie, O., Riou, V., Suryana, E. & Jean-Marc, B., 2014, 'Genomic selection prediction accuracy in a perennial crop : case study of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)', *Theor Appl Genet*, 128(3), 397–410.
- Farinati, S., Scariolo, F., Palumbo, F., Vannozzi, A. & Barcaccia, G., 2023, 'Heterosis in horticultural crop breeding: combining old theoretical bases with modern genomic views', *Front. Hortic*, 2(1250875), 1–19.
- Sitairesmi, T., Hairmansis, A., Suwarno, W.B., Daradjat, A.A. & Nugraha, Y., 2025, 'Genetic improvement from 50 years of rice breeding in Indonesia', *Journal of Crop Improvement*, 39(6), 517–543.
- Swarup, S., Cargill, E.J., Crosby, K., Flagel, L., Kniskern, J. & Glenn, K.C., 2021, 'Genetic diversity is indispensable for plant breeding to improve crops', *Crop Science*, 61, 839–852.
- Wang, S., Jeong, B.R., Azadi, P. & Zhao, D., 2023, *Advances in genetics and molecular breeding of ornamental plants*,

Frontiers Media SA, Lausanne.

Wang, X., Xu, Y., Hu, Z. & Xu, C., 2018, 'Genomic selection methods for crop improvement: Current status and prospects', *The Crop Journal*, 6(4), 330–340.

BAB 11

TANTANGAN DAN PELUANG DI MASA DEPAN

Zulfa Az Zahroh, S.P., M.Sc

Peran strategis pemuliaan tanaman dalam konteks ketahanan pangan global di masa depan akan semakin kompleks, meliputi perubahan iklim, dinamika lingkungan, pertumbuhan penduduk, serta meningkatnya tuntutan terhadap ketahanan pangan dan keberlanjutan sistem pertanian. Pemuliaan tanaman tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan hasil, tetapi juga dituntut mampu menghasilkan varietas yang adaptif terhadap cekaman abiotik dan biotik, efisien dalam pemanfaatan sumber daya, serta sesuai dengan kebutuhan sosial, ekonomi, dan ekologi. Kondisi tersebut menempatkan pemuliaan tanaman sebagai disiplin ilmu strategis yang harus terus berkembang seiring dengan perubahan zaman.

Di sisi lain, pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membuka peluang besar bagi pemuliaan tanaman untuk bertransformasi menuju pendekatan yang lebih presisi, cepat, dan berkelanjutan. Integrasi antara metode pemuliaan konvensional dengan teknologi molekuler, genomik, bioteknologi, serta pemanfaatan data dan kecerdasan buatan memberikan ruang inovasi yang luas dalam pengembangan varietas unggul masa depan. Oleh karena itu, bab ini menguraikan berbagai tantangan utama yang dihadapi pemuliaan tanaman sekaligus menyoroti peluang dan arah pengembangannya, sebagai dasar

pemahaman bagi pembaca dalam melihat peran pemuliaan tanaman dalam menjawab kebutuhan pertanian dan pangan di masa depan.

11.1 Tantangan Pemuliaan Tanaman

11.1.1 Perubahan Iklim dan Cekaman Lingkungan

Pengembangan varietas tanaman di masa depan harus memperhatikan faktor perubahan iklim dan cekaman lingkungan yang terjadi, seperti peningkatan suhu global dan perubahan pola curah hujan, cekaman abiotik (kekeringan, sinitas, banjir, suhu ekstrem), maupun dinamika organisme pengganggu tanaman (OPT). Hal ini bertujuan untuk menghasilkan varietas tanaman yang adaptif dan mampu bertahan pada kondisi suboptimal, maupun bertahan dalam sistem budidaya minim input air, pupuk dan pestisida.

Pada kondisi lingkungan tanam yang tercemar dan iklim ekstrem, maka tanaman harus dirancang untuk memiliki kemampuan bertahan pada lingkungan tercemar dengan mekanisme avoidance atau escape. Mekanisme ini sangat penting karena stresor lingkungan seperti polutan udara, logam berat memberikan dampak pada fisiologi tanaman yang menyebabkan berkurangnya pertumbuhan dan produktivitas (H. A. Awaad, 2021; Husen, 2021; Mall et al., 2022). Tanaman akan menunjukkan berbagai respon terhadap polusi, seperti perubahan pertukaran gas, jalur biokimia, dan produksi antioksidan yang membantu mengurangi kerusakan dari spesies oksigen reaktif (Husen, 2021).

Selain itu, dalam menghadapi isu pemanasan global dan upaya dekarbonisasi pada sistem pertanian, maka varietas yang digunakan dalam budidaya adalah varietas yang memiliki kemampuan toleransi terhadap pengairan terbatas,

atau minim penggunaan pupuk dan pestisida, sehingga akan menekan jejak karbon pada proses budidaya. Sebagai contoh perakitan padi Green Super Rice (GSR) bertujuan untuk menghasilkan padi dengan produktivitas tinggi namun minim input (Susanto et al., 2017).

11.1.2 Penyempitan Keragaman Genetik

Penyempitan keragaman genetik terjadi karena penggunaan varietas unggul secara luas dan berulang yang megarah pada mengarah pada pemilihan varietas dalam jumlah terbatas. Praktik budidaya yang bertumpu pada sejumlah kecil varietas berdaya hasil tinggi menyebabkan dominasi genotipe tertentu, sehingga mengurangi variasi genetik dalam agroekosistem. Tren ini diperburuk oleh praktik pertanian industri yang mendukung monokultur. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan risiko kerentanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit serta perubahan lingkungan, tetapi juga membatasi sumber alel potensial yang dibutuhkan untuk perbaikan sifat adaptif di masa depan (Aoun, 2024; Mudhale & Alekya, 2025). Penelitian pada kultivar gandum menunjukkan penurunan yang signifikan dalam keragaman genetik dan variasi alelik dari waktu ke waktu selama proses pemuliaan yang bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu (L. Meng et al., 2018).

Selain itu, erosi plasma nutfah juga terjadi akibat berkurangnya pemanfaatan varietas lokal dan hilangnya habitat alami kerabat liar tanaman. Varietas lokal dan spesies liar sesungguhnya menyimpan kekayaan genetik penting, termasuk gen-gen toleransi terhadap cekaman abiotik dan ketahanan terhadap organisme pengganggu tanaman. Hilangnya keanekaragaman genetik membahayakan

ketahanan tanaman, terutama dalam menghadapi perubahan iklim, karena kumpulan gen yang beragam sangat penting untuk adaptasi terhadap tekanan dan kondisi baru (Khalid & Amjad, 2018; Otsuki, 2022).

Penyempitan keragaman genetik ini menuntut strategi pemuliaan yang lebih berkelanjutan, antara lain melalui konservasi sumber daya genetik secara *in situ* dan *ex situ*, eksplorasi serta karakterisasi plasma nutfah, dan integrasi keragaman genetik tersebut ke dalam program pemuliaan untuk memperluas basis genetik varietas unggul yang dikembangkan (Aoun, 2024; Otsuki, 2022).

11.1.3 Kompleksitas Sifat Kuantitatif

Kompleksitas sifat kuantitatif dalam pemuliaan tanaman muncul dari sifat poligeniknya, dimana banyak gen dengan efek kecil berkontribusi pada sifat-sifat seperti hasil, toleransi cekaman, dan efisiensi penggunaan hara, dikendalikan oleh banyak gen dengan efek kecil serta sangat dipengaruhi oleh lingkungan (Chivatá-Peña et al., 2023; da Silva et al., 2017). Interaksi antara genotipe dan lingkungan ($G \times E$) menyebabkan ekspresi sifat kuantitatif bersifat tidak stabil dan bervariasi antar lokasi maupun musim, sehingga menyulitkan proses seleksi yang konsisten dan akurat (Rafalski, 2017). Selain itu, keterkaitan antar sifat melalui korelasi genetik sering menimbulkan trade-off, misalnya antara peningkatan hasil dengan ketahanan terhadap cekaman, yang menuntut pemulia untuk melakukan kompromi dalam menetapkan tujuan pemuliaan.

Di sisi lain, keterbatasan pendekatan seleksi konvensional dalam menangkap kompleksitas sifat kuantitatif mendorong perlunya metode pemuliaan yang lebih maju dan terintegrasi

(Sharanabasappa et al., 2022). Pemanfaatan pendekatan statistik dan komputasi modern, seperti seleksi berbasis genom dan analisis data fenotipe multilingkungan, memberikan peluang untuk meningkatkan ketepatan prediksi nilai genetik suatu genotipe (Chivatá-Peña et al., 2023; Rafalski, 2017). Dengan demikian, pemahaman yang mendalam terhadap arsitektur genetik sifat kuantitatif serta integrasi data genetik, fenotipik, dan lingkungan menjadi kunci dalam mengatasi kompleksitas tersebut dan meningkatkan efisiensi program pemuliaan tanaman di masa depan.

11.1.4 Keterbatasan Sumber Daya dan Infrastruktur

Keterbatasan sumber daya dan infrastruktur merupakan faktor penting untuk keberlanjutan program pemuliaan tanaman, terutama karena kegiatan pemuliaan tanaman bersifat jangka panjang, memerlukan investasi keberlanjutan, serta melibatkan tahapan penelitian yang kompleks dari hulu ke hilir. Keterbatasan pendanaan sering berdampak pada terbatasnya jumlah materi genetik yang dapat dievaluasi, sempitnya cakupan uji multilokasi, serta lambatnya adopsi teknologi mutakhir seperti fasilitas genomik, fenomik, dan analisis data skala besar. Kondisi ini dapat menghambat lanju inovasi dan menurunkan daya saing hasil pemuliaan.

Selain aspek pendanaan, keterbatasan infrastruktur fisik dan sumber daya manusia juga menjadi kendala penting. Fasilitas penelitian yang belum memadai, akses terbatas terhadap laboratorium berteknologi tinggi, serta kurangnya tenaga pemulia yang memiliki kompetensi lintas disiplin, mulai dari genetika, bioteknologi, hingga ilmu data, menyulitkan implementasi pemuliaan tanaman modern.

Sebagai contoh, integrasi mekanisme resistensi genetik, seperti CRISPR-Cas9 dan teknologi multi-omics, penting untuk mengembangkan tanaman unggul yang dapat menahan tekanan biotik dan abiotik, sehingga meningkatkan ketahanan pangan di tengah tantangan perubahan iklim (Paul et al., 2025; Ugandhar, 2025).

Oleh karena itu, penguatan infrastruktur riset, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta pengembangan kolaborasi antarlembaga dan lintas negara menjadi strategi penting untuk mengatasi keterbatasan tersebut dan memastikan keberlanjutan serta efektivitas program pemuliaan tanaman di masa depan.

11.1.5 Tantangan Regulasi dan Penerimaan Publik

Tantangan regulasi dan penerimaan publik menjadi aspek penting yang memengaruhi arah dan kecepatan pengembangan pemuliaan tanaman, khususnya yang memanfaatkan bioteknologi modern. Regulasi yang ketat terhadap tanaman hasil rekayasa genetik dan teknologi pengeditan gen bertujuan untuk menjamin keamanan hayati, kesehatan manusia, dan kelestarian lingkungan, namun dalam praktiknya sering memerlukan proses perizinan yang panjang, kompleks, dan berbiaya tinggi. Kondisi ini dapat memperlambat adopsi inovasi pemuliaan serta membatasi akses pemulia terhadap teknologi yang berpotensi meningkatkan efisiensi dan ketepatan perbaikan genetik (Singh et al., 2020; Van Hove & Gillund, 2017).

Di sisi lain, penerimaan publik terhadap varietas hasil pemuliaan modern masih dipengaruhi oleh persepsi risiko, isu etika, serta tingkat pemahaman masyarakat terhadap ilmu pengetahuan di balik teknologi tersebut. Kurangnya

komunikasi ilmiah yang efektif dan transparan dapat menimbulkan resistensi sosial, meskipun produk yang dihasilkan memiliki manfaat agronomis dan lingkungan yang signifikan. Kemajuan pesat dalam teknologi pengeditan gen, seperti CRISPR-Cas9, menyoroti perlunya kerangka kerja peraturan yang tepat dan keterlibatan publik untuk memfasilitasi adopsi yang meluas (Fahrenkamp-Uppenbrink, 2017). Oleh karena itu, selain penguatan kerangka regulasi yang adaptif dan berbasis sains, diperlukan upaya edukasi dan komunikasi publik yang berkelanjutan agar inovasi pemuliaan tanaman dapat diterima secara luas dan dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung ketahanan pangan dan pertanian berkelanjutan.

11.2 Peluang Pengembangan Pemuliaan Tanaman

11.2.1 Integrasi Teknologi Molekuler dan Genomik

Integrasi metode pemuliaan konvensional, yang melibatkan pemilihan dan persilangan tanaman dengan sifat yang diinginkan, dilengkapi dengan teknik modern seperti pemuliaan molekuler, pengeditan gen dan teknologi omik, mampu meningkatkan presisi dan kecepatan pengembangan varietas tanaman (Gonal et al., 2023; Prabhu & Krishna, 2023). Integrasi metodologi ini memungkinkan pemulia untuk memanfaatkan keragaman genetik secara efektif (Badjakov et al., 2017; Saxena, 2022).

Integrasi teknologi molekuler dan genomik membuka peluang besar dalam meningkatkan efisiensi dan ketepatan program pemuliaan tanaman. Pemanfaatan penanda molekuler memungkinkan identifikasi alel atau lokus yang berasosiasi dengan sifat agronomis penting, sehingga seleksi dapat dilakukan sejak fase awal pertumbuhan tanpa harus

menunggu ekspresi fenotipe secara penuh. Pendekatan seleksi berbantuan marker (*marker-assisted selection*, MAS) telah terbukti mempercepat perakitan varietas unggul, khususnya untuk sifat-sifat yang sulit diamati secara langsung atau sangat dipengaruhi oleh lingkungan, seperti ketahanan terhadap penyakit dan toleransi cekaman abiotik. Penanda molekuler seperti SSR, RAPD, dan SNP memfasilitasi seleksi yang memungkinkan pemulia memilih sifat yang diinginkan secara efisien dan efektif pada tahap pembibitan, sehingga mempercepat proses pemuliaan (Hossain et al., 2020; Kumar et al., n.d.; M. Meng et al., 2021).

Lebih lanjut, perkembangan teknologi genomik, termasuk pemetaan genom dan analisis sekuens skala besar, memungkinkan penerapan seleksi berbasis genom (*genomic selection*) yang mempertimbangkan kontribusi simultan banyak gen terhadap sifat kuantitatif. Pendekatan ini meningkatkan akurasi prediksi nilai genetik dan memperpendek siklus seleksi dalam pemuliaan tanaman (Igwe, 2021; Kadirvel et al., 2015). Integrasi data genomik dengan informasi fenotipe dan lingkungan juga membuka peluang pengembangan strategi pemuliaan yang lebih adaptif dan presisi, sehingga varietas yang dihasilkan tidak hanya unggul secara genetik, tetapi juga stabil dan sesuai dengan kebutuhan agroekosistem masa depan.

11.2.2 Pemuliaan Presisi dan Digital Breeding

Pemuliaan presisi dan *digital breeding* merupakan pendekatan inovatif yang memanfaatkan kemajuan teknologi sensor, otomasi, dan komputasi untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi proses pemuliaan tanaman (Naresh et al., 2024; Salgado et al., 2025). Penggunaan teknologi fenomik beresolusi

tinggi, baik di lapangan maupun di lingkungan terkendali, memungkinkan pengukuran karakter tanaman secara cepat, objektif, dan berulang pada berbagai fase pertumbuhan. Data fenotipe yang dihasilkan dalam jumlah besar dan bersifat dinamis ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa genotipe, terutama dalam merespons variasi lingkungan dan cekaman. Mengintegrasikan genomik dan bioinformatika dapat memfasilitasi analisis dan seleksi sifat yang cepat, yang mempercepat siklus pemuliaan dan meningkatkan ketahanan dan kualitas tanaman (Reddy et al., 2023).

Selain itu, integrasi *digital breeding* dengan kecerdasan buatan, *machine learning*, dan pemodelan prediktif memungkinkan analisis data multiskala yang kompleks, mencakup informasi genetik, fenotipik, dan lingkungan secara simultan. Pendekatan ini mendukung pengambilan keputusan seleksi yang lebih tepat serta mempercepat identifikasi genotipe unggul dengan stabilitas tinggi (Tripodi et al., 2022). Dengan demikian, pemuliaan presisi tidak hanya memperpendek siklus pemuliaan, tetapi juga meningkatkan peluang keberhasilan dalam menghasilkan varietas yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan sesuai dengan tuntutan pertanian masa depan.

11.2.3 Bioteknologi dan Pengeditan Gen

Perkembangan bioteknologi dan teknologi pengeditan gen memberikan peluang transformatif dalam pemuliaan tanaman dengan tingkat ketepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan pendekatan konvensional. Teknologi CRISPR memungkinkan modifikasi genetik secara tepat sehingga perubahan yang ditargetkan akan akurat untuk meningkatkan sifat seperti

ketahanan terhadap penyakit, potensi hasil, dan nilai gizi tanpa pengenalan DNA asing (Gautam & Verma, 2024; Nandavaram, 2024). Pendekatan ini sangat potensial untuk perbaikan sifat-sifat penting, seperti ketahanan terhadap penyakit, toleransi cekaman abiotik, peningkatan kualitas hasil, serta efisiensi penggunaan hara, dengan waktu pengembangan varietas yang relatif lebih singkat.

Selain meningkatkan presisi, bioteknologi dan pengeditan gen juga membuka peluang untuk memanfaatkan informasi genomik secara optimal dalam memecahkan keterbatasan pemuliaan tanaman tradisional, terutama pada sifat kuantitatif dan kompleks (Dhugga, 2022). Namun demikian, keberhasilan penerapan bioteknologi dan pengeditan gen sangat bergantung pada kesiapan regulasi, infrastruktur riset, serta penerimaan publik, sehingga pengembangan teknologi ini perlu diiringi dengan kebijakan yang berbasis sains dan komunikasi yang transparan kepada masyarakat.

11.2.4 Pemanfaatan Plasma Nutfah Lokal dan Spesies Liar

Pemanfaatan plasma nutfah lokal dan spesies liar merupakan peluang strategis untuk memperluas basis genetik dalam program pemuliaan tanaman dan mengatasi keterbatasan keragaman genetik varietas modern. Plasma nutfah lokal yang telah beradaptasi secara alami pada kondisi agroekosistem tertentu sering memiliki sifat-sifat unggul, seperti toleransi terhadap cekaman abiotik, ketahanan terhadap organisme pengganggu tanaman, serta stabilitas hasil pada lingkungan marginal. Sementara itu, kerabat liar tanaman budidaya menjadi sumber alel penting yang jarang ditemukan pada varietas komersial, khususnya gen-gen yang

berperan dalam adaptasi terhadap stres lingkungan ekstrem (Ahtisham et al., 2025; Majeed et al., 2021).

Integrasi plasma nutfah lokal dan spesies liar ke dalam program pemuliaan memerlukan strategi yang terencana, mulai dari eksplorasi, konservasi, karakterisasi genetik dan fenotipik, hingga pemanfaatannya melalui persilangan dan pendekatan molekuler. Upaya konservasi *in situ* dan *ex situ* berperan penting dalam menjaga keberlanjutan sumber daya genetik tersebut sebagai fondasi inovasi pemuliaan di masa depan. Dengan mengoptimalkan pemanfaatan plasma nutfah lokal dan spesies liar, pemuliaan tanaman tidak hanya mampu menghasilkan varietas unggul yang adaptif dan berdaya saing, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian keanekaragaman hayati dan penguatan sistem pertanian berkelanjutan (Abhishek et al., 2024; Majeed et al., 2021).

11.2.5 Pemuliaan Tanaman Berbasis Keberlanjutan

Pemuliaan tanaman berbasis keberlanjutan menempatkan efisiensi sumber daya dan keseimbangan ekosistem sebagai tujuan utama dalam pengembangan varietas unggul masa depan. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada peningkatan hasil, tetapi juga pada kemampuan tanaman untuk memanfaatkan air, hara, dan energi secara lebih efisien, serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap cekaman biotik dan abiotik.

Ketergantungan pada sistem pertanian input tinggi menimbulkan resiko ekologis. Varietas hasil pemuliaan berkelanjutan diharapkan mampu berproduksi optimal pada sistem pertanian berinput rendah, sehingga dapat menekan ketergantungan terhadap pupuk kimia dan pestisida serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pada

konteks pemanfaatan sumber daya genetik, hal ini mengharuskan pemulia bergeser ke praktik pemuliaan tanaman berkelanjutan dengan memanfaatkan keragaman genetik dari plasma nutfah nasional yang ada untuk meningkatkan fenotipe standar dan genotipe aksesori untuk meningkatkan utilitas sumber daya genetik tanaman (Bharadwaj, 2016; Byrne et al., 2018).

Lebih lanjut, pemuliaan tanaman berbasis keberlanjutan berperan penting dalam mendukung sistem pertanian ramah lingkungan dan adaptif terhadap perubahan iklim. Pengembangan varietas yang sesuai untuk pertanian organik, pertanian konservasi, dan sistem agroekologi menjadi bagian dari strategi jangka panjang pemuliaan tanaman. Dengan mengintegrasikan aspek produktivitas, stabilitas hasil, dan kelestarian lingkungan, pemuliaan tanaman berbasis keberlanjutan tidak hanya berkontribusi pada ketahanan pangan, tetapi juga pada keberlanjutan sumber daya alam dan kesejahteraan generasi mendatang.

11.3 Arah dan Strategi Pemuliaan Tanaman di Masa Depan

Arah dan strategi pemuliaan tanaman di masa depan menuntut pendekatan yang lebih holistik, adaptif, dan multidisipliner untuk menjawab kompleksitas tantangan pertanian global. Pemuliaan tanaman tidak lagi dapat berjalan secara terpisah, tetapi perlu mengintegrasikan ilmu genetika, bioteknologi, ekologi, serta ilmu data guna menghasilkan varietas yang unggul, stabil, dan sesuai dengan berbagai kondisi agroekosistem. Strategi pemuliaan juga perlu diarahkan pada pemanfaatan teknologi modern secara selektif dan kontekstual, dengan tetap memperhatikan kearifan lokal,

kebutuhan petani, serta keberlanjutan sistem produksi pertanian.

Selain penguatan pendekatan ilmiah, keberhasilan pemuliaan tanaman di masa depan sangat bergantung pada sinergi antara pemulia, institusi penelitian, pemerintah, dan sektor industri. Pengembangan jejaring kolaborasi nasional dan internasional, dukungan kebijakan yang kondusif, serta investasi berkelanjutan dalam pendidikan dan pengembangan sumber daya manusia menjadi kunci utama dalam merumuskan strategi pemuliaan yang efektif. Dengan arah dan strategi yang tepat, pemuliaan tanaman diharapkan mampu berkontribusi secara signifikan dalam menjaga ketahanan pangan, meningkatkan daya saing pertanian, dan menghadapi tantangan global di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhishek, G. J., Ragi, S., Bhatt, K., & Kumar, R. (2024). Comprehensive Overview of Plant Germplasm Augmentation: Strategies, Techniques and Applications. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27, 1009–1018. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i91371>
- Ahtisham, M., Obaid, Z., Tauseef, M., & Kisana, T. (2025). PREMIER JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE Harnessing Wild Relatives for Crop Improvement: Genetic Resources , Breeding Strategies , and Applications in Enhancing Yield , Quality , and Resilience. *Premier Journal of Environmental Science*, 4(June), 1–7.
- Aoun, M. (2024). Unlocking heirloom diversity: a pathway to bridging global challenges in modern apple cultivation. *Frontiers in Horticulture*, 2, 1268970.
- Awaad, H. A. (2021). *Environmental Pollution Tolerance in Crop Plants BT - Mitigating Environmental Stresses for Agricultural Sustainability in Egypt* (H. Awaad, M. Abubashim, & A. Negm (eds.); pp. 141–173). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64323-2_5
- Badjakov, I., Tsvetkov, I., Dincheva, I., Kondakova, V., & Atanassov, A. (2017). *Future Challenges for the Breeders Struggling the Climatic Changes*. 261–266. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2017.v6n1p261>
- Bharadwaj, D. N. (2016). Sustainable agriculture and plant breeding. In *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits* (pp. 3–34). Springer.

- Byrne, P. F., Volk, G. M., Gardner, C., Gore, M. A., Simon, P. W., & Smith, S. (2018). Sustaining the future of plant breeding: The critical role of the USDA-ARS National Plant Germplasm System. *Crop Science*, *58*(2), 451–468.
- Chivatá-Peña, L. V., Perilla-Henao, L. M., & Soto Sedano, J. C. (2023). Unraveling the Genetic Architecture of Complex Traits in Plants. *Acta Biológica Colombiana*, *28*(3), 350–367.
- da Silva, F. L., de Resende, M. D. V., Ludke, W. H., & Bueno, T. V. (2017). Quantitative Traits in Breeding. In *Soybean Breeding* (pp. 81–112). Springer.
- Dhugga, K. S. (2022). Gene Editing to Accelerate Crop. *Frontiers in Plant Science*, *13*(May), 1–6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.889995>
- Fahrenkamp-Uppenbrink, J. (2017). *Promise and challenges of gene editing*. American Association for the Advancement of Science.
- Gautam, K. K., & Verma, S. B. (2024). Contributions of Crispr and Gene Editing Technologies to Plant Breeding and Biotechnology : Advances , Integrative Approaches , And Future Directions. *Quest Journals*, *11*(7), 22–28. <https://doi.org/10.35629/9459-11072228>
- Gonal, B., Doggalli, G., Kumar, B., Bhushan, S., Surekha, S., Malathi, G., & Singh, L. (2023). Exploring the future of plant breeding: advancements and challenges. *International Journal of Plant & Soil Science*, *35*(24), 49–55.
- Hossain, M. A., Hossen, M. S., & Karim, M. R. (2020). Molecular markers: Indispensable tools for genetic diversity analysis and crop improvement biotechnology. *Int. J. Plant Breed. Crop. Sci*, *7*(1), 613–623.
- Husen, A. (2021). *Morpho-anatomical, Physiological, Biochemical and Molecular Responses of Plants to Air Pollution BT -*

- Harsh Environment and Plant Resilience: Molecular and Functional Aspects* (A. Husen (ed.); pp. 203–234). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65912-7_9
- Igwe, D. O. (2021). Molecular markers: potential facilitators in plant breeding and Germplasm conservation. In *Food security and safety: African perspectives* (pp. 611–646). Springer.
- Kadirvel, P., Senthilvel, S., Geethanjali, S., Sujatha, M., & Varaprasad, K. S. (2015). Genetic markers, trait mapping and marker-assisted selection in plant breeding. In *Plant biology and biotechnology: Volume II: Plant genomics and biotechnology* (pp. 65–88). Springer.
- Khalid, M. N., & Amjad, I. (2018). Study of the genetic diversity of crops in the era of modern plant breeding. *Bulletin of Biological and Allied Sciences Research*, 2018(1), 14.
- Kumar, V., Rangare, N. R., Bhariya, S. K., & Sahu, H. (n.d.). *MARKER ASSISTED SELECTION ENHANCING EFFICIENCY IN PLANT*.
- Majeed, S., Chaudhary, M. T., Hulse-Kemp, A. M., & Azhar, M. T. (2021). *Chapter 1 - Introduction: Crop Wild Relatives in Plant Breeding* (M. T. Azhar & S. H. B. T.-W. G. for G. I. in C. P. Wani (eds.); pp. 1–18). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822137-2.00001-1>
- Mall, A. K., Misra, V., & Pathak, A. D. (2022). *Changing Environment and Crop Plant Breeding BT - Augmenting Crop Productivity in Stress Environment* (S. A. Ansari, M. I. Ansari, & A. Husen (eds.); pp. 105–114). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6361-1_6

- Meng, L., Xiang, C., Liu, H., Yang, L., Mai, C., Yu, L., Wei, Y., Li, H., Zhang, H., & Zhou, Y. (2018). The impact of modern plant breeding on dominant Chinese wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) revealed by SSR and functional markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 65(1), 55–65.
- Meng, M., Hui, Y., Run-Fei, G., Meng, K., Wei, T., Xin, W., Yun-Gang, Z., & Qiang, L. (2021). Construction linkage maps and identification of quantitative trait loci associated with important agronomic traits in purple-fleshed sweetpotato. 47(11). <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2021.04271>
- Mudhale, A., & Alekya, M. (2025). Sowing the Seeds of Security: Unravelling Genetic Diversity for Sustainable Crop Improvement. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(7), 1129–1143.
- Nandavaram, J. R. (2024). CRISPR And Microbial Genomics in Plant Breeding. *Plant Science Review*, 05(02), 14–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.51470/PSR.2024.05.02.14>
- Naresh, R., Singh, N. K., Sachan, P., Kumar, L., & Sahoo, S. (2024). Enhancing Sustainable Crop Production through Innovations in Precision Agriculture Technologies. 30(3), 89–113. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2024/v30i31861>
- Otsuki, H. (2022). *Biodiversity in Plant Breeding*. Elsevier eBooks. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822562-2.00024-4>
- Paul, M., Mahla, J., Upadhyay, D., Das, D., Wankhade, M., Kumar, M., & Lallawmkimi, M. (2025). Integration of genetic resistance mechanisms in sustainable crop breeding programs-a review. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 28(1), 193–211.
- Prabhu, K. R., & Krishna, B. (2023). *A review on conventional and*

- modern breeding approaches for developing climate resilient crop varieties.* 9411, 987–997.
- Rafalski, J. A. (2017). *Biotechnology and bioeconomy of complex traits in crop plants.*
- Reddy, S. N. K., Walia, P., & Sandal, S. S. (2023). *DIGITAL REVOLUTION IN PLANT BREEDING: A COMPREHENSIVE REVIEW OF METHODOLOGIES, TOOLS, APPLICATIONS, AND FUTURE PERSPECTIVES.* 25(4), 629–632.
- Salgado, E. M., Miranda, M. E., Paloma, E., Pérez, A., Alejandra, D., Hernández, F., Alejandra, D., & Hernández, F. (2025). *INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN PRECISION AGRICULTURE.* *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), 5660–5666.
- Saxena, K. (2022). *Emphasis of Plant Breeding in the Climate Impacts.* *Emrg. Trnd. Clim. Chng*, 1(2), 9–16.
- Sharanabasappa, B. Y., Kumari, V., Sharma, R., & Punia, S. S. (2022). *Quantitative Trait Locus (QTL) Mapping in Crop Improvement.* In *Biotechnology and Crop Improvement* (pp. 227–236). CRC Press.
- Singh, J. K. D., Jalaluddin, N. S. M., Sanan-Mishra, N., & Harikrishna, J. A. (2020). *Challenges to the adoption of modern crop biotechnology: Insights from Indian and Malaysian GM regulatory frameworks.* *Malaysian Applied Biology*, 49(5), 1–9.
- Susanto, U., Imamudiin, A., Samaullah, M. Y., Satoto, S., Jamil, A., & Ali, J. (2017). *Keragaan Galur-galur Green Super Rice pada Kondisi Sawah Tadah Hujan Saat Musim Kemarau di Kabupaten Pati.* *Buletin Plasma Nutfah*, 23(1), 41–50. <https://doi.org/10.21082/blpn.v23n1.2017.p41-50>
- Tripodi, P., Nicastro, N., & Pane, C. (2022). *Digital applications*

and artificial intelligence in agriculture toward next-generation plant phenotyping. *Crop & Pasture Science*, 74(6), 597–614. <https://doi.org/10.1071/CP21387>

Ugandhar, T. (2025). Advances in Plant Breeding: Enhancing Crop Productivity, Resilience, and Sustainability Through Modern Techniques. *Science Reviews. Biology*, 3(4), 1–6.

Van Hove, L., & Gillund, F. (2017). Is it only the regulatory status? Broadening the debate on cisgenic plants. *Environmental Sciences Europe*, 29(1), 22.

BIODATA PENULIS



Erina Riak Asie

Erina Riak Asie adalah dosen di bidang ilmu pertanian. Dalam kegiatan akademik, penulis terlibat dalam pengajaran, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat sebagai bagian dari pelaksanaan tridarma perguruan tinggi. Di samping tugas akademik tersebut, penulis secara konsisten berkontribusi dalam penulisan buku ajar dan karya ilmiah yang digunakan sebagai bahan pendukung pembelajaran di perguruan tinggi. Keterlibatan dalam penyusunan buku ini merupakan bagian dari komitmen penulis untuk berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan kualitas pembelajaran di bidang pertanian. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: erinalambung@agr.upr.ac.id

BIODATA PENULIS



Rahmi Aurya Bella, S.P. M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Samudra

Penulis lahir di Meulaboh tanggal 17 Agustus 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Samudra. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Agroekoteknologi. Penulis menekuni bidang pemuliaan tanaman padi dengan menggunakan teknik mutasi sinar gamma pada tanaman padi lokal untuk menghasilkan perbaikan tanaman. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rahmiauryabella@unsam.ac.id.

BIODATA PENULIS



Prof. 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, Keragaman genetik padi gogo :

landasan untuk pemuliaan tanaman berkelanjutan, Produksi dan penanganan benih bawang merah Varietas Lembah Palu (VLP), Budidaya, Fermentasi, dan Pengolahan Biji Kakao Menjadi Blok Cokelat, Experimental Impact of Drought on Germination of Upland Rice Using PEG 6000, Dasar-Dasar Agronomi dan Sistem Pertanian Terpadu dan Teknologi Produksi Tanaman Pangan. 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. Rahmawati Ning Utami, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Jombang Jawa Timur tanggal 23 April 1970. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Beliau menyelesaikan pendidikan Program Sarjana (S1) di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya Prodi Pendidikan Biologi, setelah itu menyelesaikan program Pasca Sarjana (S2) di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta Prodi Biologi di bidang Taksonomi Tumbuhan, dan selanjutnya menyelesaikan Program Doktor (S3) di Universitas Hasanuddin Makasar Prodi Ilmu Pertanian konsentrasi di bidang Ilmu Tanaman. Buku yang telah ditulis dan diterbitkan oleh PT. Sonpedia Publishing adalah *Book Chapter Pengantar Statistika*, *Book Chapter Nutrisi Ternak Dasar*, *Book Chapter Metodologi Penelitian*, *Book Chapter Metodologi Research and Development*, *Book Chapter Teknik Penyusunan Instrumen*

Penelitian, dan Buku Ajar Strategi Belajar Mengajar, dan buku lain yang telah saya tulis dan diterbitkan oleh Get Press adalah Konservasi Tanah dan Air, dan *Book Chapter* Botani, *Book Chapter* Sifat dan Morfologi Tanah, *Book Chapter* Pemuliaan Tanaman, *Book Chapter* Hortikultura dan Tanaman Pangan, dan yang diterbitkan oleh Penerbit Lingkar Edukasi Indonesia adalah *Book Chapter* Dasar Agronomi, *Book Chapter* Botani, dan *Book Chapter* Teknologi Kultur Jaringan, *Book Chapter* Pengantar Agronomi, *Book Chapter* Climate Change, dan *Book Chapter* Ekologi Umum, *Book Chapter* Fitohormon, *Book Chapter* Budidaya Tanaman Pangan dan Hortikultura, *Book Chapter* Konservasi Sumberdaya Lahan dan Lingkungan, *Book Chapter* Klimatologi, *Book Chapter* Ilmu Agronomi, *Book Chapter* Genetika, *Book Chapter* Meteorologi dan Klimatologi, *Book Chapter* Agronomi dan Konservasi Tanah, serta Buku Teknologi Pasca Panen Tanaman Pangan yang diterbitkan oleh Penerbit Azzia. *Book Chapter* Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman diterbitkan oleh Penerbit Yayasan Kita Menulis.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rahmawati.ningutami@unsulbar.ac.id

BIODATA PENULIS



Dara Arubi, S.P., M.Si

Dosen Program Studi Proteksi Tanaman
Fakultas Pertanian
Universitas Jember

Penulis lahir di Pekanbaru tanggal 08 Juli 1996. Penulis adalah dosen pada Program Studi Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Proteksi Tanaman di Institut Pertanian Bogor dan melanjutkan S2 pada Fitopatologi di Institut Pertanian Bogor. Penulis menekuni bidang tri dharma perguruan tinggi mulai dari pendidikan dan pengajaran, penelitian, pengabdian pada masyarakat, dan penunjang lainnya. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: daraarubi@unej.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Susanti Diana, S.P, M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian
Universitas Baturaja

Penulis lahir di Tulung Selapan tanggal 12 Juli 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Baturaja. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Tanaman dan S3 Pada Jurusan Ilmu-Ilmu Pertanian di Universitas Sriwijaya. Penulis menekuni menulis di bidang pertanian dan menulis buku tentang gulma dan permasalahannya, Genetik dan persilangan tanaman jarak pagar dan Budidaya porang di gawangan karet. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: susa12j@yahoo.com

BIODATA PENULIS



Lizza Fauziah Suroya, S.Si., M.Si.

Dosen Program Teknologi Produksi Tanaman Pangan
Jurusan Pertanian, Politeknik Negeri Subang

Penulis lahir di Bandung pada tanggal 22 Juni 1995. Pendidikan Sarjana penulis ditempuh di Departemen Biokimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor (IPB) melalui jalur SNMPTN pada tahun 2013-2017. Penulis melakukan Praktikum Lapang di Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI Cibinong tahun 2016 untuk melakukan riset dengan judul Aktivitas Antioksidan Tiga Kombinasi Ko-Kultur Kapang Endofit dari Kunyit (*Curcuma longa* L.) dengan metode DPPH secara Kualitatif. Riset yang dikerjakan sebagai Tugas Akhir pada tingkat Sarjana berjudul Kandungan Total Fenolik, Total Flavonoid, dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Air dan Etanol Daun Surian (*Toona sinensis*).

Penulis melanjutkan studi magister pada Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, IPB pada tahun 2019. Penulis terpilih sebagai salah satu Pemakalah Oral pada

Seminar Nasional Komnas Sumber Daya Genetik 2021 menyajikan sebagian hasil riset Tesis yang berjudul Keragaman Alel Waxy pada Plasma Nutfah Sorgum Lokal dan Introduksi di Indonesia. Riset Tesis dipublikasikan di Jurnal *Australian Crop of Science* berjudul *Identification of waxy genotype in sorghum genetic resources using waxy gene-based markers and iodine staining methods*. Saat ini penulis menjadi dosen tetap di Program Studi Teknologi Produksi Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Subang. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: lizzafsuroya@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Ummu Fitrothul Hidayah, S.Agr. M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Universitas Kadiri

Penulis lahir di Gresik Jawa Timur, 27 April 1996. Merupakan dosen tetap pada Prodi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Kadiri. Sejak 2025, penulis mengampu matakuliah Genetika Tanaman dan Pemuliaan Tanaman di Prodi Agroteknologi, Universitas Kadiri. Penulis aktif menulis jurnal sejak menjadi mahasiswa S1 Prodi Agroteknologi di Universitas Trunojoyo Madura (2013-2017) hingga menjadi mahasiswa Pascasarjana Prodi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman di Institut Pertanian Bogor (2019-2022). Salah satu karya tulisan penulis terbit di *Agronomy Journal* Sqopus Q1 yang berjudul "*Genotype by environment analysis on multi-canopy cropping system in rice: Effects of different types of flag leaves*". Karya buku pertama penulis berjudul "Genetika Tanaman" kemudian akan disusul buku kedua ini yang berjudul "Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman". Oleh karena itu, hingga saat ini penulis akan terus belajar dan mendalami bidang pemuliaan tanaman melalui Tri Dharma Perguruan Tinggi. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ummufitrothul@unik-kediri.ac.id.

BIODATA PENULIS



Arifah Husna, SP., MP.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian
Universitas Trunodjoyo Madura

Penulis lahir di Sragen, Jawa Tengah tanggal 20 Agustus 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Trunodjoyo Madura. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pemuliaan Tanaman Program Studi Agroteknologi Universitas Sebelas Maret Surakarta pada Tahun 2022 dan melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Agronomi Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penulis menekuni riset di bidang pemuliaan tanaman sejak tahun 2019.

Penulis aktif melakukan riset pemuliaan tanaman seperti karakterisasi plasma nutfah tanaman, perakitan varietas baru melalui persilangan tanaman, pemuliaan tanaman melalui teknologi mutasi, hingga evaluasi hasil perakitan varietas baru. Karya penulis lainnya di bidang pemuliaan tanaman meliputi Uji Daya Hasil Pendahuluan Galur Harapan Mutan Umur Pendek Padi Hitam Hasil Iradiasi Sinar Gamma;

Persilangan Backcross 2 (BC 2) Galur Harapan Padi Hitam/Jeliteng//Jeliteng; *Morphological Diversity of Local Sugar Apple (Annona squamosa) Germplasm from Madura; Evaluation of Seed Viability in Selected Promising Lines and Local Varieties of Black Rice (Oryza sativa L.)*. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: arifahhusnazamani@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Rika Miftakhul Jannah, S.P., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian

UPN Veteran Jawa Timur

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UPN Veteran Jawa Timur. Menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di bidang Agronomi dan Hortikultura serta melanjutkan studi Magister (S2) pada bidang Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman di Institut Pertanian Bogor (IPB). Sebagai akademisi, penulis aktif dalam kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat, dengan fokus keilmuan bidang pertanian khususnya pemuliaan dan bioteknologi tanaman.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rika_miftakhul.agrotek@upnjatim.ac.id.

BIODATA PENULIS



Zulfa Az Zahroh, S.P., M.Sc

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

Penulis lahir pada 22 Juni 1995 di Surakarta. Penulis menempuh pendidikan Strata-1 di IPB University, Fakultas Pertanian, Departemen Agronomi dan Hortikultura pada tahun 2013–2017. Setelah itu penulis melanjutkan studi Strata-2 di Universitas Selcuk di kota Konya, Turki melalui Beasiswa Turkiye Burslari pada tahun 2018. Penulis menekuni bidang kajian pemuliaan tanaman, kultur anter, pertanian modern, dan isu ketahanan pangan. Pada tahun 2020–2021 penulis merupakan Anggota Komisi Pangan pada Ditlitka PPI Dunia Periode 2022-2021. Selama menjadi Anggota Komisi Pangan, penulis turut berkontribusi pada penyusunan beberapa Policy Brief salah satunya terkait Program Food Estate dan penulisan buku Indonesia Emas Berkelanjutan 2045: Kumpulan Pemikiran Pelajar Indonesia Sedunia Seri 10 Pangan dengan judul Pemanfaatan Sumber Daya Genetik Lokal dan Pengembangan Varietas Lokal sebagai Upaya Mendukung Peningkatan Kualitas Pangan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: zulfa.zahroh@unsoed.ac.id