GENETIKA DAN PEMULIAAN TANAMAN

Teori, Metode, dan Aplikasi dalam Pengembangan Varietas Unggul

Prof. Dr. Laila Nazirah, S.P., M.P.

GENETIKA & PEMULIAAN TANAMAN

Teori, Metode, dan Aplikasi dalam Pengembangan Varietas Unggul

Prof. Dr. Laila Nazirah, S.P., M.P.

KBM INDONESIA

Penerbit KBM Indonesia

Adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku

GENETIKA DAN PEMULIAAN TANAMAN

Teori, Metode, dan Aplikasi dalam Pengembangan Varietas Unggul

Copyright @2026 by Prof. Dr. Lai1a Nazirah, S.P., M.P.
All rights reserved

PENERBIT KARYA BAKTI MAKMUR (KBM) INDONESIA
Anggota IKAPI (Ikatan Penerbit Indonesia) NO. IKAPI 279/JTI/2021
Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor) 081357517526 (Tlpn/WA)

Penulis
Prof. Dr. Lai1a Nazirah, S.P., M.P.

Desain Sampul
Eca Art

Tata Letak
Lailatul Nur Ula

Editor Naskah
Erny Amalia L, M.Pd.
Nurul Adhha, S.S.I., M.A.

ISBN
978-634-278-403-7

15,5 x 23 cm, viii + 290 halaman
Cetakan ke-1, Mei 2026

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di
DJKI-Kemenkumham dan isi buku dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
Memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
Tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Website
https://penerbitkbm.com
www.penerbitbukumurah.com

Instagram
@penerbit.kbmindonesia
@penerbitbukujogja

Email
naskah@penerbitkbm.com

Distributor
https://penerbitkbm.com/toko-buku/

Youtube
Penerbit KBM Sastrabook

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

(i) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).

(ii) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

(iii) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

(iv) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Genetika dan pemuliaan tanaman merupakan disiplin ilmu yang sangat penting dalam pengembangan pertanian modern. Melalui pemahaman mekanisme pewarisan sifat dan keragaman genetik tanaman, pemulia dapat menghasilkan varietas unggul yang memiliki produktivitas tinggi, adaptif terhadap lingkungan, serta tahan terhadap berbagai cekaman biotik dan abiotik.

Buku ini disusun sebagai buku referensi yang membahas konsep genetika tanaman dari dasar hingga aplikasi pemuliaan tanaman modern. Pembahasan meliputi genetika Mendel, genetika kuantitatif, genetika populasi, sumber daya genetik tanaman, hingga metode pemuliaan tanaman konvensional dan modern.

Selain membahas konsep teoritis, buku ini juga menyoroti pentingnya pemanfaatan plasma nutfah lokal, terutama padi lokal sebagai sumber keragaman genetik yang sangat penting bagi program pemuliaan tanaman di Indonesia. Buku ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta praktisi pertanian yang tertarik pada bidang genetika dan pemuliaan tanaman. Penulis juga berharap buku ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu pemuliaan tanaman serta mendukung upaya peningkatan produktivitas dan keberlanjutan pertanian di Indonesia.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan buku ini di masa yang akan datang.

Penulis

Prof. Dr. Laila Nazirah, S.P., M.P.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **iii**

BAGIAN I DASAR-DASAR GENETIKA

BAB 1
PENDAHULUAN GENETIKA TANAMAN **2**

1.1. Latar Belakang 2
1.2. Sejarah Perkembangan Genetika 5
1.3. Kontribusi Gregor Mendel dalam Perkembangan Ilmu Genetika 8
1.4. Perkembangan Genetika Modern 10
1.5. Peran Genetika dalam Pertanian 13
1.6. Hubungan Genetika dan Pemuliaan Tanaman 15

BAB 2
STRUKTUR DAN FUNGSI MATERI GENETIK **18**

2.1. Pengertian Materi Genetik 18
2.2. DNA sebagai Materi Genetik 19
2.3. Struktur Kromosom 21
2.4. Replikasi DNA 24
2.5. Transkripsi dan Translasi 26
2.6. Regulasi Ekspresi Gen 29

BAB 3
HUKUM PEWARISAN SIFAT MENDEL **32**

3.1. Hukum Segregasi 32
3.2. Hukum Asortasi Bebas 33
3.3. Dominansi dan Kodominansi 35
3.4. Interaksi Gen 38
3.5. Epistasis 40

BAB 4
MUTASI DAN VARIASI GENETIK 43
4.1. Mutasi Genetik 43
4.2. Rekombinasi Genetik 46
4.3. Variasi Genetik Alami 48
4.4. Plasma Nutfah sebagai Sumber Genetik 51

BAGIAN II

BAB 5
GENETIKA KUANTITATIF DALAM PEMULIAAN TANAMAN 56
5.1. Genetika Kuantitatif 56
5.2. Varians Genetik dan Fenotipik 58
5.3. Heritabilitas 61
5.4. Korelasi dan Regresi dalam Genetika Kuantitatif 64
5.5. Analisis Komponen Varians 67

BAB 6
GENETIKA POPULASI TANAMAN 71
6.1. Struktur Populasi Tanaman 71
6.2. Frekuensi Gen dan Alel 74
6.3. Keseimbangan Hardy–Weinberg 77
6.4. Evolusi Genetik Populasi 80

BAB 7
KERAGAMAN GENETIK DAN PLASMA NUTFAH 84
7.1. Sumber Daya Genetik Tanaman 84
7.2. Eksplorasi Plasma Nutfah 87
7.3. Karakterisasi Genetik 90
7.4. Konservasi Sumber Daya Genetik Tanaman 93

BAGIAN III

BAB 8
PRINSIP DAN METODE PEMULIAAN TANAMAN 98
8.1. Tujuan Pemuliaan Tanaman 98
8.2. Tahapan Program Pemuliaan Tanaman 101
8.3. Seleksi dalam Pemuliaan Tanaman 104
8.4. Evaluasi Varietas Unggul 108

BAB 9
METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI 113
9.1. Seleksi Galur Murni 113
9.2. Metode Pedigree..... 116
9.3. Metode Bulk dalam Pemuliaan Tanaman 118
9.4. Metode Single Seed Descent (SSD) 122

BAB 10
METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SILANG 127
10.1. Seleksi Massa 127
10.2. Seleksi Keluarga (*Family Selection*)..... 130
10.3. Seleksi Berulang (*Recurrent Selection*)..... 134
10.4. Varietas Sintetis (*Synthetic Variety*) 137
10.5. Varietas Komposit (*Composite Variety*) 139

BAB 11
PEMULIAAN TANAMAN HIBRIDA.....142
11.1. Konsep Heterosis (*Hybrid Vigor*)..... 142
11.2. Sistem Sterilitas Jantan (*Male Sterility System*)..... 145
11.3. Produksi Benih Hibrida..... 148
11.4. Pengembangan Varietas Hibrida 152

BAGIAN IV

BAB 12
PEMULIAAN TANAMAN DALAM MENGHADAPI CEKAMAN LINGKUNGAN 158
12.1. Ketahanan Genetik Tanaman terhadap Hama dan Penyakit 158
12.2. Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Hama dan Penyakit 161
12.3. Strategi Pemuliaan Tanaman Tahan Hama dan Penyakit 164

BAB 13
PEMULIAAN TANAMAN TAHAN CEKAMAN ABIOTIK 168
13.1. Cekaman Kekeringan (*Drought Stress*) pada Tanaman..... 168
13.2. Cekaman Salinitas pada Tanaman 171

13.3. Cekaman Banjir (*Flooding Stress*) pada Tanaman 174
13.4. Cekaman Suhu Ekstrem pada Tanaman..... 177

BAGIAN V

BAB 14
BIOTEKNOLOGI DAN PEMULIAAN TANAMAN MODERN.....182
14.1. Kultur Jaringan dalam Pemuliaan Tanaman 182
14.2. *Marker Assisted Selection* (MAS) dalam Pemuliaan Tanaman..... 185
14.3. Rekayasa Genetika dalam Pemuliaan Tanaman..... 189
14.4. Genome Editing dalam Pemuliaan Tanaman 192

BAB 15
GENOMIKA DAN PEMULIAAN MASA DEPAN 196
15.1. Genom Tanaman..... 196
15.2. Bioinformatika dalam Pemuliaan Tanaman..... 199
15.3. Precision Breeding dalam Pemuliaan Tanaman..... 205

BAGIAN VI

BAB 16
STUDI KASUS PEMULIAAN TANAMAN DI INDONESIA 212
16.1. Sejarah Pemuliaan Padi..... 212
16.2. Varietas Unggul Nasional Padi..... 216
16.3. Program Pemuliaan Padi Modern..... 222

BAB 17
KARAKTERISASI PADI LOKAL ACEH 229
17.1. Keragaman Morfologi Padi Lokal Aceh..... 229
17.2. Karakter Agronomi Padi Lokal..... 236
17.3. Efisiensi Nitrogen pada Padi Lokal Aceh..... 241
17.4. Potensi Padi Lokal Aceh dalam Pemuliaan Tanaman... 247

BAB 18
KONSERVASI PLASMA NUTFAH TANAMAN LOKAL 251
18.1. Strategi Konservasi Plasma Nutfah Tanaman Lokal 251
18.2. Bank Gen Tanaman..... 253
18.3. Pemanfaatan Varietas Lokal..... 257

BAB 19
TANTANGAN KETAHANAN PANGAN GLOBAL.....260
19.1. Perubahan Iklim.....260
19.2. Kebutuhan Pangan Dunia.....262
19.3. Peran Pemuliaan Tanaman dalam Ketahanan Pangan Global.....263

BAB 20
MASA DEPAN PEMULIAAN TANAMAN.....266
20.1. Smart Breeding.....266
20.2. AI dalam Pemuliaan Tanaman.....268
20.3. Pertanian Berkelanjutan dalam Pemuliaan Tanaman...269

REFERENSI.....273

GLOSARIUM.....279

PROFIL PENULIS.....289

BAGIAN I
DASAR-DASAR GENETIKA

Bab 1

PENDAHULUAN GENETIKA TANAMAN

1.1. Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor strategis yang memiliki peranan penting dalam mendukung ketahanan pangan, pembangunan ekonomi, serta kesejahteraan masyarakat. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dunia, kebutuhan terhadap pangan juga terus meningkat dari waktu ke waktu. Kondisi tersebut menuntut adanya peningkatan produksi tanaman pangan yang tidak hanya tinggi secara kuantitas tetapi juga berkualitas serta berkelanjutan secara lingkungan (FAO, 2021).

Salah satu pendekatan ilmiah yang memiliki kontribusi besar dalam peningkatan produksi pertanian adalah melalui penerapan ilmu genetika dan pemuliaan tanaman. Genetika merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari mekanisme pewarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya. Melalui pemahaman terhadap prinsip-prinsip genetika, para ilmuwan dapat mengetahui bagaimana karakter tertentu pada tanaman dikendalikan oleh gen serta bagaimana karakter tersebut dapat diwariskan kepada keturunannya (Griffiths *et al.*, 2015).

Pemuliaan tanaman merupakan penerapan ilmu genetika dalam upaya memperbaiki sifat genetik tanaman sehingga diperoleh varietas unggul yang memiliki karakter yang diinginkan. Karakter tersebut antara lain meliputi produktivitas tinggi, kualitas hasil yang baik, ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta

kemampuan beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang beragam (Acquaah, 2012). Oleh karena itu, genetika dan pemuliaan tanaman menjadi dua disiplin ilmu yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan dalam pengembangan pertanian modern.

Perkembangan ilmu genetika tanaman dimulai sejak ditemukannya hukum pewarisan sifat oleh Gregor Mendel pada pertengahan abad ke-19. Penelitian Mendel terhadap tanaman kacang ercis memberikan dasar ilmiah mengenai bagaimana sifat-sifat tertentu diwariskan dari induk kepada keturunannya. Penemuan tersebut kemudian berkembang pesat dengan ditemukannya kromosom sebagai pembawa informasi genetik serta molekul DNA sebagai materi genetik yang mengendalikan berbagai proses biologis pada organisme (Hartl & Ruvolo, 2012).

Dalam perkembangan selanjutnya, ilmu genetika mengalami kemajuan yang sangat pesat seiring dengan berkembangnya teknologi biologi molekuler dan bioteknologi. Berbagai teknik modern seperti analisis DNA, penanda molekuler, serta teknologi genomika telah membuka peluang baru dalam memahami keragaman genetik tanaman secara lebih mendalam (Collard & Mackill, 2008). Teknologi tersebut juga memungkinkan para pemulia tanaman untuk melakukan seleksi secara lebih cepat dan akurat dalam menghasilkan varietas unggul.

Di bidang pertanian, pemuliaan tanaman telah memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap peningkatan produksi pangan dunia. Revolusi hijau yang terjadi pada pertengahan abad ke-20 merupakan salah satu contoh keberhasilan penerapan ilmu pemuliaan tanaman dalam meningkatkan produksi padi dan gandum secara signifikan. Melalui pengembangan varietas unggul yang responsif terhadap pemupukan serta memiliki produktivitas tinggi, produksi pangan dunia dapat meningkat secara drastis untuk memenuhi kebutuhan populasi yang terus bertambah (Pingali, 2012).

Di Indonesia, pemuliaan tanaman juga memainkan peranan penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Berbagai varietas unggul tanaman pangan seperti padi, jagung, dan kedelai telah dikembangkan melalui program pemuliaan tanaman yang dilakukan oleh berbagai lembaga penelitian dan perguruan tinggi. Varietas unggul tersebut memiliki berbagai keunggulan seperti potensi hasil yang tinggi, umur panen yang lebih singkat, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit (Badan Litbang Pertanian, 2019).

Meskipun demikian, tantangan dalam pengembangan varietas tanaman unggul semakin kompleks seiring dengan terjadinya perubahan iklim global, degradasi lahan, serta meningkatnya tekanan hama dan penyakit tanaman. Kondisi tersebut menuntut adanya inovasi yang berkelanjutan dalam program pemuliaan tanaman agar mampu menghasilkan varietas yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang terus berubah (Tester & Langridge, 2010).

Salah satu sumber penting dalam kegiatan pemuliaan tanaman adalah keberadaan plasma nutfah atau sumber daya genetik tanaman. Plasma nutfah merupakan kumpulan sumber daya genetik yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam program pemuliaan tanaman. Keragaman genetik yang terdapat dalam plasma nutfah sangat penting karena menjadi sumber sifat-sifat unggul yang dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki karakter tanaman (Allard, 1999).

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang memiliki kekayaan sumber daya genetik tanaman yang sangat besar. Berbagai varietas lokal tanaman pangan telah berkembang dan dibudidayakan oleh petani secara turun-temurun di berbagai daerah. Varietas lokal tersebut seringkali memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan setempat serta

memiliki karakter unik yang tidak ditemukan pada varietas modern (Simmonds & Smartt, 1999).

Padi lokal, misalnya, merupakan salah satu sumber plasma nutfah yang sangat penting dalam program pemuliaan padi. Varietas padi lokal umumnya memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan tertentu, seperti toleransi terhadap kekeringan, banjir, maupun serangan hama dan penyakit tertentu. Selain itu, beberapa varietas padi lokal juga memiliki kualitas beras yang khas yang disukai oleh masyarakat (Khush, 2013).

Oleh karena itu, eksplorasi, karakterisasi, serta konservasi sumber daya genetik tanaman menjadi langkah penting dalam mendukung program pemuliaan tanaman yang berkelanjutan. Melalui kegiatan tersebut, potensi genetik yang terdapat dalam varietas lokal dapat diidentifikasi dan dimanfaatkan secara optimal dalam pengembangan varietas unggul baru.

1.2. Sejarah Perkembangan Genetika

Ilmu genetika merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari pewarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya. Perkembangan genetika sebagai disiplin ilmu modern tidak terjadi secara instan, melainkan melalui proses panjang yang melibatkan berbagai penemuan ilmiah yang berkontribusi dalam memahami mekanisme pewarisan sifat pada organisme hidup (Griffiths et al., 2015).

Awal perkembangan genetika modern tidak terlepas dari penelitian yang dilakukan oleh **Gregor Mendel** pada pertengahan abad ke-19. Mendel melakukan percobaan persilangan pada tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*) untuk mempelajari pola pewarisan sifat tertentu seperti warna bunga, bentuk biji, dan warna biji. Melalui percobaan tersebut, Mendel berhasil merumuskan dua hukum dasar pewarisan sifat, yaitu **Hukum Segregasi** dan **Hukum Asortasi Bebas**. Kedua hukum ini menjelaskan bahwa sifat-sifat

tertentu diwariskan melalui unit diskrit yang kemudian dikenal sebagai gen (Hartl & Ruvolo, 2012).

Meskipun hasil penelitian Mendel dipublikasikan pada tahun 1866, temuannya tidak langsung mendapat perhatian dari komunitas ilmiah. Baru pada awal abad ke-20, penelitian Mendel kembali ditemukan secara independen oleh tiga ilmuwan, yaitu Hugo de Vries, Carl Correns, dan Erich von Tschermak. Penemuan kembali hukum Mendel ini menjadi titik awal berkembangnya genetika sebagai cabang ilmu biologi yang penting (Griffiths et al., 2015).

Pada awal abad ke-20, penelitian genetika semakin berkembang dengan ditemukannya hubungan antara gen dan kromosom. **Thomas Hunt Morgan** dan rekan-rekannya melakukan penelitian menggunakan lalat buah (*Drosophila melanogaster*) sebagai organisme model. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa gen berada pada kromosom dan diwariskan melalui mekanisme pembelahan sel. Penemuan ini dikenal sebagai **teori kromosom pewarisan sifat**, yang menjadi dasar penting dalam genetika modern (Snustad & Simmons, 2016).

Perkembangan genetika semakin pesat setelah ditemukannya struktur molekul DNA pada tahun 1953 oleh **James Watson** dan **Francis Crick**, berdasarkan data difraksi sinar-X yang diperoleh oleh Rosalind Franklin dan Maurice Wilkins. Penemuan struktur heliks ganda DNA memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana informasi genetik disimpan dan ditransmisikan pada organisme hidup (Watson & Crick, 1953).

Penemuan tersebut membuka era baru dalam penelitian genetika molekuler. Para ilmuwan mulai memahami bagaimana gen mengontrol sintesis protein melalui proses transkripsi dan translasi. Konsep ini kemudian dikenal sebagai **dogma sentral biologi molekuler**, yang menjelaskan aliran informasi genetik dari DNA ke RNA dan kemudian ke protein (Crick, 1970).

Memasuki akhir abad ke-20 dan awal abad ke-21, perkembangan teknologi biologi molekuler membawa genetika ke tingkat yang lebih maju. Teknik analisis DNA, penanda molekuler, serta teknologi genomika memungkinkan para ilmuwan untuk mempelajari struktur dan fungsi gen secara lebih mendalam. Salah satu tonggak penting dalam perkembangan genetika modern adalah proyek **Human Genome Project**, yang berhasil memetakan seluruh genom manusia pada awal tahun 2000-an (Collins et al., 2003).

Dalam bidang pertanian, perkembangan genetika memberikan kontribusi besar terhadap kemajuan pemuliaan tanaman. Melalui pemahaman tentang mekanisme pewarisan sifat serta keragaman genetik tanaman, para pemulia dapat mengembangkan varietas tanaman yang memiliki produktivitas tinggi, kualitas hasil yang lebih baik, serta ketahanan terhadap berbagai cekaman lingkungan (Acquaah, 2012).

Saat ini, perkembangan genetika tanaman semakin maju dengan adanya teknologi seperti **marker assisted selection (MAS)**, **genomic selection**, serta **genome editing** menggunakan teknologi CRISPR. Teknologi tersebut memungkinkan perbaikan genetik tanaman dilakukan secara lebih cepat dan akurat dibandingkan metode pemuliaan konvensional (Tester & Langridge, 2010).

Dengan demikian, perkembangan genetika dari masa ke masa telah memberikan landasan ilmiah yang sangat kuat bagi pengembangan ilmu pemuliaan tanaman. Pemahaman mengenai sejarah perkembangan genetika juga penting untuk memberikan perspektif mengenai bagaimana ilmu ini berkembang dan memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produksi pertanian serta ketahanan pangan global.

1.3. Kontribusi Gregor Mendel dalam Perkembangan Ilmu Genetika

Gregor Johann Mendel dikenal sebagai **Bapak Genetika Modern** karena kontribusinya yang sangat besar dalam memahami mekanisme pewarisan sifat pada organisme hidup. Melalui serangkaian eksperimen yang sistematis pada tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*), Mendel berhasil mengungkap prinsip-prinsip dasar pewarisan sifat yang kemudian menjadi landasan bagi perkembangan ilmu genetika modern (Griffiths et al., 2015).

Mendel melakukan penelitiannya antara tahun 1856 hingga 1863 di biara St. Thomas di Brno, yang saat ini termasuk wilayah Republik Ceko. Dalam penelitiannya, Mendel menggunakan tanaman kacang ercis karena tanaman ini memiliki beberapa karakteristik yang mendukung penelitian genetika, seperti siklus hidup yang relatif singkat, mudah disilangkan, serta memiliki sifat-sifat yang dapat diamati secara jelas, seperti warna bunga, bentuk biji, dan warna biji (Hartl & Ruvolo, 2012).

Melalui eksperimen persilangan yang dilakukan secara terkontrol, Mendel mengamati bagaimana sifat-sifat tertentu diwariskan dari induk ke generasi berikutnya. Ia mempelajari tujuh karakter utama pada tanaman kacang ercis, antara lain warna bunga, warna biji, bentuk biji, warna polong, bentuk polong, posisi bunga, dan tinggi tanaman. Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, Mendel menyimpulkan bahwa sifat-sifat organisme diwariskan melalui unit-unit diskrit yang kemudian dikenal sebagai **gen** (Snustad & Simmons, 2016).

Salah satu kontribusi utama Mendel adalah perumusan **Hukum Segregasi** (Law of Segregation). Hukum ini menyatakan bahwa setiap individu memiliki dua faktor pewarisan (gen) untuk setiap sifat, dan kedua faktor tersebut akan berpisah selama pembentukan gamet sehingga setiap gamet hanya membawa satu

faktor pewarisan. Ketika fertilisasi terjadi, gamet dari kedua induk akan bergabung kembali sehingga keturunan memiliki dua faktor pewarisan untuk sifat tersebut (Griffiths et al., 2015).

Selain itu, Mendel juga merumuskan **Hukum Asortasi Bebas** (Law of Independent Assortment), yang menyatakan bahwa pewarisan satu sifat tidak mempengaruhi pewarisan sifat lainnya selama gen-gen tersebut berada pada kromosom yang berbeda atau tidak saling terpaut. Hukum ini menjelaskan bagaimana berbagai kombinasi sifat dapat muncul pada keturunan sebagai hasil dari persilangan antara dua individu (Hartl & Ruvolo, 2012).

Pendekatan ilmiah yang digunakan oleh Mendel juga menjadi salah satu kontribusi penting dalam perkembangan ilmu genetika. Berbeda dengan penelitian biologi pada masa itu yang lebih bersifat deskriptif, Mendel menggunakan metode kuantitatif dan analisis statistik sederhana untuk menganalisis hasil eksperimennya. Pendekatan ini memungkinkan Mendel untuk mengidentifikasi pola pewarisan sifat secara lebih sistematis dan objektif (Griffiths et al., 2015).

Meskipun hasil penelitian Mendel dipublikasikan pada tahun 1866 dalam jurnal *Proceedings of the Natural History Society of Brünn*, penemuannya tidak langsung mendapat perhatian dari komunitas ilmiah pada masa itu. Baru pada awal abad ke-20, hukum-hukum Mendel ditemukan kembali secara independen oleh tiga ilmuwan, yaitu Hugo de Vries, Carl Correns, dan Erich von Tschermak. Penemuan kembali ini menandai lahirnya genetika sebagai disiplin ilmu yang berkembang pesat dalam biologi modern (Hartl & Ruvolo, 2012).

Kontribusi Mendel tidak hanya memberikan dasar bagi pemahaman mengenai mekanisme pewarisan sifat, tetapi juga menjadi landasan bagi perkembangan berbagai cabang ilmu genetika lainnya, termasuk genetika molekuler, genetika populasi, serta genetika kuantitatif. Dalam bidang pertanian, prinsip-prinsip

genetika Mendel menjadi dasar dalam kegiatan pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas unggul melalui teknik persilangan dan seleksi (Acquaah, 2012).

Dengan demikian, penelitian Gregor Mendel memberikan kontribusi yang sangat fundamental dalam perkembangan ilmu genetika. Prinsip-prinsip yang dirumuskannya masih digunakan hingga saat ini dalam berbagai bidang ilmu, termasuk biologi, kedokteran, dan pertanian, khususnya dalam kegiatan pemuliaan tanaman.

1.4. Perkembangan Genetika Modern

Perkembangan genetika modern merupakan hasil dari kemajuan pesat dalam ilmu biologi molekuler, bioteknologi, dan teknologi genomik yang terjadi sejak pertengahan abad ke-20. Setelah ditemukannya struktur DNA sebagai materi genetik, penelitian genetika mengalami perkembangan yang sangat signifikan dalam memahami mekanisme pewarisan sifat pada tingkat molekuler. Penemuan tersebut menjadi dasar bagi lahirnya berbagai cabang baru dalam ilmu genetika, seperti genetika molekuler, genetika populasi, genetika kuantitatif, dan genomika (Griffiths et al., 2015).

Salah satu tonggak penting dalam perkembangan genetika modern adalah penemuan struktur **heliks ganda DNA** oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953. Penemuan ini didasarkan pada hasil penelitian difraksi sinar-X yang dilakukan oleh Rosalind Franklin dan Maurice Wilkins. Struktur heliks ganda DNA menjelaskan bagaimana informasi genetik disimpan dan diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya (Watson & Crick, 1953). Penemuan tersebut menjadi dasar bagi pemahaman mengenai proses replikasi DNA, mutasi genetik, serta ekspresi gen pada organisme hidup.

Perkembangan genetika molekuler kemudian semakin pesat dengan ditemukannya mekanisme **transkripsi dan translasi**, yang menjelaskan bagaimana informasi genetik yang terdapat dalam DNA digunakan untuk menghasilkan protein. Konsep ini dikenal sebagai **dogma sentral biologi molekuler**, yang menggambarkan aliran informasi genetik dari DNA ke RNA dan kemudian ke protein (Crick, 1970). Protein yang dihasilkan dari ekspresi gen tersebut berperan dalam menentukan berbagai karakter fenotip organisme.

Pada dekade 1970-an hingga 1980-an, perkembangan teknologi **rekombinasi DNA** memungkinkan para ilmuwan untuk memanipulasi materi genetik secara langsung. Teknologi ini membuka peluang baru dalam penelitian genetika serta pengembangan organisme hasil rekayasa genetika. Melalui teknik rekayasa genetika, gen tertentu dapat dipindahkan dari satu organisme ke organisme lain untuk menghasilkan sifat yang diinginkan (Brown, 2016).

Kemajuan lain dalam genetika modern adalah berkembangnya teknologi **penanda molekuler (molecular markers)** yang memungkinkan identifikasi variasi genetik pada tingkat DNA. Penanda molekuler banyak digunakan dalam penelitian genetika populasi serta dalam program pemuliaan tanaman melalui teknik **Marker Assisted Selection (MAS)**. Teknologi ini memungkinkan pemulia tanaman melakukan seleksi genetik secara lebih cepat dan akurat dibandingkan dengan metode seleksi konvensional yang hanya didasarkan pada pengamatan fenotip (Collard & Mackill, 2008).

Selain itu, perkembangan teknologi **genomika** juga memberikan kontribusi besar dalam memahami struktur dan fungsi genom organisme. Proyek pemetaan genom, seperti **Human Genome Project**, berhasil mengidentifikasi dan memetakan seluruh gen dalam genom manusia. Keberhasilan proyek tersebut

memberikan inspirasi bagi penelitian genom pada berbagai organisme lain, termasuk tanaman pangan (Collins et al., 2003).

Dalam bidang pertanian, perkembangan genetika modern memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap kegiatan pemuliaan tanaman. Teknologi genomika memungkinkan pemulia tanaman untuk mengidentifikasi gen-gen yang berperan dalam mengendalikan sifat penting seperti produktivitas, ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta toleransi terhadap cekaman lingkungan (Tester & Langridge, 2010). Informasi genetik tersebut kemudian dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas unggul yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang terus berubah.

Salah satu inovasi terbaru dalam genetika modern adalah teknologi **genome editing**, seperti sistem CRISPR-Cas9. Teknologi ini memungkinkan perubahan genetik dilakukan secara spesifik pada lokasi tertentu dalam genom organisme. Dalam bidang pertanian, genome editing berpotensi mempercepat pengembangan varietas tanaman unggul yang memiliki sifat-sifat tertentu, seperti ketahanan terhadap penyakit, peningkatan kualitas nutrisi, serta toleransi terhadap kondisi lingkungan ekstrem (Jinek et al., 2012).

Dengan demikian, perkembangan genetika modern telah membuka berbagai peluang baru dalam memahami mekanisme pewarisan sifat serta dalam memanfaatkan informasi genetik untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman. Integrasi antara genetika klasik, genetika molekuler, dan teknologi genomika diharapkan dapat memberikan kontribusi besar dalam mendukung ketahanan pangan global serta pengembangan sistem pertanian yang berkelanjutan.

1.5. Peran Genetika dalam Pertanian

Genetika memiliki peran yang sangat penting dalam pengembangan sektor pertanian modern. Melalui pemahaman tentang mekanisme pewarisan sifat dan keragaman genetik tanaman, para ilmuwan dan pemulia tanaman dapat mengembangkan varietas tanaman yang memiliki produktivitas tinggi, kualitas hasil yang baik, serta ketahanan terhadap berbagai cekaman biotik dan abiotik (Acquaah, 2012). Penerapan ilmu genetika dalam pertanian telah memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produksi pangan serta mendukung ketahanan pangan global.

Salah satu kontribusi utama genetika dalam pertanian adalah dalam kegiatan **pemuliaan tanaman**. Pemuliaan tanaman merupakan proses perbaikan sifat genetik tanaman untuk menghasilkan varietas unggul yang memiliki karakteristik yang diinginkan. Melalui teknik persilangan, seleksi, serta pemanfaatan keragaman genetik, pemulia tanaman dapat mengembangkan varietas yang lebih produktif, adaptif terhadap lingkungan, serta memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit (Allard, 1999).

Keragaman genetik merupakan sumber daya yang sangat penting dalam program pemuliaan tanaman. Variasi genetik yang terdapat pada populasi tanaman memungkinkan pemulia untuk memilih individu yang memiliki sifat unggul sebagai bahan dalam proses seleksi. Tanaman lokal atau plasma nutfah lokal sering kali menjadi sumber gen penting yang memiliki potensi untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan tertentu, seperti kekeringan, salinitas, maupun serangan organisme pengganggu tanaman (Gepts, 2006).

Selain itu, genetika juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dalam sistem pertanian. Melalui pemuliaan tanaman yang berbasis genetika, dapat dikembangkan varietas tanaman yang memiliki efisiensi

penggunaan unsur hara yang lebih baik, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia. Varietas tanaman yang efisien dalam penggunaan nitrogen, misalnya, dapat meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Fageria & Baligar, 2005).

Perkembangan genetika molekuler juga memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan efektivitas program pemuliaan tanaman. Teknologi seperti **penanda molekuler (molecular markers)** memungkinkan identifikasi gen atau lokus yang terkait dengan sifat-sifat penting pada tanaman. Melalui pendekatan **marker assisted selection (MAS)**, pemulia tanaman dapat melakukan seleksi genetik secara lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan pengamatan fenotip (Collard & Mackill, 2008).

Dalam konteks pertanian modern, genetika juga berperan dalam pengembangan tanaman transgenik serta teknologi **genome editing**. Teknologi ini memungkinkan modifikasi genetik dilakukan secara spesifik untuk menghasilkan tanaman yang memiliki sifat tertentu, seperti ketahanan terhadap hama, penyakit, atau kondisi lingkungan ekstrem. Pengembangan tanaman yang tahan terhadap cekaman lingkungan menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global yang dapat mempengaruhi stabilitas produksi pangan (Tester & Langridge, 2010).

Selain meningkatkan produktivitas tanaman, genetika juga berperan dalam meningkatkan kualitas hasil pertanian. Melalui pendekatan genetika, pemulia tanaman dapat mengembangkan varietas yang memiliki kualitas nutrisi yang lebih baik, seperti kandungan protein, vitamin, atau mineral yang lebih tinggi. Upaya ini dikenal sebagai **biofortifikasi**, yang bertujuan untuk meningkatkan nilai gizi tanaman pangan guna mendukung kesehatan masyarakat (Bouis & Saltzman, 2017).

Dengan demikian, genetika memiliki peran yang sangat strategis dalam pengembangan pertanian berkelanjutan. Integrasi antara ilmu genetika, pemuliaan tanaman, dan teknologi bioteknologi diharapkan mampu menghasilkan varietas tanaman yang lebih adaptif, produktif, dan berkualitas, sehingga dapat mendukung peningkatan produksi pangan dan kesejahteraan petani.

1.6. Hubungan Genetika dan Pemuliaan Tanaman

Genetika dan pemuliaan tanaman merupakan dua disiplin ilmu yang memiliki hubungan yang sangat erat dalam pengembangan pertanian modern. Genetika mempelajari mekanisme pewarisan sifat dan variasi genetik pada organisme, sedangkan pemuliaan tanaman memanfaatkan prinsip-prinsip genetika tersebut untuk memperbaiki sifat tanaman sehingga diperoleh varietas unggul dengan karakteristik yang diinginkan (Acquaah, 2012). Dengan demikian, genetika dapat dianggap sebagai landasan ilmiah bagi kegiatan pemuliaan tanaman.

Dalam pemuliaan tanaman, pemahaman tentang pewarisan sifat sangat penting untuk menentukan strategi seleksi dan persilangan yang efektif. Hukum-hukum genetika yang dikemukakan oleh Gregor Mendel memberikan dasar bagi pemulia tanaman untuk memahami bagaimana sifat-sifat tertentu diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Prinsip segregasi dan asortasi bebas memungkinkan pemulia tanaman memprediksi kemungkinan munculnya kombinasi sifat tertentu pada generasi hasil persilangan (Allard, 1999).

Selain genetika klasik yang berkaitan dengan hukum Mendel, genetika kuantitatif juga memiliki peranan penting dalam pemuliaan tanaman. Banyak sifat penting dalam tanaman, seperti hasil panen, tinggi tanaman, ketahanan terhadap cekaman lingkungan, dan kualitas hasil, dikendalikan oleh banyak gen dan

dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman tentang konsep variabilitas genetik, heritabilitas, dan interaksi gen-lingkungan menjadi sangat penting dalam menentukan keberhasilan program pemuliaan tanaman (Falconer & Mackay, 1996).

Keragaman genetik merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pemuliaan tanaman. Tanpa adanya variasi genetik dalam populasi tanaman, proses seleksi tidak dapat dilakukan secara efektif. Oleh karena itu, sumber daya genetik tanaman seperti plasma nutfah lokal, varietas tradisional, maupun spesies liar sering dimanfaatkan sebagai sumber gen untuk meningkatkan keragaman genetik dalam program pemuliaan tanaman (Gepts, 2006).

Dalam praktiknya, pemulia tanaman memanfaatkan berbagai metode untuk memperbaiki sifat genetik tanaman, seperti seleksi, persilangan, hibridisasi, mutasi buatan, serta pemanfaatan teknologi bioteknologi. Metode-metode tersebut didasarkan pada prinsip genetika yang menjelaskan bagaimana gen diwariskan dan bagaimana variasi genetik dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan tanaman dengan sifat yang lebih baik (Acquaah, 2012).

Perkembangan genetika molekuler juga memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan efisiensi pemuliaan tanaman. Teknologi penanda molekuler memungkinkan identifikasi gen atau lokus yang terkait dengan sifat-sifat penting pada tanaman. Dengan menggunakan pendekatan **marker assisted selection (MAS)**, pemulia tanaman dapat melakukan seleksi genetik pada tingkat DNA tanpa harus menunggu tanaman mencapai fase pertumbuhan tertentu untuk mengamati sifat fenotipnya (Collard & Mackill, 2008).

Selain itu, kemajuan teknologi genomika dan bioteknologi modern juga membuka peluang baru dalam kegiatan pemuliaan tanaman. Teknik seperti **genomic selection**, **transgenik**, dan **genome editing** memungkinkan perbaikan genetik tanaman

dilakukan secara lebih cepat dan lebih presisi. Teknologi ini sangat penting dalam menghadapi berbagai tantangan pertanian modern, seperti perubahan iklim, peningkatan kebutuhan pangan, serta munculnya berbagai hama dan penyakit tanaman baru (Tester & Langridge, 2010).

Dalam konteks pertanian di Indonesia, pemanfaatan prinsip genetika dalam pemuliaan tanaman juga sangat penting untuk mengembangkan varietas tanaman yang adaptif terhadap kondisi agroekosistem lokal. Tanaman lokal yang memiliki keragaman genetik tinggi dapat menjadi sumber gen yang sangat berharga dalam pengembangan varietas unggul yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

Dengan demikian, hubungan antara genetika dan pemuliaan tanaman bersifat sangat fundamental dan saling melengkapi. Genetika menyediakan dasar teoritis mengenai mekanisme pewarisan sifat, sedangkan pemuliaan tanaman merupakan aplikasi praktis dari prinsip-prinsip genetika untuk menghasilkan varietas tanaman yang lebih produktif, adaptif, dan berkualitas.

REFERENSI

Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. Wiley-Blackwell.

Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology*. 5th Edition. Elsevier Academic Press.

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. 2015. *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science.

Allard, R. W. (1999). *Principles of Plant Breeding*. 2nd Edition. John Wiley & Sons.

Avery, O. T., MacLeod, C. M., & McCarty, M. 1944. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *Journal of Experimental Medicine*, 79: 137–158.

Badan Litbang Pertanian. 2019. *Inovasi Teknologi Pertanian Mendukung Ketahanan Pangan*. Kementerian Pertanian RI.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2015). *Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

BMKG. (2026). *Prakiraan cuaca dan kejadian ekstrem Aceh 2026*. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.

Bortesi, L., & Fischer, R. (2015). The CRISPR/Cas9 system for plant genome editing and beyond. *Biotechnology Advances*, 33(1), 41–52.

Brush, S. B. (1995). *In situ conservation of landraces in centers of crop diversity*. Crop Science, 35(2), 346–354.

Brown, T. A. 2016. *Gene Cloning and DNA Analysis: An Introduction*. Wiley Blackwell.

Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., & Gao, C. (2019). CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 667–697.

Collard, B. C. Y., & Mackill, D. J. (2008). Marker-assisted selection: An approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 557–572.

Crick, F. 1970. Central dogma of molecular biology. *Nature*, 227: 561-563.

FAO. (2017). *The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman.

Fageria, N. K., & Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88: 97–185.

Fehr, W. R. (1993). *Principles of Cultivar Development*. Iowa State University Press.

Fiorani, F., & Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 267–291.

George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G. J. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture*. Springer.

Gelvin, S. B. (2003). Agrobacterium-mediated plant transformation: The biology behind the "gene-jockeying" tool. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67(1), 16–37.

Gepts, P. 2006. Plant genetic resources conservation and utilization: the accomplishments and future of a societal insurance policy. *Crop Science*, 46: 2278–2292.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F. & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818.

Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Carroll, S. B., & Doebley, J. 2015. *Introduction to Genetic Analysis*. W.H. Freeman.

Hartl, D. L., & Ruvolo, M. 2012. *Genetics: Analysis of Genes and Genomes*. Jones & Bartlett Learning.

Hershey, A. D., & Chase, M. 1952. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *Journal of General Physiology*, 36: 39–56.

IPGRI. (1998). *Descriptors for Rice (Oryza sativa L.)*. International Plant Genetic Resources Institute.

IRRI. (2013). *Rice Almanac* (4th ed.). International Rice Research Institute.

IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. 2012. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337: 816–821.

Khush, G. S. (2001). Green revolution: The way forward. *Nature Reviews Genetics*, 2, 815–822.

Lesk, A. M. (2019). *Introduction to Bioinformatics* (5th ed.). Oxford University Press.

Li, L., Zhang, Q., & Huang, D. (2020). A review of imaging techniques for plant phenotyping. *Sensors*, 20(3), 709.

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616–620.

Mendel, G. 1866. *Versuche über Pflanzen-Hybriden*. Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn.

Meselson, M., & Stahl, F. W. 1958. The replication of DNA in *Escherichia coli*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 44: 671–682.

Mount, D. W. (2004). *Bioinformatics: Sequence and Genome Analysis* (2nd ed.). Cold Spring Harbor Laboratory Press.

Nazirah, L. (2023). Karakterisasi morfologi, agronomi, dan efisiensi nitrogen beberapa genotipe padi lokal Aceh. Universitas Malikussaleh.

Pierce, B. A. 2017. *Genetics: A Conceptual Approach*. W.H. Freeman.

Pingali, P. L. 2012. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31): 12302–12308.

Poehlman, J. M., & Sleper, D. A. (2006). *Breeding Field Crops*. Blackwell Publishing

plant breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 557–572.

Rasheed, A., Xia, X., & He, Z. (2017). From markers to genome-based breeding in plants. *Theoretical and Applied Genetics*, 130, 1971–1983.

Rodríguez, P. (2018). Multi-trait, multi-environment deep learning modeling for genomic-enabled prediction of plant traits. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(12), 3829–3845.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273.

Singh, A., Ganapathysubramanian, B., Singh, A. K., & Sarkar, S. (2016). Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. *Trends in Plant Science*, 21(2), 110–124.

Setter, T. L., & Waters, I. (2003). Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant and Soil*, 253, 1–34.

Scheben, A., & Edwards, D. (2018). Genome editors take on crops. *Science*, 355(6331), 1122–1123.

Simmonds, N. W., & Smartt, J. 1999. *Principles of Crop Improvement*. Blackwell Science.

Sleper, D. A., & Poehlman, J. M. (2006). *Breeding Field Crops*. Blackwell Publishing.

Snustad, D. P., & Simmons, M. J. 2016. *Principles of Genetics*. John Wiley & Sons.

Sitaresmi, T., Wening, R. H., Rakhmi, A. T., Yunani, N., & Susanto, U. (2013). Pemanfaatan plasma nutfah padi varietas lokal dalam perakitan varietas unggul. *Iptek Tanaman Pangan*, 8(1), 22–30.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates.

Tester, M., & Langridge, P. 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 327: 818–822.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677.

UN. (2019). *World Population Prospects 2019*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.

Varshney, R. K., Roorkiwal, M., Sinha, P., & Singh, V. K. (2021). Genomics-assisted breeding for sustainable crop improvement. *Nature Reviews Genetics*, 22, 213–234.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223.

Watson, J. D., & Crick, F. H. C. 1953. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171: 737-738.

Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508–513.

Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2020). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 339–359.

Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute

Zhang, H., Zhang, J., Wei, P., Zhang, B., Gou, F., Feng, Z. & Zhu, J. K. (2018). The CRISPR/Cas9 system produces specific and homozygous targeted gene editing in rice in one generation. *Plant Biotechnology Journal*, 16(3), 703–715.

GLOSARIUM

Adaptasi Lingkungan

Kemampuan tanaman untuk menyesuaikan pertumbuhan dan reproduksi terhadap kondisi lingkungan tertentu.

Agronomi

Ilmu yang mempelajari pengelolaan tanaman budidaya dan tanah untuk meningkatkan produksi pertanian.

Alelik

Berkaitan dengan hubungan antara dua atau lebih alel pada satu lokus gen.

Alel

Bentuk alternatif dari suatu gen yang menempati lokus yang sama pada kromosom homolog dan mengendalikan variasi suatu sifat.

Allogami

Sistem perkawinan tanaman yang terjadi melalui penyerbukan silang.

Autogami

Sistem perkawinan tanaman melalui penyerbukan sendiri.

Analisis Komponen Varians

Metode statistik yang digunakan untuk memisahkan variasi fenotipik menjadi komponen genetik dan lingkungan dalam suatu populasi.

Artificial Intelligence (AI)

Teknologi kecerdasan buatan yang digunakan untuk menganalisis data genomik dan fenotipik dalam pemuliaan tanaman guna memprediksi kinerja varietas.

Backcross

Metode persilangan antara keturunan hasil persilangan dengan salah satu tetua untuk mempertahankan sifat tertentu.

Bank Gen (Gene Bank)

Fasilitas penyimpanan plasma nutfah tanaman dalam bentuk benih, jaringan, atau bahan genetik lainnya untuk konservasi jangka panjang.

Bioinformatika

Bidang ilmu yang memanfaatkan teknologi komputer untuk menganalisis data biologis seperti genom, DNA, dan protein.

Biometrika

Penerapan metode statistik dalam analisis data biologis dan pemuliaan tanaman.

Bulk Method

Metode pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri dengan menanam populasi hasil persilangan secara massal selama beberapa generasi sebelum dilakukan seleksi.

Breeding Value

Nilai genetik suatu individu yang mencerminkan potensi gen yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

Candidate Gene

Gen yang diduga berperan dalam mengendalikan sifat tertentu berdasarkan penelitian molekuler.

Cultivar

Varietas tanaman budidaya yang memiliki sifat genetik stabil dan dapat dibedakan dari varietas lain.

Cryopreservation

Metode penyimpanan jaringan tanaman atau embrio dalam suhu sangat rendah (biasanya menggunakan nitrogen cair) untuk konservasi jangka panjang.

Diallel Cross

Metode persilangan yang melibatkan semua kemungkinan kombinasi antar tetua dalam suatu populasi.

Double Haploid (DH)

Tanaman yang memiliki dua set kromosom identik yang dihasilkan dari teknik haploidisasi.

Efisiensi Nitrogen (Nitrogen Use Efficiency)

Kemampuan tanaman untuk memanfaatkan nitrogen secara optimal sehingga menghasilkan produksi tinggi dengan penggunaan pupuk minimal.

Eksplorasi Plasma Nutfah

Kegiatan pengumpulan sumber daya genetik tanaman dari berbagai wilayah untuk tujuan konservasi dan pemuliaan.

Epistasis

Interaksi antara dua atau lebih gen yang mempengaruhi ekspresi suatu sifat.

Ex situ Conservation

Konservasi sumber daya genetik di luar habitat aslinya, misalnya di bank gen.

Fenotipe

Penampilan atau karakter yang dapat diamati pada organisme sebagai hasil interaksi genotipe dengan lingkungan.

Frekuensi Alel

Proporsi suatu alel tertentu dalam populasi dibandingkan dengan alel lain pada lokus yang sama.

Frekuensi Genotipe

Proporsi individu dalam populasi yang memiliki kombinasi gen tertentu.

Genetic Gain

Peningkatan nilai genetik suatu populasi sebagai hasil program seleksi.

Genetic Variance

Komponen varians fenotipik yang disebabkan oleh perbedaan genetik antar individu.

Genomic Selection

Metode seleksi menggunakan seluruh informasi genom untuk memprediksi nilai genetik individu.

Genotype × Environment Interaction (G×E)

Interaksi antara genotipe dan lingkungan yang mempengaruhi ekspresi fenotipe.

Germination

Proses perkecambahan benih menjadi tanaman muda.

Green Revolution

Periode peningkatan produksi pangan global melalui pengembangan varietas unggul dan teknologi pertanian modern.

Genome Editing

Teknologi yang memungkinkan modifikasi gen secara spesifik dalam genom organisme, seperti menggunakan CRISPR-Cas.

Genomika

Ilmu yang mempelajari struktur, fungsi, dan interaksi seluruh gen dalam suatu organisme.

Genotipe

Susunan genetik suatu individu yang menentukan potensi sifat yang dimilikinya.

Haplotype

Kombinasi alel yang diwariskan bersama pada satu segmen kromosom.

Haploid

Sel atau organisme yang memiliki satu set kromosom.

Hybrid Seed Production

Proses produksi benih hibrida melalui persilangan terkontrol antara tetua berbeda

Hardy-Weinberg Equilibrium

Prinsip genetika populasi yang menyatakan bahwa frekuensi alel dan genotipe dalam populasi akan tetap konstan dari generasi ke generasi jika tidak ada faktor evolusi.

Heterosis (Hybrid Vigor)

Fenomena peningkatan vigor atau performa pada keturunan hasil persilangan dibandingkan dengan tetuanya.

Ideotype

Model tanaman ideal dengan karakter tertentu yang diharapkan menghasilkan produktivitas tinggi.

In situ Conservation

Konservasi sumber daya genetik di habitat aslinya.

Introgression

Transfer gen dari satu spesies atau populasi ke populasi lain melalui persilangan berulang.

Karakter Agronomi

Sifat tanaman yang berhubungan dengan pertumbuhan, hasil, dan adaptasi terhadap lingkungan pertanian.

Karakterisasi Genetik

Proses identifikasi dan deskripsi sifat genetik suatu tanaman menggunakan pendekatan morfologi, biokimia, atau molekuler.

Keseimbangan Genetik Populasi

Kondisi ketika frekuensi alel dalam populasi stabil dari generasi ke generasi tanpa pengaruh faktor evolusi.

Ketahanan Genetik

Kemampuan tanaman untuk menahan atau mengurangi dampak serangan hama atau penyakit berdasarkan faktor genetik.

Kultur Jaringan

Teknik perbanyakan tanaman secara aseptik menggunakan bagian tanaman seperti sel, jaringan, atau organ dalam media buatan.

Open Pollination

Penyerbukan alami tanpa kontrol manusia.

Outbreeding

Perkawinan antara individu yang tidak berkerabat dekat.

Linkage

Keadaan ketika dua gen berada dekat pada kromosom sehingga cenderung diwariskan bersama.

Linkage Disequilibrium

Ketidakseimbangan frekuensi kombinasi alel pada dua lokus gen.

Locus (jamak: loci)

Posisi spesifik suatu gen pada kromosom.

Marker Assisted Selection (MAS)

Teknik seleksi dalam pemuliaan tanaman menggunakan penanda molekuler untuk mengidentifikasi gen atau sifat tertentu.

Metode Pedigree

Metode pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri yang melibatkan pencatatan silsilah individu terpilih pada setiap generasi.

Molecular Breeding

Pemuliaan tanaman yang memanfaatkan informasi molekuler dan DNA.

Mutation Breeding

Pemuliaan tanaman melalui induksi mutasi untuk menghasilkan variasi genetik baru.

Mutasi

Perubahan permanen pada urutan DNA yang dapat menghasilkan variasi genetik baru.

Near Isogenic Line (NIL)

Galur tanaman yang hampir identik secara genetik kecuali pada satu atau beberapa gen tertentu.

Pemuliaan Tanaman

Ilmu dan seni memperbaiki sifat tanaman melalui manipulasi genetik untuk menghasilkan varietas unggul.

Phenotyping (Fenomika)

Pengukuran dan analisis karakter fenotip tanaman secara kuantitatif menggunakan teknologi modern.

Phenotypic Selection

Seleksi tanaman berdasarkan sifat yang dapat diamati.

Polygenic Trait

Sifat yang dikendalikan oleh banyak gen.

Polimorfisme DNA

Variasi urutan DNA antar individu dalam suatu populasi.

Plasma Nutfah

Sumber daya genetik tanaman yang memiliki nilai penting untuk pemuliaan dan konservasi.

Precision Breeding

Pendekatan pemuliaan modern yang menggunakan informasi genomik untuk menghasilkan varietas dengan sifat spesifik secara lebih akurat.

Quantitative Trait

Sifat yang dikendalikan oleh banyak gen dan dipengaruhi lingkungan.

Quantitative Trait Locus (QTL)

Wilayah pada kromosom yang berkaitan dengan sifat kuantitatif tertentu

Recombination Frequency

Frekuensi terjadinya rekombinasi gen selama meiosis.

Resistance Breeding

Pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas tahan terhadap hama dan penyakit.

Segregasi Genetik

Pemisahan alel selama pembentukan gamet

Seleksi

Proses pemilihan individu terbaik dalam populasi untuk dijadikan tetua generasi berikutnya.

Seleksi Massa

Metode seleksi dengan memilih individu terbaik berdasarkan fenotipe tanpa memperhatikan silsilah.

Seleksi Berulang (Recurrent Selection)

Metode pemuliaan yang melibatkan seleksi dan persilangan berulang untuk meningkatkan frekuensi gen unggul.

Seleksi Keluarga

Metode seleksi yang didasarkan pada performa kelompok individu yang memiliki hubungan kekerabatan.

Single Seed Descent (SSD)

Metode pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri dengan mengambil satu biji dari setiap tanaman pada setiap generasi hingga mencapai homozigositas tinggi.

Smart Breeding

Pendekatan pemuliaan modern yang mengintegrasikan genomika, bioinformatika, dan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi seleksi.

Sterilitas Jantan (Male Sterility)

Kondisi tanaman yang tidak menghasilkan serbuk sari fertil sehingga digunakan dalam produksi benih hibrida.

Struktur Populasi

Distribusi genotipe dan alel dalam suatu populasi yang dipengaruhi oleh seleksi, mutasi, migrasi, dan perkawinan.

Synthetic Population

Populasi yang dibentuk dari beberapa genotipe unggul yang disilangkan bersama

Test Cross

Persilangan antara individu yang tidak diketahui genotipenya dengan individu homozigot resesif.

Top Cross

Persilangan antara galur uji dengan populasi tertentu untuk mengevaluasi kemampuan kombinasi.

Transgenik

Tanaman yang memiliki gen dari organisme lain melalui rekayasa genetika.

Varietas Komposit

Varietas yang dibentuk dari campuran beberapa genotipe unggul yang disilangkan secara bebas.

Varian Genetik

Perbedaan genetik antar individu dalam suatu populasi.

Varietas Sintetis

Varietas yang dikembangkan dari beberapa galur unggul dengan kemampuan kombinasi baik yang disilangkan secara terbuka.

Varietas Unggul

Varietas tanaman yang memiliki sifat produktivitas tinggi, kualitas baik, dan adaptasi luas terhadap lingkungan.

Yield Stability

Kemampuan varietas menghasilkan produksi stabil pada berbagai kondisi lingkungan

Zigot

Sel hasil peleburan gamet jantan dan betina yang berkembang menjadi individu baru.

PROFIL PENULIS

Prof. Dr. Laila Nazirah, S.P., M.P., lahir di Lhoksukon 12 Juni 1976 dari pasangan H. Moh. Amin Pandrah dan Hj. Asmaul Husna (Almarhumah) Penulis menempuh pendidikan Sarjana (S1) Jurusan Agronomi Universitas Tadulako (UNTAD) tahun 1995 dan lulus tahun 2000. Pendidikan Magister (S2) pada Program Pasca Sarjana Jurusan Agronomi Universitas Sumatera Utara (USU) tahun 2005 dan lulus tahun 2008. Pendidikan Doktor (S3) pada Program Pasca Sarjana Jurusan Ilmu Pertanian Universitas Sumatera Utara (USU) mulai tahun 2012 dan lulus tahun 2017.

Saat ini penulis menjadi staf pengajar di Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh (dari tahun 2003 sampai sekarang). dan juga staf pengajar Program Magister (S2) Agroekoteknologi Universitas Malikussaleh. Spesialisasi penulis pada bidang Agronomi dengan bidang fokus Pemuliaan Tanaman dan sebagai Koordinator mata Kuliah Pemuliaan Tanaman, Genetika Tanaman, Bioteknologi Tanaman Kultur Jaringan Tanaman dan Teknologi Budidaya Tanaman Pangan.

Penulis pernah menjabat dua periode sebagai Ketua Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh.tahun (2009 - 2012) dan tahun (2017-2020) juga menjabat sebagai Ketua Program Magister Agroekoteknologi (PM-AET) Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh tahun 2021 sampai tahun 2025. Penulis juga aktif sebagai Anggota PAGI (Perkumpulan Agroteknologi /Agroekoteknologi Indonesia) dan anggota PERIPI (Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia) dengan nomor anggota 1976 11700952 penulis juga sudah banyak mempublikasikan tulisan melalui Jurnal Internasional bereputasi dan Jurnal Nasional Terakreditasi. Buku ini disusun menjadi referensi penting bagi mahasiswa, peneliti, pemulia tanaman dan masyarakat yang berkecimpung didunia pertanian.

Buku **"Genetika dan Pemuliaan Tanaman: Teori, Metode, dan Aplikasi dalam Pengembangan Varietas Unggul"** menyajikan pembahasan komprehensif mengenai konsep dasar genetika hingga penerapannya dalam program pemuliaan tanaman modern. Ilmu genetika menjadi fondasi utama dalam memahami mekanisme pewarisan sifat pada tanaman, sementara pemuliaan tanaman merupakan upaya sistematis untuk memanfaatkan keragaman genetik tersebut guna menghasilkan varietas unggul yang memiliki produktivitas tinggi, kualitas hasil yang baik, serta ketahanan terhadap berbagai cekaman lingkungan. Buku ini diawali dengan pembahasan mengenai **prinsip-prinsip dasar genetika**, termasuk struktur dan fungsi gen, pewarisan sifat, serta genetika populasi yang berperan dalam membentuk variasi genetik pada tanaman. Selanjutnya, dibahas berbagai **sumber keragaman genetik**, eksplorasi dan konservasi plasma nutfah, serta pentingnya sumber daya genetik tanaman sebagai bahan dasar dalam kegiatan pemuliaan.

Pada bagian berikutnya, buku ini menguraikan berbagai **metode pemuliaan tanaman**, baik pada tanaman menyerbuk sendiri maupun tanaman menyerbuk silang. Metode-metode seperti seleksi massa, metode pedigree, metode bulk, dan single seed descent dijelaskan secara sistematis sebagai pendekatan klasik dalam menghasilkan galur unggul. Selain itu, buku ini juga membahas teknik pemuliaan tanaman modern yang memanfaatkan **bioteknologi dan pendekatan molekuler**, seperti kultur jaringan, penggunaan marker molekuler, marker assisted selection, serta teknologi genomika dan penyuntingan gen. Perkembangan teknologi digital dalam bidang pertanian juga menjadi bagian penting dalam buku ini. Konsep **precision breeding, bioinformatika, fenomika, serta pemanfaatan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence)** dalam pemuliaan tanaman dibahas sebagai inovasi yang mampu meningkatkan efisiensi seleksi dan mempercepat proses pengembangan varietas unggul.

Selain aspek teoritis dan metodologis, buku ini juga menyoroti a**plikasi pemuliaan tanaman dalam menghadapi tantangan ketahanan pangan global,** termasuk perubahan iklim, keterbatasan sumber daya lahan, serta meningkatnya kebutuhan pangan dunia. Pemanfaatan **plasma nutfah tanaman lokal,** termasuk padi lokal yang memiliki keragaman genetik tinggi, dibahas sebagai sumber gen penting dalam pengembangan varietas adaptif dan berkelanjutan.

Disusun secara sistematis dengan pendekatan ilmiah yang mudah dipahami, buku ini diharapkan dapat menjadi r**eferensi akademik bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan praktisi pertanian** yang ingin memahami konsep genetika dan pemuliaan tanaman secara mendalam. Melalui integrasi antara teori, metode, dan aplikasi, buku ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai peran genetika dan pemuliaan tanaman dalam mendukung **pengembangan varietas unggul dan ketahanan pangan di masa depan.**

KBM INDONESIA
www.penerbitkbm.com

PENERBIT KBM INDONESIA
Anggota IKAPI
0813 5751 7526 / (0353) 3234874
Kantor : Maguwoharjo, Depok, Sleman-Yogyakarta
@penerbitbukujogja
@penerbit.kbm

ISBN 978-634-278-403-7
9 786342 784037