



# BUKU AJAR METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI

Prof.Dr. Ir. Ai Komariah, M.S.

# **BUKU AJAR METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI**

Prof.Dr. Ir. Ai Komariah, M.S.



# BUKU AJAR METODE PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI

Penulis:  
Prof.Dr. Ir. Ai Komariah, M.S.

Editor:  
Ida Marina

Layouter :  
Tim Kreatif PRCI

Cover:  
Rusli

Cetakan Pertama : September 2025

Hak Cipta 2025, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia**  
**ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**  
Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151  
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : [www.rcipress.rcipublisher.org](http://www.rcipress.rcipublisher.org)  
E-mail : [rumahcemerlangindonesia@gmail.com](mailto:rumahcemerlangindonesia@gmail.com)

Copyright © 2025 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia  
All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2025  
; 18 x 25cm  
ISBN

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan  
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang  
**Hak Cipta Pasal 72**

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta  
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya buku ajar dengan judul **Buku Ajar Metode Pemuliaan Tanaman Menyerbuk Sendiri** dapat diselesaikan dengan baik. Kehadiran buku ini diharapkan dapat menjadi rujukan akademik sekaligus panduan praktis bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi pertanian dalam memahami konsep, prinsip, serta metode pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri secara lebih sistematis dan komprehensif.

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu pilar penting dalam upaya meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan pangan. Tanaman menyerbuk sendiri, dengan karakteristik genetik dan mekanisme reproduksi yang khas, memerlukan strategi pemuliaan khusus agar potensi variabilitas genetiknya dapat dimanfaatkan secara optimal. Buku ini disusun untuk memberikan landasan teoritis, kerangka metodologis, serta contoh aplikatif mengenai berbagai metode seleksi, pemanfaatan bioteknologi, penggunaan marker molekuler, hingga evaluasi stabilitas genetik dan pelepasan varietas baru.

Secara garis besar, buku ini terdiri atas dua belas bab yang meliputi konsep dasar pemuliaan tanaman, karakteristik tanaman menyerbuk sendiri, dasar genetika, sumber variasi genetik, metode seleksi massa dan galur murni, seleksi pedigree, bulk, dan SSD, penggunaan doubled haploid serta bioteknologi, evaluasi karakter agronomi, penerapan marker molekuler, analisis stabilitas genetik, prosedur pelepasan varietas dan sertifikasi benih, hingga tantangan serta inovasi pemuliaan di era digital. Dengan sistematika ini, diharapkan pembaca tidak hanya memahami aspek teori, tetapi juga mampu menghubungkannya dengan praktik lapangan serta perkembangan teknologi mutakhir.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap buku ajar ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi perkembangan ilmu pemuliaan tanaman, serta menjadi salah satu kontribusi dalam mencetak sumber daya manusia unggul di bidang pertanian.

Bandung, September 2025

Penulis

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	II
BAB I. KONSEP DASAR PEMULIAAN TANAMAN	1
1.1 Definisi dan Ruang Lingkup	1
1.2 Tujuan Pemuliaan Tanaman	4
1.3 Sejarah dan Perkembangan Pemuliaan	6
1.4 Pemuliaan Tanaman di Indonesia dan Dunia	11
BAB II. KARAKTERISTIK TANAMAN MENYERBUK SENDIRI	18
2.1 Definisi Tanaman Menyerbuk Sendiri	18
2.2 Mekanisme Self-Pollination	20
2.3 Keunggulan dan Kelemahan Tanaman Menyerbuk Sendiri	25
2.4 Contoh Tanaman Menyerbuk Sendiri	29
BAB III. DASAR GENETIKA PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI	32
3.1 Hukum Pewarisan Sifat	32
3.2 Homozygositas dan Heterozygositas	37
3.3 Inbreeding Depression dan Fixasi Genetik	41
3.4 Variabilitas Genetik	45
BAB IV. SUMBER VARIASI GENETIK	49
4.1 Plasma Nutfah	49
4.2 Introduksi dan Eksplorasi	54
4.3 Induksi Mutasi	57
4.4 Hibridisasi Awal	63
BAB V. METODE SELEKSI MASSA DAN GALUR MURNI	70
5.1 Seleksi Massa: Prinsip dan Prosedur	70
5.2 Seleksi Galur Murni: Proses, Keunggulan, dan Keterbatasan	75
5.3 Studi Kasus	79
BAB VI. METODE SELEKSI PEDIGREE, BULK, DAN SINGLE SEED DESCENT	84
6.1 Seleksi Pedigree: Proses dan Pencatatan	84
6.2 Bulk Population Method	89
6.3 Metode Single Seed Descent (SSD)	92
6.4 Studi Perbandingan Metode	96

BAB VII. PENGGUNAAN DOUBLED HAPLOID DAN BIOTEKNOLOGI	101
7.1 Prinsip Doubled Haploid	101
7.2 Prosedur Pembuatan Galur DH	106
7.3 Kultur Jaringan	109
7.4 Pemanfaatan CRISPR dan Editing Genom	113
BAB VIII. EVALUASI KARAKTER AGRONOMI DAN SELEKSI LAPANG	119
8.1 Karakter Agronomi Utama	119
8.2 Evaluasi Daya Hasil, Toleransi Cekaman Biotik dan Abiotik	124
8.3 Seleksi Multilokasi	128
8.4 Pencatatan dan Dokumentasi Lapangan	131
BAB IX. MARKER MOLEKULER DALAM PEMULIAAN TANAMAN	137
9.1 Jenis-jenis Marker (RAPD, SSR, SNP, AFLP)	137
9.2 Marker Assisted Selection (MAS)	141
9.3 Integrasi MAS dalam Seleksi Awal dan Lanjut	144
BAB X. EVALUASI STABILITAS GENETIK DAN ADAPTASI VARIETAS	150
10.1 Stabilitas Genetik	150
10.2 Analisis Stabilitas Multi-Lokasi	154
10.3 Adaptasi Varietas pada Lingkungan Beragam	158
BAB XI. PELEPASAN VARIETAS DAN SERTIFIKASI BENIH	165
11.1 Prosedur Uji Varietas Baru (UVT)	165
11.2 Sertifikasi Benih	172
11.3 Peraturan dan Kebijakan Nasional	176
BAB XII. TANTANGAN DAN INOVASI PEMULIAAN TANAMAN MENYERBUK SENDIRI	182
12.1 Tantangan Global: Perubahan Iklim dan Krisis Pangan	182
12.2 Inovasi Digital dalam Pemuliaan (AI, Big Data, Genomic Selection)	190
12.3 Kolaborasi Internasional dan Program Masa Depan	193
DAFTAR PUSTAKA	210
INDEKS	213



# **BAB I. Konsep Dasar Pemuliaan Tanaman**

## **1.1 Definisi dan Ruang Lingkup**

### **A. Definisi Pemuliaan Tanaman**

Pemuliaan tanaman (plant breeding) adalah cabang ilmu yang memanfaatkan prinsip genetika, fisiologi, ekologi, bioteknologi, dan statistika untuk memperbaiki sifat genetik tanaman agar lebih sesuai dengan kebutuhan manusia dan lingkungan. Sleper dan Poehlman (2020) mendefinisikan pemuliaan tanaman sebagai ilmu dan seni dalam memodifikasi komposisi genetik tanaman budidaya untuk meningkatkan nilai guna ekonomisnya.

Menurut Singh et al. (2021), pemuliaan tanaman adalah proses berkesinambungan yang melibatkan identifikasi, seleksi, penggabungan sifat unggul, dan pelepasan varietas baru secara legal dan komersial. Definisi terkini juga menekankan penggunaan pemuliaan berbasis genom (genomic breeding) dan pemuliaan presisi (precision breeding) yang memanfaatkan teknologi marker-assisted selection (MAS), genome editing (CRISPR/Cas9), dan big data (Friedrich et al., 2023).

### **B. Ruang Lingkup Pemuliaan Tanaman**

Ruang lingkup pemuliaan tanaman sangat luas dan mencakup beberapa aspek berikut:

#### **1. Perbaikan Produktivitas (Yield Improvement)**

Produktivitas hasil (yield per hectare) merupakan tujuan utama. Sebagai contoh, menurut FAOSTAT (2023), rata-rata produktivitas padi di Asia Tenggara meningkat dari 4.5 ton/ha (2010) menjadi 4.9 ton/ha (2022) berkat introduksi varietas unggul baru. Pemuliaan meningkatkan yield potential dengan memaksimalkan efisiensi penggunaan cahaya, nutrisi, dan air.

Tabel 1. Rata-rata Produktivitas Padi di Beberapa Negara Asia Tenggara (ton/ha)

<b>Negara</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2022</b>
Indonesia	5.1	5.3	5.5	5.6
Thailand	3.0	3.2	3.5	3.6
Vietnam	5.4	5.6	5.8	5.9
Filipina	3.6	3.8	4.0	4.1
Malaysia	3.8	4.0	4.2	4.4

Sumber: FAOSTAT, 2023.

## 2. Ketahanan terhadap Biotik dan Abiotik

Pemuliaan tanaman juga bertujuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap:

- Hama dan penyakit (biotic stress): Tanaman sering menghadapi tekanan biotik seperti serangan hama dan penyakit yang dapat menurunkan hasil secara signifikan. Contohnya adalah varietas padi IR64 yang memiliki ketahanan terhadap wereng coklat (*Nilaparvata lugens*), salah satu hama utama padi di Asia. Ketahanan ini dihasilkan melalui pemuliaan dengan menggabungkan gen ketahanan spesifik sehingga padi IR64 dapat tetap berproduksi optimal meskipun terdapat serangan wereng, sekaligus mengurangi penggunaan insektisida kimia di lahan pertanian.
- Stres abiotic: Selain gangguan biotik, tanaman juga terpapar stres abiotik seperti kekeringan, salinitas, dan suhu ekstrem, yang dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan hasil panen. Sebagai contoh, pemuliaan jagung di Afrika Sub-Sahara menghasilkan varietas jagung toleran kekeringan (drought-tolerant maize) yang mampu meningkatkan produktivitas hingga 35% pada lahan marginal yang sering mengalami defisit air (Cairns et al., 2021). Inovasi ini sangat penting untuk mendukung ketahanan pangan di wilayah dengan curah hujan rendah atau tidak menentu.

## 3. Perbaikan Mutu Hasil (Quality Improvement)

Mutu hasil mencakup:

- Kandungan nutrisi (biofortifikasi): Golden Rice diperkaya beta-karoten untuk mencegah defisiensi vitamin A yang menyebabkan kebutaan pada masyarakat Asia.

- Rasa dan aroma.: Pemuliaan padi aromatik menghasilkan beras dengan aroma khas yang disukai konsumen, seperti Basmati dan Jasmine.
- Tekstur dan umur simpan.: Tomat shelf-life extension memiliki tekstur lebih keras dan kulit tebal sehingga tahan lama saat penyimpanan dan distribusi.
- Keamanan pangan.: Pemuliaan menurunkan kandungan toksin seperti sianida pada singkong sehingga lebih aman dikonsumsi.
- Peningkatan zinc dan iron.: Menurut Varshney et al. (2021), pemuliaan biofortifikasi meningkatkan zinc gandum hingga 40 ppm dan iron kacang-kacangan hingga 80 ppm untuk mendukung SDGs 2030.

#### 4. Adaptasi pada Agroekosistem Tertentu

Varietas dihasilkan untuk adaptasi spesifik:

- Lahan kering, lahan pasang surut, gambut: Lahan kering membutuhkan varietas tahan kekeringan, lahan pasang surut memerlukan varietas tahan genangan dan salinitas, sedangkan lahan gambut memerlukan tanaman toleran tanah asam dan miskin hara.
- Dataran tinggi atau rendah: Dataran tinggi cocok untuk varietas tahan suhu rendah dan umur panjang, sedangkan dataran rendah memerlukan varietas tahan panas dan genjah.
- Sistem tumpangsari atau monokultur: Tumpangsari memerlukan varietas kompatibel dengan tanaman lain, sedangkan monokultur fokus pada varietas berproduksi tinggi dan seragam.

#### 5. Pengembangan Plasma Nutfah dan Konservasi Genetik

Pemuliaan tanaman juga meliputi eksplorasi, karakterisasi, dan konservasi sumber daya genetik untuk menjaga keberlanjutan pemuliaan. Menurut Global Crop Diversity Trust (2020), terdapat lebih dari 7.4 juta akses plasma nutfah di seluruh bank gen dunia, termasuk di IRRI, CIMMYT, dan ICRISAT.

Tabel 2. Koleksi Plasma Nutfah Utama Dunia (aksesions)

<b>Bank Gen/Institusi</b>	<b>Tanaman Utama</b>	<b>Jumlah Koleksi</b>
IRRI (Filipina)	Padi	> 127,000
CIMMYT (Meksiko)	Gandum, Jagung	> 170,000
ICRISAT (India)	Kacang tanah, sorgum	> 128,000
CIAT (Kolombia)	Kacang-kacangan	> 67,000

Sumber: Global Crop Diversity Trust, 2020.

## 1.2 Tujuan Pemuliaan Tanaman

Pemuliaan tanaman memiliki tujuan yang sangat luas dan mendalam, yang terus berkembang sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia, perkembangan ilmu genetika, bioteknologi, dan tantangan global seperti perubahan iklim. Menurut Singh et al. (2021) serta didukung oleh Gao (2021) dan Varshney et al. (2021), setidaknya ada empat tujuan utama pemuliaan tanaman, yaitu :

### 1. Meningkatkan Hasil dan Stabilitas Hasil

Tujuan utama pemuliaan tanaman sejak awal munculnya ilmu genetika adalah untuk meningkatkan produktivitas hasil tanaman. Hal ini dilakukan dengan memilih dan menggabungkan gen-gen unggul dari tetua yang memiliki potensi hasil tinggi. Contoh nyata adalah pemuliaan padi, kedelai, dan jagung di Indonesia yang terus menghasilkan varietas-varietas baru dengan potensi hasil lebih tinggi dibandingkan varietas lama.

Namun, peningkatan hasil saja tidak cukup apabila hasil tersebut tidak stabil pada berbagai kondisi lingkungan. Oleh karena itu, tujuan kedua dalam konteks ini adalah meningkatkan stabilitas hasil, yaitu memastikan varietas mampu berproduksi baik pada lingkungan optimal maupun sub-optimal. Stabilitas hasil sangat penting di negara tropis seperti Indonesia yang memiliki variasi iklim dan kesuburan tanah cukup tinggi antar lokasi. Menurut FAO (2021), varietas dengan hasil tinggi dan stabil berperan penting dalam ketahanan pangan nasional karena dapat mengurangi risiko gagal panen akibat cuaca ekstrim, penyakit, atau faktor lingkungan lainnya.

Sebagai contoh, varietas padi Inpari 32 yang dirilis oleh Balitbangtan memiliki potensi hasil tinggi serta adaptif pada lahan sawah irigasi di berbagai provinsi di Indonesia. Demikian juga pada kedelai, pemuliaan dihasilkan untuk meningkatkan jumlah polong per tanaman

dan bobot 100 biji yang berkorelasi dengan peningkatan produktivitas total.

## 2. Meningkatkan Ketahanan Tanaman

Tujuan berikutnya adalah meningkatkan ketahanan tanaman, baik terhadap faktor biotik (hama dan penyakit) maupun abiotik (kekeringan, salinitas, suhu ekstrem, dan banjir). Ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit menjadi fokus utama sejak munculnya Green Revolution, karena kerugian hasil akibat organisme pengganggu tanaman (OPT) dapat mencapai 20–40% per tahun di negara berkembang (FAO, 2021).

Di era modern, pemuliaan tanaman juga menargetkan ketahanan terhadap stres abiotik. Contohnya adalah pemuliaan padi dan jagung toleran kekeringan untuk lahan tadah hujan yang ketersediaan airnya sangat terbatas. Penelitian Gao (2021) menunjukkan bahwa teknologi genome editing seperti CRISPR/Cas9 kini banyak dimanfaatkan untuk memperbaiki sifat toleransi stres abiotik melalui modifikasi gen spesifik yang mengatur respon tanaman terhadap stres lingkungan.

Selain itu, ketahanan terhadap penyakit tanaman juga terus dikembangkan, misalnya gandum tahan karat daun dan karat batang di Meksiko melalui program CIMMYT, serta padi tahan blas dan wereng coklat melalui program IRRI di Filipina. Upaya ini berkontribusi besar dalam menjaga hasil panen tetap tinggi dan mengurangi penggunaan pestisida kimia yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

## 3. Memperbaiki Mutu Hasil

Pemuliaan tanaman tidak hanya fokus pada kuantitas hasil, tetapi juga pada kualitas atau mutu hasil yang mencakup berbagai aspek seperti kandungan gizi, rasa, tekstur, warna, aroma, umur simpan, dan sifat prosesing (olah). Misalnya, pada padi dikembangkan varietas dengan tekstur pulen dan aroma wangi yang digemari konsumen. Contoh lainnya adalah pemuliaan kedelai untuk meningkatkan kadar protein, sehingga dapat memenuhi standar industri tempe dan tahu.

Salah satu contoh pemuliaan untuk meningkatkan mutu gizi adalah pengembangan Golden Rice, yaitu padi yang diperkaya  $\beta$ -karoten (provitamin A) untuk mengatasi defisiensi vitamin A di Asia. Selain itu, jagung Quality Protein Maize (QPM) dikembangkan dengan kandungan lisin dan triptofan yang lebih tinggi untuk meningkatkan nilai gizi protein pada masyarakat yang mengonsumsi jagung sebagai pangan pokok.

Gao (2021) menegaskan bahwa pemuliaan berbasis bioteknologi, seperti genome editing, memiliki potensi besar untuk memperbaiki kandungan nutrisi tanaman tanpa mengorbankan sifat agronomis lainnya, sehingga dapat membantu mengatasi masalah malnutrisi tersembunyi (hidden hunger) di negara berkembang.

#### 4. Menambah Keberagaman Genetik

Tujuan strategis lain dalam pemuliaan tanaman adalah menambah keberagaman genetik (genetic diversity) dalam populasi tanaman budidaya. Keberagaman genetik diperlukan untuk:

- Konservasi sumber daya genetik tanaman (SDGT) agar plasma nutfah tidak punah.
- Cadangan gen resistensi yang dapat dimanfaatkan jika muncul penyakit atau hama baru.
- Adaptasi terhadap perubahan iklim dengan menghasilkan varietas yang lebih toleran terhadap kondisi lingkungan yang tidak menentu.

Varshney et al. (2021) menyatakan bahwa tantangan pemuliaan di era modern adalah rendahnya variasi genetik akibat domestikasi yang terlalu sempit (narrow genetic base). Oleh karena itu, banyak program pemuliaan global seperti di CIMMYT (Meksiko) dan IRRI (Filipina) mengintegrasikan plasma nutfah liar (wild relatives) dalam pemuliaan varietas modern. Sumber genetik liar sering memiliki gen ketahanan terhadap penyakit atau toleransi abiotik yang tidak terdapat pada varietas budidaya, sehingga penting untuk memperkaya dasar genetik tanaman pangan.

Friedrich et al. (2023) menambahkan bahwa keberagaman genetik juga menjadi basis untuk pengembangan pemuliaan presisi (precision breeding) yang memanfaatkan data genomik, fenotipe digital, dan kecerdasan buatan untuk mempercepat seleksi varietas unggul sesuai kebutuhan spesifik ekoregion.

### 1.3 Sejarah dan Perkembangan Pemuliaan

Pemuliaan tanaman merupakan salah satu cabang ilmu pertanian tertua, yang berawal dari seleksi tanaman liar oleh manusia purba hingga penggunaan teknologi rekayasa genetika modern dan genome editing saat ini. Pemahaman sejarah pemuliaan penting agar mahasiswa memahami

evolusi metode, tujuan, serta implikasinya dalam ketahanan pangan global.

#### A. Perkembangan Awal

##### 1. Periode Prasejarah (10.000 – 5.000 SM): Domestikasi oleh Petani Purba

Pada era ini, manusia berpindah dari gaya hidup berburu dan meramu (hunter-gatherer) menuju pertanian menetap (agriculture-based society). Mereka menyeleksi tanaman liar berdasarkan sifat yang menguntungkan, seperti:

- Ukuran biji besar: Ukuran biji yang besar menjadi salah satu karakter utama yang diseleksi oleh petani purba karena menghasilkan cadangan makanan lebih banyak per tanaman. Selain itu, biji besar mempermudah proses panen dan penanaman ulang, sehingga meningkatkan efisiensi budidaya sejak masa domestikasi awal.
- Rasa enak: Rasa enak atau palatabilitas tinggi menjadi prioritas seleksi karena menentukan preferensi konsumsi manusia. Tanaman dengan rasa enak lebih disukai, dikembangkan, dan dibudidayakan luas oleh masyarakat setempat, terutama pada tanaman pangan seperti padi, jagung, dan buah-buahan.
- Tidak mudah rontok (non-shattering): Karakter tidak mudah rontok (non-shattering) penting dalam domestikasi karena memudahkan pemanenan. Tanaman liar umumnya memiliki biji yang mudah rontok agar tersebar di alam, sedangkan pada tanaman budidaya, sifat ini diubah agar biji tetap menempel hingga panen, meningkatkan hasil yang dapat dikumpulkan.
- Pertumbuhan seragam: Pertumbuhan yang seragam memudahkan petani dalam mengatur waktu tanam, pemeliharaan, dan panen. Selain itu, keseragaman pertumbuhan juga mencerminkan kestabilan genetik varietas, sehingga lebih diutamakan dalam pemuliaan untuk mendukung sistem pertanian modern yang efisien.

Tabel 3. Tanaman Domestikasi di Berbagai Wilayah

Tanaman	Asal Domestikasi	Perkiraan Tahun (SM)	Karakter yang Dipilih
Gandum	Fertile Crescent (Timur Tengah)	10.000 – 8.000	Non-shattering, ukuran biji besar
Padi	Lembah Sungai Yangtze, China	9.000 – 8.000	Malai besar, umur seragam
Jagung	Meksiko Selatan	9.000 – 7.000	Tongkol besar, biji lunak
Kedelai	China Timur	3.000 – 2.000	Ukuran biji, kandungan protein
Kentang	Andes, Peru	8.000 – 6.000	Umbi besar, rasa netral

Sumber: Purugganan (2019); Larson et al. (2014)

## 2. Abad ke-19: Lahirnya Genetika Klasik

### 1866 – Penemuan Hukum Mendel

Gregor Mendel mempublikasikan penelitiannya pada persilangan kacang ercis (*Pisum sativum*), menghasilkan dua hukum dasar genetika:

- Hukum Segregasi (Segregation Law): Gen berpasangan akan dipisahkan secara acak dalam gamet.
- Hukum Asortasi Bebas (Independent Assortment Law): Distribusi alel pada satu gen tidak mempengaruhi gen lain.

Namun, penemuannya tidak diakui hingga awal 1900-an karena keterbatasan publikasi.

### 3. Awal Abad ke-20: Penemuan Kembali Hukum Mendel

Pada tahun 1900, tiga ilmuwan Eropa – Hugo de Vries, Carl Correns, dan Erich von Tschermak – menemukan kembali hukum Mendel secara independen ketika melakukan persilangan pada tanaman berbeda. Ini menandai awal era genetika klasik yang menjadi dasar pemuliaan modern (Meyer et al., 2021).

### 4. 1910–1960: Era Seleksi Massa dan Seleksi Galur Murni

Pada periode ini, pemuliaan tanaman menyerbuk sendiri (self-pollinated crops) menggunakan metode:

- Seleksi Massa (Mass Selection): Mengumpulkan benih tanaman terbaik secara populasi untuk generasi berikutnya.
- Seleksi Galur Murni (Pure Line Selection): Seleksi individu diikuti penanaman terpisah hingga diperoleh galur murni homozygous.

Contoh keberhasilan:

- Padi varietas Bengawan (Indonesia)
- Gandum varietas Turkey Red (AS)

Metode ini sederhana dan cocok untuk petani lokal, namun terbatas dalam meningkatkan potensi hasil (Acquaah, 2020).

## B. Era Modern Pemuliaan

### 1. 1960–1980: Revolusi Hijau (Green Revolution)

Revolusi Hijau dipimpin oleh Norman Borlaug, menghasilkan varietas padi dan gandum berdaya hasil tinggi (high yielding varieties) dengan karakteristik:

- Respon tinggi terhadap pupuk NPK: Varietas dengan respon tinggi terhadap pupuk NPK mampu memanfaatkan unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium secara optimal sehingga dapat meningkatkan produksi secara signifikan dibanding varietas lokal. Sifat ini sangat penting dalam Revolusi Hijau karena memungkinkan hasil panen melonjak saat diberi input pupuk dengan dosis sesuai anjuran.
- Tahan rebah: Tanaman tahan rebah memiliki batang yang kuat dan kokoh sehingga tidak mudah roboh meskipun diberi pupuk dalam jumlah tinggi atau saat terkena hujan dan angin kencang. Sifat ini penting pada varietas modern karena rebah dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen secara drastis.
- Umur pendek (early maturing): Varietas berumur pendek atau early maturing adalah tanaman yang memiliki siklus hidup relatif singkat, sehingga dapat dipanen lebih cepat dibanding varietas lama. Keunggulan ini bermanfaat untuk menghindari musim kering, memungkinkan penanaman lebih dari satu kali setahun (intensifikasi), dan mengurangi risiko gagal panen akibat perubahan cuaca.

Tabel 4. Dampak Revolusi Hijau di Asia Selatan

Negara	Produksi Gandum (juta ton)	Sebelum 1965	Sesudah 1980	Pertumbuhan (%)
India	12	36	+24	+200%
Pakistan	4	11	+7	+175%

Sumber: FAOSTAT (2020)

### 2. 1980 – Sekarang: Bioteknologi, Rekayasa Genetika, dan MAS

Periode ini ditandai oleh kemajuan pesat:

- Kultur Jaringan (Micropropagation): Kultur jaringan adalah cara memperbanyak tanaman dari potongan kecil bagian tanaman dalam botol steril berisi nutrisi. Teknik ini cepat dan bisa menghasilkan banyak bibit yang sama persis dan bebas penyakit.
- Rekayasa Genetika (GMO): Rekayasa genetika adalah memasukkan gen tertentu dari makhluk lain ke tanaman agar punya sifat baru. Contohnya jagung Bt yang dimasukkan gen bakteri *Bacillus thuringiensis* sehingga tahan hama penggerek batang.
- Marker-Assisted Selection (MAS): MAS adalah cara menyeleksi tanaman menggunakan penanda DNA. Dengan cara ini, kita bisa tahu sifat unggul tanaman sejak masih bibit tanpa menunggu tumbuh besar, sehingga pemuliaan jadi lebih cepat dan tepat.

### 3. 2015 – Sekarang: Era Genome Editing dan Precision Breeding

Penemuan CRISPR/Cas9 merevolusi pemuliaan tanaman dengan:

- Target spesifik: Memotong dan mengedit gen target tanpa menambah gen asing. Teknologi genome editing seperti CRISPR/Cas9 bekerja dengan cara memotong bagian tertentu dari DNA tanaman pada lokasi gen target secara presisi. Setelah dipotong, gen tersebut dapat dinonaktifkan (knock-out) atau diperbaiki (knock-in) sesuai tujuan pemuliaan tanpa perlu memasukkan gen asing dari spesies lain. Hal ini membedakannya dengan transgenik konvensional, karena genome editing hanya memodifikasi gen yang sudah ada dalam tanaman sehingga hasilnya lebih alami dan seringkali tidak dikategorikan sebagai GMO di beberapa negara.
- Cepat dan murah: Mengurangi waktu seleksi 30–50% dibanding metode konvensional. Dibandingkan pemuliaan konvensional yang memerlukan waktu 7–10 tahun untuk menghasilkan varietas baru, genome editing dapat mempercepat proses seleksi menjadi hanya 3–5 tahun. Selain itu, biaya risetnya relatif lebih murah karena teknologi ini memotong langsung gen target tanpa memerlukan generasi segregasi panjang. Kecepatan dan efisiensi biaya ini menjadikan genome editing sebagai pilihan strategis untuk pemuliaan tanaman masa depan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan kebutuhan pangan global.

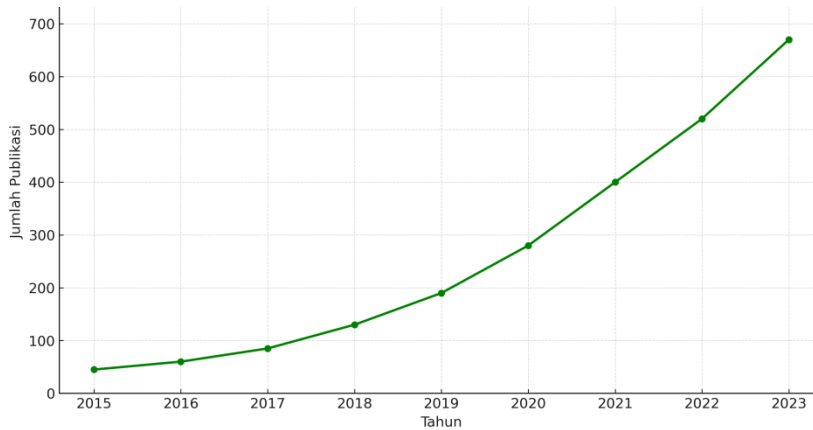
Contoh aplikasi:

- Padi toleran salinitas (Zhang et al., 2018)

- Gandum rendah gluten (Sanchez-Leon et al., 2018)
- Tomat dengan shelf-life panjang (Li et al., 2020)

Tabel 5. Penerapan Genome Editing di Tanaman Pangan

Tanaman	Karakter yang Diperbaiki	Metode Editing
Padi	Toleransi kekeringan dan salinitas	CRISPR/Cas9
Tomat	Penundaan pematangan buah	CRISPR/Cas9
Gandum	Gluten rendah	CRISPR/Cas9
Jagung	Rendemen pati tinggi	CRISPR/Cas9



Gambar 1. Tren Publikasi Genome Editing pada Tanaman (2015–2023)

Sejak tahun 2015, publikasi ilmiah mengenai genome editing pada tanaman menunjukkan tren peningkatan eksponensial. Awalnya hanya sedikit studi yang dipublikasikan, namun mulai 2018 jumlahnya naik pesat. Fenomena ini menunjukkan semakin meluasnya adopsi teknologi CRISPR/Cas9 dan platform genome editing lain sebagai pendekatan utama dalam pemuliaan tanaman modern.

Pada 2023, jumlah publikasi telah mencapai titik tertinggi sepanjang periode pengamatan, mengindikasikan bahwa genome editing menjadi masa depan inovasi pertanian dan ketahanan pangan.

## 1.4 Pemuliaan Tanaman di Indonesia dan Dunia

### A. Pemuliaan Tanaman di Indonesia

#### 1. Lembaga dan Pusat Pemuliaan Tanaman di Indonesia

Pemuliaan tanaman di Indonesia dilaksanakan oleh lembaga pemerintah, perguruan tinggi, dan perusahaan benih swasta. Setiap lembaga memiliki mandat dan fokus berbeda, yang saling melengkapi dalam menghasilkan varietas unggul sesuai kebutuhan nasional dan lokal.

Table 6. Pemuliaan Tanaman Di Indonesia

<b>Lembaga</b>	<b>Fokus Pemuliaan</b>	<b>Contoh Varietas Unggul</b>	<b>Keterangan</b>
Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi, BRIN)	Padi	Inpari 32 (produktif, umur genjah), Inpari IR Nutri Zinc (biofortifikasi Zn), Inpago Unsoed 1 (tahan kekeringan)	Varietas dikembangkan untuk mendukung swasembada beras dan mengatasi malnutrisi Zn
Balitkabi (Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi)	Kedelai, kacang tanah, ubi jalar, kacang hijau	Kedelai Anjasmoro (populer, adaptif), Dering 1 (kedelai tahan kekeringan)	Mendukung ketahanan pangan protein nabati
Balitsa (Balai Penelitian Tanaman Sayuran)	Hortikultura (sayuran dataran rendah dan tinggi)	Tomat Servo F1, Cabai Lado F1	Fokus pada produktivitas tinggi dan ketahanan penyakit
Perguruan Tinggi (contoh: Unsoed, IPB, UGM)	Multikomoditas, plasma nutfah lokal	Padi Unsoed 79 Agritan (tahan tungro), kedelai Slamet	Peran riset, pendidikan, dan pengembangan varietas lokal adaptif
Perusahaan Benih Swasta (BISI, East West Seed, Advanta)	Jagung hibrida, hortikultura hibrida	Jagung BISI-18 (populer di Jawa Timur), Semangka Inul F1	Fokus pasar komersial dan teknologi benih

(Sumber: BRIN, 2022; Kementan, 2023)

## 2. Fokus dan Arah Pemuliaan Tanaman di Indonesia

- Tanaman Pangan Utama (Padi, Jagung, Kedelai): Pemuliaan padi di Indonesia diarahkan pada pengembangan varietas inbrida dan

hibrida yang memiliki ketahanan terhadap penyakit utama seperti blast dan bakanae, toleransi terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan salinitas, serta mutu gizi tinggi seperti kandungan zinc untuk mencegah stunting. Untuk jagung, pemuliaan difokuskan pada varietas hibrida yang berdaya hasil tinggi, stabil, dan adaptif di berbagai wilayah, sehingga mendukung ketahanan pangan dan pakan ternak nasional. Sedangkan pada kedelai, pemuliaan diarahkan menghasilkan varietas yang toleran kekeringan, berumur genjah, dan berproduktivitas tinggi guna mengurangi ketergantungan impor kedelai dari negara lain.

- Umbi-umbian (Ubi Jalar, Singkong): Pemuliaan umbi-umbian seperti ubi jalar dan singkong fokus pada peningkatan kandungan beta karoten sebagai biofortifikasi untuk memperbaiki gizi masyarakat, disertai peningkatan produktivitas agar mampu memenuhi kebutuhan pangan lokal dan industri olahan.
- Hortikultura: Pemuliaan tanaman hortikultura diarahkan pada pengembangan varietas yang tahan terhadap penyakit penting, memiliki umur simpan panjang untuk mempermudah distribusi, serta kualitas dan estetika yang baik sesuai permintaan pasar domestik dan ekspor, seperti warna cerah, rasa manis, dan bentuk seragam.

Table 7. Data Jumlah Varietas Padi yang Dirilis

Kategori Varietas Padi	Jumlah	Contoh Varietas
Inbrida	280	Inpari 32, Inpari 42 Agritan GSR
Hibrida	18	Hipa 18, Hipa 19
Biofortifikasi (Zn, Fe)	7	Inpari IR Nutri Zinc
Tahan Kekeringan	12	Inpago Unsoed 1
Organik	3	Inpari Segreng Organik

(Sumber: BB Padi BRIN, 2023)

### 3. Pencapaian Terkini Pemuliaan Tanaman di Indonesia

- Biofortifikasi Padi (Inpari IR Nutri Zinc): Varietas padi Inpari IR Nutri Zinc memiliki kandungan zinc (Zn) mencapai 34 ppm, lebih tinggi dibanding varietas padi biasa yang rata-rata hanya  $\pm 20$  ppm. Kandungan Zn yang tinggi ini bermanfaat untuk meningkatkan asupan gizi masyarakat dan berpotensi mengurangi prevalensi stunting pada anak usia dini di Indonesia (Kementan, 2023).

- Varietas Tahan Kekeringan (Inpago Unsoed 1): Inpago Unsoed 1 merupakan varietas padi gogo yang cocok ditanam di lahan kering tadah hujan. Varietas ini memiliki potensi hasil sekitar 4.5 ton per hektar dan hasilnya relatif stabil meskipun ditanam pada musim kemarau, sehingga mendukung ketahanan pangan di wilayah rawan kekeringan (Rahmawati et al., 2021).
- Penggunaan Marker-Assisted Selection (MAS): Metode Marker-Assisted Selection (MAS) saat ini diterapkan dalam pemuliaan padi untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit blast dan bakanae. Teknik ini dilakukan dengan mengidentifikasi dan menyisipkan gen ketahanan spesifik pada varietas padi unggul, sehingga proses seleksi varietas menjadi lebih cepat dan efektif (Purwoko et al., 2020).

#### 4. Tantangan Pemuliaan Tanaman di Indonesia

- Kurangnya pendanaan riset lanjutan untuk genome editing.: Dana riset untuk genome editing di Indonesia masih sedikit, sehingga teknologi ini belum banyak digunakan untuk menghasilkan varietas unggul.
- Ketergantungan pada benih impor (jagung hibrida, hortikultura).: Indonesia masih banyak mengimpor benih jagung hibrida dan hortikultura, sehingga belum mandiri dalam penyediaan benih.
- Percepatan pelepasan varietas masih memerlukan birokrasi panjang (3-5 tahun sejak awal seleksi).: Proses pelepasan varietas baru masih lama karena harus melalui birokrasi yang panjang, biasanya memakan waktu 3-5 tahun.

#### B. Pemuliaan Tanaman di Dunia

##### 1. Amerika Serikat

Di Amerika Serikat, fokus utama pemuliaan tanaman adalah pada jagung, kedelai, kapas, dan gandum transgenik. Berdasarkan data USDA tahun 2022, sekitar 90% jagung dan kedelai yang dibudidayakan merupakan hasil rekayasa genetika (transgenik). Pemuliaan jagung diarahkan untuk menghasilkan varietas yang toleran terhadap herbisida, tahan serangan hama atau serangga, serta memiliki nilai nutrisi yang tinggi untuk pakan ternak. Selain itu, pengembangan terkini menggunakan genome editing bertujuan meningkatkan ketahanan jagung terhadap penyakit *Fusarium ear rot* dan *Gibberella stalk rot* tanpa menurunkan hasil panen (Yang et al., 2019).

## 2. China

China menjadi pemimpin global dalam penerapan teknologi CRISPR-Cas9 pada tanaman pangan seperti padi, gandum, dan jagung. Salah satu contoh aplikasinya adalah editing gen OsERF922 pada padi, yang berhasil meningkatkan ketahanan terhadap penyakit blast tanpa menyebabkan penurunan hasil panen (Li et al., 2020). Sebagai strategi nasional, China menetapkan “Seed Industry Revitalization Plan” pada tahun 2021 untuk mencapai swasembada benih nasional melalui penerapan teknologi genome editing dan pemuliaan berbasis kecerdasan buatan atau AI breeding (Friedrich et al., 2023).

## 3. Jepang

Di Jepang, pemuliaan tanaman difokuskan pada pengembangan padi hibrida berdaya hasil tinggi serta tanaman hasil genome editing. Salah satu keberhasilan terbaru pada tahun 2021 adalah disetujuinya komersialisasi tomat genome edited yang memiliki kandungan GABA tinggi. Tomat ini bermanfaat untuk membantu menurunkan tekanan darah tinggi dan menjaga kesehatan jantung masyarakat Jepang (Nonaka et al., 2022).

## 4. Afrika

Pemuliaan tanaman di Afrika berfokus pada pengembangan varietas yang tahan terhadap kekeringan serta memiliki kandungan mikronutrien tinggi (biofortifikasi). Proyek utama di kawasan ini adalah DroughtTEGO® Maize Project, yang menghasilkan varietas jagung tahan kekeringan dengan peningkatan hasil mencapai 20–30% pada musim kering di Kenya dan Mozambique (Prasanna et al., 2021). Selain itu, pendekatan Sustainable Intensification diterapkan untuk meningkatkan produktivitas pertanian tanpa menambah penggunaan input eksternal secara berlebihan.

Table 8. Tren Global Pemuliaan Tanaman

Menurut Friedrich et al. (2023) dan Varshney et al. (2021), tren pemuliaan tanaman di dunia saat ini meliputi:

<b>Tren</b>	<b>Deskripsi dan Contoh</b>
Genome Editing (CRISPR-Cas9, TALEN)	Editing gen target secara presisi tanpa memasukkan gen asing. Contoh: padi tahan blast di China.
High-throughput Phenotyping	Pemanfaatan drone, sensor hyperspectral, dan AI untuk pengukuran fenotipe cepat dan akurat di lapangan.
AI Breeding	Artificial Intelligence digunakan untuk memprediksi kombinasi genotipe terbaik berdasarkan big data genomik dan fenotipe.
Genomic Selection (GS)	Seleksi berbasis marker genomik untuk mempercepat siklus pemuliaan (1-2 tahun lebih cepat dari seleksi konvensional).

Latihan Soal :

1. Jelaskan dengan kata-kata Anda sendiri apa yang dimaksud dengan pemuliaan tanaman, dan mengapa ilmu ini disebut sebagai ilmu dan seni sekaligus?
2. Sebutkan dan jelaskan secara singkat lima ruang lingkup pemuliaan tanaman beserta contohnya di lapangan!
3. Mengapa perbaikan mutu hasil menjadi salah satu tujuan penting dalam pemuliaan tanaman? Berikan contohnya pada tanaman pangan di Indonesia.
4. Jelaskan bagaimana tujuan meningkatkan keberagaman genetik dalam pemuliaan tanaman dapat mendukung konservasi dan adaptasi di masa depan.
5. Uraikan secara sistematis perkembangan sejarah pemuliaan tanaman sejak era prasejarah hingga era genome editing saat ini. Apa perbedaan utama antara pemuliaan konvensional dan pemuliaan presisi?
6. Jelaskan fokus pemuliaan tanaman di Indonesia serta lembaga apa saja yang berperan dalam pengembangan varietas unggul di Indonesia.
7. Bandingkan fokus pemuliaan tanaman di Amerika Serikat, China, Jepang, dan Afrika. Bagaimana perbedaan fokus tersebut mencerminkan kebutuhan pertanian di masing-masing wilayah?

8. Menurut Friedrich et al. (2023), pemuliaan tanaman modern mengarah pada integrasi data genomik, fenotipe digital, dan kecerdasan buatan. Jelaskan bagaimana integrasi ketiganya dapat mempercepat proses seleksi varietas unggul.
9. Berikan pendapat Anda mengenai tantangan yang mungkin dihadapi Indonesia dalam menerapkan teknologi genome editing seperti CRISPR-Cas9 dalam program pemuliaan nasional.
10. Menurut Anda, bagaimana peran perguruan tinggi dalam mendukung pemuliaan tanaman nasional, khususnya dalam mencetak SDM dan menghasilkan inovasi varietas unggul lokal?

## **BAB II. Karakteristik Tanaman Menyerbuk Sendiri**

### **2.1 Definisi Tanaman Menyerbuk Sendiri**

Tanaman menyerbuk sendiri (self-pollinated crops) adalah tanaman yang memiliki mekanisme penyerbukan di mana serbuk sari (pollen) dari bunga yang sama atau bunga lain pada tanaman yang sama membuahi sel telur (ovule) sehingga menghasilkan biji dan keturunan. Penyerbukan ini dapat terjadi tanpa intervensi serbuk sari dari individu lain. Dengan demikian, keturunannya memiliki susunan genetik yang hampir identik dengan induknya, sehingga disebut sebagai homozygous population (Acquaah, 2020; Singh et al., 2020).

Menurut Laitinen & Niklas (2021), penyerbukan sendiri berkembang sebagai adaptasi untuk memastikan reproduksi saat polinator langka atau kondisi lingkungan tidak mendukung penyerbukan silang. Namun demikian, tanaman menyerbuk sendiri tetap memiliki peluang kecil untuk outcrossing (penyerbukan silang) dalam kondisi tertentu, misalnya oleh angin atau serangga, walaupun kontribusinya minor (Kurata et al., 2021).

Li et al. (2019) melaporkan bahwa pada varietas padi indica dan japonica, tingkat penyerbukan sendiri mencapai hampir 100%, memungkinkan terciptanya varietas unggul dengan sifat stabil, misalnya varietas IR64 (indica) yang terkenal dengan produktivitas tinggi dan ketahanan terhadap wereng coklat.

#### **A. Definisi Menurut Para Ahli**

##### **1. Acquaah (2020)**

Menyatakan bahwa tanaman menyerbuk sendiri (self-pollinated plants) adalah tanaman yang mengalami fertilisasi dengan serbuk sari dari bunga yang sama atau bunga lain dalam satu individu tanaman, menghasilkan keturunan yang seragam dan relatif homozygot.

##### **2. Singh et al. (2020)**

Mengartikan tanaman menyerbuk sendiri sebagai kelompok tanaman yang penyerbukannya terjadi sebelum atau segera setelah bunga mekar (cleistogamy), dengan sedikit kemungkinan penyerbukan silang sehingga cocok untuk sistem pemuliaan galur murni (pure line breeding).

### 3. Allard (1999)

Menyatakan bahwa tanaman menyerbuk sendiri adalah tanaman yang memiliki minimal 95% penyerbukan sendiri alami, termasuk padi, gandum, barley, dan kedelai, dan digunakan untuk pemuliaan dengan metode seleksi galur murni untuk homogenitas sifat.

### 4. Laitinen & Niklas (2021)

Mendefinisikan tanaman menyerbuk sendiri sebagai tanaman yang memiliki strategi reproduksi untuk memastikan keberhasilan pembuahan tanpa bergantung pada polinator eksternal, melalui penyerbukan langsung dalam bunga yang sama.

### 5. Fehr (1987)

Mengemukakan bahwa tanaman menyerbuk sendiri merupakan tanaman yang memiliki mekanisme penyerbukan di dalam bunga (autogamy) yang menyebabkan proporsi tinggi genotipe homozigot pada populasi turunannya.

## B. Karakteristik Utama Tanaman Menyerbuk Sendiri

### 1. Kecenderungan Homozygositas Tinggi

Karena fertilisasi terjadi antar organ reproduksi tanaman yang sama, maka tanaman menyerbuk sendiri memiliki proporsi alel homozigot yang tinggi dari generasi ke generasi.

### 2. Konsistensi Genetik Tinggi

Tanaman ini menghasilkan keturunan yang relatif seragam dalam sifat morfologi, fisiologi, dan kualitas hasil, sehingga cocok untuk budidaya varietas galur murni (pure line varieties).

### 3. Cleistogamy

Beberapa tanaman self-pollinated memiliki mekanisme cleistogamy, yaitu proses penyerbukan dan pembuahan terjadi ketika bunga belum mekar sempurna sehingga tidak ada peluang bagi serbuk sari dari luar masuk (Dixon et al., 2019).

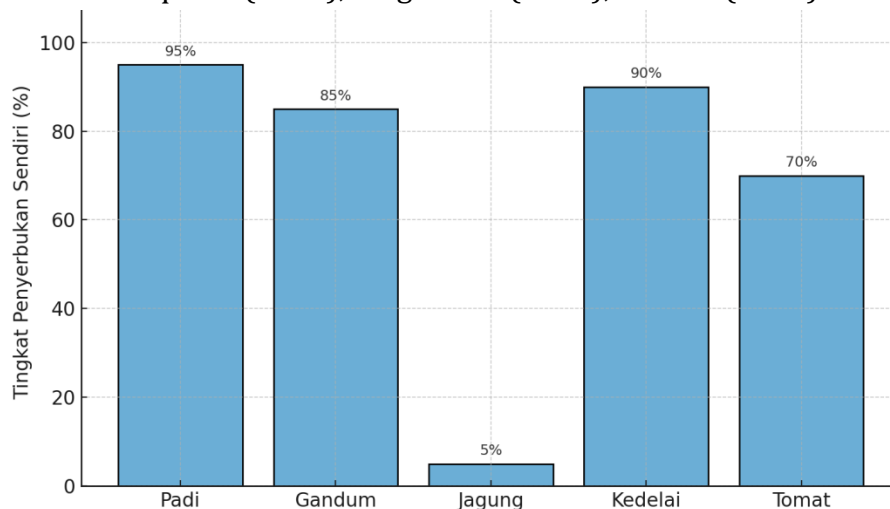
### 4. Produksi Benih Lebih Efisien

Penyerbukan sendiri memungkinkan sistem produksi benih lebih mudah dan murah karena tidak memerlukan isolasi ketat sebagaimana tanaman menyerbuk silang (Li et al., 2019).

Table 9. Tanaman Menyerbuk Sendiri dan Proporsi Penyerbukan Sendiri

Tanaman	Nama Ilmiah	Persentase Penyerbukan Sendiri (%)	Keterangan
Padi	<i>Oryza sativa</i>	98–100%	Penyerbukan terjadi saat bunga masih tertutup.
Gandum	<i>Triticum aestivum</i>	95–100%	Dominan menyerbuk sendiri dengan sedikit penyerbukan silang.
Kedelai	<i>Glycine max</i>	95–99%	Autogami mendominasi reproduksi.
Barley	<i>Hordeum vulgare</i>	99–100%	Cleistogamy, bunga tidak membuka saat penyerbukan.
Kacang hijau	<i>Vigna radiata</i>	85–95%	Sebagian kecil terjadi outcrossing.

Sumber: Acquaah (2020); Singh et al. (2020); Li et al. (2019).



Gambar 2. Grafik Perbandingan Tingkat Penyerbukan Sendiri Beberapa Tanaman

## 2.2 Mekanisme Self-Pollination

### A. Pengertian Self-Pollination

Self-pollination atau penyerbukan sendiri adalah proses reproduksi seksual pada tumbuhan berbunga di mana serbuk sari (pollen) dari bunga yang sama atau dari bunga lain pada individu

tanaman yang sama jatuh dan menempel pada kepala putik (stigma), lalu membuahi sel telur (ovule) yang ada dalam ovarium. Proses ini memungkinkan tanaman menghasilkan biji tanpa kontribusi serbuk sari dari tanaman lain. Dengan demikian, self-pollination menghasilkan keturunan yang memiliki susunan genetik hampir identik dengan induknya, sehingga tingkat homozygositasnya sangat tinggi (Acquaah, 2020).

Menurut Laitinen & Niklas (2021), self-pollination berkembang sebagai adaptasi evolusioner untuk memastikan keberhasilan reproduksi tanaman, terutama ketika kondisi lingkungan tidak mendukung kehadiran polinator seperti lebah, kupu-kupu, atau angin. Dalam situasi di mana populasi polinator rendah atau cuaca ekstrem menghambat aktivitas polinator, tanaman dengan mekanisme self-pollination tetap mampu menghasilkan keturunan. Hal ini meningkatkan fitness tanaman tersebut dan menjamin kelangsungan spesiesnya.

Self-pollination terbagi menjadi dua bentuk utama, yaitu autogami (autogamy) dan geitonogami (geitonogamy). Autogami terjadi ketika serbuk sari membuahi sel telur dalam bunga yang sama. Contoh mekanisme ini ditemukan pada padi dan kedelai, di mana struktur bunga tertutup (cleistogamy) mendukung penyerbukan sebelum bunga membuka sempurna. Sedangkan geitonogami adalah penyerbukan yang terjadi antara bunga yang berbeda pada tanaman yang sama. Walaupun melibatkan dua bunga berbeda, secara genetik hasilnya sama dengan autogami karena pollen tetap berasal dari satu individu tanaman (Singh et al., 2020).

## B. Karakteristik Mekanisme Self-Pollination

1. Struktur bunga mendukung penyerbukan sendiri, misalnya kedekatan posisi anther dan stigma.

Pada tanaman menyerbuk sendiri, struktur bunga umumnya dirancang sedemikian rupa sehingga mendukung terjadinya penyerbukan tanpa perlu perantara eksternal seperti angin atau serangga. Salah satu ciri utamanya adalah posisi anther (kepala sari) yang sangat dekat atau bahkan menempel pada stigma (kepala putik), sehingga serbuk sari dapat langsung jatuh atau menempel pada stigma ketika anther dehiscent (pecah). Contoh tanaman dengan struktur bunga seperti ini adalah padi dan kedelai, di mana morfologi bunga memastikan fertilisasi terjadi

hampir selalu di dalam bunga yang sama tanpa bantuan polinator (Acquaah, 2020).

2. Penyerbukan terjadi sebelum bunga mekar sempurna (cleistogamy) pada beberapa tanaman seperti barley dan gandum.

Cleistogamy adalah mekanisme penyerbukan sendiri di mana fertilisasi terjadi ketika bunga masih tertutup rapat atau belum mekar sempurna. Mekanisme ini sangat efektif dalam menjamin keberhasilan reproduksi karena tidak ada peluang bagi serbuk sari dari luar untuk masuk, sehingga mencegah penyerbukan silang. Tanaman barley (*Hordeum vulgare*) dan gandum (*Triticum aestivum*) merupakan contoh tanaman yang memanfaatkan cleistogamy, di mana anther melepaskan serbuk sari saat bunga masih dalam fase kuncup, sehingga penyerbukan dan pembuahan berlangsung secara internal dan tertutup (Laitinen & Niklas, 2021).

3. Menghasilkan keturunan dengan keragaman genetik rendah namun kestabilan sifat tinggi (Acquaah, 2020).

Konsekuensi utama dari mekanisme penyerbukan sendiri adalah rendahnya keragaman genetik pada populasi turunannya. Karena fertilisasi terjadi dari induk yang sama, maka susunan genetik keturunannya cenderung homogen dan bersifat homozygot. Namun, kondisi ini justru menguntungkan dalam sistem budidaya, karena menghasilkan tanaman dengan sifat yang stabil dan seragam, memudahkan pengelolaan dan prediksi hasil panen. Stabilitas sifat ini menjadi dasar bagi pembentukan varietas galur murni yang banyak digunakan dalam sistem pertanian modern (Acquaah, 2020).

### C. Klasifikasi Mekanisme Self-Pollination

#### 1. Autogami (Autogamy)

Autogami adalah mekanisme penyerbukan sendiri di mana fertilisasi terjadi di dalam satu bunga yang sama, tanpa melibatkan bunga lain bahkan dalam tanaman yang sama. Bunga pada tanaman autogami umumnya bersifat hermafrodit, yaitu memiliki organ reproduksi jantan (stamen) dan betina (pistil) dalam satu struktur bunga. Posisi anther dan stigma yang sangat dekat atau bahkan saling bersentuhan memungkinkan serbuk sari langsung jatuh atau menempel pada stigma tanpa bantuan polinator atau faktor eksternal lain.

Menurut Singh et al. (2020), autogami terjadi melalui beberapa tahapan fisiologis, yakni pemanjangan filamen yang menempatkan anther

pada posisi optimal untuk menumpahkan serbuk sari ke stigma, diikuti pematangan serbuk sari (pollen maturation) dan dehiscence (pecahnya anther) yang selaras dengan kesiapan stigma menerima serbuk sari. Sinkronisasi waktu antara kematangan serbuk sari dan stigma ini dikenal sebagai homogami, yang merupakan ciri penting pada tanaman autogami.

Autogami memiliki keunggulan utama yaitu menjamin terjadinya pembuahan bahkan saat lingkungan tidak mendukung kehadiran polinator, sehingga meningkatkan stabilitas reproduksi dan produksi biji. Namun, mekanisme ini juga mengakibatkan penurunan keragaman genetik pada generasi berikutnya, karena fertilisasi hanya melibatkan satu individu tanpa rekombinasi genetik dari tanaman lain (Acquaah, 2020).

Contoh Spesifik Tanaman Autogami

- Padi (*Oryza sativa*)
  - Tingkat Autogami: 98–100%
  - Waktu Penyerbukan: Penyerbukan terjadi saat atau sebelum bunga mekar.
  - Jenis Mekanisme: Autogami dengan pola homogami, di mana serbuk sari dilepaskan bersamaan dengan kesiapan stigma sehingga fertilisasi dapat langsung terjadi.

Sumber: Singh et al. (2020).

- Kedelai (*Glycine max*)
  - Tingkat Autogami: 95–99%
  - Waktu Penyerbukan: Penyerbukan berlangsung saat bunga masih dalam kondisi kuncup (belum mekar).
  - Jenis Mekanisme: Autogami dengan mekanisme cleistogamy, di mana penyerbukan dan pembuahan terjadi di dalam bunga tertutup sehingga mengurangi peluang penyerbukan silang.

Sumber: Li et al. (2019).

## 2. Geitonogami (Geitonogamy)

Geitonogami adalah jenis penyerbukan di mana serbuk sari dari satu bunga ditransfer ke stigma bunga lain pada tanaman yang sama. Meskipun penyerbukan ini melibatkan dua bunga yang berbeda, baik pada cabang yang sama maupun cabang berbeda dalam satu individu tanaman, pollen tetap berasal dari sumber genetik yang sama. Karena itu, secara morfologis geitonogami diklasifikasikan sebagai penyerbukan silang (cross-pollination), namun secara genetik hasilnya identik dengan