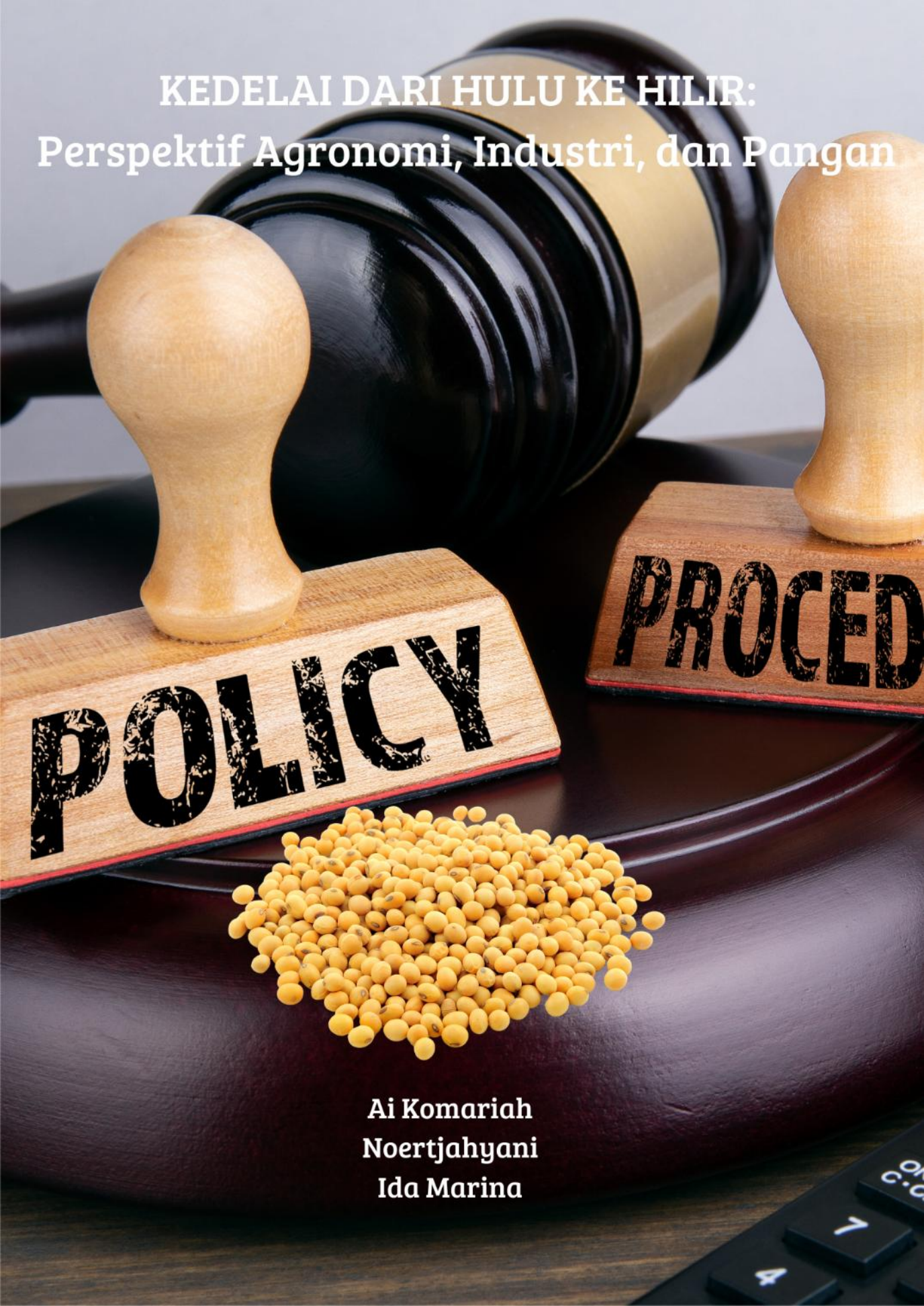


KEDELAI DARI HULU KE HILIR: Perspektif Agronomi, Industri, dan Pangan



Ai Komariah
Noertjahyani
Ida Marina



KEDELAI DARI HULU KE HILIR: Perspektif Agronomi, Industri, dan Pangan

Ai Komariah
Noertjahyani
Ida Marina



KEDELAI DARI HULU KE HILIR: Perspektif Agronomi, Industri, dan Pangan

Penulis:
Ai Komariah
Noertjahyani
Ida Marina

Editor:
Erik Santoso

Layouter :
Tim Kreatif PRCI

Cover:
Rusli

Cetakan Pertama : Juli 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
E-mail : 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 kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya buku referensi ini yang berjudul KEDELAI DARI HULU KE HILIR: PERSPEKTIF AGRONOMI, INDUSTRI, DAN PANGAN dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai wujud kontribusi dalam memperkaya khasanah literatur pertanian dan pangan, khususnya terkait dengan komoditas kedelai yang memiliki nilai strategis dalam pembangunan pertanian nasional.

Kedelai merupakan tanaman pangan penting yang tidak hanya berperan sebagai sumber protein nabati utama, tetapi juga memiliki peran vital dalam industri pengolahan dan ketahanan pangan masyarakat Indonesia. Melalui pendekatan lintas sektor dari hulu ke hilir, buku ini membahas secara komprehensif aspek agronomi, pengelolaan budidaya, tantangan lingkungan, pengembangan varietas unggul, hingga pemanfaatannya dalam industri dan diversifikasi produk pangan modern.

Buku ini ditujukan bagi kalangan akademisi, peneliti, mahasiswa, penyuluh pertanian, pelaku industri, serta pengambil kebijakan yang membutuhkan referensi ilmiah dan praktis mengenai pengembangan kedelai. Diharapkan, kehadiran buku ini dapat menjadi sumber informasi yang kredibel dan inspiratif dalam mendorong inovasi, efisiensi produksi, serta peningkatan nilai tambah kedelai di Indonesia.

Bandung, Juli 2025

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	I
DAFTAR ISI	II
PENGANTAR	1
BAB I. SEJARAH DAN DOMESTIKASI KEDELAI	3
1.1 Asal Usul Kedelai	3
1.2 Penyebaran Global dan di Indonesia	7
1.3 Peranan dalam Pertanian Tradisional	10
BAB II. BOTANI DAN MORFOLOGI	13
2.1 Taksonomi	13
2.2 Morfologi Tanaman	17
2.3 Siklus Hidup	21
BAB III. TEKNOLOGI BUDIDAYA	24
3.1 Persiapan Lahan	24
3.2 Pemilihan Varietas	27
3.3 Teknik Penanaman	29
3.4 Pemupukan dan Pengendalian Hama	33
3.5 Panen dan Pascapanen	37
BAB IV. INOVASI DAN <i>GOOD AGRICULTURAL PRACTICES</i>	40
4.1 Pertanian Presisi	40
4.2 Praktik Berkelanjutan	42
4.3 Adaptasi Perubahan Iklim	45
BAB V. TEKNOLOGI PENGOLAHAN PRIMER	49
5.1 Pengupasan	49
5.2 Pemisahan Protein dan Minyak	52
5.3 Penyimpanan	55
BAB VI. PRODUK OLAHAN KEDELAI	61
6.1 Tempe, Tahu, Susu Kedelai	61
6.2 Tepung Kedelai dan Produk Fermentasi	63

6.3 Produk Industri Pangan Fungsional	66
BAB VII. LIMBAH DAN PEMANFAATANNYA	75
7.1 Ampas dan Penggunaan Pakan	75
7.2 Pengolahan Limbah Ramah Lingkungan	78
7.3 Potensi Biogas	80
BAB VIII. KANDUNGAN GIZI KEDELAI	85
8.1 Komposisi Kimia	85
8.2 Profil Asam Amino	87
8.3 Anti-Nutrisi	91
BAB IX. NILAI GIZI DAN KESEHATAN	95
9.1 Isoflavon dan Fitokimia	95
9.2 Pengaruh terhadap Kesehatan Jantung	98
9.3 Alergi Kedelai	101
BAB X. INOVASI PANGAN BERBASIS KEDELAI	104
10.1 Produk Siap Konsumsi	104
10.2 Tren Pasar Global	107
10.3 Riset Pengembangan Pangan Fungsional	109
BAB XI. KEDELAI DALAM KETAHANAN PANGAN NASIONAL	113
11.1 Kontribusi terhadap Pangan Lokal	113
11.2 Strategi Substitusi Impor	116
11.3 Kebijakan Ketahanan Pangan	118
BAB XII. SISTEM RANTAI PASOK KEDELAI	123
12.1 Produksi Nasional dan Global	123
12.2 Perdagangan dan Distribusi	127
12.3 Kebijakan Perdagangan	131
BAB XIII. DINAMIKA EKONOMI KEDELAI	135
13.1 Fluktuasi Harga	135
13.2 Daya Saing Industri	138
BAB XIV. ISU LINGKUNGAN DAN KEBERLANJUTAN	143
14.1 Dampak Lingkungan Produksi	143

14.2 Praktik Berkelanjutan	145
BAB XV. ROADMAP PENGEMBANGAN KEDELAI INDONESIA	151
15.1 Strategi Peningkatan Produksi	151
15.2 Kebijakan Insentif	154
15.3 Arah Penelitian Masa Depan	156
DAFTAR PUSTAKA	160
DAFTAR ISTILAH (GLOSARIUM)	168
INDEKS	170
BIOGRAFI PENULIS	172

PENGANTAR

Kedelai (*Glycine max*) adalah tanaman leguminosa yang menempati posisi strategis dalam sistem pangan, pertanian, dan industri di Indonesia maupun di dunia. Sebagai salah satu sumber utama protein nabati, kedelai memiliki nilai gizi tinggi, mengandung protein sekitar 36–42% dan minyak nabati 18–22%, menjadikannya komoditas pangan yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat luas. Selain itu, kedelai juga merupakan bahan baku utama bagi berbagai produk olahan seperti tempe, tahu, kecap, susu kedelai, hingga pangan fungsional modern, yang tidak hanya berperan dalam pemenuhan kebutuhan gizi, tetapi juga menjadi bagian integral dari budaya konsumsi masyarakat Indonesia.

Dalam konteks global, kedelai telah melalui perjalanan domestikasi sejak 3.000 tahun sebelum Masehi di Tiongkok bagian utara. Kini, produksi kedelai didominasi oleh tiga negara besar—Brasil, Amerika Serikat, dan Argentina—yang menguasai lebih dari 70% pasar global. Indonesia sendiri, meskipun memiliki sejarah panjang dalam konsumsi dan budidaya kedelai, masih menghadapi tantangan serius dalam pengembangan produksi nasional. Data dari Badan Pusat Statistik (2024) menunjukkan bahwa lebih dari 85% kebutuhan kedelai Indonesia masih dipenuhi melalui impor, dengan tren produksi domestik yang terus menurun dalam lima tahun terakhir.

Rendahnya produktivitas, keterbatasan lahan, kurangnya insentif pasar, dan dominasi kedelai impor menjadi beberapa faktor utama penyebab stagnasi pengembangan kedelai lokal. Padahal, dari sisi ekologis, kedelai merupakan tanaman multiguna yang sangat potensial dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Kemampuannya melakukan fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan *Rhizobium japonicum* menjadikan kedelai sebagai tanaman penyubur tanah alami yang mampu mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia. Selain itu, integrasi kedelai dalam sistem rotasi tanaman (seperti padi–kedelai atau jagung–kedelai) terbukti mampu meningkatkan efisiensi ekosistem tanah dan memperbaiki struktur agronomi lahan.

Tantangan dalam pengembangan kedelai tidak hanya berhenti pada aspek produksi. Di sisi hilir, industri pengolahan kedelai masih menghadapi persoalan klasik seperti fluktuasi harga bahan baku, rendahnya nilai tambah produk, kurangnya inovasi, hingga keterbatasan dalam adopsi teknologi modern. Produk-produk berbasis kedelai juga masih belum sepenuhnya didukung oleh sistem logistik dan pemasaran yang efisien, terutama untuk produk olahan rumah tangga dan UMKM.

Oleh karena itu, pendekatan yang menyeluruh dari hulu ke hilir sangat diperlukan untuk membangun sistem kedelai yang tangguh, berdaya saing, dan

berkelanjutan. Pendekatan ini meliputi aspek agronomi (pemilihan varietas unggul, teknologi budidaya, pemupukan, dan adaptasi lahan), aspek industri (pengolahan pascapanen, diversifikasi produk, penguatan rantai nilai), serta aspek pangan dan gizi (peningkatan konsumsi protein nabati, nilai tambah ekonomi lokal, dan peran dalam ketahanan pangan nasional).

Buku ini mengangkat berbagai aspek yang mencerminkan pendekatan holistik dari hulu ke hilir dalam pengembangan kedelai. Cakupan ruang lingkup buku meliputi:

1. Aspek Sejarah dan Taksonomi: Menggambarkan asal-usul kedelai, proses domestikasi dari *Glycine soja* ke *Glycine max*, klasifikasi taksonomi, serta keragaman genetik yang menjadi dasar bagi pemuliaan varietas unggul.
2. Aspek Agronomi dan Budidaya: Membahas karakteristik morfologi tanaman, siklus hidup, persiapan lahan, pemilihan varietas, teknologi budidaya, serta pengelolaan nutrisi dan perlindungan tanaman.
3. Aspek Teknologi Pascapanen dan Industri: Menjelaskan proses panen, penanganan pascapanen, pengolahan produk olahan tradisional dan modern, serta inovasi dalam industri berbasis kedelai seperti pangan fungsional dan bioenergi.
4. Aspek Nilai Gizi dan Kesehatan: Mengulas komposisi kimia kedelai, kandungan protein dan isoflavon, serta manfaat kesehatannya dalam pencegahan penyakit degeneratif dan peningkatan kualitas hidup masyarakat.
5. Aspek Sosial, Ekonomi, dan Budaya: Menjelaskan peran kedelai dalam ketahanan pangan lokal, kontribusinya terhadap ekonomi rumah tangga, dan nilai kulturalnya dalam kehidupan masyarakat Indonesia.
6. Isu Strategis dan Keberlanjutan: Mengkaji dampak lingkungan produksi kedelai, tantangan perubahan iklim, fluktuasi harga global, serta strategi kebijakan nasional dalam mewujudkan kemandirian kedelai.

BAB I.

SEJARAH DAN DOMESTIKASI KEDELAI

1.1 Asal Usul Kedelai

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan tanaman polong-polongan (leguminosa) yang telah lama dikenal sebagai sumber protein nabati utama dalam berbagai budaya Asia, terutama di Tiongkok, Korea, dan Jepang. Berdasarkan kajian genetika dan arkeobotani, kedelai didomestikasi sekitar 3.000 tahun sebelum Masehi di wilayah Tiongkok bagian utara, terutama di Lembah Sungai Kuning (Huang He). Proses domestikasi ini diyakini berasal dari spesies liar nenek moyangnya, yaitu *Glycine soja*, yang tumbuh secara alami di wilayah tersebut.

Domestikasi kedelai tidak hanya dilakukan secara seleksi buatan oleh manusia, tetapi juga berlangsung bersamaan dengan perkembangan sistem pertanian awal yang menetap. Petani pada masa itu memilih tanaman yang memiliki ukuran biji lebih besar, masa panen lebih singkat, batang yang lebih tegak, serta kandungan minyak dan protein yang lebih tinggi. Perubahan fenotip ini menghasilkan kedelai budidaya (*Glycine max*) yang berbeda signifikan dari kerabat liarnya (*Glycine soja*) dalam hal morfologi, kandungan gizi, serta kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan.

Table 1.1 Perbandingan Karakteristik Antara *Glycine soja* dan *Glycine max*

Karakteristik	<i>Glycine soja</i> (liar)	<i>Glycine max</i> (budidaya)
Bentuk batang	Menjalar	Tegak
Ukuran biji	Kecil (<5 mm)	Besar (>6 mm)
Warna biji	Coklat/hitam	Bervariasi (kuning, putih, hitam)
Kandungan protein (%)	35–37	38–42
Kandungan minyak (%)	15–17	18–20
Toleransi lingkungan liar	Tinggi	Terbatas pada kultivar

Sumber : Andyanie, W. R. (2016).



Gambar 1.1 Peta Sebaran Asal dan Domestikasi Awal Kedelai

A. Evolusi Genetik Kedelai

Evolusi genetik kedelai merupakan proses panjang yang mencerminkan perjalanan domestikasi, adaptasi lingkungan, dan pengembangan varietas unggul melalui seleksi alami maupun buatan. Evolusi ini mencakup perubahan pada level genom, fenotip, serta sifat agronomis penting, dari spesies liar (*Glycine soja*) menjadi spesies budidaya (*Glycine max*).

1. Perbedaan Genetik Antara Kedelai Liar dan Budidaya

Evolusi genetik kedelai berawal dari proses domestikasi spesies liar *Glycine soja* menjadi *Glycine max*, yang menyebabkan perubahan signifikan dalam karakteristik agronomis. Perbedaan utama terletak pada morfologi tanaman (dari menjalar menjadi tegak), ukuran dan warna biji, kandungan nutrisi, hingga waktu berbunga. Domestikasi ini melibatkan seleksi terhadap gen-gen pengatur pertumbuhan vegetatif, pembungaan, dan pembentukan biji. Salah satu gen penting yang berubah adalah SHAT1–5, yang mengatur dehisensi polong (kemampuan polong untuk pecah secara alami), sehingga pada kedelai budidaya polong menjadi lebih kuat dan tidak mudah pecah saat panen.

2. Penyempitan Keanekaragaman Genetik Akibat Domestikasi

Domestikasi kedelai mengakibatkan penyempitan keanekaragaman genetik (genetic bottleneck), yaitu hilangnya variasi genetik akibat seleksi intensif terhadap sifat-sifat unggul. Kedelai budidaya hanya menyimpan sekitar 60–70% dari variasi genetik yang dimiliki oleh kerabat liarnya. Meskipun hal ini

meningkatkan stabilitas sifat tertentu, seperti ukuran biji besar dan tahan rebah, kondisi ini juga mengurangi kemampuan adaptasi terhadap tekanan lingkungan baru, seperti kekeringan atau serangan hama dan penyakit. Oleh karena itu, plasma nutfah dari Glycine soja tetap penting dalam program pemuliaan modern.

3. Evolusi Adaptasi Terhadap Lingkungan

Kedelai telah mengalami evolusi genetik untuk beradaptasi terhadap berbagai kondisi agroekologi. Gen-gen adaptif seperti E1, E2, E3, dan E4, yang mengatur sensitivitas tanaman terhadap panjang hari (fotoperiodisme), menjadi kunci dalam menyebarkan kedelai ke lintang geografis yang berbeda. Varietas kedelai tropis umumnya memiliki ekspresi gen yang berbeda dari varietas di zona beriklim sedang, sehingga bisa berbunga lebih cepat di daerah yang hanya memiliki sedikit perbedaan panjang siang dan malam. Adaptasi ini memungkinkan kedelai ditanam dari wilayah subtropis seperti Jepang hingga wilayah tropis seperti Indonesia dan Brasil.

4. Peran Bioteknologi dalam Evolusi Modern Kedelai

Seiring perkembangan teknologi molekuler, evolusi genetik kedelai kini dipercepat melalui teknik seperti pemetaan genom (genome-wide association study / GWAS), CRISPR-Cas9, dan seleksi berbasis marker (marker-assisted selection). Teknologi ini memungkinkan identifikasi dan transfer gen unggul untuk ketahanan terhadap cekaman abiotik (kekeringan, salinitas) maupun biotik (hama, penyakit). Misalnya, pengeditan gen GmFT2a diketahui dapat mempercepat pembungaan pada kedelai tropis. Selain itu, kedelai transgenik seperti varietas tahan glifosat atau hama Lepidoptera juga menunjukkan bagaimana evolusi genetik kini dapat diarahkan secara presisi oleh ilmuwan.

B. Kedelai sebagai Komoditas Multiguna Sejak Awal

Sejak awal domestikasi, kedelai bukan hanya berfungsi sebagai pangan, tetapi juga sebagai komoditas pertanian yang meningkatkan kesuburan tanah melalui kemampuan biologisnya dalam fiksasi nitrogen (N_2). Kemampuan ini dimediasi oleh simbiosis dengan bakteri *Rhizobium japonicum* di bintil akar, yang memungkinkan kedelai mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen dalam sistem tanam campuran.

Table 1.2 Infografis: Kandungan Gizi Kedelai Kering per 100 gram

Komponen	Kandungan
Energi	446 kkal
Protein	36.5 g
Lemak	19.9 g
Karbohidrat	30.2 g
Serat	9.3 g
Zat Besi	15.7 mg
Kalsium	277 mg
Fosfor	704 mg

Sumber: USDA FoodData Central (2022)

C. Posisi Strategis Kedelai dalam Sistem Pertanian Berkelanjutan

1. Kedelai sebagai Tanaman Perbaikan Tanah

Kedelai memiliki kemampuan unik dalam memperbaiki struktur dan kesuburan tanah melalui simbiosis mutualisme dengan bakteri *Rhizobium* pada bintil akar. Bakteri ini berfungsi mengikat nitrogen dari udara bebas (N_2) dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman, seperti amonium (NH_4^+). Proses biologis ini mengurangi ketergantungan terhadap pupuk nitrogen sintetis, sehingga menjadikan kedelai sebagai tanaman unggulan dalam sistem pertanian yang berkelanjutan dan hemat input. Selain itu, sistem perakaran kedelai yang cukup dalam mampu menggemburkan lapisan tanah, meningkatkan aerasi, serta memfasilitasi infiltrasi air yang lebih baik.

2. Kontribusi terhadap Peningkatan C-Organik Tanah

Tanaman kedelai juga berperan dalam meningkatkan kandungan karbon organik (C-organik) di dalam tanah. Daun yang gugur, sisa akar, serta residu panen yang tertinggal setelah pemanenan akan mengalami dekomposisi dan menjadi sumber bahan organik tanah. Bahan organik ini sangat penting untuk menjaga struktur tanah yang baik, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), dan mendukung aktivitas mikroba tanah. Menurut penelitian Dewi & Santosa (2022), peningkatan kadar C-organik sebesar 0,3–0,5% per musim tanam dapat dicapai bila kedelai dimasukkan dalam rotasi tanaman secara rutin, khususnya dalam sistem pertanian tropis.

3. Kedelai sebagai Tanaman Sela dan Rotasi

Salah satu peran strategis kedelai dalam pertanian berkelanjutan adalah sebagai tanaman sela maupun rotasi. Dalam sistem tanam padi–kedelai atau jagung–kedelai, kedelai ditanam di antara dua musim tanam utama sebagai pengisi jeda (musim gadu), atau secara bergantian tiap musim. Fungsi ini tidak hanya menjaga produktivitas lahan, tetapi juga mengurangi tekanan organisme pengganggu tanaman (OPT) yang spesifik pada satu jenis tanaman. Penelitian

menunjukkan bahwa rotasi tanaman padi atau jagung dengan kedelai dapat meningkatkan hasil tanaman utama sebesar 10–15% dalam jangka panjang, berkat perbaikan ekosistem tanah dan siklus hara yang lebih efisien.

4. Efisiensi Ekologis dan Ekonomis dalam Jangka Panjang

Dalam konteks jangka panjang, sistem yang mengintegrasikan kedelai terbukti lebih efisien secara ekologis dan ekonomis. Dari segi ekologis, penggunaan pupuk nitrogen bisa dikurangi hingga 30–50% pada musim tanam berikutnya, karena adanya peningkatan simpanan nitrogen di dalam tanah. Secara ekonomis, petani mendapatkan manfaat ganda, yaitu hasil panen kedelai sebagai produk komersial dan peningkatan produktivitas tanaman utama berikutnya. Hal ini memperkuat posisi kedelai sebagai komoditas yang tidak hanya bernilai secara pangan, tetapi juga mendukung ketahanan sistem pertanian secara menyeluruh.

5. Peran Strategis dalam Adaptasi Perubahan Iklim

Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global, kedelai memiliki peran penting sebagai tanaman adaptif. Sifat toleran terhadap kekeringan pada beberapa varietas unggul kedelai memungkinkan pertanaman tetap produktif pada lahan tadah hujan atau lahan marginal. Selain itu, dengan memperbaiki kualitas tanah dan efisiensi pemanfaatan sumber daya air, kedelai membantu menciptakan sistem pertanian yang lebih tangguh terhadap variabilitas cuaca. Hal ini sejalan dengan prinsip pertanian konservasi yang menekankan pada efisiensi input dan peningkatan keberlanjutan agroekosistem.

1.2 Penyebaran Global dan di Indonesia

A. Penyebaran Global

Setelah proses domestikasi yang diperkirakan terjadi di Tiongkok bagian utara sekitar 3000–2000 SM, kedelai (*Glycine max*) mulai menyebar ke wilayah-wilayah Asia lainnya. Kedelai awalnya digunakan dalam sistem pertanian subsisten oleh masyarakat Asia Timur seperti di Korea dan Jepang. Di kawasan ini, kedelai memainkan peran penting sebagai sumber pangan dan bahan dasar fermentasi seperti natto (Jepang), doenjang (Korea), dan kecap asin (China).

Kedelai mulai dikenal di dunia Barat pada awal abad ke-18, terutama setelah diperkenalkan ke Eropa dan Amerika oleh para misionaris, pelaut, dan pedagang dari Asia. Pada tahun 1765, kedelai tercatat pertama kali dibudidayakan di Amerika Serikat, meskipun awalnya hanya untuk kepentingan percobaan dan botani. Baru pada awal abad ke-20, Amerika mulai mengembangkan kedelai sebagai komoditas pertanian utama, seiring dengan berkembangnya teknologi pertanian, program pemuliaan, dan kebutuhan industri pakan ternak yang semakin meningkat. Produksi kedelai di AS melonjak

tajam pada masa Perang Dunia II, ketika minyak kedelai digunakan sebagai substitusi minyak nabati yang langka akibat perang.

Pada paruh kedua abad ke-20, kedelai menyebar luas ke Amerika Selatan, khususnya Brasil dan Argentina. Penyebaran ini didukung oleh kondisi agroklimat tropis yang sesuai, kebijakan ekspansi lahan pertanian, serta adopsi cepat varietas transgenik (GMO) yang meningkatkan hasil dan ketahanan terhadap hama dan penyakit. Kini, ketiga negara tersebut (Brasil, AS, dan Argentina) menjadi produsen utama kedelai global dan penguasa pasar ekspor dunia. Fokus utama dari produksi kedelai di negara-negara tersebut adalah untuk industri pakan ternak (khususnya unggas dan babi), ekspor, serta bahan baku bioenergi seperti biodiesel.

Berikut adalah gambaran produksi kedelai global berdasarkan negara utama:

Tabel 1.3 Produksi Kedelai Global Berdasarkan Negara Utama (2023)

Negara	Produksi (juta ton)	Pangsa Global (%)
Brasil	154,6	36,8
Amerika Serikat	116,4	27,7
Argentina	42,0	10,0
China	20,8	5,0
India	12,4	3,0
Negara Lainnya	74,2	17,5
Total Dunia	420,4	100%

Sumber: FAO, 2024; USDA, 2024

Ketiga negara teratas menguasai lebih dari 74% pasar produksi global kedelai. Sementara negara seperti China dan India lebih mengandalkan kedelai untuk konsumsi domestik karena pertumbuhan populasi dan kebutuhan protein nabati yang terus meningkat.

B. Penyebaran di Indonesia

Di Indonesia, kedelai diperkirakan mulai dikenal dan dibudidayakan sejak abad ke-17, dibawa melalui jalur perdagangan maritim yang menghubungkan Asia Timur dengan kepulauan Nusantara. Bukti awal penggunaan kedelai ditemukan dalam peninggalan kuliner tradisional seperti tahu dan tempe, yang merupakan hasil fermentasi kedelai dan menjadi bagian integral dari konsumsi protein masyarakat lokal, khususnya di Pulau Jawa.

Kedelai di Indonesia awalnya ditanam sebagai bagian dari sistem pertanian tradisional. Biasanya ditanam secara tumpang-sari atau dalam sistem rotasi dengan padi dan jagung, kedelai tidak hanya berperan sebagai tanaman pangan tetapi juga sebagai tanaman penyubur tanah berkat kemampuannya melakukan fiksasi nitrogen melalui simbiosis dengan bakteri *Rhizobium*. Dalam pertanian berkelanjutan, peran ini sangat penting untuk mempertahankan kesuburan tanah secara alami tanpa bergantung pada pupuk sintetis.

Namun, dalam kurun waktu dua dekade terakhir, produksi kedelai nasional mengalami tren penurunan yang signifikan. Berbagai faktor mempengaruhi kondisi ini, antara lain:

1. Keterbatasan lahan: Alih fungsi lahan sawah ke non-pertanian mengurangi luas tanam kedelai. Petani juga lebih memilih menanam komoditas lain yang lebih menguntungkan seperti padi atau hortikultura.
2. Produktivitas rendah: Varietas lokal umumnya memiliki produktivitas antara 1,2–1,5 ton/ha, jauh di bawah produktivitas di AS atau Brasil yang bisa mencapai 3,5–4 ton/ha.
3. Kurangnya insentif: Harga jual kedelai domestik tidak kompetitif dengan kedelai impor. Hal ini menyebabkan petani enggan menanam kedelai karena margin keuntungan yang kecil.
4. Ketergantungan pada impor: Lebih dari 85% kebutuhan kedelai nasional dipenuhi melalui impor, terutama dari AS dan Brasil, untuk memenuhi permintaan industri tempe-tahu.

Tabel 1.4 Perkembangan Produksi dan Impor Kedelai Indonesia (2019–2023)

Tahun	Produksi Domestik (ribu ton)	Impor (ribu ton)	Konsumsi Nasional (ribu ton)
2019	597	2.585	3.121
2020	553	2.672	3.215
2021	446	2.660	3.110
2022	426	2.617	3.043
2023	400	2.740	3.190

Sumber: BPS, 2024; Kementerian Pertanian RI, 2024

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan berbagai program untuk mencapai swasembada kedelai, antara lain melalui pengembangan varietas unggul seperti Dega 1, Devon 1, dan Biosoy, serta program perluasan areal tanam kedelai di luar Pulau Jawa seperti di Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Selatan, dan Sulawesi. Namun, implementasi program ini masih menghadapi tantangan dalam aspek distribusi benih, pendampingan petani, serta pembiayaan.

Secara keseluruhan, penyebaran kedelai di Indonesia sangat dipengaruhi oleh dinamika pertanian lokal, kebijakan impor, serta preferensi konsumsi domestik. Kedelai tetap menjadi komoditas strategis nasional, terutama dalam mendukung ketahanan pangan berbasis protein nabati dan keberlanjutan pertanian di tingkat rumah tangga dan komunitas lokal.

1.3 Peranan dalam Pertanian Tradisional

A. Kedelai sebagai Tanaman Penyubur Tanah dalam Sistem Pertanian Tradisional

Dalam sistem pertanian tradisional yang umumnya bersifat subsisten dan berbasis lahan terbatas, pemanfaatan tanaman yang mampu menyumbang unsur hara alami menjadi sangat penting. Kedelai (*Glycine max*) adalah salah satu tanaman leguminosa yang memiliki kemampuan menyuburkan tanah secara alami melalui proses fiksasi nitrogen. Fiksasi ini terjadi melalui simbiosis mutualisme dengan bakteri *Rhizobium japonicum* yang membentuk bintil akar. Proses ini memungkinkan kedelai menangkap nitrogen bebas dari atmosfer dan mengkonversinya menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (NH_4^+), yang kemudian disimpan di dalam tanah.

Kemampuan fiksasi nitrogen oleh kedelai diperkirakan mencapai 50–200 kg N/ha/musim tergantung varietas dan kondisi tanah (Dewi & Santosa, 2022). Ini menjadikan kedelai sangat berperan dalam sistem tanam rotasi dengan tanaman non-leguminosa seperti padi dan jagung. Praktik ini tidak hanya menjaga kesuburan tanah secara alami tetapi juga mengurangi biaya produksi karena menurunkan kebutuhan pupuk kimia.

Tabel 1.5 Hasil Pengukuran Fiksasi Nitrogen Oleh Tanaman Kedelai Pada Berbagai Sistem Rotasi Di Lahan Pertanian Dataran Rendah Indonesia

Sistem Rotasi	Fiksasi Nitrogen (kg N/ha/musim)	Efisiensi Pemupukan Tanaman Berikutnya (%)
Padi → Kedelai → Padi	120	28
Jagung → Kedelai → Jagung	135	31
Tanpa Rotasi (Monokultur)	20–30 (alami, tidak signifikan)	<10

Sumber: Balitkabi, 2023; Dewi & Santosa, 2022

Dengan demikian, peranan kedelai sebagai penyubur tanah sangat penting dalam menunjang sistem pertanian yang berkelanjutan. Petani yang mengintegrasikan kedelai dalam pola tanamnya cenderung mendapatkan produktivitas jangka panjang yang lebih stabil dan efisien.

B. Kedelai dalam Sistem Musiman dan Ketahanan Pangan Lokal

Dalam praktik pertanian tradisional Indonesia, kedelai umumnya ditanam pada musim kemarau atau masa jeda setelah panen padi utama, terutama di lahan sawah tadah hujan. Siklus musim ini memungkinkan petani tetap memanfaatkan lahan tanpa harus melakukan investasi tinggi. Kedelai dianggap sebagai tanaman pengisi musim yang efisien, karena masa panennya relatif singkat (75–90 hari) dan dapat ditanam tanpa irigasi intensif.

Varietas lokal seperti Wilis, Argomulyo, dan Burangrang banyak digunakan oleh petani karena memiliki daya adaptasi tinggi terhadap lingkungan lokal dan toleransi terhadap kekeringan. Selain itu, beberapa varietas lokal memiliki kandungan protein dan cita rasa yang lebih disukai oleh industri pengrajin tahu dan tempe tradisional (Fitriani & Syafitri, 2021).

Ketahanan pangan lokal juga sangat dipengaruhi oleh peran kedelai sebagai sumber utama protein nabati. Berdasarkan laporan Badan Pangan Nasional (2023), kedelai menyumbang lebih dari 40% kebutuhan protein nabati bagi masyarakat berpenghasilan rendah di Jawa dan Sumatera. Konsumsi tahu dan tempe telah menjadi bagian dari budaya kuliner harian yang diwariskan lintas generasi.

C. Produk Olahan Kedelai dan Peran Sosio-Kultural

Kedelai merupakan bahan baku dari berbagai makanan tradisional yang kaya nilai gizi dan terintegrasi erat dalam budaya masyarakat Indonesia. Produk olahan seperti tempe, tahu, kecap, tauco, dan susu kedelai tidak hanya memenuhi kebutuhan gizi keluarga, tetapi juga memiliki nilai ekonomi bagi rumah tangga pengrajin.

Tempe misalnya, adalah hasil fermentasi kedelai dengan kapang *Rhizopus oligosporus*, dan mengandung protein sebesar 19–21% dengan bioavailabilitas tinggi serta kandungan probiotik. Selain menjadi lauk sehari-hari, tempe telah diakui secara internasional sebagai pangan fungsional. Kecap dan tauco sebagai produk fermentasi lanjutan juga mencerminkan tradisi pangan fermentasi Nusantara yang memanfaatkan kedelai sebagai bahan dasar utamanya.

Produksi tempe dan tahu secara tradisional juga menjadi penggerak ekonomi rumah tangga dan UMKM. Di banyak desa, usaha pengrajin tempe bersifat turun-temurun dan menjadi sumber pendapatan utama. Hal ini memperkuat posisi kedelai tidak hanya sebagai tanaman pertanian, tetapi juga sebagai penghubung antara produksi pangan, nilai budaya, dan kesejahteraan masyarakat.

D. Integrasi Kedelai dengan Kearifan Lokal dan Ekosistem

Praktik pertanian tradisional di Indonesia tidak bisa dilepaskan dari kearifan lokal, termasuk pemilihan waktu tanam, pemanfaatan varietas, serta cara pengolahan pascapanen. Dalam konteks ini, kedelai menjadi bagian dari sistem ekologis dan sosial yang lestari. Contohnya, di beberapa daerah Jawa Tengah dan Yogyakarta, kedelai ditanam bersamaan dengan jagung atau di antara tanaman hortikultura sebagai tanaman sisipan dalam sistem tumpangsari.

Budidaya kedelai dalam sistem ini tidak memerlukan input tinggi, namun memberikan hasil yang cukup optimal, karena sinergi antara jenis tanaman yang saling melengkapi dalam hal kebutuhan air, cahaya, dan nutrisi. Sistem ini telah terbukti dapat menjaga keanekaragaman hayati, memperkaya struktur tanah, dan mengurangi risiko gagal panen.

E. Peran Strategis dalam Ketahanan Ekonomi Lokal

Dari sisi ekonomi, kedelai dalam sistem pertanian tradisional berperan sebagai "tanaman penyokong" yang membantu petani memperoleh pendapatan tambahan di luar musim padi. Harga jual kedelai lokal relatif stabil, terutama jika dijual langsung ke pengrajin tahu dan tempe di pasar lokal. Selain itu, adanya program pemerintah seperti kampung tempe, UMKM tahu-tempe, dan penguatan klaster kedelai lokal (Kementan, 2022) semakin menghidupkan nilai ekonomi dari kedelai di tingkat petani dan pengrajin.

Latihan Soal :

1. Jelaskan proses domestikasi kedelai dari spesies liar *Glycine soja* menjadi *Glycine max*! Sertakan penjelasan tentang tujuan domestikasi dan perubahan sifat morfologis yang terjadi selama proses tersebut.
2. Analisis bagaimana penyebaran kedelai dari Asia Timur ke berbagai belahan dunia, termasuk Amerika dan Indonesia, memengaruhi peranannya sebagai komoditas global dan lokal!
3. Diskusikan peranan kedelai dalam sistem pertanian tradisional Indonesia! Bagaimana fungsi ekologis dan sosialnya saling mendukung dalam konteks pertanian berkelanjutan?
4. Kaitkan antara sejarah domestikasi kedelai dengan tantangan produksi kedelai saat ini di Indonesia. Mengapa produksi kedelai lokal belum mampu memenuhi kebutuhan nasional?
5. Buatlah argumentasi Anda mengenai pentingnya mempertahankan budidaya kedelai dalam sistem pertanian tradisional. Sertakan alasan ekologis, sosial, dan kultural.

BAB II.

BOTANI DAN MORFOLOGI

2.1 Taksonomi

Kedelai, dengan nama ilmiah *Glycine max* (L.) Merrill, merupakan tanaman pangan strategis yang termasuk dalam famili Fabaceae atau dikenal juga sebagai Leguminosae, salah satu kelompok tumbuhan berbunga yang memiliki kemampuan spesifik untuk berasosiasi dengan bakteri penambat nitrogen dari genus *Rhizobium*. Tumbuhan ini memiliki signifikansi besar dalam sistem pertanian global karena nilai gizinya yang tinggi, kemampuannya memperbaiki kesuburan tanah, serta perannya sebagai bahan baku industri pangan, pakan, dan bioenergi. Kedelai tergolong dalam subfamili Papilionoideae, yang dicirikan oleh bentuk bunga seperti kupu-kupu dan menghasilkan buah berbentuk polong.

Secara taksonomi, kedelai diklasifikasikan dalam hierarki ilmiah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Klasifikasi Taksonomi Tanaman Kedelai

Tingkat Taksonomi	Keterangan
Kingdom	Plantae
Divisi	Magnoliophyta (Angiospermae)
Kelas	Magnoliopsida (Dicotyledonae)
Ordo	Fabales
Famili	Fabaceae (Leguminosae)
Genus	<i>Glycine</i>
Spesies	<i>Glycine max</i> (L.) Merrill

Sumber : Arifin, S. H. A. (2021).

1. Kingdom: Plantae

Kedelai termasuk dalam kingdom Plantae, yang berarti bahwa tanaman ini tergolong ke dalam dunia tumbuhan. Anggota kingdom Plantae memiliki ciri utama yaitu mampu melakukan fotosintesis, memiliki dinding sel dari selulosa, dan berkembang biak secara generatif maupun vegetatif. Sebagai tumbuhan hijau, kedelai mengandalkan sinar matahari untuk menghasilkan makanan melalui proses fotosintesis.

2. Divisi: Magnoliophyta (Angiospermae)

Kedelai termasuk dalam divisi Magnoliophyta, atau yang dikenal juga sebagai Angiospermae, yaitu kelompok tumbuhan berbunga. Tumbuhan dalam divisi ini memiliki biji yang tertutup oleh buah. Ciri khas lainnya adalah adanya struktur bunga yang berkembang menjadi buah, dan bagian reproduksinya tampak jelas. Ini berbeda dengan tumbuhan biji terbuka (Gymnospermae) yang tidak memiliki bunga sejati.

3. Kelas: Magnoliopsida (Dicotyledonae)

Kedelai diklasifikasikan dalam kelas Magnoliopsida, yang berarti bahwa tanaman ini tergolong dalam dikotil atau berkeping dua. Tumbuhan dikotil memiliki dua daun lembaga saat berkecambah. Selain itu, ciri lainnya adalah susunan tulang daun menyirip atau menjari, sistem perakaran tunggang, dan jaringan pembuluh yang tersusun dalam bentuk melingkar.

4. Ordo: Fabales

Dalam sistem klasifikasi lebih lanjut, kedelai masuk dalam ordo Fabales, yaitu kelompok tanaman berbunga yang umumnya menghasilkan buah berupa polong. Ordo ini mencakup banyak tanaman legum, seperti kacang-kacangan dan lentil, yang dikenal karena kemampuannya melakukan fiksasi nitrogen di tanah dengan bantuan bakteri simbion.

5. Famili: Fabaceae (Leguminosae)

Kedelai termasuk dalam famili Fabaceae, juga disebut sebagai Leguminosae, yaitu keluarga tumbuhan polong-polongan. Famili ini sangat penting secara ekonomi dan ekologi karena anggotanya mampu menyuburkan tanah dan merupakan sumber utama protein nabati. Tumbuhan dalam famili ini memiliki bunga berbentuk khas dan buah berupa polong, seperti halnya kacang tanah, kacang hijau, dan kacang panjang.

6. Genus: Glycine

Tanaman kedelai termasuk dalam genus Glycine, yang mencakup spesies-spesies kedelai budidaya dan liar. Genus ini mencakup tanaman yang memiliki karakteristik serupa dalam struktur daun, bunga, dan biji. Genus Glycine terdiri dari dua subgenus utama: Glycine subgenus Soja (yang mencakup kedelai budidaya dan liar di Asia) dan Glycine subgenus Glycine (spesies liar dari Australia).

7. Spesies: Glycine max (L.) Merrill

Nama lengkap spesies kedelai adalah Glycine max (L.) Merrill. Nama ini menunjukkan bahwa kedelai merupakan spesies dalam genus Glycine, dan telah diberi nama ilmiah oleh ahli botani Carl Linnaeus (ditunjukkan dengan inisial "L.") dan Merrill yang kemudian mengklasifikasikan lebih lanjut. Spesies ini adalah bentuk budidaya dari kedelai yang kita kenal saat ini dan telah mengalami banyak penyempurnaan genetik untuk meningkatkan hasil dan daya adaptasi.

A. Asal Usul dan Domestikasi

Kedelai telah dibudidayakan sejak lebih dari 3.000 tahun yang lalu di kawasan Asia Timur, khususnya di wilayah Tiongkok bagian utara. Spesies budidaya saat ini (Glycine max) berasal dari spesies liar Glycine soja, yang masih ditemukan tumbuh secara alami di alam liar, terutama di Tiongkok, Korea, dan Jepang. Domestikasi kedelai melibatkan proses seleksi terhadap sifat-sifat

agronomis yang diinginkan seperti ukuran biji yang besar, warna biji yang seragam, kandungan minyak dan protein yang tinggi, serta respon berbunga terhadap panjang hari (photoperiod) yang lebih dapat dikendalikan.

Perubahan-perubahan tersebut membedakan kedelai budidaya dari kerabat liarnya, tidak hanya dalam morfologi tetapi juga fisiologi dan struktur genetik. Kedelai modern memiliki ekspresi genetik yang jauh lebih kompleks dalam hal regulasi pembungaan dan respons lingkungan dibandingkan dengan *Glycine soja*. Hal ini menunjukkan peran penting domestikasi dalam menciptakan tanaman yang adaptif dan produktif di berbagai kondisi agroekologi.

B. Keragaman Genetik dan Signifikansi Taksonomi

Dari perspektif taksonomi dan genetik, genus *Glycine* terbagi menjadi dua subgenus utama, yaitu *Glycine* subgenus *Soja* (yang mencakup *G. max* dan *G. soja*) dan *Glycine* subgenus *Glycine* (yang mencakup spesies liar perennial dari Australia). Subgenus *Soja* bersifat semusim (annual), sedangkan subgenus *Glycine* bersifat tahunan dan memiliki keragaman genetik yang sangat luas, menjadikannya sumber penting untuk peningkatan varietas kedelai melalui persilangan dan bioteknologi.

Taksonomi kedelai sangat penting untuk upaya pelestarian dan pemuliaan tanaman ini. Kejelasan klasifikasi ilmiah memungkinkan identifikasi hubungan kekerabatan antarvarietas dan spesies liar, serta mempermudah pelacakan sifat-sifat unggul seperti ketahanan terhadap penyakit, efisiensi penyerapan nitrogen, atau toleransi kekeringan. Varietas-varietas kedelai lokal Indonesia memiliki kekayaan morfologi dan adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan spesifik, menjadikannya sumber daya genetik yang penting untuk dikembangkan.

C. Perkembangan Sistem Klasifikasi Modern

Dengan berkembangnya teknologi biologi molekuler, sistem taksonomi tanaman kedelai tidak hanya ditentukan berdasarkan morfologi tetapi juga berdasarkan analisis genetik dan genomik. Penggunaan marker molekuler seperti SSR (Simple Sequence Repeats) dan SNP (Single Nucleotide Polymorphism) telah meningkatkan resolusi dalam pengelompokan varietas, deteksi keragaman genetik, serta pelacakan leluhur domestikasi kedelai (Liu et al., 2020). Ini menjadi pendekatan penting dalam membangun varietas unggul adaptif terhadap perubahan iklim.

Lebih lanjut, pendekatan genomik kini telah mengidentifikasi lebih dari 50.000 gen dalam genom *Glycine max*, yang banyak di antaranya berkaitan dengan pembentukan polong, pembungaan, dan respon terhadap cekaman lingkungan. Kajian ini menunjukkan bahwa sistem klasifikasi taksonomi kedelai terus berkembang dan beradaptasi seiring kemajuan teknologi.

D. Perbandingan Taksonomi dan Domestikasi Kedelai dengan Legum Lainnya

Jika dibandingkan dengan legum lainnya seperti kacang tanah (*Arachis hypogaea*) atau kacang hijau (*Vigna radiata*), kedelai memiliki posisi taksonomi dan sejarah domestikasi yang unik. *Glycine max* termasuk dalam genus *Glycine* yang memiliki sekitar 30 spesies, sebagian besar berasal dari Australia dan beberapa dari Asia. Berbeda dengan tanaman kacang lainnya, kedelai memiliki ukuran genom yang besar ($\pm 1,1$ Gb) dan mengalami peristiwa polyploidy atau penggandaan genom, yang membuatnya lebih kompleks secara genetika. Kompleksitas genom ini merupakan salah satu alasan mengapa kedelai sangat responsif terhadap program perbaikan genetika modern melalui teknik genomik, seperti CRISPR-Cas9.

E. Peran Taksonomi dalam Pemuliaan dan Konservasi Plasma Nutfah

Pengetahuan taksonomi sangat vital dalam kegiatan konservasi dan pemuliaan kedelai. Sebagai contoh, pengenalan sifat ketahanan terhadap kekeringan dari *Glycine tomentella* dan *Glycine canescens* (dua spesies liar dari Australia) ke dalam kedelai budidaya menunjukkan bagaimana pemahaman taksonomi dan hubungan kekerabatan menjadi landasan penting dalam bioteknologi tanaman penggunaan aksesi liar dalam pengembangan varietas dapat memperluas dasar genetika (genetic base) yang cenderung menyempit akibat pemuliaan intensif selama dekade terakhir.

F. Distribusi Geografis dan Keanekaragaman Genetik

Salah satu aspek penting dari taksonomi adalah memahami sebaran geografis spesies dalam genus *Glycine*. Berdasarkan laporan FAO dan penelitian terbaru, *Glycine max* secara alami hanya ditemukan sebagai tanaman budidaya, sementara kerabat liarnya seperti *Glycine soja* tumbuh di wilayah subtropis Asia Timur. Sebaliknya, subgenus *Glycine* tersebar luas di wilayah tropis Australia dengan spesies seperti *G. tabacina* dan *G. latrobeana*, yang memiliki toleransi tinggi terhadap salinitas dan suhu ekstrem. Sumber daya ini penting bagi upaya adaptasi terhadap perubahan iklim global.

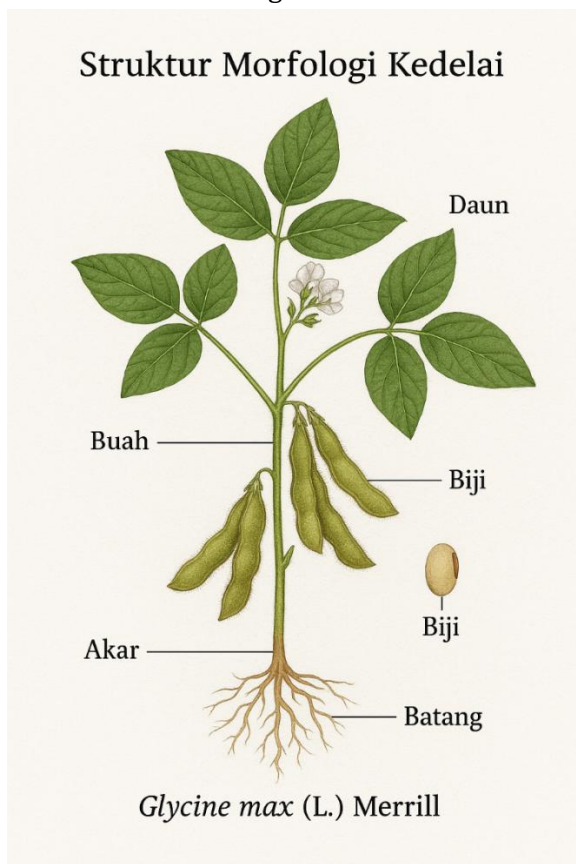
G. Sistem Kode dan Sumber Referensi Taksonomi Global

Taksonomi tanaman kedelai juga tercatat secara formal dalam berbagai database botani dan agronomi global seperti The Plant List, GRIN (Germplasm Resources Information Network), dan SoyBase, sebuah basis data khusus kedelai yang dikelola USDA. Semua referensi ilmiah ini menggunakan sistem penamaan binomial nomenclature menurut aturan International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (ICN), yang terus diperbarui berdasarkan penelitian taksonomi dan molekuler terbaru (SoyBase, 2023).

2.2 Morfologi Tanaman

Tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) merupakan tanaman semusim (annual) dari famili Fabaceae yang memiliki struktur morfologi khas leguminosa, terdiri dari akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Pemahaman terhadap morfologi tanaman ini sangat penting dalam pengelolaan budidaya, pemuliaan tanaman, serta penentuan strategi agronomi dan teknologi panen. Setiap bagian morfologi tanaman kedelai memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan, perkembangan, efisiensi fotosintesis, serta kualitas dan kuantitas hasil panen. Selain itu, karakter morfologi juga menjadi indikator adaptasi varietas terhadap lingkungan spesifik dan sumber data primer dalam seleksi pemuliaan varietas baru.

A. Struktur Morfologi Kedelai



1. Akar

Sistem akar kedelai bertipe tunggang dengan akar utama yang tumbuh vertikal menembus tanah hingga kedalaman 1,5 meter di kondisi tanah gembur dan subur. Akar tunggang ini menyokong tanaman secara mekanis dan menjadi pusat distribusi nutrisi serta air dari dalam tanah. Akar lateral tumbuh menyebar secara horizontal dari akar utama dan berfungsi meningkatkan luas

serapan terhadap unsur hara makro dan mikro. Salah satu ciri penting akar kedelai adalah kemampuannya membentuk bintil akar (nodulasi) melalui simbiosis mutualistik dengan bakteri *Bradyrhizobium japonicum*. Simbiosis ini mampu mengikat nitrogen bebas dari atmosfer dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman, sehingga kedelai relatif tidak memerlukan pemupukan nitrogen dalam jumlah besar.

Inokulasi *Rhizobium* dapat meningkatkan jumlah bintil akar hingga dua kali lipat dibanding tanpa inokulasi, dengan dampak langsung terhadap peningkatan kadar nitrogen daun dan hasil biji. Variasi dalam pembentukan bintil akar juga dipengaruhi oleh pH tanah, kelembaban, unsur hara, dan jenis varietas. Pada kondisi optimal, satu tanaman kedelai dewasa dapat membentuk 15–40 bintil akar aktif. Selain itu, akar kedelai juga dapat berasosiasi dengan mikoriza arbuskula yang mendukung serapan fosfor dan ketahanan terhadap kekeringan.

Tabel 2.2. Karakteristik Sistem Akar Kedelai

Parameter	Rentang Umum	Keterangan
Kedalaman akar tunggang	100 – 150 cm	Tergantung tekstur tanah dan varietas (Santosa & Nurhidayati, 2020)
Lebar sebaran akar lateral	50 – 100 cm	Lebih dangkal tetapi menyebar luas
Jumlah bintil aktif/tanaman	15 – 40 buah	Dapat meningkat dengan inokulasi <i>Rhizobium</i>
Berat total bintil/tanaman	0,2 – 1,2 gram	Terkait efisiensi fiksasi nitrogen
Potensi fiksasi N biologis	80 – 100 kg N/ha	Menurunkan kebutuhan pupuk N anorganik
Interaksi mikoriza	Positif pada P & Zn	Mendukung pertumbuhan awal dan daya tahan cekaman

2. Batang

Batang kedelai tumbuh secara tegak (erect) atau semi-menjalar (semi-prostrate), tergantung pada varietas dan faktor lingkungan. Batang bersifat beruas (nodus) dan buku-buku ini merupakan titik tumbuh bagi daun, cabang, dan bunga. Permukaan batang dilapisi bulu halus (pubesensi) berwarna putih keabu-abuan yang berfungsi mengurangi transpirasi dan melindungi dari serangan hama. Tinggi tanaman berkisar antara 30–100 cm, tetapi dapat mencapai lebih dari 120 cm pada varietas tertentu di lahan subur dengan kelembaban cukup.

Pertumbuhan batang dibagi menjadi dua fase: vegetatif dan generatif. Fase vegetatif melibatkan elongasi batang utama dan pembentukan percabangan

lateral yang penting untuk jumlah polong. Fase generatif dimulai dari pembentukan bunga hingga pengisian biji. Morfologi batang sangat berpengaruh terhadap potensi hasil, karena varietas dengan batang kuat dan pendek lebih tahan rebah dan efisien dalam penyerapan sinar matahari.

3. Daun

Daun kedelai bertipe majemuk trifoliat, terdiri dari tiga anak daun yang muncul dari satu tangkai. Setiap anak daun berbentuk oval memanjang dengan ujung runcing, pinggiran rata, dan permukaan daun berbulu halus. Susunan daun berseling pada batang dan cabang. Warna daun hijau tua menjadi indikator tingginya kandungan klorofil dan kemampuan fotosintesis tanaman.. perbedaan bentuk dan warna daun antar varietas kedelai dapat dimanfaatkan sebagai parameter seleksi dalam pemuliaan tanaman untuk efisiensi fotosintesis di berbagai kondisi pencahayaan.

Pada awal pertumbuhan, tanaman kedelai membentuk daun kotiledon, diikuti daun tunggal, dan kemudian trifoliat. Jumlah total daun trifoliat yang terbentuk selama fase vegetatif dapat mencapai 8–12 unit. Selama fase generatif, daun akan mulai menua dan menggugurkan diri secara alami (senescence), yang biasanya menjadi indikator bahwa tanaman telah memasuki fase masak fisiologis.

4. Bunga

Bunga kedelai merupakan bunga lengkap dan berumah satu dan hermafrodit, yang memiliki struktur khas papilionasea seperti tanaman leguminosa lainnya. Bunga muncul dalam kelompok (tandan) di ketiak daun dan tersusun dari lima kelopak, lima mahkota, sepuluh benang sari, dan satu putik. Warna bunga bervariasi dari putih, ungu muda hingga ungu tua, tergantung pada varietas. Proses pembungaan dimulai sekitar 4–6 minggu setelah tanam dan berlangsung selama 7–14 hari tergantung kondisi lingkungan.

Bunga kedelai mengalami penyerbukan sendiri (autogami), yang berarti pembuahan terjadi sebelum bunga mekar sempurna. Namun, sekitar 0,5–1% terjadi penyerbukan silang secara alami akibat bantuan angin atau serangga, meskipun kontribusinya sangat kecil dalam produksi benih. Fotoperiodisme berperan besar dalam pembungaan kedelai, di mana varietas lokal cenderung bereaksi terhadap panjang hari. Varietas dengan tipe short-day akan mulai berbunga saat panjang malam meningkat, sedangkan varietas day-neutral cenderung berbunga lebih stabil sepanjang musim.

5. Buah dan Biji

Buah kedelai berupa polong, yaitu buah kering yang berbulu, berbentuk lurus hingga agak melengkung, dan memiliki panjang 3–7 cm. Setiap polong umumnya mengandung 2 hingga 4 biji, walaupun varietas unggul tertentu dapat menghasilkan hingga 5 biji per polong. Permukaan polong ditutupi rambut-

rambut halus yang berfungsi melindungi dari serangan hama dan patogen. Polong muda berwarna hijau dan akan berubah menjadi kekuningan atau cokelat saat matang.

Biji kedelai berbentuk bulat oval dengan ukuran dan warna yang sangat bervariasi: kuning pucat, hitam, cokelat, atau hijau tergantung genotipe. Biji terdiri dari tiga komponen utama: kulit biji, kotiledon, dan embrio. Kandungan utama biji kedelai adalah protein (35–42%) dan minyak nabati (18–20%), menjadikannya bahan pangan dan industri yang sangat bernilai. Varietas dengan ukuran biji lebih besar (berat 100 biji >20 g) memiliki nilai jual lebih tinggi, namun kadang kurang tahan terhadap cekaman kekeringan. (Stefia, E. M., & Saputro, T. B. 2017).

Tabel 2.3. Polong dan Biji Kedelai

Parameter	Rentang Umum	Keterangan
Jumlah polong per tanaman	25 – 60 polong	Bergantung pada varietas dan ketersediaan air
Jumlah biji per polong	2 – 4 biji	Beberapa varietas genjah bisa menghasilkan 5 biji
Berat 100 biji	10 – 25 gram	<15g = kecil (industri kecap), 15–20g = sedang, >20g = besar (tahu/tempe)
Warna biji	Kuning, hitam, cokelat	Kuning (umum), hitam (fungsi kesehatan), cokelat (varietas lokal)
Kandungan protein	35 – 42%	Tertinggi pada varietas berbiji besar
Kandungan minyak	18 – 20%	Semakin tinggi kandungan minyak, semakin cocok untuk biodiesel

B. Variabilitas Morfologi Antar Varietas

Variasi morfologi pada tanaman kedelai sangat dipengaruhi oleh faktor genetik (varietas) dan kondisi agroekologi tempat tumbuh. Perbedaan karakter seperti tinggi tanaman, jumlah cabang, bentuk daun, warna bunga, dan ukuran biji dapat dijadikan indikator adaptabilitas dan potensi hasil suatu varietas. Menurut Liu et al. (2020), keberagaman morfologi pada varietas lokal dan introduksi mencerminkan hasil dari proses seleksi alam dan pemuliaan yang panjang. Oleh karena itu, pengamatan morfologi bukan hanya penting dalam taksonomi, tetapi juga dalam agronomi dan teknologi pascapanen, karena ukuran dan warna biji akan menentukan preferensi pasar industri pangan seperti tahu, tempe, dan kecap.

2.3 Siklus Hidup

Siklus hidup tanaman kedelai (*Glycine max*) menggambarkan seluruh proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman dari benih hingga panen. Pemahaman terhadap tiap tahapan pertumbuhan ini sangat penting dalam praktik budidaya kedelai modern, karena setiap fase memiliki kebutuhan fisiologis dan agronomis yang berbeda, seperti kebutuhan air, pupuk, pengendalian hama, dan pengelolaan kanopi. Siklus hidup kedelai secara umum terbagi menjadi dua fase utama, yaitu fase vegetatif (V) dan fase reproduktif (R), yang ditandai dengan perubahan morfologi dan fisiologi tanaman.

1. Fase Perkecambahan (Germination dan Emergence)

Fase pertama dimulai sejak benih ditanam dan mengalami imbibisi, yaitu penyerapan air yang memicu aktivasi enzim dan metabolisme dalam embrio. Perkecambahan optimal terjadi pada suhu tanah 25–30°C, dengan kelembaban tanah minimal 60% kapasitas lapang. Dalam 2–3 hari setelah tanam, radikula (akar embrio) muncul terlebih dahulu dan mulai tumbuh menembus tanah, diikuti oleh munculnya plumula (tunas).

Tahap ini sangat krusial karena menjadi indikator awal keberhasilan pertanaman. Gangguan seperti suhu rendah, benih busuk, atau infeksi patogen dapat menyebabkan kegagalan fase ini. Tahap ini disimbolkan sebagai VE (Vegetative Emergence) dan biasanya terjadi pada hari ke-3 hingga ke-5 setelah tanam (HST).

2. Fase Vegetatif (V1 – Vn)

Fase vegetatif dimulai setelah tanaman keluar dari tanah dan membentuk daun pertama. Fase ini mencakup serangkaian tahapan pembentukan buku (nodes) dan daun trifoliat yang diberi kode V1 (1 trifoliat berkembang penuh) hingga Vn (jumlah trifoliat tergantung varietas). Daun trifoliat merupakan struktur fotosintetik utama yang menyediakan energi dan nutrisi bagi pertumbuhan jaringan baru.

Selama fase ini, tanaman juga mengembangkan sistem akar, berkolonisasi dengan bakteri *Rhizobium japonicum* untuk fiksasi nitrogen simbiotik. Proses ini membantu mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen kimia. Fase vegetatif berlangsung selama 25–40 hari tergantung varietas dan kondisi lingkungan. Aplikasi pupuk dasar (P dan K) serta pengairan yang memadai pada fase ini sangat penting.

3. Fase Reproduksi (R1 – R8)

Fase reproduktif ditandai dengan inisiasi pembungaan dan pembentukan organ generatif. Fase ini memiliki delapan subfase, yaitu:

- R1 (Beginning Bloom): Bunga pertama muncul di salah satu ruas batang utama.
- R2 (Full Bloom): Bunga tampak penuh di batang utama.

- R3 (Beginning Pod): Polong kecil (5 mm) mulai terbentuk di ruas.
- R4 (Full Pod): Polong telah tumbuh hingga ukuran penuh (± 2 cm).
- R5 (Beginning Seed): Biji mulai terbentuk di dalam polong.
- R6 (Full Seed): Biji mengisi penuh polong dan mencapai ukuran maksimum.
- R7 (Beginning Maturity): Tanaman mencapai masak fisiologis; 50% daun menguning dan biji keras.
- R8 (Full Maturity): Sebagian besar polong ($\pm 95\%$) telah berubah warna coklat dan kering.

Pada fase ini, tanaman sangat sensitif terhadap cekaman air dan hama penyakit. Ketersediaan unsur K (kalium), B (boron), dan air sangat krusial untuk mengoptimalkan pembentukan polong dan pengisian biji. Periode R5 hingga R6 merupakan penentu utama hasil akhir, karena selama tahap ini jumlah dan bobot biji terbentuk secara penuh.

4. Fase Panen

Fase panen ditandai dengan tercapainya kematangan penuh pada biji dan pengeringan alami polong. Saat R8, sekitar 95% polong berubah warna menjadi coklat, dan kadar air biji turun hingga 13% - 15%. Ini merupakan waktu ideal untuk panen guna menghindari kehilangan hasil akibat polong pecah atau serangan hama gudang. Waktu panen yang tepat juga mempengaruhi mutu fisik dan fisiologis benih, khususnya jika kedelai diproduksi sebagai benih atau bahan baku industri pangan.

Panen yang terlalu dini dapat menyebabkan kadar air biji tinggi dan keriput, sementara panen terlambat menyebabkan over-mature yang mengurangi viabilitas dan menimbulkan kerontokan.

5. Lama Siklus Hidup

Lama siklus hidup kedelai sangat bervariasi tergantung pada genotipe (varietas), musim tanam, ketinggian tempat, dan ketersediaan air serta cahaya. Kedelai berumur genjah biasanya memerlukan waktu 75–90 hari, sedangkan varietas sedang hingga dalam (late-maturing) bisa mencapai 100–120 hari. Tabel berikut merangkum tahapan pertumbuhan kedelai berdasarkan sistem Fehr & Caviness:

Tabel 2.4. Tahapan Pertumbuhan Kedelai Berdasarkan Fase Pertumbuhan

Kode Tahapan	Deskripsi Tahapan	Estimasi Hari Setelah Tanam (HST)
VE	Emergence (muncul dari tanah)	3–5 HST
V1	Daun trifoliat pertama terbuka	7–10 HST
Vn	Daun trifoliat ke-n (tergantung varietas)	15–25 HST
R1	Muncul bunga pertama	30–40 HST

R3	Polong awal terbentuk	50–60 HST
R5	Biji mulai terbentuk dalam polong	65–80 HST
R7	Masak fisiologis (biji penuh, mulai kering)	90–105 HST
R8	Panen (biji kering, polong cokelat)	100–120 HST

Latihan Soal :

1. Jelaskan klasifikasi taksonomi kedelai secara lengkap dan uraikan pentingnya pemahaman taksonomi dalam konteks agronomi dan pemuliaan tanaman!
2. Kedelai merupakan hasil domestikasi dari spesies liar *Glycine soja*. Uraikan dampak domestikasi terhadap perubahan morfologi, produktivitas, dan adaptasi kedelai terhadap lingkungan!
3. Sebutkan dan jelaskan fungsi dari lima bagian utama morfologi tanaman kedelai (akar, batang, daun, bunga, dan buah/biji), serta jelaskan bagaimana masing-masing bagian berperan dalam siklus hidup tanaman!
4. Deskripsikan secara sistematis tahapan siklus hidup kedelai mulai dari perkecambahan hingga panen. Sertakan kode tahapan (V1–Vn, R1–R8) dan perkiraan waktu yang dibutuhkan!
5. Mengapa pemahaman tentang siklus hidup kedelai penting dalam praktik budidaya? Jelaskan kaitannya dengan keputusan agronomis seperti waktu tanam, pemupukan, dan panen!
6. Bandingkan variasi morfologi antar varietas kedelai yang ditentukan oleh faktor genotipe dan lingkungan. Berikan contoh bagaimana lingkungan dapat memengaruhi bentuk atau hasil tanaman!