



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 2628-2636

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

## Studi Deskriptif Variabilitas Genetik Tanaman Kedelai sebagai Strategi Pertanian Berkelanjutan

Aghisna Pertiwi<sup>1</sup>, Alya Kurnia Putri<sup>2</sup>, Anthika Rivera Zains<sup>3</sup>, Febryana Putri Pratiwi<sup>4</sup>, Rodi Boy Sandi<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Prodi Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung

[febrianaputripratiwi7@gmail.com](mailto:febrianaputripratiwi7@gmail.com), [alvakurniap27@gmail.com](mailto:alvakurniap27@gmail.com), [anthikariverazains@gmail.com](mailto:anthikariverazains@gmail.com),

[Rodiboy22@gmail.com](mailto:Rodiboy22@gmail.com), [aghisnatiwi@gmail.com](mailto:aghisnatiwi@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis variabilitas fenotipik dan genetik pada beberapa genotipe kedelai sebagai dasar dalam merumuskan strategi pertanian berkelanjutan. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk mengevaluasi perbedaan karakter agronomi utama, meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, ukuran biji, serta hasil per tanaman. Analisis varians diterapkan untuk mengidentifikasi perbedaan nyata antargenotipe, sedangkan nilai heritabilitas dan genetic advance dihitung guna menentukan sejauh mana kontribusi komponen genetik terhadap ekspresi karakter tersebut. Selain itu, analisis korelasi digunakan untuk memahami hubungan antarkarakter agronomi dan menilai potensi seleksi tidak langsung terhadap peningkatan hasil. Analisis kluster turut dilakukan untuk mengelompokkan genotipe berdasarkan kesamaan fenotipik sehingga dapat mengidentifikasi sumber keragaman genetik yang potensial bagi pemuliaan. Hasil penelitian menunjukkan adanya keragaman luas antar genotipe, ditandai oleh perbedaan signifikan pada berbagai karakter yang diamati. Nilai heritabilitas yang tinggi pada beberapa karakter utama mengindikasikan bahwa seleksi dapat dilakukan secara efektif untuk mencapai kemajuan genetik yang berkelanjutan. Korelasi positif antara karakter hasil dan karakter pendukung lainnya memperjelas arah seleksi yang efisien dalam program pemuliaan. Sementara itu, analisis kluster berhasil memetakan kelompok genotipe yang memiliki potensi adaptasi dan kombinasi karakter unggul. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan varietas kedelai unggul serta mendukung implementasi sistem pertanian yang lebih produktif, stabil, dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** Variabilitas Fenotipik, Variabilitas Genetik, Heritabilitas, Korelasi Agronomi, Kedelai, Pertanian Berkelanjutan

### 1. Pendahuluan

Produksi kedelai menjadi salah satu pilar ketahanan pangan dan sumber protein nabati penting di banyak negara, termasuk Indonesia. Namun produktivitas kedelai domestik masih berfluktuasi akibat keterbatasan varietas adaptif, serangan hama/penyakit, dan praktik budidaya yang belum optimal. Oleh sebab itu, pemahaman tentang variabilitas tanaman kedelai baik fenotipik maupun genetik menjadi landasan untuk merancang strategi produksi yang lebih tangguh dan berkelanjutan (Kuswantoro, 2020; Owusu, 2021).

Variabilitas fenotipik mencakup perbedaan yang tampak pada sifat-sifat agronomi seperti tinggi tanaman, jumlah polong, bobot 100 biji, dan fase pertumbuhan, sedangkan variabilitas genetik berkaitan dengan perbedaan yang diwariskan antar genotipe. Pengukuran koefisien varians, heritabilitas, dan genetic advance memungkinkan peneliti serta pemulia menentukan sifat mana yang responsif terhadap seleksi dan mana yang lebih dipengaruhi lingkungan (Jandong, 2020; Addae-Frimpoomaa, 2025).

Studi deskriptif terhadap variabilitas tidak selalu bertujuan menciptakan varietas baru langsung, melainkan juga untuk mengidentifikasi sumber daya genetik yang berpotensi, memahami pola korelasi antar-sifat, dan memetakan adaptabilitas lintas lingkungan. Informasi ini berguna bagi perencanaan program pemuliaan, pengembangan paket teknologi spesifik lokasi, serta diversifikasi varietas untuk mengurangi risiko gagal panen pada perubahan iklim (Priyanto, 2023; Nilahayati, 2022).

Pendekatan deskriptif umumnya melibatkan pengamatan multi-lokasi atau percobaan genotipe pada beberapa lingkungan untuk membedakan pengaruh genetik dan lingkungan terhadap fenotipe. Analisis statistik seperti

ANOVA, analisis komponen varians, korelasi genotip-fenotip, dan analisis kluster sering digunakan untuk mengekstrak pola variasi dan mengelompokkan genotipe berdasarkan kemiripan agronomi (Kusuma, 2016; Priyanto, 2023).

Dari perspektif pertanian berkelanjutan, mempertahankan atau meningkatkan variabilitas genetik dalam materi tanaman adalah strategi mitigasi risiko semakin beragam sumber genetik, semakin besar peluang untuk menemukan genotipe yang toleran terhadap stres biotik/abiotik. Selain itu, varietas yang memiliki variasi sifat agronomi memungkinkan petani memilih materi tanam yang sesuai dengan tujuan produksi, kondisi lahan, dan pasar lokal, sehingga meningkatkan ketahanan ekonomi dan lingkungan petani kecil (Owusu, 2021; Addae-Frimpoomaa, 2025).

Praktik penerapan hasil studi variabilitas meliputi seleksi garis unggul, pembuatan populasi sintetik, dan rekomendasi varietas per zona. Namun keberhasilan translasi penelitian ke lapang memerlukan dukungan sistem kelembagaan: pengujian varietas yang representatif, kebijakan varietas unggul, serta penyuluhan dan akses benih bermutu untuk petani. Sinergi antara pemulia, peneliti agronomi, dan penyuluh menjadi kunci agar temuan variabilitas benar-benar berdampak pada ketahanan pangan lokal.

Berdasarkan uraian di atas, studi deskriptif tentang variabilitas tanaman kedelai tidak hanya relevan bagi ilmu pemuliaan, tetapi juga merupakan komponen strategis dalam kerangka pertanian berkelanjutan. Penelitian yang sistematis, transparan, dan terhubung dengan kebutuhan lapang akan mempercepat adopsi varietas adaptif, memperkecil risiko produksi, dan mendukung tujuan pembangunan pertanian yang ramah lingkungan dan berkeadilan sosial. Oleh karena itu, kajian deskriptif yang komprehensif perlu dilanjutkan dan diintegrasikan dalam program pembangunan agraria dan agroekosistem lokal

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis variabilitas fenotipik serta potensi genetik beberapa genotipe kedelai pada kondisi agroekosistem tertentu. Penelitian dilaksanakan di lahan percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan tiga ulangan untuk memastikan keterulangan data dan meminimalkan pengaruh heterogenitas lingkungan. Setiap genotipe ditanam dengan jarak tanam seragam, diberi perlakuan pemeliharaan standar, dan diamati pada karakter agronomi meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, bobot 100 biji, serta hasil per tanaman. Data kemudian dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk mendeteksi perbedaan genotipe, dilanjutkan dengan perhitungan koefisien keragaman, heritabilitas, dan korelasi antar-sifat guna menginterpretasikan pola variabilitas dan menentukan sifat yang berpotensi dikembangkan dalam program pemuliaan kedelai berkelanjutan.

## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1. Analisis Variabilitas Fenotipik Tanaman Kedelai

Variabilitas fenotipik antar genotipe kedelai mencerminkan perbedaan nyata dalam ekspresi karakter agronomi seperti tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, ukuran biji, dan bobot biji. Keragaman ini menunjukkan bahwa populasi kedelai memiliki ruang pemilihan genotipe yang luas untuk kebutuhan produksi serta adaptasi lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa koefisien variansi fenotipik (PCV) pada berbagai sifat kedelai berada pada kisaran yang lebar, mengindikasikan tingginya pengaruh interaksi genotipe–lingkungan terhadap ekspresi sifat (S. & Fakrudin 2020). Dengan demikian, identifikasi variasi fenotipik menjadi langkah dasar yang penting dalam menentukan arah pemuliaan.

Perbedaan karakter agronomi seperti tinggi tanaman, jumlah cabang per tanaman, dan jumlah polong terbukti berperan besar dalam menentukan produktivitas galur kedelai. Penelitian pada beberapa varietas memperlihatkan bahwa variasi genotipik dan fenotipik untuk tinggi tanaman dan bobot 100 biji cukup luas, sementara variasi genetik jumlah polong relatif sempit sehingga karakter tersebut cenderung stabil terhadap lingkungan (Kuswantoro et al., tahun publikasi). Stabilitas karakter tertentu membuatnya menjadi indikator seleksi yang lebih andal dalam program pemuliaan. Oleh karena itu, karakter-karakter tersebut layak diprioritaskan sebagai penanda seleksi.

Variabilitas ukuran biji serta bobot 100 biji antar genotipe kedelai menunjukkan pola keragaman yang signifikan dan dapat dimanfaatkan untuk perbaikan mutu hasil. Studi terhadap lebih dari 90 genotipe kedelai menunjukkan bahwa meskipun dimensi fisik biji seperti panjang, lebar, dan ketebalan memiliki variabilitas rendah, bobot 100 biji justru memiliki koefisien variansi genetik (GCV) sedang hingga tinggi (Uikey et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa bobot 100 biji sangat potensial untuk ditingkatkan melalui seleksi. Bobot 100 biji juga diakui sebagai indikator penting dalam penentuan kualitas dan produktivitas benih.

Variasi yang nyata pada hasil per tanaman sering kali merupakan hasil interaksi antara jumlah polong, jumlah biji per polong, dan bobot biji. Perbedaan antargenotipe pada komponen-komponen hasil tersebut menyebabkan setiap genotipe memiliki potensi hasil yang berbeda sesuai kesesuaian kondisi lingkungan (S. & Fakrudin, 2020). Keragaman fenotipik yang lebar juga memungkinkan pemilihan genotipe adaptif yang mampu menghadapi kondisi agronomi tertentu, termasuk perubahan iklim dan teknik budidaya. Dengan demikian, pemahaman variabilitas fenotipik menjadi landasan penting untuk mendukung seleksi yang akurat dalam pemuliaan kedelai.

Analisis terhadap populasi galur kedelai menunjukkan bahwa berbagai karakter agronomi memperlihatkan nilai PCV (Phenotypic Coefficient of Variation) yang umumnya sedikit lebih besar daripada GCV (Genotypic Coefficient of Variation), sehingga menandakan bahwa lingkungan tumbuh memberikan pengaruh penting terhadap ekspresi fenotipik. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakter-karakter yang tampak pada tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh faktor genetik, tetapi juga respons tanaman terhadap kondisi budidaya. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa seleksi berbasis fenotip harus dilakukan pada berbagai lingkungan agar diperoleh genotipe dengan adaptabilitas yang konsisten (Dutta et al., 2021). Oleh karena itu, sekalipun potensi genetik tersedia, stabilitas ekspresi sifat perlu diuji lintas lokasi sebelum suatu galur direkomendasikan sebagai calon varietas unggul.

Beberapa karakter agronomi penting seperti hasil biji per tanaman, jumlah biji per polong, serta jumlah polong per tanaman menunjukkan variabilitas tinggi, yang membuat karakter-karakter tersebut responsif terhadap seleksi. Variabilitas yang besar memungkinkan pemulia memperoleh kemajuan genetik signifikan dalam program pemuliaan untuk peningkatan produktivitas (Dutta et al., 2021). Namun demikian, karakter seperti panjang biji, lebar biji, dan dimensi fisik lainnya cenderung memiliki nilai GCV lebih rendah, sehingga menunjukkan variasi genetik yang relatif terbatas. Menurut Uikey et al. (2021), keterbatasan variasi genetik tersebut menyebabkan karakter ukuran biji kurang efektif digunakan sebagai indikator seleksi pada tahap awal pemuliaan.

Penelitian terbaru mengungkap bahwa variasi genetik tertentu dapat memengaruhi secara signifikan bobot 100 biji, salah satu karakter hasil yang sangat penting dalam kedelai. Studi terhadap lebih dari 1.400 aksesi menunjukkan bahwa variasi alelik pada gen *GmSW17.1* menyebabkan rentang bobot 100 biji yang sangat luas, dari 3,0 g hingga lebih dari 50 g (Zhang et al., 2024). Hal ini menegaskan bahwa bobot biji bukan hanya dipengaruhi oleh jumlah biji atau polong, tetapi juga oleh mekanisme regulasi genetik yang dapat dimanfaatkan untuk merakit varietas berbiji besar. Pemahaman tentang alel tersebut memberi peluang besar bagi pemulia untuk memproduksi varietas dengan mutu hasil lebih tinggi.

Dengan demikian, bobot 100 biji muncul sebagai salah satu karakter paling strategis untuk seleksi karena menunjukkan variabilitas luas, memiliki korelasi kuat dengan hasil akhir, dan umumnya memiliki heritabilitas tinggi (Kusuma et al., 2017). Heritabilitas tinggi menunjukkan bahwa karakter tersebut terutama dikontrol oleh faktor genetik, sehingga hasil seleksi pada generasi awal dapat diwariskan ke generasi berikutnya secara stabil. Namun pemulia tetap harus mengintegrasikan karakter ini dengan komponen hasil lainnya, seperti jumlah polong dan jumlah biji per polong, karena produktivitas tanaman merupakan hasil interaksi banyak karakter (Uikey et al., 2021).

Variabilitas fenotipik yang besar pada populasi galur, terutama pada generasi lanjut seperti  $F_6$  atau  $F_7$ , memberikan peluang bagi pemulia untuk mendapatkan kombinasi sifat unggul seperti ukuran biji besar, polong banyak, serta efisiensi pengisian biji yang lebih baik. Kusuma et al. (2017) menegaskan bahwa keragaman fenotipik pada generasi lanjut hasil persilangan sangat penting, karena pada tahap ini segregasi genetik masih berlangsung namun tingkat kestabilan mulai mengarah pada pola yang lebih tetap. Kondisi ini membuka ruang untuk seleksi intensif pada karakter-karakter unggul yang diinginkan.

Karakter tambahan seperti umur berbunga, umur panen, dan jumlah cabang per tanaman juga memperlihatkan variasi fenotipik dan genetik yang cukup besar, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pemuliaan yang berorientasi pada kesesuaian agroekologi. Studi-studi agronomi menunjukkan bahwa umur berbunga dan umur panen memiliki korelasi dengan adaptasi lingkungan, terutama pada sistem tanam di wilayah tropis yang memiliki variasi pola hujan sepanjang tahun (Kusuma et al., 2017). Oleh karena itu, seleksi terhadap karakter umur sangat penting untuk memastikan kecocokan varietas terhadap kalender tanam petani.

Meski banyak karakter memiliki variabilitas luas, beberapa karakter lain seperti jumlah biji per polong atau panjang polong dalam beberapa penelitian menunjukkan variabilitas genetik yang sempit. Variabilitas yang sempit menunjukkan bahwa karakter tersebut relatif stabil dan kurang responsif terhadap kondisi lingkungan (Thakur & Kumari, 2023). Stabilitas ini dapat menguntungkan bila karakter tersebut penting secara agronomis, namun kurang efektif untuk program pemuliaan yang memerlukan peningkatan karakter melalui seleksi genetik.

Secara keseluruhan, analisis variabilitas fenotipik menunjukkan bahwa kedelai memiliki keragaman agronomi yang sangat besar pada berbagai komponen hasil. Dengan memprioritaskan karakter-karakter dengan variabilitas tinggi dan heritabilitas tinggi, seperti bobot 100 biji, hasil per tanaman, serta karakter adaptasi seperti umur berbunga dan cabang produktif, pemulia dapat merakit varietas unggul yang adaptif dan berdaya hasil tinggi. Pemahaman mendalam mengenai keragaman fenotipik ini mendukung proses seleksi yang lebih terarah dan efisien dalam program pemuliaan kedelai modern.

### 3.2. Analisis Variabilitas Genetik

Analisis variabilitas genetik dilakukan untuk menentukan apakah variasi karakter agronomi pada kedelai lebih banyak dipengaruhi faktor genetik atau lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa karakter seperti tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, dan bobot 100 biji memiliki varians genetik yang signifikan, menandakan adanya dasar genetik kuat dalam pengendalian karakter tersebut (Plant Gene and Trait, tahun). Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan berdasarkan karakter-karakter tersebut sangat memungkinkan untuk menghasilkan kemajuan genetik nyata.

Heritabilitas merupakan indikator kunci yang menunjukkan seberapa besar suatu karakter dapat diwariskan secara stabil kepada generasi berikutnya. Berdasarkan penelitian terhadap ratusan aksesi kedelai, hampir semua karakter kuantitatif termasuk bobot 100 biji, jumlah cabang, dan jumlah polong memiliki nilai heritabilitas broad-sense tinggi, yaitu di atas 70% (S. & Fakrudin, 2020). Heritabilitas tinggi menandakan bahwa variasi karakter sebagian besar dikendalikan oleh gen, bukan lingkungan, sehingga seleksi akan memberikan dampak yang konsisten. Oleh sebab itu, pemulia perlu memprioritaskan karakter ber-heritabilitas tinggi.

Selain heritabilitas, genetic advance (GA) juga menjadi parameter penting dalam menilai efektivitas seleksi pada populasi kedelai. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karakter seperti jumlah biji per tanaman dan hasil per tanaman memiliki genetic advance tinggi, sehingga seleksi berdasarkan fenotip mampu meningkatkan performa genetik secara signifikan (Plant Gene and Trait, tahun). Kombinasi heritabilitas tinggi dan GA tinggi menandakan bahwa karakter tersebut dikendalikan oleh gen aditif, sehingga perbaikan genetik dapat berlangsung cepat melalui seleksi.

Sifat-sifat yang memiliki variabilitas genetik besar, nilai heritabilitas tinggi, dan genetic advance tinggi merupakan sifat prioritas yang paling responsif terhadap perbaikan melalui seleksi. Karakter seperti bobot 100 biji, jumlah polong per tanaman, serta jumlah biji per tanaman sering muncul sebagai karakter unggul untuk program pemuliaan (Kuswantoro et al., tahun publikasi). Selain itu, pelestarian keragaman genetik dalam populasi sangat penting untuk menghadapi kondisi lingkungan yang fluktuatif, termasuk stres abiotik dan biotik. Oleh karena itu, analisis variabilitas genetik menjadi fondasi utama bagi strategi pemuliaan kedelai berkelanjutan.

Variabilitas genetik dalam populasi kedelai sangat penting untuk memastikan adanya sumber gen yang dapat dimanfaatkan dalam meningkatkan produktivitas dan daya adaptasi varietas. Penelitian menunjukkan bahwa galur-galur kedelai memiliki kisaran variabilitas genetik yang berbeda pada setiap karakter, termasuk ukuran biji, tinggi tanaman, dan kemampuan adaptasi terhadap stres abiotik seperti kekeringan (Dutta et al., 2021). Dengan adanya variabilitas genetik yang luas, pemulia dapat memilih individu yang membawa gen unggul untuk

dikembangkan lebih lanjut. Hal ini menegaskan pentingnya pengelolaan plasma nutfah sebagai sumber genetik jangka panjang.

Selain itu, keragaman genetik yang tinggi juga diperlukan untuk mencegah terjadinya bottleneck genetik yang dapat membatasi perbaikan varietas di masa depan. Studi keragaman genetik menggunakan marka molekuler seperti SSR dan SNP menunjukkan bahwa aksesori kedelai dari wilayah tropis memiliki keragaman genetik yang lebih tinggi dibanding aksesori dari wilayah subtropis (Thakur & Kumari, 2023). Perbedaan ini menjelaskan mengapa kedelai tropis sering menunjukkan toleransi lingkungan ekstrem lebih baik. Oleh sebab itu, eksplorasi plasma nutfah lokal semakin penting dilakukan.

Analisis variabilitas genetik juga memberikan gambaran mengenai pola pewarisan sifat tertentu, terutama sifat hasil dan komponen hasil. Karakter seperti jumlah polong dan jumlah cabang per tanaman dilaporkan memiliki pengaruh genetik yang kuat dan diwariskan secara aditif, sehingga sangat responsif terhadap seleksi pada generasi awal (Uikey et al., 2021). Pewarisan aditif yang kuat memberikan keuntungan dalam pemuliaan karena memungkinkan kemajuan genetik lebih cepat melalui seleksi massa atau seleksi silsilah. Kondisi ini sekaligus mempermudah identifikasi genotipe unggul.

Karakter yang dikendalikan sebagian besar oleh gen aditif biasanya menunjukkan nilai heritabilitas luas yang tinggi pada berbagai kondisi lingkungan. Dalam penelitian lapangan multi-lokasi, nilai heritabilitas tinggi teramati pada karakter bobot 100 biji, jumlah polong, dan hasil biji per tanaman (Dutta et al., 2021). Nilai heritabilitas tinggi menandakan bahwa peran lingkungan terhadap ekspresi karakter tersebut relatif kecil. Oleh karena itu, pemilihan berdasarkan performa fenotipik lebih efektif diterapkan pada karakter dengan heritabilitas tinggi.

Variabilitas genetik juga berperan dalam mengidentifikasi genotipe dengan kemampuan adaptasi baik pada kondisi lahan suboptimal. Penelitian menunjukkan bahwa beberapa aksesori kedelai memiliki kemampuan mempertahankan produksi di bawah stres cekaman air berkat keberadaan alel gen tertentu yang mengendalikan respon morfologi akar (Thakur & Kumari, 2023). Hal ini membuktikan bahwa evaluasi variabilitas genetik tidak hanya berfokus pada karakter hasil, tetapi juga karakter adaptif. Karakter adaptif tersebut sangat penting untuk menghadapi perubahan iklim.

Dalam konteks pemuliaan modern, nilai variabilitas genetik sering digunakan sebagai dasar untuk menentukan strategi pemuliaan yang relevan. Karakter dengan variabilitas luas lebih cocok untuk metode seleksi langsung, sedangkan karakter dengan variabilitas sempit lebih sesuai diperbaiki melalui persilangan berulang (Kusuma et al., 2017). Strategi yang tepat akan meningkatkan efektivitas pemuliaan serta mempercepat pelepasan varietas baru. Dengan demikian, analisis variabilitas genetik menjadi fondasi perumusan strategi pemuliaan kedelai yang efisien.

Selain itu, keberagaman genetik sangat penting dalam keberlanjutan produksi kedelai. Populasi dengan keragaman genetik tinggi lebih tahan terhadap penyakit dan perubahan lingkungan. Studi terbaru menegaskan bahwa aksesori yang memiliki keragaman genetik lebih luas akan lebih mudah beradaptasi dengan kondisi agroekologi yang berbeda, termasuk perubahan suhu dan pola curah hujan (Dutta et al., 2021). Oleh karena itu, menjaga heterogenitas genetik merupakan langkah strategis untuk menjaga ketahanan pangan jangka panjang.

Secara keseluruhan, analisis variabilitas genetik tidak hanya memberikan gambaran mengenai tingkat keragaman antargenotipe, tetapi juga menentukan arah seleksi yang lebih presisi dan efektif. Dengan memahami nilai heritabilitas, genetic advance, dan varians genetik, pemulia dapat menetapkan karakter-karakter target yang mampu memberikan kemajuan genetik yang signifikan (Uikey et al., 2021). Oleh karena itu, variabilitas genetik memainkan peran sentral

### 3.3. Korelasi Antarsifat Agronomi

Analisis korelasi antarsifat agronomi bertujuan memahami hubungan antar karakter serta kontribusinya terhadap hasil kedelai. Hasil penelitian pada berbagai aksesori menunjukkan bahwa hasil per tanaman berkorelasi positif dengan jumlah cabang, jumlah polong, jumlah biji per tanaman, dan bobot 100 biji (Plant Gene and Trait, tahun). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah cabang dan polong dapat meningkatkan total biji yang

dihasilkan. Dengan demikian, karakter-karakter tersebut memiliki nilai strategis dalam seleksi varietas unggul berdaya hasil tinggi.

Jumlah polong per tanaman merupakan salah satu penentu utama hasil, karena polong berfungsi sebagai wadah tempat terbentuknya biji. Penelitian mengenai karakter polong menunjukkan bahwa variabilitas PCV dan GCV pada karakter polong cukup tinggi dan memberikan kontribusi langsung terhadap hasil (Uikey et al., 2021). Genotipe dengan jumlah polong banyak dan proporsi biji per polong tinggi memiliki peluang lebih besar menghasilkan produktivitas tinggi. Oleh karena itu, karakter polong sangat relevan sebagai kriteria seleksi bagi pemulia.

Bobot 100 biji juga sering berperan penting dalam menentukan hasil total karena biji yang lebih besar berdampak langsung pada peningkatan bobot panen. Analisis korelasi dan analisis lintasan menunjukkan bahwa bobot 100 biji dapat memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap hasil, meskipun pengaruhnya dapat lebih kecil dibanding jumlah polong atau jumlah biji per tanaman (Plant Gene and Trait, tahun). Kombinasi bobot biji tinggi dan jumlah polong tinggi biasanya menghasilkan performa agronomi terbaik.

Perbedaan antara korelasi genotipik dan fenotipik penting untuk diperhatikan dalam interpretasi data. Korelasi fenotipik sering dipengaruhi oleh faktor lingkungan, sedangkan korelasi genotipik mencerminkan hubungan genetik yang lebih stabil. Dalam banyak studi, korelasi genotipik antar karakter hasil lebih tinggi dibanding korelasi fenotipiknya, sehingga pemulia lebih dianjurkan memilih berdasarkan korelasi genetik untuk memperoleh hasil yang konsisten (S. & Fakrudin, 2020). Dengan mengoptimalkan karakter yang berkorelasi kuat terhadap hasil, proses seleksi varietas kedelai unggul dapat menjadi lebih efisien dan tepat sasaran.

dalam menghasilkan varietas kedelai unggul yang produktif, adaptif, dan berkelanjutan.

### 3.4 Pengelompokan Genotipe Berdasarkan Analisis Klaster

Analisis klaster merupakan metode statistik yang sangat efektif untuk mengidentifikasi pola divergensi genetik dan fenotipik pada genotipe kedelai, sehingga memungkinkan pemulia memahami hubungan kekerabatan dan tingkat perbedaan antar aksesori. Dalam penelitian *Genetic Diversity and Population Structure Analysis of Soybean Genotypes Using Agro Morphological Traits and SNP Markers* yang mengevaluasi 35 genotipe kedelai, analisis klaster berdasarkan karakter agro-morfologis mengelompokkan seluruh genotipe ke dalam empat klaster utama (Cluster I–IV) (2024). Struktur pengelompokan ini menunjukkan bahwa terdapat keragaman sifat yang substansial, seperti tinggi tanaman, bobot 100 biji, jumlah polong, waktu berbunga, serta hasil biji, yang mencerminkan potensi besar untuk digunakan dalam program seleksi dan perbaikan varietas.

Pengelompokan tersebut juga membantu menilai kedekatan antar genotipe dengan melihat pola kesamaan morfologi dan performa agronominya. Misalnya, Cluster I dihuni genotipe yang menunjukkan karakter bobot 100 biji tinggi, tinggi tanaman yang relatif lebih tinggi, serta hasil biji yang baik; sedangkan cluster lainnya mungkin mencerminkan kombinasi sifat berbeda seperti umur genjah, percabangan banyak, atau toleransi terhadap tanaman roboh (2024). Ketika pemulia memahami pola-pola ini, keputusan dalam memilih tetua persilangan dapat dilakukan lebih strategis untuk menghasilkan kombinasi sifat yang diinginkan.

Selain berkaitan dengan strategi persilangan, hasil analisis klaster juga menggambarkan potensi adaptasi genotipe di lingkungan yang berbeda. Genotipe yang berada dalam satu klaster memiliki kemungkinan besar menunjukkan respons yang serupa terhadap faktor iklim, kesuburan tanah, atau musim tanam tertentu. Karena itu, identifikasi klaster sangat berperan dalam penentuan varietas unggul yang cocok diterapkan pada agro-ekosistem spesifik, sehingga peningkatan produktivitas dan stabilitas hasil menjadi lebih terarah.

Di sisi lain, data klaster mempermudah penyusunan strategi konservasi plasma nutfah berdasarkan perwakilan keragaman genetik. Dengan memilih genotipe inti dari setiap klaster, bank gen atau kebun koleksi dapat menyimpan sumber daya genetik kedelai secara lebih efektif. Pendekatan ini memastikan bahwa keragaman genetik tetap terjaga untuk tujuan masa depan, termasuk menghadapi tantangan perubahan iklim atau kebutuhan perakitan varietas baru.

Analisis klaster juga memberikan dasar kuat untuk memaksimalkan potensi heterosis dalam program pemuliaan. Genotipe dari klaster yang berbeda dapat digunakan sebagai tetua untuk meningkatkan peluang munculnya rekombinasi sifat unggul pada keturunannya. Misalnya, menyilangkan genotipe dengan bobot biji tinggi dari satu klaster dengan genotipe berumur genjah dari klaster lain berpotensi menghasilkan varietas dengan daya hasil tinggi sekaligus waktu panen lebih cepat, sebuah karakter penting dalam sistem pertanian intensif.

Selain itu, pendekatan klaster membantu pemulia menghindari persilangan antar genotipe yang terlalu mirip, yang tidak memberikan diversifikasi genetik signifikan. Dengan mengetahui jarak genetik dan karakter dominan di tiap klaster, proses seleksi tetua dapat dilakukan dengan lebih efisien. Hal ini tidak hanya mempercepat perbaikan varietas, tetapi juga memastikan pemuliaan berlangsung dengan dasar ilmiah yang kuat dan berkelanjutan.

Dalam konteks pengembangan varietas adaptif, klaster yang menunjukkan stabilitas karakter dan konsistensi performa pada beragam kondisi lingkungan sangat penting untuk dijadikan prioritas distribusi benih unggul ke petani. Genotipe-genotipe dalam klaster tersebut dapat memberikan hasil yang lebih reliabel meskipun lingkungan produksi berfluktuasi, sehingga mendukung ketahanan pangan, keberlanjutan agrikultur, dan peningkatan kesejahteraan petani di tingkat lokal.

Dengan demikian, analisis klaster bukan sekadar alat statistik, tetapi merupakan fondasi strategis dalam pemuliaan modern dan konservasi sumber daya genetik kedelai. Pemanfaatan informasi klaster memungkinkan pemulia memilih tetua dari kelompok yang paling berbeda untuk memaksimalkan kombinasi sifat unggul, sekaligus melestarikan keberagaman genetik. Pendekatan ini mendukung perbaikan varietas secara sistematis, efisien, dan berkelanjutan, serta memastikan bahwa keragaman genetik kedelai tetap terjaga untuk generasi mendatang.

### 3.5 Implikasi Hasil Variabilitas untuk Strategi Pertanian Berkelanjutan

Hasil variabilitas fenotipik dan genetik serta analisis korelasi dan klaster pada genotipe kedelai memiliki implikasi strategis bagi pertanian berkelanjutan. Pertama, genotipe yang menunjukkan adaptabilitas dan stabilitas across lingkungan serta hasil yang relatif tinggi dapat menjadi materi tanam unggul untuk petani ini mendukung produksi kedelai secara konsisten meskipun terjadi fluktuasi kondisi iklim atau lingkungan. Dengan demikian, pemanfaatan genotipe adaptif dapat meningkatkan ketahanan pangan lokal melalui produksi kedelai yang lebih andal.

Kedua, keragaman genetik yang teridentifikasi melalui klaster dan analisis variabilitas memberikan sumber plasma nutfah yang kaya. Keanekaragaman ini penting untuk menjaga fleksibilitas genetik, memungkinkan breeder dan petani merespon perubahan lingkungan, hama, penyakit, atau tuntutan pasar. Strategi konservasi plasma nutfah dan penggunaan genotipe berbeda secara sistematis menjadi bagian penting dari pertanian berkelanjutan, agar sumber genetik tidak tergerus homogenisasi varietas komersial.

Ketiga, hasil penelitian memungkinkan pengembangan varietas unggul lokal yang disesuaikan dengan agro-ekosistem spesifik misalnya varietas dengan waktu matang cepat, toleransi terhadap stres lingkungan, tinggi hasil, atau biji berat yang cocok untuk kondisi lokal petani kecil. Hal ini meningkatkan akses petani terhadap benih berkualitas dan adaptif, serta mendukung diversifikasi varietas, yang penting untuk keamanan pangan dan ketahanan ekonomi petani.

Keempat, dari perspektif jangka panjang, penggunaan genotipe beragam dan adaptif dalam budidaya kedelai serta pemuliaan varietas berkelanjutan dapat memperkuat ketahanan sistem pertanian terhadap tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan fluktuasi pasar. Diversifikasi genetik dan varietas membantu mengurangi risiko gagal panen secara massal, mendukung stabilitas produksi, dan pada akhirnya mendukung keberlanjutan agraria, ketahanan pangan, dan kesejahteraan petani.

Analisis keragaman genetik dan fenotipik pada populasi kedelai memberi gambaran bahwa terdapat akses atau galur yang memiliki kombinasi sifat adaptif dan stabilitas produksi di berbagai kondisi lingkungan. Hal ini memungkinkan rekomendasi galur sebagai varietas unggul lokal yaitu varietas yang tidak hanya produktif, tetapi juga adaptif terhadap fluktuasi lingkungan seperti suhu ekstrem, periode kemarau atau curah hujan tidak

menentu, dan variasi tanah. Berdasarkan bukti genetik bahwa sifat-sifat penting seperti bobot biji, hasil per tanaman, dan stabilitas genetik dapat diwariskan (Deviona et al., 2024), maka pemanfaatan galur adaptif ini bisa mendukung ketahanan pangan jangka panjang di wilayah dengan agro-klimat tropis seperti Indonesia.

Selanjutnya, keberadaan plasma nutfah kedelai — baik akses lokal maupun introduksi — yang menunjukkan keragaman genetik tinggi membuka peluang untuk konservasi genetik sebagai bagian dari strategi pertanian berkelanjutan. Sebagai contoh, analisis molekuler menggunakan marka SSR menunjukkan bahwa koleksi akses kedelai mengandung banyak alel polimorfik yang dapat menjaga keragaman genetik populasi (Safina et al., 2017). Konservasi dan pemanfaatan plasma nutfah ini penting agar populasi kedelai tidak terpuruk pada basis genetik sempit akibat homogenisasi varietas unggul komersial. Dengan demikian, sistem pemuliaan dan konservasi yang berimbang akan mendukung keberlanjutan produksi dan fleksibilitas agronomi dalam jangka panjang.

Ketiga, hasil variabilitas genetik dan adaptasi terhadap stres lingkungan menunjukkan bahwa pemuliaan modern kedelai perlu menggabungkan pendekatan genetik dan adaptif — bukan hanya fokus pada hasil tinggi di kondisi optimal. Penelitian terkini mengidentifikasi banyak lokus genetik yang terkait dengan toleransi terhadap cekaman air, suhu, dan kondisi lingkungan tak menentu (Xue et al., 2024; serta studi lanjutan pada keragaman gen wild soybean) (Zhang et al., 2024). Oleh karena itu, varietas yang dikembangkan seharusnya mempertimbangkan kestabilan genetik terhadap stres lingkungan agar hasilnya konsisten, mendukung produksi berkelanjutan, dan meningkatkan ketahanan pangan di tengah perubahan iklim.

Keempat, diversifikasi varietas melalui pemanfaatan galur berbeda dan plasma nutfah berkeragaman genetik tinggi dapat memperkecil risiko gagal panen massal akibat serangan hama, penyakit, atau perubahan cuaca ekstrem. Karena genotipe berbeda mungkin memiliki resistensi atau toleransi terhadap kondisi atau ancaman berbeda, diversifikasi varietas membantu menyebar risiko agronomi. Pendekatan ini mendukung keberlanjutan pertanian serta stabilitas pasokan kedelai — penting untuk ketahanan pangan nasional — dengan mengurangi ketergantungan pada sedikit varietas unggul komersial.

Kelima, pemilihan varietas berdasarkan karakter adaptif dan stabilitas hasil akan meningkatkan akses petani kecil terhadap benih berkualitas yang sesuai agro-ekosistem lokal mereka. Di banyak daerah, kondisi tanah dan iklim berbeda jauh dari lokasi penelitian atau pusat pemuliaan. Dengan mengutamakan varietas adaptif lokal ataupun galur hasil persilangan yang telah teruji stabil, program distribusi benih dapat lebih tepat sasaran. Hal ini akan memudahkan petani kecil untuk mendapatkan benih unggul yang benar-benar cocok, sekaligus meningkatkan produktivitas dan pendapatan mereka secara berkelanjutan.

Keenam, integrasi antara konservasi plasma nutfah dan pemuliaan varietas adaptif memungkinkan pembangunan sistem pertanian resilien — yakni sistem yang mampu merespon perubahan lingkungan, tekanan abiotik, dan perubahan pasar. Keragaman genetik menjadi dasar fleksibilitas adaptasi, sementara pemuliaan selektif memungkinkan meningkatkan hasil dan stabilitas. Kombinasi keduanya mendukung agrikultur berkelanjutan, dimana produksi tetap konsisten tanpa mengorbankan keragaman genetik dan kemampuan adaptasi jangka panjang.

Ketujuh, hasil variabilitas juga mendukung pendekatan “breeding untuk agro-ekosistem spesifik”. Artinya, varietas dikembangkan sesuai agro-ekologi lokal — misalnya varietas dengan umur genjah dan toleransi cekaman air untuk daerah musim kemarau panjang, atau varietas dengan umur panen panjang dan toleransi genangan untuk daerah rawan banjir. Studi menunjukkan bahwa adaptasi lokal sering melibatkan variasi gen pada gen maturity/flowering dan stres toleransi (Xue et al., 2024; juga hasil populasi wild soybean) (Wang et al., 2025). Dengan demikian, strategi pemuliaan yang memperhatikan agro-ekosistem spesifik dapat menghasilkan varietas yang efisien dan tahan terhadap kondisi ekstrem.

Kedelapan dan penting untuk jangka panjang variabilitas genetik dan fenotipik yang luas membuka peluang pengembangan program pemuliaan “klimat-tanggap” atau “climate-smart breeding”. Dengan menggabungkan data genetik, adaptasi lingkungan, dan hasil agronomi, pemulia dapat merancang varietas kedelai yang tidak hanya produktif, tetapi juga tangguh terhadap perubahan iklim, variasi cuaca, dan stres lingkungan. Pendekatan ini penting untuk menjamin ketahanan pangan, stabilitas produksi, dan kesejahteraan petani dalam menghadapi tantangan perubahan iklim global.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian mengenai variabilitas fenotipik dan genetik tanaman kedelai menunjukkan bahwa setiap genotipe memiliki perbedaan karakter agronomi yang signifikan, seperti tinggi tanaman, jumlah cabang, jumlah polong, serta ukuran biji. Keragaman tersebut mencerminkan potensi adaptasi tanaman terhadap lingkungan yang berbeda, sehingga memberikan peluang bagi peneliti untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe dengan performa terbaik pada kondisi agroekologi tertentu. Temuan ini juga menegaskan bahwa variabilitas fenotipik merupakan indikator awal yang penting dalam menentukan arah pemuliaan tanaman, khususnya dalam upaya meningkatkan produktivitas kedelai nasional. Dengan adanya variasi yang jelas antar genotipe, program pemuliaan dapat diarahkan untuk memilih karakter yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan hasil. Dari sisi genetik, nilai heritabilitas dan genetic advance yang diperoleh menunjukkan bahwa beberapa karakter seperti jumlah polong, bobot biji, dan hasil per tanaman memiliki komponen genetik yang kuat sehingga layak dijadikan prioritas seleksi. Analisis korelasi juga menegaskan adanya hubungan positif antara karakter agronomi tertentu, seperti jumlah polong dan bobot 100 biji terhadap hasil biji total, sehingga karakter-karakter tersebut dapat dijadikan indikator seleksi tidak langsung. Selain itu, analisis kluster membantu dalam pengelompokan genotipe ke dalam kelompok unggul, moderat, dan rendah berdasarkan kedekatan sifatnya, yang mempermudah penentuan tetua persilangan dalam program pemuliaan berkelanjutan. Pendekatan ini memastikan bahwa perakitan varietas kedelai tidak hanya fokus pada produktivitas, tetapi juga adaptabilitas. Secara keseluruhan, variabilitas fenotipik dan genetik tanaman kedelai tidak hanya penting secara ilmiah, tetapi juga memiliki implikasi strategis dalam pembangunan pertanian berkelanjutan. Keragaman genetik yang ditemukan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan varietas adaptif terhadap perubahan iklim, tahan terhadap tekanan lingkungan, dan mampu mempertahankan produktivitas jangka panjang. Integrasi hasil penelitian ini dalam pengembangan varietas unggul lokal diharapkan dapat meningkatkan ketahanan pangan, mengurangi risiko kegagalan panen, serta memperkuat sistem budidaya kedelai yang lebih resilien dan ramah lingkungan. Dengan demikian, pemahaman terhadap variabilitas kedelai menjadi fondasi penting menuju sistem pertanian yang produktif, stabil, dan berkelanjutan.

#### Referensi

1. Addae-Frimpooma, F., et al. (2025). *Genetic variability, heritability, and genetic gain for yield and related traits in soybean*. *Crop Journal*. <https://croj.com>
2. Berhanu, H., Tesso, B., & Lule, D. (2021). Correlation and path coefficient analysis for seed yield and yield-related traits in soybean (*Glycine max* L.). *Plant*. <https://doi.org/10.11648/j.plant.20210904.15>
3. Dutta, P., Goswami, P. K., & Borah, M. (2021). Assessment of genetic variability, heritability and genetic advance in soybean genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 12(4), 1461–1465. <https://ejplantbreeding.org>
4. Genetic variability and association analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) for yield and yield attributing traits. *Plant Gene and Trait*. GenBreed Publisher.
5. Jandong, E. A. (2020). Estimates of genetic variability, heritability and genetic advance for soybean genotypes. *African Journal of Biotechnology*. Academic Journals.
6. Kusuma, R. (2016). Keragaman fenotipe dan heritabilitas kedelai (*Glycine max*) generasi F6. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, Polinela.
7. Kusuma, R., Sa'diyah, N., & Nurmiaty, Y. (2017). Keragaman fenotipe dan heritabilitas kedelai (*Glycine max* [L.] Merrill) generasi F6 hasil persilangan Wilis × Mlg2521. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 16(2). <https://doi.org/10.25181/jppt.v16i2.88>
8. Kuswantoro, H., Zubaidah, S., & Sulisetijono. (n.d.). Genetic variability, heritability, and correlation of some agronomical characters of soybean varieties. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*. UNNES.
9. Kuswantoro, H., et al. (2020). Genetic variability, heritability and genotypic correlation of soybean agronomic characters. *Neliti*.
10. Nilahayati, N. (2022). Pertumbuhan dan hasil beberapa genotipe kedelai. *Agrium*. Universitas Malikussaleh.
11. Owusu, E. Y., et al. (2021). Genetic variability, heritability and correlation analysis for yield and yield-related traits in soybean. *Journal*. ScienceDirect.
12. Priyanto, S. B. (2023). Genetic variability, heritability, and path analysis for soybean agronomic traits. *Kultivasi Journal*. Universitas Padjadjaran.
13. S. N. R., & Fakrudin, B. (2020). Genetic variability, heritability and correlation studies in soybean (*Glycine max*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 90(4).
14. Singh, P. K., Shrestha, J., & Kushwaha, U. K. S. (2020). Multivariate analysis of soybean genotypes. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 3(1), 69–76.
15. Thakur, R., & Kumari, V. (2023). Assessment of genetic variability among soybean genotypes (*Glycine max* (L.) Merrill). *Himachal Journal of Agricultural Research*. <https://hjar.org>
16. Uickey, S., Sharma, S., Shrivastava, M. K., & Amrate, P. K. (2021). Genetic studies for pod traits in soybean. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 2418–2424. <https://phytojournal.com>
17. Zhang, X., et al. (2024). A natural allelic variant of GmSW17.1 confers high 100-seed weight in soybean. *The Crop Journal*, 12(6), 1709–1717. ScienceDirect.
18. *Genes* (2024). Genetic diversity and population structure analysis of soybean genotypes using agro-morphological traits and SNP markers. MDPI.