

BAB I PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu komoditas pangan strategis yang berperan penting dalam ketahanan pangan dan industri pakan nasional (Muñoz-Zavala et al., 2025; Jubily et al., 2025). Sebagai tanaman dengan adaptabilitas yang luas, jagung memiliki potensi besar untuk mendukung ketahanan pangan global (Sidahmed et al., 2025). Permintaan terhadap jagung terus meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor peternakan dan industri berbasis pati, sementara produktivitas nasional masih berfluktuasi dan belum mampu memenuhi kebutuhan domestik (Zolotnytska et al., 2025).

Di Indonesia, pada tahun 2024 produksi jagung meningkat mencapai 15,14 juta ton dibandingkan dengan pada tahun 2023 yang hanya mencapai 14,77 juta ton (BPS, 2025). Sementara permintaan protein unggas mencapai 1,62 juta ton per tahun yang berakibat pada kebutuhan jagung sebagai bahan pakan ternak yang dapat mencapai 11,27 juta ton (Azrai et al., 2025). Hal ini dapat dilihat dari volume impor yang mencapai 8,31% atau sekitar 1,23 juta ton dari total produksi (Saragih et al., 2024).

Penggunaan jagung pada masa depan masih akan didominasi oleh kebutuhan industri. Proyeksi penggunaan jagung sebagai bahan pakan industri dan peternak mandiri diperkirakan mencapai 33,8 juta ton, atau 74% dari total konsumsi jagung pada tahun 2045. Sementara itu, konsumsi langsung diproyeksikan hanya sebesar 1,17%, sedangkan alokasi benih menempati porsi terkecil yaitu sekitar 0,3%. Proyeksi ini akan menjadi tantangan dalam memenuhi kebutuhan jagung di masa yang akan datang (Salam et al., 2024). Oleh karena itu, upaya peningkatan produksi jagung menjadi solusi utama untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Pemilihan benih hibrida unggul menjadi faktor penentu dalam peningkatan produktivitas jagung, karena varietas ini memiliki respon yang jauh lebih besar terhadap input dibandingkan varietas komposit (Syahrudin et al., 2020). Namun, produksi benih hibrida masih menghadapi tantangan yang serius dari segi efisiensi, terutama pada tahap detasseling, yaitu pencabutan bunga jantan pada tanaman betina sebelum mekar yang memerlukan waktu dan tenaga kerja relatif besar. Oleh karena itu, untuk menjamin keberhasilan dan pengembangan jagung hibrida secara luas, diperlukan teknik pemuliaan yang efisien dan efektif dalam menghasilkan benih hibrida berkualitas tinggi yang dapat terjangkau oleh petani (Mirza et al., 2025).

Strategi pengembangan galur mandul jantan (*male sterile lines*) sebagai tetua betina menjadi sangat penting untuk menggantikan kebutuhan detasseling manual dan meningkatkan efisiensi produksi benih hibrida. Pemanfaatan mandul jantan dalam pemuliaan telah menunjukkan potensinya sebagai mekanisme pengendalian penyerbukan untuk mendukung produksi benih hibrida (Bohra et al., 2025; Moon et al., 2025). Sistem ini akan menguntungkan dari segi efisiensi waktu,

tenaga kerja, dan hemat biaya (Romero-Muñoz and Pérez-Jiménez, 2024). Selain itu, penggunaan gen mandul jantan juga dapat meningkatkan tingkat kemurnian genetik benih hibrida, sehingga menghasilkan jagung hibrida yang lebih stabil dan seragam (Vasupalli et al., 2025). Sementara metode manual sulit menjamin kemurnian 100% karena keragaman genetik antar plot perbenihan masih mungkin terjadi. Meskipun CMS tidak sepenuhnya menghilangkan keragaman, penerapannya secara signifikan memudahkan pengendalian dan mengurangi beban tenaga kerja. Dengan demikian, biaya produksi menjadi lebih rendah dan tingkat kegagalan hasil persilangan akibat kerusakan mekanis dapat diminimalisasi, sehingga produksi benih yang dihasilkan akan lebih tinggi (Tiwari et al., 2023; Zhou et al., 2025).

Kemandulan jantan pada tanaman diklasifikasikan menjadi dua kelompok berdasarkan mekanisme pewarisannya, yaitu *cytoplasmic male sterility* (CMS) dan *genic male sterility* (GMS). Faktanya, dari sekian banyak kemungkinan penyebab mandul jantan yang umum ditemui adalah CMS, yang terjadi melalui interaksi gen mitokondria bersama dengan gen nuklir. CMS sebagai suatu sifat bawaan yang diwariskan secara maternal, berperan aktif dalam evolusi spesies *gynodioecious* (Xuan et al., 2022), dan telah digunakan secara luas dalam program pemuliaan hibrida (Zhang et al., 2024). Sistem *Cytoplasmic male sterile* (CMS) merupakan metode yang banyak digunakan untuk menghasilkan galur mandul jantan (Bhattacharya et al., 2024). Dengan adanya penelitian yang sistematis dan terarah, diharapkan dapat diperoleh varietas jagung hibrida unggul yang mampu meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus memenuhi standar kualitas benih yang diperlukan oleh petani dan industri (Singh et al., 2025).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan galur mandul jantan berbasis sistem CMS sebagai tetua betina potensial serta mengevaluasi kombinasi hibrida yang dihasilkan dari persilangan dengan tetua pemulih fertilitas. Penelitian ini juga bertujuan mengidentifikasi karakter agronomis yang berkontribusi terhadap hasil melalui analisis korelasi, analisis jalur, dan indeks seleksi sehingga dapat mendukung efisiensi seleksi calon tetua hibrida unggul.

1.2 Perumusan Masalah

Produksi benih jagung hibrida di Indonesia masih menghadapi kendala utama pada efisiensi proses produksi, khususnya pada tahap detasseling, yaitu pencabutan bunga jantan dari tanaman betina sebelum mekar. Proses ini membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah besar, waktu yang panjang, serta ketelitian tinggi untuk menjaga kemurnian genetik tetua betina. Pada skala produksi komersial, kegiatan detasseling dapat menyerap hingga seperempat total biaya produksi benih dan sering kali menjadi sumber penurunan kemurnian benih akibat kesalahan teknis di lapangan. Kondisi tersebut menjadi hambatan serius dalam upaya peningkatan efisiensi dan daya saing industri benih jagung nasional.

Salah satu pendekatan genetik yang terbukti efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan sistem *Cytoplasmic Male Sterility* (CMS). Melalui sistem ini, tetua betina yang bersifat mandul jantan (*male-sterile line*) tidak

menghasilkan serbuk sari viabel sehingga proses detasseling dapat dieliminasi. Namun, penerapan CMS pada program pemuliaan jagung di Indonesia masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada introduksi galur mandul dari luar negeri tanpa pengembangan material genetik lokal yang adaptif terhadap lingkungan tropis. Selain itu, informasi mengenai stabilitas sterilitas jantan, kompatibilitas dengan tetua pemulih fertilitas (*restorer line*), dan pengaruhnya terhadap performa hibrida masih belum banyak dilaporkan

Kesenjangan pengetahuan (*research gap*) tersebut menunjukkan perlunya penelitian yang berfokus pada pengembangan galur mandul jantan lokal berbasis CMS yang memiliki tingkat sterilitas tinggi, stabilitas yang konsisten pada berbagai lingkungan, serta kompatibel dengan tetua pemulih untuk menghasilkan kombinasi hibrida berdaya hasil tinggi. Di samping itu, belum banyak kajian yang menjelaskan hubungan antara karakter agronomis utama dengan hasil melalui pendekatan analisis korelasi, analisis jalur, dan indeks seleksi pada sistem CMS, padahal informasi tersebut penting untuk meningkatkan efisiensi seleksi calon tetua unggul.

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan pengetahuan tersebut, maka permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah terdapat genotipe jagung yang berpotensi sebagai galur penginduksi mandul jantan?
2. Apakah terdapat satu atau lebih galur mandul jantan yang memberikan daya gabung baik dengan tetua galur-galur normal?
3. Apakah terdapat genotipe jagung hibrida hasil persilangan galur mandul jantan dengan galur normal yang memberikan produksi tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi dan menyeleksi galur mandul jantan berbasis CMS yang memiliki tingkat sterilitas dan stabilitas tinggi di berbagai kondisi lingkungan.
2. Mengevaluasi daya gabung galur mandul jantan dengan galur normal generasi awal, menengah, dan lanjut untuk produktivitas tinggi.
3. Menganalisis hubungan antar karakter agronomis dengan hasil biji menggunakan analisis korelasi, analisis jalur, dan indeks seleksi untuk menentukan peubah kunci dalam seleksi tetua unggul.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Diperoleh galur mandul jantan sebagai tetua betina hibrida.
2. Diperoleh genotipe jagung hibrida hasil silangan galur mandul jantan sebagai tetua betina dengan galur normal yang memberikan pertumbuhan dan produksi yang tinggi.
3. Proses produksi benih hibrida yang efisien dengan kemurnian genetik tinggi sehingga penggunaan hibrida meluas, produktivitas jagung petani meningkat yang berpengaruh terhadap produksi jagung nasional.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Mandul jantan merupakan fenomena kegagalan kepala sari atau serbuk sari berfungsi selama proses pembuahan. Kegagalan pembuahan ini tentunya berdampak pada tidak terbentuknya bakal biji. Mandul jantan memiliki organ reproduksi jantan, tetapi tidak berfungsi. Hal ini disebabkan karena adanya interaksi antara gen sitoplasma pada gen inti yang dikenal dengan *Cytoplasmic male sterile* (CMS). Ruang lingkup pemuliaan meliputi pembentukan keragaman genetik (sebagai populasi dasar/bahan dasar proses pemuliaan tanaman) dengan melakukan pengujian-pengujian individu. Terdapat tiga tahapan kegiatan pada penelitian ini, yaitu:

1. Tahap pertama, mengidentifikasi genotipe yang berpotensi sebagai galur penginduksi mandul jantan.
2. Tahap kedua, mengkarakterisasi plasmanutfah dan mengidentifikasi galur pemulih
3. Tahap ketiga, mengevaluasi produksi dan daya adaptasi jagung hibrida F1 hasil tetua mandul jantan.

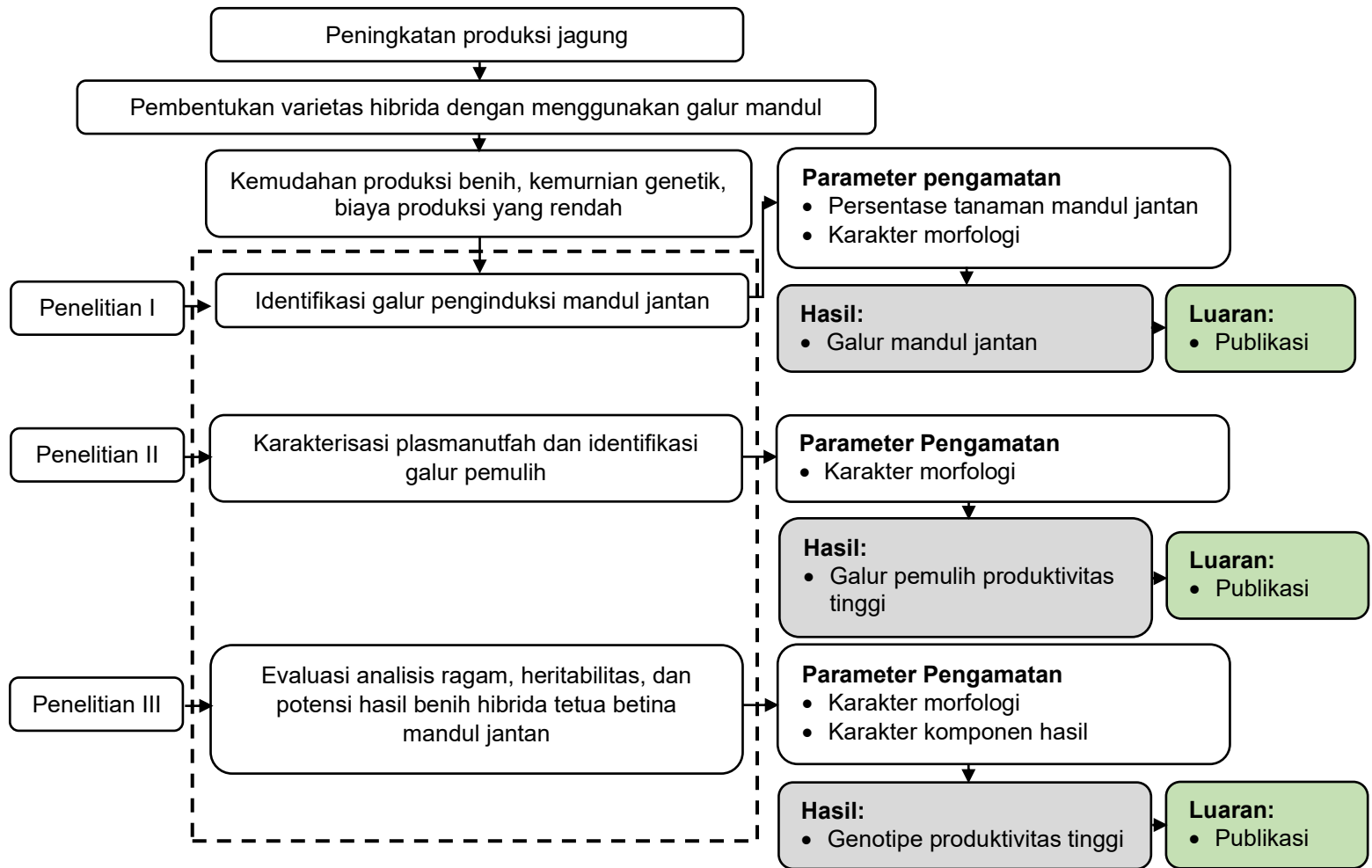
1.6 Kebaruan Penelitian

Penggunaan galur-galur mandul jantan sebagai tetua betina. Pemanfaatan plasmanutfah introduksi dari brasil, menyeleksi galur-galur mandul jantan, kemudian perakitan galur-galur mandul jantan yang dilanjutkan dengan perakitan varietas jagung hibrida dengan tetua betina mandul jantan untuk memudahkan kegiatan produksi benih yang bermutu tinggi yang selama ini hibrida tersebut belum ada yang dirilis di Indonesia. Tetua betina mandul jantan pada kegiatan produksi benih jagung hibrida, bukan hanya berdampak pada kemurnian benih yang dihasilkan, tapi juga pada efisiensi biaya produksi benih sehingga akan menjadi daya tarik generasi milenial untuk mengembangkan benih jagung hibrida.

1.7 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat satu atau lebih galur mandul jantan sebagai tetua betina hibrida.
2. Terdapat satu atau lebih galur mandul jantan sebagai tetua betina dengan daya gabung yang baik dengan galur-galur tetua normal.
3. Terdapat satu atau lebih genotipe jagung hibrida hasil silangan antar galur mandul jantan dengan galur normal yang memberikan produksi yang tinggi.



Gambar 1.1. Kerangka Konseptual

1.8 Daftar Pustaka

- Azrai, M., Farid, M., Nur, A., Efendi, R., Salengke, S., Musa, Y. et al., 2025. Stability and adaptability analyses to identify suitable high-yielding maize hybrids using PBSTAT-GE. *Open Agriculture* 10(1): 20250447. DOI: 10.1515/opag-2025-0447.
- Bhattacharya, J., Nitnavare, R.B., Bhatnagar-Mathur, P. and Reddy, P.S. 2024. Cytoplasmic male sterility-based hybrids: mechanistic insights. *Planta* 260: 100. DOI: 10.1007/s00425-024-04532-w.
- Bohra, A., Tiwari, A., Pareek, S., Joshi, R., Naik, S.J.S., Kumari, K. et al., 2025. Past and future of cytoplasmic male sterility and heterosis breeding in crop plants. *Plant Cell Rep.* 44 (33). DOI: 10.1007/s00299-024-03414-5.
- BPS, 2025. Luas panen dan produksi jagung di Indonesia 2024. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id> [Diakses pada tanggal 6 Januari 2026].
- Jubily, A.H., El-Hashash, E.F. and Salem, K.F.M., 2025. Breeding and Biotechnology Approaches for Genetic Enhancement in Maize (*Zea mays* L.). In: Salem, K.F.M., Al-Khayri, J.M. and Jain, S.M. (eds.) *Breeding and Biotechnology of Grass and Bast Fiber Crops*. Springer, Singapore.
- Mirza, I.A., Tirmizi, S.H.R. and Hafeez, M.U., 2025. Reconstructing environment: A technical inquiry into hybrid seeds and human Intervention in agriculture. *Annual methodological archive research review* 3 (10): 682-694. DOI: 10.63075/te7bf650.
- Moon, S., Lee, Y.S., Gutierrez-Marcos, J. and Jung KH., 2025. Advancements in hybrid rice production: Improvements in male sterility and synthetic apomixis for sustainable agriculture. *Plant Biotechnology Journal* 23 (6): 2330-2345. DOI: 10.61308/GKTY1924.
- Mpuñoz-Zavala, C., Solís-Martínez, O., Valencia-Luna, J.B., Sonder, K., Hernández-Anguiano, A.M., and Palacios-Rojas, N. 2025. Aflatoxins in Mexican maize systems: from genetic resources to agroecological resilience and co-occurrence with fumonisins. *Toxins* 17 (11), 531. DOI: 10.3390/toxins17110531
- Romero-Muñoz, M. and Pérez-Jiménez, M., 2024. Optimizing *Brassica oleracea* L. breeding through somatic hybridization using cytoplasmic male sterility (CMS) lines: From protoplast isolation to plantlet regeneration. *Plants* 13: 3247. DOI: 10.3390/plants13223247.
- Salam, M., Rukka, R.M., Samma, M.A.K., Tenriawaru, A.N., Rahmadanih, Muslim, A.I. et al., 2024. The causal-effect model of input factor allocation on maize production: Using binary logistic regression in search for ways to be more productive. *J. Agric. Food Res.* 16: 101094. doi: 10.1016/j.jafr.2024.101094.
- Saragih, D.Y.E., Natalia, H., Pradityo, P.S. and Astuti, M., (2024) *Pemanfaatan Jagung Lokal oleh Industri Pakan Tahun 2023*. Vol. 5. Jakarta: Direktorat Pakan Kementerian Pertanian.

- Setiawan, K. and Basri, M., 2017. An analysis of efficiency the production of commodities corn in Belu, East Nusa Tenggara, Indonesia. *IOSR-JESTFT* 11 (10): 64-69. DOI: 10.9790/2402-1110016469.
- Sidahmed, H., Vad, A. and Nagy, J., 2025. Advances in sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata*) research from 2010 to 2025: Genetics, agronomy, and sustainable production. *Agronomy* 15 (5): 1260. DOI: 10.3390/agronomy15051260.
- Singh, T.N., Saharia, D.D., Devi, E.L., Biswas, D., Chongtham, S.K., Bhupenchandra, I. et al., 2025. Seed production techniques in maize: Principles and practices. In: Lamichaney, A., Parihar, A.K., Bohra, A., Karmakar, P., Naik, S.J.S. (eds.) *Hybrid seed production for boosting crop yields: Applications, challenges and opportunities*. Springer, Singapore.
- Syahruddin, K., Azrai, M., Nur, A., Abid, M. and Wu, W.Z., 2020. A review of maize production and breeding in Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 484: 012040. Makassar, 23-25 September 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/484/1/012040.
- Tiwari, A., Tikoo, S.K., Angadi, S.P., Kadaru, S.B., Ajanahalli, S.R. and Vasudeva Rao, M.J., 2022. Seed Production Research. In: *Market-Driven Plant Breeding for Practicing Breeders*. Springer, Singapore.
- Vasupalli, N., Mogilicherla, K., Shaik, V., Rao, K.R.S.S., Bhat, S.R. and Lin, X., 2025. Advances in plant male sterility for hybrid seed production: an overview of conditional nuclear male sterile lines and biotechnology-based male sterile systems. *Front. Plant Sci.* 16:1540693. DOI: 10.3389/fpls.2025.154069.
- Xuan, L., Qi, G., Li, X., Yan, S., Cao, Y., Huang, C. et al., 2022. Comparison of mitochondrial genomes between a cytoplasmic male-sterile line and its restorer line for identifying candidate CMS genes in *Gossypium hirsutum*. *Int. J. Mol. Sci.* 23(16), 9198. doi: 10.3390/ijms23169198.
- Zhang, X., Ding, Z., Lou, H., Han, R., Ma, C. And Yang, S., 2024. A Systematic Review and Developmental Perspective on Origin of CMS Genes in Crops. *Int. J. Mol. Sci.* 25 (15): 8372. DOI: 10.3390/ijms25158372.
- Zhou, R., Gai, R., Liao, W., Wu, Q., Cheng, J., Li, Y. et al., 2025. Optimization of grape artificial hybrid pollination technology process and the effect of different male parents on the fruit setting rate. *Front. Plant Sci.* 16:1660290. DOI: 10.3389/fpls.2025.1660290.
- Zolotnytska, Y., Kowalczyk, S., Sobiecki, R., Krupin, V., Krzyżanowski, J., Perkowska, A. et al., 2025. Drivers of Global Wheat and Corn Price Dynamics: Implications for Sustainable Food Systems. *Sustainability* 17 (19): 8581. DOI: 10.3390/su17198581

BAB II

IDENTIFIKASI GALUR PENGINDUKSI MANDUL JANTAN

2.1 Abstrak

Penggunaan benih berkualitas dan bersertifikat merupakan faktor utama dalam meningkatkan produktivitas jagung. Namun, ketersediaan benih hibrida berkualitas masih sangat terbatas yang sebagian besar disebabkan oleh tingginya biaya produksi, terutama dalam proses detasseling. Untuk mengatasi hal tersebut, pengembangan galur mandul jantan sebagai tetua betina menjadi solusi efektif dalam menghasilkan benih jagung hibrida yang tidak memerlukan proses detasseling dengan tetap menjaga kemurnian genetik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi galur penginduksi mandul jantan sebagai tetua betina pada jagung hibrida. Sebanyak 15 galur jagung hibrida dan 2 varietas jagung hibrida komersial (P36 dan Bisi-18) diuji menggunakan rancangan acak kelompok (RAK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur berbunga jantan, jumlah biji per baris, diameter tongkol, berat tongkol panen, rendemen, dan produktivitas berkorelasi signifikan dengan persentase mandul jantan. Galur JHD14 dan JHD15 terindikasi sebagai penginduksi mandul jantan dengan persentase mandul jantan masing-masing 100% dan 75.18%. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam program pemuliaan dalam mengembangkan genotipe jagung hibrida yang efisien dengan tingkat kemurnian genetik tinggi.

Kata kunci: genotipe; jagung; korelasi; mandul jantan; varian

2.2 Pendahuluan

Pemanfaatan varietas hibrida dalam pengembangan budidaya jagung terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas dan kualitas hasil (Hossain et al., 2023; Hochholdinger dan Yu, 2025). Varietas hibrida dihasilkan melalui persilangan antar galur inbrid yang berbeda secara genetik dengan keunggulan hasil panen yang melebihi 15% dibandingkan dengan galur inbrid (Moon et al., 2025). Namun demikian, masih banyak ditemukan petani yang menggunakan benih varietas komposit atau benih turunan generasi kedua (F₂) dari F₁ hibrida yang telah mereka tanam sendiri. Sementara keunggulan hibrida maksimal terbatas pada generasi F₁ untuk mempertahankan kinerja tanaman yang tinggi (Paril et al., 2024). Untuk mendorong pengembangan jagung hibrida nasional, diperlukan terobosan strategis dalam meningkatkan produktivitas per satuan luas (Awad-Allah et al., 2022).

Pengembangan varietas melalui pemuliaan tanaman dapat menjanjikan solusi yang berkelanjutan dan terjangkau untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Gedil et al., 2024). Pemuliaan hibrida muncul sebagai strategi penting untuk meningkatkan hasil panen (Abdullah et al., 2025). Pemuliaan tanaman yang lebih intensif melalui evaluasi, perbaikan, dan pemeliharaan galur-galur tetua hibrida merupakan salah satu upaya yang perlu dilakukan (Saxena et al., 2024).

Pengenalan galur mandul jantan telah menunjukkan potensi yang signifikan dalam upaya peningkatan produksi benih hibrida (Cendoya et al., 2025). Kemandulan jantan pada tanaman pangan merupakan dasar teknologi pada

produksi benih hibrida (Vasupalli et al., 2025). Pengembangan galur mandul jantan ini telah banyak dilaporkan oleh beberapa penelitian dalam pemuliaan tanaman (Cheng et al., 2023) pada tanaman kapas, (Xiong et al., 2024) pada tanaman jagung dan gandum, dan (Liang, 2025) pada tanaman sorgum.

Kemandulan jantan didefinisikan sebagai kegagalan serbuk sari dalam berkembang, akibat ketidakmampuan tanaman menghasilkan atau melepaskan serbuk sari fungsional. Individu dengan faktor kemandulan yang diwariskan dapat mengalami pemulihan kesuburan jantan sebagai akibat dari mutasi genetik (Tan et al., 2025). *Cytoplasmic male sterile* (CMS) merupakan salah satu sistem kemandulan jantan yang banyak digunakan dalam program pemuliaan (Cai et al., 2024).

Sistem *Cytoplasmic male sterile* (CMS) yang dikenal sebagai galur mandul jantan merupakan sifat sterilitas jantan yang berperan penting dalam produksi benih hibrida (Dhillon et al., 2024). Selain sebagai teknologi produksi benih, sistem CMS juga digunakan sebagai model dalam studi perkembangan gamet jantan, proses pembuahan, dan efek sitoplasma dalam pewarisan sifat (Bhattacharya et al., 2024). Berbagai penelitian pada jagung telah melaporkan efektivitas CMS dalam pembentukan galur mandul jantan (Ashraf et al., 2024; Xu et al., 2025).

Secara khusus, pemanfaatan galur CMS sebagai tetua betina dalam pembentukan varietas hibrida dapat mencegah terjadinya penyerbukan sendiri sehingga menghasilkan benih dengan kemurnian genetik tinggi (Xuan et al., 2022). Pemanfaatan tetua betina mandul jantan pada produksi benih jagung hibrida tidak hanya meningkatkan kemurnian benih, tetapi juga meningkatkan efisiensi produksi sehingga akan menjadi daya tarik generasi milenial untuk mengembangkan usaha perbenihan jagung hibrida. Penemuan galur CMS akan memungkinkan para peneliti mengembangkan lebih banyak benih untuk produksi benih hibrida yang menjadi kunci keberhasilan pemuliaan (Chikh-Rouhou et al., 2025).

Oleh karena itu, Identifikasi galur mandul jantan pada tanaman jagung merupakan suatu langkah krusial dalam memperoleh galur tetua mandul jantan yang menghasilkan varietas hibrida unggul baru dengan potensi hasil tinggi. Berdasarkan hal tersebut, mengidentifikasi galur penginduksi mandul jantan yang dapat dimanfaatkan sebagai tetua betina pada produksi jagung hibrida merupakan tujuan dari penelitian ini.

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Tempat dan waktu

Penelitian dilaksanakan di Instalasi Pengujian dan Penerapan Modernisasi Pertanian (IP2MP) Bajeng, Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian Tanaman Serealida di Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia. Pada ketinggian 90 m dpl, dengan titik koordinat 5°18'30"S - 119°30'22"E. Pola curah hujan termasuk dalam klasifikasi E2 menurut klasifikasi iklim Oldemen, dengan curah hujan bulanan berkisar antara 35 – 280 mm (BMKG, 2023). suhu rata-rata 31.9 °C, dan dengan tekstur tanah lempung. Penelitian dilaksanakan pada Maret 2023 sampai dengan Juni 2023.

2.3.2 Bahan dan alat

Materi genetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15 materi genetik hibrida (JHD1, JHD2, JHD3, JHD4, JHD5, JHD6, JHD7, JHD8, JHD9, JHD10, JHD11, JHD12, JHD13, JHD14, JHD15), dan 2 varietas jagung hibrida komersial (P-36 dan BISI-18) (Tabel 2.1). Bahan lainnya yang digunakan adalah furadan, fungisida Saromil 35SD (metalaksil), herbisida Calaris, air, kertas label, kantong sampel, pupuk anorganik ((Urea, dan NPK Phonska (15:15:15)).

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah traktor, cangkul, meteran, tugal, ajir, papan perlakuan, mesin pompa air, selang air, jangka sorong, mistar, kamera digital, papan pengalasan, timbangan, *grain moisture tester*, dan alat tulis menulis.

Tabel 2.1. Silsilah dari 17 persilangan hibrida yang dievaluasi

| Rank | Genotipe | |
|------|----------|-----------------------------------|
| | | Hibrida |
| 1 | JHD1 | BCY/G102612D |
| 2 | JHD2 | GLT226/G1102612D |
| 3 | JHD3 | GLT226/ERC24 |
| 4 | JHD4 | P2/G102612D |
| 5 | JHD5 | MSM53/BCY |
| 6 | JHD6 | MSM53/P2 |
| 7 | JHD7 | MSM53/ERC24 |
| 8 | JHD8 | P2/BCY |
| 9 | JHD9 | P2/ERC24 |
| 10 | JHD10 | ERC24/G102612D |
| 11 | JHD11 | MSM53/G102612D |
| 12 | JHD12 | GLT226/BCY |
| 13 | JHD13 | ERC24/BCY |
| 14 | JHD14 | GLT226/MSM 53 |
| 15 | JHD15 | GLT226/P2 |
| | | Varietas jagung hibrida komersial |
| 16 | P-36 | YEP/1T4J |
| 17 | BISI-18 | FS46/FS17 |

2.3.3 Rancangan penelitian

Penelitian ini dirancang dengan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) yang terdiri atas 17 genotipe (15 hibrida, dan 2 varietas komersial). Setiap genotipe diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 51 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan ditanam 2 baris pada petak berukuran 1.5 m x 5 m dengan jarak tanam 75 cm x 20 cm dan jarak antar bedengan 1 m.

2.3.4 Pelaksanaan penelitian

2.3.4.1 Pengolahan tanah dan penanaman

Pengolahan tanah menggunakan traktor, kemudian dibuat plot berukuran 1.5 m x 5 m dan lubang tanam dengan jarak 75 cm x 20 cm. Benih ditanam 2 biji per lubang.

Plot yang telah ditanami benih kemudian diberikan papan perlakuan menggunakan papan perlakuan berupa bambu dan kertas. Saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam (hst), dilakukan penjarangan menjadi 1 tanaman per rumpun.

2.3.4.2 Pemupukan

Pemupukan dilakukan dua kali, yaitu: pemupukan pertama dilakukan pada umur 7-10 hari setelah tanam (HST) dengan menggunakan pupuk NPK Phonska (15:15:15) dengan dosis 350 kg/ha⁻¹ dan pupuk urea dosis 150 kg/ha⁻¹. Pemupukan kedua dilakukan pada saat tanaman berumur 35-40 hari setelah tanam (HST) dengan menggunakan pupuk urea dengan dosis 200 kg/ha⁻¹.

2.3.4.3 Pengairan

Pengairan dilakukan dengan menggunakan mesin pompa air dan selang air yang dilakukan dengan cara digenangi hingga setinggi bedengan, kemudian air dibiarkan meresap dengan sendirinya. Pengairan dilakukan dengan interval 10 hari sekali sampai tanaman siap panen dengan memperhatikan kondisi cuaca.

2.3.4.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman yang dilakukan meliputi penyulaman, penyiangan, dan pembumbunan. Penyulaman dilakukan dengan mengganti tanaman yang mati dengan sulaman yang sama varietas dan umurnya maksimal pada saat tanaman berumur 7 HST. Sedangkan penyiangan dilakukan sebanyak dua kali yaitu dengan menyemprot gulma yang berada di sekitar tanaman menggunakan herbisida Calaris dengan konsentrasi 60 cc dalam satu tangki mist blower pada saat tanaman berumur 7 HST. Pembumbunan dilakukan dengan meninggikan guludan dan penggemburan tanah untuk menciptakan aerasi tanah yang lebih baik. Pembumbunan dilakukan setelah pemupukan kedua.

2.3.4.5 Panen dan pasca panen

Panen dilakukan apabila telah memasuki umur fisiologis (masak fisiologis) ±100 HST yang ditandai dengan kelobot berwarna kuning, biji mengeras, dan ditandai munculnya blacklayer/coklat kehitaman pada titik tumbuh. Panen dilakukan dengan cara memutar tongkol dengan kelobotnya atau dapat juga dilakukan dengan cara mematahkan tangkai buah jagung.

2.3.5 Parameter pengamatan

Parameter yang diamati adalah karakter agronomis, hasil dan komponen hasil. Teknik pengamatan mengacu pada petunjuk teknis pengamatan uji adaptasi jagung oleh CIMMYT (1994) sebagai berikut:

1. Pewarnaan antosianin, pengamatan dilakukan dengan mengamati tingkat warna antosianin dan dikategorikan menjadi beberapa tingkatan (sangat lemah, lemah, sedang, kuat, dan sangat kuat).

2. Bentuk daun, pengamatan dilakukan dengan mengamati dan mengkategorikan bentuk daun menjadi runcing, runcing agak bulat, bulat, bulat agak tumpul, dan tumpul.
3. Bentuk tongkol, pengamatan dilakukan dengan mengamati dan mengkategorikan bentuk tongkol menjadi kerucut, silindris mengerucut, dan silindris.
4. Tipe biji, pengamatan dilakukan dengan mengamati dan mengkategorikan bentuk biji menjadi mutiara, seperti mutiara, antara mutiara dan gigi, seperti gigi, dan gigi.
5. Warna biji, pengamatan dilakukan dengan mengamati dan mengkategorikan warna biji menjadi kuning, orange-kuning, orange, orange-merah, dan kuning-orange.
6. Tinggi tanaman (cm), pengamatan dilakukan setelah stadia akhir pembungaan dengan cara mengukur tinggi tanaman dari permukaan tanah sampai dengan pangkal terakhir bunga jantan.
7. Tinggi letak tongkol (cm), Pengukuran dilakukan dari permukaan tanah sampai dengan pangkal tongkol yang pertumbuhannya sempurna (umumnya pada tongkol bagian atas pada jagung prolifrik).
8. Diameter batang (cm), diukur pada ruas buku pertama dari atas permukaan tanah menggunakan jangka sorong pada saat tanaman berumur 75 HST.
9. Umur berbunga betina (HST), diamati saat 50% dari populasi tanaman tiap bedengan telah keluar rambut pada tongkol dengan panjang 2 cm.
10. Umur berbunga jantan (HST), diamati saat 50% dari populasi tanaman tiap bedengan telah memproduksi serbuk sari dan siap menyerbuki bunga betina.
11. Panjang tongkol (cm), diukur dari bagian pangkal sampai bagian ujung tongkol yang telah dikupas kelobotnya. Dilakukan dengan menggunakan mistar.
12. Diameter tongkol (cm), diukur pada bagian tengah tongkol yang telah dikupas kelobotnya. Dilakukan dengan menggunakan jangka sorong.
13. Jumlah baris biji.tongkol⁻¹ (baris), dihitung berdasarkan biji yang terbentuk membentuk baris dalam tongkol.
14. Jumlah biji.baris⁻¹ (biji), dihitung berdasarkan biji yang terbentuk di setiap baris dalam tongkol.
15. Bobot Tongkol panen (g), tongkol yang dipanen adalah seluruh tongkol pada dua baris tengah per petak. Klobot tongkol dibuka kemudian ditimbang beratnya per petak. Data ini akan digunakan untuk menghitung hasil per petak.
16. Berat 10 tongkol (g), tongkol kering yang dipanen, kelobotnya dikupas kemudian ditimbang.
17. Bobot 10 janggal (g), tongkol yang dipanen dan telah dipipil kemudian ditimbang beratnya per petak.
18. Kadar air biji (%), Setelah ditimbang bobot kupasan tongkol, diambil 5 tongkol sampel per petak kemudian setiap tongkol dipipil bijinya \pm 3-5 baris. Biji hasil pipilan dicampur kemudian diukur kadar airnya dengan menggunakan (*Digital Seed Moisture Tester*).

19. Bobot 1.000 biji (g), pada kadar air 15 % pengukuran ini tidak harus menunggu kadar air 15%. Biji yang dipipil sejumlah ± 1000 butir dapat langsung ditimbang dan diukur kadar air biji kemudian dikonversi pada kadar air 15% dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Bobot 1.000 Biji} = \frac{(100 - KA)}{(100 - 15)} \times \text{bobot 1.000 biji.}$$





20. Rendemen biji (%), diukur dengan menimbang 10 tongkol kupasan basah yang diambil dari tongkol panen secara acak kemudian dipipil. Janggal tongkol ditimbang kembali sehingga rendemen dapat diketahui dengan rumus:

$$\frac{\text{Bobot 10 tongkol kupasan basah} - \text{Bobot Janggal}}{\text{Bobot 10 tongkol kupasan basah}}$$

21. Produktivitas (t/ha), dilakukan dengan cara mengkonversi hasil panen tongkol kupasan basah pada dua baris tengah tanaman per nomor (kg) dengan menggunakan rumus.

$$\text{Hasil t/ha} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{luas panen m}^2} \times \frac{(100 - KA)}{(100 - 15)} \times \text{bobot tongkol panen} \times \text{rendemen biji}$$

22. Persentase tanaman mandul (%), diukur dengan menghitung jumlah tanaman mandul dan tanaman subur dalam setiap populasi genotipe.
23. Identifikasi mandul jantan dengan metode pewarnaan serbuk sari menggunakan iodine kalium iodida (I_2KI). Serbuk sari dihaluskan, kemudian ditetesi dengan 1-2 tetes larutan I_2KI . Sterilitas serbuk sari diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 10×10 .

| Category | Appearance | Classification |
|-------------------------------------|---|----------------|
| Unstained withered sterile (UWS) |  | Sterile |
| Unstained spherical sterile (USS) |  | Sterile |
| Stained round (light) sterile (SRS) |  | Sterile |
| Stained round fertile (SRF) |  | Fertile |

Gambar 2.1. Klasifikasi polen yang dinyatakan steril atau fertil berdasarkan bentuk, ukuran dan pewarnaan (Virmani et al., 1997)

2.3.6 Analisis data

Data yang diamati kemudian dianalisis melalui beberapa tahapan analisis. Pertama, uji normalitas data dianalisis terlebih dahulu dengan menggunakan uji Shapiro-Walk untuk menentukan apakah data berdistribusi normal. Jika normalitas ditolak, maka analisis dilanjutkan dengan menggunakan non-parametrik. Selanjutnya, analisis ragam dilakukan dengan dua metode analisis yang berbeda, sesuai dengan hasil uji normalitas. Untuk data yang terdistribusi normal menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA). Sedangkan untuk data yang tidak berdistribusi normal, dilakukan pengujian hipotesis menggunakan *Friedman test* dengan standar error 5%.

Kemudian dilakukan analisis korelasi bivariat dengan metode spearman yang lebih sensitif terhadap penyimpangan dari distribusi normal untuk mengetahui hubungan antar karakter yang signifikan. Jika ditemukan korelasi yang signifikan antar karakter, analisis dilanjutkan dengan analisis diskriminan untuk mengelompokkan dan memposisikan berbagai karakter, yang selanjutnya digunakan untuk pemilihan genotipe yang berpotensi sebagai penginduksi tanaman mandul. Tahap akhir analisis dilakukan dengan uji lanjutan Tukey pada taraf 5% untuk membandingkan rata-rata antar kelompok. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas SPSS versi 26.0 untuk analisis normalitas, uji Friedman, dan analisis diskriminan; serta STAR-R versi 2.0.1 untuk ANOVA, korelasi Spearman, dan uji Tukey (IRRI, 2014).

2.4 Hasil dan Pembahasan

2.4.1 Hasil

2.4.1.1 Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah data yang diamati berdistribusi normal atau tidak. Hasil statistik Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa hampir semua karakter memiliki distribusi data yang relatif normal, kecuali karakter pada rendemen dan presentase tanaman mandul (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Hasil uji Shapiro-Wilk untuk normalitas karakter yang diamati

| Karakter | Shapiro-Wilk | | Mean | Median |
|---------------------------|--------------|-------|--------|--------|
| | W | P>W | | |
| Tinggi tanaman | 0.95** | 12.06 | 213.02 | 209.80 |
| Tinggi letak tongkol | 0.96** | 9.62 | 109.21 | 107.13 |
| Diameter batang | 0.99** | 0.84 | 21.25 | 21.29 |
| Umur berbunga betina | 0.94** | 1.34 | 56.78 | 56.67 |
| Umur berbunga jantan | 0.94** | 1.45 | 57.10 | 57.00 |
| Panjang tongkol | 0.97** | 1.14 | 20.25 | 20.14 |
| Diameter tongkol | 0.93** | 2.46 | 46.29 | 46.93 |
| Jumlah baris | 0.93** | 0.83 | 14.96 | 15.20 |
| Jumlah biji per baris | 0.91** | 2.81 | 34.22 | 33.43 |
| Bobot tongkol panen | 0.96** | 1.51 | 6.36 | 6.19 |
| Bobot 10 tongkol | 0.96** | 0.28 | 2.33 | 2.24 |
| Bobot 10 jaggel | 0.92** | 0.06 | 0.54 | 0.53 |
| Kadar air | 0.98** | 1.34 | 27.59 | 27.67 |
| Bobot 1000 biji | 0.97** | 30.75 | 428.08 | 437.27 |
| Rendemen | 0.89tn | 0.04 | 0.77 | 0.78 |
| Produktivitas | 0.95** | 1.64 | 5.98 | 5.75 |
| Persentase tanaman mandul | 0.55tn | 30.03 | 14.07 | 0.00 |

Keterangan: **: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.01$, tn: berbeda tidak nyata

2.4.1.2 Analisis of varians (ANOVA) dan Friedman test

Hasil *analysis of varians* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada semua karakteristik parameter yang diamati (Tabel 2.3). Hasil yang sama juga diperoleh pada uji peringkat friedman, berdasarkan nilai Chi-square menunjukkan

bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada semua karakter yang dipengaruhi secara nyata oleh genotipe (Table 2.4). Hal ini menandakan bahwa setiap genotipe memiliki pola pertumbuhan yang berbeda dan menunjukkan variasi yang nyata pada berbagai sifat yang diamati. Keragaman genotipe dengan pengaruh signifikan sebesar 1% (**) ditemukan hampir pada semua karakter yang dianalisis, kecuali pada karakter diameter tongkol yang menunjukkan pengaruh signifikan sebesar 5% (*). Nilai koefisien keragaman (KK) untuk karakter yang diamati berkisar antara 1.89% hingga 6.93%.

Tabel 2.3. *Analisis of variance* (ANOVA) karakter morfologi dalam identifikasi penginduksi mandul jantan

| Karakter | Varian genotipe | Varian galat | KK (%) |
|-----------------------|-----------------|--------------|--------|
| Tinggi tanaman | 436.34** | 29.46 | 2.55 |
| Tinggi letak tongkol | 277.76** | 16.30 | 3.70 |
| Diameter batang | 2.12** | 0.49 | 3.30 |
| Panjang tongkol | 3.88** | 0.58 | 3.75 |
| Diameter tongkol | 18.17* | 7.12 | 5.76 |
| Jumlah baris | 2.05** | 0.54 | 4.91 |
| Jumlah biji per baris | 23.83** | 3.62 | 5.56 |
| Panjang malai | 20.19** | 0.60 | 1.93 |
| Umur berbunga betina | 5.41** | 1.15 | 1.89 |
| Umur berbunga jantan | 580.87** | 1.19 | 2.03 |
| Bobot tongkol panen | 6.82** | 0.12 | 5.36 |
| Bobot 10 tongkol | 0.23** | 0.03 | 7.20 |
| Bobot 10 janggal | 0.01** | 0.00 | 4.60 |
| Kadar air | 5.40** | 0.81 | 3.27 |
| Bobot 1000 biji | 28.37** | 4.21 | 4.79 |
| Produktivitas | 8.08** | 0.17 | 6.93 |

Keterangan: **: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.01$, *: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.05$, KK: koefisien keragaman

Tabel 2.4. Fridman test karakter morfologi dalam identifikasi penginduksi mandul jantan

| Karakter | Peringkat rata-rata | Standar deviasi | Chi-Square |
|-------------------|---------------------|-----------------|------------|
| Rendemen | 1.76 | 0.04 | 14.29** |
| Persentase mandul | 1.24 | 29.43 | |

Keterangan: **: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.01$

2.4.1.3 Analisis korelasi spearman

Hasil analisis korelasi spearman menunjukkan bahwa umur berbunga jantan (UBJ), jumlah biji per baris (JBB), diameter tongkol (DT), bobot tongkol panen (BTPn), rendemen (Ren) dan produktivitas (P) memiliki korelasi yang signifikan dengan persentase mandul (PM), hal ini menjelaskan bahwa karakter tersebut memiliki hubungan yang tinggi dengan persentase mandul dengan nilai masing-masing 0.57, -0.63, -0.50, -0.56, -0.65, dan -0.62 (Tabel 2.5).

Tabel 2.5. Koefisien korelasi spearman antar karakter dalam identifikasi penginduksi mandul jantan

| | TT | TLT | DB | UBB | UBJ | PT | JB | JBB | DT | BTPn | B10T | B10J | KA | B1000 | Ren | P | PM |
|-------|--------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|-------|---------|---------|---------|------|
| TT | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TLT | 0.67** | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DB | 0.47 | 0.24 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| UBB | 0.19 | 0.37 | 0.31 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| UBJ | -0.06 | 0.35 | -0.19 | 0.42 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| PT | 0.79** | 0.58* | 0.33 | 0.20 | 0.25 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| JB | -0.44 | -0.43 | -0.42 | -0.37 | -0.30 | -0.58* | 1.00 | | | | | | | | | | |
| JBB | 0.47 | 0.22 | 0.42 | 0.34 | -0.34 | 0.22 | -0.14 | 1.00 | | | | | | | | | |
| DT | -0.38 | -0.17 | -0.15 | 0.12 | -0.39 | -0.63** | 0.52* | 0.11 | 1.00 | | | | | | | | |
| BTPn | 0.17 | -0.22 | 0.03 | -0.04 | -0.69** | -0.13 | 0.43 | 0.41 | 0.52* | 1.00 | | | | | | | |
| B10T | 0.22 | -0.09 | 0.28 | 0.06 | -0.53* | -0.09 | 0.33 | 0.51* | 0.49* | 0.85** | 1.00 | | | | | | |
| B10J | 0.23 | 0.43 | 0.14 | 0.12 | 0.36 | 0.26 | 0.05 | -0.17 | 0.14 | 0.04 | 0.23 | 1.00 | | | | | |
| KA | 0.22 | 0.27 | 0.04 | 0.74** | 0.56* | 0.22 | -0.10 | 0.06 | -0.01 | 0.01 | 0.12 | 0.40 | 1.00 | | | | |
| B1000 | 0.37 | 0.58* | 0.03 | 0.26 | 0.66** | 0.59* | -0.50* | -0.31 | -0.49* | -0.61** | -0.47 | 0.24 | 0.39 | 1.00 | | | |
| Ren | 0.04 | -0.37 | 0.13 | 0.12 | -0.64** | -0.22 | 0.20 | 0.56* | 0.35 | 0.74** | 0.74** | -0.42 | -0.05 | -0.60* | 1.00 | | |
| P | 0.16 | -0.24 | 0.01 | -0.02 | -0.73** | -0.19 | 0.42 | 0.46 | 0.54* | 0.98** | 0.81** | -0.08 | -0.05 | -0.66** | 0.80** | 1.00 | |
| PM | -0.09 | 0.16 | -0.40 | -0.45 | 0.57* | 0.16 | 0.00 | -0.72** | -0.50* | -0.56* | -0.46 | 0.28 | -0.11 | 0.48 | -0.65** | -0.62** | 1.00 |

Keterangan: **: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.01$, *: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.05$, TT: tinggi tanaman, TLT: tinggi letak tongkol, DB: diameter batang, UBB: umur berbunga betina, UBJ: umur berbunga jantan, PT: panjang tongkol, JB: jumlah baris, JBB: jumlah biji per baris, DT: diameter tongkol, BTPn: bobot tongkol panen, B10T: bobot 10 tongkol, B10J: bobot 10 janggol, KA: kadar air, B1000: bobot 1000 biji, Ren: rendemen, P: produktivity, PM: persentase mandul

2.4.1.4 Analisis Diskriminan

Hasil analisis diskriminan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada karakter umur berbunga jantan, jumlah biji per baris, diameter tongkol, bobot tongkol panen, rendemen, produktivitas, dan persentase mandul dengan nilai masing-masing 0.93, 0.98, 0.91, 0.77, 0.69, 0.68, dan 1.00 (Tabel 2.6). Hasil ini menunjukkan bahwa karakter umur berbunga jantan, jumlah biji per baris, diameter tongkol, bobot tongkol panen, rendemen, produktivitas, dan persentase mandul dapat digunakan sebagai karakter terbaik dalam menyeleksi genotipe mandul jantan.

Tabel 2.6. Analisis diskriminan dalam identifikasi penginduksi mandul jantan

| Characters | Mean | | Wilks Lambda | Tolerance |
|------------|---------|---------|--------------|-----------|
| | Fertile | Sterile | | |
| UBJ | 56.59 | 58.75 | 0.58** | 0.93 |
| JBB | 35.15 | 31.22 | 0.63** | 0.98 |
| DT | 47.09 | 43.72 | 0.64** | 0.91 |
| BTPn | 6.80 | 4.94 | 0.71** | 0.77 |
| Ren | 0.78 | 0.72 | 0.40** | 0.69 |
| P | 6.49 | 4.30 | 0.66** | 0.68 |
| PM | 0.00 | 59.82 | 0.24** | 1.00 |

Keterangan: **: berbeda sangat nyata pada taraf $\alpha=0.01$, UBJ: umur berbunga jantan, JBB: jumlah biji per baris, DT: diameter tongkol, BTPn: bobot tongkol panen, Ren: rendemen, P: produktivitas, PM: persentase mandul

2.4.1.5 Seleksi berdasarkan karakter terpilih

Tabel 2.7. Karakter terpilih berdasarkan interpretasi analisis diskriminan

| Genotipe | UBJ | JBB | DT | BTPn | Ren | P | PM |
|----------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| JHD1 | 57.00bc | 35.47abcd | 46.08ab | 5.48def | 0.78ab | 5.22de | 0.00e |
| JHD2 | 60.67a | 30.33d | 40.46b | 4.74fgh | 0.69d | 3.90fg | 25.45d |
| JHD3 | 57.67abc | 33.70bcd | 47.08ab | 5.96de | 0.80ab | 5.80cde | 0.00e |
| JHD4 | 57.67abc | 36.33abc | 47.09ab | 5.66def | 0.75bc | 4.97def | 0.00e |
| JHD5 | 56.67bc | 33.43bcd | 44.64ab | 3.81h | 0.76abc | 3.58g | 0.00e |
| JHD6 | 57.33abc | 39.77a | 45.85ab | 6.27d | 0.76abc | 5.75cde | 0.00e |
| JHD7 | 55.67c | 39.77a | 49.82a | 7.94b | 0.79ab | 7.91ab | 0.00e |
| JHD8 | 56.00bc | 32.73bcd | 48.44ab | 6.49cd | 0.78ab | 6.21cd | 0.00e |
| JHD9 | 55.33c | 32.83bcd | 47.45ab | 8.20ab | 0.81a | 8.09ab | 0.00e |
| JHD10 | 58.33abc | 33.27bcd | 47.93ab | 6.19d | 0.78ab | 5.72cde | 0.00e |
| JHD11 | 56.67bc | 33.80bcd | 45.29ab | 7.90b | 0.80ab | 7.65b | 0.00e |
| JHD12 | 57.33abc | 31.57cd | 46.93ab | 4.93efg | 0.76abc | 4.61efg | 38.63c |
| JHD13 | 55.67c | 32.70bcd | 49.40a | 7.42bc | 0.75bc | 6.88bc | 0.00e |
| JHD14 | 57.67abc | 31.83cd | 41.81ab | 4.30gh | 0.72cd | 3.86fg | 100.00a |
| JHD15 | 59.33ab | 31.13cd | 45.66ab | 5.80de | 0.69d | 4.82efg | 75.18b |
| P-36 | 55.00c | 37.73ab | 44.83ab | 9.05a | 0.81ab | 8.94a | 0.00e |
| BISI-18 | 56.67bc | 35.40abcd | 48.26ab | 7.97b | 0.81ab | 7.70ab | 0.00e |

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom (a,b,c,d,e,f,g) berarti berbeda tidak nyata pada uji Tukey $\alpha=0.05$, UBJ: umur berbunga jantan, JBB: jumlah biji per baris, DT: diameter tongkol, BTPn: bobot tongkol panen, Ren: rendemen, P: produktivitas, PM: persentase mandul

Berdasarkan hasil karakter terpilih, terdapat genotipe hibrida dari setiap galur yang menunjukkan indikasi sebagai penginduksi mandul jantan (Table 2.7). Genotipe JHD14 (GLT226/MSM53) dan JHD15 (GLT226/P2) menunjukkan indikasi paling kuat sebagai penginduksi mandul jantan dibandingkan dengan genotipe lainnya yang diamati, dengan persentase mandul jantan tertinggi dengan nilai masing-masing sebesar 100% dan 75.18%.

JHD14 dan JHD15 juga menunjukkan potensi hasil yang menjanjikan dengan memberikan nilai 57.67 dan 59.33 Hari pada karakter umur berbunga jantan, 31.83 dan 31.13 pada karakter jumlah baris per biji, 41.81mm dan 45.66mm pada karakter diameter tongkol, 4.30 kg dan 5.80kg pada karakter bobot tongkol panen, 0.72 dan 0.69 pada karakter rendemen, serta 3.86 kg dan 4.82 kg pada karakter produktivitas, dan dapat direkomendasikan sebagai calon galur penginduksi mandul jantan.

2.4.2 Pembahasan

Pendugaan karakter seleksi yang efektif sangat berkaitan erat dengan tujuan pemuliaan tanaman yaitu untuk meningkatkan produktivitas (Moore et al., 2023). Dalam penelitian ini, persentase mandul digunakan sebagai indikator utama mandul jantan, sehingga karakter tersebut menjadi fokus utama dalam proses seleksi. Hal ini menunjukkan bahwa kriteria seleksi potensial adalah karakter-karakter yang memiliki hubungan signifikan dengan persentase mandul. Analisis statistik Shapiro-Wilk terlebih dahulu digunakan untuk menentukan apakah data terdistribusi normal atau tidak yang merupakan salah satu langkah pertama dalam analisis data. Analisis statistik Shapiro-Wilk juga telah dilaporkan dalam beberapa penelitian sebelumnya, seperti oleh Habibzadeh (2024) tentang data terdistribusi normal atau tidak, dan Mazzoleni et al. (2025) tentang pengaruh *Aspergillus flavus* pada hasil biji tanaman jagung.

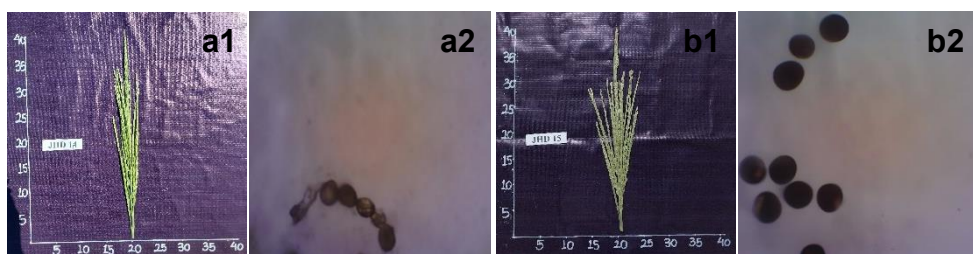
Perbedaan antara varian genotipe dan varian galat menunjukkan semakin jelas keragaman karakter tersebut (Gesteiro et al., 2023). Semakin kecil nilai koefisien keragaman (KK) mengindikasikan karakter yang lebih kuat dalam menggambarkan keragaman populasi (Azam et al., 2024). Penggunaan *analysis of variance* sebagai metode statistik utama telah banyak dilaporkan dalam penelitian, seperti dalam penelitian Amzeri et al. (2024) mengenai analisis kerapatan stomata, dan penggunaan uji peringkat Friedman digunakan dalam penelitian Wang et al. (2024) mengenai pendekatan hibrida untuk deteksi penyakit tanaman padi. Koefisien keragaman digunakan oleh pemulia tanaman sebagai wawasan tentang tingkat variabilitas yang ada dalam karakter yang dapat membantu dalam menentukan potensi perbaikan genetik (Yadav et al., 2023).

Nilai rata-rata dan standar deviasi untuk karakter persentase mandul menunjukkan variabilitas tinggi antar genotipe yang diuji (Tabel 2.5). Namun, evaluasi lebih lanjut diperlukan untuk memisahkan pengaruh faktor genetik dan lingkungan terhadap variabilitas tersebut (Fadhli et al., 2023). Oleh karena itu, evaluasi mendalam sangat penting untuk mengidentifikasi genotipe yang terindikasi sebagai penginduksi mandul jantan pada tanaman jagung.

Uji parametrik dan non-parametrik adalah dua kategori teknik statistik yang digunakan sesuai dengan distribusi data dalam populasi (Teli et al., 2023). Analisis Korelasi Spearman dapat digunakan untuk menghubungkan data parametrik maupun non-parametrik dan telah banyak digunakan untuk mengidentifikasi tren dalam data (Khalil 2023). Pendekatan ini sangat berguna dalam mengurangi jumlah karakter yang akan dievaluasi, sehingga mendukung pengembangan kriteria seleksi yang efektif (Dudáš, 2025). Penggunaan korelasi spearman juga telah dilaporkan dalam beberapa penelitian, seperti Li et al. (2023) pada identifikasi lokus baru jagung, dan Păcurar et al. (2025) pada evaluasi dampak pertanian presisi terhadap efisiensi agronomi jagung hibrida.

Korelasi spearman dapat memberikan gambaran hubungan antar karakter baik searah maupun berlawanan (Wang et al., 2023). Berbeda dengan korelasi Pearson, korelasi Spearman dapat mengevaluasi seberapa efektif fungsi monoton dapat menangkap hubungan antar dua variabel, sehingga dapat langsung digunakan untuk menangani model semiparametrik (Makuya et al., 2024). Oleh karena itu, karakter yang berkorelasi signifikan dengan persentase mandul diprioritaskan dalam seleksi untuk peningkatan persentase mandul pada jagung.

Analisis diskriminan dapat memanfaatkan distribusi arah data untuk membedakan dan mengelompokkan berbagai karakter tanaman. Metode ini mengidentifikasi hubungan antar peubah respon dengan peubah prediktor berdasarkan beberapa karakteristik terukur dari sampel yang diamati (Wu et al., 2023; Marais-Sicre et al., 2024). Peningkatan skor persentase mandul pada tanaman yang terindikasi mandul jantan memperkuat peran karakter ini sebagai marker seleksi penginduksi mandul jantan. Penggunaan analisis diskriminan juga telah dilaporkan pada beberapa penelitian, seperti Li and Wang (2023) pada berbagai metode penilaian kualitas tanah, dan Tian et al. (2024) pada toleransi tanaman jagung terhadap natrium bikarbonat. Dengan demikian, persentase mandul dianggap sebagai karakter terbaik dalam seleksi genotipe jagung yang berpotensi sebagai penginduksi mandul jantan.



Gambar 2.2. Penampilan malai genotipe mandul, a1: JHD14 secara visual, a2: JHD14 secara mikroskopis, b1: JHD15 secara visual, dan b2: JHD15 secara mikroskopis

Gambar di atas (Gambar 2.2) menunjukkan genotipe JHD14 dan JHD15 sebagai penginduksi mandul jantan dengan persentase mandul jantan masing-masing sebesar 100% dan 75.18%. Adanya organ reproduksi jantan pada tanaman

yang tidak berfungsi secara optimal merupakan manifestasi dari kemandulan jantan. Sifat kemandulan jantan ini memiliki peran penting dalam program pemuliaan tanaman, terutama dalam pengembangan varietas hibrida dengan tingkat kemurnian genetik yang tinggi. Fenomena kemandulan jantan ini biasanya disebabkan oleh mutasi pada mitokondria genom yang mengakibatkan produksi protein yang menyimpang, sehingga fungsi organ reproduksi jantan terganggu. Struktur morfologi malai dan pembungaan memiliki dampak besar terhadap hasil biji dan kemurnian benih yang dihasilkan (Ashraf et al., 2024). Oleh karena itu, pemanfaatan mandul jantan memungkinkan pemulia tanaman untuk menghasilkan hibrida dengan potensi komersial yang lebih tinggi dan penjaminan kemurnian genetik yang lebih baik (Bohra et al., 2025).

JHD14 dan JHD15 juga memberikan nilai 57.67 dan 59.33 Hari pada karakter umur berbunga jantan, 31.83 dan 31.13 pada karakter jumlah baris per biji, 41.81mm dan 45.66mm pada karakter diameter tongkol, 4.30 kg dan 5.80kg pada karakter bobot tongkol panen, 0.72 dan 0.69 pada karakter rendemen, serta 3.86 kg dan 4.82 kg pada karakter produktivitas. Berdasarkan parameter tersebut, kedua genotipe ini dapat direkomendasikan sebagai calon galur penginduksi mandul jantan. Selain faktor genetik, respon genotipe terhadap lingkungan juga berperan penting dalam menentukan keunggulan suatu hibrida (Yue et al., 2025).

2.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Identifikasi galur penginduksi mandul jantan pada jagung dapat dilakukan dengan menguji berbagai genotipe dalam kondisi lapang.
2. Karakter umur berbunga jantan, jumlah biji per baris, diameter tongkol, bobot tongkol panen, rendemen, produktivitas, dan persentase mandul dapat digunakan sebagai karakter terbaik dalam menyeleksi genotipe mandul jantan.
3. JHD14 yang dibentuk dari persilangan GLT226/MSM53 dan JHD15 yang dibentuk dari persilangan GLT226/P2 menunjukkan indikasi sebagai penginduksi mandul jantan dibandingkan dengan genotipe lainnya yang diamati, dengan memberikan nilai tertinggi yaitu 100% dan 75.18% pada karakter persentase mandul jantan.

2.6 Daftar Pustaka

- Abdullah, M., Sheraz, U., Ain, A.T., Nasir, B., Hammad, S. and Shokat, S., 2025. Exploring the strategies of male sterility for hybrid development in hexaploid wheat: Prevailing methods and potential approaches. *Rice* 18 (53). doi: 10.1186/s12284-025-00807-2.
- Amzeri, A., Suhartono, Fatimah, S., Pawana, G., and Sukma, K.P.W., 2024. Combining ability analysis in maize diallel hybrid populations under optimum and drought stress conditions. *SABRAO J. Breed. Genet.* 56 (2): 476-492. doi: 10.54910/sabrao2024.56.2.3.

- Ashraf, H., Ghouri, F., Baloch, F. S., Nadeem, M. A., Fu, X., & Shahid, M. Q. (2024). Hybrid rice production: a worldwide review of floral traits and breeding technology, with special emphasis on China. *Plants* 13 (5): 578. doi: 10.3390/plants13050578.
- Awad-Allah, M.M.A., Attia, K.A., Omar, A.A., Dessoky, E.S., Alzuaibr, F.M., Alshehri, M.A. et al., 2022. Development of new iso-cytoplasmic rice-restorer lines and new rice hybrids with superior grain yield and grain quality characteristics by utilizing restorers' fertility genes. *Genes* 13, 808. doi: 10.3390/genes13050808.
- Azam, M.G., Sarker, U., Hossain, M.A, Alam, A.K.M.M., Islam, M.R. Hossain, N. et al., 2024. Phenotypic diversity in qualitative and quantitative traits for selection of high yield potential field pea genotypes. *Sci Rep* 14: 18561. doi: 10.1038/s41598-024-69448-7.
- Download citation Bhattacharya, J., Nitnavare, R.B., Bhatnagar-Mathur, P. and Reddy, P.S, 2024. Cytoplasmic male sterility-based hybrids: mechanistic insights. *Planta* 260: 100. DOI: 10.1007/s00425-024-04532-w.
- BMKG [Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika]. 2022. Monthly Rainfall Data. Meteorology, Climatology and Geophysics Agency, Climatology Station Class I, Maros, South Sulawesi. [Indonesian].
- Bohra, A., Lamichaney, A., Parihar, A.K., Naik, S.J.S. and Karmakar, P., 2025. Hybrid seed production: application, challenges and opportunities. In: Lamichaney, A., Parihar, A.K., Bohra, A., Karmakar, P., Naik, S.J.S. (eds) hybrid seed production for boosting crop yields. Springer, Singapore. doi: 10.1007/978-981-96-0506-4_1.
- Cai, Z., Xu, C., Liu, X., Lv, Y., Ouyang, Y. and Jiang, H., 2024. Exploiting male sterility toward the development of hybrid rice. *Seed Biology* 3: e019 doi: 10.48130/seedbio-0024-0018
- Cendoya, M.G., Grondona, M. and Zambelli, A., 2025. Assessment of genetic diversity and linkage disequilibrium within sunflower heterotic groups for improved elite breeding. *J. Crop Sci. Biotechnol* 28: 563-576. doi: 10.1007/s12892-025-00300-8
- Cheng, C., Nie, H., Li, H., Adjibolosoo, D., Li, B., Jiang, K. et al., 2023. Identification of fertility restoration candidate genes from a restorer line R186 for *Gossypium harknessii* cytoplasmic male sterile cotton. *BMC Plant Biol.* 23(1), 1-15. doi: 10.1186/s12870-023-04185-z.
- Chikh-Rouhou, H., Singh, S., Priyadarsini, S. and Mallor, C., 2025. Onion male sterility: Genetics, genomics and breeding. *Horticulturae* 11 (5): 539. doi: 10.3390/horticulturae11050539.
- Dhillon, H.K., Sharma, M., Dhatt, A.S., Meena, O.P., Khosa, J., and Sidhu, M.K., 2024. Insights into cellular crosstalk regulating cytoplasmic male sterility and fertility restoration. *Mol Biol Rep* 51: 910. doi: 10.1007/s11033-024-09855-1.
- Dudáš, A., 2025. Non-parametric correlation structures and their respective embeddings in predictive analysis. *Discov Appl Sci* 7: 496. doi: 10.1007/s42452-025-07022-0
- Fadhli, N., Farid, M., Azrai, M., Nur, A., Efendi, R., Priyanto, S.B., Nasruddin, A.D. and Novianti, F., 2023. Morphological parameters, heritability, yield component correlation, and multivariate analysis to determine secondary characters in selecting hybrid maize. *Biodiversitas* 24, 3750-3757. doi: 10.13057/biodiv/d240712.

- Gedil, M., Mengesha, W., Ilesanmi, O. and Menkir, A., 2024. Advances in genetic enhancement of nutritional quality of tropical maize in west and central Africa. *Agriculture* 14 (4): 577. doi: 10.3390/agriculture14040577.
- Gesteiro, N., Butrón, A., Santiago, R., Gomez, L.D., López-Malvar, A., Álvarez-Iglesias, L. et al., 2023. Breeding dual-purpose maize: Grain production and biofuel conversion of the stover. *Agronomy* 13(5), 1352. doi: 10.3390/agronomy13051352.
- Habibzadeh, F., 2024. Data distribution: Normal or abnormal. *J Korean Med Sci.* 39 (3): e35. doi: 10.3346/jkms.2024.39.e35
- Hochholdinger, F., dan Yu P. 2025. Molecular concepts to explain heterosis in crops. *Trends in Plant Science* 30 (1): 95-104. doi: 10.1016/j.tplants.2024.07.018.
- Hossain, F., Zunjare, R.U., Muthusamy, V., Kumar, A., Madhavan, J., Ikkurti, G. et al., 2023. Genetic improvement of specialty corn for nutritional quality traits. In: Wani, S.H., Dar, Z.A. and Singh G.P. (eds.). *Maize improvement: Current advances in yield, quality, and stress tolerance under changing climatic scenarios*. Springer. Cham. pp. 235-257.
- Jin, Y., Wang, J., Zhang, Y., Zhao, Y., Lu, X., Wen, W. et al., 2023. Differential analysis and genome-wide association analysis of stomata density of maize inbred lines leaves at ear position. *Can. J. Plant Sci.* doi: 10.1139/cjps-2023-0006.
- Khalil, A., 2023. Application of non-parametric approaches to identify trends in streamflow for the Mae Klong River Basin, Thailand. *Water Supply* 23(5), 1885-1902. doi: 10.2166/ws.2023.112.
- Li, K., Tassinari, A., Giuliani, S., Rosignoli, S., Urbany, C., Tuberosa, R. and Salvi, S., 2023. QTL mapping identifies novel major loci for kernel row number-associated ear fasciation, ear prolificacy and tillering in maize (*Zea mays* L.). *Front. Plant Sci.* 13: 1017983. doi: 10.3389/fpls.2022.1017983.
- Li, K. and Wang, C., 2023. Multiple soil quality assessment methods for evaluating effects of organic fertilization in wheat-maize rotation system. *Eur. J. Agron.* 150, 126929. doi: 10.1016/j.eja.2023.126929.
- Liang, K., 2025. Enhancing heterosis in sorghum using male sterile lines. *Field Crop* 8 (2). doi: 10.5376/fc.2025.08.0006.
- Makuya, V., Tesfuhuney, W., Moeletsi, M.E. and Bello, Z., 2024. Assessing the impact of agricultural drought on yield over maize growing areas, Free State Province, South Africa, Using the SPI and SPEI. *Sustainability* 16 (11): 4703. doi: 10.3390/su16114703.
- Marais-Sicre, C., Queguiner, S., Bustillo, V., Lesage, L., Barcet, H., Pelle, N. et al., 2024. Sun/shade separation in optical and thermal UAV images for assessing the impact of agricultural practices. *Remote Sensing* 16 (8): 1436. doi: 10.3390/rs16081436.
- Mazzoleni, I., Novarina, E., Zerlotti, Y.M., Bardelli, T., Dal Prà, M., Zuffada, M., et al., 2025. The effect of *Aspergillus flavus* on seedling development in maize. *Plants* 14 (7): 1109. doi: 10.3390/plants14071109.
- Moon, S., Lee, Y.S., Gutierrez-Marcos, J. and Jung KH., 2025. Advancements in hybrid rice production: Improvements in male sterility and synthetic apomixis for sustainable agriculture. *Plant Biotechnology Journal* 23 (6): 2330-2345. DOI: 10.61308/GKTY1924.
- Moore, V.M., Peters, T., Schlautman, B. and Brummer, E.C., 2023. Toward plant breeding for multicrop systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 120: 2205792119. doi: 10.1073/pnas.2205792119.

- Păcurar, D., Pop, H., Oroian, I., Burduhos, P., Abrudan, O., Mălinaș, C. and Odagiu, A.C.M., 2025. Crop Technology, Cultivation System, and Maize Production Characteristics. *Sustainability*, 17(9): 4132. doi: 10.3390/su17094132.
- Paril, J., Reif, J., Fournier-Level, A. and Pourkheirandish, M., 2024. Heterosis in crop improvement. *Plant J.* 117(1), 23-32. doi: 10.1111/tj.16488.
- Saxena, K.B., Saxena, R.K., Dalvi, V.A., Choudhary, A.K. and Sultana, R., 2024. Maintenance breeding in pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) millspaugh] — an assessment and advanced strategies. *Plant Breed* 143: 857-871. doi: 10.1111/pbr.13209.
- Tan, G.F., Li, M.Y., Ma, J., Zhu, S.H., Zhong, X.L., Luo, Q. et al., 2025. Male sterility in apiaceae vegetables: advances, mechanisms, and prospects. *Vegetable Research* 5: e046. doi: 10.48130/vegres-0025-0039
- Teli, A., Nayaka, R. and Ghatanatti. R., 2023. Data analysis – preference of pertinent statistical method in research. *Natl. J. Physiol. Pharm. Pharmacol.* 13. doi: 10.5455/njppp.2023.13.02104202328022023.
- Tian, H., Ding, S., Zhang, D., Wang, J., Hu, M., Yang, K. et al., 2024. Sodium bicarbonate tolerance during seedling stages of maize (*Zea mays* L.) lines. *Food and Energy Security* 13: e70013. doi: 10.1002/fes3.70013.
- Vasupalli, N., Mogilicherla, K., Shaik, V., Rao, K.R.S.S., Bhat, S.R. and Lin, X., 2025. Advances in plant male sterility for hybrid seed production: an overview of conditional nuclear male sterile lines and biotechnology-based male sterile systems. *Front. Plant Sci.* 16:1540693. DOI: 10.3389/fpls.2025.154069.
- Wang, H., Yan, J. and Yan, X., 2023. Spearman rank correlation screening for ultrahigh-dimensional censored data. In: *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Washington, DC, USA. 37, 10104-10112. doi: 10.1609/aaai.v37i8.26204.
- Wang, Y., Dhamodharan, U.S.R., Sarwar, N., Almalki, F.A., Naith, Q.H., R.S. and D.M., 2024. A hybrid approach for rice crop disease detection in agricultural IoT system. *Discov Sustain* 5: 99. doi: 10.1007/s43621-024-00285-4.
- Wu, S., Zhong, J., Ye, H. and Kang, X., 2023. Identification of ancient glass categories based on distance discriminant analysis. *Herit. Sci.* 11, 160. doi: 10.1186/s40494-023-00999-0.
- Xiong, X., Wang, D., Guo, C., Fan, G., Zhang, Y., Song, B. et al., 2024. Generation of humidity-sensitive genic male sterility in maize and wheat for hybrid seed production. *Journal of Integrative Plant Biology* 66 (11): 2317-2320. doi: 10.1111/jipb.13768.
- Xu, F., Yang, X., Zhao, N., Hu, Z., MacKenzie, S. A., Zhang, M. and Yang, J., 2022. Exploiting sterility and fertility variation in cytoplasmic male sterile vegetable crops. *Hortic. Res.* 9: uhab039. DOI: 10.1093/hr/uhab039.
- Xu, N., Yu, D., Zhang, L., Wang, T., Hu, Z., Lei, Q. et al., 2025. Establishment of a novel engineering breeding technology for cytoplasmic male sterility. *The Crop Journal* 13: 1305-1311. doi: 10.1016/j.cj.2025.04.010.
- Xuan, L., Qi, G., Li, X., Yan, S., Cao, Y., Huang, C. et al., 2022. Comparison of mitochondrial genomes between a cytoplasmic male-sterile line and its restorer line for identifying candidate CMS genes in *Gossypium hirsutum*. *Int. J. Mol. Sci.* 23(16), 9198. doi: 10.3390/ijms23169198.
- Yadav, P.K., Tripathi, M.K., Tiwari, S., Chauhan, S., Tripathi, N., Sikarwar, R.S. et al., 2023. Genetic components and variability assessment for grain yield and its accrediting traits in maize (*Zea mays* L.). *Int. J. Environ. Clim. Change* 13(9), 772-784. doi: 10.9734/IJECC/2023/v13i92298.

Yue, H., Olivoto, T., Bu, J., Wei, J., Liu, P., Wu, W. et al., 2025. Assessing the role of genotype by environment interaction as determinants of maize grain yield and lodging resistance. *BMC Plant Biol* 25: 120. doi: 10.1186/s12870-025-06158-w

