

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jagung merupakan komoditas multi guna karena dapat dimanfaatkan untuk pangan, pakan, dan bahan baku industri sehingga berperan strategis dalam perekonomian nasional. Permintaan pasar dalam negeri dan peluang ekspor komoditas jagung cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Pesatnya perkembangan industri peternakan dan perikanan berdampak kepada meningkatnya kebutuhan jagung sebagai komponen utama ransum pakan.

Peningkatan permintaan daging sebagai sumber protein hewani, seiring dengan peningkatan ekonomi dan daya beli dan kesadaran mereka atas dampak dari kekurangan protein, terutama protein hewani yang dapat menyebabkan stunting. Peningkatan konsumsi daging tersebut merupakan salah satu pemicu sehingga pertumbuhan peternak unggas juga semakin pesat dalam beberapa tahun terakhir. Kebutuhan pakan berbahan baku jagung juga semakin meningkat. Karena komposisi jagung dalam pakan ternak, terutama unggas berkisar antara 60-70%.

Selama periode 2017-2021 impor jagung Indonesia rata rata > 1 juta ton dan akan terus meningkat jika tidak diupayakan untuk melakukan pertumbuhan produksi di dalam negeri (Tabel 1). Produksi jagung nasional mencapai 23 juta, dengan luas panen sekitar 2,76 juta ha dan tingkat produktivitas 5,4 ton/ha pada tahun 2021. Sebanyak 70% dari produksi jagung nasional dihasilkan oleh 7 provinsi utama yaitu Jawa Timur, Jawa Tengah, Lampung, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Barat, Sumatera Utara dan Jawa Barat. Fakta ini mengindikasikan bahwa sentra produksi jagung di Indonesia masih belum merata dan cenderung terfokus pada wilayah-wilayah tertentu saja. Peluang pengembangan produksi jagung di luar sentra utama melalui pemanfaatan potensi lahan yang masih luas dan mendiversifikasi sentra produksi guna mengurangi ketergantungan pada wilayah produksi utama juga belum sepenuhnya berhasil.

Tabel 1. Perkembangan ekspor dan impor jagung tahun 2017-2021

No	Uraian	Tahun					Pertumb. 2020 - 2021 (%)
		2017	2018	2019	2020	2021	
1	Ekspor						
	- Volume (Ton)	47.002	341.523	53.566	133.347	85.311	-36,02
	- Nilai (USD 000)	13.988	93.699	15.481	36.136	36.909	2,14
2	Impor						
	- Volume (Ton)	714.504	1.150.225	1.443.433	1.242.519	1.206.571	-2,89
	- Nilai (USD 000)	179.870	312.704	367.371	305.612	384.758	25,90
3	Neraca perdagangan						
	- Volume (Ton)	-667.502	-808.702	-1.389.867	-1.109.172	-1.121.260	-1,09
	- Nilai (USD 000)	-165.882	-219.004	-351.890	-269.476	-347.848	-29,08

Sumber: BPS, diolah Pusdatin, 2021

Pemerintah telah meluncurkan sejumlah program prioritas untuk meningkatkan produksi jagung nasional seperti program benih bantuan, perbenihan dan food estate jagung. Namun demikian, program tersebut menyisakan sejumlah permasalahan diantaranya ketidaksesuaian varietas jagung dengan agroekosistem wilayah menyebabkan tanaman tidak tumbuh optimal. Selain itu, rendahnya mutu dan ketersediaan benih jagung yang memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan telah menjadi kendala yang signifikan dalam meningkatkan produktivitas. Program food estate dan keterlibatan korporasi petani, yang seharusnya menjadi solusi potensial, masih belum mencapai potensinya secara optimal dalam mendukung pertumbuhan sektor jagung. Program areal tanam baru di luar Jawa memiliki luas yang cukup besar dan belum sepenuhnya berhasil dimanfaatkan secara optimal untuk menjadi sumber produksi jagung. Diperlukan tindakan strategis untuk mengatasi permasalahan ini dan mendorong perkembangan yang berkelanjutan dalam produksi jagung nasional.

Fokus utama program pemerintah saat ini adalah peningkatan areal tanam jagung melalui berbagai inisiatif/crash program, seperti food estate jagung, perluasan areal tanam baru/PATB, dan korporasi petani, serta program bantuan benih hibrida. Namun demikian, tantangan utama yang dihadapi dalam penerapan program di lapangan adalah masih kurangnya fokus/perhatian terhadap kualitas benih yang digunakan, ketidaksesuaian varietas/benih yang diberikan dengan agroekosistem wilayah, dan perbedaan preferensi petani akan varietas spesifik. Penekanan yang terlalu besar pada peningkatan produksi dan luas tanam sering kali mengabaikan pentingnya benih yang berkualitas, serta kesesuaian agroekosistem dan preferensi petani. Hal ini dapat mengakibatkan terbatasnya pilihan varietas dan benih, yang pada gilirannya dapat membatasi kemampuan

adaptasi varietas jagung terhadap perubahan lingkungan dan meningkatkan risiko kegagalan panen. Selain itu, meningkatnya serangan hama dan penyakit seperti bulai dan FAW sebagai akibat dari ketidaksesuaian varietas dengan agroekosistem turut meningkatkan resiko kegagalan panen. Terlebih lagi, pembatasan pupuk bersubsidi serta keterbatasan fasilitas pascapanen menyebabkan masalah semakin kompleks, karena petani tidak dapat mengoptimalkan sarana produksi dan pascapanen dalam kegiatan budidaya jagungnya. Program food estate dan perluasan areal tanam baru di luar Jawa memiliki luas yang cukup besar juga belum sepenuhnya berhasil dimanfaatkan secara optimal untuk menjadi sumber produksi jagung.

Dampak yang akan muncul jika program peningkatan produksi jagung tidak tercapai sangat berpotensi merugikan petani, diantaranya menurunnya produktivitas hasil yang dicapai, rentannya tanaman terhadap serangan hama dan penyakit, serta kerugian ekonomi bagi petani akibat tingkat produksi rendah. Hal ini pada skala yang lebih luas akan mempengaruhi tingkat stabilitas pasokan pakan khususnya untuk pakan unggas sehingga harga pakan akan naik. Kondisi ini menyebabkan petani dan peternak akan menghadapi penurunan pendapatan yang signifikan, dan hal ini dapat mengancam ketahanan ekonomi mereka. Dengan mengandalkan impor jagung dari negara lain, risiko ketergantungan pada pasar internasional dan fluktuasi harga yang tidak terduga yang secara tidak langsung berpotensi mengganggu kedaulatan pangan dan mengancam stabilitas sosial. Oleh karena itu, penting untuk mengambil tindakan yang tepat guna mengatasi masalah stagnasi produksi jagung nasional.

Perubahan iklim global (*climate change*) yang melanda dunia saat ini merupakan salah satu ancaman terhadap kelangsungan produksi dan pemenuhan kebutuhan jagung dalam negeri. Perubahan iklim akan berdampak pada peningkatan suhu (global warming) dan pergeseran pola distribusi hujan yang semakin sulit diprediksi sehingga penentuan waktu tanaman sulit dilakukan dan risiko gagal panen semakin besar. Selain ancaman kekeringan, cekaman N rendah juga berdampak besar terhadap penurunan hasil jagung sebagai akibat kelangkaan pupuk urea di tingkat petani. Hal tersebut berpotensi terhadap krisis pangan ke depan.

Peningkatan produktivitas jagung per satuan luas masih cukup potensial melalui budidaya jagung, diantaranya adalah penggunaan varietas dengan hasil tinggi pada penanaman populasi padat persatuan luas (>85.000 tanaman/ha) dan pemupukan nitrogen rendah. Penanaman populasi padat memerlukan varietas dengan ideotype daun yang tegak dengan sudut kecil sehingga mampu memanfaatkan ruang dan cahaya matahari dengan lebih

efisien. Pemupukan N rendah memerlukan varietas yang adaptif pada dosis N rendah.

Berkaitan dengan hal tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan perakitan jagung hibrida yang adaptif pada populasi padat dan toleran terhadap pemupukan N rendah. Pengembangan varietas dengan produktivitas tinggi pada kondisi populasi padat dan toleran pemupukan nitrogen rendah diharapkan menjadi salah satu faktor yang dapat meningkatkan produksi dan kesinambungan swasembada jagung nasional.

1.2. Review of Evidence/ Gap of Knowledge.

Nitrogen adalah nutrisi esensial yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan jagung, memengaruhi berbagai proses fisiologis penting, termasuk fotosintesis, sintesis protein, dan pembentukan klorofil. Namun, penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan atau tidak seimbang dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air, serta memberikan beban ekonomi bagi petani. Oleh karena itu, ada penekanan global yang semakin meningkat pada praktik pertanian berkelanjutan, dengan fokus khusus pada peningkatan efisiensi penggunaan nitrogen (NUE) dalam produksi jagung.

Penelitian yang dilakukan oleh Yuan et al. (2016) dan Xu et al. (2017) mengeksplorasi populasi dasar dengan efisiensi penggunaan nitrogen (NUE) pada tanaman jagung, mengungkapkan lokus sifat kuantitatif (QTL) utama yang terkait dengan NUE. Meskipun penelitian ini memberi pemahaman tentang mekanisme molekuler di balik pemanfaatan nitrogen dalam jagung, namun penelitian ini tidak secara eksplisit membahas pengembangan populasi jagung yang memiliki toleransi N rendah dan cocok untuk kondisi penanaman dengan kepadatan tinggi. Penelitian yang ada cenderung lebih fokus pada identifikasi gen dan proses molekuler tanpa menjalani proses pemuliaan jagung yang mampu tumbuh dan berkinerja baik di bawah kondisi sumber daya yang terbatas, seperti ketersediaan nitrogen yang rendah.

Sebaliknya, penanaman dengan populasi tinggi pada tanaman jagung, berpotensi meningkatkan hasil namun memberikan tantangan yang berkaitan dengan persaingan ketersediaan nutrisi, terutama dalam konteks ketersediaan nitrogen serta toleransi terhadap cahaya rendah. Liu et al. (2018) dan Yang et al. (2019) meneliti populasi tanam terhadap berbagai aspek tanaman jagung, termasuk komponen agronomi tanaman serta komponen hasil. Penelitian ini menekankan pentingnya mengoptimalkan populasi tanaman untuk meningkatkan produktivitas, terutama dalam kondisi terbatas nitrogen.

Namun, kesenjangan pengetahuan yang signifikan dalam literatur terletak pada persilangan kedua faktor tersebut, yaitu toleransi N rendah dan adaptasi terhadap populasi tinggi. Sementara penelitian individu telah membuat kontribusi besar tentang pemanfaatan nitrogen dan pengaruh populasi tanam pada jagung, ada gap terkait pengembangan populasi jagung yang dapat beradaptasi luas pada kondisi nitrogen yang rendah dan penanaman dengan populasi tinggi.

Sintesis toleransi N rendah dan adaptasi terhadap populasi tinggi dalam perakitan VUB jagung merupakan tantangan dalam upaya meminimalkan yield gap di tingkat penelitian dan pengembangan di masyarakat petani. Penelitian bertujuan untuk mengisi kesenjangan ini dengan mengembangkan populasi jagung hibrida melalui pemuliaan selektif yang memberikan daya gabung yang tinggi sesuai target cekaman. Pemuliaan untuk mendapatkan jagung hibrida adaptif populasi padat dan pemupukan N rendah dapat dilakukan melalui seleksi berulang. Teknik dasar pada seleksi berulang adalah merekombinasikan genotipe-genotipe superior yang memiliki karakter yang diinginkan pada suatu populasi dari generasi ke generasi hingga diperoleh populasi yang memiliki karakter yang stabil sesuai dengan target seleksi. Untuk mencapai tujuan perakitan varietas melalui seleksi berulang diperlukan seleksi dengan menggunakan agen penyeleksi atau lingkungan seleksi sesuai dengan karakter yang dituju, misalnya untuk populasi padat dilakukan seleksi pada kondisi populasi diatas normal (> 71.000 tan/ha), cekaman salinitas menggunakan agen penyeleksi NaCl, cekaman genangan air dilakukan seleksi pada kondisi tanaman tergenang air dan seleksi dosisi pupuk rendah dilakukan dengan berbagai level pemupukan. Seleksi ini digunakan untuk tanaman menyerbuk silang, dengan harapan tanpa banyak merubah keragaman genetiknya.

Populasi dasar yang sudah stabil dapat dilanjutkan dengan perakitan galur sesuai dengan target lingkungan yang dituju. Penggaluran dilakukan pada beberapa generasi sehingga diperoleh galur generasi lanjut yang sudah stabil dan memiliki daya gabung baik sesuai dengan tujuan perakitannya, seperti varietas adaptif populasi padat dan pemupukan nitrogen rendah. Hibrida dari hasil rekombinasi antar galur pada umumnya masih memiliki keragaman genetik yang luas sehingga perlu dilakukan seleksi sesuai dengan pasangan heterotiknya yang tepat kemudian dievaluasi lebih lanjut sehingga terseleksi calon-calon varietas yang adaptif pada kedua cekaman abiotik tersebut.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah terdapat keragaman genetik jagung hibrida hasil persilangan dialil pada perlakuan dosis pupuk nitrogen dan populasi padat.
2. Apakah terdapat hibrida yang toleran terhadap pemupukan N rendah dengan produktivitas hasil yang tinggi.
3. Apakah terdapat hibrida yang toleran terhadap populasi padat dengan produktivitas hasil yang tinggi.
4. Apakah terdapat karakter agronomi yang berkorelasi langsung dengan hasil tinggi pada hibrida toleran terhadap pemupukan N rendah dan atau populasi padat.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui keragaman genetik jagung hibrida hasil persilangan dialil pada perlakuan dosis pupuk nitrogen dan populasi padat.
2. Merakit hibrida yang toleran terhadap pemupukan N rendah dengan produktivitas hasil yang tinggi.
3. Merakit hibrida yang toleran terhadap populasi padat dengan produktivitas hasil yang tinggi.
4. Mengidentifikasi karakter agronomi yang berkorelasi langsung dengan hasil tinggi pada hibrida toleran terhadap pemupukan N rendah dan atau populasi padat.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat bermanfaat terhadap penyediaan calon-calon varietas jagung hibrida unggul yang adaptif pemupukan N rendah dan calon-calon varietas toleran populasi padat dengan produktivitas hasil tinggi ditengah krisis pangan global yang mengancam dunia sebagai dampak dari perubahan iklim global.

Secara teoritis diharapkan melalui hasil penelitian ini akan memberikan informasi dan kontribusi sebagai bahan kajian lanjut dalam pelepasan dan pengembangan varietas jagung hibrida produktivitas tinggi yang adaptif pada pemupukan N rendah dan populasi padat.

1.6. Kebaruan Penelitian

Adapun kebaruan dari penelitian ini adalah:

1. Tercipta hibrida yang toleran terhadap pemupukan N rendah untuk mengantisipasi penurunan hasil yang drastis akibat kelangkaan pupuk urea yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir ini.
2. Tercipta hibrida yang toleran terhadap populasi padat yang mendukung program intensifikasi untuk meningkatkan produksi jagung nasional.

Kedua novelty tersebut diharapkan mampu menjawab tantangan peningkatan produksi jagung nasional ditengah krisis degradasi lahan produktif dan eksisting untuk jagung sebagai akibat alih fungsi lahan ke bidang non pertanian. Selain itu, kurangnya pasokan urea dari industri pupuk yang menyebabkan kelangkaan yang semakin meningkat pada beberapa tahun terakhir berpotensi terhadap penurunan produktivitas jagung nasional secara signifikan. Hal tersebut perlu menjadi perhatian khusus karena jumlah penduduk dan kebutuhan jagung sebagai bahan baku industri semakin meningkat sehingga memerlukan terobosan baru dalam keberlanjutan swasembada jagung nasional, diantaranya adalah varietas jagung yang adaptif pada populasi padat dan toleran pemupukan N rendah.

1.7. Ruang Lingkup Penelitian

Upaya mewujudkan swasembada jagung nasional dengan program ekstensifikasi atau luas tambah tanaman jagung yang diarahkan pada lahan baru mengalami beberapa kendala. Lahan-lahan baru yang tersedia cukup luas, namun syarat kendala karena miskin hara, air dan terkadang bersifat toksit seperti lahan masam, pasang surut, genangan sesaat, salin, dan lahan dibawah tegakan tanaman tahunan dengan kendala naungan.

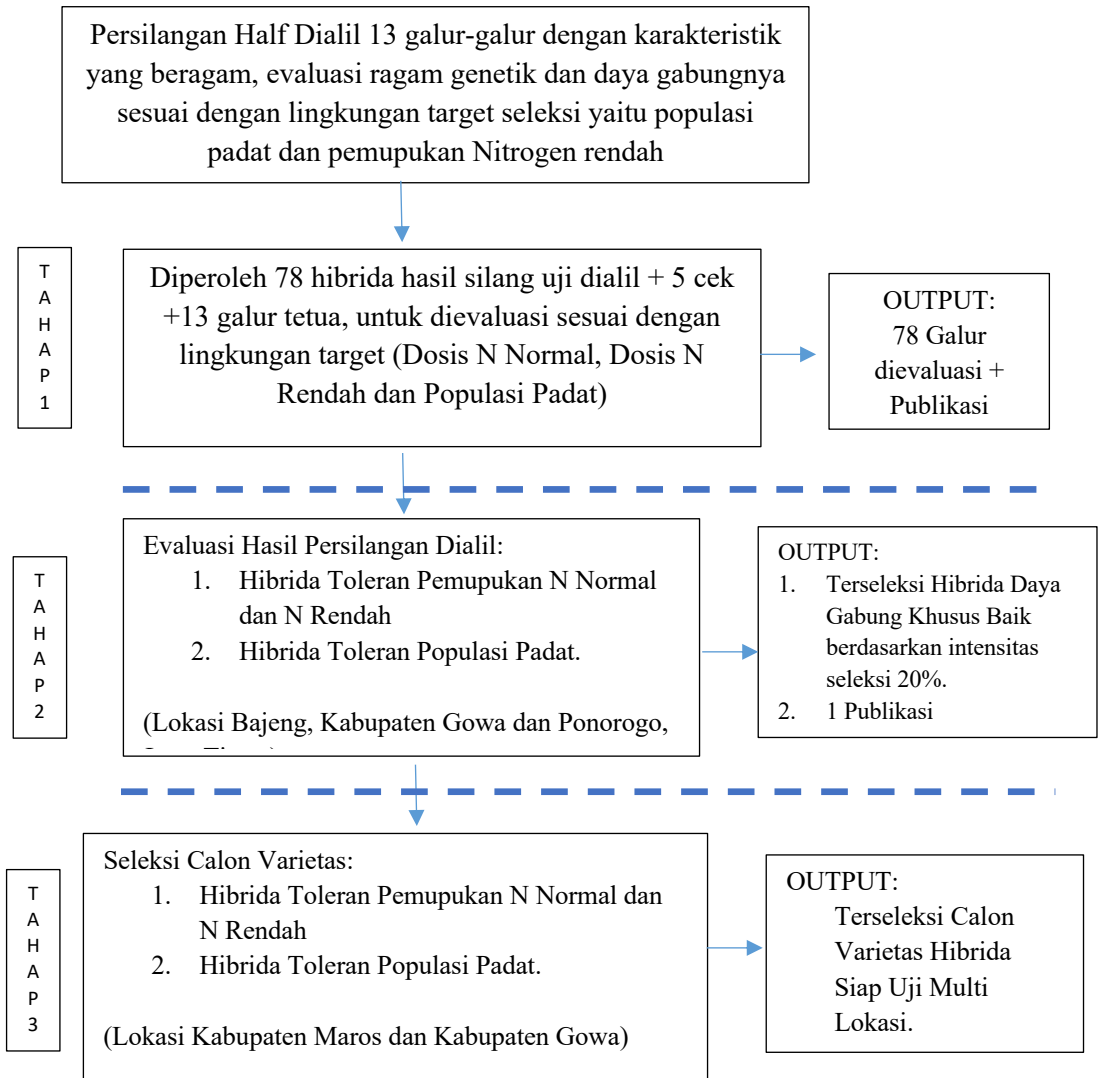
Kendala-kendala tersebut dapat diatasi melalui perakitan varietas jagung yang toleran pada lahan-lahan sub optimal tersebut. Varietas jagung hibrida yang dilepas di Indonesia, terutama oleh perusahaan multinasional pada umumnya untuk pengembangan di lahan optimal. Hal tersebut berpengaruh terhadap keterbatasan penyediaan varietas jagung yang toleran terhadap kondisi lingkungan sub optimal sehingga berpengaruh terhadap perwujudan swasembada jagung nasional yang berkelanjutan. Selain ekstensifikasi, peningkatan produktivitas jagung per satuan luas dapat ditingkatkan melalui optimasi budidaya jagung pada lahan eksisting, antara lain adalah penggunaan varietas dengan hasil

tinggi yang dapat di tanam pada populasi padat persatuan luas yaitu >85.000 tanaman/ha.

Nitrogen (N) merupakan hara makro yang menjadi pembatas utama produksi tanaman, baik di daerah tropis maupun di daerah-daerah beriklim sedang. Nitrogen umumnya dibutuhkan tanaman jagung dalam jumlah banyak, yaitu 120-180 kg N/ha (Halliday dan Trenkel (1992), namun jumlahnya dalam tanah sedikit, yaitu berkisar antara 0,02-0,4 % (Black, 1976; Lindsay, 1979), N terangkut tanaman melalui panen sekitar 129-165 kg N/ha pada tingkat hasil 9,5 t/ha (Barber dan Olson, 1968 dalam Halliday dan Trenkel, 1992).

Menurut Edmeades et al. (1994), sekitar 90% pertanaman jagung di daerah tropis pada lahan kering dan sawah tadah hujan, hasilnya dapat meningkat dengan pemberian pupuk nitrogen. Hal ini disebabkan karena nitrogen merupakan hara esensial yang berfungsi sebagai bahan penyusun asam-asam amino, protein dan klorofil yang penting dalam proses fotosintesis (Black, 1976; Jones et al., 1991; Jones, 1998;) serta bahan penyusun komponen inti sel.

Asimilat hasil fotosintesis pada setiap lembar daun selanjutnya akan didistribusi ke jaringan tanaman yang terdekat dari jaringan yang berfotosintesis sehingga jaringan tanaman akan mengalami persaingan internal dalam memperoleh asimilat. Untuk mengurangi persaingan internal dalam jaringan tanaman, maka di perlukan rekayasa budidaya dan genetik dalam mengefisienkan pemanfaatan nitrogen bagi tanaman. Efisiensi pemanfaatan nitrogen bagi tanaman sangat di tentukan oleh kandungan nitrogen dalam media tumbuh (tanah) dan sifat genetik tanaman. Untuk memperoleh jagung toleran N rendah, seleksi lebih efisien dilakukan pada kondisi rendah N, meskipun heritabilitasnya lebih rendah disbanding pada kondisi optimum. (Banziger, and Lafittie, 1997).



Gambar 1. Alur Penelitian.

Daftar Pustaka

- Astuti K., O. R. Prasetyo, I N. Khasanah, 2021. Analisis Produktivitas Jagung dan Kedelai di Indonesia 2020 (Hasil Survei Ubinan), Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia
- Banziger M., Edmeades GO, Beck D., Bellon M. (2000) Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice. Mexico, D.F. CIMMYT
- Black, C. A. (1976). Soil-Plant Relationships. John Wiley & Sons, New York.
- CIMMYT, 1994. Managing trials and reporting data for CIMMYT's international maize testing program. Mexico, DF.
- Edmeades, G., Lafitte, H. R., Balanos, J., Chapman, S., Banziger, M., & Deutsch, J. (1994). Developing Maize Program Special Report. CIMMYT. D.F.Mexico.
- Efendi, R. and M. Azrai. 2010. Tanggap genotipe jagung terhadap cekaman kekeringan: Peranan akar. Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 29(1):1-10
- Herlinda, S., Suharjo, R., Elbi Sinaga, M., UGFwazi, F., Suwandi, S. 2021. First report of occurrence of corn and rice strains of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South Sumatra, Indonesia and its damage in maize. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.11.003>
- Halliday, D.J. and M.E. Trenkel. 1992. IFA World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- Iriany, R.N., A.M. Takdir, M.H.G. Yasin, and M.J. Mejaya. 2007. Maize genotypes tolerance to drought stress. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 26(3):156 – 160
- Jackson, W.A. and Volk, R.J. (1992), Nitrate and ammonium uptake by maize: adaptation during relief from nitrogen suppression. New Phytologist, 122: 439-446. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb00071.x>
- Jones, B. (1998). Plant Nutrition Manual. Crc Press, Boston.
- Kalqutny, S. H., Pakki, S., Muis, A. 2020. The potential use of dna based molecular techniques in the study of maize downy mildew. Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian Agrosaintek. 4(1): 17-27.

- Kementan, 2021: Inilah 10 Provinsi Produsen Jagung Terbesar Indonesia. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=4639>
- Lindsay, W.L. (1979) *Chemical Equilibrium in Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Liu, T., Song, F., Liu, S., Zhu, X. 2011. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9(4), 1249-1261.
- Marliyanti, L., Syukur, M., Widodo, W. 2014. Daya hasil 15 galur cabai IPB dan ketahanannya terhadap penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum*. *AGH Online Journal*. 1(1): 7-13.
- Panikkai, S., Nurmalinga, R., Mulatsih, S., Purwati, P. 2017. Analisis ketersediaan jagung nasional menuju pencapaian swasembada dengan pendekatan model dinamik. *Informatika Pertanian*, Vol. 26 (1): 41 – 48
- Pusdatin, 2022. Analisis kinerja perdagangan jagung. Pusat Data dan Informasi, Kementerian Pertanian.
- Pusdatin, 2021. Analisis kinerja perdagangan jagung. Pusat Data dan Informasi, Kementerian Pertanian.
- Setiawan, K., Basri, M. 2017. An Analysis of Efficiency the Production of Commodities Maize in Belu, East Nusa Tenggara, Indonesia. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*,. 11(10): 64–69.
- Sobiech, A., Tomkowiak, A., Nowak, B., Bocianowski, J., Wolko, Ł., Szychala, J. 2022. Associative and physical mapping of markers related to fusarium in maize resistance, obtained by next-generation sequencing (NGS). *Int. J. Mol. Sci.* 23: 6105. <https://doi.org/10.3390/ijms23116105>
- Sobir, Syukur, M. 2012. *Genetika Tanaman*. IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Subekti, N.A., Syafruddin., Efendi, R., Sunarti, S. 2008. *Morfologi Tanaman dan Fase Pertumbuhan Jagung*. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros, Indonesia.

- Sulaiman, A.A., Kariyasa, K., Hoerudin, Subagyo, K., Suwandi, Bahar, F.A. 2017. Cara cepat swasembada jagung. Sekretariat Jendral Kementrian Pertanian RI, Jakarta, Indonesia.
- Suwardi dan M. Azrai. 2013. Pengaruh cekaman kekeringan genotipe jagung terhadap karakter hasil dan komponen hasil. p.149-157. Seminar Nasional Serealia. Meningkatkan Peran Peneliti Serealia Menuju Pertanian Berkelanjutan. Maros, 18 Juni 2013.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., Yuniarti, R. 2015. Teknik Pemuliaan Tanaman: Edisi Revisi. Penebar Swadaya, Depok. Indonesia
- Vacaro, E., Neto, J.F.B., Pegoraro, D.G., Nuss, C.N. and Conceicao, L.D.H. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37 (1), 67–72.
- Xue, J., Zhao, Y., Gou, L., Shi, Z., Yao, M., Zhang, W. 2016. "How High Plant Density of Maize Affects Basal Internode Development and Strength Formation." *Crop Science*, 56(6): 3295–3306.
- Yang, P., Liu, Z., Zhao, Y., Cheng, Y., Li, J., Ning, J., Yang, Y., Huang, J. 2020. "Comparative Study of Vegetative and Reproductive Growth of Different Tea Varieties Response to Different Fluoride Concentrations Stress." *Plant Physiology and Biochemistry* 154: 419–428.
- Yan, Weikai; Hunt, L.A. (2001). Interpretation of Genotype × Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario. *Crop Science*, 41(1), 19–. doi:10.2135/cropsci2001.41119x
- Yuan L., Pu R., Zhang J., Wang J., Yang H. (2016). Using high spatial resolution satellite imagery for mapping powdery mildew at a regional scale. *Precision Agric.* 17, 332–348. 10.1007/s11119-015-9421-x

BAB II

PEMBENTUKAN DAN EVALUASI DAYA GABUNG HIBRIDA HASIL PERSILANGAN DIALLEL

Abstrak

Pembentukan hibrida silang diallel merupakan proses penting dalam penelitian genetika, di mana dua genotipe dengan alel-alel yang berbeda pada gen-gen tertentu digunakan untuk menciptakan keturunan dengan sifat-sifat unik yang berasal dari kedua tetuanya. Penelitian bertujuan membentuk dan evaluasi hibrida silang diallel dengan toleransi N rendah dan populasi padat. Penelitian ini dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Unhas, MoncongloE, Kab. Maros, Kabupaten Bajeng dan Ponorogo Jawa Timur pada musim tanam tahun 2023. Metode partial half diallel digunakan untuk membentuk hibrida dari 13 galur generasi lanjut dengan karakteristik tipe daun tegak dan tipe daun agak melandai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa genotipe sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sehingga seleksi genotipe harus memperhitungkan faktor lingkungan spesifik. Genotipe HDMT 52 menunjukkan nilai daya gabung umum (GCA) positif yang tinggi di berbagai lingkungan, baik dalam kondisi normal maupun stres, yang mengindikasikan stabilitas hasil yang konsisten. Genotipe AVLN 118 dan Mpop 27 juga menunjukkan performa unggul pada kondisi tertentu, menjadikannya kandidat potensial untuk program pemuliaan. Kombinasi persilangan galur seperti 6 x 3, 14 x 4, dan 12 x 5 menunjukkan efek gabungan positif dan hasil tinggi, sehingga dapat diprioritaskan untuk pengembangan lebih lanjut. Sebaliknya, kombinasi galur 5 x 3 dan 13 x 8 dengan hasil rendah sebaiknya dihindari. Kombinasi genotipe dengan efek daya gabung khusus (SCA) positif menunjukkan hasil tinggi dan adaptasi yang baik di berbagai lokasi, sedangkan efek SCA negatif menghasilkan hasil lebih rendah dan kurang cocok untuk pengembangan varietas unggul. Penelitian ini menyarankan prioritas dalam pengembangan genotipe yang adaptif terhadap kondisi lingkungan untuk peningkatan hasil tanaman yang optimal.

Kata kunci: Evaluasi, Daya gabung, Umum, Khusus, jagung hibrida.

2.1. Pendahuluan.

Pembentukan hibrida silang dialel adalah proses perkawinan silang dua organisme yang memiliki alel-alel yang berbeda pada gen-gen tertentu. Ini sering digunakan dalam penelitian genetika untuk menghasilkan keturunan dengan sifat-sifat yang berbeda dari kedua tetuanya. Proses ini dapat dilakukan pada berbagai jenis organisme, termasuk tanaman, hewan, dan mikroorganisme.

Pembentukan hibrida silang dialil adalah sebuah proses dalam reproduksi tanaman di mana tanaman yang berbeda latar belakang genetiknya disilangkan secara sengaja untuk menghasilkan turunan yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan dari kedua tetuanya. Proses ini sering dilakukan dalam pemuliaan jagung untuk menghasilkan varietas yang lebih unggul, lebih kuat, atau lebih tahan terhadap penyakit dan hama.

Silang dialel telah menjadi salah satu metode persilangan dalam penelitian genetika untuk memahami warisan sifat-sifat penting di antara berbagai genotipe. Analisis dialel ini berperan penting dalam hubungannya dengan : 1. Analisis daya gabung hasil Silangan, baik daya gabung umum maupun daya gabung khusus., 2. Memudahkan identifikasi pasangan tetua yang superior, 3. Memudahkan melihat variabilitas genetik dari materi yang di uji. Analisis data diallel biasanya dilakukan sesuai dengan metode Griffing (1956). Metode ini memisahkan varians total dalam data diallel menjadi GCA (General Combining Ability) yang menggambarkan kemampuan umum dari garis-garis induk, dan SCA (Specific Combining Ability) yang mencerminkan kemampuan kombinasi spesifik dari persilangan (Yan & Hunt, 2002). Metode diallel menawarkan kelebihan dalam hal kemudahan penggunaan dan manipulasi, terutama dalam tanaman jagung. Selain itu, pendekatan ini memberikan informasi yang sangat penting tentang parameter-genetika yang relevan dengan populasi yang sedang diteliti (Vacaro et al., 2002). Analisis data diallel juga memiliki nilai signifikan dalam evaluasi populasi itu sendiri.

Selain digunakan untuk memilih garis induk yang unggul dalam program hibrida, metode diallel juga dapat memberikan wawasan tentang variasi genetik dalam populasi tanaman yang sangat berguna dalam pemuliaan dan seleksi. Dengan demikian, metode diallel tidak hanya menjadi alat penting dalam mengembangkan tanaman hibrida yang lebih baik, tetapi juga dalam memahami dasar genetika dari variasi sifat-sifat penting dalam populasi tanaman. Untuk mengetahui keunggulan hibrida hasil persilangan dialel diperlukan pengujian sesuai dengan target lingkungan dari karakter yang diinginkan. Sehubungan dengan hal tersebut telah diperoleh hasil persilangan dialel dari beberapa galur

murni yang diperlukan untuk evaluasi daya gabung, baik pada lingkungan normal maupun pada lingkungan cekaman abiotik (populasi padat dan pemupukan N rendah).

2.2. Metode Penelitian.

Kegiatan penelitian di laksanakan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Unhas, Moncongloe, Kab. Maros pada Bulan Januari-April 2023. Pembentukan hibrida dialil menggunakan metode partial half diallel dari dua set persilangan yang terdiri dari masing-masing 13 galur generasi lanjut terpilih galur memiliki tipe daun tegak dengan sudut kecil dan galur memiliki tipe daun agak melandai, sudut daun sedang sehingga akan diperoleh sebanyak 78 hibrida + 13 galur tetua. Setiap galur ditanam 8 baris dengan jarak tanam 70 x 20 cm. Untuk sinkronisasi penanaman pertama 4 baris, dan selanjutnya penanaman kedua 4 baris dengan jarak waktu 5 hari. Ketika dalam proses berbunga, bunga betina dan jantan diisolasi dengan sungkup kertas dan akan disilangkan pada masing-masing pasangan heterotiknya. Pada saat panen, setiap hibrida yang terbentuk akan akan diberi label untuk keperluan evaluasi daya gabung khusus.

Galur generasi lanjut yang dilakukan silang dialel adalah galur yang telah diuji sebelumnya dimana memiliki keunggulan genetik untuk populasi padat dan pemupukan N rendah (AVLN118, P9, Mpop27, BCY, HDMT52, HDMT 30, HR6, SNCGF, ELTWR03, pop23, HDMT16, CLYN-231, Mpop24). Hasil persilangan dialel selanjutnya di evaluasi daya gabungnya pada empat kondisi cekaman. Daftar galur yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar galur yang digunakan dalam penelitian.

Entry	<u>Tetua Betina</u>	<u>Tetua Jantan</u>
1	AVLN118	P9
2	AVLN118	Mpop27
3	AVLN118	BCY
4	AVLN118	HDMT52
5	AVLN118	HDMT30
6	AVLN118	HR6
7	AVLN118	SNCGF
8	AVLN118	ELTWR03
9	AVLN118	Pop23
10	AVLN118	HDMT16
11	AVLN118	CLYN231
12	AVLN118	Mpop24

Entry	<u>Tetua Betina</u>	<u>Tetua Jantan</u>
13	P9	Mpop27
14	P9	BCY
15	P9	HDMT52
16	P9	HDMT30
17	P9	HR6
18	P9	SNCGF
19	P9	ELTWR03
20	P9	Pop23
21	P9	HDMT16
22	P9	CLYN231
23	P9	Mpop24
24	Mpop27	BCY
25	Mpop27	HDMT52
26	Mpop27	HDMT30
27	Mpop27	HR6
28	Mpop27	SNCGF
29	Mpop27	ELTWR03
30	Mpop27	Pop23
31	Mpop27	HDMT16
32	Mpop27	CLYN231
33	Mpop27	Mpop24
34	BCY	HDMT52
35	BCY	HDMT30
36	BCY	HR6
37	BCY	SNCGF
38	BCY	ELTWR03
39	BCY	Pop23
40	BCY	HDMT16
41	BCY	CLYN231
42	BCY	Mpop24
43	HDMT52	HDMT30
44	HDMT52	HR6
45	HDMT52	SNCGF
46	HDMT52	ELTWR03

Entry	<u>Tetua Betina</u>	<u>Tetua Jantan</u>
47	HDMT52	Pop23
48	HDMT52	HDMT16
49	HDMT52	CLYN231
50	HDMT52	Mpop24
51	HDMT30	HR6
52	HDMT30	SNCGF
53	HDMT30	ELTWR03
54	HDMT30	Pop23
55	HDMT30	HDMT16
56	HDMT30	CLYN231
57	HDMT30	Mpop24
58	HR6	SNCGF
59	HR6	ELTWR03
60	HR6	Pop23
61	HR6	HDMT16
62	HR6	CLYN231
63	HR6	Mpop24
64	SNCGF	ELTWR03
65	SNCGF	Pop23
66	SNCGF	HDMT16
67	SNCGF	CLYN231
68	SNCGF	Mpop24
69	ELTWR03	Pop23
70	ELTWR03	HDMT16
71	ELTWR03	CLYN231
72	ELTWR03	Mpop24
73	Pop23	HDMT16
74	Pop23	CLYN231
75	Pop23	Mpop24
76	HDMT16	CLYN231
77	HDMT16	Mpop24
78	CLYN231	Mpop24

2.3. Hasil dan Pembahasan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa efek lokasi (SITE) memberikan pengaruh sangat signifikan terhadap hasil biji jagung, dengan nilai F sebesar 578,2849 ($p < 0,01$). Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan lingkungan, seperti kondisi tanah, curah hujan, dan suhu, berkontribusi secara substansial terhadap variasi hasil biji (Gama et al., 2021; Singh et al., 2015). Efek persilangan (Cross) juga signifikan ($F = 1,81103$; $p < 0,001$), yang mencerminkan adanya variabilitas genetik antar genotipe dalam mempengaruhi hasil biji (Cruz, 1997). Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa efek kemampuan daya gabung umum (GCA) memiliki pengaruh signifikan ($F = 11,72843$; $p < 0,01$), yang menunjukkan bahwa efek genetik aditif memainkan peran penting dalam menentukan hasil biji jagung (Hallauer et al., 2010). Selain itu, efek kemampuan daya gabung khusus (SCA) juga signifikan ($F = 4,3543$; $p < 0,01$), yang mengindikasikan kontribusi interaksi genetik non-aditif, termasuk dominansi dan epistasis (Griffing, 1956).

Tabel 3. Analisis of varians hibrida hasil persilangan dialel.

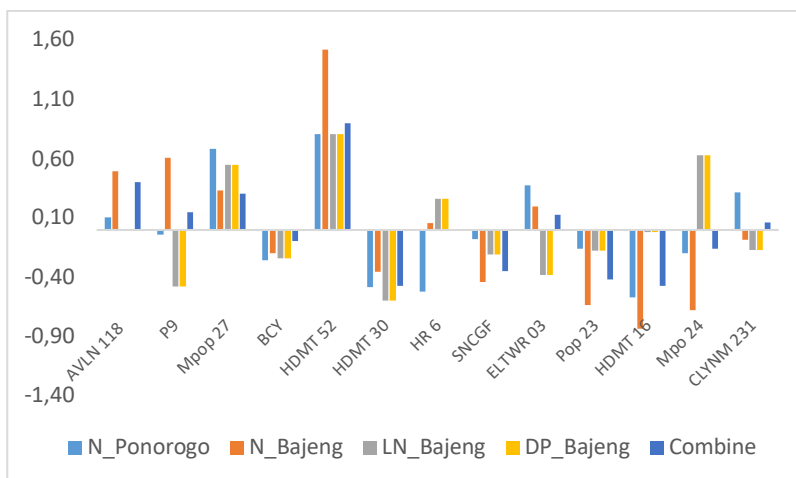
	Df	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata2	F nilai	Pr(>F)	
Lokasi (SITE)	3	2037.808	679.2692	578.2849	3.7E-126	**
Cross	77	498.4839	6.473817	1.81103	0.000388	**
GCA	12	165.3184	13.77653	11.72843	0	**
SCA	65	332.4518	5.114644	4.354269	0	**
SITE:Cross	231	825.7464	3.57466	3.043229	7.22E-20	**
SITE:GCA	36	121.6551	3.379308	2.876919	4.41E-07	**
SITE:SCA	195	705.4907	3.617901	3.080042	0	**
Residual	308	361.7852	1.174627			

Interaksi antara lokasi dan persilangan (SITE:Cross) dimana pengaruh yang signifikan ($F = 3,043$; $p < 0,01$), mengindikasikan bahwa performa hasil biji dari persilangan tertentu dipengaruhi oleh lingkungan (Akinwale et al., 2014). Efek interaksi antara lokasi dan GCA (SITE:GCA) juga signifikan ($F = 2,876919$; $p < 0,01$), menunjukkan bahwa kemampuan daya gabung umum genotipe tertentu dapat berbeda antar lokasi (Kenga et al., 2004). Selain itu, interaksi antara lokasi dan SCA (SITE:SCA) signifikan ($F = 3,080042$; $p < 0,01$), yang mana daya gabung khusus antar genotipe dipengaruhi oleh lingkungan (Singh et al., 2015). Nilai residual yang relatif kecil (361,7852) menunjukkan bahwa model yang digunakan mampu menjelaskan sebagian besar variasi dalam data.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa efek lingkungan memberikan kontribusi yang dominan terhadap hasil biji jagung, diikuti oleh pengaruh signifikan dari efek genetik aditif (GCA) dan non-aditif (SCA). Selain itu, interaksi genetik dengan lingkungan (SITE:GCA dan SITE:SCA) mengindikasikan pentingnya mempertimbangkan faktor lingkungan dalam seleksi genotipe (Hallauer et al., 2010; Akinwale et al., 2014). Dalam program pemuliaan, genotipe dengan nilai GCA yang tinggi dapat dijadikan target seleksi untuk meningkatkan stabilitas hasil pada berbagai lokasi, sedangkan genotipe dengan nilai SCA yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk lokasi-lokasi tertentu yang spesifik (Griffing, 1956; Kenga et al., 2004).

Tabel 4. Analisis daya gabung umum sejumlah hibrida hasil persilangan dialel.

Parent no.	NameParent	NNP	NNB	LNB	DPB	Gabungan
1	AVLN 118	0.11	0.49 *	0.00	0.99 **	0.40 **
3	P9	-0.04	0.61 *	-0.48 **	0.49 **	0.15
4	Mpop 27	0.69 **	0.33	0.55 **	-0.34 *	0.31 **
5	BCY	-0.26	-0.19	-0.24 *	0.30	-0.09
6	HDMT 52	0.81 **	1.52 **	0.81 **	0.46 *	0.90 **
7	HDMT 30	-0.48 **	-0.35	-0.59 **	-0.45 *	-0.47 **
8	HR 6	-0.52 **	0.06	0.26 *	0.20	0.00
10	SNCGF	-0.08	-0.44	-0.21	-0.68 **	-0.35 **
11	ELTWR 03	0.37 *	0.20	-0.38 **	0.31	0.13
12	Pop 23	-0.16	-0.63 *	-0.17	-0.72 **	-0.42 **
13	HDMT 16	-0.57 **	-0.83 **	-0.02	-0.47 *	-0.47 **
14	Mpop 24	-0.20	-0.68 **	0.63 **	-0.45 *	-0.16
15	CLYNM 231	0.32	-0.08	-0.17	0.34 *	0.06



Gambar 2. Diagram batang daya gabung umum sejumlah hibrida hasil persilangan dialel.

Hasil analisis daya gabung umum menunjukkan variabilitas antar genotipe dalam kontribusinya terhadap hasil biji jagung di lingkungan berbeda. Lingkungan yang diuji meliputi lokasi normal Ponorogo (NNP), lokasi normal Bajeng (NNB), nitrogen rendah Bajeng (LNB), dan populasi padat Bajeng (DPB). Efek GCA sangat penting untuk diperhatikan dalam evaluasi hasil biji jagung di lingkungan berbeda (Cruz & Regazzi, 1997; Hallauer et al., 2010).

Genotipe HDMT 52 menunjukkan nilai GCA positif tinggi di semua lingkungan. Pada lokasi Ponorogo, genotipe ini memiliki nilai GCA sebesar 0,81 dengan tingkat signifikansi tinggi ($p < 0,01$), menunjukkan kontribusi genetik aditif yang konsisten dalam kondisi optimal di Ponorogo. Nilai GCA yang sangat tinggi juga terlihat pada lokasi Bajeng (1,52; $p < 0,01$) dan N rendah Bajeng (0,81; $p < 0,01$), mengindikasikan stabilitas genetik untuk adaptasi pada lokasi Bajeng, baik dalam kondisi normal maupun stres nitrogen rendah. Pada perlakuan populasi padat, genotipe HDMT 52 mencatat nilai GCA sebesar 0,46 yang juga signifikan ($p < 0,01$), yang mana menunjukkan adanya toleransi terhadap populasi padat. Secara keseluruhan, nilai GCA gaungan sebesar 0,90 ($p < 0,01$) menegaskan keunggulan genetik genotipe ini untuk hasil biji yang tinggi dan stabil di berbagai lingkungan. Hal ini sejalan dengan laporan sebelumnya tentang stabilitas hasil jagung di berbagai lokasi uji (Singh et al., 2015; Duvick, 2005).

Genotipe lain yang menunjukkan penampilan yang baik adalah AVLN 118 dan Mpop 27. Genotipe AVLN 118 menghasilkan

nilai GCA signifikan di NNB (0,49; $p < 0,05$) dan DPB (0,99; $p < 0,01$), serta kontribusi keseluruhan yang positif dengan gabungan sebesar 0,40 ($p < 0,01$). Hal ini menunjukkan potensi adaptasi AVLN 118 di lokasi Bajeng, khususnya pada populasi padat. Genotipe Mpop 27 juga menunjukkan nilai GCA signifikan di lingkungan NNP (0,69; $p < 0,01$) dan LNB (0,55; $p < 0,05$), dengan nilai gabungan sebesar 0,31 ($p < 0,01$), yang mengindikasikan toleransi baik terhadap kondisi optimal Ponorogo dan stres nitrogen rendah di Bajeng (Hallauer & Miranda, 1988; Beck et al., 1990).

Sebaliknya, genotipe HDMT 16 dan HR 6 menunjukkan nilai GCA negatif di hampir semua lingkungan, diantaranya NNP (-0,57; $p < 0,01$) dan NNB (-0,63; $p < 0,01$) untuk HDMT 16, serta NNP (-0,52; $p < 0,01$) dan NNB (-0,06; tidak signifikan) untuk HR 6. Hal ini menunjukkan genotipe tersebut memberikan kontribusi negatif terhadap hasil biji, sehingga kurang sesuai untuk program pemuliaan dengan tujuan peningkatan hasil biji di berbagai kondisi lingkungan (Sprague & Tatum, 1942).

Hasil ini menunjukkan bahwa genotipe dengan nilai GCA positif tinggi seperti HDMT 52, AVLN 118, dan Mpop 27, memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai tetua dalam program pemuliaan. Genotipe HDMT 52, khususnya, menunjukkan penampilan yang stabil di berbagai lingkungan, baik normal maupun stres (nitrogen rendah dan populasi padat). Galur ini sangat potensial sebagai galur unggul untuk pengembangan varietas hibrida adaptif lingkungan. Hal ini sesuai dengan pendekatan seleksi tetua yang dilaporkan oleh Hallauer et al. (2010) untuk stabilitas hasil biji yang lebih baik.

Selanjutnya, genotipe dengan nilai GCA negatif, seperti HDMT 16 dan HR 6, lebih sesuai digunakan sebagai sumber gen untuk perbaikan karakter spesifik, bukan untuk meningkatkan hasil biji secara langsung. Interaksi genetik dengan lingkungan juga perlu menjadi perhatian, terutama dalam seleksi tetua untuk lokasi spesifik. Sebagai contoh, galur AVLN 118 lebih sesuai untuk lokasi Bajeng, sedangkan Mpop 27 menunjukkan keunggulan pada kondisi optimal Ponorogo dan stres nitrogen rendah di Bajeng (Beck et al., 1990).

Dalam program pemuliaan, pendekatan berbasis target lingkungan seleksi sangat penting diperhatikan untuk memastikan seleksi tetua yang sesuai dengan kondisi spesifik lokasi. Genotipe yang menunjukkan nilai GCA positif konsisten di berbagai lingkungan, seperti HDMT 52, dapat mendukung pengembangan varietas dengan hasil biji tinggi dan stabil di berbagai kondisi agroekologi (Duvick, 2005).

Tabel 5. Nilai daya gabung khusus (SCA) galur pada lima lingkungan uji.

entry	MALE	FEMALE	SCA						Hasil	
			N _{Poporoga}	N _{Balega}	LN _{Balega}	DR _{Balega}	Gabung	Gabungan		
1	1	3	-1.31	1.32	-2.64 **	-3.43 **	-2.18 **	8.21		
2	1	4	0.04	0.20	-2.13 **	0.71	-0.29	10.25		
3	1	5	-0.16	0.19	1.80 **	-0.10	0.34	10.48		
4	1	6	0.45	1.13	-0.36	-0.31	0.23	11.37		
5	1	7	-0.38	2.48 **	2.02 **	0.36	-0.12	9.65		
6	1	8	0.19	0.50	1.82 **	-0.97	0.38	10.63		
7	1	10	-0.78	0.54	-0.81	2.07 **	-0.02	9.88		
8	1	11	-0.63	0.50	0.78	1.73 *	0.35	10.72		
9	1	12	0.10	2.09 *	-0.64	-1.45 *	0.03	9.85		
10	1	13	0.78	0.11	0.24	1.04	0.54	10.31		
11	1	14	1.24	0.53	-0.28	-0.87	0.13	10.22		
12	1	15	0.45	0.46	0.22	1.22	0.62	10.93		
13	3	4	0.30	0.79	-0.96 *	2.57 **	0.67	10.97		
14	3	5	-1.55 *	0.98	-0.84	-4.00 **	-1.83 **	8.05		
15	3	6	1.72 *	0.77	2.21 **	-0.94	0.94	11.83		
16	3	7	0.10	0.88	0.05	0.25	0.32	9.84		
17	3	8	0.53	0.12	0.30	1.29	0.56	10.55		
18	3	10	-0.08	0.02	-0.42	1.18	0.16	9.81		
19	3	11	-1.04	1.68	-1.35 **	1.60 *	-0.62	9.50		
20	3	12	1.20	1.14	-1.32 **	2.31 **	0.83	10.40		
21	3	13	0.38	0.34	2.44 **	-0.65	0.63	10.15		
22	3	14	0.56	0.37	1.24 **	0.09	0.35	10.19		
23	3	15	-0.80	0.33	1.30 **	-0.27	0.17	10.23		
24	4	5	0.18	1.52	-0.15	0.39	-0.27	9.78		
25	4	6	-1.46 *	1.15	-1.46 **	-3.45 **	-1.88 **	9.17		
26	4	7	1.46 *	1.57	0.35	1.42 *	1.20	10.88		
27	4	8	1.21	0.15	-0.33	1.39 *	0.53	10.68		
28	4	10	1.05	0.22	4.13 **	-3.56 **	0.46	10.26		
29	4	11	0.83	1.19	-1.83 **	-4.84 **	-1.76 **	8.52		
30	4	12	-1.98 **	1.34	1.55 **	-0.07	-0.46	9.27		
31	4	13	-1.31	1.02	-0.09	0.74	0.09	9.77		
32	4	14	0.00	0.77	0.53	2.76 **	0.99	10.99		
33	4	15	-0.33	0.76	0.37	1.96 **	0.72	10.94		
34	5	6	0.19	1.27	-0.52	1.82 **	0.70	11.33		
35	5	7	-0.64	0.74	-2.48 **	-0.85	-1.17	8.10		
36	5	8	0.89	0.09	-0.26	1.22	0.49	10.24		
37	5	10	-0.03	0.48	-0.50	0.05	0.01	9.40		
38	5	11	1.13	0.21	-0.59	2.76 **	0.89	10.75		
39	5	12	2.08 **	0.64	1.72 **	-0.03	1.11	10.43		

entry	MALE	FEMALE	SCA						Hasil				
			N.Penerogo	N.Balang	LN.Balang	DP.balang	Gebung	Gebungan					
40	5	13	0.35	0.12	0.87	*	0.36	0.43	9.70				
41	5	14	-0.52	0.12	0.28		-0.74	-0.03	9.56				
42	5	15	-1.93	**	0.74	0.67	-0.88	-0.67	9.14				
43	6	7	-0.61		1.00	0.16	1.05	0.40	10.67				
44	6	8	0.65		1.59	1.61	**	0.27	0.23	10.98			
45	6	10	-0.83		1.94	*	-0.42	0.07	0.19	10.58			
46	6	11	-0.59		1.08		1.39	**	-0.73	-0.25	10.61		
47	6	12	-0.14		1.93	*	-1.81	**	1.75	*	-0.53	9.79	
48	6	13	-0.19		0.32		2.08	**	-0.47	0.27	10.54		
49	6	14	-1.23		0.24		-1.84	**	-0.08	-0.75	9.84		
50	6	15	2.04	**	0.26	-1.06	*	1.02	0.47	11.28			
51	7	8	1.55	*	0.25	-1.42	**	-1.30	-0.23	9.15			
52	7	10	-0.30		1.34		1.47	**	1.53	*	0.34	9.37	
53	7	11	-0.57		1.87	*	0.92	*	-0.21	0.50	10.00		
54	7	12	-0.71		2.06	*	1.08	*	-0.11	-0.45	8.50		
55	7	13	-0.60		0.50		-0.46	0.47	-0.03	8.88			
56	7	14	-0.56		1.02		-1.06	*	1.09	0.10	9.32		
57	7	15	1.25		0.48		-0.64		-3.68	**	-0.86	8.59	
58	8	10	0.40		0.27		-0.42		-2.64	**	-0.73	8.77	
59	8	11	0.18		0.37		0.90	*	1.30	0.69	10.66		
60	8	12	-0.55		3.03	**	-1.52	**	1.19	0.54	9.96		
61	8	13	-2.25	**	1.11		-0.62		-0.66	-0.61	8.77		
62	8	14	-0.20		2.36	*	1.50	**	0.39	-0.19	9.51		
63	8	15	-2.59	**	1.10		-1.57	**	-1.49	*	-1.65	**	8.26
64	10	11	-0.64		0.73		-0.74		-0.46	-0.28	9.35		
65	10	12	0.94		1.17		-0.69		1.59	*	0.17	9.24	
66	10	13	-0.33		1.49		-1.65	**	0.67	-0.70	8.32		
67	10	14	-0.30		1.28		-1.47	**	-1.30	-0.47	8.88		
68	10	15	0.89		0.18		1.51	**	0.80	0.88	10.44		
69	11	12	0.63		0.60		-0.79		-1.35	-0.23	9.32		
70	11	13	0.23		1.70		-1.41	**	1.52	*	-0.34	9.16	
71	11	14	1.02		1.77		2.50	**	0.01	1.30	*	11.12	
72	11	15	-0.54		0.61		0.20		-1.35	-0.24	9.80		
73	12	13	0.25		1.51		1.23	**	-2.43	**	0.14	9.09	
74	12	14	-1.27		2.19	*	-0.29		-2.58	**	-1.61	*	7.67
75	12	15	-0.55		0.31		1.47	**	1.17	0.47	9.97		
76	13	14	0.92		0.40		-0.62		-0.42	-0.16	9.07		
77	13	15	1.76	*	0.78		-2.00	**	-0.16	-0.26	9.18		
78	14	15	0.35		0.16		-0.48		1.65	*	0.35	10.11	

Efek SCA menggambarkan interaksi non-aditif antara kombinasi tetua Jantan dan betina pada lingkungan tertentu, yang mencerminkan dampak spesifik dari kombinasi genetik tersebut terhadap hasil. Efek positif menunjukkan bahwa kombinasi jantan-betina memberikan hasil yang baik, sementara efek negatif mengindikasikan hasil yang lebih rendah. Nilai signifikansi efek SCA dibagi menjadi dua kategori: pertama, efek dengan nilai $p < 0.05$ yang menunjukkan signifikansi efek kombinasi tersebut dibandingkan dengan rata-rata, dan kedua, efek dengan nilai $p < 0.01$ yang menandakan adanya signifikansi yang sangat tinggi (Falconer & Mackay, 1996). Kombinasi dengan efek SCA positif yang konsisten di banyak lokasi menjadi kandidat potensial untuk pengembangan lebih lanjut, karena menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih baik pada berbagai kondisi lingkungan (Smith et al., 2018 ; Zhang et al., 2021).

Efek gabungan (Combine) menunjukkan nilai rata-rata dari seluruh efek SCA untuk setiap kombinasi jantan-betina di berbagai lokasi. Kombinasi dengan efek gabungan positif menunjukkan hasil yang baik secara keseluruhan, sementara yang memiliki efek gabungan negatif cenderung menunjukkan performa yang kurang baik. Selain itu, hubungan antara SCA dan hasil biji menunjukkan bahwa kombinasi dengan efek SCA positif pada lokasi dengan lingkungan sering kali menghasilkan yield tinggi, seperti kombinasi persilangan 6 x 3 yang memberikan hasil sebesar 11.83 t/ha. Sebaliknya, kombinasi dengan efek SCA negatif, seperti persilangan galur 5 x 3 memberikan hasil yang lebih rendah (8.05 t/ha), yang mengindikasikan bahwa faktor interaksi genetik-lingkungan memainkan peran penting dalam pencapaian hasil yang optimal (Crosbie et al., 2020 ; Kandel, 2020). Berdasarkan analisis gabungan tersebut kombinasi persilangan galur 6 x 3, 14 x 4, 12 x 5 menunjukkan efek gabungan positif dan hasil yang tinggi, sehingga dapat menjadi prioritas untuk pengembangan lebih lanjut. Sebaliknya, kombinasi seperti persilangan galur 5 x 3, dan 13 x 8 dengan efek gabungan dan hasil yang rendah, efektivitasnya lebih rendah.

2.4. Kesimpulan.

1. Interaksi antara lokasi dengan kemampuan daya gabung umum (GCA) dan daya gabung khusus (SCA) menunjukkan bahwa performa genotipe dipengaruhi oleh lingkungan, sehingga seleksi genotipe harus mempertimbangkan kondisi lingkungan spesifik.
2. Genotipe HDMT 52 menunjukkan nilai GCA positif tinggi di berbagai lingkungan, baik normal maupun stres, yang mengindikasikan stabilitas hasil yang konsisten. Genotipe AVLN 118 dan Mpop 27 juga menunjukkan performa unggul pada kondisi tertentu, menjadikannya kandidat potensial untuk program pemuliaan.
3. Kombinasi persilangan galur seperti 6 x 3, 14 x 4, dan 12 x 5 menunjukkan efek gabungan positif dan hasil tinggi, sehingga dapat diprioritaskan untuk pengembangan lebih lanjut, sedangkan kombinasi seperti 5 x 3 dan 13 x 8 dengan hasil rendah lebih efektif untuk dihindari.
4. Kombinasi genotipe dengan efek SCA positif menghasilkan yield tinggi dan menunjukkan adaptasi baik di berbagai lokasi. Sebaliknya, kombinasi dengan efek SCA negatif menunjukkan hasil yang lebih rendah, sehingga kurang sesuai untuk pengembangan varietas unggul.

Daftar Pustaka

- Akinwale, R. O., Badu-Apraku, B., Fakorede, M. A. B., & Vroh-Bi, I. (2014). Heterotic grouping of tropical early-maturing maize inbreds and hybrids under contrasting environments. **Euphytica**, 200(2), 389–401. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1160-5>
- Beck, D. L., Vasal, S. K., & Crossa, J. (1990). Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize (*Zea mays* L.) germplasm. *Maydica*, 35(3), 279–285.
- Cruz, C. D. (1997). **Principles of Diallel Analysis**. UFV Press.
- Cruz, C. D., & Regazzi, A. J. (1997). *Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético*. Viçosa: UFV.
- Duvick, D. N. (2005). The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, 86, 83–145.
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics* (4th ed.). Longman.
- Gama, E. E. G., Miranda, G. V., & Oliveira, L. C. (2021). Combining ability and heterosis in maize hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 21(1), e39482130. <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n1a0>
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, 9(4), 463–493. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>
- Hallauer, A. R., & Miranda, J. B. (1988). *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. Iowa State University Press.
- Hallauer, A. R., Carena, M. J., & Miranda Filho, J. B. (2010). **Quantitative Genetics in Maize Breeding** (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0>
- Kandel, S. S. (2020). "The role of genetic diversity in maize yield improvement under variable environmental conditions." *Crop Science*, 60(5), 2108–2119.
- Kenga, R., Alabi, S. O., & Gupta, S. C. (2004). Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Field Crops Research**, 88(2-3), 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.004>

- Liu, Z. (2017). "Genetic stability and environmental adaptability of maize hybrids in China." *Journal of Agricultural Science*, 155(6), 921-934.
- Miranda, G. V., Souza, L. V., Guimarães, L. J. M., Namorato, H., & Rezende, W. P. (2008). Heterotic groups in tropical maize. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 8(1), 17–23. <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v08n01a03>
- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (2015). **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. Kalyani Publishers.
- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (2015). *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. Kalyani Publishers.
- Smith, H. A., et al. (2018). "Genotype × Environment interactions for maize performance." *Euphytica*, 214(8), 148.
- Sprague, G. F., & Tatum, L. A. (1942). General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, 34(10), 923–932. <https://doi.org/10.2134/agronj1942.00021962003400100008x>
- Viana, J. M. S., & Almeida, L. B. (2012). Diallel analysis: Quantitative genetics and breeding applications. **Crop Science**, 52(6), 2312–2319. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.02.0120>
- Xu, P. (2022). "Assessing the genetic and environmental influences on maize yield under different planting systems." *Field Crops Research*, 272, 108308.

BAB III

EVALUASI DAYA HASIL PENDAHULUAN JAGUNG HIBRIDA HASIL PERSILANGAN DIALIL PADA PEMUPUKAN N RENDAH DAN POPULASI PADAT

Abstrak

Cekaman lingkungan merupakan tantangan utama dalam produksi jagung yang secara signifikan menghambat pertumbuhan dan hasil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi daya hasil pendahuluan jagung hibrida hasil persilangan dialil pada kondisi cekaman N rendah dan populasi padat. Penelitian dilaksanakan pada musim tanam kedua tahun 2023 di dua lokasi berbeda, yaitu Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, dan Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Materi genetik yang digunakan terdiri dari 78 hibrida hasil silang uji dialil setengah, yang diperoleh pada musim tanam pertama, serta 5 hibrida komersial sebagai benchmark dalam seleksi hibrida terbaik. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok (13 hibrida + 5 Pembanding) dengan 3 perlakuan yaitu; normal, pemupukan N rendah dan populasi padat. Setiap hibrida uji ditanam dalam 2-4 baris, dengan panjang 5 meter dan jarak tanam yang bervariasi sesuai dengan dua cekaman yang diuji (populasi 71.000/ha dan 83.000 tanaman/ha). Tingkat takaran pupuk N: 200 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha, N: 100 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha, N: 371 kg/ha, P: 63 kg/ha, K: 63 kg/ha. Hasil penelitian menunjukkan interaksi yang signifikan antara genotipe (entry) dan lingkungan (env*entry) dengan nilai p-value < 0,0001 dan 0,0006. Pengujian di tiga lingkungan menunjukkan hasil rata-rata: normal 10,45 ton/ha, nitrogen rendah 6,83 ton/ha (turun 36%), dan populasi padat 11,61 ton/ha. Interaksi lokasi dan lingkungan menghasilkan rata-rata 9,84 ton/ha, menekankan pentingnya adaptasi genotipe dan pengaruh lingkungan spesifik. PCA mengidentifikasi lima dimensi utama dengan nilai eigen >1, menjelaskan 68,81% varians total. Analisis MGIDI mengidentifikasi sepuluh genotipe toleran populasi padat, yaitu H12, H80, H50, H10, H13, H77, H2, H9, dan H38. Sedangkan pada perlakuan N rendah diperoleh 12 genotype terpilih diantaranya H10, H80, H12, H68, H77, H2, H33, H8, H47, H70, H9, H38

Kata kunci: Cekaman N rendah, populasi tinggi, jagung hibrida, morfo-fisiologi.

3.1. Pendahuluan.

Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas suatu tanaman adalah melalui penggunaan varietas yang unggul untuk mendapatkan varietas unggul maka harus melalui program pemuliaan tanaman. Evaluasi daya hasil pendahuluan adalah proses penting dalam program pemuliaan tanaman, dimana merupakan langkah kunci dalam memastikan bahwa tanaman yang dihasilkan dari kegiatan pemuliaan memiliki potensi untuk memberikan hasil yang baik dan dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Proses ini memerlukan pemahaman yang mendalam tentang genetika tanaman dan metode evaluasi yang baik untuk menghasilkan varietas unggul yang memenuhi kebutuhan pertanian dan masyarakat.

Populasi padat pada tanaman jagung seringkali diterapkan untuk meningkatkan hasil per satuan luas lahan. Namun, peningkatan kepadatan populasi dapat memicu kompetisi antar tanaman, khususnya dalam hal sinar matahari, air, dan nutrisi, yang berpotensi mengurangi hasil jika tidak diimbangi dengan adaptasi genetik yang tepat. Menurut Tokatlidis dan Koutroubas (2004), penanaman jagung dengan populasi padat membutuhkan toleransi yang tinggi terhadap kompetisi internal, termasuk dalam hal kemampuan efisien untuk memanfaatkan sumber daya. Hal ini dapat diwujudkan melalui karakteristik morfologi dan fisiologi tertentu, seperti arsitektur daun yang lebih tegak, sistem akar yang dalam, dan efisiensi penggunaan air dan nutrisi. Aspek penting dalam pemuliaan untuk populasi padat adalah penyesuaian karakter tanaman, seperti tinggi tanaman yang moderat untuk mengurangi risiko rebah, serta ukuran daun dan distribusi biomassa yang mendukung efisiensi fotosintesis (Hammer et al., 2009). Assefa et al. (2018) juga menemukan bahwa jagung yang ditanam pada populasi padat memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik dengan pengaturan distribusi biomassa yang lebih optimal dan peningkatan indeks panen, yang pada akhirnya memaksimalkan hasil biji.

Lebih lanjut, adaptasi terhadap populasi padat juga terkait dengan strategi tanaman dalam mengalokasikan energi pada komponen hasil seperti jumlah baris biji per tongkol dan panjang tongkol. Dengan memaksimalkan karakter-karakter ini, jagung dapat mempertahankan potensi hasilnya meskipun berada dalam kondisi kompetisi intensif. Oleh karena itu, pendekatan seleksi genetik terhadap karakter adaptif dalam populasi padat menjadi penting untuk pengembangan varietas yang mampu berproduksi tinggi dalam kondisi agronomi modern (Rossini et al., 2011).

Pengembangan genotipe jagung yang toleran terhadap cekaman populasi padat dan nitrogen rendah merupakan tantangan

penting dalam upaya meningkatkan hasil dan ketahanan tanaman di lingkungan sub-optimal. Populasi padat pada tanaman jagung seringkali diterapkan untuk meningkatkan hasil per satuan luas lahan. Namun, peningkatan kepadatan populasi dapat memicu kompetisi antar tanaman, khususnya dalam hal sinar matahari, air, dan nutrisi, yang berpotensi mengurangi hasil jika tidak diimbangi dengan adaptasi genetik yang tepat.

Selain cekaman populasi padat, cekaman nitrogen rendah juga banyak dijumpai di lapangan. Cekaman N rendah mengakibatkan gangguan pada proses metabolisme penting yang berdampak pada pertumbuhan dan hasil. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karakter seperti tinggi tanaman, indeks daun, dan arsitektur akar berperan penting dalam menentukan toleransi tanaman jagung pada kondisi cekaman ini (Cairns et al., 2012). Oleh karena itu, pendekatan seleksi genotipe yang mempertimbangkan respons tanaman terhadap populasi padat dan nitrogen rendah menjadi penting untuk identifikasi varietas jagung yang adaptif dan produktif di berbagai kondisi lingkungan.

Pada kondisi status nitrogen dalam tanah rendah, efektivitas pemanfaatan nitrogen menjadi faktor kunci yang menaikkan produktivitas jagung. Genotipe yang memiliki efisiensi tinggi dalam penyerapan dan penggunaan nitrogen dapat mencapai hasil yang lebih tinggi meskipun berada dalam kondisi cekaman N rendah (Bänziger et al., 1999). Selain itu, tanaman yang beradaptasi dengan baik pada populasi padat dan nitrogen rendah biasanya memiliki sistem perakaran yang lebih luas dan efisien, serta karakter agronomi lainnya seperti laju transpirasi yang lebih rendah untuk mengurangi hilangnya air (Monneveux et al., 2006). Dengan mengidentifikasi dan memilih genotipe yang menunjukkan kombinasi karakter tersebut, para peneliti dapat mengembangkan varietas jagung yang lebih tahan terhadap berbagai cekaman abiotik, sehingga mendukung produktivitas yang stabil dalam jangka panjang di berbagai kondisi lahan pertanian.

Evaluasi genotipe jagung untuk identifikasi karakter morfologis dan fisiologis yang berpengaruh terhadap hasil jagung penting dilakukan bukan hanya pada kondisi optimal saja namun juga pada kondisi cekaman abiotik seperti kekeringan, N rendah, populasi padat dan lain-lain (Liu dan Qin, 2021). Pertimbangan lain dalam pemilihan varietas jagung adalah preferensi konsumen dan industri. Seleksi jagung dengan menggunakan berbagai karakter dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih efisien dengan mempertimbangkan nilai ekonomi dari karakter yang diinginkan (Dermail et al., 2022). Olivoto dan Nardino (2021) memperkenalkan indeks jarak multi trait genotype-ideotype (MGIDI), yang memilih genotipe yang sesuai berdasarkan informasi dari beberapa karakter. Penelitian ini bertujuan untuk a) mengevaluasi

tanggapan genotipe jagung pada kondisi tanah optimum dan cekaman populasi padat serta nitrogen rendah, b) menentukan tingkat korelasi antar karakter dan sejumlah indeks toleransi, dan c) memprediksi respons seleksi berdasarkan berbagai karakter menggunakan pendekatan multi trait selection (MGIDI).

3.2. Metode Penelitian

Kegiatan evaluasi daya hasil pendahuluan hibrida hasil silang dialel dilaksanakan pada musim tanam kedua (MT. 2), 2023 di Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa dan Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Materi genetik yang digunakan 78 hibrida hasil silang uji setengah dialil, yang diperoleh pada musim pertama ditambah 5 hibrida komersial sebagai pembanding dalam seleksi hibrida terbaik. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dua ulangan (13 hibrida + 5 Pembanding) dengan 3 perlakuan yaitu; normal, pemupukan N rendah dan populasi padat. Setiap hibrida uji ditanam 2-4 baris dengan panjang 5 m dan jarak tanam 70 x 20 cm untuk populasi 71.000/ha dan 60 x 20 cm untuk populasi 83.000 tanaman/ha. Tingkat takaran pupuk adalah:

Normal = N: 200 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha

Low N = N: 100 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha

Populasi Padat = N: 371 kg/ha, P: 63 kg/ha, K: 63 kg/ha

Lima sampel tanaman dikumpulkan dari setiap genotipe untuk analisis data fenotipik. Karakter yang diamati meliputi umur berbunga Jantan (DTS), umur berbunga betina (DS), umur panen (MT), orientasi daun (LO), tinggi tanaman/PH (cm), diukur dari permukaan tanah ke node yang menampung daun bendera, tinggi letak tongkol/EH (diukur dari permukaan tanah ke node yang menampung tongkol tertinggi), diameter batang/SD (mm, diukur pada node pertama), sudut daun (LA), panjang tongkol (EL), hasil biji/GY, dengan perhitungan menggunakan persamaan yang dibuat oleh CIMMYT (2004): aspek tongkol/EA (skor dari satu, sangat baik hingga lima, sangat buruk), rendemen biji (SP), diameter batang (SD), diameter tongkol (ED), interval anthesis-silking (ASI). Untuk aspek fisiologi tanaman meliputi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) diukur dengan menggunakan alat green Seeker, klorofil daun (diukur menggunakan SPAD meter Minolta Tokyo), stay green, tingkat penuaan daun (skor 1 - 10), serta indels luas daun, diukur menggunakan PAR (Photosynthetically Active Radiation) meter.

Analisis data menggunakan Anova untuk memahami efek utama genotipe dan lingkungan serta efek interaksi. Indeks toleransi, peringkat genotipe, dan indeks genotipe × toleransi digunakan untuk menentukan indeks yang sesuai dalam pemilihan genotipe, termasuk indeks toleransi (stres (STI) (Fernandez, 1992).

Korelasi Pearson membantu menjelaskan hubungan antara hasil dalam kondisi dan indeks toleransi. Indeks jarak multi trait genotype-ideotype (MGIDI) digunakan untuk memilih genotipe dalam kondisi tanah asam optimal (Olivoto dan Nardino, 2021). Karakter seleksi yang digunakan meliputi 20 aspek morfologi dan fisiologi tanaman. Hasil biji diberi bobot satu, sedangkan karakter lainnya juga di beri bobot satu. Penilaian kekuatan dan kelemahan setiap genotipe didasarkan pada proporsi nilai indeks MGIDI genotipe yang dijelaskan oleh karakter seleksi.

Paket perangkat lunak yang digunakan untuk analisis statistik adalah SAS OnDemand for Academics (welcome.oda.sas.com), RStudio (R versi 4.1.2), dan Microsoft Excel. SAS OnDemand for Academics digunakan untuk analisis varians, dan Microsoft Excel digunakan untuk perhitungan lanjutan estimasi varians, heritabilitas, dan indeks toleransi. R Studio digunakan untuk membuat plot PCA, korelasi dan clustering dengan paket R (Ligges dan Maechler, 2003), dan untuk analisis korelasi, genotipe $\times$ indeks toleransi, MGIDI, dan seleksi diferensial dengan paket R “metan” (versi 1.18.0) (Olivoto dan Lúcio, 2020).

3.3. Hasil dan Pembahasan.

3.3.1. Analisis Sifat Fisik dan Kimia Tanah.

Analisis tanah pada tiga lokasi (KP. Balitsereal, KP. Bajeng, dan Ponorogo) menunjukkan perbedaan karakteristik yang signifikan. Dari segi tekstur tanah, KP. Balitsereal memiliki tekstur lempung berdebu dengan kandungan pasir 36%, debu 45%, dan liat 19%. Tekstur ini memberikan keseimbangan aerasi dan drainase yang baik. KP. Bajeng, dengan dominasi debu (50%) dan pasir (40%), dan liat 10%, menunjukkan tekstur mendekati lempung berpasir yang cenderung cepat kering tetapi memiliki drainase yang baik. Sementara itu, Ponorogo dengan kandungan liat 54% menunjukkan tekstur tanah liat yang mampu menahan air dan nutrisi lebih baik, tetapi aerasi tanahnya relatif lebih rendah.

Tabel 6. Hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah.

No.	Kode Contoh	Pasir	Tekstur		Liat	pH (1 : 2,5)		Bahan Organik			Ekstrak HCl 25%		Olsen/Bray	
			Debu	%		H2O	KCL	C	N	C/N	P2O5	K2O	P2O5	K2O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	KP. Balitsereal	36	45	19	6,19	4,8	1,18	0,16	7	89	43	136	144	
2	Bajeng	40	50	10	5,62	4,52	0,98	0,14	7	56	144	114	146	
3	Ponorogo	31	15	54	6,4	5,24	1,27	0,13	10	34	24	24	117	

Dari segi pH tanah, Ponorogo memiliki nilai pH H₂O 6,4 yang mendekati netral, menunjukkan tingkat keasaman yang paling ideal dibandingkan dua lokasi lainnya. KP. Balitsereal dan Bajeng memiliki pH air masing-masing 6,19 dan 5,62, yang cenderung lebih asam. Ponorogo juga unggul dalam kandungan bahan organik, dengan kadar karbon (1,27%) dan nitrogen (0,13%) tertinggi serta rasio C/N sebesar 10, menunjukkan tingkat kesuburan tanah yang baik. Sebaliknya, Balitsereal dan Bajeng memiliki rasio C/N sebesar 7, yang menunjukkan bahan organik mudah terurai tetapi dengan kandungan relatif lebih rendah.

Kandungan hara makro menunjukkan keunggulan masing-masing lokasi. KP. Balitsereal memiliki kandungan P₂O₅ tertinggi pada ekstrak HCl (89 mg/100 gram) dan P₂O₅ yang cukup tinggi berdasarkan metode Olsen/Bray (136 ppm). Bajeng unggul dalam kandungan K₂O, dengan nilai tertinggi pada ekstrak HCl (144 mg/100 gram) dan metode Olsen/Bray (146 ppm). Namun, Ponorogo menunjukkan kandungan hara P₂O₅ dan K₂O yang jauh lebih rendah dibandingkan dua lokasi lainnya, dengan nilai P₂O₅ sebesar 34 mg/100 gram (HCl) dan 24 ppm (Olsen/Bray), serta K₂O sebesar 24 mg/100 gram (HCl) dan 117 ppm (Olsen/Bray).

Perbandingan kelebihan dan kekurangan KP. Balitsereal unggul dalam keseimbangan tekstur tanah, kandungan P₂O₅ yang tinggi, serta tingkat keasaman yang moderat, menjadikannya lokasi dengan kesuburan tanah yang baik. Namun, bahan organiknya tidak setinggi Ponorogo. Bajeng memiliki keunggulan pada kandungan K₂O yang tinggi dan tekstur yang mendukung drainase, tetapi pH-nya lebih asam dan bahan organiknya juga rendah. Di sisi lain, Ponorogo unggul dalam kandungan bahan organik dan tekstur liat yang mendukung retensi air dan nutrisi, tetapi kandungan hara makronya (P₂O₅ dan K₂O) sangat rendah sehingga membutuhkan tambahan pupuk untuk mendukung produktivitas.

Tabel 7. Kondisi iklim di lokasi pengujian UDHP Bajeng dan Ponorogo, 2023.

No.	Iklim	Kabupaten							
		Gowa				Ponorogo			
		Tahun 2023							
		Agust	Sept	Okt	Nov	Agust	Sept	Okt	Nov
1	Suhu (°C)	27-33	27-33	27-32	25-30	22-23	23-31	24-32	24-32
2	Kelembaban (%)	35	35	40	40	57	65	85	85
3	Curah Hujan (mm)	8	11	40	100	17,7	36,4	156,6	156,6
4	Kecepatan Angin (km/jam)	14.5	11.8	11.8	7.5	12	14	15	16

Pada uji daya hasil pendahuluan di Kabupaten Gowa dan Ponorogo pada tahun 2023, kondisi iklim menunjukkan pola yang mempengaruhi pengelolaan tanaman jagung. Pada fase awal pertumbuhan (vegetatif), yang berlangsung dalam 40-50 hari pertama setelah tanam, suhu relatif tinggi (27-33°C di Gowa dan 22-31°C di Ponorogo) dengan kelembaban rendah di Gowa (35-40%), sementara Ponorogo memiliki kelembaban yang lebih tinggi (57-65%). Curah hujan masih minim di Gowa (8-40 mm) dibandingkan dengan Ponorogo yang lebih tinggi (17.7-36.4 mm), sehingga di Gowa perlu dilakukan pemberian air secara berkala setiap 1-2 minggu untuk mencegah tanaman dari cekaman kekeringan. Memasuki fase generatif, sekitar Oktober hingga November, curah hujan mulai meningkat signifikan, terutama di Ponorogo yang mencapai 156.6 mm, sementara Gowa juga mengalami peningkatan hingga 100 mm. Peningkatan kelembaban yang mencapai 85% di Ponorogo dan 40% di Gowa pada periode ini dapat berdampak pada pengisian biji. Pada fase menjelang masak fisiologis, penurunan suhu dan peningkatan curah hujan mempengaruhi pengeringan kelobot sehingga diperlukan pengeringan setelah fase panen untuk menjaga kualitas hasil panen.

3.3.2. Analisis Varians.

Hasil analisis varians menunjukkan bahwa faktor lingkungan (env) berpengaruh sangat signifikan terhadap variasi karakter yang diamati, dengan nilai F sebesar 382,49 dan tingkat signifikansi < 0,0001. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan kondisi lingkungan secara signifikan mempengaruhi penampilan genotipe jagung yang diuji. Faktor lingkungan sering kali memberikan kontribusi besar terhadap ekspresi karakter agronomis, terutama dalam penelitian jagung yang peka terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti ketersediaan air, nutrisi, dan intensitas cahaya. Signifikansi ini juga menegaskan perlunya mempertimbangkan

pengaruh lingkungan dalam pemilihan genotipe unggul yang stabil di berbagai kondisi.

Tabel 8. Analisis varians interaksi gneotipe dengan lingkungan.

	DF	Tipe III		F Nilai	Pr > F	
		SS	Kuadrat Rata2			
env		3	1185.949329	395.316443	382.49	<.0001
block(env)		16	48.548563	3.034285	2.94	0.0004
entry		81	277.573691	3.426836	3.32	<.0001
env*entry		243	422.40318	1.738285	1.68	0.0006
Error		126	130.22402	1.033524		
Corrected Total		469	2359.703724			

Tabel 9. Rata-rata hasil jagung pada tiga lingkungan di dua lokasi pengujian.

No	Hibrida	Hasil (t/ha)				
		Ponorogo		Bajeng		Gabungan
		NN	NN	LN	PD	lok & env
1	H01	9.66	9.82	3.74	9.64	8.21
2	H02	11.74	11.07	5.28	12.94	10.25
3	H03	10.59	10.15	8.42	12.78	10.48
4	H04	12.27	13.18	7.31	12.72	11.37
5	H05	10.15	7.70	8.28	12.48	9.65
6	H06	10.68	11.08	8.94	11.81	10.63
7	H07	10.16	9.56	5.84	13.97	9.88
8	H08	10.76	10.23	7.27	14.62	10.72
9	H09	10.96	11.99	6.05	10.41	9.85
10	H10	11.22	9.81	7.08	13.15	10.31
11	H11	12.05	10.38	7.21	11.25	10.22
12	H12	11.77	10.91	6.91	14.14	10.93
13	H13	11.84	11.76	5.97	14.30	10.97
14	H14	9.06	9.47	5.30	8.38	8.05
15	H15	13.39	12.93	9.40	11.59	11.83
16	H16	10.48	11.17	5.84	11.87	9.84
17	H17	10.87	10.82	6.94	13.57	10.55
18	H18	10.71	10.19	5.75	12.58	9.81
19	H19	10.20	9.16	4.65	13.99	9.50

20	H20	11.91	11.15	4.88	13.67	10.40
21	H21	10.68	10.15	8.80	10.96	10.15
22	H22	11.22	9.60	8.25	11.71	10.19
23	H23	10.38	10.89	7.51	12.14	10.23
24	H24	11.51	8.66	7.02	11.93	9.78
25	H25	10.93	10.74	6.76	8.24	9.17
26	H26	12.56	11.59	7.16	12.20	10.88
27	H27	12.28	10.28	7.34	12.83	10.68
28	H28	12.57	10.16	11.33	7.00	10.26
29	H29	12.80	9.38	5.20	6.71	8.52
30	H30	9.45	8.40	8.78	10.45	9.27
31	H31	9.71	10.55	7.30	11.51	9.77
32	H32	11.39	10.46	8.57	13.55	10.99
33	H33	11.57	11.05	7.61	13.54	10.94
34	H34	11.64	12.63	6.91	14.16	11.33
35	H35	9.53	8.75	3.55	10.58	8.10
36	H36	11.01	10.00	6.63	13.31	10.24
37	H37	10.54	9.89	5.92	11.26	9.40
38	H38	12.15	10.25	5.66	14.96	10.75
39	H39	12.57	9.85	8.16	11.14	10.43
40	H40	10.43	9.13	7.47	11.78	9.70
41	H41	9.59	9.45	7.64	11.55	9.56
42	H42	9.81	9.38	7.21	10.17	9.14
43	H43	10.62	12.20	7.23	12.63	10.67
44	H44	11.84	10.02	9.54	12.51	10.98
45	H45	10.80	13.06	7.04	11.43	10.58
46	H46	11.49	10.67	8.68	11.62	10.61
47	H47	11.41	8.99	5.68	13.07	9.79
48	H48	10.96	10.40	9.72	11.10	10.54
49	H49	10.28	11.12	6.46	11.51	9.84
50	H50	14.07	11.22	6.44	13.40	11.28
51	H51	11.45	10.00	5.11	10.03	9.15
52	H52	10.05	7.91	7.53	11.98	9.37
53	H53	10.22	11.75	6.81	11.23	10.00
54	H54	9.54	7.00	7.17	10.30	8.50
55	H55	9.25	9.35	5.78	11.13	8.88
56	H56	9.67	10.03	5.84	11.77	9.32

57	H57	11.98	9.12	5.46	7.79	8.59
58	H58	10.71	9.38	6.50	8.47	8.77
59	H59	10.94	10.66	7.64	13.40	10.66
60	H60	9.67	12.49	5.43	12.26	9.96
61	H61	7.56	10.37	6.48	10.66	8.77
62	H62	9.99	7.06	9.25	11.73	9.51
63	H63	8.11	8.92	5.38	10.64	8.26
64	H64	10.56	10.52	5.54	10.76	9.35
65	H65	11.60	7.80	5.79	11.78	9.24
66	H66	9.93	7.27	4.98	11.11	8.32
67	H67	10.33	10.20	5.82	9.16	8.88
68	H68	12.03	9.70	7.99	12.05	10.44
69	H69	11.74	10.20	5.52	9.82	9.32
70	H70	10.94	7.70	5.05	12.95	9.16
71	H71	12.10	11.33	9.61	11.45	11.12
72	H72	11.05	10.76	6.51	10.89	9.80
73	H73	10.43	10.08	7.90	7.96	9.09
74	H74	9.28	6.54	7.02	7.83	7.67
75	H75	10.51	9.01	7.98	12.37	9.97
76	H76	11.06	8.12	6.85	10.24	9.07
77	H77	12.41	8.34	4.67	11.30	9.18
78	H78	11.37	9.12	6.84	13.12	10.11
79	ADV 777	9.47	10.46	7.90	12.75	10.15
80	Bisi 18	11.22	10.12	7.40	12.64	10.34
81	Dekalb71	11.81	9.57	7.11	12.18	10.17
82	P 27	8.86	8.55	6.10	11.68	8.80
Rata-rata		10.88	10.01	6.87	11.61	9.84
SE (Hib)		0.72	0.80	1.34	1.14	
SE (Var. Chek)			0.30	0.50	0.42	
CV		9.40	7.34	17.67	11.75	10.17
LSD		2.02	2.36	3.95	3.34	

Selain itu, terdapat interaksi yang signifikan antara genotipe (entry) dan lingkungan (env*entry) dengan nilai F masing-masing 3,32 dan 1,68 serta tingkat signifikansi $< 0,0001$ dan $0,0006$. Interaksi ini menunjukkan bahwa respon genotipe terhadap lingkungan tidak seragam, di mana setiap genotipe mungkin menunjukkan performa yang berbeda di lingkungan yang berbeda.

Hal ini penting dalam konteks pemuliaan karena adanya interaksi ini dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe yang adaptif atau spesifik terhadap lingkungan tertentu. Variasi ini juga menjadi pertimbangan dalam seleksi genotipe yang stabil dan berdaya hasil tinggi pada berbagai kondisi budidaya di lapangan. Rata-rata hasil yang diperoleh pada setiap lingkungan percobaan dapat dilihat pada Tabel 9.

Hasil biji yang diperoleh dari pengujian pada tiga lingkungan (normal, N rendah dan populasi padat) di dua Lokasi dapat dilihat pada Tabel 9. Rata-rata hasil yang diperoleh pada kondisi normal di Lokasi Ponorogo dan Bajeng sebesar 10,88 dan 10,01 ton/ha. Perlakuan nitrogen rendah memberikan dampak signifikan, menurunkan hasil hingga rata-rata 6,83 ton/ha, atau sekitar 36% lebih rendah dari hasil normal, yang menggambarkan pengaruh ketersediaan nitrogen terhadap kinerja hasil. Sebaliknya, kondisi cekaman populasi padat menghasilkan hasil yang sedikit lebih tinggi yaitu 11,61 ton/ha. Hasil ini menunjukkan bahwa beberapa genotipe memiliki karakter adaptif, yang memungkinkan untuk memanfaatkan sumber daya dengan lebih efisien meskipun dalam kondisi penanaman yang lebih padat. Interaksi lokasi dan lingkungan menunjukkan hasil rata-rata 9,84 ton/ha, yang menekankan pentingnya faktor lingkungan spesifik lokasi dalam memodulasi respons terhadap stres.

Hasil analisis gabungan menunjukkan terdapat 25 genotipe dengan rata-rata hasil di atas pembanding terbaik (Bisi 18) yaitu >10,34 t/ha. Lebih lanjut, lima genotipe jagung, yaitu H15, H04, H34, H50, dan H71, memberikan hasil biji yang lebih tinggi dibandingkan varietas pembanding yang digunakan dalam penelitian ini. Genotipe H15 mencatat hasil tertinggi sebesar 11.83 t/ha, diikuti oleh H04 dengan 11.37 t/ha, H34 dengan 11.33 t/ha, H50 dengan 11.28 t/ha, dan H71 dengan 11.12 t/ha. Sebagai pembanding, hasil tertinggi dari varietas komersial adalah Bisi 18 (10.34 t/ha), diikuti oleh Dekalb71 (10.17 t/ha), ADV 777 (10.15 t/ha), dan P27 dengan hasil paling rendah, yaitu 8.8 t/ha.

Keunggulan hasil dari genotipe-genotipe ini mengindikasikan potensi genetik yang superior untuk mendukung produksi jagung yang lebih tinggi. Genotipe H15, yang memiliki hasil tertinggi, mencerminkan keunggulan adaptasi terhadap lingkungan percobaan serta kemampuan untuk memanfaatkan sumber daya lebih efisien dibandingkan varietas pembanding.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa keterbatasan nitrogen merupakan tantangan signifikan bagi hasil tanaman, terutama pada genotipe yang kurang efisien dalam penyerapan hara. Studi lain juga mengungkapkan bahwa peningkatan kepadatan tanaman dapat meningkatkan efisiensi penggunaan ruang dan sumber daya pada

hibrida tertentu, yang pada akhirnya menghasilkan kinerja yang stabil dalam kondisi kepadatan tinggi (Smith et al., 2019; Zhang et al., 2021). Oleh karena itu, untuk kegiatan pemuliaan, sangat penting untuk menyeleksi genotipe yang tidak hanya efisien dalam penyerapan hara tetapi juga memiliki toleransi terhadap kepadatan tinggi. Kombinasi sifat-sifat ini dapat memberikan keuntungan pada lingkungan dengan input nitrogen terbatas atau kepadatan penanaman tinggi, sehingga berkontribusi pada sistem produksi jagung yang tangguh dan produktif.

Hal ini disebabkan oleh kemampuan beberapa genotipe untuk mengembangkan mekanisme adaptif atau fisiologis yang spesifik terhadap kondisi gabungan, seperti efisiensi penggunaan nitrogen yang lebih baik di bawah kondisi padat atau optimisasi distribusi biomassa di lingkungan yang terbatas. Di sisi lain, hasil ini juga dapat mencerminkan bahwa genotipe yang diuji mungkin kurang responsif terhadap peningkatan hasil di kondisi N rendah, sehingga masih perlu adaptasi untuk mempertahankan hasil optimal pada kondisi stres nutrisi yang ekstrim. Penelitian lain menunjukkan bahwa interaksi antara lokasi dan stres lingkungan sering kali menghasilkan variasi hasil yang luas, dan adaptasi genotipe seringkali lebih berperan penting dalam lingkungan yang memberikan tekanan lebih. Hal ini menunjukkan bahwa strategi pemuliaan yang menggabungkan uji multilokasi dengan kombinasi kondisi stres diperlukan untuk memahami kapasitas adaptif penuh genotipe, bukan hanya respons tunggal terhadap stres individu.

3.3.3. Analisis Komponen Utama (PCA) Populasi Padat.

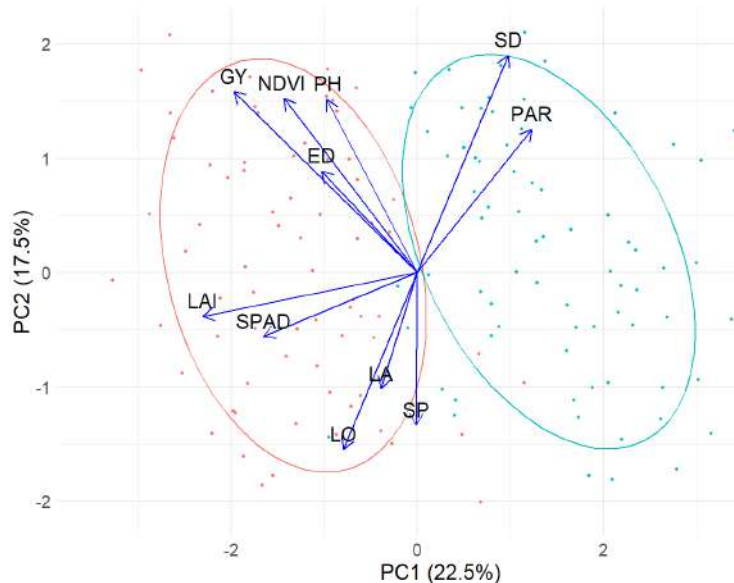
Analisis Komponen Utama digunakan untuk memilih genotipe dari beragam hibrida jagung yang diuji dengan mempertimbangkan berbagai sifat secara simultan. Pada penelitian ini, analisis PCA diterapkan pada 83 hibrida jagung dengan berbagai karakter untuk mereduksi dimensi data serta mengidentifikasi korelasi potensial di antara sifat-sifat yang diukur. Berdasarkan hasil analisis, nilai eigen pada Dimensi 1 mencapai 2,92, dengan besaran proporsi varians yang dapat dijelaskan sebesar 22,49%. Dalam analisis PCA, dimensi dengan nilai eigen lebih dari 1 dianggap memiliki kontribusi penting, yang dalam studi ini meliputi lima dimensi. Dimensi 2 memiliki nilai eigen 2,27, menjelaskan 17,49% dari total varian, diikuti oleh Dimensi 3, Dimensi 4, dan Dimensi 5 yang masing-masing memiliki nilai eigen 1,51, 1,31, dan 1,01 yang mampu berkontribusi sebesar 11,68% , 10,11% dan 7,02% (Tabel 10).

Secara keseluruhan, kelima dimensi ini menjelaskan 68,81% dari total varians, sehingga menjadi kunci untuk memahami hubungan antara 20 karakter yang dianalisis. Dimensi 6 sampai 13

memiliki nilai eigen di bawah 1, yang mengindikasikan kontribusi yang lebih rendah terhadap struktur data dan dianggap kurang signifikan dalam konteks analisis ini. Dengan demikian, karakter tanaman dapat direpresentasikan oleh lima komponen utama, yang memungkinkan penyederhanaan kompleksitas data secara signifikan tanpa kehilangan informasi utama.

Table 10. Nilai Eigen dan varians dari genotype uji.

Dim	Nilai Eigen var	Ragam (%)	Kumulatif ragam (%)
Dim.1	2.924046	22.492661	22.49266
Dim.2	2.2745763	17.496741	39.9894
Dim.3	1.5185622	11.681248	51.67065
Dim.4	1.3152591	10.117378	61.78803
Dim.5	1.0129272	7.022517	68.81054
Dim.6	0.8107356	6.236427	75.04697
Dim.7	0.6903069	5.310053	80.35703
Dim.8	0.6275175	4.827058	85.18408
Dim.9	0.5911611	4.547393	89.73148
Dim.10	0.5103653	3.925887	93.65736
Dim.11	0.4125866	3.173743	96.83111
Dim.12	0.2703184	2.079373	98.91048
Dim.13	0.1416378	1.089522	100

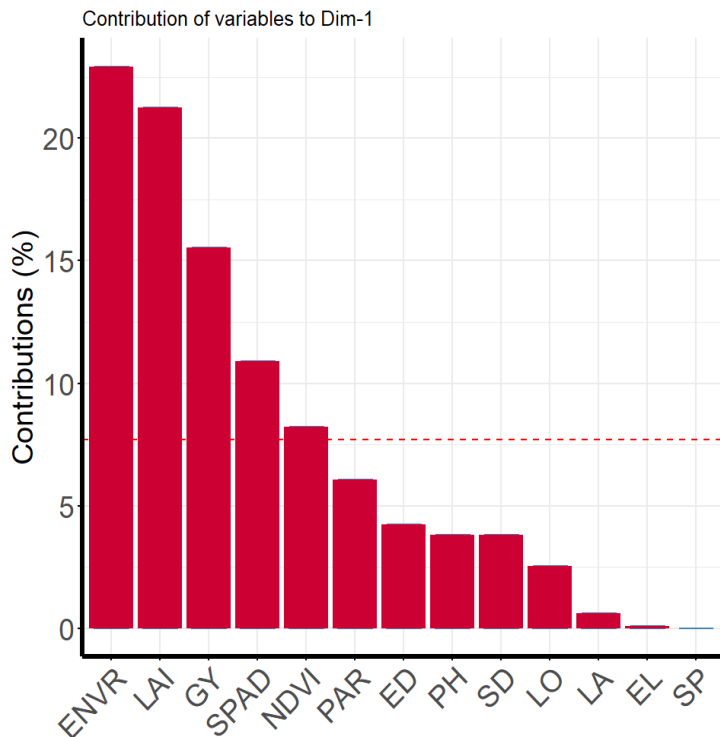


Gambar 3. Biplot analisis dari berbagai karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

Gambar 3 menampilkan biplot PCA genotipe jagung, yang dari lingkaran korelasi yang menggambarkan hubungan antar sifat, serta diagram batang yang menunjukkan varian yang dijelaskan oleh setiap komponen utama. Biplot ini mampu menunjukkan perbedaan yang jelas antara perlakuan normal dan populasi padat, yang mencerminkan adanya perbedaan signifikan dalam respons hibrida terhadap kedua kondisi tersebut. Biplot PCA terdiri dari dua komponen utama dengan nilai tertinggi (PC1: 22,50% dan PC2: 17,50%), yang bersama-sama menjelaskan 40% dari total variasi data.

Pada grafik biplot, distribusi sifat jagung dalam kondisi stres populasi padat tampak terkonsentrasi di sisi kiri, di mana karakter agronomis dan fisiologis serta komponen hasil seperti SPAD, LA, SP, LA, LO, GY, PH, NDVI, LAG, dan EL terkonsentrasi di sisi kiri biplot, dengan asosiasi yang kuat terhadap hibrida dalam kondisi cekaman populasi padat. Posisi variabel GY, NDVI, dan PH, yang berdekatan menunjukkan hubungan hasil biji, tinggi tanaman dan NDVI tanaman dalam kondisi populasi padat. Sementara itu, variabel PAR dan diameter batang (SD) berada di sisi kanan biplot, menunjukkan adanya asosiasi yang lebih kuat dengan hibrida dalam kondisi normal. Hasil penelitian Liu et al. (2015) menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan populasi tanaman jagung

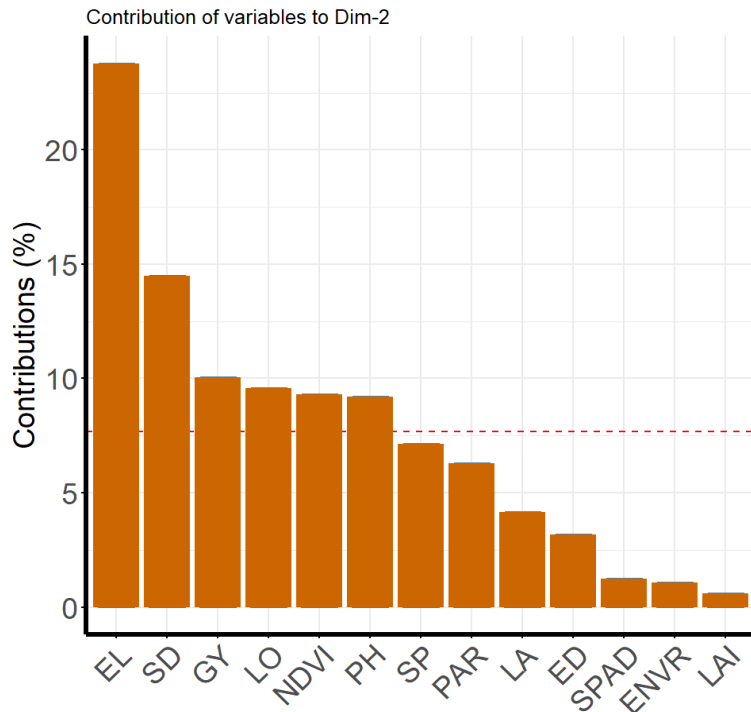
mempengaruhi karakter pertumbuhan seperti tinggi tanaman (PH) dan indeks area daun (LAI), serta menurunkan hasil biji (GY) per tanaman akibat kompetisi sumber daya, yang menunjukkan adanya respon adaptif jagung terhadap cekaman populasi.



Gambar 4. Kontribusi Dim 1 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

Grafik diagram batang kontribusi variabel terhadap Dimensi 1 dalam analisis komponen utama menunjukkan variable lingkungan, LAI dan hasil biji memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 72%. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut adalah faktor yang paling mempengaruhi variasi utama dalam data. Dengan kata lain, variasi di sepanjang Dim-1 terutama dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta karakter agronomis penting seperti luas area daun dan hasil biji, yang kemungkinan menjadi penentu utama dalam membedakan respon tanaman jagung terhadap perlakuan atau kondisi populasi. Sementara itu, pada diagram plot Dim 2, variabel yang berkaitan dengan karakter tongkol seperti panjang tongkol dan hasil biji serta diameter batang tanaman memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 56%. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel

tersebut adalah faktor yang paling memengaruhi variasi utama dalam data. Dengan kata lain, variasi di sepanjang Dim-2 terutama dipengaruhi oleh karakter tongkol dan agronomis tanaman.



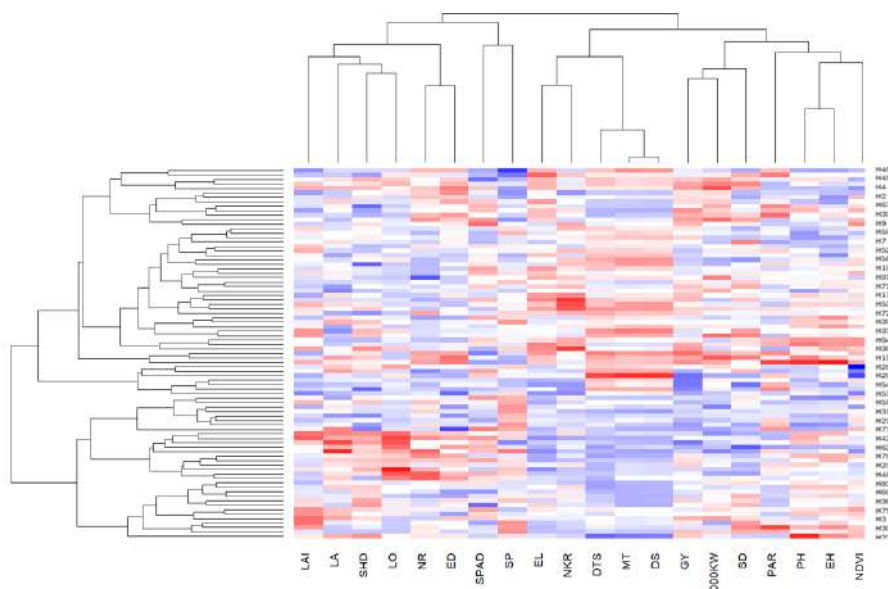
Gambar 5. Kontribusi Dim 2 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

3.3.4. Pengelompokan Galur Hibrida Berdasarkan Toleransi Populasi Padat

Pengelompokan hibrida berdasarkan pendekatan karakter morfologi dan fisiologi tanaman memberikan gambaran tentang kemampuan adaptasi tanaman serta berfungsi sebagai pedoman dalam seleksi hibrida. Gambar 6, memperlihatkan visualisasi heatmap hierarki clustering hubungan antara 83 hibrida jagung dan karakter morfo-fisiologis dalam kondisi cekaman populasi padat. Semakin tinggi nilai tingkat toleransi hibrida, semakin sedikit dampak negatif stres penambahan populasi terhadap masing-masing sifat, dan sebaliknya. Berdasarkan nilai toleransi populasi padat, rentang nilai tertinggi yang berkaitan dengan tingkat hasil biji sebesar 1,69 yang dicatat oleh garis inbrida H60 dan nilai minimum sebesar 0,74

pada genotype H29. Clustering mengelompokkan hibrida menjadi dua kelompok utama: kelompok hibrida yang toleran terhadap stres populasi padat dan kelompok yang peka terhadap populasi padat. Adapun sejumlah genotype dengan nilai tingkat toleransi tinggi terhadap populasi padat (Cluster 1) diantaranya H60, H43, H13, H38, H4, H50, H34, H15, H20 sedangkan genotype dengan nilai tingkat toleransi rendah terhadap populasi padat (Cluster 2) adalah H14, H25, H28, H29, H54, H57, H62, H73, H74, H82.

Hibrida toleran, seperti H60 dan H43 memiliki nilai toleransi yang tinggi pada karakter utama seperti grain yield (GY) serta didukung oleh karakter agronomis, vegetatif, dan fisiologis seperti nilai indeks vegetasi NDVI, umur panen, tinggi tanaman dan orientasi daun. Sebaliknya, hibrida peka seperti H29, H54, H57, menunjukkan nilai toleransi yang rendah pada karakter-karakter tersebut. Namun, pengelompokan hibrida lainnya tidak menjelaskan dengan baik kemampuan adaptasi terhadap populasi padat. Beberapa hibrida menunjukkan penurunan moderat pada GY tetapi masih mampu menjaga karakter vegetatif atau fisiologis, seperti luas daun dan tinggi tanaman sementara hibrida lain dengan GY rendah menunjukkan nilai SPAD yang tetap tinggi. Hal ini menimbulkan potensi bias dalam pemilihan hibrida (Song et al., 2018). Kemampuan untuk mempertahankan pertumbuhan vegetatif seperti PH, EH, dan SD berkontribusi pada distribusi nutrisi yang optimal ke tongkol dan biji (Araujo Rufino et al., 2018; Dodig et al., 2021). Selain itu, kemampuan mempertahankan kandungan klorofil (SPAD) membantu tanaman menjaga kelangsungan fotosintesis yang esensial untuk mendukung pertumbuhan dan pengisian biji (Song et al., 2018; Kandel, 2020). Karakter agronomis seperti EL, ED, dan NKR juga berperan langsung dalam mempertahankan hasil GY yang tinggi di bawah kondisi kekeringan (Gouesnard et al., 2016; Balbaa et al., 2022).



Gambar 6. Heatmap toleransi genotipe jagung hibrida berdasarkan morfo-fisiologi tanaman.

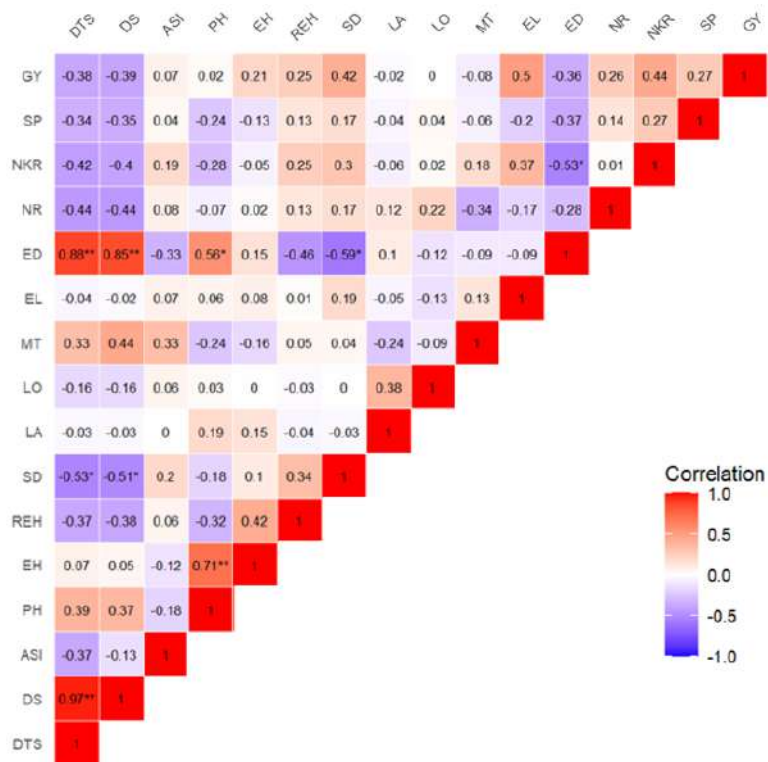
Selanjutnya, pengelompokan berbasis kolom dari 20 karakter yang di analisis menghasilkan dua cluster utama. Cluster pertama mencakup 12 sifat, yang sebagian besar terkait dengan morfologi tanaman dan komponen hasil, diantaranya tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, umur berbunga jantan, umur berbunga betina, umur panen, panjang tongkol dan hasil biji. Adapun kluster kedua terdiri dari 8 sifat yang terkait dengan aspek fisiologi tanaman seperti luas daun, indeks luas daun, orientasi daun, dan SPAD reading.

3.3.5. Analisis Korelasi.

Analisis korelasi antar karakter tanaman pada kondisi normal menunjukkan interaksi kompleks antara fase perkembangan, morfologi tanaman, dan hasil jagung. Korelasi antara umur berbunga jantan (DTS) dan umur berbunga betina (DS) sangat tinggi ($r = 0,97$) menekankan pentingnya sinkronisasi kedua fase ini untuk mencapai potensi hasil optimal (Duvick, 2005). Sinkronisasi tersebut mendukung kelancaran penyerbukan, yang sangat penting untuk pembentukan biji. Selain itu, umur berbunga jantan menunjukkan korelasi positif dengan tinggi tanaman (PH) ($r = 0,39$) (Gambar 7). Namun demikian, terdapat hubungan negatif antara karakter umur berbunga jantan dan diameter batang (SD) ($r = -0,53$) serta hasil biji ($r = -0,38$). Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman dengan batang

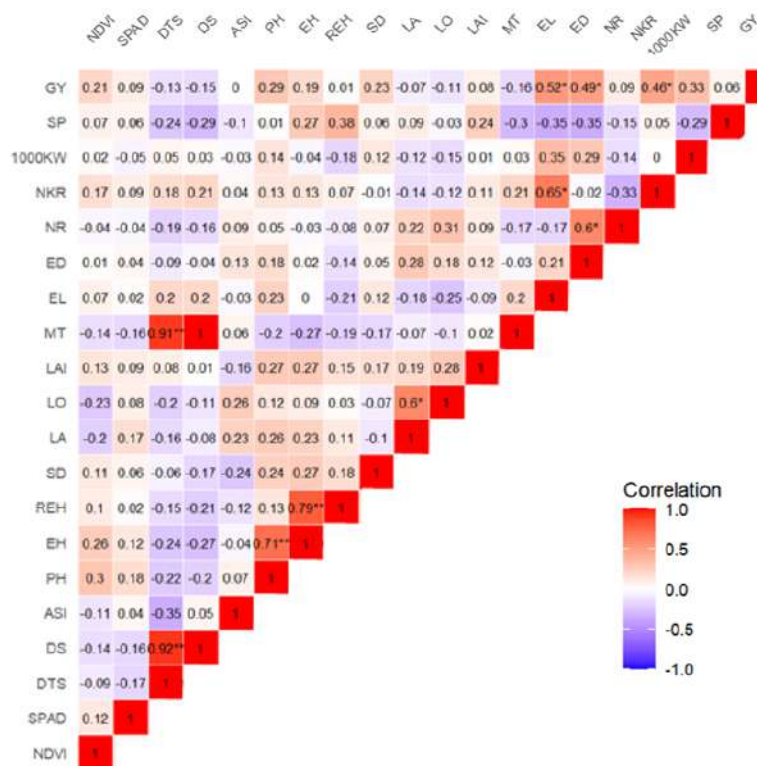
lebih kecil cenderung mengalami perkembangan lebih cepat, namun dengan potensi hasil yang lebih rendah (Bairagi et al., 2018). Umur berbunga betina (DS) berkorelasi positif dengan tinggi tanaman ($r = 0,37$), serta tinggi letak tongkol (EH) ($r = 0,44$). Sebaliknya berkorelasi negatif dengan diameter batang ($r = -0,51$). Tanaman dengan batang lebih kecil cenderung mengalami waktu silking yang lebih cepat, yang mungkin menandakan stres atau pertumbuhan yang kurang optimal (Cohen et al., 2017). DS juga menunjukkan korelasi tinggi dengan diameter tongkol (ED) ($r = 0,85$), menunjukkan bahwa ukuran tongkol yang lebih besar dapat memperlambat waktu silking namun berpotensi mendukung pengisian biji yang lebih baik (Echarte et al., 2000).

Karakter interval anthesis-silking (ASI) menunjukkan korelasi negatif dengan umur berbunga jantan ($r = -0,37$) dan positif dengan umur panen (MT) ($r = 0,33$). Korelasi tinggi tanaman dengan tinggi letak tongkol ($r = 0,71$) dan rasio tinggi letak tongkol terhadap tinggi tanaman (REH) ($r = 0,42$) serta diameter tongkol ($r = 0,56$). Hal ini menunjukkan pentingnya seleksi genotype jagung yang kuat dalam mendukung struktur tongkol yang optimal. Diameter batang (SD) menunjukkan hubungan negatif dengan umur berbunga jantan ($r = -0,53$), umur berbunga betina ($r = -0,51$), dan diameter tongkol ($r = -0,59$), namun berkorelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,42$). Walaupun batang yang lebih kecil dapat mempercepat fase perkembangan, batang yang lebih besar justru mendukung stabilitas tanaman dan potensi hasil yang lebih tinggi (Huang et al., 2020). Luas daun (LA) berkorelasi positif dengan orientasi daun (LO) ($r = 0,38$), menunjukkan bahwa peningkatan area daun berperan penting dalam penangkapan cahaya untuk fotosintesis, yang pada gilirannya mendukung produktivitas tanaman (Huang et al., 2020).



Gambar 7. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi populasi normal.

Dari aspek karakter tongkol, panjang tongkol (EL) memiliki korelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,50$), di mana tongkol yang lebih panjang secara umum dapat meningkatkan jumlah biji yang dihasilkan (Cohen et al., 2017). Sebaliknya, meskipun diameter tongkol berkorelasi positif dengan umur berbunga jantan ($r = 0,85$) dan umur berbunga betina ($r = 0,85$), terdapat korelasi negatif dengan hasil biji ($r = -0,36$), yang mengindikasikan adanya kompromi di mana peningkatan suatu karakteristik atau sifat tanaman cenderung disertai dengan penurunan atau kompromi pada karakteristik (Echarte et al., 2000). Selain itu, jumlah biji per baris (NKR) juga menunjukkan korelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,44$), menekankan pentingnya morfologi tongkol terhadap potensi hasil. Namun, presentase rendemen biji (SP) hanya menunjukkan korelasi positif yang rendah dengan hasil ($r = 0,27$).



Gambar 8. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi cekaman populasi padat.

Sementara itu, pada kondisi cekaman populasi padat, analisis korelasi faktor agronomi dan hasil jagung menunjukkan adanya keterkaitan aspek morfo-fisiologi tanaman dengan tingkat hasil (Gambar 8). Karakter indeks vegetasi (NDVI) menunjukkan korelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,21$). NDVI sendiri merupakan indikator penting kesehatan tanaman yang mencerminkan aktivitas fotosintesis dalam mendukung pertumbuhan tanaman (Pettigrew, 2008). Demikian pula, tinggi tanaman ($r = 0,30$) dan tinggi letak tongkol (EH) ($r = 0,26$) juga menunjukkan korelasi positif dengan hasil. Tinggi tanaman juga mempunyai korelasi yang tinggi dengan karakter tinggi letak tongkol ($r = 0,71$) dan hasil ($r = 0,29$). Tanaman dengan tinggi sedang tetapi dengan distribusi daun yang efisien justru memberikan hasil yang lebih baik, karena kemampuan fotosintesis yang optimal dan penyerapan cahaya yang lebih baik (Moll et al., 1982). Sementara itu, umur berbunga jantan (DST) dan berbunga betina (DS) korelasinya tinggi ($r = 0,92$) menunjukkan bahwa waktu perkembangan kedua fase ini terikat erat, dimana

sinkronisasi keduanya akan memaksimalkan potensi hasil. Karakter diameter batang (SD) menunjukkan korelasi positif dengan tinggi letak tongkol ($r = 0,27$) dan hasil biji ($r = 0,23$), menunjukkan bahwa struktur batang yang kokoh berkontribusi pada kemampuan tanaman untuk mendukung biomassa dan mencegah kerebahan, yang selanjutnya mempengaruhi hasil (Bairagi et al., 2018).

Indeks luas daun (LAI) menunjukkan korelasi signifikan dengan orientasi daun (LO) ($r = 0,60$), menekankan bahwa luas daun yang optimal meningkatkan penangkapan cahaya dan mendukung proses fotosintesis yang sangat dibutuhkan untuk produksi yang optimal (Huang et al., 2020). Dari aspek komponen hasil, karakter panjang tongkol (EL) berkorelasi signifikan dengan jumlah biji per baris (NKR) ($r = 0,65$) serta hasil biji ($r = 0,52$). Tongkol yang panjang cenderung memiliki lebih banyak jumlah biji per baris serta peluang hasil yang lebih tinggi, khususnya pada tongkol dengan tingkat rendemen biji yang tinggi. Adapun karakter diameter tongkol (ED) menunjukkan tren serupa dimana berkorelasi dengan jumlah baris biji (NR) ($r = 0,60$) dan hasil ($r = 0,49$). Tongkol dengan diameter yang lebih besar cenderung memiliki lebih banyak ruang untuk baris biji yang lebih lebar atau jumlah baris biji yang lebih banyak. Korelasi antara berat 1000 biji (1000KW) dengan hasil ($r = 0,33$) menunjukkan bahwa bobot biji dapat berdampak signifikan pada tingkat hasil jagung.

3.3.6. Seleksi Hibrida Menggunakan Pendekatan Multi

Trait (MGIDI).

3.3.6.1. Analisis Faktor.

Proses seleksi genotype dengan karakter sesuai preferensi pengguna menggunakan pendekatan multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI) yang di mulai dengan analisis faktor untuk mengidentifikasi sifat-sifat penting yang memiliki kontribusi signifikan terhadap penampilan tanaman. Sifat-sifat ini mencakup berbagai aspek seperti hasil biji, ketahanan terhadap stres, adaptabilitas, serta sifat agronomis lainnya yang relevan dengan tujuan pemuliaan. Setelah sifat-sifat penting ditentukan, tahap berikutnya adalah mengelompokkannya ke dalam faktor-faktor utama menggunakan analisis faktor. Setiap faktor utama mencakup beberapa sifat yang memiliki korelasi atau kontribusi serupa terhadap variabilitas genotipe. Beban faktor atau factor loading yang menunjukkan tingkat kontribusi masing-masing sifat terhadap faktor yang mendasarinya dapat di lihat pada Tabel 10.

Analisis lebih lanjut dengan Restricted Maximum Likelihood (REML) dan Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) mengidentifikasi enam faktor utama yang, secara keseluruhan, menjelaskan 81,12% dari variasi total. Ini berarti keenam komponen tersebut mampu menggambarkan sebagian besar keragaman sifat-sifat tersebut. Selain itu, nilai komunalitas variabel-variabel berkisar dari 0,59 untuk diameter batang hingga 0,98 untuk umur berbunga jantan, umur berbunga betina, dan masa kematangan, menunjukkan bahwa sebagian besar variasi tiap variabel dapat dijelaskan oleh faktor-faktor ini. Tingkat akurasi untuk nilai rata-rata menunjukkan adanya variasi genetik yang signifikan di antara genotipe yang digunakan, dengan akurasi lebih dari 0,84. Tingkat akurasi yang tinggi ini memungkinkan prediksi nilai sifat genetik secara lebih tepat.

Pada Tabel 10, terlihat beban faktor dan komunalitas dari analisis faktor yang menggunakan rotasi varimax. FA1 berkaitan dengan karakter umur berbunga Jantan dan betina serta umur panen, sementara FA2 berhubungan dengan orientasi daun, tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, dan sudut daun. FA3 menggambarkan hasil biji dan panjang tongkol, sedangkan FA4 terkait dengan skor aspek tanaman dan rendemen. FA5 berhubungan dengan diameter batang dan tongkol, dan FA6 berkaitan dengan anthesis-silking interval.

Rotasi ortogonal selanjutnya dilakukan pada factor loading yang menghasilkan nilai korelasi dari -1 hingga +1 yang mana menunjukkan korelasi antar faktor. Pada FA1, karakter yang mempunyai korelasi tinggi adalah sudut daun (0,29), orientasi daun (0,22), dan panjang tongkol (0,19). Sebaliknya, umur berbunga betina (-0,98), umur panen (-0,97), dan umur berbunga jantan (-0,93) berkorelasi negatif, artinya, apabila umur berbunga bertambah maka nilai FA1 akan menurun, begitu juga sebaliknya. Pada FA2, umur berbunga betina (0,06), umur panen (0,06), dan sudut daun (0,06) juga berkorelasi positif. Sebaliknya, orientasi daun (-0,73), tinggi tanaman (-0,73), dan tinggi letak tongkol (-0,72) menunjukkan korelasi negatif yang kuat, mengindikasikan hubungan terbalik antara sifat-sifat ini dengan faktor tersebut. Pada FA3, tinggi tanaman (0,39), tinggi letak tongkol (0,31), dan rendemen (0,32) mempunyai korelasi positif tinggi. Sebaliknya, panjang tongkol (-0,78), hasil biji (-0,89), dan orientasi daun (-0,28) korelasinya negatif.

Tabel 11. Beban faktor dan komunalitas yang diperoleh dari analisis faktor.

VAR	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	Kommu nalitas	Keunik an	Catatan
DTS	0.93	0.09	0.04	-0.09	-0.03	-0.3	0.98	0.02	FA1: DTS, DS, MT
DS	0.98	0.06	0.03	-0.12	-0.03	0.09	0.98	0.02	
ASI	0.01	-0.09	-0.02	-0.06	0.01	0.97	0.95	0.05	FA2: LO, PH, EH, LA
LO	0.22	-0.73	-0.28	-0.13	-0.04	0.09	0.68	0.32	
PH	0.08	-0.73	0.39	0.05	0.07	0.2	0.74	0.26	FA3: EL, GY
EH	0.23	-0.72	0.31	0.18	0.19	-0.15	0.76	0.24	
LA	0.29	-0.77	-0.18	-0.11	-0.08	0.02	0.73	0.27	FA4: EA, SP
MT	0.97	0.06	0.04	-0.12	0.1	0.12	0.98	0.02	
EA	0.14	0.06	-0.06	-0.83	0.14	-0.06	0.75	0.25	FA5: SD, ED
SD	0.12	0.04	-0.45	0.08	-0.56	0.22	0.59	0.41	
EL	0.19	-0.03	-0.78	0.37	-0.01	-0.05	0.78	0.22	FA6: ASI
ED	0.04	-0.03	-0.07	0	0.9	0.1	0.83	0.17	
SP	0.14	-0.16	0.32	-0.77	-0.14	0.19	0.8	0.2	
GY	-0.1	0.02	-0.89	-0.07	-0.02	0.03	0.8	0.2	

Catatan: DTS (umur berbunga jantan), DS (umur berbunga betina), MT (umur panen), LO (orientasi daun), PH (tinggi tanaman), EH (tinggi letak tongkol), LA (sudut daun), EL (panjang tongkol), GY (hasil biji), EA (aspek tongkol), SP (rendemen), SD (diameter batang), ED (diameter tongkol), ASI (interval anthesis-silking).

Korelasi negatif dengan hasil biji mengisyaratkan bahwa beberapa karakter berpeluang menghambat pencapaian produktivitas optimal, namun apabila karakter ini diperbaiki, produktivitas hasil bisa saja meningkat. Pada FA4, panjang tongkol (0,37) dan tinggi letak tongkol (0,18) mempunyai korelasi positif paling kuat, sedangkan sudut tongkol (-0,83) dan rendemen (-0,77) berkorelasi negatif kuat. Pada FA5, diameter tongkol (0,90) dan tinggi letak tongkol (0,19) punya korelasi positif tertinggi, sedangkan diameter batang (-0,56) dan hasil biji (-0,02) berkorelasi negatif. Pada FA6, anthesis-silking interval (0,97), diameter batang (0,22), dan umur panen (0,12) mempunyai korelasi positif, sementara umur berbunga (-0,3) dan sudut daun (-0,06) mempunyai korelasi negatif.

Tabel 12. Nilai prediksi genetik gain berdasarkan MGIDI.

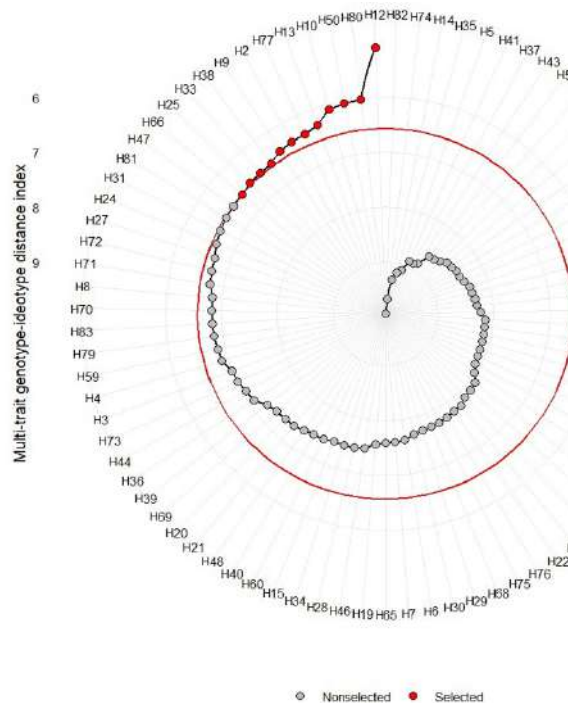
VAR	Factor	Xo	Xs	SD	SDperc	h ²	SG	SGperc	Nilai
DTS	FA1	57.5	57.4	-0.136	-0.237	0.914	-0.125	-0.217	Menurun
DS	FA1	58.2	57.9	-0.332	-0.57	0.89	-0.296	-0.508	Menurun
MT	FA1	103	103	-0.721	-0.698	0.925	-0.667	-0.646	Menurun
LO	FA2	2.33	2.04	-0.289	-12.4	0.943	-0.273	-11.7	Menurun
PH	FA2	193	191	-2.03	-1.05	0.874	-1.78	-0.921	Menurun
EH	FA2	101	100	-0.93	-0.918	0.846	-0.787	-0.777	Menurun
LA	FA2	23	21.3	-1.63	-7.08	0.875	-1.42	-6.19	Menurun
EL	FA3	18.6	19.1	0.461	2.48	0.955	0.441	2.37	Meningkat
GY	FA3	10.8	11.1	0.328	3.05	0.843	0.277	2.57	Meningkat
EA	FA4	2.34	2.29	-0.0512	-2.19	0.724	-0.037	-1.58	Menurun
SP	FA4	0.798	0.8	0.00229	0.287	0.864	0.00198	0.248	Meningkat
SD	FA5	2.19	2.19	0.000916	0.0419	0.646	0.000592	0.0271	Meningkat
ED	FA5	52.2	53.8 0.52	1.59	3.04	0.416	0.661	1.27	Meningkat
ASI	FA6	0.699	6	-0.173	-24.8	0.831	-0.144	-20.6	Menurun
Total (Meningkat)								6.49	
Total (Menurun)								-43.14	

Selain korelasi, MGIDI juga melakukan analisis heritabilitas pada setiap faktor. Nilai heritabilitas yang tinggi ditemukan pada umur berbunga jantan (DTS), umur berbunga betina dan umur panen, dengan nilai masing-masing 0,914, 0,89, dan 0,925. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh genetik yang kuat dan prospek yang baik untuk melakukan seleksi yang efektif. Pada faktor FA2, karakter yang menonjol seperti orientasi daun (LO), tinggi tanaman (PH), tinggi tongkol (EH), dan sudut daun (LA) juga menunjukkan heritabilitas yang tinggi, dengan nilai 0,943, 0,874, 0,846, dan 0,875, yangmana mengindikasikan bahwa sifat-sifat tersebut sangat sesuai untuk perbaikan genetik. Selanjutnya, karakter panjang tongkol (EL) dan hasil biji (GY) memiliki nilai heritabilitas tinggi sebesar 0,955 dan 0,843, menunjukkan genetik yang baik dan membantu dalam melakukan seleksi yang tepat. Sudut daun memiliki heritabilitas sedang sebesar 0,724, sementara rendemen (SP) menunjukkan heritabilitas sebesar 0,864.

Karakter diameter batang (SD) memiliki heritabilitas yang lebih rendah sebesar 0,646, yang berpeluang menghasilkan hasil seleksi yang kurang konsisten. Diameter tongkol (ED) menunjukkan heritabilitas yang lebih rendah, 0,416, yang mana menandakan kontrol genetik yang beragam dan keuntungan seleksi yang terbatas untuk sifat ini. Heritabilitas ASI sebesar 0,831, mengindikasikan adanya pengaruh genetik yang kuat dan memungkinkan perbaikan

melalui seleksi. Secara keseluruhan, hasil seleksi menunjukkan potensi besar untuk peningkatan genetik, terutama pada FA3, di mana nilai positif menunjukkan peluang yang baik untuk keberhasilan pemuliaan. Peningkatan total sebesar 6,50 menunjukkan bahwa sifat-sifat yang ditargetkan memiliki potensi besar untuk memberikan keuntungan genetik, yang dapat meningkatkan produktivitas dan performa jagung. Sebaliknya, penurunan total sebesar (-43,14 menunjukkan adanya pengurangan pada sifat-sifat yang kurang diinginkan, akibat tekanan seleksi. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh faktor lingkungan atau genetik.

Gambar 9 menunjukkan peringkat genotipe berdasarkan nilai indeks MGIDI, genotipe terpilih berdasarkan analisis MGIDI di tandai dengan warna merah. Berdasarkan analisis simultan terhadap 83 genotipe jagung, diperoleh sepuluh genotype terpilih diantaranya H12, H80, H50, H10, H13, H77, H2, H9, H38. Genotipe terpilih berdasarkan kriteria seleksi dimana sebagian karakter di harapkan nilainya menurun (DTS, DS, MT, LO, PH, EH, EA, ASI) serta sebagian lagi diharapkan nilainya meningkat (EL, GY, SP, SD, ED). Namun demikian, walaupun terdapat hubungan yang erat antara sifat genotipe dan skor yang diperoleh, pencapaian nilai tinggi bisa terhambat oleh faktor lingkungan (Ashkar et al., 2022). Indeks MGIDI memberikan gambaran tentang kelebihan dan kekurangan setiap genotipe, sehingga memudahkan untuk melihat potensi dan pembatas genotipe berdasarkan berbagai karakter secara simultan (Olivoto dan Nardino, 2021).

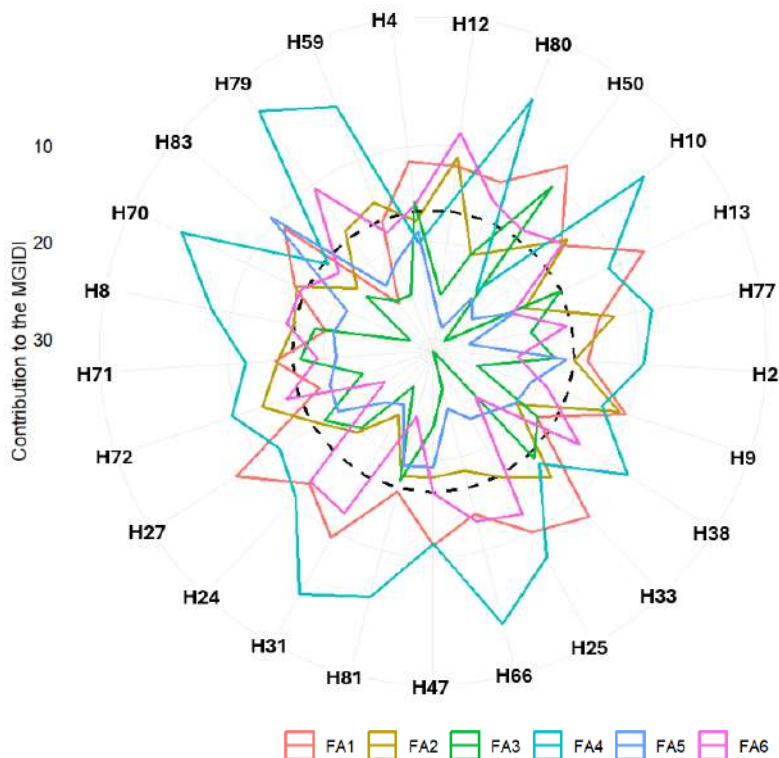


Gambar 9. Ranking genotype berdasarkan skor MGIDI pada kondisi normal dan populasi padat.

3.3.6.2. Kekuatan dan Kelemahan Hibrida.

Grafik kontribusi dari setiap FA1 terhadap MGIDI dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan Gambar 10, FA1 (grafik warna merah) memperlihatkan stabilitas yang baik pada karakter yang berhubungan dengan pembungaan serta umur panen dengan genotype terseleksi meliputi H72 dan H81. FA2 (grafik warna kuning) merefleksikan karakter ideotipe arsitektur tanaman seperti orientasi tanaman, sudut daun dan tinggi tanaman. Adapun genotype terpilih adalah H4, H71, dan H10. FA3 (grafik warna hijau) fokus pada aspek yang berkaitan dengan komponen hasil tanaman seperti panjang tongkol serta hasil biji. Adapun genotype terpilih meliputi H47, H50, dan H12. FA4 (grafik warna biru) berkaitan dengan aspek ideotipe kelobot seperti aspek tongkol dan rendemen biji. Adapun genotype terpilih pada faktor ini meliputi G80 dan G2. FA5 (grafik biru muda) berkaitan dengan aspek stabilitas tanaman khususnya dalam mencegah kerebahan, diantaranya aspek diameter batang dan proporsi tongkol. Adapun genotype ideotipe pada aspek ini adalah H70 dan H79. FA6 (grafik warna pink)

berkaitan dengan aspek sinkronisasi pembungaan dalam hubungannya dengan aspek pengisian biji. Genotipe terseleksi pada faktor ini adalah H33 dan H9. Yan dan Frégeau-Reid (2018) melaporkan bahwa penilaian keunggulan suatu genotipe sebaiknya tidak hanya didasarkan pada tingkat sifat individualnya saja melainkan pada kemampuannya menggabungkan sifat penting lainnya untuk menghasilkan produksi yang optimal. Oleh karena itu, pendekatan multi trait untuk mencapai produktivitas optimal dan adaptabilitas tinggi dalam berbagai kondisi harus mendapat perhatian.



Gambar 10. Kekuatan dan kelemahan dari genotipe pada setiap faktor populasi padat.

3.3.7. Analisis Komponen Utama (PCA) Genotipe Toleran N Rendah.

Principal Component Analysis (PCA) dalam analisis genotipe jagung digunakan untuk mengurangi dimensi data yang kompleks, seperti berbagai karakter fenotipik, menjadi beberapa komponen utama yang mewakili variabilitas terbesar. Pada penelitian ini, analisis PCA diterapkan pada 83 hibrida jagung dengan 20 variabel untuk mereduksi dimensi data serta mengidentifikasi korelasi potensial di antara sifat-sifat yang diukur. Berdasarkan hasil analisis, nilai eigen pada Dimensi 1 mencapai 4,71, dengan besaran proporsi varians sebesar 36,31%. Dalam analisis PCA, dimensi dengan nilai eigen lebih dari 1 dianggap memiliki kontribusi penting, yang dalam studi ini meliputi lima dimensi. Dimensi 2 memiliki nilai eigen 1,79, menjelaskan 13,78% dari total varian, diikuti oleh Dimensi 3 dan Dimensi masing-masing memiliki nilai eigen 1,44 dan 1,12 yang mampu berkontribusi sebesar 11,10% dan 8,52% (Tabel 13).

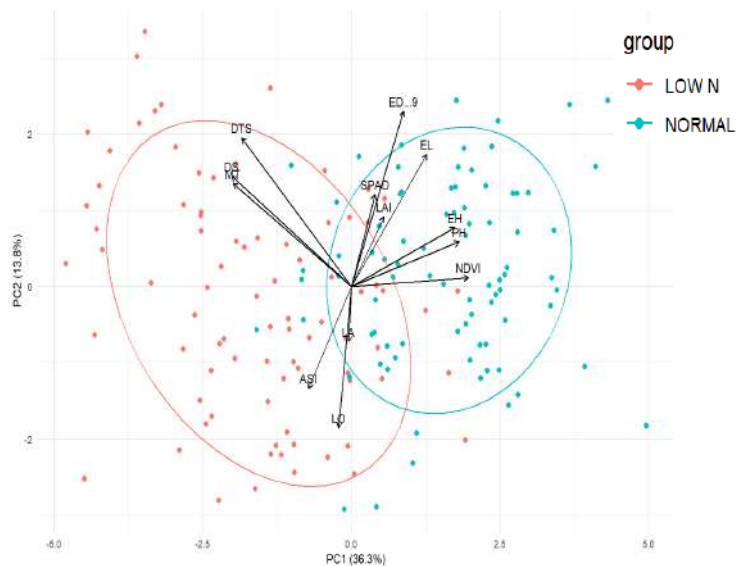
Table 13. Nilai Eigen dan varians dari 13 PCA jagung toleran N rendah.

Dim	Nilai Eigen	Ragam (%)	Kumulatif Ragam (%)
Dim.1	4.71974	36.30570	36.30570
Dim.2	1.79096	13.77660	50.08230
Dim.3	1.44310	11.10079	61.18309
Dim.4	1.12155	8.62732	69.81041
Dim.5	1.00759	7.75067	77.56107
Dim.6	0.79555	6.11963	83.68070
Dim.7	0.73870	5.68234	89.36304
Dim.8	0.55487	4.26826	93.63130
Dim.9	0.44409	3.41607	97.04737
Dim.10	0.27908	2.14678	99.19415
Dim.11	0.09323	0.71716	99.91130
Dim.12	0.01153	0.08869	100.00000
Dim.13	0.00000	0.00000	100.00000

Secara keseluruhan, kelima dimensi ini menjelaskan 77,56% dari variasi total, sehingga menjadi kunci untuk memahami hubungan antara karakter yang dianalisis. Dimensi 6 sampai 13 memiliki nilai eigen di bawah 1, yang mengindikasikan kontribusi

yang lebih rendah terhadap struktur data dan dianggap kurang signifikan dalam konteks analisis ini. Dengan demikian, sebagian besar variasi karakter tanaman dapat direpresentasikan oleh komponen utama, yang memungkinkan penyederhanaan kompleksitas data secara signifikan tanpa kehilangan informasi utama.

Gambar 11 menampilkan biplot PCA untuk 83 hibrida jagung yang diuji pada kondisi normal dan N rendah. Karakter yang berkorelasi di tampilkan dalam bentuk lingkaran/ellips sedangkan proporsi setiap karakter tanaman di tampilkan dalam bentuk diagram batang. Biplot ini mampu menunjukkan perbedaan yang jelas antara perlakuan normal dan N rendah, yang mencerminkan adanya perbedaan signifikan dalam respons hibrida terhadap kedua kondisi tersebut. Biplot PCA terdiri dari komponen utama dengan nilai tertinggi (PC1: 36,30% dan PC2: 13,80%), yang bersama-sama menjelaskan 50% dari total variasi data.

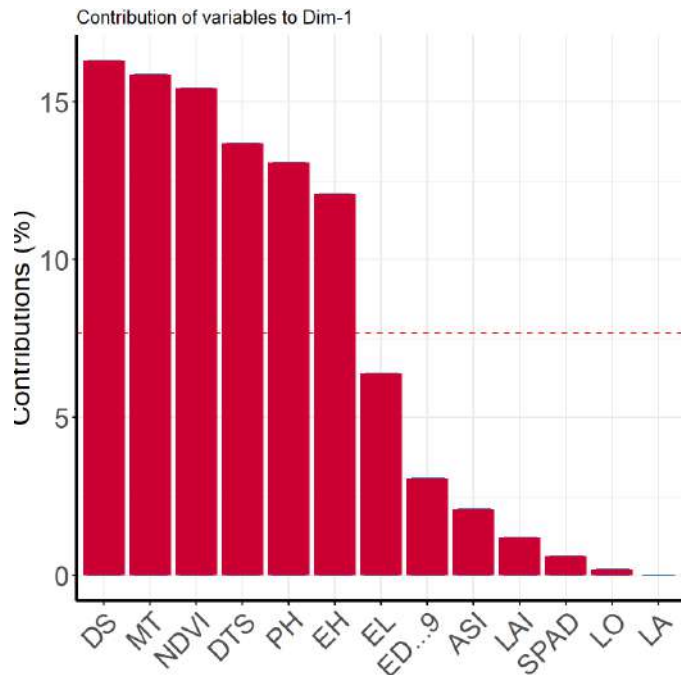


Gambar 11. Biplot analisis dari berbagai karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan N rendah.

Pada gambar biplot, sejumlah karakter jagung diwakili oleh panah menunjukkan arah dan kekuatan korelasi sifat-sifat tersebut dengan komponen utama. Panjang panah menunjukkan seberapa erat korelasi antara sifat dan masing-masing komponen utama,

dengan panah yang lebih panjang menunjukkan korelasi yang lebih kuat. Arah panah menunjukkan hubungan antar-sifat, di mana sifat-sifat yang berdekatan dalam arah yang sama cenderung memiliki korelasi positif.

Karakter umur berbunga jantan, umur berbunga betina, ASI, dan umur panen lebih terkonsentrasi pada sisi kiri dari biplot, yang mana menunjukkan pengaruh yang lebih kuat pada kondisi nitrogen rendah. Adapun karakter sudut daun (LA) dan orientasi daun (LO) memiliki hubungan yang erat, karena arah panahnya hampir sama di biplot, artinya kedua karakter ini berubah dalam arah yang sama baik itu meningkat maupun menurun. Karakter diameter tongkol serta 9 karakter lainnya yang berada di luar garis elips menunjukkan adanya variasi yang cukup tinggi pada kedua perlakuan. Dengan kata lain kesemua karakter tersebut, termasuk hasil biji sangat terpengaruh dari ketersediaan input N yang diberikan.

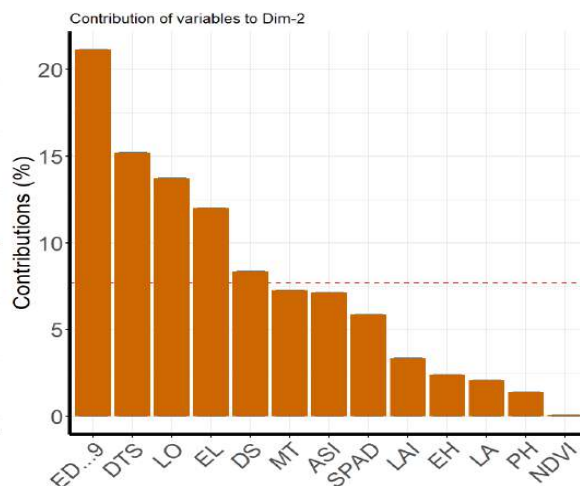


Gambar 12. Kontribusi Dim 1 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan N rendah.

Sementara itu, karakter tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, NDVI dan panjang tongkol terletak di bagian kanan dan lebih dekat ke kelompok normal, menunjukkan bahwa sifat-sifat ini lebih terkait dengan kondisi normal. Karakter lain seperti SPAD, indeks luas daun serta orientasi daun berada di posisi yang lebih tengah, yang

mengindikasikan kontribusi moderat terhadap kedua kondisi, tanpa keterkaitan yang jelas dengan kondisi N rendah dan normal. Pada gambar biplot, sejumlah karakter jagung diwakili oleh panah menunjukkan arah dan kekuatan korelasi sifat-sifat tersebut dengan komponen utama. Nitrogen rendah dapat menghambat pertumbuhan dan hasil jagung karena berkurangnya fotosintesis dan pengisian biji, terutama pada karakter seperti diameter dan panjang tongkol (Setiyono et al., 2010). Kekurangan nitrogen juga mengurangi kandungan klorofil (SPAD) dan kesehatan tanaman secara keseluruhan, sehingga menurunkan potensi hasil (Hirel et al., 2007).

Grafik diagram batang kontribusi variabel terhadap Dimensi 1 dalam analisis komponen utama menunjukkan variabel umur berbunga betina, umur panen, dan NDVI memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 71%. Hal ini menunjukkan bahwa keempat variabel tersebut adalah faktor yang paling mempengaruhi variasi utama dalam data. Dengan kata lain, variasi di sepanjang Dim-1 terutama dipengaruhi oleh karakter agronomis tanaman khususnya yang berkaitan dengan umur berbunga dan panen. Sementara itu, pada diagram plot Dim 2, terdapat 10 variabel dengan kontribusi tertinggi diantaranya yang berkaitan dengan komponen hasil seperti diameter tongkol rendemen, jumlah baris biji, berat 1000 biji dan hasil biji. Kekurangan unsur makro seperti nitrogen secara signifikan mengurangi komponen hasil jagung, seperti jumlah dan ukuran biji, serta berat tongkol, dengan menghambat efisiensi penggunaan nitrogen dan proses fisiologis yang penting untuk pertumbuhan optimal (Ciampitti & Vyn, 2012; Below et al., 2007).



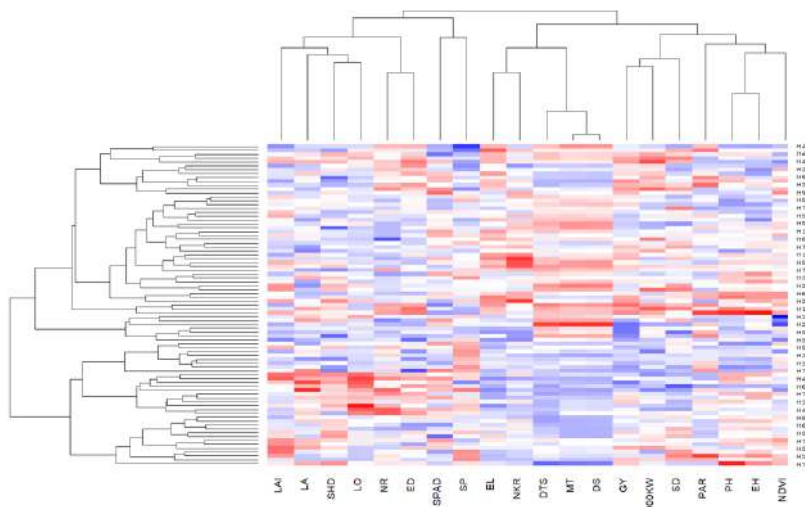
Gambar 13. Kontribusi Dim 2 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan N rendah.

3.3.8. Pengelompokan Galur Hibrida Berdasarkan Toleransi N Rendah.

Clustering hibrida berdasarkan pendekatan karakter morfologi dan fisiologi tanaman memberikan gambaran tentang kemampuan adaptasi tanaman serta berfungsi sebagai pedoman dalam seleksi hibrida. Gambar 14 memperlihatkan visualisasi heatmap clustering hubungan antara hibrida jagung dan 20 karakter morfo-fisiologis dalam kondisi cekaman nitrogen rendah. Semakin tinggi nilai tingkat toleransi hibrida, semakin sedikit dampak negatif stres nitrogen rendah terhadap masing-masing sifat, dan sebaliknya. Berdasarkan nilai toleransi nitrogen rendah, rentang nilai tertinggi yang berkaitan dengan tingkat hasil biji sebesar 1,22 yang dicatat oleh garis inbrida H15 dan nilai minimum sebesar 0,22 pada genotype H1. Clustering mengelompokkan hibrida menjadi dua kelompok utama: kelompok hibrida yang toleran terhadap stres nitrogen rendah dan kelompok yang peka terhadap nitrogen rendah. Adapun genotype dengan nilai tingkat toleransi tinggi terhadap nitrogen rendah (Cluster 1) adalah H15, H71, H48, H44, H28, H6, H32, H3, H33, sedangkan genotype dengan nilai tingkat toleransi rendah terhadap populasi padat (Cluster 2) adalah H18, H66, H29, H54, H70, H77.

Hibrida toleran, seperti H15 dan H71 memiliki nilai toleransi yang tinggi pada karakter utama seperti hasil biji (GY) serta didukung oleh karakter agronomis, vegetatif, dan fisiologis seperti nilai indeks vegetasi NDVI, SPAD, umur panen, diameter batang dan indeks luas daun. Sebaliknya, hibrida peka seperti H1, H82, H19, menunjukkan nilai toleransi yang rendah pada karakter-karakter tersebut. Namun, pengelompokan hibrida lainnya tidak menjelaskan dengan baik kemampuan adaptasi terhadap nitrogen rendah. Beberapa hibrida mungkin menunjukkan penurunan moderat pada GY tetapi masih mampu menjaga karakter vegetatif atau fisiologis, seperti luas daun dan tinggi tanaman sementara hibrida lain dengan GY rendah menunjukkan nilai SPAD yang tetap tinggi. Hal ini menimbulkan potensi bias dalam pemilihan hibrida (Song et al., 2018). Kemampuan untuk mempertahankan pertumbuhan vegetatif seperti PH, EH, dan SD berkontribusi pada distribusi nutrisi yang optimal ke tongkol dan biji (Araujo Rufino et al., 2018; Dodig et al., 2021). Selain itu, kemampuan mempertahankan kandungan klorofil (SPAD) membantu tanaman menjaga kelangsungan fotosintesis yang esensial untuk mendukung pertumbuhan dan pengisian biji (Song et al., 2018; Kandel, 2020). Karakter agronomis seperti EL, ED, dan NKR juga berperan langsung dalam mempertahankan hasil yang tinggi di bawah kondisi kekeringan (Gouesnard et al., 2016; Balbaa et al., 2022).

Selanjutnya, klustering berbasis kolom dari 20 karakter yang di analisis menghasilkan tiga kluster utama. Kluster pertama mencakup 6 sifat, yang sebagian besar terkait dengan fisiologi tanaman dan komponen hasil, diantaranya luas daun, orientasi daun, dan panjang tongkol. Adapun cluster kedua terdiri dari 9 sifat yang terkait dengan aspek morfologi tanaman dan hasil seperti tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, diameter batang, hasil biji dan diameter tongkol. Cluster tiga terdiri 5 karakter seperti umur berbunga jantan dan betina, indeks luas daun dan nilai SPAD.

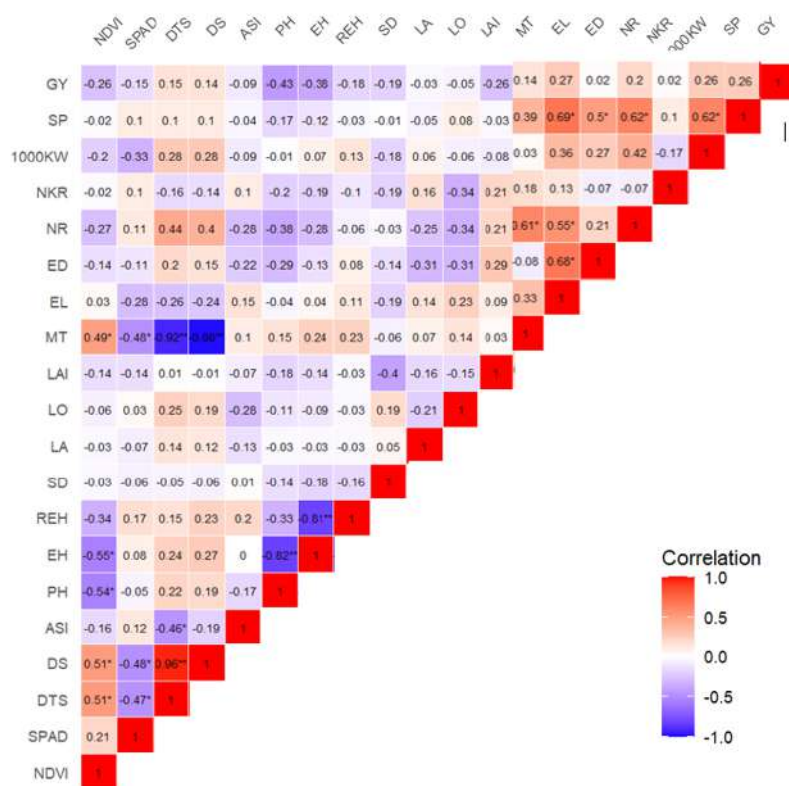


Gambar 14. Heatmap toleransi 83 genotipe jagung hibrida berdasarkan morfo-fisiologi tanaman.

3.3.9. Analisis Korelasi.

Analisis korelasi berbagai faktor agronomi dan hasil jagung pada kondisi cekaman N rendah menunjukkan adanya keterkaitan aspek morfo-fisiologi tanaman dengan tingkat hasil. Karakter indeks vegetasi (NDVI) dan SPAD menunjukkan korelasi positif dengan hasil ($r = 0,26$ dan $0,18$), NDVI juga berkorelasi tinggi dengan karakter agronomis lain seperti umur panen, tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, serta pembungaan jagung. NDVI sendiri merupakan indikator penting kesehatan tanaman yang mencerminkan aktivitas fotosintesis dalam mendukung pertumbuhan tanaman (Pettigrew, 2008). Karakter tinggi tanaman juga menunjukkan korelasi positif dengan hasil ($r = 0,43$). Tinggi tanaman juga berkorelasi tinggi dengan karakter tinggi letak tongkol ($r = 0,82$). Tanaman dengan tinggi sedang tetapi dengan distribusi daun yang efisien justru

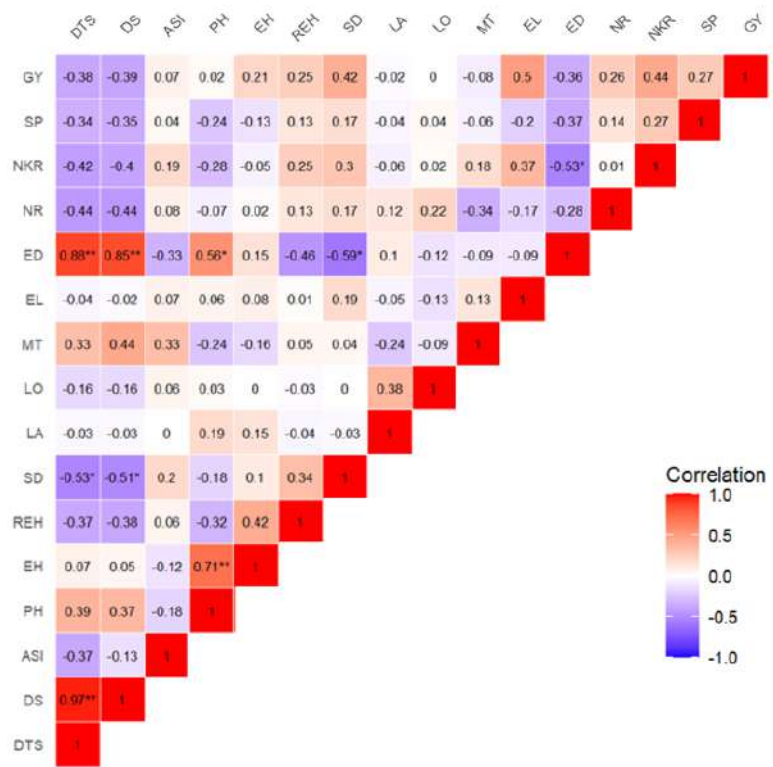
memberikan hasil yang lebih baik, karena kemampuan fotosintesis yang optimal dan penyerapan cahaya yang lebih baik (Moll et al., 1982). Sementara itu, umur berbunga jantan (DST) dan berbunga betina (DS) menunjukkan korelasi tinggi ($r = 0,98$) menunjukkan bahwa waktu perkembangan kedua fase ini terikat erat, dimana sinkronisasi keduanya akan memaksimalkan potensi hasil. Karakter diameter batang (SD) berkorelasi positif dengan indeks luas daun ($r = 0,40$) dan hasil biji ($r = 0,19$), dimana struktur batang yang kokoh berkontribusi pada kemampuan tanaman untuk mendukung biomassa dan mencegah kerebahan, yang selanjutnya mempengaruhi hasil (Bairagi et al., 2018).



Gambar 15. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi cekaman nitrogen rendah.

Dari aspek komponen hasil, karakter komponen hasil sangat berkaitan erat dengan tingkat produksi/produktivitas tanaman. Korelasi yang tinggi antara karakter hasil dengan jumlah biji per baris ($r = 0,62$) dan rendemen biji ($r = 0,62$) menunjukkan bahwa peningkatan pada

kedua variabel tersebut berkontribusi terhadap peningkatan hasil jagung. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa penampilan komponen hasil merupakan indikator penting yang harus mendapat perhatian untuk mendapatkan produksi yang tinggi. Korelasi hasil yang tinggi juga terdapat pada karakter diameter batang ($r = 0,69$) dimana tanaman yang memiliki batang lebih besar cenderung menghasilkan lebih banyak biji, khususnya terkait dengan ketahanan tanaman terhadap angin dan kehilangan hasil dengan ukuran batang. Berdasarkan hal tersebut, pemilihan genotipe jagung yang unggul untuk toleransi terhadap kekeringan sebaiknya mempertimbangkan karakter-karakter tersebut untuk mendapatkan hasil yang optimal.



Gambar 16. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi populasi normal.

Analisis korelasi agronomi pada kondisi normal menunjukkan interaksi kompleks antara fase perkembangan, morfologi tanaman, dan hasil jagung. Korelasi antara umur berbunga jantan (DTS) dan umur berbunga betina (DS) sangat tinggi ($r = 0,97$), yang menekankan pentingnya sinkronisasi kedua fase ini untuk mencapai potensi hasil optimal (Duvick, 2005). Sinkronisasi tersebut

mendukung kelancaran penyerbukan, yang sangat penting untuk pembentukan biji. Selain itu, umur berbunga jantan menunjukkan korelasi positif dengan tinggi tanaman (PH) ($r = 0,39$). Namun demikian, terdapat hubungan negatif antara karakter umur berbunga jantan dan diameter batang (SD) ($r = -0,53$) serta hasil biji ($r = -0,38$). Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman dengan batang lebih kecil cenderung mengalami perkembangan lebih cepat, namun dengan potensi hasil yang lebih rendah (Bairagi et al., 2018). Umur berbunga betina (DS) berkorelasi positif dengan tinggi tanaman ($r = 0,37$), serta tinggi letak tongkol ($r = 0,44$). Sebaliknya berkorelasi negatif dengan diameter batang ($r = -0,51$). Hal ini mengisyaratkan bahwa tanaman dengan batang lebih kecil cenderung mengalami waktu silking yang lebih cepat, yang menandakan pertumbuhan yang kurang optimal (Cohen et al., 2017). DS juga menunjukkan korelasi tinggi dengan diameter tongkol (ED) ($r = 0,85$), dimana ukuran tongkol yang lebih besar dapat memperlambat waktu silking namun berpotensi mendukung pengisian biji yang lebih baik (Echarte et al., 2000). Karakter interval anthesis-silking (ASI) menunjukkan korelasi negatif dengan umur berbunga jantan ($r = -0,37$) dan positif dengan umur panen (MT) ($r = 0,33$). Korelasi tinggi tanaman dengan tinggi letak tongkol ($r = 0,71$) dan rasio tinggi letak tongkol terhadap tinggi tanaman (REH) ($r = 0,42$) serta diameter tongkol ($r = 0,56$). Hal ini menunjukkan pentingnya seleksi genotype jagung yang kuat dalam mendukung struktur tongkol yang optimal.

Diameter batang (SD) menunjukkan hubungan negatif dengan umur berbunga jantan ($r = -0,53$), umur berbunga betina ($r = -0,51$), dan diameter tongkol ($r = -0,59$), namun berhubungan positif dengan hasil biji ($r = 0,42$). Hal ini menegaskan bahwa meskipun batang yang lebih kecil dapat mempercepat fase perkembangan, batang yang lebih besar justru mendukung stabilitas tanaman dan potensi hasil yang lebih tinggi (Huang et al., 2020). Luas daun (LA) berkorelasi positif dengan orientasi daun (LO) ($r = 0,38$), menunjukkan bahwa peningkatan area daun berperan penting dalam penangkapan cahaya untuk fotosintesis, yang pada gilirannya mendukung produktivitas tanaman (Huang et al., 2020). Dari aspek karakter tongkol, panjang tongkol (EL) memiliki korelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,50$), di mana tongkol yang lebih panjang secara umum dapat meningkatkan jumlah biji yang dihasilkan (Cohen et al., 2017). Sebaliknya, meskipun diameter tongkol berkorelasi positif dengan umur berbunga jantan ($r = 0,85$) dan umur berbunga betina ($r = 0,85$), terdapat korelasi negatif dengan hasil biji ($r = -0,36$), yang mengindikasikan adanya trade-off /kompromi di mana peningkatan suatu karakteristik atau sifat tanaman (misalnya, ukuran tongkol) cenderung disertai dengan penurunan atau kompromi pada karakteristik (Echarte et al., 2000). Selain itu, jumlah

biji per baris (NKR) juga menunjukkan korelasi positif dengan hasil biji ($r = 0,44$), menekankan pentingnya morfologi tongkol terhadap potensi hasil. Namun, persentase rendemen biji (SP) hanya menunjukkan korelasi positif yang rendah dengan hasil ($r = 0,27$).

3.3.10. Seleksi Hibrida Menggunakan Pendekatan Multi Trait (MGIDI).

3.3.10.1. Analisis Faktor.

Proses seleksi genotype dengan karakter sesuai preferensi pengguna menggunakan multi-trait genotype-ideotype distance index (MGIDI) di mulai dengan analisis faktor untuk mengidentifikasi sifat-sifat penting yang memiliki kontribusi signifikan terhadap penampilan suatu genotype. Sifat-sifat ini mencakup berbagai aspek seperti hasil biji, ketahanan terhadap stres, adaptabilitas, serta sifat agronomis lainnya yang relevan dengan tujuan pemuliaan. Setelah sifat-sifat penting ditentukan, tahap berikutnya adalah mengelompokkan sifat-sifat tersebut ke dalam faktor-faktor utama menggunakan analisis faktor. Setiap faktor utama mencakup beberapa sifat yang memiliki korelasi atau kontribusi serupa terhadap variabilitas genotype. Beban faktor atau factor loading yang menunjukkan tingkat kontribusi masing-masing sifat terhadap faktor yang mendasarinya dapat di lihat pada Tabel 13.

Analisis lebih lanjut dengan Restricted Maximum Likelihood (REML) dan Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) mengidentifikasi lima faktor utama yang, secara keseluruhan, menjelaskan 80,91% dari variasi total. Ini berarti kelima komponen tersebut mampu menggambarkan sebagian besar keragaman sifat-sifat tersebut. Selain itu, nilai komunalitas variabel-variabel berkisar dari 0,51 untuk karakter ASI hingga 0,90 untuk umur berbunga jantan, umur berbunga betina, dan masa kematangan, menunjukkan bahwa sebagian besar variasi tiap variabel dapat dijelaskan oleh faktor-faktor ini. Tingkat akurasi untuk nilai rata-rata menunjukkan adanya variasi genetik yang signifikan di antara genotype yang digunakan, dengan akurasi lebih dari 0,85. Tingkat akurasi yang tinggi ini memungkinkan prediksi nilai sifat genetik secara lebih tepat.

Tabel 14. Beban faktor dan komunalitas yang diperoleh dari analisis faktor.

VAR	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	Communality	Uniquenesses	Note
DTS	-0.97	0.06	0.12	-0.16	0.05	0.98	0.02	FA1: DTS, DS, MT
DS	-0.94	0	-0.13	-0.18	0.08	0.95	0.05	
ASI	0.28	-0.15	-0.64	-0.01	0.02	0.51	0.49	
LO	0.16	0.32	-0.02	0.74	-0.06	0.68	0.32	FA2: EL, GY
PH	0.01	0.29	0.39	0.72	-0.17	0.78	0.22	
EH	0.27	-0.31	-0.18	0.71	0.01	0.71	0.29	FA3: ASI, EA, SP,
LA	0.21	-0.44	-0.19	0.65	0.03	0.70	0.30	
MT	-0.93	-0.03	-0.17	-0.15	-0.14	0.94	0.06	
EA	-0.19	0.11	-0.69	-0.01	-0.03	0.52	0.48	FA4: PH, EH, LA, LO
SD	0.04	-0.28	0.03	-0.06	0.75	0.65	0.35	
EL	0.15	-0.78	0.33	0.06	0.06	0.75	0.25	
ED	0.03	-0.08	-0.04	0.04	-0.88	0.79	0.21	FA5: SD, ED
SP	-0.18	0.24	-0.78	0.1	-0.09	0.71	0.29	
GY	-0.13	-0.84	-0.03	-0.1	0.11	0.74	0.26	

Catatan: DTS (umur berbunga jantan), DS (umur berbunga betina), MT (umur panen), LO (orientasi daun), PH (tinggi tanaman), EH (tinggi letak tongkol), LA (sudut daun), EL (panjang tongkol), GY (hasil biji), EA (aspek tongkol), SP (rendemen), SD (diameter batang), ED (diameter tongkol), ASI (interval anthesis-silking).

Pada Tabel 14, terlihat beban faktor dan komunalitas dari analisis faktor yang menggunakan rotasi varimax. FA1 berkorelasi dengan umur berbunga betina, umur berbunga jantan, dan umur panen, yang menunjukkan bahwa faktor ini sangat berkaitan dengan fase pembungaan dan panen tanaman. Sementara itu FA2 berkorelasi dengan karakter hasil biji dan ukuran tongkol. FA3 mencakup karakter ASI, aspek tongkol, dan rendemen biji, yang menunjukkan bahwa faktor ini berhubungan dengan sifat reproduksi dan pengidisan biji. FA4 berkorelasi dengan karakter tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, sudut daun, dan orientasi daun. Hal ini menunjukkan adanya proses asosiasi dengan sifat morfologi dan pertumbuhan tanaman., FA5 umumnya berkorelasi dengan karakter diameter batang dan tongkol, yang mana menunjukkan postur tanaman, khususnya ketahanan terhadap kerebahan. Peningkatan diameter batang jagung sering kali berkorelasi dengan peningkatan kekuatan batang, yang secara langsung dapat mengurangi risiko rebah, terutama dalam kondisi cuaca buruk/angin kencang.

Tabel 15. Nilai prediksi genetik gain berdasarkan MGIDI.

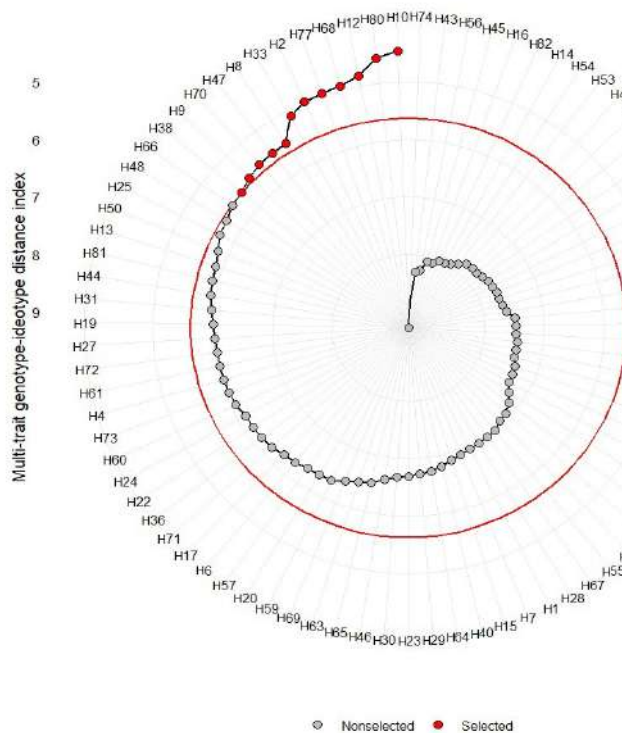
VAR	Factor	Xo	Xs	SD	SDperc	h ²	SG	SGperc	Sense
DTS	FA1	58.5	58.3	-0.172	-0.295	0.605	-0.104	-0.178	decrease
DS	FA1	59.3	59.1	-0.183	-0.309	0.508	-0.093	-0.157	decrease
MT	FA1	105	105	-0.362	-0.345	0.56	-0.203	-0.193	decrease
LO	FA2	18	18.3	0.291	1.62	0.839	0.245	1.36	increase
PH	FA2	10.8	11.1	0.378	3.51	0.843	0.318	2.95	increase
EH	FA3	0.848	0.778	-0.0705	-8.31	0.618	-0.0436	-5.14	decrease
LA	FA3	2.52	2.48	-0.0383	-1.52	0.567	-0.0217	-0.863	decrease
EL	FA3	0.791	0.794	0.00324	0.409	0.712	0.00231	0.292	increase
GY	FA4	188	187	-0.241	-0.128	0.391	-0.0941	-0.0502	decrease
EA	FA4	97.5	97.5	0.0483	0.0495	0.456	0.022	0.0226	decrease
SP	FA4	23.3	20.3	-2.98	-12.8	0.964	-2.87	-12.3	decrease
SD	FA4	2.37	2.12	-0.242	-10.2	0.862	-0.208	-8.81	decrease
ED	FA5	2.16	2.16	0.000747	0.0346	0.248	0.000185	0.00858	increase
ASI	FA5	51.5	50.9	-0.566	-1.1	0.402	-0.227	-0.441	increase
Total increase								4.63	
Total decrease								-28.13	

Selain korelasi, MGIDI juga melakukan analisis heritabilitas pada setiap faktor. Nilai heritabilitas yang tinggi ditemukan pada umur berbunga jantan (DTS), umur berbunga betina dan umur panen) dengan nilai masing-masing 0.605, 0.508, dan 0.56. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh genetik yang kuat dan prospek yang baik untuk melakukan seleksi yang efektif. Karakter yang menonjol seperti orientasi daun (LO), dan tinggi tanaman menunjukkan heritabilitas yang tinggi, dengan nilai 0.618 dan 0.567, yang mana mengindikasikan bahwa sifat-sifat tersebut sangat sesuai untuk perbaikan genetik.

Selanjutnya, karakter panjang tongkol (EL) dan rendemen biji memiliki nilai heritabilitas tinggi sebesar 0,712 dan 0,046, menunjukkan genetik yang baik dan membantu dalam melakukan seleksi yang tepat. Diameter batang memiliki heritabilitas sedang sebesar 0,862, sementara diameter tongkol menunjukkan heritabilitas rendah yaitu 0,248. Secara keseluruhan, total genetik gain sebesar 4,53 menunjukkan bahwa sifat-sifat yang ditargetkan memiliki potensi besar untuk memberikan keuntungan genetik, yang dapat meningkatkan produktivitas dan performa jagung. Sebaliknya, penurunan total sebesar (-28,13) menunjukkan adanya

pengurangan pada sifat-sifat yang kurang diinginkan, akibat tekanan seleksi.

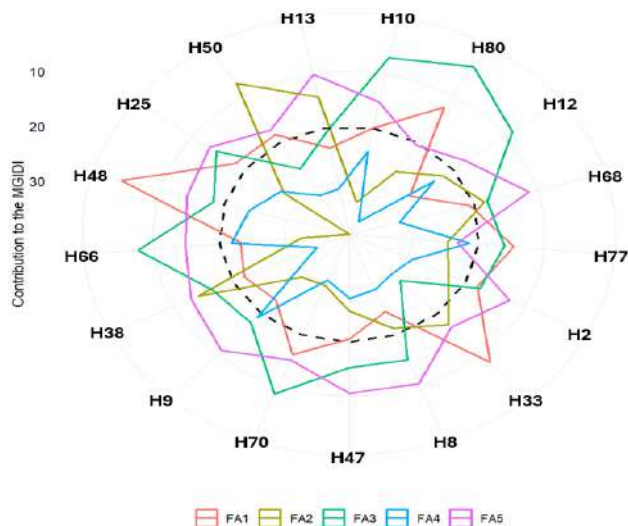
Gambar 17 menunjukkan peringkat genotipe berdasarkan nilai indeks MGIDI. Genotipe terpilih berdasarkan analisis MGIDI di tandai dengan warna merah. Berdasarkan analisis simultan terhadap 83 genotipe jagung, diperoleh 12 genotype terpilih diantaranya H10, H80, H12, H68, H77, H2, H33, H8, H47, H70, H9, H38. Genotipe terpilih berdasarkan kriteria seleksi dimana sebagian karakter di harapkan nilainya menurun (DTS, DS, MT, LO, PH, EH, EA, ASI) serta sebagian lagi diharapkan nilainya meningkat (EL, GY, SP, SD, ED). Namun demikian, walaupun terdapat hubungan yang erat antara sifat genotipe dan skor yang diperoleh, pencapaian nilai tinggi bisa terhambat oleh faktor lingkungan (Ashkar et al., 2022). Indeks MGIDI memberikan gambaran tentang kelebihan dan kekurangan setiap genotipe, sehingga memudahkan untuk melihat potensi dan pembatas genotipe berdasarkan berbagai karakter secara simultan (Olivoto dan Nardino, 2021).



Gambar 17. Ranking genotipe berdasarkan skor MGIDI pada kondisi cekaman N rendah.

3.3.10.2. Kekuatan dan Kelemahan Hibrida.

Grafik kontribusi dari setiap FAI terhadap MGIDI dapat dilihat pada Gambar 18. Berdasarkan Gambar 18, FA1 (grafik warna merah) memperlihatkan stabilitas yang baik pada karakter yang berhubungan dengan pembungaan serta umur panen dengan genotype terseleksi meliputi H48, H33 dan H80. FA2 (grafik warna kuning) merefleksikan karakter hasil tanaman. Adapun genotype terpilih adalah H50, H33, H13 dan H38. FA3 (grafik warna hijau) fokus pada aspek yang berkaitan dengan sinkronisasi proses pembungaan dan komponen hasil. Adapun genotype H80, H10, H12, H70 dan H66. FA4 (grafik warna biru) berkaitan dengan aspek ideotipe arsitektur tanaman seperti tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, sudut dan orientasi daun. Genotype terpilih pada faktor ini adalah H9. FA5 (ungu) berkaitan dengan aspek stabilitas tanaman khususnya dalam mencegah kerebahan, diantaranya aspek diameter batang dan proporsi tongkol. Adapun genotype ideotipe pada aspek ini adalah H13, H68, dan H47. Yan dan Frégeau-Reid (2018) melaporkan bahwa penilaian keunggulan suatu genotype sebaiknya tidak hanya didasarkan pada tingkat sifat individualnya saja melainkan pada kemampuannya menggabungkan sifat penting lainnya untuk menghasilkan produksi yang optimal. Oleh karena itu, pendekatan multitrait untuk mencapai produktivitas optimal dan adaptabilitas tinggi dalam berbagai kondisi harus mendapat perhatian.



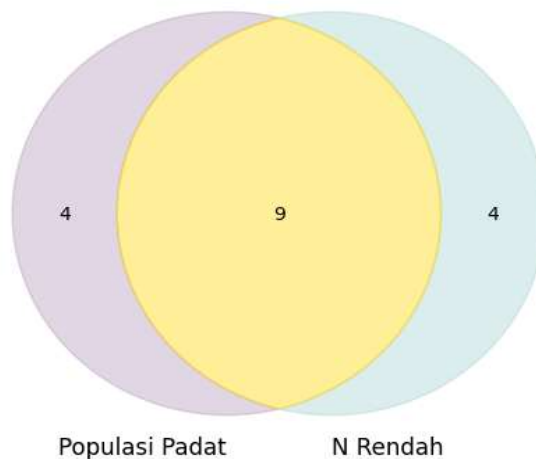
Gambar 18. Kekuatan dan kelemahan dari genotype pada setiap faktor pada kondisi cekaman N rendah.

3.3.11. Hibrida Toleran Populasi Padat dan N Rendah.

Pemilihan hibrida toleran terhadap cekaman populasi padat dan nitrogen (N) rendah dilakukan secara sistematis menggunakan diagram Venn untuk mengidentifikasi genotipe yang berpotensi unggul. Proses ini diawali dengan pengujian daya hasil pendahuluan pada kedua kondisi cekaman, yang dianalisis menggunakan Multi-Environment Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI). Hasil delineasi dari diagram Venn menunjukkan bahwa beberapa hibrida berhasil menunjukkan toleransi baik pada cekaman populasi padat maupun N rendah.

Pada pengujian cekaman populasi padat, genotipe yang terpilih adalah H12, H80, H50, H10, H13, H77, H2, H9, H38, H33, H25, H66, dan H47. Sementara itu, pada pengujian cekaman N rendah, genotipe yang teridentifikasi toleran adalah H10, H80, H12, H68, H77, H2, H33, H8, H40, H70, H9, H38, dan H66. Dari hasil integrasi kedua pengujian, sembilan genotipe yaitu H12, H80, H10, H77, H2, H9, H38, H33, dan H66 menjadi kandidat utama.

Kesembilan genotipe tersebut menunjukkan prospek yang sangat baik untuk dikembangkan di lingkungan dengan ketersediaan nitrogen yang rendah dan tingkat populasi tanaman yang tinggi. Keberhasilan dalam menyaring genotipe ini memberikan kontribusi penting terhadap strategi pemuliaan tanaman yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi input tanpa mengorbankan hasil panen. Selanjutnya, genotipe-genotipe ini perlu diuji lebih lanjut di berbagai lokasi untuk mengonfirmasi stabilitas dan adaptabilitasnya pada kondisi lingkungan yang beragam.



Gambar 19. Diagram Venn genotipe toleran populasi padat dan N rendah

3.4. Kesimpulan.

1. Cekaman lingkungan, khususnya N rendah dan populasi padat, terbukti secara signifikan memengaruhi pertumbuhan dan hasil jagung.
2. Penelitian ini menunjukkan adanya interaksi signifikan antara genotipe dan lingkungan, dengan hasil rata-rata 10,45 ton/ha pada kondisi normal, 6,83 ton/ha pada N rendah (penurunan 36%), dan 11,61 ton/ha pada populasi padat.
3. Interaksi lokasi dan lingkungan menghasilkan rata-rata 9,84 ton/ha, menekankan pentingnya adaptasi genotipe terhadap kondisi spesifik.
4. Analisis PCA mengidentifikasi lima dimensi utama yang menjelaskan 68,81% varians total.
5. Melalui analisis MGIDI, sembilan genotipe toleran populasi padat diidentifikasi, yaitu H12, H80, H50, H10, H13, H77, H2, H9, dan H38.
6. Pada perlakuan N rendah, terpilih 12 genotipe, termasuk H10, H80, H12, H68, H77, H2, H33, H8, H47, H70, H9, dan H38. Hasil ini menegaskan pentingnya seleksi genotipe adaptif untuk meningkatkan produktivitas jagung di bawah cekaman lingkungan.

Daftar Pustaka

- Andayani, N. N., Aqil, M., Efendi, R., and Azrai, M. (2018). Line × tester analysis across equatorial environments to study combining ability of Indonesian maize inbred. *Asian J. Agric. Biol.* 6, 213–220.
- Assefa, Y., Prasad, P. V. V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., & Ciampitti, I. A. (2018). A new insight into corn yield: Trends from 1987 through 2015. *Agronomy Journal*, 110(4), 1793-1804.
- Bänziger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., and Bellon, M. (2000). Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. *Mex. D.F. CIMMYT*, 68.
- Bänziger, M., Edmeades, G. O., & Lafitte, H. R. (1999). Selection for drought tolerance increases maize yields over a range of nitrogen levels. *Crop Science*, 39(4), 1035-1040.
- Below, F. E., Seebauer, J. R., Uribelarrea, M., & Moose, S. P. (2007). Physiological responses of maize hybrids to nitrogen limitation. *Plant and Soil*, 299(1), 267–280. doi:10.1007/s11104-007-9389-0
- Cairns, J. E., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J. L., MacRobert, J. F., Thierfelder, C., & Prasanna, B. M. (2012). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 4, 399-417.
- Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research*, 133, 48–67. doi:10.1016/j.fcr.2012.03.008
- Duvick, D. N. (2005). Divergensi genetik pada jagung: Apakah berkelanjutan? *Buletin Kerjasama Genetik Jagung*, 79, 1-5.
- Echarte, L. (2000). Hubungan antara karakteristik telinga dan hasil biji pada jagung. *Penelitian Tanaman Pangan*, 68(2), 155-165.
- Efendi, R., Aqil, M., Takdir, A., and Azrai, M. (2016). Path Analysis in the Determination of Selection Characteristics of Hybrid Maize Genotypes Tolerant to Drought Stress. *Inform. Pertan.* 25, 171–180.

- Hammer, G. L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., & Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. corn belt? *Crop Science*, 49(1), 299-312.
- Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., & Gallais, A. (2007). The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: Towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, 58(9), 2369–2387. doi:10.1093/jxb/erm097
- Huang, Y., Zhu, Y., & Xu, X. (2022). Yield and trait stability of maize genotypes under nitrogen and planting density stresses in tropical environments. *Theoretical and Applied Genetics*, 135, 823-835.
- Lopez, C., Torres, E., & Gomez, R. (2020). Genotype-environment interactions in maize yield under combined water and nutrient stress across multiple locations. *Crop Science*, 60(1), 45-53.
- Monneveux, P., Sanchez, C., Beck, D., & Edmeades, G. O. (2006). Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: Evidence of progress. *Crop Science*, 46(1), 180-191.
- Niu, Y., Chen, T., Zhao, C., & Zhou, M. (2021). Improving crop lodging resistance by adjusting plant height and stem strength. *Agronomy*, 11, 2421. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122421>
- Pettigrew, W. T. (2008). Peran fisiologis nitrogen pada jagung. *Ilmu Tanaman*, 48(1), 35-43.
- Rossini, F., Vear, F., & Echarte, L. (2011). Breeding maize for density tolerance: Possible exploitation of indirect selection tools. *Crop Science*, 51(4), 1274-1282.
- Setiyono, T. D., Walters, D. T., Cassman, K. G., Witt, C., & Dobermann, A. (2010). Estimating maize nutrient uptake requirements. *Field Crops Research*, 118(2), 158–168. doi:10.1016/j.fcr.2010.05.006
- Smith, J.D., Brown, K., & Johnson, R. (2019). Effects of plant density on yield and resource use efficiency in maize hybrids under low nitrogen conditions. *Field Crops Research*, 232, 90-98.

- Tokatlidis, I. S., & Koutroubas, S. D. (2004). A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Research*, 88(2-3), 103-114.
- Wang, X., Zhao, J., & Guo, Z. (2018). Adaptive responses of maize genotypes to nitrogen and density stress in subtropical climates. *Plant Science*, 269, 26-34.
- Zhang, L., Wang, F., & Zhao, Y. (2021). Plant density and nitrogen effects on maize phenology and grain yield under contrasting environmental conditions. *Agronomy Journal*, 113(5), 1674-1685.
- Zainuddin, B., and Aqil, M. (2021). Analysis of the relationship between leaf color spectrum and soil plant analysis development. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 911. doi: 10.1088/1755-1315/911/1/012045.

BAB IV

EVALUASI DAYA HASIL LANJUTAN JAGUNG HIBRIDA HASIL PERSILANGAN DIALIL PADA PEMUPUKAN N RENDAH DAN POPULASI PADAT

Abstrak

Stres akibat cekaman lingkungan merupakan tantangan utama dalam produksi jagung yang secara signifikan menghambat pertumbuhan dan hasil. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi daya hasil lanjutan jagung hibrida hasil persilangan dialil pada kondisi cekaman N rendah dan populasi padat. Penelitian dilaksanakan di KP Bajeng dan KP maros pada periode Maret-Nopember 2024. Sebanyak 25 hibrida (H1-H25) dan tiga varietas pembanding digunakan dalam penelitian. Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan Interaksi Lokasi x Hibrida x Cekaman N rendah berpengaruh terhadap karakter SPAD, hasil, dan orientasi daun (PLD), diameter tongkol (DTK), bobot 1000 biji (1000BJ), rendemen (REN), dan orientasi daun (PLD), Diameter tongkol (DTK) dan bobot 1000 biji (1000BJ). Sedangkan pada kondisi populasi padat, pengaruh sangat nyata pada sejumlah karakter, seperti UBJ (0), UBB (0), SPAD (0), PTKL (0), DTKL (0), REN (0), dan HASIL (0). Rata-taya hasil gabungan pada kondisi N rendah menunjukkan bahwa hibrida H1 (6,89 t/ha), H12 (6,77 t/ha), dan H7 (6,73 t/ha) memiliki hasil lebih tinggi dari varietas pembanding. Sedangkan pada cekaman populasi padat, H7 (8.16), H1 (8.04), H3 (8.01), H15 (8.01) dan H8 (7.83) memberikan hasil lebih tinggi dari varietas pembanding. Pemilihan hibrida terbaik berdasarkan karakter yang di inginkan nilainya meningkat dan menurun menggunakan MGIDI menghasilkan enam hibrida terbaik pada kondisi N rendah yaitu H1, H12, H22, H2, H6, dan H26. Selanjutnya, pada kondisi populasi padat hibrida terseleksi adalah H1, H22, H8, H21, H27, dan H17. Hibrida-hibrida ini menunjukkan pengurangan minimal pada hasil dan sifat utama di bawah stres N rendah atau populasi tinggi, menunjukkan adaptabilitas dan ketahanan yang kuat.

Kata kunci: Cekaman N rendah, populasi tinggi, jagung hibrida, morfo-fisiologi.

4.1. Pendahuluan.

Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas suatu tanaman adalah melalui penggunaan varietas yang unggul untuk mendapatkan varietas unggul maka harus melalui program pemuliaan tanaman. Evaluasi daya hasil lanjutan adalah proses penting dalam program pemuliaan tanaman, dimana merupakan langkah kunci dalam memastikan bahwa tanaman yang dihasilkan dari kegiatan pemuliaan memiliki potensi untuk memberikan hasil yang baik dan dapat meningkatkan produktivitas pertanian. Proses ini memerlukan pemahaman yang mendalam tentang genetika tanaman dan metode evaluasi yang baik untuk menghasilkan varietas unggul yang memenuhi kebutuhan pertanian dan masyarakat.

Evaluasi genotipe jagung untuk identifikasi karakter agronomi dan fisiologis yang berpengaruh terhadap hasil jagung penting dilakukan bukan hanya pada kondisi optimal saja namun juga pada kondisi cekaman abiotik seperti kekeringan, N rendah, populasi padat dan lain lain (Liu dan Qin, 2021). Pertimbangan lain dalam pemilihan varietas jagung adalah preferensi konsumen dan industri. Seleksi jagung dengan menggunakan berbagai karakter dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih efisien dengan mempertimbangkan nilai ekonomi dari karakter yang diinginkan (Dermail et al., 2022). Olivoto dan Nardino (2021) memperkenalkan indeks jarak multitrait genotype-ideotype (MGIDI), yang memilih genotipe yang sesuai berdasarkan informasi dari beberapa karakter. Penelitian ini bertujuan untuk a) mengevaluasi tanggapan genotipe jagung pada kondisi tanah optimum dan cekaman populasi padat serta nitrogen rendah, b) menentukan tingkat korelasi antar karakter dan sejumlah indeks toleransi, dan c) memprediksi respons seleksi berdasarkan berbagai karakter menggunakan pendekatan multi trait selection.

Populasi padat pada tanaman jagung juga seringkali diterapkan untuk meningkatkan hasil per satuan luas lahan. Namun, peningkatan kepadatan populasi dapat memicu kompetisi antar tanaman, khususnya dalam hal sinar matahari, air, dan nutrisi, yang berpotensi mengurangi hasil jika tidak diimbangi dengan adaptasi genetik yang tepat. Menurut Tokatlidis dan Koutroubas (2004), penanaman jagung dengan populasi padat membutuhkan toleransi yang tinggi terhadap kompetisi internal, termasuk dalam hal kemampuan efisien untuk memanfaatkan sumber daya. Hal ini dapat diwujudkan melalui karakteristik morfologi dan fisiologi tertentu, seperti arsitektur daun yang lebih tegak, sistem akar yang dalam, dan efisiensi penggunaan air dan nutrisi. Aspek penting dalam pemuliaan untuk populasi padat adalah penyesuaian karakter tanaman, seperti tinggi tanaman yang moderat untuk mengurangi

risiko rebah, serta ukuran daun dan distribusi biomassa yang mendukung efisiensi fotosintesis (Hammer et al., 2009). Assefa et al. (2018) juga menemukan bahwa jagung yang ditanam pada populasi padat memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik dengan pengaturan distribusi biomassa yang lebih optimal dan peningkatan indeks panen, yang pada akhirnya memaksimalkan hasil biji.

Lebih lanjut, adaptasi terhadap populasi padat juga terkait dengan strategi tanaman dalam mengalokasikan energi pada komponen hasil seperti jumlah baris biji per tongkol dan panjang tongkol. Dengan memaksimalkan karakter-karakter ini, jagung dapat mempertahankan potensi hasilnya meskipun berada dalam kondisi kompetisi intensif. Oleh karena itu, pendekatan seleksi genetik terhadap karakter adaptif dalam populasi padat menjadi penting untuk pengembangan varietas yang mampu berproduksi tinggi dalam kondisi agronomi modern (Rossini et al., 2011).

Cekaman nitrogen rendah banyak dijumpai di lapangan. Cekaman N rendah mengakibatkan gangguan pada proses metabolisme penting yang berdampak pada pertumbuhan dan hasil. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa karakter seperti tinggi tanaman, indeks daun, dan arsitektur akar berperan penting dalam menentukan toleransi tanaman jagung pada kondisi cekaman ini (Cairns et al., 2012). Oleh karena itu, pendekatan seleksi genotipe yang mempertimbangkan respons tanaman terhadap populasi padat dan nitrogen rendah menjadi penting untuk identifikasi varietas jagung yang adaptif dan produktif di berbagai kondisi lingkungan.

Pada kondisi status nitrogen dalam tanah rendah, efektivitas pemanfaatan nitrogen menjadi faktor kunci yang menaikkan produktivitas jagung. Genotipe yang memiliki efisiensi tinggi dalam penyerapan dan penggunaan nitrogen dapat mencapai hasil yang lebih tinggi meskipun berada dalam kondisi cekaman N rendah (Bänziger et al., 1999). Selain itu, tanaman yang beradaptasi dengan baik pada populasi padat dan nitrogen rendah biasanya memiliki sistem perakaran yang lebih luas dan efisien, serta karakter agronomi lainnya seperti laju transpirasi yang lebih rendah untuk mengurangi hilangnya air (Monneveux et al., 2006). Dengan mengidentifikasi dan memilih genotipe yang menunjukkan kombinasi karakter tersebut, para peneliti dapat mengembangkan varietas jagung yang lebih tahan terhadap berbagai cekaman abiotik, sehingga mendukung produktivitas yang stabil dalam jangka panjang di berbagai kondisi lahan pertanian.

Pengembangan genotipe jagung yang toleran terhadap cekaman populasi padat dan nitrogen rendah merupakan tantangan penting dalam upaya meningkatkan hasil dan ketahanan tanaman di lingkungan sub-optimal. Populasi padat pada tanaman jagung seringkali diterapkan untuk meningkatkan hasil per satuan luas

lahan. Namun, peningkatan kepadatan populasi dapat memicu kompetisi antar tanaman, khususnya dalam hal sinar matahari, air, dan nutrisi, yang berpotensi mengurangi hasil jika tidak diimbangi dengan adaptasi genetik yang tepat.

4.2. Metode Penelitian.

Kegiatan evaluasi hibrida hasil silang dialel dilaksanakan pada musim tanam 2024 di Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa dan Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Materi genetik yang digunakan sebanyak 25 hibrida hasil uji daya hasil pendahuluan serta tiga varietas hibrida komersial sebagai pembandingan. List hibrida yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 15. Percobaan disusun menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Adapun perlakuan yang diujikan pada UDHL adalah populasi normal, populasi padat dan pemupukan N rendah. Setiap hibrida uji ditanam 2 - 4 baris dengan panjang 5 m dan jarak tanam 70 x 20 cm untuk populasi 71.000/ha dan 60 x 20 cm untuk populasi 83.000 tanaman/ha. Tingkat takaran pupuk adalah:

Normal = N: 200 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha

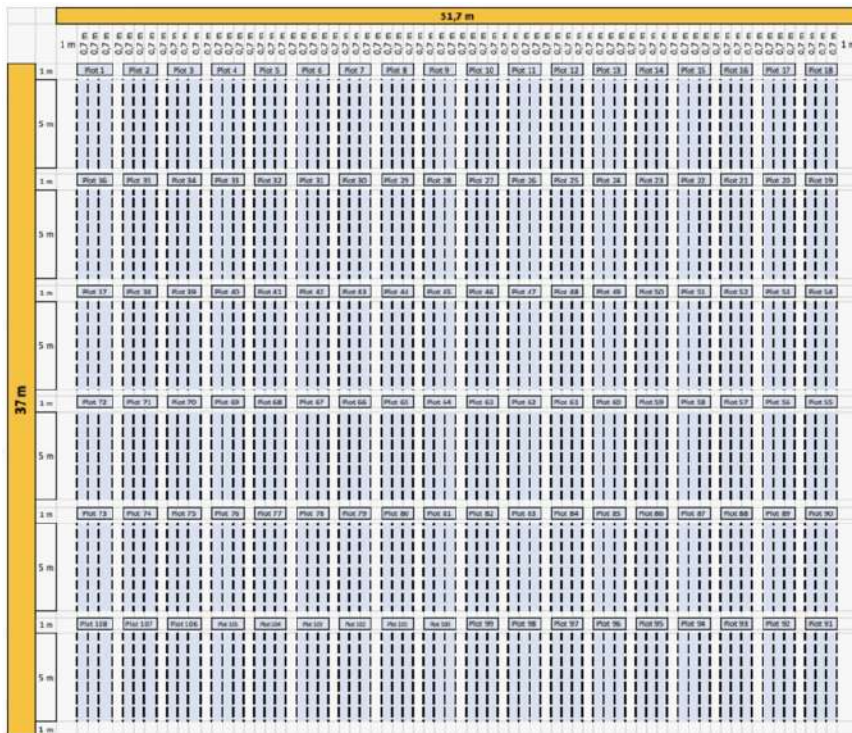
Low N = N: 100 kg/ha, P: 54 kg/ha, K: 54 kg/ha

Populasi Padat = N: 371 kg/ha, P: 63 kg/ha, K: 63 kg/ha

Lima sampel tanaman yang dikumpulkan dari setiap genotipe untuk analisis data fenotipik. Karakter yang diamati meliputi Catatan: UBJ (umur berbunga jantan), UBB (umur berbunga betina), PLD (orientasi daun), TT (tinggi tanaman), LD (lebar daun), PTKl (panjang tongkol), EA (aspek tongkol), Ren (rendemen), DB (diameter batang), DTKl (diameter tongkol), 1000bj (berat 1000 biji), JBrSBJ (jumlah baris biji) JBj (jumlah biji per baris), SdDn (sudut daun). Hasil biji dihitung, dengan perhitungan menggunakan rumus berikut (CIMMYT, 2004): aspek tongkol/EA (skor dari satu, sangat baik hingga lima, sangat buruk), rendemen biji (SP), diameter batang (SD), diameter tongkol (ED), interval anthesis-silking (ASI). Untuk aspek fisiologi tanaman meliputi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) diukur dengan menggunakan alat green seeker, klorofil daun (diukur menggunakan SPAD meter Minolta Tokyo), stay green, tingkat penuaan daun (skor 1 - 10), serta indeks luas daun, diukur menggunakan PAR (Photosynthetically Active Radiation) meter.

Tabel 16. Listing hibrida serta pedigree uji daya hasil
lanjutan

No	Hibrida	Pedigree
1	H1	3 X 6
2	H2	1 X 6
3	H3	5 X 1
4	H4	14 X 11
5	H5	5 X 7
6	H6	5 X 6
7	H7	5 X 11
8	H8	3 X 14
9	H9	8 X 6
10	H10	13 X 1
11	H11	13 X 11
12	H12	3 X 4
13	H13	3 X 5
14	H14	8 X 1
15	H15	1 X 11
16	H16	4 X 8
17	H17	4 X 14
18	H18	1 X 8
19	H19	4 X 7
20	H20	11 X 7
21	H21	3 X 7
22	H22	2 X 13
23	H23	4 X 5
24	H24	7 X 14
25	H25	11 X 4
26	H26	BISI 18
27	H27	NK 7328
28	H28	ADV 777



Gambar 20. Lay out percobaan uji daya hasil lanjutan.

Analisis data menggunakan analisis of variants (Anova) untuk memahami efek utama genotipe dan lingkungan serta efek interaksi. Indeks toleransi, peringkat genotipe, dan indeks genotipe $\times$ toleransi digunakan untuk menentukan indeks yang sesuai dalam pemilihan genotipe, termasuk indeks toleransi (stres (STI)) (Fernandez, 1992). Korelasi Pearson membantu menjelaskan hubungan antara hasil dalam kondisi dan indeks toleransi. Indeks jarak multitrait genotype-ideotype (MGIDI) digunakan untuk memilih genotipe dalam kondisi tanah asam optimal (Olivoto dan Nardino, 2021). Karakter seleksi yang digunakan meliputi berbagai aspek morfologi dan fisiologi tanaman. Hasil biji diberi bobot satu, sedangkan karakter lainnya juga di beri bobot satu. Penilaian kekuatan dan kelemahan setiap genotipe didasarkan pada proporsi nilai indeks MGIDI genotipe yang dijelaskan oleh karakter seleksi.

Paket perangkat lunak yang digunakan untuk analisis statistik adalah SAS OnDemand for Academics (welcome.oda.sas.com), RStudio (R versi 4.1.2), dan Microsoft Excel. SAS OnDemand for Academics digunakan untuk analisis variants, dan Microsoft Excel digunakan untuk perhitungan lanjutan

estimasi varians, heritabilitas, dan indeks toleransi. RStudio digunakan untuk membuat plot PCA, korelasi dan clustering dengan paket R (Ligges dan Maechler, 2003), dan untuk analisis korelasi, genotipe × indeks toleransi, MGIDI, dan seleksi diferensial dengan paket R “metan” (versi 1.18.0) (Olivoto dan Lúcio, 2020).

Tabel17. Kondisi iklim di lokasi pengujian UDHL Bajeng dan Maros, 2024

No.	Iklim	Kabupaten							
		Gowa				Maros			
		Tahun 2024							
		Agust	Sept	Okt	Nov	Agust	Sept	Okt	Nov
1	Suhu (oC)	27-33	27-33	27-32	25-30	27-33	27-32	27-32	26-31
2	Kelembaban (%)	35	35	40	45	53	58	72	85
3	Curah Hujan (mm)	8	11	40	100	8,2	16,4	50,2	148,5
4	Kecepatan Angin (km/jam)	14,5	11,8	11,8	7,5	13,4	10,8	10,8	7,5

Selama penelitian di Kabupaten Gowa dan Maros pada tahun 2024, kondisi iklim menunjukkan pola yang mempengaruhi pengelolaan tanaman jagung. Pada fase awal pertumbuhan (vegetatif), yang berlangsung dalam 40-50 hari pertama setelah tanam, suhu relatif tinggi (27-33°C) dengan kelembaban rendah, terutama di Gowa yang hanya 35-40%, serta curah hujan yang masih sangat minim, yaitu 8-40 mm. Kondisi ini menyebabkan evaporasi tinggi sehingga untuk mencegah tanaman dari cekaman kekeringan dilakukan pemberian air secara berkala setiap 1-2 minggu. Memasuki fase generatif, sekitar Oktober hingga November, curah hujan mulai meningkat signifikan, terutama di Maros yang mencapai 148.5 mm pada November, sementara Gowa juga mengalami peningkatan hingga 100 mm. Peningkatan kelembaban yang mencapai 85% di Maros dan 45% di Gowa pada periode ini dapat berdampak pada pengisian biji. Pada fase menjelang masak fisiologis penurunan suhu dan peningkatan curah hujan mempengaruhi pengeringan kelobot sehingga diperlukan pengeringan setelah fase panen.

4.3. Hasil dan Pembahasan.

4.3.1. Analisis Ragam Pada Kondisi Cekaman Populasi Padat.

Hasil analisis interaksi Lokasi x Hibrida menunjukkan adanya perbedaan tingkat signifikansi antara karakter agronomi yang diamati. Karakter sudut daun (p = 0) menunjukkan pengaruh sangat nyata, sedangkan rendemen (p = 0.02) menunjukkan

pengaruh nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua karakter ini sensitif terhadap variasi lingkungan dan genetik, meskipun tingkat signifikansinya berbeda. SDDN, yang berhubungan dengan sudut daun, berperan penting dalam efisiensi penangkapan cahaya, memengaruhi stabilitas pertumbuhan tanaman di berbagai lokasi. REN, sebagai indikator tingkat produktivitas, menunjukkan bahwa interaksi antara genotipe dan lokasi memengaruhi hasil, meskipun tidak sekuat SDDN.

Selain itu, karakter jumlah baris biji ($p = 0.04$) juga menunjukkan pengaruh nyata. Sebaliknya, sebagian besar karakter lainnya, seperti UBJ (umur berbunga jantan, $p = 0.76$), UBB (umur berbunga betina, $p = 0.96$), TT (tinggi tanaman, $p = 0.07$), dan HASIL ($p = 0.99$), menunjukkan pengaruh yang tidak nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa variabilitas karakter tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor lingkungan atau cekaman daripada interaksi genotipe dan lokasi. Misalnya, nilai p pada karakter hasil biji yang tinggi menunjukkan performa hasil biji yang stabil di berbagai lokasi tanpa adanya interaksi genotipe yang berarti.

Hasil analisis varians interaksi Lokasi x Hibrida x Cekaman menunjukkan pengaruh sangat nyata pada sejumlah karakter, seperti UBJ (0), UBB (0), SPAD (0), PTKL (0), DTKL (0), REN (0), dan HASIL (0). Hal ini mengindikasikan bahwa kombinasi lokasi, hibrida, dan cekaman secara konsisten mempengaruhi variabilitas karakter tersebut. UBJ dan UBB yang berkaitan dengan waktu berbunga menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan lingkungan dan cekaman. Hasil juga menunjukkan respons signifikan terhadap perlakuan, yang mencerminkan adaptasi genetik hibrida terhadap cekaman populasi padat. Karakter PLD (0.04), JLHBR (0.03), dan 1000BJ (0.01) memiliki pengaruh nyata ($p < 0.05$).

Variasi ini menunjukkan adanya respons moderat terhadap faktor interaksi, terutama dalam parameter yang berkaitan dengan komponen hasil (berat seribu biji dan jumlah baris biji). Hal ini menunjukkan pentingnya seleksi berbasis cekaman populasi untuk mempertahankan produktivitas dalam kondisi padat. Hasil ini menunjukkan bahwa karakter hibrida seperti nilai SPAD, PTKL, dan hasil biji (HASIL), sangat dipengaruhi oleh cekaman populasi padat. Oleh karena itu, hibrida yang memiliki toleransi terhadap cekaman populasi padat dapat memberikan kontribusi yang lebih tinggi terhadap produktivitas, terutama dalam kondisi lahan terbatas. Sebaliknya, beberapa karakter lain, seperti PA dan PD, tampaknya lebih stabil dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh adanya interaksi lingkungan.

Hasil analisis pada karakter hasil biji menunjukkan adanya interaksi yang sangat signifikan antara faktor Lokasi, Hibrida, dan Cekaman ($p = 0$). Hal ini mengindikasikan bahwa produktivitas hasil

biji sangat dipengaruhi oleh variasi genotipe dan lingkungan, termasuk cekaman populasi tanaman. Pada kondisi populasi padat, tanaman cenderung menghadapi kompetisi yang lebih tinggi untuk sumber daya seperti cahaya, air, dan nutrisi, sehingga memengaruhi hasil biji secara keseluruhan. Hasil penelitian Yang et al (2017) menunjukkan bahwa kompetisi antar tanaman pada populasi padat dapat menyebabkan penurunan efisiensi fotosintesis per individu akibat keterbatasan sumber daya yang tersedia. Selain itu, faktor seperti sudut daun yang lebih tegak (erect leaf) dan distribusi biomassa yang efisien menjadi penting untuk mengoptimalkan hasil pada kondisi populasi padat (Duvick, 2005).

Tabel 18. Analisis varians hibrida jagung pada kondisi cekaman populasi tinggi.

Karakter	Rata-rata	SD	CV	Lokasi	Lokasi x Rep	Hibrida	Lokasi x Hibrida	Lokasi x Hibrida X cekaman
UBJ	57.39	2.40	2.40	0.00	0.35	0.00	0.76	0.00
UBB	58.21	2.60	2.60	0.00	0.22	0.00	0.96	0.00
TT	168.30	17.07	7.90	0.29	0.00	0.03	0.07	0.09
TKTKL	83.98	13.35	11.80	0.10	0.00	0.06	0.63	0.00
PA	2.07	0.26	12.00	0.56	0.27	0.09	0.62	0.18
DB	1.85	0.30	13.50	0.01	0.29	0.03	0.66	0.01
PD	74.11	8.59	6.90	0.00	0.02	0.06	0.14	0.18
LD	8.37	1.02	6.70	0.00	0.51	0.00	0.26	0.10
SDDN	26.65	7.80	16.10	0.00	0.54	0.00	0.00	0.44
PLD	2.30	0.62	16.10	0.32	0.19	0.00	0.21	0.04
SPAD	48.66	5.47	10.00	0.15	0.03	0.05	0.94	0.00
EA	2.18	0.25	10.50	0.17	0.00	0.75	0.30	0.12
PTKL	16.00	2.53	11.80	0.51	0.64	0.01	0.33	0.00
DTKL	14.90	18.02	7.10	0.00	0.50	0.16	0.00	0.00
JLHBRS	15.91	1.24	5.90	0.99	0.06	0.00	0.36	0.03
BJJ	34.50	3.78	7.70	0.94	0.25	0.02	0.04	0.00
1000BJ	235.71	30.72	9.90	0.02	0.09	0.00	0.33	0.01
REN	0.79	0.39	0.11	0.01	0.76	0.21	0.02	0.00
HASIL	7.42	1.41	13.30	0.01	0.12	0.13	0.99	0.00

Hasil pengamatan rata-rata hasil biji menunjukkan adanya variasi penampilan antar hibrida di kedua lokasi (Bajeng dan Maros) serta dua kondisi cekaman (Normal dan populasi padat). Hasil percobaan pada lokasi Bajeng menunjukkan variasi yang signifikan pada hasil biji antara kondisi populasi normal dan padat. Beberapa hibrida menunjukkan peningkatan hasil biji yang signifikan pada

populasi padat, sementara yang lainnya mengalami penurunan. Hibrida H3, H7, H14, dan H15 menunjukkan peningkatan yang signifikan pada populasi padat dibandingkan dengan populasi normal. Hibrida H3 mengalami peningkatan dari 6.09 ton/ha pada populasi normal menjadi 8.88 ton/ha pada populasi padat, sementara H7 meningkat dari 7.6 ton/ha menjadi 9.02 ton/ha. Hibrida H14 menunjukkan peningkatan tinggi dari 4.79 ton/ha pada populasi normal menjadi 8.79 ton/ha pada populasi padat, dan H15 juga menunjukkan peningkatan yang besar, dari 6.22 ton/ha menjadi 9.75 ton/ha. Hibrida H20 juga menunjukkan peningkatan yang tinggi, dari 5,42 ton/ha pada kondisi normal menjadi 9.62 ton/ha pada kondisi populasi padat. Pada lokasi Bajeng terdapat tiga hibrida yang hasilnya lebih tinggi dari varietas pembanding, yaitu H7, H15, dan H20.

Tabel 19. Rata-rata hasil hibrida pada kondisi normal dan populasi tinggi.

Hibrida	Lokasi				Gabungan
	Bajeng		Maros		
	Normal	Populasi	Normal	Populasi	
H1	7.72	7.86	8.16	8.42	8.04
H2	6.95	7.59	8.69	6.38	7.40
H3	6.09	8.88	9.18	7.90	8.01
H4	4.87	6.30	8.68	6.09	6.49
H5	7.08	7.19	7.82	6.52	7.15
H6	4.79	7.03	8.19	8.37	7.10
H7	7.60	9.02	7.83	8.19	8.16
H8	6.79	7.64	8.86	8.03	7.83
H9	4.74	6.89	7.92	5.58	6.28
H10	6.84	8.70	8.21	6.97	7.68
H11	6.18	7.83	7.78	6.63	7.11
H12	6.82	6.69	8.62	8.54	7.67
H13	5.49	7.66	8.95	7.98	7.52
H14	4.79	8.79	7.72	6.75	7.01
H15	6.22	9.75	8.21	7.86	8.01
H16	6.44	6.55	7.66	8.18	7.21
H17	5.39	6.99	8.63	8.88	7.47
H18	5.65	7.38	7.55	6.04	6.66
H19	7.18	7.25	8.59	8.27	7.82
H20	5.42	9.62	7.72	7.92	7.67
H21	6.98	6.90	8.73	8.88	7.87
H22	7.00	7.84	8.46	6.49	7.45
H23	6.46	8.05	8.09	7.71	7.58
H24	5.22	5.67	8.29	6.62	6.45
H25	5.21	8.37	8.38	7.63	7.40
BISI 18	5.54	8.93	7.79	8.05	7.58
NK7328	6.56	8.32	9.14	7.08	7.77
ADV					
777	6.28	7.60	8.34	7.15	7.34
SE					
=0.84					
5%LSD	=2.38				

Peningkatan hasil biji pada hibrida tersebut menunjukkan bahwa beberapa hibrida dapat mengatasi cekaman kompetisi populasi padat dan beradaptasi dalam penggunaan sumber daya yang terbatas, seperti air, cahaya, dan nutrisi. Namun, beberapa hibrida menunjukkan hasil yang tidak signifikan antara kondisi normal dan padat. Misalnya, H1 menunjukkan hasil yang hampir sama dengan sedikit peningkatan dari 7.72 ton/ha pada populasi normal menjadi 7.86 ton/ha pada populasi padat. Sementara itu, H2 dan H8 mengalami sedikit penurunan hasil biji pada populasi padat, meskipun tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada peningkatan kompetisi, beberapa hibrida masih dapat berproduksi dengan hasil yang stabil. Di sisi lain, beberapa hibrida mengalami penurunan hasil biji yang signifikan pada populasi padat seperti H10, dan H21.

Hasil percobaan pada lokasi Maros menunjukkan variasi hasil biji yang cukup signifikan antara kondisi normal dan populasi padat. Sebagian besar hibrida menunjukkan hasil yang lebih baik pada kondisi populasi normal, sementara pada populasi padat, beberapa hibrida mengalami penurunan hasil biji. Hibrida H3 dan H17, misalnya, menunjukkan hasil yang lebih baik pada populasi normal, dengan H3 menghasilkan 9.18 ton/ha pada populasi normal dibandingkan dengan 7.9 ton/ha pada populasi padat, dan H17 yang menghasilkan 8.63 ton/ha pada populasi normal dibandingkan dengan 8.88 ton/ha pada populasi padat. Penurunan ini menunjukkan bahwa cekaman kompetisi pada tanaman dapat mempengaruhi hasil biji, meskipun secara umum tetap stabil pada beberapa hibrida lainnya.

Hibrida H1, H6, dan H21, menunjukkan hasil yang hampir sama antara populasi normal dan padat, meskipun terdapat sedikit peningkatan pada populasi padat. H1 misalnya, menunjukkan hasil yang sedikit meningkat dari 8.16 ton/ha pada populasi normal menjadi 8.42 ton/ha pada populasi padat. H6 juga menunjukkan hasil yang hampir setara, yaitu 8.19 ton/ha pada populasi normal dan 8.37 ton/ha pada populasi padat. Hibrida tersebut menunjukkan tingginya tingkat adaptasi terhadap kompetisi yang terjadi pada populasi padat. Secara keseluruhan, hasil percobaan di lokasi Maros mengindikasikan bahwa populasi padat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil biji tergantung pada hibrida uji. Beberapa hibrida menunjukkan peningkatan atau hasil yang stabil pada populasi padat, sementara yang lain mengalami penurunan hasil biji yang signifikan. Hal ini mempertegas pentingnya pemilihan hibrida yang tepat dalam kondisi populasi padat untuk memaksimalkan potensi hasil dan efisiensi penggunaan lahan. Interaksi antara kepadatan tanaman dan karakteristik genetik hibrida sangat mempengaruhi tingkat produktivitas tanaman (Wang et al., 2018; Liu et al., 2017). Pada lokasi Maros terdapat delapan hibrida yang

hasilnya lebih tinggi dari varietas pembanding, yaitu hibrida H1, H6, H7, H12, H16, H17, H19, dan H21.

Berdasarkan hasil gabungan dari kedua lokasi (Maros dan Bajeng), analisis menunjukkan sejumlah hibrida uji memiliki potensi yang lebih unggul dibandingkan dengan hibrida komersial (BISI 18, NK7328, dan ADV 777). Hibrida H7 (8,16 t/ha) menonjol dengan hasil tertinggi di antara semua hibrida yang diuji. Selain itu, hibrida H1 (8,04 t/ha) dan H3 (8,01 t/ha) juga menunjukkan hasil yang sangat baik, lebih tinggi dibandingkan dengan hibrida komersial yang digunakan sebagai pembanding. Hibrida H15 (8,01) juga menampilkan hasil yang sebanding dengan H3, dan lebih tinggi dibandingkan dengan semua hibrida komersial. Sementara itu, hibrida-hibrida lainnya seperti H8 (7,83) dan H19 (7,82) hasilnya dengan hibrida komersial seperti BISI 18 (7,58) dan NK7328 (7,77), menunjukkan bahwa keduanya juga dapat dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut, meskipun tidak seunggul hibrida-hibrida terbaik tersebut.

4.3.2. Analisis Komponen Utama (PCA) Populasi Padat.

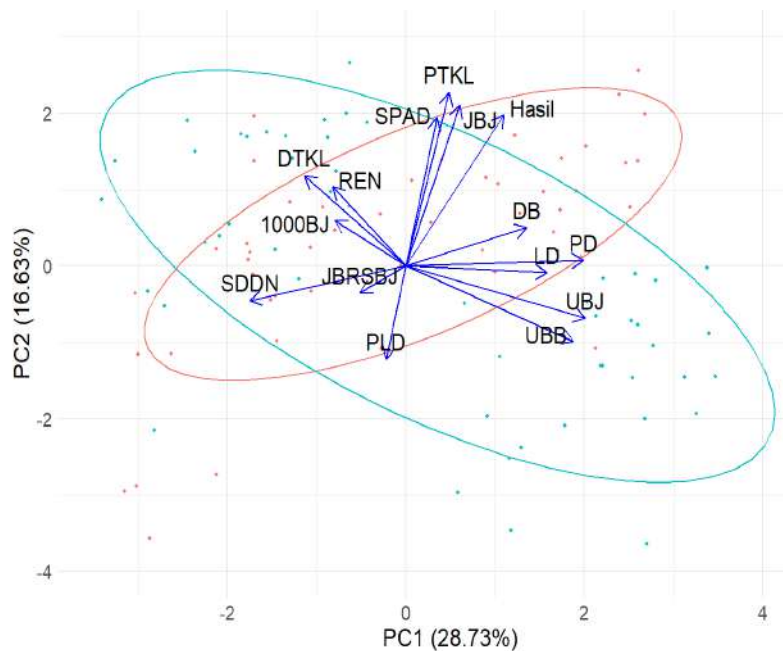
Analisis Komponen Utama digunakan untuk memilih genotipe dari beragam hibrida jagung yang diuji dengan mempertimbangkan berbagai sifat secara simultan. Pada penelitian ini, analisis PCA diterapkan pada 28 hibrida jagung dengan beragam karakter untuk mereduksi dimensi data serta mengidentifikasi korelasi potensial di antara sifat-sifat yang diukur. Berdasarkan hasil analisis, nilai eigen pada Dimensi 1 mencapai 4,60, dengan besaran proporsi varians yang dapat dijelaskan sebesar 28,73%. Dalam analisis PCA, dimensi dengan nilai eigen lebih dari 1 dianggap memiliki kontribusi penting, yang dalam studi ini meliputi lima dimensi. Dimensi 2 memiliki nilai eigen sebesar 2,66, menjelaskan 16,63% dari total varian, diikuti oleh Dimensi 3, Dimensi 4, dan Dimensi 5 dengan nilai eigen masing-masing sebesar 1,87, 1,34, dan 1,08, yang mampu berkontribusi sebesar 11,68%, 8,39%, dan 6,76% dari total varians (Tabel 20).

Secara keseluruhan, kelima dimensi ini menjelaskan 72,18% dari total varians, sehingga menjadi kunci untuk memahami hubungan antara karakter yang dianalisis. Dimensi 6 sampai 13 memiliki nilai eigen di bawah 1, yang mengindikasikan kontribusi yang lebih rendah terhadap struktur data dan dianggap kurang signifikan dalam konteks analisis ini. Dengan demikian, karakter tanaman dapat direpresentasikan oleh lima komponen utama, yang memungkinkan penyederhanaan kompleksitas data secara signifikan tanpa kehilangan informasi utama.

Tabel 20. Nilai Eigen dan varians dari hibrida uji.

Dim	Nilai Eigen	Ragam (%)	Kumulatif Ragam (%)
Dim.1	4.5962	28.7263	28.7263
Dim.2	2.6608	16.6299	45.3562
Dim.3	1.8687	11.6796	57.0358
Dim.4	1.3427	8.3920	65.4278
Dim.5	1.0818	6.7611	72.1889
Dim.6	0.9311	5.8193	78.0082
Dim.7	0.7930	4.9561	82.9643
Dim.8	0.6246	3.9039	86.8682
Dim.9	0.5642	3.5265	90.3948
Dim.10	0.4259	2.6617	93.0565
Dim.11	0.2883	1.8017	94.8582
Dim.12	0.2835	1.7719	96.6301
Dim.13	0.2002	1.2513	97.8814
Dim.14	0.1834	1.1461	99.0275
Dim.15	0.1294	0.8086	99.8361
Dim.16	0.0262	0.1639	100.0000

Gambar 21 menampilkan biplot PCA hibrida jagung, yang dari lingkaran korelasi yang menggambarkan hubungan antar karakter, serta diagram batang yang menunjukkan variasi yang dijelaskan oleh setiap komponen utama. Biplot PCA pada gambar menunjukkan distribusi genotipe jagung berdasarkan dua kondisi lingkungan, yaitu normal dan populasi padat. Dua komponen utama, PC1 dan PC2, masing-masing menjelaskan 28,73% dan 16,63% dari total variasi, dengan total variasi kumulatif sebesar 45,36%. Genotipe pada kondisi normal tampak tersebar luas, mencerminkan keragaman respons yang tinggi terhadap lingkungan ini, baik dari segi fisiologis maupun agronomis. Sebaliknya, genotipe pada kondisi populasi padat juga menunjukkan pola distribusi yang unik, yang menyiratkan adanya adaptasi terhadap tekanan populasi tinggi, meskipun dengan tingkat keragaman yang berbeda dibandingkan kondisi normal.

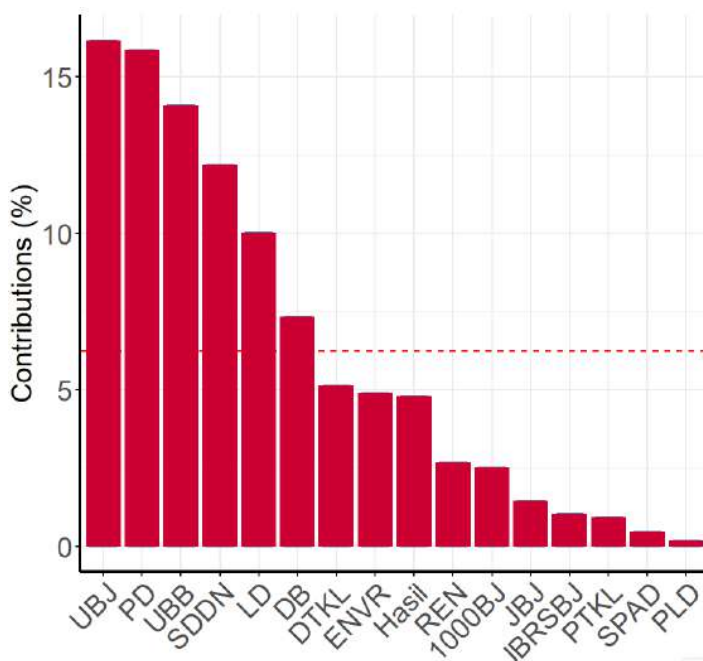


Gambar 21. Biplot analisis dari berbagai karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

Arah dan panjang vektor variabel mencerminkan kontribusi variabel terhadap masing-masing komponen utama. PC1, yang lebih dominan, terutama dipengaruhi oleh variabel seperti Hasil, SPAD, PTKL, dan JBJ, yang terkait dengan produktivitas dan kualitas tanaman. Sementara itu, PC2 dipengaruhi oleh variabel seperti SDDN, UBB, dan UBJ, yang mencerminkan adaptasi genotipe terhadap kondisi tekanan populasi. Genotipe pada kondisi normal memiliki korelasi yang kuat dengan variabel produktivitas seperti Hasil dan SPAD, sedangkan genotipe pada kondisi populasi padat lebih terkait dengan variabel adaptasi seperti SDDN dan UBB. Pemisahan ini memberikan wawasan penting dalam seleksi genotipe berdasarkan performa di lingkungan target, terutama untuk meningkatkan produktivitas pada populasi tinggi tanpa mengorbankan efisiensi sumber daya.

Variabel HASIL berperan penting dalam menentukan PC1, yang menunjukkan bahwa produktivitas adalah faktor utama yang memengaruhi variasi genotipe. Dalam kondisi normal, genotipe memiliki hubungan kuat dengan Variabel HASIL, yang berarti produktivitas yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada kondisi populasi padat, Variabel HASIL cenderung lebih rendah karena tekanan

populasi tinggi. Dengan demikian, Variabel HASIL adalah indikator penting untuk menilai penampilan genotipe jagung di berbagai kondisi, dan dapat digunakan dalam seleksi genotipe unggul untuk kondisi lingkungan yang berbeda.

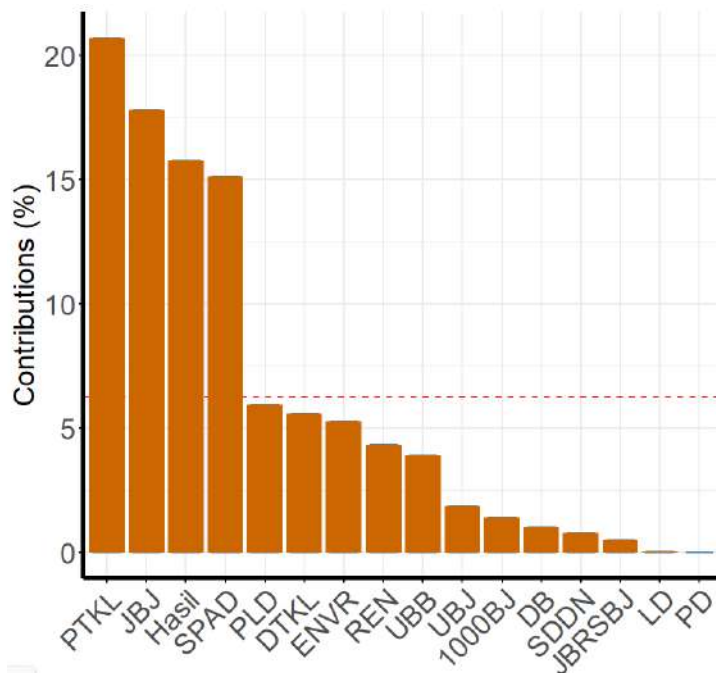


Gambar 22. Kontribusi Dim 1 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

Grafik diagram batang kontribusi variabel terhadap Dimensi 1 dalam analisis komponen utama menunjukkan variable UBJ, PD, UBB, SDDN dan LD memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 68% (Gambar 22). Hal ini menunjukkan bahwa variabel tersebut adalah faktor yang paling mempengaruhi variasi utama dalam data. Dengan kata lain, variasi di sepanjang Dim-1 terutama dipengaruhi oleh karakter agronomis penting seperti umur berbunga, luas daun dan sudut daun yang kemungkinan menjadi penentu utama dalam membedakan respon tanaman jagung terhadap perlakuan populasi padat.

Sementara itu, pada diagram plot Dim 2, variabel yang berkaitan dengan karakter tongkol seperti panjang tongkol, jumlah baris biji dan hasil biji serta diameter batang memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 54% (Gambar 23). Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut adalah faktor yang paling memengaruhi variasi utama dalam data. Dengan kata lain,

variasi di sepanjang Dim-2 terutama dipengaruhi oleh karakter tongkol jagung.



Gambar 23. Kontribusi Dim 2 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan populasi padat.

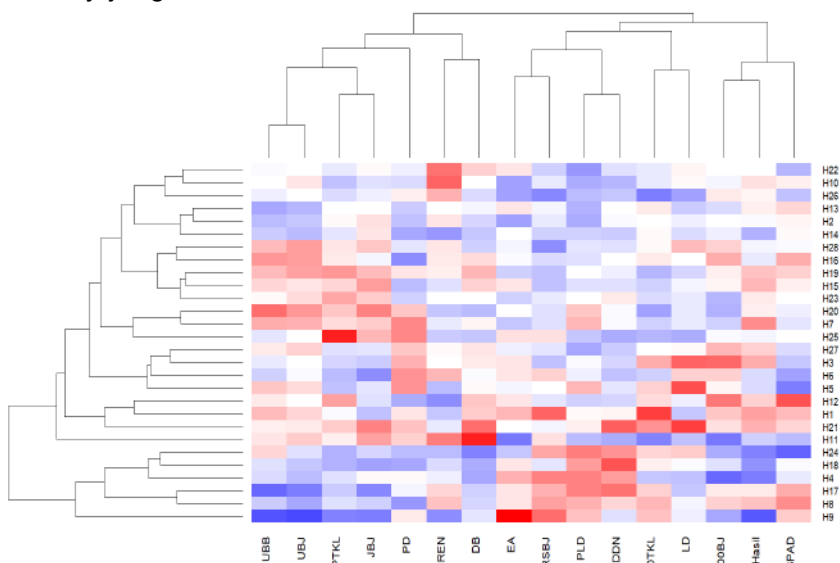
4.3.3. Pengelompokan Galur Hibrida Berdasarkan Toleransi Populasi Padat.

Pengelompokan hibrida berdasarkan karakter morfologi dan fisiologi digunakan untuk menilai adaptasi sekaligus sebagai panduan seleksi hibrida. Gambar 24 memperlihatkan visualisasi heatmap hierarki clustering hubungan antara hibrida jagung dan karakter morfo-fisiologisnya dalam kondisi cekaman populasi padat. Semakin tinggi nilai tingkat toleransi hibrida, semakin sedikit dampak negatif stres penambahan populasi terhadap masing-masing sifat, dan sebaliknya.

Cluster 1 terdiri dari hibrida H1, H4, H8, H9, H17, H18, dan H24. Klaster ini dicirikan oleh jagung dengan orientasi daun dan sudut daun yang lebih tegak, yang mendukung efisiensi fotosintesis. Hibrida dalam klaster ini juga memiliki potensi hasil yang lebih tinggi. Selain itu, karakter panjang tongkol juga relatif lebih unggul dibandingkan klaster lainnya. Namun, aspek tongkol di klaster ini

sedikit lebih rendah, menunjukkan kualitas tongkol yang kurang sempurna meskipun potensi produksi tinggi. Cluster 2 mencakup hibrida H2, H3, H5, H6, H10, H12, H13, H14, H15, H16, H19, H22, H23, H26, H27, dan H28. Klaster ini memiliki karakteristik diameter batang yang lebih kokoh, serta aspek tongkol yang baik, mencerminkan kualitas tongkol yang baik serta hasil tinggi khususnya H1. Tingkat rendemen juga tinggi pada klaster ini, menunjukkan kemampuan produksi biji yang optimal. Lebar daun di klaster menunjukkan ukuran daun yang relatif stabil tanpa keunggulan mencolok. Namun, orientasi daun pada klaster ini cenderung kurang tegak dibandingkan dengan Cluster 1.

Cluster 3 meliputi hibrida H7, H11, H20, H21, dan H25. Klaster ini dicirikan oleh jagung dengan umur berbunga jantan maupun betina yang lebih genjah. Meskipun memiliki waktu berbunga yang cepat, diameter tongkol dan berat biji pada klaster ini cenderung lebih rendah dibandingkan klaster lainnya, menunjukkan ukuran tongkol dan biji yang lebih kecil. Namun, hibrida pada klaster ini memiliki jumlah baris biji yang lebih banyak serta kelompok hibrida dengan tinggi tanaman lebih rendah. Secara setiap klaster menunjukkan penciri yang berbeda: Cluster 1 unggul pada orientasi daun tegak dan potensi hasil biji tinggi, Cluster 2 memiliki batang yang kokoh, rendemen yang tinggi, dan aspek tongkol yang baik, sedangkan Cluster 3 menonjol dalam waktu berbunga cepat dan jumlah baris biji yang lebih banyak meskipun dengan ukuran tongkol dan biji yang lebih kecil.



Gambar 24. Heatmap toleransi jagung hibrida berdasarkan morfo-fisiologi tanaman.

Selanjutnya, pengelompokan berbasis kolom dari karakter yang di analisis menghasilkan dua cluster utama. Klaster 1 terdiri dari karakter umur berbunga jantan, umur berbunga betina, panjang tongkol, jumlah biji per baris, jumlah baris biji, rendemen, dan diameter batang. Klaster ini berfokus pada faktor-faktor yang secara langsung mendukung produktivitas tanaman, terutama pada aspek pembungaan, potensi jumlah biji, dan efisiensi hasil panen. Umur berbunga jantan dan betina memainkan peran penting dalam sinkronisasi pembungaan, yang berdampak pada pembentukan biji. Panjang tongkol, jumlah biji per baris, dan jumlah baris biji menunjukkan kemampuan tanaman untuk menghasilkan tongkol yang padat dengan biji yang banyak. Rendemen mencerminkan efisiensi hasil biji dibandingkan dengan biomassa tanaman, sementara diameter batang yang kuat memberikan dukungan fisik untuk menopang hasil panen yang tinggi. Secara keseluruhan, klaster ini mencakup faktor fisiologis dan morfologis yang secara langsung berkaitan dengan produktivitas tanaman.

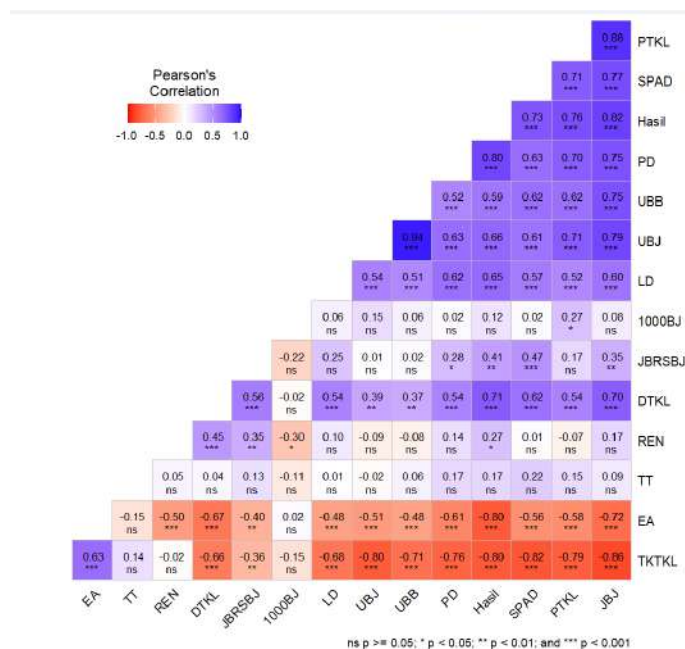
Klaster 2 mencakup orientasi daun, sudut daun, tinggi tanaman, lebar daun, diameter tongkol, aspek tongkol, berat 1000 biji, hasil, dan SPAD. Klaster ini lebih menggambarkan karakteristik morfologi, fisiologi, dan kualitas hasil tanaman secara keseluruhan. Orientasi dan sudut daun yang tegak mendukung efisiensi fotosintesis dengan penangkapan cahaya yang lebih optimal. Tinggi tanaman mencerminkan kapasitas pertumbuhan vegetatif, sementara lebar daun mendukung luas permukaan yang diperlukan untuk fotosintesis. Diameter tongkol dan aspek tongkol menjadi indikator kualitas hasil panen, dan berat 1000 biji menunjukkan ukuran biji yang merupakan parameter kualitas. Hasil, sebagai ukuran utama produksi tanaman, masuk dalam klaster ini karena mencerminkan kombinasi dari faktor morfologi dan fisiologi tanaman. SPAD, yang mengukur kadar klorofil daun, menggambarkan efisiensi fotosintesis, yang penting dalam menentukan kualitas pertumbuhan dan hasil tanaman.

4.3.4. Analisis Korelasi.

Heatmap korelasi ini menunjukkan hubungan antara berbagai karakter agronomi, fisiologis, dan hasil pada jagung hibrida. Warna biru tua menunjukkan korelasi positif yang kuat, sedangkan warna merah menunjukkan korelasi negatif yang kuat. Sementara itu, intensitas warna mengindikasikan kekuatan korelasi. Karakter hasil jagung memiliki korelasi positif yang signifikan dengan beberapa karakter penting, seperti SPAD ($r = 0.73$), PTKL ($r = 0.76$), dan JBJ ($r = 0.82$). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi fotosintesis (SPAD reading) dan komponen hasil seperti panjang

tongkol dan kepadatan biji per tongkol berkontribusi terhadap hasil yang lebih tinggi.

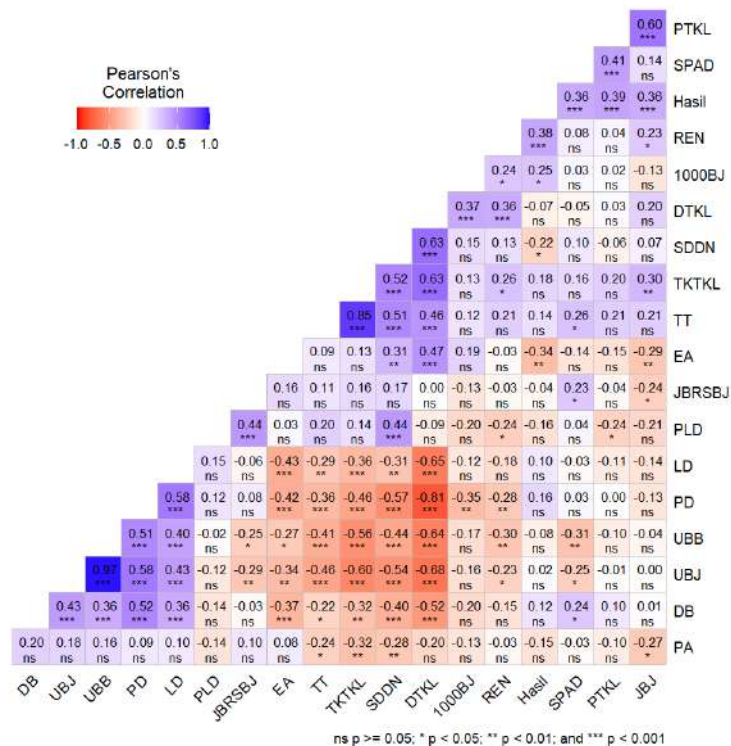
Karakter hasil juga berkorelasi signifikan dengan parameter komponen hasil diantaranya diameter tongkol ($r=0,71$), jumlah baris biji (0,41) serta sejumlah karakter agronomis seperti lebar daun (0,65), umur berbunga jantan (0,66), umur berbunga betina (0,59) serta karakter panjang daun (0,80). Sebaliknya, hasil menunjukkan korelasi negatif dengan beberapa karakter seperti TKTKL ($r = -0.80$) dan EA ($r = -0.80$), yang mana menunjukkan karakter yang diinginkan nilainya menurun/kecil.



Gambar 25. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotipe jagung pada kondisi cekaman normal.

Korelasi antara berbagai parameter agronomis juga menunjukkan hubungan yang signifikan pada sejumlah faktor. Korelasi yang sangat tinggi antara umur berbunga jantan dan umur berbunga betina ($r=0.94$) menunjukkan bahwa semakin cepat berbunga jantan, semakin cepat pula berbunga betina, yang mempengaruhi sinkronisasi penyerbukan. Korelasi moderat antara orientasi daun dan tinggi tanaman menggambarkan bahwa tanaman dengan orientasi daun yang lebih baik cenderung lebih tinggi, karena orientasi yang optimal meningkatkan efisiensi fotosintesis. Selain itu, lebar daun dan panjang tongkol memiliki korelasi yang menunjukkan bahwa daun yang lebih lebar mendukung

pertumbuhan tongkol yang lebih panjang. Korelasi yang tinggi juga ditemukan antara diameter batang dan diameter tongkol, yang mengindikasikan bahwa tanaman dengan batang lebih besar memiliki tongkol yang lebih besar. Korelasi antara berat 1000 biji dan jumlah baris biji berkisar antara 0,4 hingga 0,7, menunjukkan bahwa tanaman dengan biji yang lebih berat biasanya menghasilkan lebih banyak baris biji. Selanjutnya, korelasi antara jumlah biji per baris dan sudut daun yang berkisar antara 0,4 hingga 0,7 menunjukkan bahwa sudut daun yang optimal berpengaruh pada jumlah biji per baris yang dihasilkan.



Gambar 26. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi cekaman populasi padat.

Sementara itu, pada kondisi cekaman populasi padat, analisis korelasi faktor agronomi dan hasil jagung menunjukkan adanya keterkaitan aspek morfo-fisiologi tanaman dengan tingkat hasil (Gambar 26). Panjang tongkol memiliki korelasi tertinggi dengan hasil biji ($r = 0,39$), yang mana menunjukkan bahwa ukuran

tongkol yang lebih panjang memberikan lebih banyak ruang untuk perkembangan biji, sehingga meningkatkan hasil. Rendemen juga memiliki korelasi positif yang baik dengan hasil ($r = 0,38$), yang menunjukkan efisiensi pengisian biji pada tongkol sebagai penentu penting hasil. Jumlah biji per baris dan nilai SPAD masing-masing menunjukkan korelasi positif sedang dengan hasil biji, dengan nilai $r = 0,36$, dimana jumlah biji yang lebih banyak per baris dan kadar klorofil daun yang lebih tinggi berkontribusi terhadap peningkatan hasil. Berat 1000 biji memiliki korelasi positif lemah ($r = 0,25$), yangmana walaupun berat biji memiliki dampak terhadap hasil, pengaruhnya tidak sebesar faktor lain. Korelasi negatif sedang ditemukan antara hasil dan aspek tongkol ($r = -0,34$), menunjukkan bahwa penutupan tongkol yang tidak sempurna cenderung menurunkan hasil. Selain itu, sudut daun juga memiliki korelasi negatif lemah dengan hasil ($r = -0,22$), dimana sudut daun yang lebih horizontal dapat mengurangi efisiensi fotosintesis dan berpotensi menurunkan hasil.

Hasil analisis korelasi antara sudut daun, diameter batang, dan berbagai karakteristik tanaman lainnya beragam. Sudut daun memiliki korelasi negatif sedang dengan aspek tanaman ($r = -0,30$), yang menunjukkan bahwa sudut daun yang lebih horizontal dapat mempengaruhi efisiensi fotosintesis atau struktur tanaman secara keseluruhan. Sebaliknya, sudut daun dengan orientasi daun ($r = 0,44$), tinggi tanaman ($r = 0,51$), dan tinggi letak tongkol ($r = 0,52$), menunjukkan sudut daun yang lebih tegak mendukung orientasi daun yang optimal untuk menangkap cahaya, pertumbuhan vertikal tanaman, dan posisi tongkol yang lebih tinggi, yang semuanya dapat berkontribusi pada produktivitas tanaman. Korelasi lemah ditemukan antara sudut daun dan aspek penutupan kelobot ($r = 0,31$), mengindikasikan hubungan kecil antara keduanya.

Diameter batang memiliki korelasi negatif sedang dengan tinggi letak tongkol ($r = -0,32$), yang menunjukkan bahwa tanaman dengan batang yang lebih besar cenderung memiliki tongkol yang terletak lebih rendah, kemungkinan karena distribusi biomassa yang berbeda. Sebaliknya, diameter batang memiliki korelasi positif sedang dengan panjang daun ($r = 0,52$) dan umur berbunga ($r = 0,43$), yang menunjukkan bahwa batang yang lebih besar mendukung daun yang lebih panjang dan memengaruhi waktu berbunga tanaman. Hubungan lemah ditemukan antara diameter batang dan lebar daun ($r = 0,36$), yang menunjukkan pengaruh kecil diameter batang pada lebar daun.

Secara keseluruhan, sudut daun yang lebih tegak dan diameter batang yang lebih besar menunjukkan hubungan positif dengan beberapa karakteristik penting seperti panjang daun, tinggi tanaman, dan orientasi daun, yang semuanya mendukung efisiensi

fotosintesis dan produktivitas tanaman. Namun, hubungan negatif antara diameter batang dan tinggi letak tongkol menunjukkan adanya trade-off dalam alokasi biomassa. Oleh karena itu, seleksi dalam program pemuliaan tanaman sebaiknya difokuskan pada sudut daun yang lebih tegak, batang yang besar, serta panjang dan lebar daun yang optimal untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis dan hasil tanaman.

4.3.5. Seleksi Hibrida Menggunakan Pendekatan Multi Trait (MGIDI).

4.3.5.1. Analisis Faktor.

Proses seleksi genotipe berdasarkan karakteristik yang sesuai dengan preferensi pengguna menggunakan indeks Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI) diawali dengan analisis faktor untuk mengidentifikasi sifat-sifat utama yang memberikan kontribusi signifikan terhadap performa genotipe. Sifat-sifat ini mencakup karakter hasil biji, toleransi terhadap stres, kemampuan adaptasi, serta karakter agronomis lain yang relevan dengan tujuan pemuliaan. Setelah sifat-sifat utama diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah mengelompokkan sifat-sifat tersebut ke dalam faktor-faktor utama melalui analisis faktor. Setiap faktor utama terdiri atas sifat-sifat yang memiliki hubungan atau kontribusi serupa terhadap keragaman genotipe. Tingkat kontribusi masing-masing sifat terhadap faktor utama ditunjukkan oleh beban faktor atau factor loading, yang dapat dilihat pada Tabel 19.

Analisis lebih lanjut dengan Restricted Maximum Likelihood (REML) dan Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) mengidentifikasi enam faktor utama yang, secara keseluruhan, menjelaskan 89,43% dari variasi total. Ini berarti keenam komponen tersebut mampu menggambarkan sebagian besar keragaman sifat-sifat tersebut. Selain itu, nilai komunalitas variabel berkisar dari 0,53 untuk aspek tanaman hingga 0,88 untuk orientasi daun dan rendemen, menunjukkan bahwa sebagian besar variasi tiap variabel dapat dijelaskan oleh faktor-faktor tersebut. Tingkat akurasi untuk nilai rata-rata menunjukkan adanya variasi genetik yang signifikan di antara genotipe yang digunakan, dengan akurasi lebih dari 0,79. Tingkat akurasi yang tinggi ini memungkinkan prediksi nilai sifat genetik secara lebih tepat.

Pada Tabel 21, terlihat beban faktor dan komunalitas dari analisis faktor yang menggunakan rotasi varimax. FA1 meliputi karakter bobot janggel, umur berbunga betina, panjang tongkol, jumlah baris biji, dan jumlah biji per baris. FA2 berhubungan dengan tinggi tanaman, panjang daun, dan sudut daun. FA3

menggambarkan karakter hasil, seperti panjang tongkol, diameter batang, diameter tongkol, berat seribu biji, dan hasil total. FA4 terkait dengan efisiensi agronomis dan rendemen, sedangkan FA5 berfokus pada lebar daun. Faktor keenam, FA6 terkait panjang daun. Tingkat kontribusi masing-masing karakter terhadap faktor utama dapat dilihat melalui beban faktor yang disajikan dalam Tabel 19.

Tabel 21. Beban faktor dan komunalitas yang diperoleh dari analisis faktor.

VAR	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	Communalitas	Keunikan	Catatan
UBJ	-0.84	-0.15	-0.2	-0.18	-0.17	-0.21	0.87	0.13	FA1: BJ, UBB, PTKl, JBrBj, JBj
UBB	-0.85	0.08	0.11	-0.02	-0.2	-0.11	0.8	0.2	
TT	-0.05	0.86	0.15	-0.06	0.13	-0.03	0.78	0.22	
PA	0.32	-0.42	0.47	0.09	0.02	-0.12	0.53	0.47	FA2: TT, <u>PLD.SdDn</u>
EA	0.54	-0.03	0.02	0.71	0.01	-0.14	0.82	0.18	
PLD	0.14	0.74	0.39	0.32	-0.24	-0.07	0.88	0.12	FA3: PA, DB, DTKl, 1000bj, Hasil
DB	0.18	0.07	0.51	0.34	-0.08	0.49	0.66	0.34	
PD	0.15	0.09	0.06	-0.05	0.14	0.87	0.81	0.19	
LD	0.14	-0.07	0.19	-0.08	0.85	0.16	0.82	0.18	FA4: EA, Ren
SdDn	-0.16	-0.82	0.11	-0.11	0.17	-0.24	0.81	0.19	
PTkl	0.64	0.07	0.29	-0.22	-0.54	0.11	0.85	0.15	FA5: LD
DTkl	-0.41	-0.31	0.5	-0.42	0.41	-0.07	0.87	0.13	
JBrBj	-0.6	-0.46	0.16	-0.26	-0.17	0.36	0.83	0.17	FA6: PD
JBj	0.82	0.02	0.03	0.05	-0.31	0.09	0.78	0.22	
1000bj	-0.03	0.25	0.78	-0.1	0.36	-0.16	0.83	0.17	
Ren	-0.08	0.13	0.09	0.92	-0.04	0.06	0.88	0.12	
Hasil	0.32	-0.01	0.79	0.14	-0.05	0.13	0.77	0.23	

Rotasi ortogonal selanjutnya dilakukan pada factor loading yang menghasilkan nilai korelasi dari -1 hingga +1 yang mana menunjukkan korelasi antar faktor. FA1 menunjukkan hubungan negatif kuat dengan UBJ (-0.84) dan UBB (-0.85), yang mengindikasikan bahwa semakin lama waktu berbunga, semakin rendah nilai FA1. Sebaliknya, variabel JBj (0.82) memiliki korelasi positif sangat kuat, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah biji per baris secara signifikan meningkatkan FA1. Korelasi positif juga ditemukan pada PTKl (0.64) dan EA (0.54), menandakan bahwa panjang tongkol dan aspek tongkol berkontribusi cukup besar terhadap peningkatan FA1. Secara keseluruhan, FA1 sangat dipengaruhi oleh efisiensi berbunga dan potensi pengisian biji pada tongkol.

FA2 menunjukkan hubungan positif kuat dengan TT (0.86) dan PLD (0.74), yang berarti tinggi tanaman dan orientasi daun memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan nilai FA2. Sebaliknya, variabel SdDn (-0.82) memiliki korelasi negatif sangat kuat, menunjukkan bahwa semakin tajam sudut daun, nilai FA2 semakin menurun. Korelasi negatif juga ditemukan pada PA (-0.42), menunjukkan bahwa posisi daun yang lebih tegak sedikit mengurangi nilai FA2. Secara keseluruhan, FA2 tampaknya dipengaruhi oleh faktor tinggi tanaman dan orientasi daun, serta sudut daun.

Pada FA3, terdapat hubungan positif kuat dengan 1000bj (0.78) dan Hasil (0.79), yang berarti berat 1000 biji dan hasil panen memiliki pengaruh besar terhadap peningkatan nilai FA3. Korelasi positif sedang terlihat pada DB (0.51) dan DTkl (0.5), menunjukkan bahwa diameter batang dan tongkol juga berkontribusi terhadap FA3. Korelasi negatif yang lemah atau moderat pada variabel seperti SdDn (-0.11) dan TT (-0.15) menunjukkan pengaruh lemah pada FA3.

FA4 menunjukkan hubungan positif sangat kuat dengan Ren (0.92) dan EA (0.71), yang berarti rendemen dan aspek tongkol memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan nilai FA4. Korelasi positif sedang terlihat pada DB (0.34) dan PLD (0.32), menunjukkan bahwa diameter batang dan orientasi daun juga memengaruhi nilai FA4. Sebaliknya, korelasi negatif moderat pada DTkl (-0.42) dan JBrBj (-0.26) menunjukkan bahwa penurunan diameter tongkol dan jumlah baris biji dapat sedikit mengurangi nilai FA4. Secara keseluruhan, FA4 sangat dipengaruhi oleh rendemen, aspek tongkol, dan beberapa karakter morfologi batang serta daun.

FA5 memperlihatkan hubungan positif kuat dengan LD (0.85), yang mengindikasikan bahwa lebar daun menjadi faktor dominan dalam meningkatkan nilai FA5. Korelasi positif sedang ditemukan pada DTkl (0.41) dan 1000bj (0.36), yang berarti diameter tongkol dan berat 1000 biji juga memberikan kontribusi moderat. Sebaliknya, PTkl (-0.54) memiliki korelasi negatif moderat, menunjukkan bahwa panjang tongkol yang lebih pendek cenderung meningkatkan FA5. FA6 memperlihatkan hubungan positif sangat kuat dengan PD (0.87), yang berarti panjang daun menjadi faktor utama yang memengaruhi FA6. Korelasi positif sedang terlihat pada DB (0.49) dan JBrBj (0.36), menunjukkan bahwa diameter batang dan jumlah baris biji juga berkontribusi terhadap nilai FA6. Korelasi negatif lemah hingga moderat pada variabel seperti UBJ (-0.21) dan PA (-0.12) menunjukkan bahwa beberapa faktor berbunga dan posisi daun memiliki sedikit pengaruh terhadap FA6.

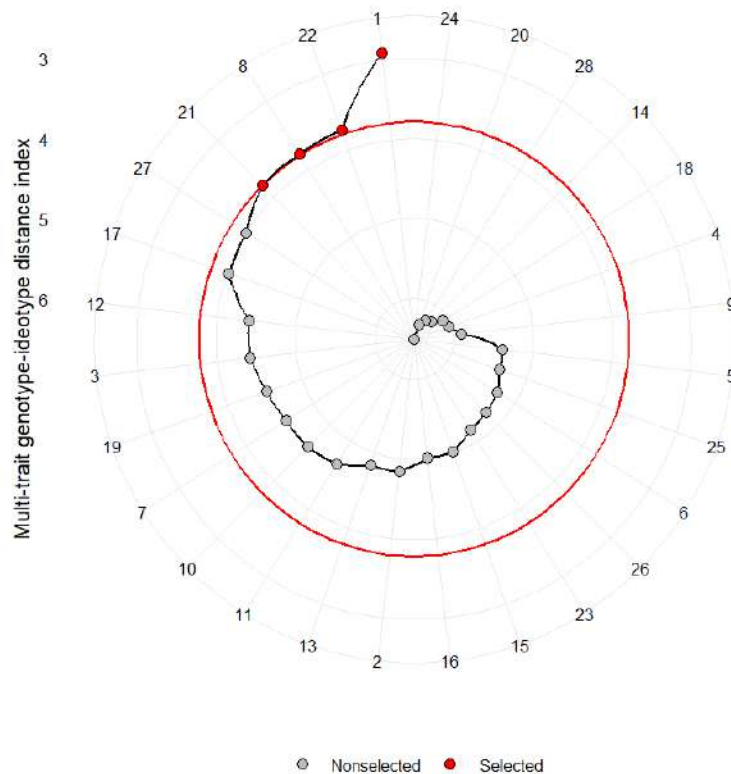
Tabel 22. Nilai prediksi genetik gain berdasarkan MGIDI.

VAR	Faktor	Xo	Xs	SD	SDperc	h ²	SG	SGperc	Nilai
UBJ	FA1	1.01	1	-0.008	-0.802	0.852	-0.007	-0.684	Menurun
UBB	FA1	1.01	1	-0.009	-0.898	0.869	-0.008	-0.781	Menurun
PTKl	FA1	1.06	1.03	-0.032	-3.01	0.802	-0.026	-2.42	Meningkat
JBrSb	FA1	0.968	1.01	0.045	4.64	0.853	0.038	3.96	Meningkat
j	FA1	1.04	1.01	-0.032	-3.03	0.818	-0.026	-2.48	Meningkat
JBj	FA1	1.04	1.01	-0.032	-3.03	0.818	-0.026	-2.48	Meningkat
TT	FA2	1.02	1.08	0.059	5.78	0.754	0.044	4.36	Menurun
PLD	FA2	1.05	1.08	0.031	2.93	0.943	0.029	2.77	Menurun
SdDn	FA2	1.16	1.39	0.228	19.6	0.889	0.202	17.4	Meningkat
PA	FA3	0.981	0.949	-0.032	-3.24	0.514	-0.016	-1.66	Menurun
DB	FA3	0.992	1.02	0.031	3.07	0.541	0.017	1.66	Meningkat
DTKl	FA3	0.508	0.531	0.023	4.56	0.885	0.016	3.12	Meningkat
1000	FA3	1.01	1.07	0.060	5.9	0.781	0.047	4.6	Meningkat
bj	FA3	1.01	1.07	0.058	5.79	0.6	0.035	3.47	Meningkat
Hasil	FA3	1.01	1.07	0.058	5.79	0.6	0.035	3.47	Meningkat
EA	FA4	0.992	0.993	0.001	0.0905	0.0435	0.000	0.00394	Menurun
Ren	FA4	1	1.02	0.014	1.37	0.706	0.010	0.97	Meningkat
LD	FA5	1.01	1.03	0.022	2.21	0.904	0.020	1.99	Meningkat
PD	FA6	1	1	0.001	0.122	0.626	0.001	0.0761	Meningkat

Berdasarkan analisis heritabilitas, karakter dengan nilai heritabilitas tertinggi adalah PLD sebesar 0.943, diikuti oleh LD sebesar 0.904 dan SdDn sebesar 0.889, menunjukkan stabilitas genetik yang tinggi pada karakter ini. Sebaliknya, heritabilitas terendah terdapat pada EA sebesar 0.0435, menunjukkan pengaruh lingkungan yang lebih dominan terhadap ekspresi karakter tersebut. Karakter lainnya seperti UBJ, UBB, dan JBrSb juga memiliki heritabilitas yang tinggi (di atas 0.8), sedangkan PA dan DB menunjukkan nilai heritabilitas moderat masing-masing sebesar 0.514 dan 0.541.

Hasil analisis heritabilitas menunjukkan bahwa karakter yang memiliki nilai heritabilitas tinggi mengindikasikan bahwa variasi genetik memiliki peran dominan dalam menentukan ekspresi karakter tersebut. Karakter-karakter ini lebih dapat diandalkan untuk seleksi genetik karena sifatnya yang stabil melintasi lingkungan. Sebaliknya, karakter seperti EA dengan heritabilitas sangat rendah menunjukkan bahwa pengaruh lingkungan lebih besar, sehingga kurang efektif jika dijadikan target utama dalam seleksi genetik. Implikasinya, upaya perbaikan varietas dapat difokuskan pada karakter dengan heritabilitas tinggi untuk mendapatkan hasil yang lebih cepat dan konsisten dalam program pemuliaan.

Gambar 27 menunjukkan peringkat genotipe berdasarkan nilai indeks MGIDI, hibrida terpilih berdasarkan analisis MGIDI di tandai dengan warna merah. Berdasarkan analisis simultan terhadap hibrida jagung, diperoleh enam hibrida terpilih diantaranya H1, H22, H8, H21, H27, dan H17. Hibrida terpilih berdasarkan kriteria seleksi dimana sebagian karakter di harapkan nilainya menurun serta sebagian lagi meningkat. Variabel yang nilainya meningkat mencakup JBrSBj, JBj, DB, DTkl, 1000bj, Hasil, Ren, LD, PTKl, dan PD. Sementara itu, variabel yang mengalami penurunan adalah UBJ, UBB, TT, SdDn, PLD, dan EA. Meskipun ada hubungan yang kuat antara sifat genotipe dan score, pencapaian nilai tinggi dapat terhambat oleh faktor lingkungan. Indeks MGIDI memungkinkan kita menilai keunggulan dan kelemahan setiap genotipe, mempermudah analisis potensi dan hambatan hibrida berdasarkan berbagai karakter secara menyeluruh.



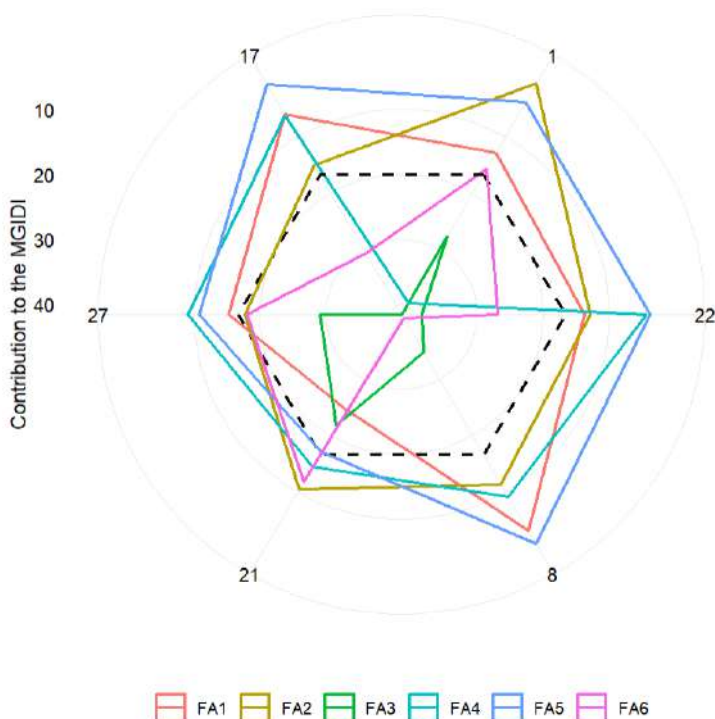
Gambar 27. Ranking genotype berdasarkan skor MGIDI.

4.3.5.2. Kekuatan dan Kelemahan Hibrida.

Grafik kontribusi dari setiap FA terhadap MGIDI dapat dilihat pada Gambar 28. Berdasarkan analisis kekuatan dan kelemahan hibrida jagung, setiap hibrida menunjukkan karakteristik unggulan pada faktor-faktor tertentu. Pada FA1, hibrida H8, H17, dan H1 menunjukkan keunggulan pada karakter BJ, UBB, PTkl, JBrSBJ, dan JBJ, mengindikasikan potensi yang baik pada fase berbunga dan pengisian biji. Hibrida ini memiliki keunggulan dalam efisiensi berbunga dan potensi pengisian biji, yang sangat penting untuk mendukung hasil.

Pada FA2, hibrida H1, H21, dan H8 menunjukkan nilai tinggi, yang berhubungan dengan karakter TT, PLD, dan SdDn. Hibrida ini unggul dalam aspek pertumbuhan tanaman dan orientasi daun, serta sudut daun yang lebih efisien, berpotensi mengoptimalkan penyerapan cahaya dan peningkatan hasil. Pada FA3, hibrida H21 dan H1 menonjol, terkait dengan PA, DB, DTkl, 1000bj, dan Hasil. Ini menunjukkan bahwa hibrida ini memiliki potensi tinggi dalam faktor pengisian biji, diameter batang, dan tongkol, serta hasil yang baik, yang semuanya berkontribusi pada produktivitas yang optimal.

Pada FA4, hibrida H22, H17, dan H27 menunjukkan hasil baik, terkait dengan karakter EA dan Ren. Hibrida-hibrida ini menunjukkan keunggulan dalam efisiensi aspek tongkol dan rendemen, yang berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen. Pada FA5, hasil yang merata di H1, H17, H8, dan H22 menunjukkan bahwa hibrida-hibrida ini unggul dalam karakter LD, yang mencerminkan potensi fotosintesis yang lebih efisien untuk mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman. FA6, hibrida H21 dan H1 memiliki nilai tinggi, terkait dengan karakter PD dimana panjang daun yang optimal meningkatkan kapasitas penyerapan cahaya dan meningkatkan hasil.



Gambar 28. Kekuatan dan kelemahan dari hibrida pada pengujian populasi padat.

4.3.6. Analisis Ragam Uji Daya Hasil Lanjutan pada Kondisi N rendah.

Selain pengujian pada kondisi populasi padat, pengujian hibrida juga dilakukan pada kondisi cekaman N rendah. Hasil analisis interaksi Lokasi x Hibrida menunjukkan adanya perbedaan tingkat signifikansi antara karakter agronomi yang diamati. Karakter yang menunjukkan interaksi sangat signifikan ($p < 0,01$) antara lokasi dan hibrida meliputi UBJ (umur berbunga jantan), UBB (umur berbunga betina), SPAD (indeks klorofil daun), EA (aspek tongkol), PTKL (panjang tongkol), DTKL (diameter tongkol), JBJ (jumlah biji per tongkol), 1000BJ (berat 1000 biji), REN (rendemen), SDDN (sudut daun), dan JLHBRS (jumlah baris biji). Interaksi yang sangat signifikan menunjukkan bahwa lokasi memiliki pengaruh besar terhadap hasil karakter tersebut, dan hibrida tertentu menunjukkan adaptasi yang berbeda pada kondisi lokasi yang berbeda, terutama pada aspek yang terkait langsung dengan hasil dan kualitas biji.

Sementara itu, karakter DB dan LD menunjukkan interaksi yang signifikan ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa meskipun perbedaan antara lokasi mempengaruhi hasil, pengaruhnya tidak

sebesar pada karakter-karakter yang sangat signifikan. Interaksi yang signifikan pada LD, menunjukkan bahwa luas daun hibrida dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan di setiap lokasi, yang mungkin terkait dengan perbedaan ketersediaan unsur hara atau kondisi cekaman lingkungan lainnya. Hal ini menunjukkan pentingnya evaluasi kondisi cekaman dalam memilih hibrida yang cocok untuk lingkungan tertentu.

Sementara itu karakter TT, PA, PD, PLD dan hasil biji tidak menunjukkan interaksi yang signifikan ($p \geq 0,05$), yang mengindikasikan bahwa performa hibrida pada karakter tersebut relatif stabil di kedua lokasi pengujian. Karakter hasil tidak terpengaruh oleh interaksi lokasi, yang menunjukkan karakter genetik hibrida dan cekaman lingkungan lebih dominan dalam mempengaruhi hasil biji.

Interaksi Lokasi x Hibrida x Cekaman N rendah terhadap karakter SPAD, hasil, dan orientasi daun (PLD), diameter tongkol (DTK), bobot 1000 biji (1000BJ), rendemen (REN), dan orientasi daun (PLD), Diameter tongkol (DTK) dan bobot 1000 biji (1000BJ) menunjukkan interaksi yang sangat nyata (**p-value = 0.00**). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi genetik hibrida tertentu memberikan performa terbaik pada cekaman nitrogen rendah di lokasi tertentu. Hal ini disebabkan karena DTK dan 1000BJ adalah komponen penting hasil, di mana peningkatan bobot biji sering kali berkorelasi dengan produktivitas total jagung (Gouesnard et al., 2016). Sementara itu, rendemen (REN) juga dipengaruhi secara signifikan (**p-value = 0.00**), mengindikasikan bahwa lingkungan cekaman memengaruhi efisiensi konversi biomassa menjadi biji. Karakter PLD, yang terkait dengan orientasi daun, memiliki interaksi signifikan (**p-value = 0.03**), mencerminkan pengaruh cekaman terhadap distribusi energi cahaya pada kanopi, yang berperan penting dalam efisiensi fotosintesis (Song et al., 2018). Hasil ini menunjukkan bahwa karakter-karakter tersebut perlu diperhatikan dalam seleksi genotipe, terutama untuk mengidentifikasi hibrida yang memiliki kombinasi adaptasi optimal terhadap lingkungan cekaman dan produktivitas tinggi. Terkait respon genetik yang berbeda terhadap cekaman ini sejalan dengan hasil penelitian Cairns et al. (2012), yang melaporkan bahwa genotipe jagung dengan efisiensi nitrogen tinggi menunjukkan stabilitas hasil lebih baik pada kondisi cekaman. SPAD dan total klorofil dapat digunakan sebagai indikator toleransi cekaman Low N karena kedua karakter ini menunjukkan hubungan positif dengan hasil. Karakter ini juga dapat diintegrasikan ke dalam program seleksi berbasis fenotipe untuk mengidentifikasi hibrida toleran.

Tabel 23. Analisis varians hibrida pada kondisi cekaman N rendah.

Karakter	Rata-rata	SD	CV	Lokasi	Lokasi x Rep	Hibrida	Lokasi x Hibrida	Lokasi x Hibrida X cekaman
UBJ	57.32	2.23	2.40	0.00	0.99	0.63	0.00	0.74
UBB	58.34	2.34	2.70	0.00	0.94	0.35	0.00	0.92
TT	163.20	16.93	8.80	0.65	0.08	0.02	0.86	0.99
TKTKL	100.37	35.63	11.30	0.00	0.00	0.56	0.00	0.96
PA	2.12	0.30	13.90	0.86	0.75	0.36	0.19	0.76
DB	1.85	0.33	15.80	0.00	0.85	0.43	0.04	0.88
PD	73.53	9.33	7.90	0.00	0.47	0.67	0.32	0.83
LD	8.32	1.08	6.90	0.00	0.57	0.42	0.03	0.68
SDDN	26.36	7.84	16.30	0.00	0.60	0.43	0.01	0.13
PLD	2.21	0.66	18.60	0.69	0.24	0.15	0.34	0.03
SPAD	43.73	10.32	11.10	0.00	1.00	0.31	0.00	0.00
EA	2.32	0.38	12.70	0.00	1.00	0.22	0.00	0.62
PTKL	14.93	3.30	12.90	0.00	1.00	0.31	0.00	0.08
DTKL	4.38	0.36	4.30	0.00	1.00	0.33	0.00	0.00
JLHBR	15.88	1.35	6.50	0.04	0.80	0.54	0.01	0.20
JB	31.01	6.46	10.00	0.00	1.00	0.38	0.00	0.07
1000B	226.80	36.71	12.90	0.10	0.99	0.38	0.00	0.00
REN	0.78	0.46	2.90	0.63	0.51	0.16	0.01	0.00
HASIL	6.23	1.87	15.90	0.00	0.65	0.04	0.22	0.00

Hasil analisis pada karakter hasil menunjukkan interaksi yang signifikan antara faktor Lokasi, Hibrida, dan Cekaman (**p-value = 0.00**). Hal ini mengindikasikan bahwa performa hasil biji pada setiap hibrida sangat bergantung pada kondisi lingkungan di masing-masing lokasi dan keberadaan cekaman nutrisi rendah (Low N). Beberapa hibrida menunjukkan hasil yang lebih stabil di kedua lokasi meskipun berada di bawah cekaman, sementara hibrida lainnya menunjukkan hasil tinggi hanya pada kondisi normal. Variasi ini mencerminkan adanya efek spesifik lokasi, di mana kondisi tanah, iklim, dan interaksi dengan cekaman Low N memengaruhi kapasitas hibrida untuk memaksimalkan hasil. Lokasi dengan cekaman nitrogen rendah cenderung menunjukkan hasil biji yang lebih rendah secara keseluruhan dibandingkan dengan lokasi normal, namun beberapa hibrida toleran mampu mempertahankan hasil. Interaksi yang signifikan memungkinkan dilakukan evaluasi lanjut terhadap kestabilan hasil hibrida pada berbagai lingkungan (Bänziger et al., 2000).

Tabel 24. Rata rata hasil biji pada kondisi normal dan cekaman N rendah.

Hibrida	Lokasi		Gabungan		Gabungan
	Bajeng		Maros		
	Normal	Low N	Normal	Low N	
H1	7.72	3.63	8.16	8.04	6.89
H2	6.95	4.61	8.69	5.31	6.39
H3	6.09	3.79	9.18	6.53	6.40
H4	4.87	3.83	8.68	3.93	5.33
H5	7.08	3.82	7.82	7.62	6.58
H6	4.79	4.46	8.19	5.82	5.82
H7	7.60	4.32	7.83	7.17	6.73
H8	6.79	4.17	8.86	6.61	6.61
H9	4.74	3.70	7.92	6.40	5.69
H10	6.84	4.41	8.21	6.22	6.42
H11	6.18	3.41	7.78	6.26	5.91
H12	6.82	4.03	8.62	7.63	6.77
H13	5.49	3.70	8.95	5.80	5.98
H14	4.79	3.73	7.72	6.57	5.70
H15	6.22	3.97	8.21	6.30	6.18
H16	6.44	3.66	7.66	6.42	6.05
H17	5.39	4.12	8.63	6.82	6.24
H18	5.65	3.14	7.55	5.67	5.50
H19	7.18	4.49	8.59	6.42	6.67
H20	5.42	4.26	7.72	6.01	5.85
H21	6.98	4.63	8.73	6.04	6.60
H22	7.00	4.70	8.46	6.54	6.67
H23	6.46	4.72	8.09	6.98	6.56
H24	5.22	4.05	8.29	4.95	5.63
H25	5.21	5.02	8.38	6.49	6.28
BISI 18	5.54	4.87	7.79	7.04	6.31
NK7328	6.56	1.19	9.14	7.09	5.99
ADV					
777	6.28	4.29	8.34	7.29	6.55
SE					
=0.57					
5%LSD =1.60					

Hasil pengamatan pada hasil biji menunjukkan adanya variasi antar hibrida di kedua lokasi (Bajeng dan Maros) serta kondisi cekaman (Normal dan Low N). Pada lokasi Bajeng, hasil rata-rata pada kondisi normal lebih tinggi dibandingkan N rendah, dan

sejumlah hibrida seperti H1 (7,72 t/ha) dan H7 (7,60 t/ha) menunjukkan hasil terbaik. Di bawah cekaman Low N, hasil pada lokasi Bajeng menurun secara signifikan, dengan hibrida H6 (4,46 t/ha) dan H25 (5,02 t/ha) masih mampu mempertahankan hasil yang cukup baik dibandingkan rata-rata hibrida lainnya. Penurunan hasil ini mengindikasikan pengaruh cekaman nutrisi yang signifikan, yang sejalan dengan literatur sebelumnya tentang efek cekaman nitrogen pada fisiologi tanaman jagung (Cairns et al., 2012).

Pada lokasi Maros, hasil rata-rata hibrida pada kondisi normal cenderung lebih tinggi dibandingkan Bajeng. Hibrida seperti H3 (9,18 t/ha) dan H21 (8,73 t/ha) menunjukkan hasil terbaik di kondisi normal, sedangkan H4 (8,68 t/ha) juga memberikan hasil tinggi meskipun sedikit lebih rendah. Pada kondisi cekaman Low N, beberapa hibrida mampu menunjukkan adaptasi yang baik dengan hasil yang relatif stabil, seperti H1 (8,04 t/ha) dan H5 (7,62 t/ha). Variasi hasil ini menunjukkan bahwa lingkungan Maros dapat mendukung adaptasi hibrida tertentu lebih baik pada kondisi cekaman dibandingkan Bajeng. Stabilitas hasil pada kondisi ini menjadi indikator penting dalam seleksi hibrida yang toleran terhadap cekaman.

Secara gabungan, rata-rata hasil biji menunjukkan bahwa hibrida seperti H1 (6,89 t/ha), H12 (6,77 t/ha), dan H7 (6,73 t/ha) memiliki hasil tinggi dan stabil di berbagai kondisi cekaman dan lokasi. Sebaliknya, beberapa hibrida seperti H4 (5,33 t/ha) dan H18 (5,50 t/ha) menunjukkan hasil yang lebih rendah secara keseluruhan, mengindikasikan sensitivitas terhadap cekaman nitrogen rendah.

Stabilitas hasil yang baik pada hibrida tertentu menunjukkan potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dalam program pemuliaan jagung, terutama pada lingkungan suboptimal. Strategi ini sejalan dengan pendekatan Bänziger et al. (2000) yang merekomendasikan evaluasi multi-lokasi dan seleksi berbasis toleransi cekaman untuk meningkatkan produktivitas tanaman di lingkungan marginal.

4.3.7. Analisis Komponen Utama (PCA) Cekaman N rendah.

Selain populasi padat, hibrida yang sama juga di analisis pada kondisi cekaman N rendah. Sebanyak 28 hibrida jagung dengan berbagai karakter dianalisis untuk mereduksi dimensi data serta mengidentifikasi korelasi potensial di antara sifat-sifat yang diukur. Dalam analisis PCA, dimensi dengan nilai eigen lebih dari 1 dianggap memiliki kontribusi penting, yang dalam studi ini meliputi empat dimensi. Berdasarkan hasil analisis, nilai eigen pada Dimensi 1 mencapai 6,97, dengan besaran proporsi varians yang dapat dijelaskan sebesar 43,61%. Dimensi 2 memiliki nilai eigen 2,75,

menjelaskan 17,21% dari total varian, diikuti oleh Dimensi 3, dan Dimensi 4, masing-masing memiliki nilai eigen 1,51, dan 1,00 yang mampu berkontribusi sebesar 9,42%, dan 6,30% (Tabel 23).

Secara keseluruhan, keempat dimensi ini menjelaskan 78,14% dari total varians, sehingga menjadi kunci untuk memahami hubungan antara karakter yang dianalisis. Dimensi 5 sampai 12 memiliki nilai eigen di bawah 1, yang mengindikasikan kontribusi yang lebih rendah terhadap struktur data dan dianggap kurang signifikan dalam konteks analisis ini. Dengan demikian, karakter tanaman dapat direpresentasikan oleh empat komponen utama, yang memungkinkan penyederhanaan kompleksitas data secara signifikan tanpa kehilangan informasi utama.

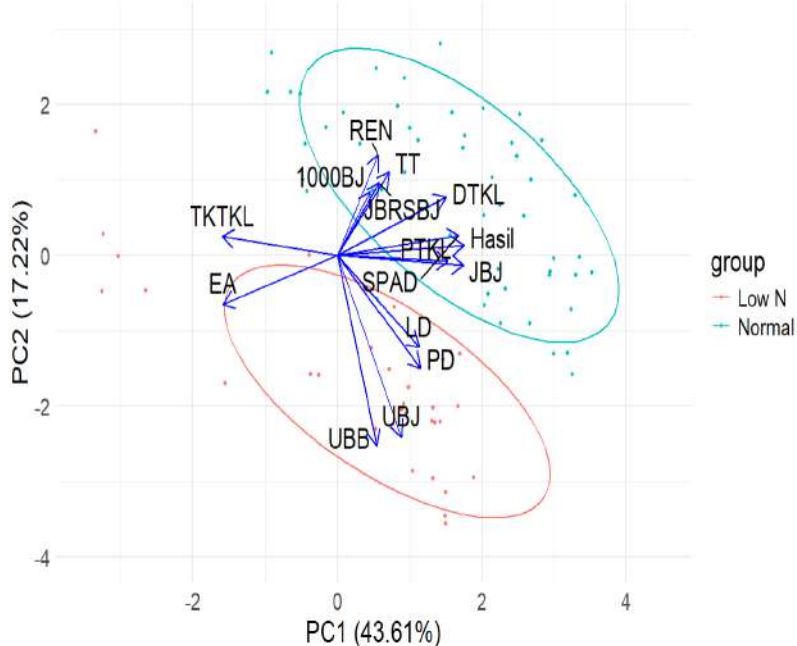
Table 25. Nilai Eigen dan varians dari hibrida uji pada kondisi N rendah.

Dim	Nilai Eigen var	Ragam (%)	Kumulatif Ragam (%)
Dim.1	6.9779	43.612	43.612
Dim.2	2.7549	17.218	60.83
Dim.3	1.5071	9.4193	70.249
Dim.4	1.0079	6.2997	76.549
Dim.5	0.9017	5.6354	82.184
Dim.6	0.7196	4.4976	86.682
Dim.7	0.5989	3.7429	90.424
Dim.8	0.3807	2.3796	92.804
Dim.9	0.2736	1.71	94.514
Dim.10	0.2107	1.3167	95.831
Dim.11	0.1953	1.2207	97.052
Dim.12	0.1662	1.0386	98.09

Gambar 29 menampilkan biplot PCA hibrida jagung, yang dari lingkaran korelasi yang menggambarkan hubungan antar sifat, serta diagram batang yang menunjukkan varian yang dijelaskan oleh setiap komponen utama. Biplot ini mampu menunjukkan perbedaan yang jelas antara perlakuan normal dan N rendah, yang mencerminkan adanya perbedaan signifikan dalam respons hibrida terhadap kedua kondisi tersebut.

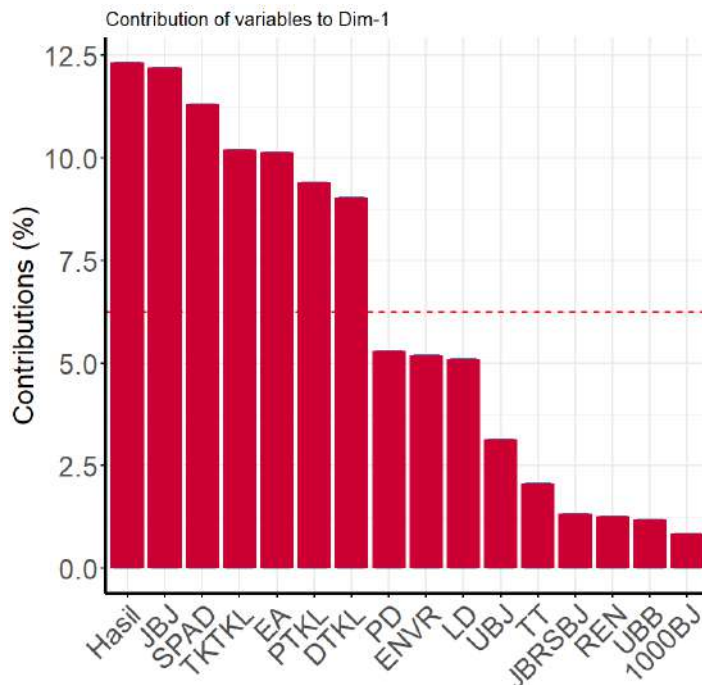
Grafik PCA menunjukkan distribusi genotipe berdasarkan dua komponen utama, yaitu PC1 yang menjelaskan 43,61% dari total variasi dan PC2 yang menjelaskan 17,22% variasi. Secara keseluruhan, kedua komponen utama ini mencakup 60,83% total variasi. Genotipe dikelompokkan berdasarkan dua kondisi

lingkungan, yaitu Low N dan normal. Kelompok genotipe pada kondisi Low N terlihat lebih tersebar dan terpisah dari kelompok pada kondisi Normal, yang menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam respons genotipe terhadap kondisi ketersediaan nitrogen.



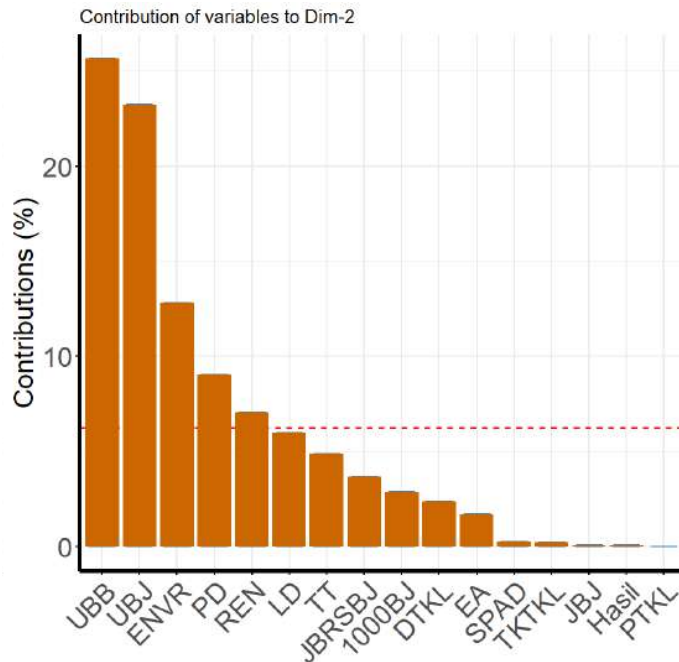
Gambar 29. Biplot PCA hibrida jagung pada kondisi normal dan nitrogen rendah.

Arah dan panjang vektor variabel mencerminkan kontribusi dan hubungan variabel terhadap masing-masing komponen utama. Variabel SPAD, 1000BJ, dan hasil memiliki kontribusi dominan terhadap PC1, sedangkan variabel seperti EA dan UBB lebih terkait dengan PC2. Variabel Hasil dan JBJ menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan kelompok pada kondisi Normal, sedangkan variabel EA lebih berkaitan dengan kelompok pada kondisi Low N. Pemisahan pada PC1 didominasi oleh produktivitas hasil, sedangkan PC2 memisahkan genotipe berdasarkan aspek perkembangan awal seperti EA. Analisis ini memberikan informasi kontribusi variabel utama terhadap performa genotipe di masing-masing kondisi lingkungan.



Gambar 30. Kontribusi Dim 1 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan N rendah.

Grafik diagram batang kontribusi variabel terhadap Dimensi 1 dalam analisis komponen utama menunjukkan variabel hasil biji, jumlah biji per baris dan SPAD memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 36%. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut adalah faktor yang paling mempengaruhi variasi utama dalam data. Variasi di sepanjang Dim-1 terutama dipengaruhi oleh kondisi lingkungan serta karakter agronomis penting seperti klorofil daun, susunan biji pada tongkol dan hasil biji, yang kemungkinan menjadi penentu utama dalam membedakan respon tanaman jagung terhadap perlakuan atau kondisi populasi. Sementara itu, pada diagram plot Dim 2, variabel yang berkaitan dengan karakter morfologi tanaman seperti umur berbunga jantan, umur berbunga betina, lingkungan tumbuh dan morfologi daun memberikan kontribusi tertinggi dengan total mencapai 54%. Hal ini menunjukkan bahwa variabel tersebut adalah faktor yang paling mempengaruhi variasi utama dalam data.



Gambar 31. Kontribusi Dim 2 karakter genotipe jagung pada kondisi normal dan N rendah.

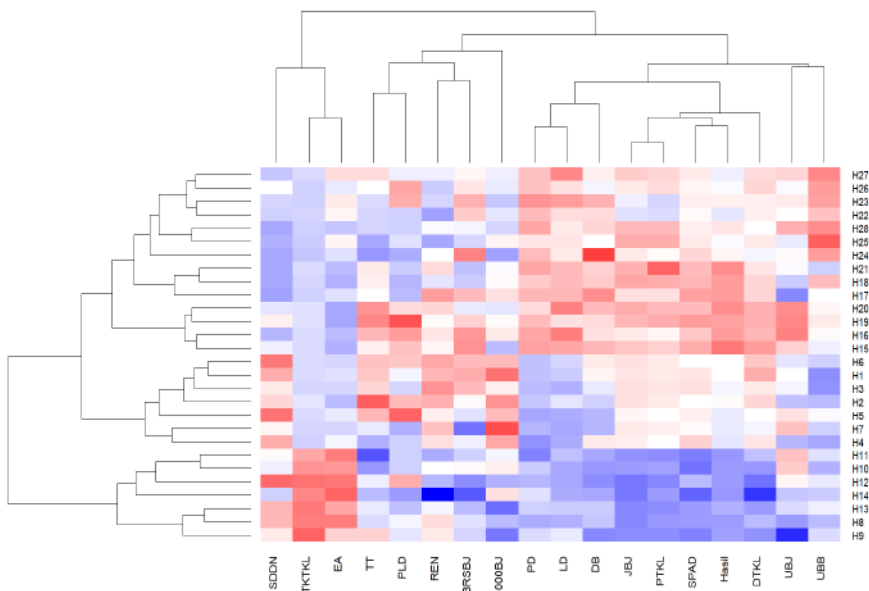
4.3.8. Pengelompokan Galur Hibrida Berdasarkan Toleransi N rendah.

Analisis klastering jagung hibrida berdasarkan pendekatan karakter morfo-fisiologi tanaman memberikan gambaran adaptasi tanaman serta dapat dijadikan dasar dalam proses seleksi hibrida. Gambar 32 memperlihatkan visualisasi heatmap hierarki clustering hubungan antara 28 hibrida jagung dengan berbagai karakter morfo-fisiologi dalam kondisi cekaman N rendah. Semakin tinggi nilai tingkat toleransi hibrida, semakin sedikit dampak negatif stres penambahan populasi terhadap masing-masing sifat, dan sebaliknya. Berdasarkan nilai toleransi rentang nilai tertinggi yang berkaitan dengan tingkat hasil biji sebesar 1,35-1,44 pada hibrida H15, H21 dan H20, sedangkan nilai toleransi cekaman minimum < 0,28 pada hibrida H11 dan H14. Clustering mengelompokkan hibrida menjadi tiga kelompok utama: kelompok hibrida yang toleran terhadap stres N rendah dan kelompok yang peka terhadap N rendah. Adapun sejumlah genotype dengan nilai tingkat toleransi tinggi terhadap N rendah (Cluster 1) diantaranya H15, H16, H17, H18, H19, H20, H21, Toleransi sedang (Cluster 2) meliputi H1-H7.

Adapun genotype dengan nilai tingkat toleransi rendah (Cluster 3) adalah H8-H14.

Hibrida toleran, seperti H15, H21 dan H20 memiliki nilai toleransi yang tinggi pada karakter utama seperti grain yield (GY) serta didukung oleh karakter agronomis, vegetatif, dan fisiologis seperti nilai SPAD, panjang dan lebar daun serta diameter batang. Sebaliknya, hibrida peka seperti H11 dan H14, menunjukkan nilai toleransi yang rendah pada karakter-karakter tersebut. Namun, pengelompokan hibrida lainnya tidak menjelaskan dengan baik kemampuan adaptasi terhadap N rendah. Kemampuan untuk mempertahankan pertumbuhan vegetatif seperti panjang dan lebar daun serta diameter batang berkontribusi pada distribusi nutrisi yang optimal ke tongkol dan biji (Araujo Rufino et al., 2018; Dodig et al., 2021).

Selain itu, kemampuan mempertahankan kandungan klorofil (SPAD) membantu tanaman menjaga kelangsungan fotosintesis yang esensial untuk mendukung pertumbuhan dan pengisian biji (Song et al., 2018; Kandel, 2020). Karakter agronomis seperti EL, ED, dan NKR juga berperan langsung dalam mempertahankan hasil GY yang tinggi di bawah kondisi kekeringan (Gouesnard et al., 2016, Balbaa et al., 2022).



Gambar 32. Heatmap toleransi 28 hibrida jagung hibrida berdasarkan morfo-fisiologi tanaman.

Selanjutnya, pengelompokan berbasis kolom dari 18 karakter yang di analisis menghasilkan tiga cluster utama. Cluster pertama mencakup 10 karakter, yang sebagian besar terkait dengan karakter daun (panjang dan lebar daun), umur berbunga, klorofil serta komponen hasil, tinggi letak tongkol, jantan, umur berbunga betina, umur panen panjang tongkol dan hasil biji. Adapun kluster kedua terdiri dari 5 karakter yang terkait dengan aspek tongkol dan biji seperti rendemen, berat 1000 biji, jumlah baris biji, serta karakter orientasi dan titti tanaman. Cluster III mencakup tiga karakter morfo-fisiologi yaitu tinggi letak tongkol, aspek tongkol serta sudut daun.

4.3.9. Analisis Korelasi.

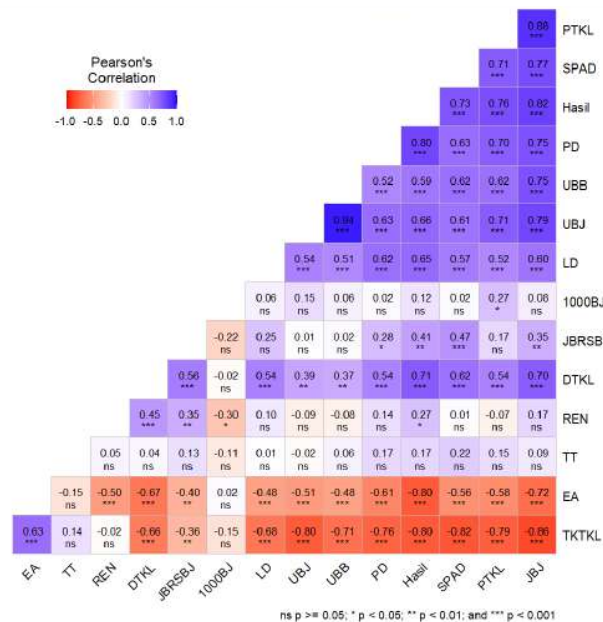
Heatmap korelasi ini menunjukkan hubungan antara berbagai karakter agronomi, fisiologis, dan hasil pada jagung hibrida. Warna biru tua menunjukkan korelasi positif yang kuat, sedangkan warna merah menunjukkan korelasi negatif yang kuat. Sementara itu, intensitas warna mengindikasikan kekuatan korelasi. Karakter hasil jagung memiliki korelasi positif yang signifikan dengan beberapa karakter penting, seperti SPAD ($r = 0.73$), PTKL ($r = 0.76$), dan JBJ ($r = 0.82$). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi fotosintesis (diukur melalui SPAD) dan atribut arsitektur tanaman seperti panjang tongkol dan kepadatan biji per tongkol berkontribusi terhadap hasil yang lebih tinggi.

Karakter hasil juga berkorelasi signifikan dengan parameter komponen hasil diantaranya diameter tongkol ($r=0,71$), jumlah baris biji (0,41), lebar daun (0,65), umur berbunga jantan (0,66), umur berbunga betina (0,59) serta karakter panjang daun (0,80). Sebaliknya, hasil menunjukkan korelasi negatif dengan beberapa karakter seperti TKTKL ($r = -0.80$) dan EA ($r = -0.80$), yang dapat mencerminkan hubungan antara hasil dan sifat yang tidak diinginkan, seperti tinggi letak tongkol atau aspek tongkol yang umumnya terkait dengan posisi dan penutupan kelobot jagung.

Korelasi antara berbagai parameter agronomis menunjukkan hubungan yang signifikan antara faktor-faktor pertumbuhan tanaman. Korelasi yang sangat tinggi antara umur berbunga jantan dan umur berbunga betina ($r=0.94$) menunjukkan bahwa semakin cepat berbunga jantan, semakin cepat pula berbunga betina, yang mempengaruhi proses penyerbukan. Korelasi moderat antara orientasi daun dan tinggi tanaman menggambarkan bahwa tanaman dengan orientasi daun yang lebih baik cenderung lebih tinggi, karena orientasi yang optimal meningkatkan efisiensi fotosintesis. Selain itu, lebar daun dan panjang tongkol memiliki korelasi yang menunjukkan bahwa daun yang lebih lebar mendukung pertumbuhan tongkol yang lebih panjang. Korelasi yang sama juga ditemukan antara diameter

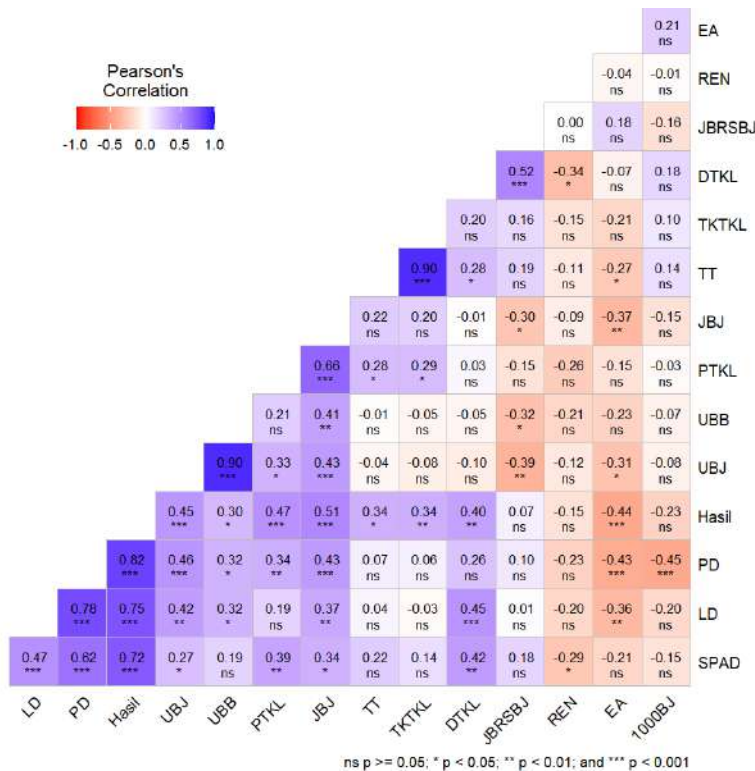
batang dan diameter tongkol, yang mengindikasikan bahwa tanaman dengan batang lebih besar memiliki tongkol yang lebih besar. Korelasi antara berat 1000 biji dan jumlah baris biji berkisar antara 0,4 hingga 0,7, menunjukkan bahwa tanaman dengan biji yang lebih berat biasanya menghasilkan lebih banyak baris biji. Terakhir, korelasi antara jumlah biji per baris dan sudut daun yang berkisar antara 0,4 hingga 0,7 menunjukkan bahwa sudut daun yang optimal berpengaruh pada jumlah biji per baris yang terbentuk.

Hasil analisis korelasi pada berbagai faktor agronomi dan hasil jagung di bawah cekaman N rendah memperlihatkan adanya hubungan yang signifikan antara karakter morfo-fisiologis dengan tingkat hasil. Karakter SPAD menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan hasil biji ($r = 0,72$). Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi fotosintesis, yang diwakili oleh nilai SPAD, berperan penting dalam mendukung produktivitas jagung di bawah kondisi cekaman. Demikian pula, panjang daun ($r = 0,82$) dan lebar daun ($r = 0,75$) menunjukkan korelasi yang tinggi dengan hasil. Ukuran daun yang lebih besar memungkinkan penyerapan cahaya yang lebih baik, sehingga meningkatkan aktivitas fotosintesis.



Gambar 33. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi cekaman normal.

Sebaliknya, aspek tongkol memiliki korelasi negatif dengan hasil ($r = -0,44$), yang menunjukkan bahwa bentuk penutupan kelobot lebih difokuskan pada bagaimana mencegah kontaminasi jamur (kelobot tertutup rapat). Karakter jumlah biji ($r = 0,51$) dan panjang tongkol ($r = 0,47$) menunjukkan hubungan moderat, menandakan bahwa faktor ini tetap relevan tetapi bukan penentu utama produktivitas. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa penampilan komponen hasil merupakan indikator penting yang harus mendapat perhatian untuk mendapatkan produksi yang tinggi. Sementara itu, korelasi hasil dengan tinggi tanaman dan tinggi letak tongkol yang berkisar antara 0,3 hingga 0,45 menunjukkan bahwa kedua karakter ini memiliki pengaruh yang lebih rendah terhadap hasil. Berdasarkan hal tersebut, pemilihan genotipe jagung yang unggul untuk toleransi terhadap cekaman N rendah sebaiknya mempertimbangkan karakter-karakter tersebut untuk mendapatkan hasil yang optimal.



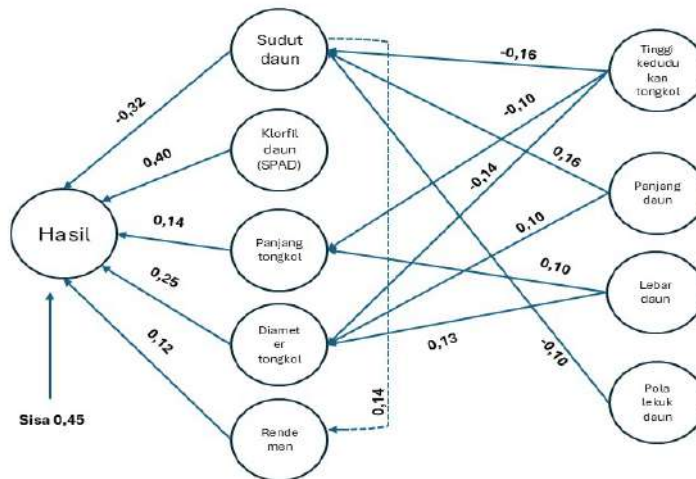
Gambar 34. Analisis korelasi karakter morfologi dan komponen hasil genotype jagung pada kondisi cekaman nitrogen rendah.

Korelasi umur berbunga jantan (DTS) dan umur berbunga betina (DS) ($r = 0,30$) menekankan pentingnya sinkronisasi fase reproduktif dalam memaksimalkan potensi hasil. Sinkronisasi ini membantu proses penyerbukan dan pembentukan biji berjalan secara optimal. Selain itu, tanaman dengan tinggi sedang dan distribusi daun yang efisien cenderung menghasilkan produktivitas yang lebih baik. Hal ini dapat dijelaskan oleh kemampuan fotosintesis yang optimal serta efisiensi penyerapan cahaya, seperti yang dilaporkan oleh Moll et al. (1982).

Analisis korelasi agronomi pada kondisi normal menunjukkan interaksi kompleks antara fase perkembangan, morfologi tanaman, dan hasil jagung. Korelasi hasil dengan komponen agronomis yang nilainya signifikan meliputi panjang daun (0,80), lebar daun (0,59), umur berbunga jantan (0,66) dan umur berbunga betina (0,59). Korelasi sangat signifikan juga diperoleh pada karakter UBJ dan UBB ($r = 0,94$), yang menekankan pentingnya sinkronisasi kedua fase ini untuk mencapai potensi hasil optimal (Duvick, 2005). Sinkronisasi tersebut mendukung kelancaran penyerbukan, yang sangat penting untuk pembentukan biji.

Table 26. Pengaruh langsung dan tidak langsung beberapa karakter jagung (variabel) terhadap hasil panen pada kondisi nitrogen rendah.

Variabel	Pengaruh Langsung pada Hasil	Pengaruh tidak Langsung terhadap Hasil melalui Variabel													
		UBB	TT	TKTKl	PD	LD	SdDn	PLD	SPAD	EA	PTkl	DTkl	JBrBj	B1000Bj	Ren
UBB	0.01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TT	0.10	0.00		0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	-0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
TKTKl	0.09	-0.06	0.02		-0.06	-0.06	0.05	0.00	-0.07	0.04	-0.07	-0.05	-0.03	-0.01	0.00
PD	0.15	0.06	0.03	-0.09		0.08	-0.07	0.00	0.07	-0.08	0.08	0.06	0.03	-0.01	0.01
LD	0.02	0.01	0.00	-0.01	0.01		-0.01	0.00	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
SdDn	-0.32	0.12	-0.02	-0.16	0.16	0.10		-0.10	0.03	-0.12	0.16	0.06	0.00	0.03	0.02
PLD	-0.04	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01		-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.01	0.00
SPAD	0.40	0.21	0.07	-0.30	0.20	0.19	-0.03	0.09		-0.13	0.25	0.22	0.12	0.01	0.00
EA	-0.10	0.02	0.02	-0.04	0.05	0.04	-0.04	0.00	0.03		0.04	0.05	0.02	0.00	0.03
PTkl	0.14	0.08	0.02	-0.10	0.08	0.06	-0.07	-0.01	0.09	-0.05		0.07	0.02	0.02	0.00
DTkl	0.25	0.05	0.03	-0.14	0.10	0.13	-0.05	0.04	0.14	-0.12	0.13		0.14	0.02	0.10
JBrBj	0.08	0.00	0.01	-0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	-0.02	0.01	0.05		-0.01	0.03
B1000Bj	0.06	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.01		-0.01
Ren	0.12	-0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.04	0.00	0.05	0.04	-0.03	



Gambar 35. Sidik Lintas Cekaman N Rendah.

Toleransi jagung (*Zea mays* L.) terhadap cekaman nitrogen rendah sangat bergantung pada kombinasi karakter agronomi yang mendukung efisiensi pemanfaatan sumber daya dalam tanah. Berdasarkan hasil analisis jalur, kandungan klorofil yang diukur dengan klorofil meter SPAD menunjukkan pengaruh langsung paling signifikan terhadap hasil panen dengan koefisien pengaruh langsung sebesar 0,40. Hal ini mengindikasikan bahwa efisiensi fotosintesis memainkan peran utama dalam menentukan produktivitas jagung dalam kondisi keterbatasan nitrogen. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa kandungan klorofil yang lebih tinggi berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi penggunaan nitrogen (NUE) serta ketahanan tanaman terhadap cekaman nitrogen rendah (Liu et al., 2018; Wu et al., 2019; Sairam et al., 2023). Selain itu, indeks SPAD juga memiliki efek tidak langsung yang positif terhadap diameter tongkol (DTkl) (0,25) dan jumlah baris biji per tongkol (0,22), yang semakin menegaskan perannya dalam mempertahankan hasil panen dalam kondisi nitrogen terbatas. Oleh karena itu, SPAD dapat diusulkan sebagai indikator utama dalam seleksi genotipe jagung yang toleran terhadap cekaman nitrogen rendah (Wkdw et al., 2007).

Arsitektur daun juga memainkan peran penting dalam adaptasi terhadap kondisi nitrogen rendah. Parameter seperti panjang daun (PD = 0,15), lebar daun (LD = 0,10), dan pola lekuk daun (PLD = -0,10) berkontribusi terhadap peningkatan intersepsi

radiasi matahari, yang selanjutnya mengoptimalkan aktivitas fotosintesis dalam kondisi cekaman. Sejalan dengan temuan ini, beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa genotipe jagung yang toleran terhadap nitrogen rendah cenderung memiliki indeks luas daun (LAI) yang lebih tinggi, memungkinkan peningkatan efisiensi pemanfaatan nitrogen dalam proses pertumbuhan dan produksi biomassa (Qian, 2014; Udo et al., 2017; Fan et al., 2022).

Kedudukan tongkol yang lebih rendah memiliki pengaruh tidak langsung terhadap hasil jagung melalui panjang dan diameter tongkol, dengan nilai koefisien pengaruh tidak langsung masing-masing sebesar -0,10 dan -0,14 dalam kondisi nitrogen rendah. Nilai koefisien negatif ini menunjukkan bahwa kedudukan tongkol yang lebih tinggi berkorelasi positif dengan peningkatan panjang dan diameter tongkol, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan hasil panen.

Secara fisiologis, kedudukan tongkol yang lebih rendah dapat mempengaruhi distribusi fotosintat dalam tanaman, yang berdampak langsung pada perkembangan organ reproduktif, termasuk ukuran tongkol. Posisi tongkol yang berada di bagian tengah batang cenderung memperoleh distribusi asimilat yang lebih seimbang, sehingga mendukung pertumbuhan tongkol yang lebih besar dan seragam. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa alokasi sumber daya fotosintesis ke tongkol sangat bergantung pada posisi anatomisnya dalam struktur tanaman (Liu et al., 2023).

Selain itu, efisiensi intersepsi cahaya oleh kanopi tanaman juga dipengaruhi oleh tinggi kedudukan tongkol. Posisi tongkol yang lebih rendah dapat mengurangi paparan terhadap cahaya matahari, yang menghambat kapasitas fotosintesis dan akumulasi biomassa, terutama dalam kondisi nitrogen yang terbatas. Intersepsi cahaya yang optimal sangat penting untuk mendukung sintesis karbon dan efisiensi penggunaan nitrogen, yang secara langsung berkontribusi terhadap pertumbuhan tongkol dan hasil biji (Liu et al., 2023). Oleh karena itu, tinggi kedudukan tongkol yang optimal dalam struktur tanaman dapat menjadi faktor kunci dalam strategi pemuliaan jagung untuk meningkatkan toleransi terhadap cekaman nitrogen rendah.

Umur berbunga menunjukkan pengaruh tidak langsung terhadap hasil melalui kandungan klorofil daun (SPAD) dengan nilai koefisien 0,22. Hubungan positif ini menunjukkan bahwa tingkat umur berbunga menentukan periode fotosintesis aktif, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi pengisian biji. Stabilitas kandungan klorofil selama periode pengisian biji menjadi faktor krusial dalam mendukung pembentukan hasil optimal pada kondisi nitrogen rendah (Rorie et al., 2011). Lebih lanjut, penelitian oleh Monneveux et al. (2005) dan Mu et al. (2016) mengonfirmasi bahwa tanaman dengan umur berbunga optimal lebih efisien dalam

mempertahankan stabilitas klorofil, sehingga dapat memaksimalkan produksi biomassa selama tahap pengisian biji dalam kondisi cekaman nitrogen.

Dari perspektif arsitektur kanopi, sudut daun yang kecil ($-0,32$) berpengaruh langsung positif terhadap hasil panen dalam kondisi N rendah. Hal ini menunjukkan bahwa kanopi daun yang lebih tegak memungkinkan intersepsi cahaya yang lebih efisien dan mengurangi laju transpirasi, sehingga meningkatkan retensi air dan efisiensi fotosintesis (Mantilla-Perez & Salas Fernandez, 2017). Karakter ini sangat penting dalam adaptasi terhadap lingkungan dengan keterbatasan nitrogen, karena tanaman dengan daun tegak dapat lebih efektif dalam menangkap radiasi matahari tanpa menaungi bagian bawah kanopi, yang mendukung efisiensi pemanfaatan nitrogen dan hasil panen yang lebih tinggi.

Selain karakter morfologi dan fisiologi daun, karakteristik tongkol juga menjadi faktor kunci dalam menentukan toleransi jagung terhadap nitrogen rendah. Diameter tongkol ($DTkl = 0,25$), panjang tongkol ($PTkl = 0,14$), dan rendemen biji ($Ren = 0,12$) menunjukkan kontribusi langsung yang signifikan terhadap hasil panen. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman dengan kapasitas pengisian biji yang lebih baik memiliki potensi hasil yang lebih tinggi meskipun dalam kondisi keterbatasan nitrogen. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa sink strength yang lebih besar—ditunjukkan oleh ukuran tongkol yang lebih besar dan rendemen biji yang tinggi—berperan dalam meningkatkan efisiensi transpor asimilat ke biji, sehingga mempertahankan produksi meskipun ketersediaan nitrogen terbatas (Jansen et al., 2015; Adhikari et al., 2021).

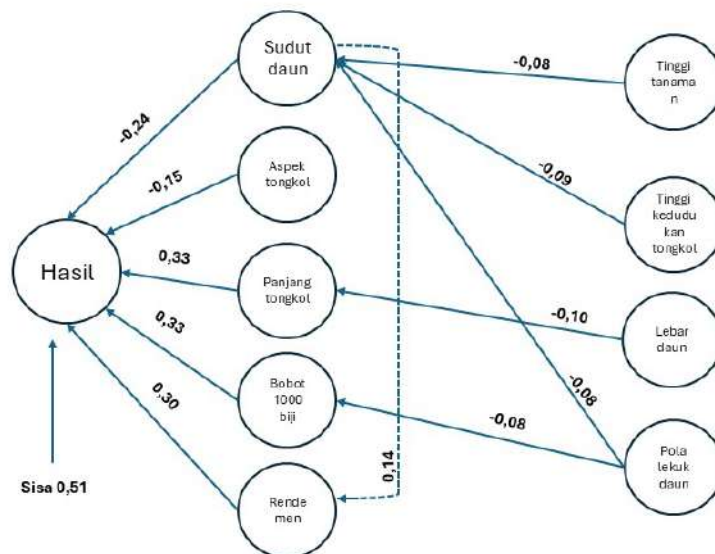
Lebih lanjut, stabilitas rendemen biji dalam kondisi nitrogen rendah juga terkait erat dengan efisiensi penggunaan nitrogen oleh tanaman. Genotipe yang lebih efisien dalam menyerap dan mendistribusikan nitrogen ke organ reproduktif menunjukkan potensi hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe yang mengalami keterbatasan dalam pemanfaatan nitrogen (Amanullah et al., 2016). Dengan demikian, seleksi tanaman dengan kombinasi karakter seperti kandungan klorofil tinggi (SPAD), ukuran tongkol yang optimal ($DTkl$, $PTkl$), dan arsitektur daun yang mendukung efisiensi fotosintesis dapat menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan toleransi jagung terhadap nitrogen rendah.

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi program pemuliaan jagung yang ditujukan untuk meningkatkan toleransi terhadap cekaman nitrogen rendah. Integrasi karakter-karakter utama dalam indeks seleksi dapat meningkatkan efektivitas program pengembangan varietas yang mampu mempertahankan hasil tinggi di lingkungan dengan keterbatasan nitrogen dan kekeringan. Pendekatan ini tidak hanya akan meningkatkan efisiensi

pemanfaatan sumber daya dalam sistem pertanian, tetapi juga berkontribusi terhadap sistem produksi jagung yang lebih berkelanjutan di berbagai kondisi lingkungan budidaya.

Table27. Pengaruh langsung dan tidak langsung beberapa karakter jagung (variabel) terhadap hasil panen pada kondisi Populasi Padat

Variabel	Pengaruh Langsung pada Hasil	Pengaruh tidak Langsung terhadap Hasil melalui Variabel														
		UBB	TT	TKTKl	PD	LD	SdDn	PLD	SPAD	EA	PTKl	DTKl	JBrBsBj	JBj	B1000Bj	Ren
UBB	-0.04		0.02	0.02	-0.02	-0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01
TT	-0.08	0.03		-0.07	0.01	0.02	-0.03	-0.01	-0.02	0.01	-0.01	-0.04	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
TKTKl	0.16	-0.08	0.13		-0.04	-0.05	0.06	0.01	0.03	-0.01	0.02	0.10	0.01	0.03	0.02	0.03
PD	0.12	0.07	-0.01	-0.03		0.06	-0.06	0.01	-0.01	-0.04	-0.02	-0.09	0.00	-0.01	-0.02	-0.03
LD	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
SdDn	-0.24	0.12	-0.08	-0.09	0.11	0.05		-0.08	-0.03	-0.05	-0.03	-0.14	-0.04	-0.02	-0.01	-0.04
PLD	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02		0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	-0.01
SPAD	0.08	-0.02	0.02	0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.00		-0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
EA	-0.15	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	-0.03	-0.01	0.02		0.01	-0.03	-0.01	0.02	0.00	0.01
PTKl	0.33	-0.04	0.03	0.05	-0.04	-0.10	0.05	-0.06	0.10	-0.03		0.11	-0.01	0.25	0.05	0.07
DTKl	-0.06	0.05	-0.03	-0.04	0.04	0.03	-0.03	0.01	-0.01	-0.01	-0.02		-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
JBrBsBj	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
JBj	0.05	0.00	0.00	0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.03	0.01	0.00		0.00	0.01
B1000Bj	0.33	-0.09	0.04	0.05	-0.06	-0.01	0.01	-0.08	0.05	-0.01	0.05	0.10	-0.02	-0.01		0.08
Ren	0.30	-0.09	0.05	0.07	-0.06	-0.04	0.04	-0.06	0.03	-0.02	0.06	0.11	0.00	0.09	0.07	
		-0.09	0.14	0.16	0.11	-0.04	-0.18	-0.21	0.25	-0.31	0.45	0.12	-0.04	0.36	0.43	0.42



Gambar 36. Sidik Lintas Cekaman Populasi Padat.

Ideotipe tanaman memainkan peran penting dalam menentukan toleransi jagung hibrida terhadap populasi padat (Jafari et al., 2024). Tanaman dengan tajuk di atas tongkol yang memiliki sudut daun kecil dan tegak menunjukkan adaptasi yang lebih baik terhadap kepadatan tinggi (Efendi et al., 2021; Zainuddin et al., 2024). Dalam penelitian ini, sudut daun ($SdDn$, -0.24) memiliki pengaruh langsung negatif terhadap hasil, yang mengindikasikan bahwa semakin kecil sudut daun dan pola lelek daun yang tegak (nilai koefisien pengaruh melalui sudut daun sebesar -0,08) memberikan pengaruh langsung yang cukup besar terhadap hasil pada kondisi populasi padat). Daun yang lebih tegak memungkinkan penetrasi cahaya yang lebih baik ke bagian bawah kanopi, meningkatkan efisiensi fotosintesis, serta mengurangi kompetisi antar tanaman dalam lingkungan populasi padat (Burgess et al., 2017; Jhu & Nakayama, 2024). Hal ini konsisten dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa ideotipe jagung modern dengan daun tegak lebih efisien dalam menangkap cahaya dan lebih responsif terhadap kepadatan tanam yang tinggi (Jafari et al., 2024).

Selain sudut daun, tinggi tanaman (TT , -0.08) dan tinggi kedudukan tongkol ($TKtkl$ = -0,09) menunjukkan pengaruh langsung negatif terhadap hasil melalui sudut daun. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman yang terlalu tinggi cenderung kurang efisien dan lebih rentan terhadap kompetisi sumber daya terutama cahaya dalam kondisi populasi padat. Tanaman jagung dengan tinggi sedang memberikan keseimbangan yang optimal antara efisiensi penangkapan cahaya dan alokasi sumber daya ke bagian generative (G. Liu et al., 2022).

Panjang daun berpengaruh tidak langsung terhadap hasil melalui sudut daun ($SdDn-PD$ = 0,10) dan lebar daun berpengaruh tidak langsung terhadap hasil melalui panjang tongkol ($PT-LD$ = -0,10). Nilai koefisien tidak langsung dari yang negative dari lebar daun menunjukkan bahwa lebar daun sebaiknya lebih sempit untuk mendukung hasil yang tinggi pada populasi padat. Lebar daun yang lebih sempit dapat meminimalkan shading antar daun dan tanaman, sehingga menjaga intersepsi cahaya ke daun sampai ke daun yang berada di posisi dibawah tongkol (Tian et al., 2019).

Pengaruh tidak langsung dari beberapa karakter, seperti tinggi posisi tongkol melalui sudut daun ($TKTKl-SdDn$, -0,09) menunjukkan nilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa kedudukan tongkol yang lebih rendah atau di Tengah akan memberikan pengaruh positif terhadap hasil pada kondisi populasi padat. Secara fisiologis, kedudukan tongkol yang lebih rendah dapat mempengaruhi distribusi fotosintat dalam tanaman, yang berdampak langsung pada perkembangan organ reproduktif, termasuk ukuran tongkol. Posisi tongkol yang berada di bagian tengah batang cenderung memperoleh distribusi asimilat yang lebih seimbang, sehingga

mendukung pertumbuhan tongkol yang lebih besar dan seragam. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa alokasi sumber daya fotosintesis ke tongkol sangat bergantung pada posisi anatomisnya dalam struktur tanaman (N. Liu et al., 2023).

Hasil penelitian ini mengindikasikan ideotype tanaman sangat berperan penting dalam menentukan toleransi tanaman jagung pada populasi padat sehingga dalam pemuliaan jagung hibrida hasil tinggi pada populasi padat harus mempertimbangkan ideotype tanaman yang ideal. Tanaman jagung hibrida dengan tajuk di atas tongkol, sudut daun kecil dan tegak, lebar daun sempit, tinggi tanaman yang sedang serta kedudukan tongkol ditengah akan tetap menjaga kesimbangan fotosintesis dan pembagian asimilat ke bagian komponen hasil seperti panjang dan diameter tongkol serta rendemen biji.

Pada aspek komponen hasil, beberapa karakter memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap produksi biji. Panjang tongkol (*PTkl*, 0.33) memberikan kontribusi positif terbesar terhadap hasil, menunjukkan bahwa tongkol yang lebih panjang mampu menampung lebih banyak biji dan meningkatkan hasil per tanaman. Selain itu, bobot 1000 biji (*B1000Bj*, 0.33) dan rendemen biji (*Ren*, 0.30) juga berperan penting dalam menentukan hasil dalam kondisi populasi padat. Rendemen biji merupakan rasio berat biji terhadap berat tongkol, di mana semakin tinggi nilai rendemen menunjukkan bahwa asimilat lebih banyak dialokasikan untuk pembentukan biji dibandingkan ke bagian janggol. Nilai rendemen biji yang lebih tinggi mencerminkan efisiensi distribusi biomassa ke bagian yang lebih produktif, sehingga mendukung peningkatan hasil panen secara keseluruhan (Rana et al., 2021)

Aspek tongkol (*EA*, -0.15) dalam analisis jalur menunjukkan pengaruh negatif terhadap hasil, yang mengindikasikan bahwa aspek tongkol yang buruk, seperti pengisian biji yang tidak merata atau ukuran tongkol yang tidak seragam, dapat menghambat produksi biji. Sebaliknya, aspek tongkol yang lebih baik, seperti kerapatan biji yang tinggi, pengisian biji yang penuh, dan ukuran tongkol yang seragam, akan memberikan kontribusi positif terhadap hasil panen.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa secara simultan ideotype tanaman (susut daun, pola lekuk daun, lebar daun, tinggi tanaman dan kedudukan tongkol) dan komponen hasil (panjang tongkol, bobot 1000 biji dan rendemen biji) berperan penting dalam keberhasilan pemuliaan jagung hibrida hasil tinggi pada kondisi populasi padat.

4.3.10. Seleksi Hibrida Menggunakan Pendekatan Multi Trait (MGIDI).

4.3.10.1. Analisis Faktor.

Analisis dimulai dengan faktorisasi identifikasi karakter penting yang memiliki kontribusi signifikan terhadap penampilan jagung hibrida. Karakter target mencakup berbagai aspek seperti hasil biji, penampilan tanaman, serta penampilan komponen hasil untuk perbaikan proses breeding. Selanjutnya dilakukan pengelompokkan sifat-sifat tersebut ke dalam faktor-faktor utama menggunakan analisis faktor. Setiap faktor utama mencakup beberapa sifat yang memiliki korelasi atau kontribusi serupa terhadap variabilitas genotipe. Beban faktor atau faktor loading yang menunjukkan tingkat kontribusi masing-masing sifat terhadap faktor yang mendasarinya dapat di lihat pada Tabel 24.

Analisis lebih lanjut dengan Restricted Maximum Likelihood (REML) dan Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) mengidentifikasi enam faktor utama yang, secara keseluruhan, menjelaskan 83,32% dari variasi total. Ini berarti keenam komponen tersebut mampu menggambarkan sebagian besar keragaman sifat-sifat tersebut. Selain itu, nilai komunalitas variabel-variabel berkisar dari 0,72 untuk diameter batang dan jumlah biji per baris. Adapun nilai tertinggi mencapai 0,92-0,93 untuk karakter panjang daun dan orientasi daun. Tingkat akurasi untuk nilai rata-rata menunjukkan adanya variasi genetik yang signifikan di antara genotipe yang digunakan, dengan akurasi lebih dari 0,85. Tingkat akurasi yang tinggi ini memungkinkan prediksi nilai sifat genetik secara lebih tepat.

Pada Tabel 26, terlihat beban faktor dan komunalitas dari analisis faktor yang menggunakan rotasi varimax. FA1 berkaitan dengan karakter umur berbunga Jantan, umur berbunga betina, jumlah baris biji serta jumlah biji per baris. Adapun FA2 berhubungan dengan diameter batang dan tongkol serta hasil biji dan berat 1000 biji. FA3 menggambarkan tinggi tanaman, sudut dan orientasi daun, sedangkan FA4 terkait dengan aspek tongkol dan rendemen biji. FA5 berkaitan dengan aspek panjang tongkol dan lebar daun, sedangkan FA6 berkaitan dengan karakter panjang daun.

Rotasi ortogonal selanjutnya dilakukan pada factor loading yang menghasilkan nilai korelasi dari -1 hingga +1 yang mana menunjukkan korelasi antar faktor. Pada FA1, karakter yang mempunyai korelasi tinggi adalah jumlah biji per baris (0,73), panjang tongkol (0,48), EA (0,34), orientasi daun (0,22), dan panjang tongkol (0,19). Sebaliknya, umur berbunga betina (-0,93), umur

panen (-0,93), dan jumlah baris biji (-0,69) berkorelasi negatif, artinya, apabila umur berbunga bertambah maka nilai FA1 akan menurun, begitu juga sebaliknya. Pada FA2, tinggi tanaman (0,27), rendemen (0,17) dan jumlah baris biji (0,16) juga berkorelasi positif. Sebaliknya, karakter hasil (-0,79), diameter batang (-0,84), berat 1000 biji (-0,76), dan diameter tongkol (-0,48) menunjukkan korelasi negatif yang kuat, mengindikasikan hubungan terbalik antara sifat-sifat ini dengan faktor tersebut. Korelasi negatif dengan hasil biji mengisyaratkan bahwa beberapa sifat berpeluang menghambat pencapaian produktivitas optimal, namun apabila karakter ini diperbaiki, produktivitas hasil bisa saja meningkat. Pada FA3, jumlah baris biji (0,48), diameter tongkol (0,46) mempunyai korelasi positif tinggi. Sebaliknya, tinggi tanaman (-0,84), orientasi daun (-0,78), dan sudut daun (-0,71) menunjukkan korelasi negatif yang kuat.

Tabel 28. Beban faktor dan komunalitas yang diperoleh dari analisis faktor N rendah.

VAR	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	FA6	Communalitas	Keunikan	Keeterangan
UBJ	0.93	0.13	0.15	0.07	0.04	0.03	0.9	0.1	FA1: UBJ, UBB, JBrSBJ, JBJ
UBB	0.93	-0.03	-0.09	0	0.1	0.14	0.9	0.1	
TT	0.04	0.27	-0.84	0.14	-0.18	0.13	0.84	0.16	FA2: DB, DTKl, 1000bj, Hasil
SdDn	0.17	-0.31	-0.71	-0.18	0.17	0.32	0.8	0.2	
EA	0.34	-0.16	0.06	-0.82	0.05	0.11	0.83	0.17	FA3: TT, SdDn, PLD
PLD	0.17	-0.46	-0.78	-0.2	0.2	0.01	0.92	0.08	
PD	0.03	0	-0.06	-0.06	-0.09	0.95	0.93	0.07	FA4: EA, Ren
LD	0.15	-0.19	0.03	0.06	-0.88	0.23	0.89	0.11	FA5: LD, PTKl, FA6: PD
DB	0.02	-0.84	-0.06	0.06	0.05	0.01	0.72	0.28	
PTkl	0.48	-0.39	0	0.17	0.63	0.26	0.87	0.13	
DTkl	0.34	-0.48	0.46	0.03	-0.42	0.19	0.77	0.23	
JBrSBJ	0.69	0.16	0.48	0.01	0.06	0.08	0.75	0.25	
JBJ	0.73	-0.09	-0.06	-0.1	0.37	0.18	0.72	0.28	
1000bj	0.18	-0.76	-0.24	0.19	-0.13	0.21	0.77	0.23	
Ren	0.16	0.17	-0.14	-0.89	-0.03	0.01	0.88	0.12	
Hasil	0.15	-0.79	0.08	-0.25	-0.05	0.3	0.81	0.19	

Catatan: UBJ (umur berbunga jantan), UBB (umur berbunga betina), PLD (orientasi daun), TT (tinggi tanaman), LD (lebar daun), PTKl (panjang tongkol), EA (aspek tongkol), Ren (rendemen), DB (diameter batang), DTKl (diameter tongkol), 1000bj (berat 1000 biji), JBrSBJ (jumlah baris biji) JBJ (jumlah biji per baris), SdDn (sudut daun)

Pada FA4, karakter tinggi tanaman (0,14) dan panjang tongkol (0,17) mempunyai korelasi positif kuat, sedangkan karakter rendemen biji (-0,89), aspek tongkol (-0,82), dan hasil biji (-0,25) berkorelasi negatif kuat. Pada FA5, karakter panjang tongkol (0,63), jumlah baris biji (0,37), dan sudut daun memberikan korelasi positif yang tinggi, sedangkan lebar daun (-0,88), diameter tongkol (-0,42), dan tinggi tanaman (-0,18) berkorelasi negatif. Pada FA6, karakter panjang daun (0,95), sudut daun (0,32), lebar daun (0,23), dan hasil biji (0,30) mempunyai korelasi positif, sementara berat 1000 biji (-0,21), dan diameter tongkol (-0,19) mempunyai korelasi negatif kuat.

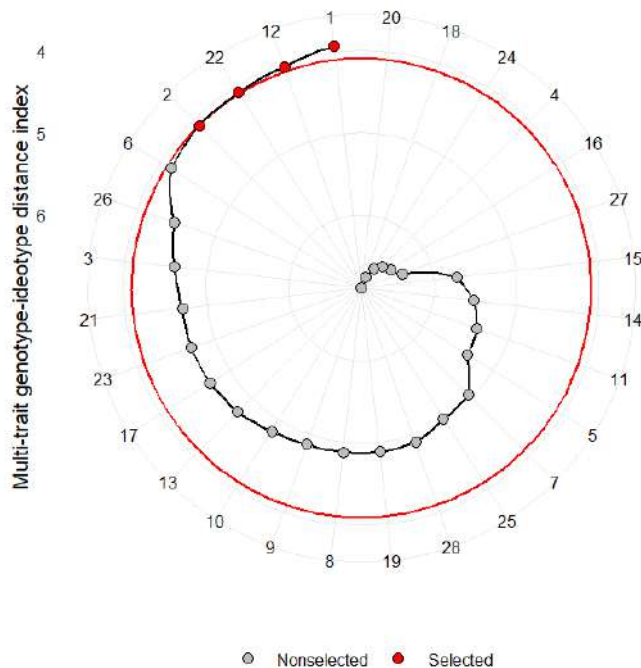
Nilai heritabilitas pada karakter jagung hibrida menunjukkan bahwa sebagian besar karakter memiliki proporsi variabilitas genetik yang tinggi, seperti umur berbunga jantan (UBJ), umur berbunga betina (UBB), sudut daun (SdDn), orientasi daun (PLD), lebar daun (LD), dan tinggi tanaman (TT), dengan nilai h^2 di atas 0.8 (Tabel 5). Hal ini menandakan bahwa seleksi langsung pada karakter-karakter tersebut akan efektif dalam program pemuliaan, karena pengaruh genetik lebih dominan dibandingkan pengaruh lingkungan. Sebaliknya, karakter seperti hasil (GY), aspek tongkol (EA), dan diameter batang (DB), yang memiliki heritabilitas sedang (0.4–0.7), lebih dipengaruhi oleh lingkungan sehingga memerlukan strategi seleksi di berbagai lokasi untuk mencapai perbaikan yang stabil.

Korelasi genetik juga memberikan informasi dalam membantu prioritas seleksi. Korelasi positif antara diameter tongkol (DTkl) dan berat 1000 biji (1000bj) dengan hasil menunjukkan bahwa perbaikan kedua karakter tersebut dapat langsung meningkatkan produktivitas. Sebaliknya, orientasi daun (PLD) dan sudut daun (SdDn) menunjukkan korelasi negatif dengan hasil, yang mendukung seleksi daun yang lebih tegak untuk meningkatkan efisiensi distribusi cahaya di kanopi. Dengan demikian, strategi pemuliaan yang mengintegrasikan seleksi berbasis heritabilitas tinggi untuk karakter agronomi utama dan pengujian multilokasi untuk karakter yang sensitif terhadap lingkungan dapat dijadikan acuan.

Tabel 29. Nilai prediksi genetik gain berdasarkan MGIDI.

VAR	Factor	Xo	Xs	SD	SDperc	h2	SG	SGperc	sense	Nilai
UBJ	FA1	1.01	1.01	-0.0057	-0.558	0.816	-0.005	-0.456	Menurun	100
UBB	FA1	1.01	1	-0.0148	-1.46	0.83	-0.012	-1.21	Menurun	100
JBrSbj	FA1	0.962	0.969	0.00718	0.747	0.836	0.006	0.624	Meningkat	100
JBj	FA1	1.03	0.988	-0.0409	-3.97	0.718	-0.029	-2.86	Meningkat	0
DB	FA2	0.987	1.06	0.0757	7.67	0.52	0.0393	3.99	Meningkat	100
DTkl	FA2	0.985	1.01	0.0226	2.29	0.827	0.0186	1.89	Meningkat	100
1000bj	FA2	1.02	1.05	0.0361	3.56	0.742	0.0268	2.64	Meningkat	100
Hasil	FA2	1	1.04	0.0359	3.58	0.499	0.0179	1.78	Meningkat	100
TT	FA3	1.02	1.04	0.0212	2.09	0.822	0.0174	1.72	Menurun	0
SdDn	FA3	1.14	0.943	-0.197	-17.3	0.901	-0.178	-15.6	Menurun	100
PLD	FA3	1.09	0.738	-0.348	-32	0.942	-0.327	-30.2	Menurun	100
EA	FA4	1	0.979	-0.0218	-2.17	0.453	-0.01	-0.983	Menurun	100
Ren	FA4	0.989	1.02	0.0314	3.18	0.811	0.0255	2.58	Meningkat	100
LD	FA5	1	0.963	-0.037	-3.7	0.905	-0.034	-3.34	Meningkat	0
PTkl	FA5	1.07	1.05	-0.0195	-1.82	0.713	-0.014	-1.29	Meningkat	0
PD	FA6	0.996	0.998	0.0014	0.14	0.71	0.001	0.0995	Meningkat	0

Gambar 37 menunjukkan peringkat genotipe berdasarkan nilai indeks MGIDI, Genotipe terpilih berdasarkan analisis MGIDI di tandai dengan warna merah. Berdasarkan analisis simultan terhadap 28 hibrida, diperoleh enam hibrida terpilih diantaranya H1, H12, H22, H2, H6, dan H26. Hibrida terpilih berdasarkan kriteria seleksi dimana sebagian karakter di harapkan nilainya menurun serta sebagian lagi meningkat. Variabel yang nilainya meningkat mencakup JBrSbj, JBj, DB, DTkl, 1000bj, Hasil, Ren, LD, PTkl, dan PD. Sementara itu, variabel yang mengalami penurunan adalah UBJ, UBB, TT, SdDn, PLD, dan EA. Namun demikian, walaupun terdapat hubungan yang erat antara sifat genotipe dan skor yang diperoleh, pencapaian nilai tinggi bisa terhambat oleh faktor lingkungan (Ashkar et al., 2022). Indeks MGIDI memberikan gambaran tentang kelebihan dan kekurangan setiap genotipe, sehingga memudahkan untuk melihat potensi dan pembatas genotipe berdasarkan berbagai karakter secara simultan (Olivoto dan Nardino, 2021). Padat H1, H22, H8, H21, H27, H17, H12, H3 Low N H1, H12, H22, H2, H6, H26, H3, H21.



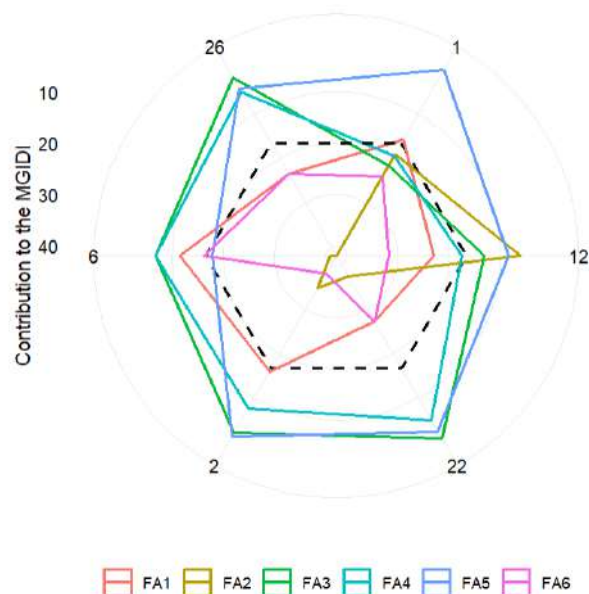
Gambar 37. Ranking genotype berdasarkan skor MGIDI.

4.3.10.2. Kekuatan dan Kelemahan Hibrida.

Grafik kontribusi terhadap MGIDI pada gambar 38 menunjukkan pembagian kontribusi masing-masing faktor terhadap seleksi genotype berdasarkan karakter yang berbeda. FA1, yang ditandai dengan warna merah, merepresentasikan karakter pembungaan, seperti umur berbunga jantan (UBJ) dan betina (UBB), serta karakter jumlah baris biji (JBrsBj) dan jumlah biji per baris (JBj). Genotipe H6, H2, dan H1 memiliki kontribusi besar dalam faktor ini, menonjolkan stabilitas dalam pembungaan serta potensi hasil melalui peningkatan jumlah biji. FA2 (kuning) berfokus pada karakter yang berhubungan dengan hasil tanaman, termasuk diameter batang (DB), diameter tongkol (DTkl), berat 1000 biji (1000bj), dan hasil total. Hibrida unggul seperti H12 dan H1 memiliki kontribusi besar dalam faktor ini, menampilkan kapasitas hasil tinggi yang didukung oleh struktur batang kokoh dan ukuran tongkol besar.

Faktor ketiga (FA3), yang direpresentasikan oleh warna hijau, menitikberatkan pada arsitektur tanaman, meliputi tinggi tanaman (TT), sudut daun (SdDn), dan orientasi daun (PLD). Hibrida H12, H26, H2 dan H12 menonjol dalam faktor ini, menunjukkan

keunggulan arsitektur tanaman yang efisien dalam menangkap cahaya untuk mendukung fotosintesis. FA4 (biru muda) mencerminkan aspek-aspek tongkol (EA) dan rendemen (Ren). Hibrida H22 memiliki kontribusi tinggi pada faktor ini, menampilkan kualitas tongkol yang baik serta potensi rendemen yang tinggi, yang penting untuk produktivitas optimal. FA5 (biru tua) berfokus pada panjang tongkol (PTkl) dan lebar daun (LD), yang keduanya berperan dalam mendukung hasil dan stabilitas tanaman. Hibrida seperti H6 dan H2 unggul dalam faktor ini, menunjukkan potensi stabilitas struktural dan produktivitas tinggi melalui pengisian tongkol yang baik dan daun lebar. FA6 (ungu) berkaitan dengan proporsi diameter (PD), yang penting dalam mendukung stabilitas tanaman dan ketahanan terhadap kerebahan. Hibrida H22 dan H1 memiliki kontribusi tinggi dalam faktor ini, mencerminkan ketahanan struktural yang kuat, yang sangat penting dalam menghadapi cekaman lingkungan.



Gambar 38. Kekuatan dan kelemahan dari genotipe pada setiap faktor

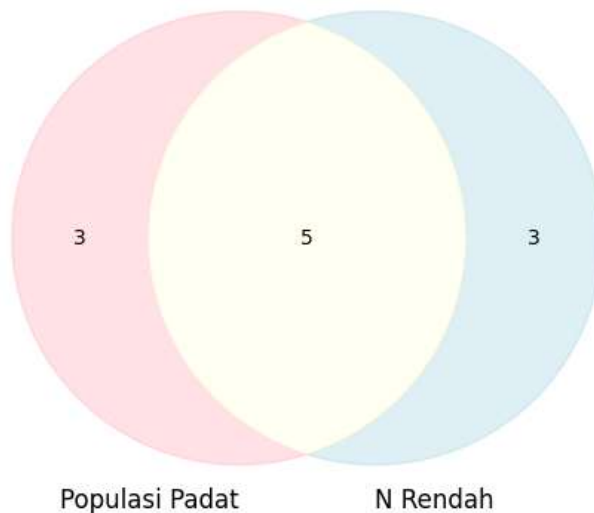
4.3.11. Hibrida Generasi Lanjut Toleran Populasi Padat dan N Rendah.

Seleksi hibrida yang toleran terhadap cekaman populasi padat dan nitrogen (N) rendah dilakukan menggunakan pendekatan diagram Venn untuk mengidentifikasi genotipe unggulan. Analisis ini didasarkan pada hasil pengujian daya hasil pendahuluan pada

kedua kondisi cekaman, yang dianalisis menggunakan metode Multi-Environment Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI). Diagram Venn digunakan untuk mengintegrasikan hasil dari kedua kondisi, sehingga diperoleh genotipe yang menunjukkan toleransi optimal di kedua cekaman.

Pada cekaman populasi padat, genotipe yang menunjukkan performa terbaik adalah H1, H22, H8, H21, H27, H17, H12, dan H3. Sementara itu, pada cekaman N rendah, genotipe yang terpilih meliputi H1, H12, H22, H2, H6, H26, H3, dan H21. Dari hasil integrasi kedua pengujian, lima genotipe, yaitu H1, H22, H21, H12, dan H3, berhasil teridentifikasi sebagai genotipe toleran pada kedua kondisi cekaman.

Kelima hibrida tersebut memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut pada lahan dengan keterbatasan nitrogen dan tingkat populasi tanaman yang tinggi. Genotipe-genotipe ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam mendukung peningkatan produktivitas di lingkungan dengan input rendah. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian multilokasi untuk memastikan kestabilan dan adaptabilitas genotipe tersebut di berbagai kondisi lingkungan.



Gambar 39. Diagram Venn genotipe toleran populasi padat dan N rendah.

4.4. Kesimpulan.

1. Cekaman lingkungan, baik cekaman N rendah maupun populasi tinggi, berdampak signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi Lokasi x Hibrida x Cekaman N rendah berpengaruh terhadap karakter SPAD, hasil, PLD, DTK, 1000BJ, REN, dan PLD, DTK, serta 1000BJ.
2. Pada kondisi populasi padat, pengaruh sangat nyata ditemukan pada karakter UBJ, UBB, SPAD, PTKL, DTKL, REN, dan HASIL. Hibrida-hibrida seperti H1, H12, dan H7 menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan varietas pembandingan pada cekaman N rendah, sementara H7, H1, H3, H15, dan H8 unggul pada cekaman populasi padat.
3. Pemilihan hibrida terbaik menggunakan MGIDI, ditemukan enam hibrida unggul pada kondisi N rendah (H1, H12, H22, H2, H6, H26) dan enam hibrida unggul pada kondisi populasi padat (H1, H22, H8, H21, H27, H17). Hibrida-hibrida ini menunjukkan adaptabilitas dan ketahanan yang baik terhadap stres lingkungan, dengan pengurangan minimal pada hasil dan karakter utama.
4. Prosedur seleksi hibrida berbasis dapat diterapkan untuk memilih hibrida jagung yang dapat tumbuh baik di lingkungan tropis yang rentan kekeringan sambil tetap mempertahankan hasil yang tinggi.

Daftar Pustaka

- Adhikari, K., Bhandari, S., Aryal, K., Mahato, M., & Shrestha, J. (2021). Effect of different levels of nitrogen on growth and yield of hybrid maize (*Zea mays* L.) varieties. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(2), 48–62. <https://doi.org/10.3126/janr.v4i2.33656>
- Amanullah, Iqbal, A., Ali, A., Fahad, S., & Parmar, B. (2016). Nitrogen source and rate management improve maize productivity of smallholders under semiarid climates. *Frontiers in Plant Science*, 7(NOVEMBER2016), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01773>
- Agunbiade, V. F., & Babalola, O. O. (2024). Drought stress amelioration attributes of plant-associated microbiome on agricultural plants. *Bioinformatics and Biology Insights*, 18, 11779322241233442. <https://doi.org/10.1177/11779322241233442>
- Agyare, W. A., B. S. Freduah, E. Ofori, D. S. Kpongor, and B. O. A. (2013). Field and modelled maize (*Zea Mays*) response to water stress at different growth stages. *Glob. J. Biol.* 2, 68–75.
- Ahmad, N., Malagoli, M., Wirtz, M. (2016). Drought stress in maize causes differential acclimation responses of glutathione and sulfur metabolism in leaves and roots. *BMC Plant Biol.* 16, 247. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0940-z>.
- Arzu, K., Onder, O., Bilir, O., and Kosar, F. (2018). Application of multivariate statistical analysis for breeding strategies of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish J. F. Crop.* 23, 12–19.
- Assefa, Y., Prasad, P. V. V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., ... & Ciampitti, I. A. (2018). A new insight into corn yield: Trends from 1987 through 2015. *Agronomy Journal*, 110(4), 1793-1804.
- Astuti K., O. R. Prasetyo, I N. Khasanah, 2021. Analisis Produktivitas Jagung dan Kedelai di Indonesia 2020 (Hasil Survei Ubinan), Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia
- Azrai, M., Aqil, M. Andayani, NN..Efendi, R., Suarni, Suwardi, Jihad, M., Zainuddin ,B., Salim, Bahtiar, Muliadi, A., Yasin ,M., Hannan ,MFI., Rahman, Syam, A. (2024). Optimizing

ensembles machine learning, genetic algorithms, and multivariate modeling for enhanced prediction of maize yield and stress tolerance index. *Front. Sustain. Food Syst* 8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1334421>.

Azrai, M., Aqil, M., Efendi, R., Andayani, N. N., Makkulawu, A. T., Iriany, R. N., et al. (2023). A comparative study on single and multiple trait selections of equatorial grown maize hybrids. *Front. Sustain. Food Syst* 7. doi: 10.3389/fsufs.2023.1185102.

Balbua, M.G., H.T. Osman, E.E. Kandil, T. Javed, S. F. L. (2022). Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Front. Plant Sci.* 13, 1–17. doi: 10.3389/fpls.2022.959203.

Bandyopadhyay N., C. Bhuiyan, A. K. S. (2020). Drought mitigation: Critical analysis and proposal for a new drought policy with special reference to Gujarat. *Prog. Disaster Sci.* 5. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100049>.

Bänziger, M., Edmeades, G. O., Beck, D., and Bellon, M. (2000). Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. *Mex. D.F. CIMMYT*, 68.

Bänziger, M., Edmeades, G. O., & Lafitte, H. R. (1999). Selection for drought tolerance increases maize yields over a range of nitrogen levels. *Crop Science*, 39(4), 1035-1040.

Black, C. A. (1976). *Soil-Plant Relationships*. John Wiley & Sons, New York.

Burgess, A. J., Retkute, R., Herman, T., & Murchie, E. H. (2017). Exploring relationships between canopy architecture, light distribution, and photosynthesis in contrasting rice genotypes using 3D canopy reconstruction. *Frontiers in Plant Science*, 8(May), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00734>

Bolaños, J., and Edmeades, G. O. (1996). The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. In: *Developing Drought and Low N-Tolerant Maize. (Eds.). *Proc. a Symp. March 25-29, CIMMYT, EL Batan, Mex. D.F., Mex.*

- Cairns, J. E., Hellin, J., Sonder, K., Araus, J. L., MacRobert, J. F., Thierfelder, C., & Prasanna, B. M. (2012). Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. *Food Security*, 4, 399-417.
- Chauhan J, Srivastava JP, Singhal RK, Soufan W, Dadarwal BK, Mishra UN, Anuragi H, Rahman MA, Sakran MI, Brestic M, Zivcak M, S. M. and S. A. (2022). Alterations of Oxidative Stress Indicators, Antioxidant Enzymes, Soluble Sugars, and Amino Acids in Mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern and Coss.] in Response to Varying Sowing Time, and Field Temperature. *Front. Plant Sci.* 13, 875009. doi: 10.3389/fpls.2022.875009.
- Chukwudi, U.P., F.R. Kutu, and S. M. (2021). Heat stress effect on the grain yield of three drought-tolerant maize varieties under varying growth conditions. *Plants* 10, 1–15. doi: 10.3390/plants10081532.
- Deribe, H. (2024). Review on Effects of Drought Stress on Maize Growth, Yield and Its Management Strategies. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1–21. Available at: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2404663>.
- De Araujo Rufino, C., Fernandes-Vieira, J., Martín-Gil, J., Abreu Júnior, J. D. S., Tavares, L. C., Fernandes-Correa, M., & Martín-Ramos, P. (2018). Water stress influence on the vegetative period yield components of different maize genotypes. **Agronomy*, 8*(8), 151. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080151>
- Duvick, D. N. (2005). The Contribution of Breeding to Yield Advances in Maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, 86, 83-145.
- Dodig, D., Božinović, S., Nikolić, A., Zorić, M., Vančetović, J., Ignjatović-Micić, D., Delić, N., Weigelt-Fischer, K., Altmann, T., & Junker, A. (2021). Dynamics of maize vegetative growth and drought adaptability using image-based phenotyping under controlled conditions. *Frontiers in Plant Science*, 12, 652116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.652116>
- Edmeades, G., Lafitte, H. R., Balanos, J., Chapman, S., Banziger, M., & Deutsch, J. (1994). Developing Maize Program Special Report. CIMMYT. D.F.Mexico.
- Efendi, R. and M. Azrai. 2010. Tanggap genotipe jagung terhadap cekaman kekeringan: Peranan akar. *Jurnal Penelitian*

Pertanian Tanaman Pangan 29(1):1-10

- Efendi, R., Slamet Bambang, P., Arif Subechan, M., Aqil, M., & Azrai, M. (2021). Combining ability of S3 maize inbred lines and related contributing traits for high yield under high population density. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 911(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/911/1/012009>
- Fan, P., Ming, B., Anten, N. P. R., Evers, J. B., Li, Y., Li, S., & Xie, R. (2022). Plastic response of leaf traits to N deficiency in field-grown maize. *AoB PLANTS*, 14(6), 1–10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plac053>
- Gbegbelegbe S, Chikoye D, Alene A, K.-B. S. and C. G. (2024). Strategic Foresight analysis of droughts in southern Africa and implications for food security. *Front. Sustain. Food Syst.* 7, 1159901. doi: 10.3389/fsufs.2023.1159901.
- Ghosh, M., Swain, D. K., Jha, M. K., Tewari, V. K., & Bohra, A. (2020). Optimizing chlorophyll meter (SPAD) reading to allow efficient nitrogen use in rice and wheat under rice-wheat cropping system in eastern India. *Plant Production Science*, 23(3), 270–285. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1717970>
- Gouesnard, B., A. Zanetto, and C. W. (2016). Identification of adaptation traits to drought in collections of maize landraces from southern Europe and temperate regions. *Euphytica* 209, 565–584. doi: 10.1007/s10681-015-1624-8.
- Gupta, N. K., Gupta, S., Singh, J., Garg, N. K., Saha, D., Singhal, R. K. (2022). On-farm hydro and nutri-priming increases yield of rainfed pearl millet through physio-biochemical adjustments and anti-oxidative defense mechanism. *PLoS One* 17, e0265325. doi: 10.1371/journal.pone.0265325.
- Halliday, D.J. and M.E. Trenkel. 1992. IFA World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- Hammer, G. L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., ... & Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. corn belt? *Crop Science*, 49(1), 299-312.

- Herlinda, S., Suharjo, R., Elbi Sinaga, M., UGFwazi, F., Suwandi, S. 2021. First report of occurrence of corn and rice strains of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in South Sumatra, Indonesia and its damage in maize. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.11.003>
- Hessl, A. E., Anchukaitis, K. J., Jelsema, C., Cook, B., Byambasuren, O., Leland, C. (2018). Past and future drought in Mongolia. *Sci. Adv.* 4, e1701832–e1701832. doi: 10.1126/sciadv.1701832.
- Huang, Y., Zhu, Y., & Xu, X. (2022). *Yield and trait stability of maize genotypes under nitrogen and planting density stresses in tropical environments*. *Theoretical and Applied Genetics**, 135, 823-835.
- Iriany, R.N., A.M. Takdir, M.H.G. Yasin, and M.J. Mejaya. 2007. Maize genotypes tolerance to drought stress. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(3):156 - 160
- Jackson, W.A. and Volk, R.J. (1992), Nitrate and ammonium uptake by maize: adaptation during relief from nitrogen suppression. *New Phytologist*, 122: 439-446. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb00071.x>
- Jansen, C., Zhang, Y., Liu, H., Gonzalez-Portilla, P. J., Lauter, N., Kumar, B., Trucillo-Silva, I., Martin, J. P. S., Lee, M., Simcox, K., Schussler, J., Dhugga, K., & Lübberstedt, T. (2015). Genetic and agronomic assessment of cob traits in corn under low and normal nitrogen management conditions. *Theoretical and Applied Genetics*, 128(7), 1231–1242. <https://doi.org/10.1007/s00122-015-2486-0>
- Jafari, F., Wang, B., Wang, H., & Zou, J. (2024). Breeding maize of ideal plant architecture for high-density planting tolerance through modulating shade avoidance response and beyond. *Journal of Integrative Plant Biology*, 66(5), 849–864. <https://doi.org/10.1111/jipb.13603>
- Jhu, M. Y., & Nakayama, H. (2024). Dancing in the sun: maize azimuthal canopy re-orientation for efficient light capture. *Plant Cell*, 36(5), 1568–1569. <https://doi.org/10.1093/plcell/koae026>
- Jones, B. (1998). *Plant Nutrition Manual*. Crc Press, Boston.

- Kalqutny, S. H., Pakki, S., Muis, A. 2020. The potential use of dna based molecular techniques in the study of maize downy mildew. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian Agrosaintek*. 4(1): 17–27.
- Kandel, B. P. (2020). Spad value varies with age and leaf of maize plant and its relationship with grain yield. *BMC Res. Notes* 13, 13–16. doi: 10.1186/s13104-020-05324-7.
- Kementan, 2021: Inilah 10 Provinsi Produsen Jagung Terbesar Indonesia. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=4639>
- Khatibi, A., S. Omrani, A. Omrani, S.H. Shojaei, S. M. N. M. (2022). Response of Maize Hybrids in Drought-Stress Using Drought Tolerance Indices. *Water (Switzerland)* 14, 1–10. doi: 10.3390/w14071012.
- Kira, O.; Nguy-Robertson, A.L.; Arkebauer, T.J.; Linker, R.; Gitelson, A. A. (2016). Informative spectral bands for remote green LAI estimation in C3 and C4. *Crop. Agric. Meteorol.*, 243–249.
- Leverne, L., & Krieger-Liszkay, A. (2021). Moderate drought stress stabilizes the primary quinone acceptor QA and the secondary quinone acceptor QB in photosystem II. **Physiologia Plantarum*, 171*(2), 260–267. <https://doi.org/10.1111/ppl.13286>
- Lindsay, W.L. (1979) *Chemical Equilibrium in Soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Liu, T., Song, F., Liu, S., Zhu, X. 2011. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9(4), 1249-1261.
- Liu, Z., Gao, J., Gao, F., Liu, P., Zhao, B., & Zhang, J. (2018). Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of summer maize response to different nitrogen supplies. *Frontiers in Plant Science*, 9(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00576>
- Liu, N., Li, L., Li, H., Liu, Z., Lu, Y., & Shao, L. (2023). Selecting maize cultivars to regulate canopy structure and light interception for high yield. *Agronomy Journal*, 115(2), 770–780.

<https://doi.org/10.1002/agj2.21278>

- Liu, G., Yang, Y., Liu, W., Guo, X., Xie, R., Ming, B., Xue, J., Zhang, G., Li, R., Wang, K., Hou, P., & Li, S. (2022). Optimized canopy structure improves maize grain yield and resource use efficiency. *Food and Energy Security*, 11(2), 1–11. <https://doi.org/10.1002/fes3.375>
- Lopez, C., Torres, E., & Gomez, R. (2020). *Genotype-environment interactions in maize yield under combined water and nutrient stress across multiple locations*. *Crop Science*, 60(1), 45-53.
- Mantilla-Perez, M. B., & Salas Fernandez, M. G. (2017). Differential manipulation of leaf angle throughout the canopy: Current status and prospects. *Journal of Experimental Botany*, 68(21–22), 5699–5717. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx378>
- Marliyanti, L., Syukur, M., Widodo, W. 2014. Daya hasil 15 galur cabai IPB dan ketahanannya terhadap penyakit antraknosa yang disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum*. *AGH Online Journal*. 1(1): 7-13.
- Monneveux, P., Sanchez, C., Beck, D., & Edmeades, G. O. (2006). Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: Evidence of progress. *Crop Science*, 46(1), 180-191.
- Monneveux, P., Zaidi, P. H., & Sanchez, C. (2005). Population density and low nitrogen affects yield-associated traits in tropical maize. *Crop Science*, 45(2), 535–545. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0535>
- Moradi, H., Akbari, G. A., Khorasani, S. K., & Ramshini, H. A. (2012). Evaluation of drought tolerance in corn (*Zea mays* L.) new hybrids with using stress tolerance indices. *Eur. J. Sustain. Dev.* 1, 543. Available at: <https://doi.org/10.14207/ejsd.2012.v1n3p543> .
- Moustakas, M., Sperdouli, I., & Moustaka, J. (2022). Early drought stress warning in plants: Color pictures of photosystem II photochemistry. **Climate*, 10*(11), 179. <https://doi.org/10.3390/cli10110179>
- Magorokosho C., P. K. V. and T. P. (2003). Selection for drought tolerance in two tropical maize populations. *African Crop Sci. J.* 11, 151–161. Available at: <https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/27566>.
- Mu, X., Chen, Q., Chen, F., Yuan, L., & Mi, G. (2016). Within-leaf nitrogen allocation in adaptation to low nitrogen supply in maize during grain-filling stage. *Frontiers in Plant Science*,

7(MAY2016), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00699>

Olivoto T., Lucio A., Silva J., Sari B., D. M. (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials ii: selection based on multiple traits. *Agron. Journal*, 111(6) 111, 2961–2969. Available at: <https://doi.org/10.2134/agronj2019.03.0221>.

Panikkai, S., Nurmalinga, R., Mulatsih, S., Purwati, P. 2017. Analisis ketersediaan jagung nasional menuju pencapaian swasembada dengan pendekatan model dinamik. *Informatika Pertanian*, Vol. 26 (1): 41 – 48

Pettigrew, W. T. (2008). Peran fisiologis nitrogen pada jagung. **Ilmu Tanaman**, 48(1), 35-43.

Pusdatin, 2022. Analisis kinerja perdagangan jagung. Pusat Data dan Informasi, Kementerian Pertanian.

Pusdatin, 2021. Analisis kinerja perdagangan jagung. Pusat Data dan Informasi, Kementerian Pertanian.

Qian, L. (2014). Effect of low nitrogen stress on different low nitrogen tolerance maize cultivars seedling stage growth and physiological characteristics. *Acta Pratacultural Science*. <https://consensus.app/papers/effect-of-low-nitrogen-stress-on-different-low-nitrogen-qian/c435d3df6571516cbb21c7ac78c623d/>

Radford, P. J. (1967). Growth analysis formulae-their use and abuse 1. *Crop Sci.* 7, 171–175. doi: 10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x.

Rana, L., Banerjee, H., Mazumdar, D., Sarkar, S., Ray, K., Garai, S., Nayek, J., & Kumar, M. (2021). Determination of Principal Yield Attributing Traits of Hybrid Maize (*Zea mays* L.) Using Multivariate Analysis. *International Journal of Bio-Resource and Stress Management*. <https://doi.org/10.23910/1.2021.2366>

Rorie, R., Purcell, L., Mozaffari, M., Marsh, M., & Longer, D. (2011). Association of “Greenness” in Corn with Yield and Leaf Nitrogen Concentration. *Agronomy Journal*, 103, 529. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0296>

Rossi S., Chapman C., H. B. (2020). Suppression of heat-induced

- leaf senescence by γ -aminobutyric acid, proline, and ammonium nitrate through regulation of chlorophyll degradation in creeping bentgrass. *Environ. Exp. Bot.* 177, 104116. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104116.
- Rossini, F., Vear, F., & Echarte, L. (2011). Breeding maize for density tolerance: Possible exploitation of indirect selection tools. *Crop Science*, 51(4), 1274-1282.
- Saad-Allah, K. M., Nessem, A. A., Ebrahim, M. K. H., and Gad, D. (2022). Evaluation of drought tolerance of five maize genotypes by virtue of physiological and molecular responses. *Agronomy* 12, 59. doi: 10.3390/agronomy12010059.
- Sairam, M., Maitra, S., Sahoo, U., Sagar, L., & Krishna, T. G. (2023). Evaluation of precision nutrient tools and nutrient optimization in maize (*Zea mays* L.) for enhancement of growth, productivity and nutrient use efficiency. *Research on Crops*, 24(4), 666–677. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-1016>
- Setiawan, K., Basri, M. 2017. An Analysis of Efficiency the Production of Commodities Maize in Belu, East Nusa Tenggara, Indonesia. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*,. 11(10): 64–69.
- Silva, A. N. da, Schoninger, E. L., Trivelin, P. C. O., Dourado-Neto, D., Pinto, V. M., & Reichardt, K. (2016). Maize Response to Nitrogen: Timing, Leaf Variables and Grain Yield. *Journal of Agricultural Science*, 9(1), 85. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n1p85>
- Smakhtin, V. and Schipper, E. L. (2008). Droughts: The Impact of Semantics and Perceptions. *Water Policy* 1, 131–143. Available at: <https://doi.org/10.2166/wp.2008.036>.
- Smith, J.D., Brown, K., & Johnson, R. (2019). *Effects of plant density on yield and resource use efficiency in maize hybrids under low nitrogen conditions*. **Field Crops Research**, 232, 90-98.
- Song, H., Y. Li, L. Zhou, Z. Xu, and G. Z. (2018). Maize leaf functional responses to drought episode and rewetting. *Agric. For. Meteorol.* 249, 57–70. doi: 10.1016/j.agrformet.2017.11.023.
- Sobiech, A., Tomkowiak, A., Nowak, B., Bocianowski, J., Wolko, Ł., Sychała, J. 2022. Associative and physical mapping of

markers related to fusarium in maize resistance, obtained by next-generation sequencing (NGS). *Int. J. Mol. Sci.* 23: 6105. <https://doi.org/10.3390/ijms23116105>

- Sobir, Syukur, M. 2012. *Genetika Tanaman*. IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Su, Z., J. Zhao, T.H. Marek, K. Liu, M. T. H. (2022). Drought tolerant maize hybrids have higher yields and lower water use under drought conditions at a regional scale. *Agric. Water Manag.* 274, 107978. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107978.
- Subekti, N.A., Syafruddin., Efendi, R., Sunarti, S. 2008. *Morfologi Tanaman dan Fase Pertumbuhan Jagung*. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros, Indonesia.
- Sulaiman, A.A., Kariyasa, K., Hoerudin, Subagyo, K., Suwandi, Bahar, F.A. 2017. *Cara cepat swasembada jagung*. Sekretariat Jendral Kementrian Pertanian RI, Jakarta, Indonesia.
- Suwardi dan M. Azrai. 2013. Pengaruh cekaman kekeringan genotipe jagung terhadap karakter hasil dan komponen hasil. p.149-157. *Seminar Nasional Serealia. Meningkatkan Peran Peneliti Serealia Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Maros, 18 Juni 2013.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., Yunianti, R. 2015. *Teknik Pemuliaan Tanaman: Edisi Revisi*. Penebar Swadaya, Depok. Indonesia.
- Tian, J., Wang, C., Xia, J., Wu, L., Xu, G., Wu, W., Li, D., Qin, W., Han, X., Chen, Q., Jin, W., & Tian, F. (2019). Teosinte ligule allele narrows plant architecture and enhances high-density maize yields. *Science*, 365(6454), 658–664. <https://doi.org/10.1126/science.aax5482>
- Tokatlidis, I. S., & Koutroubas, S. D. (2004). A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Research*, 88(2-3), 103-114.
- Udo, E. F., Ajala, S. O., & Olaniyan, A. B. (2017). Physiological and morphological changes associated with recurrent selection for low nitrogen tolerance in maize. *Euphytica*, 213(7), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10681-017-1928-y>

- Vacaro, E., Neto, J.F.B., Pegoraro, D.G., Nuss, C.N. and Conceicao., L.D.H. 2002. Combining ability of twelve maize populations. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37 (1), 67–72.
- Wang, X., Zhao, J., & Guo, Z. (2018). *Adaptive responses of maize genotypes to nitrogen and density stress in subtropical climates*. *Plant Science*, 269, 26-34.
- Wkdw, I., Wkhlu, G., Surfhvvhv, Y., Oljkw, D. U. H., Zdwhu, K., Qxwulwlyh, D. Q. G., & Ffruglj, P. (2007). The indication of nitrogen deficiency in maize growing using SPAD-502 chlorophyll meter. *Cereal Research Communications*, 35(2), 7–10.
- WU, Y. wei, LI, Q., JIN, R., CHEN, W., LIU, X. lin, KONG, F. lei, KE, Y. pei, SHI, H. chun, & YUAN, J. chao. (2019). Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(6), 1246–1256. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62030-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62030-1)
- Xue, J., Zhao, Y., Gou, L., Shi, Z., Yao, M., Zhang, W. 2016. “How High Plant Density of Maize Affects Basal Internode Development and Strength Formation.” *Crop Science*, 56(6): 3295–3306.
- Yan, Weikai; Hunt, L.A. (2001). Interpretation of Genotype × Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario. *Crop Science*, 41(1), 19–. doi:10.2135/cropsci2001.41119x
- Yang, W., Duan, L., Chen, G., Xiong, L., & Liu, Q. (2017). Plant phenomics and high-throughput phenotyping: accelerating rice functional genomics using multidisciplinary technologies. *Current Opinion in Plant Biology*, 37, 63-73.
- Yang, P., Liu, Z., Zhao, Y., Cheng, Y., Li, J., Ning, J., Yang, Y., Huang, J. 2020. “Comparative Study of Vegetative and Reproductive Growth of Different Tea Varieties Response to Different Fluoride Concentrations Stress.” *Plant Physiology and Biochemistry* 154: 419–428.
- Yuan L., Pu R., Zhang J., Wang J., Yang H. (2016). Using high spatial resolution satellite imagery for mapping powdery mildew at a regional scale. *Precision Agric.* 17, 332–348. 10.1007/s11119-015-9421-x

- Zainuddin, B., and Aqil, M. (2021). Analysis of the relationship between leaf color spectrum and soil plant analysis development. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 911. doi: 10.1088/1755-1315/911/1/012045.
- Zhang, L., Wang, F., & Zhao, Y. (2021). *Plant density and nitrogen effects on maize phenology and grain yield under contrasting environmental conditions*. *Agronomy Journal*, 113(5), 1674-1685.
- Zainuddin, B., Syam, E., Azrai, M., Musa, Y., Efendi, R., Priyanto, S. B., Andayani, N. N., Zainuddin, B., Syam, E., Azrai, M., Musa, Y., Efendi, R., Priyanto, S. B., & Andayani, N. N. (2024). Analysis of Plant Ideotype and Yield in Hybrid Maize under Varied Population Densities. 55(7).

BAB V

PEMBAHASAN UMUM

Cekaman lingkungan seperti populasi padat dan ketersediaan nitrogen (N) rendah menjadi tantangan utama dalam produksi jagung di Indonesia. Kondisi ini mempengaruhi berbagai aspek morfo-fisiologi tanaman, termasuk efisiensi fotosintesis, akumulasi biomassa, distribusi sumber daya untuk perkembangan biji, dan karakter morfologi seperti tinggi tanaman, luas daun, panjang akar, serta rasio akar terhadap tajuk. Berdasarkan hasil penelitian, interaksi genotipe dan lingkungan memainkan peran penting dalam menentukan adaptasi jagung terhadap cekaman ini.

Nitrogen adalah salah satu nutrisi esensial yang memengaruhi pertumbuhan tanaman dan hasil jagung secara signifikan. Penelitian ini dilakukan untuk merakit varietas unggul jagung hibrida toleran terhadap cekaman populasi padat dan N rendah. Adapun rangkaian alur kegiatan meliputi persilangan dialel, uji daya hasil pendahuluan hasil persilangan dialel serta uji daya hasil lanjutan hasil persilangan dialel. Sebanyak 78 galur hasil persilangan dialel serta 4 varietas pembanding di uji UDHP pada 3 kondisi, normal, populasi padat dan nitrogen rendah.

Hasil rata-rata pada perlakuan N rendah adalah 6,83 ton/ha, menurun 36% dibandingkan kondisi normal (10,45 ton/ha). Penurunan hasil ini mencerminkan pentingnya peran nitrogen dalam mendukung proses fotosintesis, pembentukan klorofil, dan metabolisme nitrogen. Genotipe yang mampu bertahan di bawah cekaman N rendah menunjukkan efisiensi nitrogen yang lebih tinggi, misalnya melalui kemampuan mengakumulasi nitrogen pada fase vegetatif awal atau meningkatkan efisiensi transpor nitrogen ke biji selama pengisian biji (Hammad et al., 2011).

Pentingnya seleksi genotipe adaptif terhadap cekaman N rendah juga didukung oleh identifikasi genotipe toleran seperti G10, G80, dan G12. Genotipe-genotipe ini menunjukkan potensi untuk mengurangi dampak cekaman N rendah melalui mekanisme morfo-fisiologis seperti sistem perakaran yang dalam dan luas, serta efisiensi nitrogen intrinsik yang lebih tinggi (Hirel et al., 2007).

Sementara itu, hasil pengujian pada populasi tinggi (83.000 tanaman/ha), menghasilkan rata-rata hasil 11,61 ton/ha, yang lebih tinggi dibandingkan hasil biji pada kondisi normal. Hasil ini menunjukkan bahwa beberapa genotipe memiliki kemampuan adaptasi terhadap cekaman persaingan, termasuk persaingan untuk cahaya, air, dan nutrisi. Genotipe seperti G12, G80, dan G50 menunjukkan toleransi tinggi terhadap populasi padat, yang kemungkinan besar disebabkan oleh sifat morfologis seperti sudut daun yang tegak, efisiensi penangkapan cahaya, dan distribusi biomassa yang optimal (Hammer et al., 2009). Peningkatan hasil ini

mencerminkan pentingnya seleksi genotipe yang mampu memanfaatkan sumber daya terbatas secara efisien, terutama dalam sistem produksi yang menggunakan populasi tinggi.

Adaptasi terhadap populasi padat memerlukan keseimbangan antara kemampuan kompetitif tanaman individu dan efisiensi keseluruhan dalam populasi. Genotipe dengan sudut daun tegak, misalnya, memungkinkan penetrasi cahaya yang lebih baik ke lapisan daun di bawahnya, meningkatkan efisiensi fotosintesis secara keseluruhan dalam kanopi. Selain itu, distribusi biomassa yang optimal, seperti alokasi yang lebih besar untuk pengisian biji dibandingkan pertumbuhan vegetatif, berkontribusi pada hasil yang lebih tinggi. Penelitian sebelumnya oleh Hammer et al. (2009) mendukung hasil ini dimana, perubahan arsitektur kanopi dan efisiensi penggunaan sumber daya adalah faktor utama dalam peningkatan produktivitas di lingkungan padat tanaman.

Namun, meskipun hasil tinggi dapat dicapai dalam populasi padat, risiko seperti kompetisi berlebih yang menyebabkan penurunan kualitas biji atau kerentanan terhadap cekaman abiotik lainnya harus diantisipasi. Strategi pemuliaan perlu mengintegrasikan pendekatan multidisiplin untuk mengoptimalkan karakteristik seperti luas daun yang efisien (optimal leaf area index), daya dukung akar, dan kapasitas penyerapan nutrisi. Dalam hal ini, genotipe G12, G80, dan G50 menawarkan peluang besar untuk pengembangan varietas unggul yang dapat ditanam pada populasi tinggi tanpa mengorbankan hasil ataupun kualitasnya.

Namun, adaptasi terhadap populasi tinggi juga menimbulkan tantangan, seperti penurunan kualitas biji akibat kekurangan sumber daya untuk pengisian biji. Oleh karena itu, program pemuliaan yang menargetkan populasi tinggi perlu mempertimbangkan aspek fisiologi tanaman, seperti indeks luas daun (LAI), efisiensi penggunaan cahaya, dan kemampuan sink-source (Borras et al., 2004).

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya interaksi signifikan antara genotipe dan lingkungan dengan nilai $p < 0,0001$. Interaksi ini menekankan bahwa performa genotipe tidak hanya bergantung pada potensi genetiknya tetapi juga pada adaptabilitasnya terhadap kondisi lingkungan tertentu. Rata-rata hasil pada dua lokasi (9,84 ton/ha) menggambarkan adanya variasi adaptasi genotipe terhadap faktor lingkungan lokal seperti jenis tanah, curah hujan, dan suhu.

Analisis PCA yang mengidentifikasi lima dimensi utama (68,81% varians total) menunjukkan bahwa faktor-faktor ini saling berkaitan dalam memengaruhi hasil. Oleh karena itu, pendekatan multivariabel yang memanfaatkan analisis data kompleks seperti PCA dan MGIDI dapat memberikan panduan yang lebih akurat dalam seleksi genotipe unggul (Yan & Kang, 2003).

Hasil penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk merancang program pemuliaan jagung yang berfokus pada adaptasi terhadap cekaman lingkungan. Identifikasi genotipe seperti G10, G80, dan G12 menunjukkan bahwa karakteristik seperti efisiensi nitrogen, sudut daun, dan kapasitas fotosintesis adalah target utama dalam program seleksi. Selain itu, pendekatan pemuliaan yang mengintegrasikan metode konvensional dan teknologi modern seperti seleksi berbantuan marka (MAS) dapat meningkatkan efisiensi seleksi genotipe adaptif (Xu & Crouch, 2008).

Selain pendekatan genetika, strategi agronomi seperti pengelolaan nutrisi berbasis zona spesifik (*site-specific nutrient management*) dan optimasi jarak tanam juga dapat diterapkan untuk meningkatkan hasil dalam kondisi cekaman. Kombinasi pemuliaan genetika dan intervensi agronomi diharapkan dapat mengatasi tantangan cekaman lingkungan sekaligus meningkatkan produktivitas jagung secara berkelanjutan.

Setelah dilakukan overlay menggunakan diagram Venn, diperoleh sebanyak 9 genotipe jagung yang menunjukkan toleransi terhadap cekaman populasi padat dan ketersediaan nitrogen rendah, yaitu **G10, G12, G80, G77, G2, G9, G38, G33, dan G66**. Hasil ini menunjukkan potensi genotipe-genotipe tersebut untuk digunakan dalam pengembangan varietas unggul yang adaptif terhadap cekaman lingkungan. Sebagai langkah lanjutan, genotipe toleran ini dapat diujikan lebih lanjut melalui uji daya hasil lanjutan guna mengevaluasi stabilitas dan potensi produktivitasnya. Selain itu, perlu dilakukan **Multienvironment Trial (MET)** untuk memastikan adaptasi dan performa genotipe di berbagai lokasi agroekosistem. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa genotipe tersebut tidak hanya toleran tetapi juga memiliki produktivitas tinggi dan stabil di berbagai kondisi lingkungan.

Evaluasi lanjutan terhadap hibrida terpilih dilakukan pada tahun 2024 di KP Bajeng dan KP Maros. Sebanyak 25 hibrida (H1-H25) dan tiga varietas pembandingan digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi lokasi, genotipe, dan cekaman nitrogen rendah berpengaruh signifikan terhadap beberapa karakter utama, seperti SPAD, hasil biji, PLD, DTK, 1000BJ, dan REN. Pada kondisi populasi padat, karakter seperti UBJ, UBB, SPAD, PTKL, DTKL, REN, dan HASIL juga menunjukkan pengaruh yang sangat nyata. Rata-rata hasil gabungan pada kondisi nitrogen rendah menunjukkan bahwa hibrida H1 (6,89 t/ha), H12 (6,77 t/ha), dan H7 (6,73 t/ha) memiliki hasil lebih tinggi dibandingkan varietas pembandingan. Sementara itu, pada kondisi populasi padat, hibrida H7 (8,16 t/ha), H1 (8,04 t/ha), H3 (8,01 t/ha), H15 (8,01 t/ha), dan H8 (7,83 t/ha) memberikan hasil lebih tinggi dibandingkan varietas pembandingan. Hal ini menunjukkan bahwa beberapa genotipe

memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap kondisi cekaman lingkungan.

Adaptasi genotipe terhadap cekaman nitrogen rendah kemungkinan besar terkait dengan efisiensi penggunaan nitrogen (NUE) dan kemampuan genotipe dalam mendistribusikan biomassa secara optimal untuk menghasilkan biji. Hibrida seperti H1 dan H12 menonjol dalam efisiensi penggunaan nitrogen, seperti yang tercermin dari nilai SPAD yang lebih tinggi dan hasil biji yang lebih baik dibandingkan varietas pembanding. Pada cekaman populasi padat, genotipe seperti H7 dan H8 menunjukkan kemampuan berkompetisi yang lebih baik melalui karakter morfologis seperti orientasi daun yang tegak dan distribusi biomassa yang optimal. Sifat-sifat ini memungkinkan tanaman memanfaatkan cahaya matahari dengan lebih efisien serta mengurangi persaingan antar tanaman.

Analisis multivariabel menggunakan MGIDI telah mengidentifikasi enam hibrida unggul pada kondisi nitrogen rendah, yaitu H1, H12, H22, H2, H6, dan H26. Pada kondisi populasi padat, hibrida terseleksi adalah H1, H22, H8, H21, H27, dan H17. Metode MGIDI memungkinkan identifikasi genotipe unggul berdasarkan kombinasi karakter yang diinginkan, sehingga memberikan pendekatan yang lebih holistik dalam proses seleksi. Hibrida-hibrida ini menunjukkan pengurangan minimal pada hasil dan sifat utama di bawah kondisi cekaman, sehingga memberikan bukti adaptabilitas yang kuat.

Pentingnya karakter morfo-fisiologis seperti SPAD, PLD, DTK, dan 1000BJ tidak hanya menunjukkan korelasi langsung terhadap hasil tetapi juga memberikan informasi tentang efisiensi fisiologis tanaman dalam memanfaatkan sumber daya terbatas. Karakter seperti SPAD, yang mencerminkan kandungan klorofil daun, berhubungan langsung dengan kemampuan fotosintesis tanaman, terutama pada kondisi nitrogen rendah. Di sisi lain, PLD yang tegak memungkinkan tanaman memanfaatkan sinar matahari secara optimal pada kondisi populasi tinggi. Karakter DTK dan 1000BJ mencerminkan kemampuan tanaman untuk menghasilkan biji berkualitas tinggi meskipun berada di bawah cekaman lingkungan.

Interaksi lokasi x genotipe juga menegaskan bahwa faktor lingkungan spesifik memiliki pengaruh signifikan terhadap performa genotipe. Uji multilokasi, seperti yang dilakukan di KP Bajeng dan KP Maros, memberikan data penting terkait stabilitas genotipe di berbagai lingkungan. Stabilitas ini menjadi salah satu kriteria utama dalam seleksi hibrida untuk memastikan produktivitas yang tinggi di berbagai kondisi agroekologi. Selain itu, penelitian ini menekankan perlunya strategi integrasi antara pendekatan pemuliaan genetik dan teknologi agronomi modern, seperti pengelolaan nutrisi berbasis

zona spesifik dan pengaturan jarak tanam, untuk mengoptimalkan hasil.

Dengan mempertimbangkan hasil penelitian ini, langkah selanjutnya adalah melakukan uji multilokasi tambahan di berbagai wilayah tropis dengan kondisi lingkungan yang beragam. Hal ini bertujuan untuk memastikan stabilitas hasil dan adaptabilitas genotipe di luar lokasi penelitian awal. Penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk pengembangan hibrida jagung yang lebih tahan terhadap cekaman lingkungan, terutama di wilayah tropis yang rawan terhadap kekeringan dan ketersediaan nutrisi rendah. Dengan kombinasi pendekatan pemuliaan genetik dan teknologi agronomi, produksi jagung yang berkelanjutan dapat dicapai untuk memenuhi kebutuhan pangan global.

Setelah dilakukan overlay menggunakan diagram Venn, diperoleh sebanyak 5 genotipe jagung yang menunjukkan toleransi terhadap cekaman populasi padat dan ketersediaan nitrogen rendah, yaitu **H1, H22, H21, H12, dan H3**. Identifikasi ini mengindikasikan potensi adaptasi genotipe-genotipe tersebut terhadap kondisi lingkungan suboptimal, khususnya pada kondisi populasi tinggi dan input nitrogen rendah. Toleransi ini mencerminkan kemampuan genotipe dalam mempertahankan efisiensi fotosintesis, pertumbuhan biomassa, dan hasil biji di bawah tekanan cekaman.

Sebagai langkah lanjutan, genotipe-genotipe ini perlu diuji melalui **uji daya hasil** untuk mengevaluasi stabilitas produktivitasnya secara lebih mendalam. Uji ini penting untuk memastikan bahwa genotipe terpilih dapat menghasilkan biji yang optimal meskipun dihadapkan pada kondisi lingkungan yang bervariasi. Selain itu, pengujian ini akan menjadi dasar untuk menilai kemampuan genotipe dalam beradaptasi di berbagai lokasi dan musim. Hasil dari uji daya hasil ini akan memberikan informasi penting untuk proses seleksi akhir sebelum genotipe-genotipe tersebut dipertimbangkan untuk uji multilokasi atau **Multienvironment Trial (MET)**. Tahapan ini merupakan langkah krusial untuk memastikan genotipe yang dirilis memiliki toleransi yang kuat, produktivitas yang tinggi, dan stabilitas hasil di berbagai kondisi agroekosistem.