

Volume 9, Nomor 2, 2025

ISSN: 2615-2207 /EISSN : 2579-843X

# AGROSAINSTEK

*Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*

<http://agrosainstek.ubb.ac.id>

# **AGROSAINSTEK**

*Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*

**Volume 9, Nomor 2, 2025**

**PISSN : 2615-2207**

**EISSN : 2579-843X**

## **DAFTAR ISI (CONTENT)**

Deteksi Turnip mosaic virus (TuMV) pada Tanaman Brokoli di Boyolali, Indonesia <i>Wiwit Probowati, Pilar Rosatria Firyalunfah, Tsania Taskia Nabila</i> .....	48 – 55
Daya Gabung Galur Inbred, Penampilan dan Heterosis Hibrida Silang Tunggal Jagung ( <i>Zea mays</i> L.) <i>Dela Oktakia, P.K. Dewi Hayati, Sutoyo, Hafid Harnas</i> .....	56 – 67
Respons Tiga Varietas Kacang Hijau terhadap Aplikasi Pupuk Boron dengan Dosis Bervariasi <i>Miranti Sari Fitriani, Arzita, Nyimas Myrna Elsa Fathia, Sosiawan Nusifera</i> .....	68 – 74
Morphophysiological and Vanillin Quality Evaluation of Vanilla Plants ( <i>Vanilla planifolia</i> Andr.) under Water Stress <i>Yovi Avianto</i> .....	75 – 84
The Effect of 2,4-D and BAP On The Multiplication of Vanilla ( <i>Vanilla planifolia</i> Andrews) <i>Didik Pudji Restanto, Nisma Riyadh Nadiya, Parawita Dewanti, Mohammad Nur Khozin, Mohammad Candra Prayoga</i> .....	85 – 93

Foto sampul : Kultur Jaringan Anggrek  
Foto oleh : Deni Pratama dan Gigih Ibnu Prayoga



# **AGROSAINSTEK**

*Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*

Volume 9 ▪ Nomor 2 ▪ 2025

PISSN : 2615-2207

EISSN : 2579-843X

## **KETUA EDITOR (*EDITOR IN CHIEF*)**

Winda Wahyuni, S.P, M.Si (Universitas Bangka Belitung)

## **ANGGOTA EDITOR (*EDITORIAL BOARD MEMBERS*)**

Gigih Ibnu Prayoga, S.P., M.P. (Universitas Bangka Belitung)

Deni Pratama, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Ropalia, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Herry Marta Saputra, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Anggraeni, S.Si., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)

Santika Sari, S.P., M.P. (Universitas Padjadjaran)

Yati Setiati, S.P., M.P. (Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati)

Rion Apriyadi S.P., M.Si (Universitas Bangka Belitung)

Dr. Debora Dellaocto Melati Ambarita (Universitas Bangka Belitung)

Gen Adi W., S.P., M.Sc (Universitas Bangka Belitung)

Dini Kartini, A.Md. (Universitas Bangka Belitung)

## **PENERBIT (*PUBLISHER*)**

Universitas Bangka Belitung

## **ALAMAT EDITOR (*EDITORIAL ADDRESS*)**

Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung

Gedung Semangat, Kampus Terpadu Balunijuk,

Desa Balunijuk Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka

E-mail: [agrosainstek@ubb.ac.id](mailto:agrosainstek@ubb.ac.id)

## **AKREDITASI (*ACCREDITATION*)**

Terakreditasi nasional peringkat SINTA 3 berdasarkan SK Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemendiknas Nomor: 10/C/C3/DT.05.00/2025

## **MITRA BESTARI (REVIEWERS)**

- Dr. Tri Lestari, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
- Dr. Eries Dyah Mustikarini, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
- Dr. Ismed Inonu, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
- Nono Carsono, S.P., M.Sc., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
- Dr. Sosiawan Nusifera, S.P., M.P. (Universitas Jambi)
- Dr. Inanpi Hidayati Sumiasih, S.P., M.Si. (Universitas Trilogi)
- Fitri Widiyanti, S.P., M.BtS., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
- Budy Frasetya Taufik Qurrohman, S.TP., M.P. (Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati)
- Jakty Kusuma, S.P., M.P. (Politeknik Negeri Lampung)
- Dr. Nyayu Siti Khodijah, S.P., M.Si. (Universitas Bangka Belitung)
- Dr. Ihsan Nurkomar, S.P. (Universitas Muhammadiyah Yogyakarta)
- Dr. M. Khais Prayoga, S.P., M.P. (Pusat Penelitian Teh dan Kina)
- Agustin Zarkani S.P., M.Si., Ph.D. (Universitas Bengkulu)
- Sari Intan Kailaku, S.TP, M.Si. (Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian)
- Ankardiansyah Pandu Pradana, S.P., M.Si. (Universitas Jember)
- Muh. Adiwena, S.P., M.Si. (Universitas Borneo Tarakan)
- Dr. Yani Maharani, S.P., M.Si. (Universitas Padjadjaran)
- Dr. Nani Ratnaningsih, S.T.P., M.P. (Universitas Negeri Yogyakarta)
- Dr. Syarifah Yusra, S.TP., M.Sc. (Universitas Sains Cut Nyak Dhien)
- Vira Kusuma Dewi, S.P., M.Sc., Ph.D. (Universitas Padjadjaran)
- Hishar Mirsam, S.P., M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
- Suriani, S.P. M.P. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
- Dr. Kaharuddin, S.P., M.P. (Politeknik Pembangunan Pertanian Gowa)
- Dr. Vera Oktavia Subardja, S.P., M.Si (Universitas Singaperbangsa Karawang)
- Irwandhi, S.P., M. Agr (Universitas Padjadjaran)
- Dr. Fiqriah Hanum Khumairah, S.P., M.P (Badan Riset dan Inovasi Nasional)
- Annisa Hasta Pratiwi, S.P., M.Sc (Universitas Riau)
- Belinda Winona, S.P., M.Sc (Tokyo University of Agriculture and Technology)

**Research Article****Deteksi Turnip mosaic virus (TuMV) pada Tanaman Brokoli di Boyolali, Indonesia*****Detection of Turnip mosaic virus (TuMV) on Broccoli Plant at Boyolali, Indonesia*****Wiwit Probowati<sup>1\*</sup>, Pilar Rosatria Firyalunfah<sup>1</sup>, Tsania Taskia Nabila<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Program Studi Bioteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55592*

Received: August 18, 2023 /Received in revised : July 10, 2025/ Accepted: October 14, 2025

**ABSTRACT**

Turnip mosaic virus (TuMV) is one of the emerging viruses that causes serious yield losses of brassica vegetables, including Indonesia. Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) is a potential horticultural commodity in Indonesia because of its many benefits. The objective of this study was to detect TuMV-infecting broccoli using reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) technique. Field survey has been conducted to determine disease symptoms in broccoli field Boyolali, Central Java. This study was conducted through several phases, which are: leaves sample collection on the field, virus RNA isolation, RT-PCR, and TuMV detection using coat protein (CP) specific primer. The result of field observed broccoli plant with several symptom of TuMV infection, such as: mosaic symptom leaf, blister leaf, vein banding, vein clearing, and yellowing of leaf spot. The detection of TuMV by RT-PCR showed that broccoli with those symptoms observed is positively infected by TuMV. Specific DNA band was amplified from infected plant on 800 bp. This study is report of naturally infection of TuMV on broccoli with those symptoms at Boyolali, Central Java, Indonesia.

**Keywords: Broccoli; Detection; TuMV.****ABSTRAK**

Turnip mosaic virus (TuMV) adalah salah satu virus tanaman yang menyebabkan kerugian panen pada tanaman sayuran jenis brassica, termasuk di Indonesia. Brokoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) yang merupakan komoditas penting sayuran di daerah dataran tinggi Jawa Tengah memiliki masalah terkait produktivitas menurun dikarenakan penyakit yang disebabkan oleh infeksi virus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeteksi TuMV yang menginfeksi brokoli dengan menggunakan teknik reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR). Survei lapangan telah dilakukan untuk mengetahui gejala penyakit di kebun brokoli di Boyolali, Jawa Tengah. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu: pengambilan sampel daun di lapangan, isolasi RNA virus, RT-PCR, dan deteksi dengan menggunakan primer spesifik coat protein (CP). Hasil pengamatan di lapangan ditemukan tanaman brokoli yang menunjukkan beberapa gejala infeksi TuMV, seperti: gejala mosaik daun, daun melepuh, urat daun melebar, urat daun terbuka, dan bercak daun menguning. Deteksi TuMV dengan RT-PCR menunjukkan bahwa brokoli dengan gejala-gejala tersebut positif terinfeksi TuMV. Pita DNA spesifik teramplifikasi dari tanaman terinfeksi terdeteksi pada 800 bp. Penelitian ini melaporkan adanya infeksi TuMV secara alami pada tanaman brokoli dengan gejala-gejala tersebut di Boyolali, Jawa Tengah, Indonesia.

**Kata kunci: Brokoli; Deteksi; TuMV.**

\*Korespondensi Penulis.

E-mail: [wiwitprobo@unisayogya.ac.id](mailto:wiwitprobo@unisayogya.ac.id) (W Probowati)DOI: <https://doi.org/10.33019/e80fdb13>

## 1. Pendahuluan

Tanaman brokoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) merupakan salah satu tanaman hortikultura penting yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Tanaman brokoli berpotensi tinggi untuk dikembangkan mengingat tingkat konsumsinya yang tinggi di masyarakat. Bunga brokoli banyak dikonsumsi karena memiliki kandungan gizi yang sangat lengkap yaitu glukosinat, antioksidan, mineral, dan serat. Kandungan gizi tersebut lebih tinggi dibandingkan sayuran lain seperti wortel, kubis, dan bayam (Sari *et al.*, 2014). Tanaman brokoli dapat dibudidayakan di daerah dataran tinggi pada ketinggian 1.000-2.000 meter di atas permukaan laut. Tanah yang memiliki kandungan humus tinggi dan pH (tingkat keasaman) tanah 6-7 dapat menjadi tempat tumbuh yang optimal bagi tanaman brokoli (Hafifah, 2017). Namun dalam budidaya tanaman brokoli banyak kendala yang dihadapi oleh petani yaitu adanya gangguan hama dan penyakit tanaman yang disebabkan oleh bakteri, virus maupun jamur. Salah satu virus yang dapat menyerang tanaman hortikultura terutama Brassica adalah *Turnip mosaic virus* (TuMV) yang patut diwaspadai (Gibbs *et al.*, 2015).

TuMV merupakan virus yang berasal dari genus *Potyvirus* (Moreno & Fereres, 2012). *Potyvirus* adalah genus terbesar dari *family* Potyviridae yang merupakan famili terbesar dari virus RNA tanaman (Gibbs & Ohshima, 2010; Gibbs *et al.*, 2020; Inoue-Nagata *et al.*, 2022). *Potyvirus* memiliki genome RNA untai positif berukuran sekitar 9.000-12.000 nukleotida. Setidaknya ada 10 poliprotein fungsional pada genomnya antara lain protein N-terminal (P1), *helper component-proteinase* (HC-Pro), *nuclear inclusion a protein* (NIa-pro), protein ke-tiga (P3), 6kDa 1 (6K1), *cylindrical inclusion protein* (CI), 6kDa 2 (6K2), *genome-linked protein* (VPg), *nuclear inclusion protein a* (NIa-Pro), *nuclear inclusion b* (NIb), *coat protein* (CP) dan PIPO yang berada di daerah P3 (Chung *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2014). Beberapa protein seperti P1, HC-Pro, CI, NIa-Pro, NIb, dan CP berperan dalam replikasi RNA virus dan dapat dijadikan penanda molekuler untuk deteksi TuMV (Revers & Garcia, 2015).

TuMV adalah salah satu virus yang paling luas persebarannya dan memiliki kisaran inang paling luas meliputi tanaman dikotil dan monokotil (Walsh & Jenner, 2002). Virus dari genus *Potyvirus* ini menyebabkan gagal panen yang serius pada tanaman brassica dan juga tanaman hias di seluruh dunia (Ohshima *et al.*, 2002; Walsh & Jenner, 2002; Nellist *et al.*, 2022, Probowati *et al.*, 2023). Dilaporkan bahwa TuMV telah menginfeksi tanaman brokoli di Asia seperti India (Singh *et al.*, 2020) dan Turkey (Sevik, 2019). TuMV dapat

ditularkan dengan cara yang tidak peristen oleh arthropoda serangga dari ordo Hemiptera, Aphididae family sebanyak kurang lebih 40-50 spesies terutama *Myzus persicae* dan *Brevicoryne brassicae* (Lefkowitz *et al.*, 2018). Di Indonesia virus ini juga diketahui dapat ditransmisikan melalui benih (Adiputra *et al.*, 2012).

Kerugian yang sangat besar akibat infeksi TuMV dilaporkan pernah terjadi di desa Methuk, Boyolali, Jawa Tengah pada tahun 2005 yang telah mengakibatkan gagal panen pada lahan budidaya caisin (*Brassica juncea* L.), dengan kejadian penyakit mencapai 100% (Kartiningtyas dan Hidayat, 2006). Sejauh ini dilaporkan bahwa penyakit akibat infeksi TuMV di Indonesia telah terjadi pada berbagai tanaman hortikultura seperti tanaman lobak, kembang kol, sawi putih, selada, caisin dan kailan (Rusli *et al.*, 2007; Adiputra *et al.*, 2012; Moreno & Fereres, 2012; Sa'idah, Martosudiro, dan Hadiastono, 2013; Choliq *et al.*, 2019). Namun di Indonesia belum ada laporan bahwa TuMV terdeteksi menginfeksi tanaman brokoli yang juga tergolong brassica. Tanaman yang terinfeksi TuMV memperlihatkan gejala yang bervariasi tergantung pada jenis tanaman yang diserang dan juga faktor lingkungan (Chung *et al.*, 2015). Dengan keragaman gejala infeksi pada tanaman tersebut meliputi munculnya bercak mosaik pada daun, lamina daun sering mengalami nekrotik, bercak daun menguning, dan tanaman cenderung kerdil (Wu *et al.*, 2024).

Berdasarkan latar belakang di atas maka terdapat kemungkinan infeksi TuMV dapat terjadi pada tanaman brassica yang lain termasuk brokoli, sehingga memiliki potensi menimbulkan kerugian pada budidaya brokoli. Menurut Chung *et al.* (2015), identifikasi virus yang mengakibatkan penyakit pada tanaman memerlukan pemantauan kejadian penyakit untuk mengidentifikasi sumber virus sehingga dapat direkomendasikan tindakan pengendalian yang cepat.

Mengingat pentingnya penyakit tersebut, pengetahuan tentang keragaman gejala dan cara mendeteksinya sangat diperlukan agar usaha untuk pengendalian TuMV dapat dilakukan lebih akurat. Saat ini studi mengenai deteksi terhadap infeksi TuMV pada tanaman brokoli di Indonesia belum ditemukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi ada tidaknya infeksi yang disebabkan oleh TuMV pada tanaman brokoli di Boyolali, Jawa Tengah sebagai salah satu sentra produksi brokoli di Indonesia.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2021 sampai Oktober 2022. Studi lapangan dilakukan di

kebuduran brokoli di Desa Tlogolele, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah (-7.516550, 110.421442). Penelitian molekuler dilakukan di laboratorium Biokimia, Pusat Studi Bioteknologi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

#### *Pengamatan Gejala dan Pengambilan Sampel Daun Brokoli Isolat Boyolali*

Pengamatan dan pengambilan sampel daun brokoli dilakukan pada bulan Juli 2021. Sampel yang diambil adalah tanaman dengan kriteria daun dari tanaman brokoli yang bergejala mosaik dan tanaman tumbuh kerdil sebanyak 4 tanaman (satu sampel satu tanaman). Selain itu diambil juga 1 sampel tanaman yang tidak menunjukkan gejala (sebagai kontrol). Tanaman sampel dari lahan dipindahkan ke dalam media tanam (polybag) untuk dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut. Kutu daun yang banyak ditemukan pada tanaman kemudian diambil untuk diamati lebih detail di laboratorium.

#### *Ekstraksi RNA Total dari Tanaman Brokoli*

Ekstraksi RNA total kelima sampel tanaman dilakukan menggunakan menggunakan kit komersial *Plant virus RNA kit* (Geneaid Biotech Ltd-Taiwan) dan *RNase-Free DNase I Set* (Geneaid Biotech Ltd-Taiwan). Masing-masing sebanyak 100 mg sampel daun digerus pada mortar sampai halus dengan penambahan nitrogen cair. Selanjutnya proses ekstraksi dilakukan dengan mengikuti cara kerja protokol kit tersebut. Proses ekstraksi RNA menggunakan kit tersebut secara garis besar terdiri dari tahap *RNA binding*, *DNA removal*, *RNA washing*, dan *RNA elution*. Hasil ekstraksi RNA dibagi menjadi dua bagian untuk analisis kuantitatif dan kualitatif (masing-masing *tube* 25  $\mu$ L) dan ditempatkan dalam *microcentrifuge tube* baru 1,5 mL. Sehingga didapatkan 10 *tube*, 5 *tube* sampel untuk analisis kuantitatif dan 5 *tube* lainnya untuk analisis kualitatif. Masing-masing *tube* dilabeli (tanaman A, B, C, D dan E) untuk membedakan sampel tanaman satu dengan yang lainnya. Hasil ekstraksi tanaman disimpan di dalam *freezer* -20 °C sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

#### *Uji kuantitas hasil ekstraksi RNA*

Kemurnian dan konsentrasi RNA total diukur menggunakan nanodrop MN-913A (Maestrogen Pro). Pengukuran kuantitas RNA diukur pada Panjang gelombang yang berbeda, yaitu 230 nm (penyerapan kontaminan), 260 nm (penyerapan maksimum asam nukleat), dan 280 nm (penyerapan maksimum protein) (Becker *et al.*, 2010). Sebanyak 2  $\mu$ L *RNase free water* dilekattan di atas *bottom glass* kemudian ukur sebagai larutan

*blank*. Setelah itu, sebanyak 2  $\mu$ L sampel A, B, C, dan D diletakkan secara berurutan di atas *bottom glass* kemudian dilakukan pengukuran sebagai sampel. Pengukuran konsentrasi RNA dilakukan pada absorbansi 260 nm dengan perhitungan 1 nilai absorbansi sama dengan 40  $\mu$ L<sup>-1</sup>. Kemurnian RNA diukur pada nisbah A260/A280 karena protein diserap pada panjang gelombang 280 nm (Rapley & Heptinstall, 1998).

#### *Sintesis dan Amplifikasi cDNA dengan RT-PCR*

Program amplifikasi terdiri atas dua proses yaitu reaksi *reverse transcript* (RT) yang mengubah RNA menjadi *complementary DNA* (cDNA) dan siklus PCR (amplifikasi cDNA). RNA total hasil ekstraksi digunakan sebagai cetakan untuk proses sintesis cDNA dalam total volume untuk setiap sampel. Komposisi bahan untuk sintesis cDNA terdiri atas 1  $\mu$ L 10 $\times$  *buffer* untuk M-MuLLV (New England Biolabs Inc., Beverly, MA), 0.2  $\mu$ L 10 mM dNTP(s) (Novagen), 0.75  $\mu$ L 10  $\mu$ M Oligo s(T), 0.32  $\mu$ L RNase OUT (400  $\mu$ L<sup>-1</sup>) (Invitrogen), 0.32  $\mu$ L M-MuLV *reverse transcriptase* (200 U  $\mu$ L<sup>-1</sup>) (New England Biolabs Inc., Beverly, MA), 4.41  $\mu$ L *RNase free water* dan 3  $\mu$ L total RNA. Tahapan sintesis cDNA dilakukan dalam *thermal cyclers* (Thermo hybrid) dengan program 25 °C selama 5 menit, 37 °C selama 90 menit. Tahapan amplifikasi cDNA dilakukan menggunakan Go Taq Green Master Mix (Promega) dengan total volume 25  $\mu$ L dan komposisi premix PCR sesuai petunjuk produsen (Promega).

Primer yang digunakan adalah Primer Forward TuMV yaitu CP-F (5'-GCAGGTGAAACGCTTGATGC-3') dan Primer Reverse TuMV yaitu CP-R (5'-CAACCCCTTAACGCCAAGTAAGT-3') mengamplifikasi pada posisi fragmen 9753nt-9616nt (Li *et al.*, 2022). Amplifikasi cDNA dilakukan dalam *thermal cyclers* (Thermo hybrid) dengan 1 siklus pada suhu 95 °C selama 5 menit, 30 siklus pada suhu 95 °C selama 30 detik, suhu 50 °C selama 90 detik, dan sintesis DNA pada suhu 72 °C selama 60 detik. Terakhir adalah tahap ekstensi pada suhu 72 °C selama 10 menit.

#### *Visualisasi pita DNA hasil amplifikasi dengan RT-PCR*

Produk RT-PCR (cDNA) dari tiap sampel kemudian divisualisasi dengan elektroforesis gel agarose (1.5%) pada 1 $\times$  bufer TAE (Tris-Acetate EDTA buffer). Sebanyak 5  $\mu$ L produk RT-PCR dari masing-masing sampel ditambahkan dengan 2  $\mu$ L *loading dye* dan dicampur sempurna, kemudian dimasukkan ke dalam sumuran gel (satu sampel satu sumuran). Untuk menentukan ukuran dari produk RT-PCR disertakan juga DNA standar/marker (FastGene 100 bp DNA marker) sebagai pembanding.

Gel agarose tersebut dielektroforesis pada voltase 75 Volt selama 65 menit. Setelah itu gel diwarnai dengan cara direndam di dalam larutan pewarna *ethidium bromide* 1% selama 5 menit. Gel agarosa tersebut divisualisasi di atas UV *transilluminator* dan pita-pita DNA yang tampak didokumentasikan untuk dianalisis amplifikasi target PCR yang didapatkan.

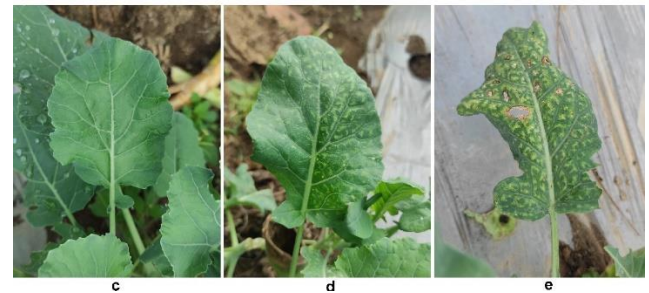
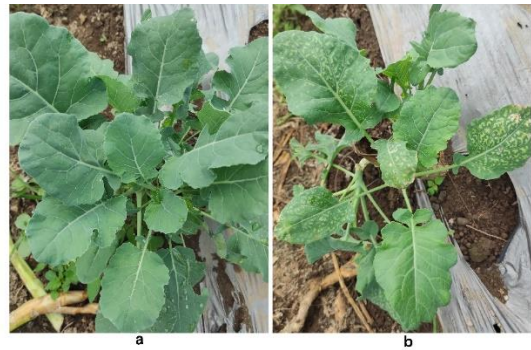
### 3. Hasil

#### *Gejala Daun pada Tanaman Brokoli*

Hasil survei dan pengamatan gejala pada daun tanaman brokoli di lahan Boyolali, Jawa Tengah menunjukkan bahwa tanaman brokoli tersebut diduga terinfeksi virus dengan gejala infeksi yang parah yaitu meliputi; gejala mosaik daun, daun melepuh, urat daun melebar, urat daun terbuka, dan bercak daun menguning, serta pertumbuhan tanaman yang terhambat (Gambar 1). Pada tanaman brokoli berumur 90 Hari Setelah Tanam (HST) ditemukan adanya gejala berupa bercak mosaik pada bagian daun yang diduga terinfeksi TuMV. Gejala seperti ini ditemukan hampir di seluruh tanaman pada lahan brokoli. Namun pada lahan yang sama juga ditemukan tanaman brokoli sehat atau tidak menunjukkan gejala terinfeksi TuMV.

Perbedaan antara tanaman brokoli yang bergejala dan tidak bergejala dapat dilihat pada Gambar 1a dan 1b. Tanaman tidak bergejala menunjukkan perawakan yang lebih rimbun dengan banyak cabang dan daun tampak sehat. Tanaman bergejala menunjukkan perawakan yang lebih jarang dan daun tampak bergejala. Sementara itu, tanaman tidak bergejala memiliki daun berwarna hijau segar (Gambar 1c), sedangkan daun yang diduga terinfeksi TuMV menunjukkan gejala mosaik yang tampak seperti bercak kecil tidak beraturan berwarna hijau muda (Gambar 1d). Bercak-bercak tersebut berkembang sambung menyambung membentuk alur di seluruh daun yang pada tingkat lanjut bercak menjadi berwarna kuning, nekrosis, hingga daun mengering atau tampak melepuh (Gambar 1e). Secara keseluruhan tanaman yang diduga terinfeksi TuMV mengalami gangguan pertumbuhan sehingga tampak lebih kecil dibandingkan dengan yang tampak sehat.

Hasil pengamatan tanaman ditemukan adanya serangga kutu daun atau aphid yang tersebar di seluruh lahan tanaman brokoli. Kutu daun yang ditemukan memiliki warna tubuh berwarna kuning kehijauan dan hidup secara berkelompok di permukaan bagian bawah daun (Gambar 2).



Gambar 1. Pengamatan tanaman brokoli tidak bergejala dan bergejala yang diduga terinfeksi TuMV; a. Tanaman brokoli tidak tampak gejala (sehat), b. Tanaman brokoli dengan gejala diduga terinfeksi TuMV, c. daun tidak bergejala mosaik, d. daun memiliki gejala mosaik ringan, e. daun tampak bergejala mosaik lanjut.



Gambar 2. Kutu daun pada permukaan bawah daun tanaman brokoli.

#### *Deteksi TuMV dengan metode RT-PCR*

Setelah dilakukan pengamatan gejala di lapangan, selanjutnya deteksi penyebab gejala mosaik pada daun tanaman brokoli dideteksi melalui teknik *Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction* (RT-PCR). Deteksi TuMV pada sampel daun bergejala mosaik diawali dengan tahap ekstraksi RNA. Dalam penelitian ini, isolasi RNA dilakukan dengan kit yang dapat mengekstraksi RNA virus dan RNA total tanaman dari sampel daun brokoli tersebut. Total RNA yang diisolasi dari masing-masing sampel diuji secara

kuantitatif melalui pengukuran konsentrasi dan kemurnian RNA.

Keberhasilan ekstraksi RNA dapat dilihat dari nilai konsentrasi dan kemurnian RNA yang diukur menggunakan alat Nanodrop Spektrofotometer. Berdasarkan hasil analisis perhitungan pada Tabel 1, nilai rata-rata konsentrasi RNA tertinggi terdapat pada sampel daun D ( $9,05 \mu\text{g mL}^{-1}$ ), kemudian diikuti oleh sampel daun A ( $89,3 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ), sampel daun B ( $86,5 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ), dan C ( $83,0 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ). Sementara sampel daun E ( $84,9 \text{ ng } \mu\text{L}^{-1}$ ) yang merupakan sampel daun tidak bergejala. Menurut Aranda *et al.*, (2009), nilai konsentrasi RNA dengan kualitas yang baik memiliki rentang nilai sebesar 5-500  $\text{ng } \mu\text{L}^{-1}$ . Dari hasil yang didapatkan konsentrasi RNA yang didapatkan memiliki nilai sedang. Sementara itu kemurnian RNA dengan kualitas baik memiliki nilai absorbansi pada rasio 260 nm dan 280 nm ( $A_{260}/A_{280}$ ) sama dengan 1,8 - 2,0 (Sambrook, Fritsh, & Maniatis, 1989). Semua sampel daun tanaman brokoli menunjukkan kemurnian yang relatif rendah karena nilai rata-rata absorbansinya dibawah 1,8. Berdasarkan Tabel 1, kemurnian sampel daun berkisar antara 1,17 - 1,55. Namun, nilai strandar deviasi yang lebih kecil dari nilai rata-rata menandakan bahwa hasil data baik, penyebaran data menunjukkan hasil yang normal dan tidak menyebabkan bias. Semua sampel daun tanaman brokoli memiliki nilai standar deviasi yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai rata-rata konsentrasi dan kemurniannya, sehingga semua data sampel dapat dikatakan baik dan sudah sepenuhnya mampu menjelaskan keseluruhan data.

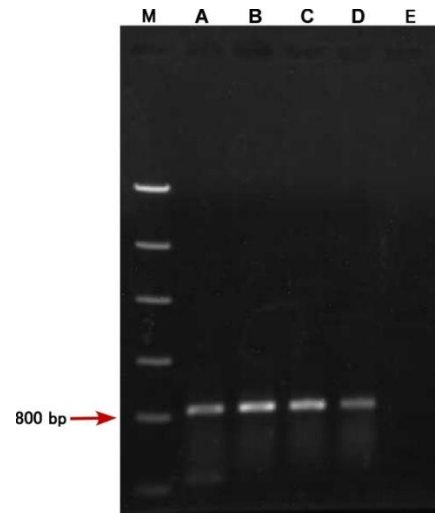
Tabel 1. Konsentrasi dan Kemurnian RNA Sampel Daun Tanaman Brokoli

Sampel Daun	Konsentrasi ( $\bar{X} \pm \text{SD}$ ) <sup>a</sup>	Kemurnian ( $\bar{X} \pm \text{SD}$ ) <sup>b</sup>
A	$8,93 \pm 0,14$	$1,30 \pm 0,06$
B	$8,65 \pm 0,13$	$1,17 \pm 0,01$
C	$8,30 \pm 0,57$	$1,55 \pm 0,14$
D	$9,05 \pm 0,41$	$1,25 \pm 0,04$
E	$8,49 \pm 0,22$	$1,51 \pm 0,11$

Keterangan: a = Rata-rata rasio absorbansi pada panjang gelombang 260 nm x  $40 \mu\text{g mL}^{-1} \pm \text{SD}$ ; b = Rata-rata rasio absorbansi pada panjang gelombang 260 nm dan 280 nm  $\pm \text{SD}$ ; SD = Standar deviasi.

Proses RT-PCR merubah RNA hasil menjadi cDNA (reverse transcription) yang kemudian diamplifikasi dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR). Kemudian hasil RT-PCR divisualisasikan pada gel elektroforesis dengan konsentrasi 1,5%. Hasil deteksi TuMV menggunakan sepasang primer pada sampel bergejala mosaik menunjukkan hasil positif terinfeksi TuMV. Pita cDNA TuMV berhasil

teramplifikasi dari empat sampel daun tanaman brokoli (sampel daun A, B, C, dan D) yang memiliki gejala mosaik yaitu teramplifikasi pada *band* berukuran kurang lebih 800 bp, sedangkan hasil visualisasi sampel daun tidak bergejala (sampel daun E) tidak menunjukkan adanya band (Gambar 3).



Gambar 3. Hasil deteksi TuMV pada tanaman brokoli bergejala daun mosaik dengan RT-PCR, divisualisasi dengan gel agarose 1,5% (A-D: sampel tanaman brokoli bergejala, E: sampel tanaman brokoli sehat, M: marker 100 bp DNA ladder).

#### 4. Pembahasan

##### *Gejala mosaik pada tanaman brokoli*

Penyakit pada tumbuhan sangat ditentukan oleh interaksi antara tiga faktor atau yang biasa disebut dengan segitiga penyakit. Segitiga penyakit terdiri dari patogen, tumbuhan atau inang dan lingkungan. Penyakit akibat virus sering menyerang tanaman melalui vektor seperti serangga (Sutarman, 2017). Hasil pengamatan lapangan ditemukan jenis serangga vektor berupa kutu daun atau aphid yang tersebar diseluruh kebun tanaman brokoli.

Proses infeksi penyakit pada tanaman satu dengan yang lain berbeda-beda, pada tanaman brokoli proses infeksi bersifat laten dikarenakan gejala mosaik baru muncul pada usia 90 HST dimana tanaman brokoli siap dipanen. Menurut Sopalena (2017) beberapa tanaman bersifat laten saat terinfeksi penyakit, artinya gejala penyakit tidak akan tampak oleh mata meskipun tanaman telah terinfeksi suatu penyakit. Namun, gejala akan muncul pada saat lingkungan mendukung pertumbuhan patogen. Faktor lingkungan yang berpengaruh seperti berkurangnya nutrisi seiring dengan pertumbuhan sampai masa panen. Pemupukan yang dilakukan

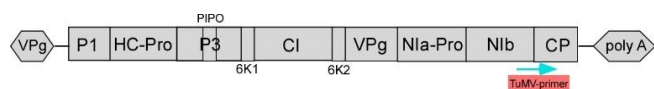
petani dilakukan sekali pada saat satu bulan pertama setelah penanaman. Selanjutnya apabila tidak ada gejala penyakit yang berarti petani tidak memupuk ulang lahan maupun tanaman. Kurangnya pupuk pada tanah menjadikan tanaman menjadi lemah dan mudah terserang virus. Gejala mosaik pada daun yang muncul pada tanaman berusia 90 HST menunjukkan bahwa tanaman sudah berusia tua sejak penanaman dan brokoli siap panen. Sehingga faktor kesuburan tanah yang semakin berkurang dan adanya vektor serangga pada tanaman memungkinkan kondisi tanaman yang mudah terinfeksi penyakit.

Adanya populasi kutu daun (aphid) pada tanaman brokoli menjadi perhatian tersendiri. Survei lapangan dalam penelitian ini dilakukan pada bulan Juli-Agustus yang merupakan musim kemarau mengamati populasi kutu daun yang sangat melimpah. Keberadaan kutu daun di lahan tanaman brokoli tersebut dimungkinkan sangat berkaitan dengan penyebaran infeksi virus. Menurut Chung *et al.* (2015) serangga vektor banyak berkembang dengan baik di daerah tropika dan sangat melimpah pada suhu tinggi. Sehingga penyakit yang disebabkan karena infeksi potyvirus di Indonesia yang beriklim tropis dapat sangat tinggi. Adanya infeksi potyvirus pada tanaman brokoli dalam penelitian ini diduga disebabkan oleh aphid yang telah membawa virus tersebut. Kondisi lingkungan sekitar lahan tanaman brokoli yang diamati dalam penelitian ini diduga ikut berpengaruh terhadap penyebaran potyvirus di lingkungan tersebut (Rusli *et al.*, 2007). Beberapa tanaman yang ditanam di sekitar lahan tanaman brokoli yang diamati dalam penelitian ini, meliputi tanaman sawi dan caisin merupakan jenis tanaman yang termasuk dalam kisaran kutu daun (aphid) sebagai vektor potyvirus, sehingga dimungkinkan adanya penyebaran infeksi potyvirus dari tanaman-tanaman tersebut (Rusli *et al.*, 2007, Lefkowitz *et al.*, 2018). Sebagaimana telah dilaporkan sebelumnya bahwa tanaman sawi dan kubis telah menjadi host infeksi TuMV (Adiputra *et al.*, 2012, Sa'idah *et al.*, 2013).

#### Deteksi TuMV dengan teknik RT-PCR

Deteksi TuMV pada sampel brokoli diawali dengan tahap ekstraksi RNA virus dan RNA total tanaman. Dalam penelitian ini, ekstraksi RNA dilakukan dengan kit yang dapat mengekstraksi RNA virus dan RNA total tanaman dari sampel daun brokoli tersebut. Deteksi TuMV dengan target gen yang berada pada daerah *coat protein* (CP) merupakan hal yang penting berkaitan dengan perannya dalam perpindahan virus pada sel tanaman dan daerah CP merupakan *conserved gene* dari beberapa spesies anggota potyvirus

dikarenakan sekuensnya yang tidak banyak berubah (Dai *et al.*, 2020).



Gambar 4. Posisi primer TuMV CP-F dan TuMV CP-R pada genome potyvirus.

Selain itu Li *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa deteksi TuMV melalui teknik RT-PCR menggunakan primer spesifik berhasil mengamplifikasi RNA virus dari sampel tanaman kacang. Pasangan primer yang digunakan untuk mendeteksi TuMV pada tanaman kacang berdasarkan sekuens selubung protein (*Coat Protein-CP*) dan sebagian daerah *Nuclear Inclusion body-b* (NIb) yang dapat menghasilkan produk amplifikasi RT-PCR berukuran kurang lebih 800 bp (Gambar 4). Sehingga primer tersebut dapat digunakan untuk identifikasi awal virus tersebut. Terdeteksinya TuMV menginfeksi tanaman brokoli di daerah Boyolali ini merupakan laporan pertama, sehingga hal ini brokoli merupakan host tanaman yang baru khususnya pada tanaman *family Brassicaceae*.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan studi lapangan dan pengujian molekuler yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa gejala mosaik pada tanaman brokoli di Desa Tlogolele, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah disebabkan oleh infeksi TuMV. Melalui penelitian ini, maka keberadaan TuMV yang menginfeksi tanaman brokoli perlu diwaspadai karena beresiko menurunkan produksi brokoli. Selain itu TuMV juga dikhawatirkan dapat menginfeksi penyakit ke tanaman lain di sekitarnya. Teknik RT-PCR merupakan metode yang tepat untuk deteksi virus yang mempunyai material genetik berupa RNA. Penelitian perlu dilakukan ke tingkat lanjut dengan deteksi dan *sequence genome* TuMV isolat Indonesia untuk melihat diversitas genetik dan pengembangan metode pengendaliannya.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta (UNISA) atas dukungan dana penelitian melalui program hibah internal No. 21/LPPM/UNISA/I/2021. Terima kasih juga kami sampaikan kepada petani brokoli di desa Tlogolele, Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah atas izin melakukan survey dan pengambilan sampel tanaman

## 7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

## 8. Daftar Pustaka

- Adiputra J, Hidayat SH, Damayanti TA. 2012. Evaluasi tiga metode preparasi RNA total untuk deteksi *Turnip mosaic potyvirus* dari benih *Brassica rappa* dengan reverse transcriptase-polymerase chain reaction. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 8 (2): 44-49.
- Aranda R, Dineen SM, Craig RL, Guerrieri RA, Robertson JM. 2009. Comparison and evaluation of RNA quantification methods using viral, prokaryotic, and eukaryotic RNA over a 10<sup>4</sup> concentration range. *Analytical Biochemistry*. 387 (1): 122-127.
- Becker C, Hammerle-Fickinger A, Riedmaier I, Pfaffl MW. 2010. mRNA and microRNA quality control for RT-qPCR analysis. *Methods*. 50: 237-243.
- Choliq FA, Martosudiro M, Apriliana QA, Istiqomah. 2019. Pengaruh pemberian urin kelinci terhadap serangan *Turnip mosaic virus* (TuMV) pada tanaman kailan (*Brassica oleracea* var. Alboglabra) yang dibudidayakan secara organik. *Agroradix*. 2 (2): 18-30.
- Chung BY, Miller WA, Atkins JF, Firth AE. 2008. An overlapping essential gene in the Potyviridae. *Proceedings of The National Academy of Sciences USA*. 105: 5897-5902.
- Chung BN, Choi KS, Ahn JJ, Joa JH, Do KS, Park KS. 2015. Effects of temperature on systemic infection and symptom expression of Turnip mosaic virus in Chinese cabbage (*Brassica campestris*). *Plant Pathol. J.* 31 (4): 363-370.
- Dai Z, He R, Bernardis MA, Wang A. 2020. The cis-expression of the coat protein of turnip mosaic virus is essential for viral intercellular movement in plants. *Mol. Plant Pathol.* 21: 1194-1211.
- Gibbs AJ, Ohshima K. 2010. Potyvirus and the digital revolution. *Ann. Rev. Phytopathology*. 48: 205-223.
- Gibbs AJ, Nguyen HD, Ohshima K. 2015. The 'emergence' of turnip mosaic virus was probably a 'gene-for-quasi-gene' event. *Current Opinion in Virology*. 10:20-26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coviro.2014.12.004>
- Gibbs AJ, Hajizadeh M, Ohshima K, Jones RAC. 2020. The potyviruses: an evolutionary synthesis is emerging. *Viruses*. 12: 132.
- Hafifah. 2017. Budidaya brokoli dengan bahan organik *Chromolaena odorata*. SEFA. Bumi Persada, Aceh Utara.
- Inoue-Nagata AK, Jordan R, Kreuze J, Li F, Lopez-Moya J, Makinen K, Ohshima K, Wylie SJ. 2022. ICTV report concortium 2022, ICTV virus taxonomy profile: *Potyviridae*. *Journal of General Virology*. 103: 001738.
- Kartiningtyas, dan Hidayat SH. 2006. Deteksi *Turnip mosaic virus* jaringan benih dan daun. *Jurnal HPT Tropika*. 6 (1): 32-40.
- Lefkowitz EJ, Dempsey DM, Hendrickson RC, Orton RJ, Siddell SG, Smith DB. 2018. Virus taxonomy: the database of the International Committee on Taxonomy of Virus (ICTV). *Nucleic Acid Res*. 46: D708-D717.
- Li M, Lin Q, Chen Y, Xu F, Peng J, Zheng H, Wu G, Rao S, Chen J, Lu Y, Yan F. 2022. First report of Turnip mosaic virus in peanut (*Arachis hypogaea*) in China. *Plant Disease*. 106 (3): 1077.
- Nellist CF, Ohshima K, Ponz F, Walsh JA. 2022. Turnip mosaic virus, a virus for all seasons. *Annals of Applied Biology*. 180: 312-327.
- Ohshima K, Yamaguchi Y, Hirota R, Hamamoto T, Tomimura K, et al. 2002. Molecular evolution of *Turnip mosaic virus*: evidence of host adaptation, genetic recombination and geographical spread. *Journal of General Virology*. 83: 1511-1521.
- Moreno A, Fereres A. 2012. Virus disease in lettuce in the Mediterranean basin. *Adv. Virus Res*. 84: 247-288.
- Probowati W, Kawakubo S, Ohshima K. 2022. *Narcissus* plants: a melting pot of potyviruses. *Viruses*. 14: 582.
- Rapley R, Heptinstall J. 1988. Protocol RNA isolation and characterization protocols volume 86 of the series methods in molecular biology. In Rapley R, Manning DL (eds). *Methods in molecular biology*. Humana Press Inc. New Jersey, USA. p. 65-68.
- Revers F, Garcia JA. 2015. Molecular biology of potyviruses. *Adv. Virus Res*. 92: 101-199.
- Rusli ES, Hidayat SH, Suastika G, Kartosuwondo U. 2007. Kisaran inang dan keragaman gejala infeksi *Turnip mosaic virus*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 13 (1): 22-34.
- Sa'idah EY, Martosudiro M, Hadiastono T. 2013. Ketahanan lima varietas tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) terhadap infeksi *Turnip mosaic virus* (TuMV). *Jurnal HPT*. 1 (3): 9-18.
- Sambrook J, Fritsh EF, & Maniatis T. 1989. *Molecular cloning: A Laboratory Manual* 2nd

- Edition. Cold Spring Harbor Laboratory Press.  
[https://doi.org/10.1016/0092-8674\(90\)90210-6](https://doi.org/10.1016/0092-8674(90)90210-6).
- Sari KN, Ayustaningwarno F. 2014. Kandungan serat, vitamin C, aktivitas antioksidan dan organoleptik keripik ampas brokoli (*Brassica oleracea* var *Italica*) panggang. *Journal of Nutrition College*. 3 (3): 378-385.
- Sevik MA. 2019. Viruses infecting cool season crops in the Northern Turkey. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(3), e20180224. [doi.org/10.1590/00013765201920180224](https://doi.org/10.1590/00013765201920180224)
- Sharma P, Sahu AK, Verma RK, Mishra R, Choudharya DK, Gaur RK. 2014. Current status of Potyvirus in India. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 47: 906-918.
- Singh R, Banerjee A, Sharma SK, Kangjam V. 2020. Occurrence, Molecular Characterization and Physiological Study of Broccoli Infected with Turnip mosaic virus (TuMV) in Arunachal Pradesh, India. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*. 9(8): 1035-1042  
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.908.113>
- Sopialena. 2017. Segitiga penyakit tanaman. Mulawarman University Press. Samarinda.
- Sutarman. 2017. Dasar-dasar ilmu penyakit tanaman. Umisida Pres. Sidoarjo.
- Walsh J, Jenner CE. 2002. Turnip mosaic virus and the quest for durable resistance. *Molecular Plant Pathology*. 3: 289-300.
- Wu G, Fanga X, Yua T, Chena J, Yan F. 2024. Turnip mosaic virus pathogenesis and host resistance mechanisms in Brassica. *Horticultural Plant Journal*, 10 (4): 947e960.  
<https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.03.001>.



## Research Article

**Daya Gabung Galur Inbred, Penampilan dan Heterosis Hibrida Silang Tunggal Jagung (*Zea mays* L.)*****Combining Ability of Inbred Lines, Performance, and Heterosis of Single-Cross Maize (*Zea mays* L.) Hybrids***Dela Oktakia<sup>1</sup>, P.K. Dewi Hayati<sup>1\*</sup>, Sutoyo<sup>1</sup>, Hafid Harnas<sup>2</sup><sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Andalas, Kampus Unand, Limau Manis  
Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25163<sup>2</sup> PT. Agro Zuriat Mandiri, Nagari Situjuh, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, Indonesia, 26250

Received: December 08, 2024/ Received in Revised: August 03, 2025/ Accepted: August 19, 2025

**ABSTRACT**

The utilization of superior hybrid varieties is pivotal in enhancing national maize productivity. Therefore, the continuous development of cultivars specifically adapted to distinct agroecosystems remains imperative. To that end, this study evaluated six inbred lines and 15 single-cross hybrids derived from a half diallel mating design to assess the combining ability of these inbred lines and examine the agronomic performance and heterotic expression manifested in the resulting hybrids. All genotypes, including the hybrids, inbred parents, and a check variety (P32), were tested using an RCBD with two replications in Nagari Situjuh, West Sumatra, Indonesia. The data were analyzed using F-tests followed by a planned LSD test with SAS software at the 5% significance level. PCA and path analysis were performed using RStudio, while General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) were analyzed using Diallel-SAS software. Results showed that the UZ 9 line performed the highest GCA for growth, flowering and yield-related traits. Hybrids UZ 3 > UZ 9 (H2), P137-1 > R2 (H14), and CLYN > R2 (H15) exhibited the best SCA values, coupled with superior agronomic performance, positive and high heterosis, heterobeltiosis, and standard heterosis for yield, achieving up to 11 tons hectare<sup>-1</sup>, comparable to P32. PCA further supported these findings, which revealed that H2, H14, and H15 were associated with shorter flowering, harvesting periods and higher kernel yield. Path analysis identified kernel weight ear<sup>-1</sup> as the most influential variable affecting kernel yield hectare<sup>-1</sup>. These findings highlight H2, H14, and H15 as promising hybrids with strong potential for further development and evaluation before release as new superior hybrid varieties.

**Keywords:** Diallel; Heterobeltiosis; Path analysis; Principal Component Analysis; Standard heterosis.**ABSTRAK**

Penggunaan varietas hibrida unggul berperan penting dalam meningkatkan produktivitas jagung nasional, sehingga perakitan varietas adaptif terhadap agroekosistem spesifik perlu terus dikembangkan. Penelitian ini bertujuan untuk menilai daya gabung galur inbred dan penampilan agronomis dan heterosis hibrida yang dihasilkan dari persilangan half diallel enam galur inbred. Seluruh genotipe, termasuk 15 hibrida, enam tetua inbred dan satu varietas hibrida pembanding (P32), diuji menggunakan RAK dengan dua ulangan di Nagari Situjuh, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Data dianalisis dengan uji F dan dilanjutkan dengan BNT terencana pada taraf 5% menggunakan aplikasi SAS, analisis komponen utama atau PCA dan analisis jalur menggunakan aplikasi RStudio, sedangkan analisis Daya Gabung Umum (DGU) dan Daya Gabung Khusus (DGK) menggunakan aplikasi Diallel-SAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa galur UZ 9 memiliki nilai DGU terbaik terhadap karakter pertumbuhan, pembungaan, dan hasil, sementara kombinasi persilangan galur UZ 3 > UZ 9 (H2), P137-1 > R2 (H14) dan CLYN > R2 (H15) menunjukkan nilai DGK terbaik, serta nilai heterosis, heterobeltiosis, dan heterosis standar yang positif dan tinggi terhadap hasil. Ketiga hibrida memiliki produksi mencapai hingga 11 ton hektare<sup>-1</sup>, sebanding dengan varietas P32. Hasil temuan ini diperkuat oleh analisis PCA yang menunjukkan bahwa H2, H14, dan H15 berasosiasi dengan umur berbunga dan umur panen yang lebih

pendek serta bobot biji yang tinggi. Analisis jalur mengidentifikasi variabel bobot biji-tongkol<sup>-1</sup> sebagai faktor yang paling berpengaruh langsung terhadap bobot biji hektare<sup>-1</sup>. Temuan ini menegaskan bahwa H2, H14, dan H15 merupakan hibrida yang berpotensi untuk dikembangkan dan dievaluasi lebih lanjut sebelum dilepas sebagai varietas unggul baru.

**Kata kunci:** Analisis jalur; Analisis komponen utama; Dialel; Heterobeltiosis; Heterosis standar.

\*Korespondensi Penulis.

E-mail: [pkdewihayati@agr.unand.ac.id](mailto:pkdewihayati@agr.unand.ac.id) (PKD Hayati)

DOI: <https://doi.org/10.33019/fsxx0486>

## 1. Pendahuluan

Jagung (*Zea mays* L.) beradaptasi luas di iklim tropis-subtropis dan menempati urutan ketiga tanaman pangan dunia (Canton, 2021). Di Indonesia, komoditas ini menjadi sumber pangan kedua setelah padi, dengan permintaan utama untuk pakan ternak sebesar 3 juta ton tahun<sup>-1</sup>, industri pakan sebesar 1,5-2 juta ton tahun<sup>-1</sup>, dan bioetanol sebesar 535.000 ton tahun<sup>-1</sup> (Kementerian Pertanian, 2022). Meski luas panen relatif stabil (2,47 juta ha pada 2021 dan 2,34 juta ha pada 2023), namun produksinya justru menurun dari 23,04 juta ton tahun<sup>-1</sup> menjadi 19,99 juta ton tahun<sup>-1</sup> (BPS, 2023), mengindikasikan bahwa upaya peningkatan produktivitas jagung nasional perlu terus didorong.

Salah satu strategi untuk meningkatkan produksi jagung yaitu penggunaan varietas unggul hibrida sehingga tidak mengherankan adopsi varietas hibrida menunjukkan peningkatan, menjadi 76,83 % pada tahun 2023 (Kementan, 2024). Varietas hibrida berpotensi menaikkan hasil karena heterosis, keseragaman, dan toleransi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan (Hayati *et al.*, 2014; Hayati *et al.*, 2016; Priyanto *et al.*, 2021). Hibrida unggul yang sesuai pada kondisi lingkungan spesifik seperti wilayah berintensitas hujan tinggi (Fidiyawati *et al.*, 2024), perlu terus dihasilkan apalagi ketika kawasan dengan agroekosistem tersebut berpotensi sebagai sentra produksi jagung di masa depan.

Perakitan hibrida meliputi pengembangan dan seleksi galur inbred potensial, serta evaluasi persilangan antar galur (Handayani *et al.*, 2022; Supriyanta *et al.*, 2023). Tujuan utama persilangan galur inbred adalah memanfaatkan *hybrid vigor* (heterosis) pada generasi F1 (Amzeri, 2019; Setyowidianto *et al.*, 2017), sekaligus mengevaluasi potensi hasil, keragaman genetik, serta daya gabung umum dan khusus (Hayati *et al.*, 2018). Analisis dialel metode Griffing 2 digunakan karena memadukan data tetua dan keturunannya (Hayati *et al.*, 2018), mampu menunjukkan pengaruh dari nilai ragam gen-gen aditif dan non-aditif (Sandesh *et al.*, 2018) yang penting dalam pengembangan varietas hibrida unggul.

Korelasi antar karakter yang memengaruhi hasil menjadi dasar dalam menentukan karakter seleksi yang efektif, namun keterbatasannya adalah tidak mampu menjelaskan pengaruh kausal. Oleh karena itu, analisis jalur (*path analysis*) digunakan untuk menguraikan efek langsung dan tidak langsung dari masing-masing karakter terhadap hasil, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat dalam menentukan kriteria seleksi yang efektif (Krisnawati & Adie, 2016; Fadhli *et al.*, 2023). Selain itu, untuk mengatasi multikolinearitas antar variabel dan mereduksi dimensi data yang kompleks, analisis komponen utama (*Principal Component Analysis*) atau PCA sering diterapkan sebagai pendekatan statistik multivariat dalam mengeksplorasi variabilitas genetik dan menyederhanakan data tanpa kehilangan informasi penting (Mustakim *et al.*, 2019). Penggunaan terpadu antara analisis korelasi, *path analysis*, dan PCA menjadi sangat penting dalam menyeleksi genotipe-genotipe hibrida yang berpotensi unggul, efisien, dan adaptif terhadap lingkungan.

Penggunaan varietas pembanding komersial merupakan kunci penting untuk mengetahui keunggulan kompetitif dari hibrida baru terhadap varietas unggul yang sudah ada (Gomez & Gomez, 1995) seperti varietas P32 yang telah dikenal luas oleh petani dan memiliki produktivitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hibrida dari persilangan kombinasi 6 galur *inbred* yang menunjukkan performa agronomis yang lebih baik dibandingkan dengan P32. Hibrida yang terpilih diharapkan menunjukkan keunggulan pada beberapa karakter penting dengan hasil minimal 11 ton ha<sup>-1</sup>.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Nagari Situjuh, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatra Barat pada 00°13' LS dan 100°37' - 100°56' BT dengan ketinggian 623 m dpl, dengan jenis tanah ordo Andosol. Penelitian dimulai dengan melakukan persilangan dari Oktober 2023 hingga Februari 2024 dan evaluasi hibrida dari Maret hingga Juni 2024. Curah hujan selama evaluasi berkisar antara

180 - 257 mm dengan rata-rata 224 mm bulan<sup>-1</sup>, tergolong dalam kriteria curah hujan tinggi.

**2.2. Bahan dan Alat**

Evaluasi dilakukan terhadap 15 genotipe F1 hasil persilangan kombinasi dari 6 galur inbred jagung (UZ 3, MAL, UZ 9, P137-1, CLYN, R2) dan satu varietas pembanding P32. Bahan lain yang digunakan adalah pupuk NPK (15:15:15), urea, kompos, plastik sungkup, plastik klip, label, karung, kertas minyak, fungisida dengan bahan aktif *Dimetomorf* 500gL<sup>-1</sup> dan *Piraklostrobin* 200gL<sup>-1</sup>, dan insektisida dengan bahan aktif *Fibronil* 50gL<sup>-1</sup> dan *Klorantraniliprol* 50gL<sup>-1</sup>.

**2.3. Metode Penelitian**

*Persilangan Galur Inbred*

Benih hibrida diperoleh dari hasil persilangan galur *inbred* dalam semua kombinasi persilangan (Tabel 1) yang dilakukan secara manual. Persilangan, termasuk resiprokalnya, dilakukan minimal dua kali untuk memastikan ketersediaan benih. *Tassel* (bunga jantan) ditutup saat bunga mulai mekar menggunakan kertas roti kedap air, sementara bakal tongkol ditutup dengan plastik sebelum munculnya *silk* (bunga betina) (Gambar 1). Polen yang digunakan minimal telah berumur dua hari setelah penyungkupan untuk mencegah kontaminasi polen asing dan menyediakan jumlah polen yang cukup. Polen yang diperoleh kemudian dibarkan pada *silk* sebelum ditutup kembali dengan kertas sungkup (Hayati dan Sutoyo, 2022).

*Evaluasi Hibrida*

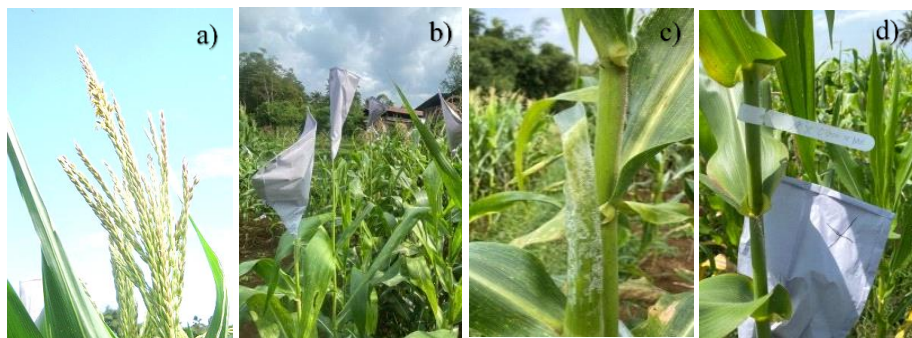
Seluruh genotipe, meliputi hibrida, galur inbred dan hibrida pembanding dievaluasi menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua ulangan. Masing-masing genotipe ditanam dalam plot yang berukuran 2 m x 3 m, terdiri atas 4 baris tanaman dengan jarak tanam 75 cm x 20 cm untuk hibrida dan 2 baris tanaman untuk *inbred*. Masing-masing hibrida silang tunggal, galur *inbred* maupun varietas hibrida pembanding ditempatkan secara acak dalam setiap blok, namun terpisah antara penempatan hibrida dan galur inbred untuk menghindari kompetisi antara hibrida dengan galur *inbred* yang memiliki penampilan lebih kecil.

Pengamatan terdiri atas tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, panjang tongkol, diameter tongkol dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> yang diambil dari 10 tanaman sampel, sedangkan umur berbunga jantan, umur berbunga betina, umur panen, jumlah tongkol<sup>-1</sup>, dan bobot biji ha<sup>-1</sup> diambil dari data keseluruhan tanaman dalam plot.

Analisis ragam dan uji lanjut dilakukan menggunakan aplikasi SAS, sedangkan PCA dan analisis jalur menggunakan aplikasi RStudio. Analisis daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK) dilakukan berdasarkan metode Griffing II menggunakan aplikasi Diallel-SAS05 mengacu pada Hayati *et al.* (2015). Pendugaan nilai heterosis dilakukan berdasarkan nilai rata-rata tetua (*mid-parent=MP*), nilai tetua terbaik (*better-parent=BP*), dan nilai hibrida pembanding (HP) varietas hibrida P32 mengacu pada Hayati (2018).

Tabel 1. Skema persilangan *half diallel* 6 x 6 galur inbred menurut Griffing metode 2

Genotipe	UZ 3	MAL	UZ 9	P137-1	CLYN	R2
UZ 3	-	H1	H2	H3	H4	H5
MAL	H1	-	H6	H7	H8	H9
UZ 9	H2	H6	-	H10	H11	H12
P137-1	H3	H7	H10	-	H13	H14
CLYN	H4	H8	H11	H13	-	H15
R2	H5	H9	H12	H14	H15	-



Gambar 1. Tahapan persilangan yang dilakukan, a) Bunga jantan baru mekar, b) Penyungkupan bunga jantan, c) Penyungkupan bunga betina, d) Penyungkupan tongkol setelah persilangan.

### 3. Hasil

#### 3.1. Penampilan Hibrida

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa hibrida berpengaruh nyata terhadap semua karakter yang diamati, kecuali umur berbunga jantan, umur berbunga betina dan jumlah tongkol. Secara umum, semua hibrida yang dievaluasi menunjukkan tinggi tanaman yang menyamai varietas pembanding P32, kecuali H8 dan H9 yang berpenampilan lebih pendek daripada varietas P32. Hibrida H2, H4, H11, H14, dan H15 menunjukkan letak tongkol lebih tinggi dibandingkan P32, sedangkan hibrida lainnya memiliki letak tongkol yang relatif sama dengan varietas pembanding (Tabel 1).

Meskipun semua hibrida menunjukkan umur berbunga jantan dan umur berbunga betina yang sama, hibrida H1, H4, H5, dan H6 menunjukkan umur panen 1,5–2,5 hari lebih cepat dari P32. Pada karakter komponen hasil, hibrida H6, H11, H14 dan H15 memiliki diameter tongkol lebih besar, namun hanya H14 yang menunjukkan tongkol lebih panjang dibandingkan varietas P32. Hibrida H1, H3, H6, H10, H12, H14, dan H15 secara bersama-sama menunjukkan bobot biji ha<sup>-1</sup> yang setara dengan P32, sementara bobot biji ha<sup>-1</sup> tertinggi dan mengungguli varietas hibrida P32 ditunjukkan oleh hibrida H2. Tongkol dari empat hibrida dengan hasil tertinggi yaitu H2, H6, H14, H15 dan pembanding hibrida P32 ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Penampilan karakter pertumbuhan, pembungaan, komponen hasil, dan hasil 15 hibrida silang tunggal dan varietas P32

Hibrida	TT	TLT	UBJ	UBB	UP	JT	PT	DT	BBT	BBH
H1	217,7	95,3	56,0	56,0	112,5**	1,2	17,7	46,1	150,5	9,7
H2	238,7	119,9**	57,5	57,5	115,0	1,7	16,7	47,5	154,0	13,0**
H3	230,5	113,4	58,0	58,0	115,5*	1,1	19,0	47,8	166,5	9,7
H4	232,8	123,8**	56,5	56,5	112,5**	1,4	16,1	48,3	134,0	9,0*
H5	218,9	107,0	58,5	57,0	112,5**	1,6	18,1	45,0	115,5*	8,2*
H6	213,2	106,1	57,5	57,5	111,5**	1,5	18,5	49,2**	185,5	11,0
H7	204,0	107,0	59,5	59,5	115,5*	1,0	19,5	44,8	103,5*	8,8*
H8	172,0*	89,9	58,5	58,0	113,5	1,4	15,1*	45,6	102,5*	7,8*
H9	183,0*	113,5	56,5	56,5	113,0	1,2	17,6	44,0	108,0*	9,0*
H10	217,6	101,5	57,5	57,0	113,0	1,1	18,0	48,3	155,0	9,7
H11	238,5	121,3**	59,0	59,0	113,5	1,1	17,1	49,3**	146,0	8,8*
H12	203,3	99,1	56,5	56,0	113,5	1,1	18,7	46,7	146,0	9,5
H13	225,1	99,2	57,0	57,0	113,5	1,0	18,5	46,3	117,0*	8,3*
H14	230,9	124,8**	58,0	58,5	115,0	1,3	21,0**	49,3**	195,0	11,7
H15	230,5	127,7**	60,5	59,5	113,0	1,2	16,8	49,3**	153,0	11,0
P32	222,1	99,9	59,0	58,5	114,0	1,3	18,2	46,3	159,5	11,0

Keterangan: TT= tinggi tanaman, TLT= tinggi letak tongkol, UBJ= umur berbunga jantan, UBB= umur berbunga betina, UP=umur panen, JT=Jumlah tongkol, PT= panjang tongkol, DT= diameter tongkol, BBT= bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, BBH= bobot biji ha<sup>-1</sup>, \* = nyata lebih pendek/kecil dibandingkan P32, \*\* = nyata lebih panjang/besar dibandingkan P32 menurut BNT pada taraf 5%.

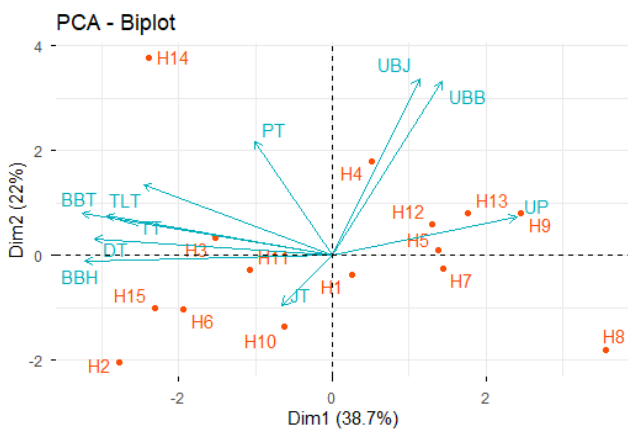


Gambar 2. Penampilan tongkol jagung beberapa hibrida potensial yang memiliki karakter agronomis dan hasil produksi tinggi atau menyamai varietas pembanding hibrida P32.

### 3.2. PCA dan Analisis Jalur

Bobot biji ha<sup>-1</sup> merupakan parameter hasil yang menjadi karakter utama dalam perakitan varietas hibrida unggul baru sehingga identifikasi karakter agronomis yang memiliki korelasi terhadap karakter hasil dapat memperluas cakupan seleksi tidak langsung dan multisifat (Devasree *et al.*, 2020). Analisis komponen utama atau Prinsip(PCA) digunakan untuk menyederhanakan serta memprediksi hubungan antar karakter agronomis dan mengidentifikasi karakter sekunder yang berperan terhadap hasil.

Analisis PCA menghasilkan biplot yang menggambarkan sebaran hibrida jagung berdasarkan karakter agronomis utama (Gambar 3). Dimensi 1 dan Dimensi 2 secara kumulatif menjelaskan 60,7% total keragaman karakter yang diamati. Berdasarkan arah dan panjang vektor, karakter umur berbunga jantan (UBJ), umur berbunga betina (UBB), dan umur panen (UP) memberikan kontribusi dominan terhadap Dimensi 1 (38,7%), dengan arah yang berlawanan terhadap bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT) dan bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH) mengindikasikan bahwa hibrida dengan hasil biji yang tinggi cenderung akan memiliki umur berbunga dan panen yang lebih singkat.



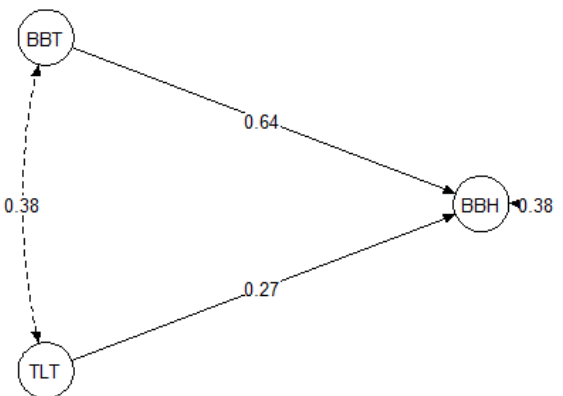
Gambar 3. *Biplot-PCA* sebaran 16 hibrida jagung terhadap karakter tinggi, pembungaan, panen, komponen hasil dan hasil. TT= tinggi tanaman, TLT= tinggi letak tongkol, UBJ= umur berbunga jantan, UBB= umur berbunga betina, UP=umur panen, JT=Jumlah tongkol, PT= panjang tongkol, DT= diameter tongkol, BBT= bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, BBH= bobot biji ha<sup>-1</sup>, H1 - H15 = hibrida, P32 = hibrida pembanding

Vektor karakter bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH), bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT), diameter tongkol (DT), tinggi letak tongkol (TLT), dan tinggi tanaman (TT) memiliki arah dan panjang yang hampir sama, mengindikasikan kontribusi yang besar terhadap

Dimensi 2 (22,0%), menunjukkan asosiasi yang positif terhadap karakter utama hasil yaitu bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH).

Analisis vektor pada PCA menunjukkan posisi hibrida H14 searah dengan panjang tongkol (PT) dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT), sementara hibrida H3 searah dengan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT). Posisi hibrida H2, H6 dan H15 terdistribusi pada kuadran yang searah dengan bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH), mengindikasikan potensi hasil yang tinggi. Namun posisi H6 yang lebih dekat dengan titik pusat biplot, mengindikasikan potensi hasil yang lebih lemah dibandingkan hibrida H2 dan H15. Sebaliknya hibrida H4, H12, H9 dan H13 berada dalam kuadran yang sama dengan pembungaan dan umur panen, mengindikasikan kecenderungan umur berbunga dan panen yang lebih lama.

Analisis jalur (Gambar 4) menunjukkan hubungan kausal antara bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT) dan tinggi letak tongkol (TLT) terhadap bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH). Bobot biji tongkol<sup>-1</sup> memiliki pengaruh langsung yang kuat terhadap bobot biji ha<sup>-1</sup> sebesar 0,64, lebih besar dibandingkan pengaruh tinggi letak tongkol (TLT) terhadap BBH (0,27). Artinya semakin besar bobot biji tongkol<sup>-1</sup> atau tinggi letak tongkol, semakin tinggi pula hasil biji hektar<sup>-1</sup> yang diperoleh.



Gambar 4. *Path analysis* bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT) dan tinggi letak tongkol (TLT) terhadap bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH).

Hubungan antara TLT dan BBT menunjukkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,38, yang mengindikasikan bahwa semakin tinggi letak tongkol, cenderung semakin bobot biji tongkol<sup>-1</sup> yang dihasilkan. Dengan demikian, TLT memberikan pengaruh tidak langsung terhadap BBH melalui BBT, sebesar 0,24 sehingga pengaruh total TLT terhadap BBH mencapai 0,51. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan hasil biji ha<sup>-1</sup> lebih banyak ditentukan oleh peningkatan bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, namun pengaturan tinggi letak tongkol juga penting karena dapat meningkatkan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> dan pada akhirnya berdampak positif terhadap peningkatan hasil biji ha<sup>-1</sup>.

Tabel 3. Nilai kuadrat tengah daya gabung 6 galur inbred dalam skim Half diallel menggunakan Griffing metode 2

Sumber	db	Kuadrat Tengah								
		TT	TLT	UBJ	UBB	UP	PT	DT	BBT	BBH
Genotipe	20	1764,2*	583,0*	6,2*	7,7*	2,3*	12,4*	40,0*	3065,5*	5,6*
- DGU	5	1466,6*	398,5*	1,6	3,3*	0,5*	7,9*	3,6*	1211,0*	3,8*
- DGK	15	687,4*	255,9*	3,7*	4,0*	1,4*	5,6*	25,5*	1640,6*	2,9*
Galat	20	64,7	61,4	0,6	0,7	0,2	0,5	1,3	189,3	1,0

Keterangan: TT= tinggi tanaman, TLT= tinggi letak tongkol, UBJ= umur berbunga jantan, UBB= umur berbunga betina, UP=umur panen, PT= panjang tongkol, DT= diameter tongkol, BBT= bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, BBH= bobot biji ha<sup>-1</sup>, DGU= daya gabung umum, DGK= daya gabung khusus \* = nyata pada taraf 5% pada uji F.

Tabel 4. Nilai DGU pada karakter pertumbuhan, pembungaan, panen, komponen hasil, dan hasil dari 6 galur inbred dalam skema Half diallel menggunakan Griffing metode 2

Inbred	TT	TLT	UBJ	UBB	UP	PT	DT	BBT	BBH
UZ 3	7,6*	3,3	-0,04	-0,02	-0,33*	-0,77*	0,73	-3,06	0,47
MAL	-24,0*	-11,6*	-0,41	-0,64*	-0,02	-0,06	-0,49	-12,75*	-0,47
UZ 9	6,0*	-0,9	-0,41	-0,33	-0,02	0,33	0,90*	21,68*	0,99*
P137-1	13,4*	5,6*	-0,04	-0,08	0,10	1,20*	-0,43	4,87	0,23
CLYN	4,5	7,4*	0,77*	1,22*	0,41*	-1,47*	-0,02	-9,43*	-0,82*
R2	-7,1*	-4,0	0,14	-0,14	-0,14	0,78*	-0,69	-1,31	-0,39
Gi	5,0	1,2	-0,03	0,01	-0,01	0,06	0,44	3,45	0,08

Keterangan: TT= tinggi tanaman, TLT= tinggi letak tongkol, UBJ= umur berbunga jantan, UBB= umur berbunga betina, UP=umur panen, JT= jumlah tongkol, PT= panjang tongkol, DT= diameter tongkol, BBT= bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, BBH= bobot biji ha<sup>-1</sup>, \* = nyata taraf 5% pada uji T.

Tabel 5. Nilai DGK pada karakter pertumbuhan, pembungaan, panen, komponen hasil, dan hasil dari 6 galur inbred dalam skema *half-diallel* menggunakan Griffing metode 2

Genotipe	TT	TLT	UBJ	UBB	UP	PT	DT	BBT	BBH
UZ 3 >> MAL)	28,9*	-1,6	0,48	-0,64	-0,6	1,84*	1,18	41,59*	0,56
UZ 3 >> UZ 9	19,9*	12,1	-2,01*	-1,95*	-0,6	0,46	1,23	10,66	2,30*
UZ 3 >> P137-1	4,9	-0,7	-0,89	-0,71	-1,7*	1,83*	2,87*	39,97*	-0,21
UZ 3 >> CLYN	16,0*	7,9	0,29	-0,02	1,9*	1,61*	2,91*	21,79	0,21
UZ 3 >> R2	13,3	2,5	-0,08	-0,14	0,5	1,40*	0,28	-4,84	-1,02
MAL >> UZ 9	26,1*	13,1	-1,14	-0,83	-0,4	1,53*	4,10*	51,84*	1,29
MAL >> P137-1	9,5	7,8	-0,52	-0,58	-0,5	1,61*	1,05	-13,34	-0,16
MAL >> CLYN	-13,1	-11,2	-1,33	-1,39	1,1*	-0,05	1,44	-0,03	-0,09
MAL >> R2	9,0	23,8*	0,79	1,48	0,2	0,19	0,51	-2,65	0,68
UZ 9 >> P137-1	-6,9	-8,7	-1,52	-1,89*	-0,5	-0,28	3,15*	3,72	-0,68
UZ 9 >> CLYN	23,3*	9,3	-1,83*	-2,20*	-0,4	1,55*	3,73*	9,04	-0,56
UZ 9 >> R2	-0,7	-1,4	-0,21	0,17	2,2*	0,84	1,86	0,91	-0,30
P137-1 >> CLYN	2,6	-19,1*	-1,21	-0,96	1,0*	2,03*	2,08	-3,15	-0,31
P137-1 >> R2	19,4*	18,0*	1,91*	1,42	-0,4	2,27*	5,75*	66,72*	2,70*
CLYN >> R2	28,4*	19,0*	-2,80*	-2,89*	-1,2*	0,81	5,38*	39,03*	3,00*
Gi-Gj	-0,6	3,3	-0,92	-1,03	0,04	1,07	2,39	13,86	0,64

Keterangan: TT= tinggi tanaman, TLT= tinggi letak tongkol, UBJ= umur berbunga jantan, UBB= umur berbunga betina, UP=umur panen, JT= jumlah tongkol, PT= panjang tongkol, DT= diameter tongkol, BBT= bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, BBH= bobot biji ha<sup>-1</sup>, \* = nyata pada taraf 5%.

### 3.3. Daya gabung

Analisis ragam menunjukkan bahwa daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK) berpengaruh terhadap seluruh karakter, kecuali pada umur berbunga jantan (Tabel 3). Signifikansi kedua komponen ini mengindikasikan peran aksi gen aditif dan non-aditif dalam pengendalian karakter. Nilai ragam DGK (Daya Gabung Khusus) yang tinggi pada beberapa karakter mengindikasikan bahwa pengaruh gen non-aditif, seperti dominansi dan epistasis, lebih berperan dibandingkan dengan gen aditif.

Karakter umur berbunga betina, umur panen, diameter tongkol, dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> lebih dipengaruhi oleh aksi gen non-aditif, seperti dominansi dan overdominansi. Sebaliknya, tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, panjang tongkol, dan bobot biji<sup>-1</sup> lebih dipengaruhi oleh gen aditif. Nilai DGK yang lebih tinggi dari DGU mencerminkan adanya efek saling melengkapi antar alel dominan di berbagai lokus, yang berkontribusi terhadap heterosis pada hibrida F1.

Galur dengan nilai DGU positif diinginkan untuk peningkatan karakter hasil, sebaliknya DGU negatif diinginkan untuk singkat atau lebih rendahnya karakter seperti umur berbunga dan umur panen.

Hampir semua galur *inbred* mempunyai nilai DGU yang positif dan nyata untuk semua karakter, kecuali galur MAL (Tabel 4). DGK menjadi nilai penting untuk menentukan galur terpilih yang dapat menghasilkan hibrida dengan karakter unggul. Umumnya kombinasi persilangan antar galur menunjukkan nilai DGK yang positif pada karakter tinggi tanaman dan tinggi letak tongkol, sedangkan pada umur berbunga, sebagian besar bernilai negatif. Kombinasi persilangan menunjukkan nilai DGK yang negatif pada umur berbunga, kecuali P137-1 >< R2, sebaliknya umur panen justru menunjukkan yang sebaliknya, hanya UZ3 >< P137-1 dan CLYN >< R2 yang menunjukkan nilai DGK negatif. Kombinasi persilangan P137-1 >< R2 dan CLYN >< R2 konsisten menunjukkan DGK yang besar dan nyata untuk diameter tongkol dan bobot biji, diikuti oleh MAL >< UZ 9 dan UZ 3 >< UZ 9.

Beberapa kombinasi yang menonjol antara lain UZ 3 >< UZ 9, MAL >< UZ 9, dan P137-1 >< R2, melibatkan salah satu tetua dengan nilai DGU besar dan positif. Kombinasi CLYN >< R2 juga menunjukkan nilai DGK tinggi pada karakter bobot biji ha<sup>-1</sup>, meskipun kedua tetua memiliki nilai DGU negatif.

Tabel 6. Nilai heterosis, heterobeltiosis dan heterosis standar 15 hibrida silang tunggal untuk karakter hasil.

Hibrida	.....Bobot biji tongkol <sup>-1</sup> .....						.....Bobot biji ha <sup>-1</sup> .....					
	F1 (g)	P1 (g)	P2 (g)	MPH (%)	BPH (%)	HS (%)	F1 (g)	P1 (g)	P2 (g)	MPH (%)	BPH (%)	HS (%)
H1	150,2	64,0	60,5	141,4	134,8	-5,6	9,7	9,2	7,1	19,0	5,3	-11,4
H2	153,5	64,0	129,7	58,4	18,3	-3,6	13,0	9,2	10,1	34,1	28,1	18,3
H3	166,2	64,0	87,5	119,5	90,0	4,4	9,7	9,2	9,0	6,4	5,1	-11,6
H4	134,0	64,0	90,0	74,0	48,9	-15,9	9,1	9,2	6,4	16,0	-1,8	-17,5
H5	115,5	64,0	72,2	69,5	59,9	-27,5	8,2	9,2	5,8	9,3	-10,8	-25,0
H6	185,0	60,5	129,7	94,5	42,6	16,2	11,0	7,1	10,1	27,1	8,1	-0,1
H7	103,5	60,5	87,5	39,9	18,3	-35,0	8,8	7,1	9,0	9,1	-2,4	-19,8
H8	102,5	60,5	90,0	36,2	13,9	-35,6	7,8	7,1	6,4	15,6	9,7	-29,0
H9	108,0	60,5	72,2	62,7	49,5	-32,2	9,0	7,1	5,8	39,2	26,6	-18,0
H10	155,0	129,7	87,5	42,7	19,5	-2,7	9,7	10,1	9,0	1,6	-4,0	-11,3
H11	145,7	129,7	90,0	32,6	12,3	-8,5	8,8	10,1	6,4	6,4	-13,2	-19,8
H12	145,7	129,7	72,2	44,3	12,3	-8,5	9,5	10,1	5,8	19,4	-6,0	-13,2
H13	116,9	87,5	90,0	31,8	29,9	-26,6	8,3	9,0	6,4	7,7	-7,9	-24,4
H14	194,7	87,5	72,2	143,8	122,6	22,3	11,7	9,0	5,8	58,3	30,3	7,0
H15	152,7	90,0	72,2	88,3	69,7	-4,1	11,0	6,3	5,8	79,9	72,0	0,1

Keterangan: MPH= *Mid-Parent* Heterosis, BPH= *Better-Parent* Heterosis, HS=heterosis standar.

### 3.4. Heterosis

Hibrida *single-cross* hasil persilangan dari 6 galur *inbred* memiliki peningkatan hasil biji dibandingkan dengan kedua tetuanya (Tabel 6) ditunjukkan dengan positif dan besarnya bobot biji

tongkol<sup>-1</sup> dan sebagian pada bobot biji ha<sup>-1</sup>. Tiga hibrida yaitu H2, H14 dan H15 konsisten menunjukkan nilai heterosis, heterobeltiosis dan heterosis standar yang positif dan tinggi pada kedua karakter hasil, mencerminkan keunggulan hibrida F1 dibandingkan tetuanya. Peningkatan bobot biji

ha<sup>-1</sup> pada penelitian ini berkisar antara 1,6% hingga 79,9%, lebih tinggi dibandingkan laporan Akhmad *et al.* (2022) yang berada pada kisaran 13,4% – 51,0%. Variasi ini mencerminkan adanya pengaruh jarak genetik yang jauh serta ragam genetik yang tinggi antar tetua. Inbred yang digunakan berasal dari populasi dasar yang berkembang di berbagai wilayah Indonesia, sehingga keragaman susunan genetiknya turut berkontribusi terhadap tingkat heterosis yang diamati.

## 4. Pembahasan

### 4.1. Penampilan Hibrida

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor genetik memberikan pengaruh signifikan terhadap sebagian besar karakter agronomis, yang mengindikasikan adanya keragaman genetik yang cukup luas di antara hibrida yang diuji. Tinggi tanaman dan tinggi letak tongkol merupakan karakter penting dalam seleksi hibrida karena berhubungan dengan ketahanan tanaman terhadap kerebahan. Hibrida H2, H4, H11, H14, dan H15 yang memiliki letak tongkol lebih tinggi daripada varietas P32, cenderung menunjukkan vigor pertumbuhan yang lebih kuat, namun juga berpotensi lebih rentan mengalami kerebahan pada musim hujan dan kondisi angin kencang. Sebaliknya H8 dan H9 dengan letak tongkol yang lebih rendah, walaupun lebih tahan rebah, tetapi berisiko mudah diserang hama tikus karena posisi tongkolnya yang lebih dekat dengan permukaan tanah. Nilai proporsi tinggi letak tongkol dengan tinggi tanaman sekitar 0,5 merupakan penampilan hibrida yang baik (Hayati *et al.*, 2014).

Perbedaan umur panen di antara hibrida, khususnya pada H1, H4, H5, dan H6 yang lebih cepat 1,5 hingga 2,5 hari dibandingkan varietas P32, menunjukkan potensi nilai heterosis negatif untuk karakter umur panen. Hal ini sesuai dengan kehendak petani yang mengharapkan tanaman dengan umur panen yang lebih singkat (Adi *et al.*, 2021). Sementara itu, pada karakter hasil hanya hibrida H14 yang secara konsisten menunjukkan panjang tongkol dan diameter tongkol lebih besar daripada varietas pembanding P32. Meskipun demikian, bobot biji ha<sup>-1</sup> tertinggi dan mengungguli varietas hibrida P32 ditunjukkan oleh hibrida H2, sementara hibrida H1, H3, H6, H10, H12, H14, dan H15 secara bersama-sama menunjukkan bobot biji ha<sup>-1</sup> yang setara dengan P32.

### 4.2. PCA dan Analisis Jalur

Analisis PCA memberikan gambaran keterkaitan antara karakter agronomis dan hasil biji, di mana umur berbunga dan umur panen berasosiasi negatif dengan hasil, sedangkan karakter tinggi tanaman,

tinggi letak tongkol, diameter tongkol dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> menunjukkan korelasi positif terhadap hasil. Pola ini mengindikasikan bahwa semakin genjah umur berbunga dan panen, hasil biji cenderung meningkat, sejalan dengan temuan Fadhli *et al.* (2023) dan Priyanto *et al.* (2023). Bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, diameter tongkol, tinggi letak tongkol dan tinggi tanaman berada dalam klaster yang sama dengan bobot biji ha<sup>-1</sup> menunjukkan bahwa keempat karakter ini dapat digunakan sebagai karakter sekunder yang efektif dalam menyeleksi hibrida dengan potensi hasil yang tinggi. Korelasi positif yang signifikan terhadap hasil panen juga dilaporkan oleh Hayati *et al.* (2016) dan Hutaeruk dan Sugiharto (2017) untuk diameter tongkol dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup>, serta Reddy dan Jabeen (2016) dan Pandey *et al.* (2017) untuk tinggi tanaman, dan tinggi letak tongkol.

Analisis vektor pada PCA menunjukkan bahwa beberapa hibrida yang memiliki penampilan karakter komponen hasil dan hasil yang tinggi, berada dalam kuadran yang sama atau terletak pada posisi yang searah serta berdekatan dengan vektor karakter tersebut (Gambar 3). Hasil tinggi yang ditunjukkan oleh hibrida H14 (11,7 ton ha<sup>-1</sup>) merupakan kontribusi dari dua komponen hasil yaitu panjang tongkol (PT) dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> (BBT), sejalan dengan posisinya yang searah dengan kedua vektor tersebut. Posisi hibrida H2, H6 dan H15 yang terdistribusi searah dengan vektor bobot biji ha<sup>-1</sup> (BBH) menunjukkan asosiasi yang kuat dari ketiga hibrida tersebut dengan potensi hasil yang tinggi, konsisten dengan pengamatan lapangan. Namun dari posisinya ke titik pusat biplot, hibrida H2 dan H15 memiliki asosiasi yang lebih kuat dengan hasil dibandingkan H6.

Hasil PCA juga menegaskan bahwa umur berbunga dan umur panen yang lebih genjah pada hibrida-hibrida yang memiliki arah berlawanan dengan vektor pembungaan dan panen, berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pengisian biji. Kedua karakter merupakan karakter yang diinginkan dalam program pemuliaan jagung.

Kontribusi tinggi letak tongkol terhadap biji sebagaimana hasil analisis jalur yang diperlihatkan Gambar 4, mengindikasikan pentingnya karakter ini. Posisi tongkol yang lebih tinggi pada hibrida berdaya hasil tinggi seperti pada H2, H6, H14 dan H15 memungkinkan penerimaan cahaya yang lebih optimal di sekitar tongkol, yang secara langsung berkontribusi dalam meningkatkan asupan asimilat ke tongkol dan berpotensi meningkatkan hasil (Cagnola *et al.*, 2021). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Singh *et al.* (2020) dan Aman *et al.* (2020) bahwa tinggi letak tongkol memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan hasil biji ha<sup>-1</sup>.

Secara keseluruhan, kombinasi hasil PCA dan analisis jalur memberikan gambaran yang konsisten bahwa hibrida H2, H14, dan H15 memiliki potensi hasil tinggi yang didukung oleh komponen hasil utama dan karakter agronomis lain yang sesuai, sehingga layak diprioritaskan dalam program seleksi dan pengembangan varietas unggul baru.

### 4.3 Daya gabung

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa baik daya gabung umum (DGU) maupun daya gabung khusus (DGK) berpengaruh nyata terhadap sebagian besar karakter agronomis yang dievaluasi. Hal ini menandakan bahwa pewarisan sifat pada karakter tersebut dikendalikan oleh aksi gen aditif dan non-aditif secara bersamaan. Aksi gen aditif mencerminkan kontribusi kumulatif gen-gen tunggal yang dapat dipertahankan melalui seleksi, sedangkan aksi gen non-aditif mencakup dominansi dan epistasis yang berperan penting dalam pembentukan heterosis (Ruswandi *et al.*, 2015; Purushottam & Shanthakumar, 2017; Arsyam *et al.*, 2024).

Karakter seperti umur berbunga betina, umur panen, diameter tongkol, dan bobot biji tongkol<sup>-1</sup> lebih dipengaruhi oleh gen non-aditif, yang menunjukkan pentingnya pemanfaatan heterosis dalam perakitan hibrida unggul. Sebaliknya, karakter tinggi tanaman, tinggi letak tongkol, panjang tongkol, dan bobot biji<sup>-1</sup> dipengaruhi oleh gen aditif, sehingga dapat diperbaiki melalui seleksi bertahap.

Galur *inbred* UZ 9 menunjukkan nilai DGU yang positif dan tinggi untuk karakter hasil dan pertumbuhan, serta nilai negatif pada umur berbunga dan umur panen. Nilai DGU yang tinggi pada UZ 9 mengindikasikan kemampuan gabung atau membentuk kombinasi yang baik dengan *inbred* lainnya secara umum untuk menghasilkan hibrida yang berproduksi tinggi (Hayati, 2018). Dengan demikian galur UZ 9 berpotensi untuk digunakan sebagai tetua penggabung umum yang baik dalam pembentukan varietas komposit atau hibrida berumur genjah (Supriyanta *et al.*, 2023). Galur UZ 9 yang digunakan pada penelitian ini, sesuai dengan rekomendasi galur tetua pada penelitian Cahyani (2024).

Kombinasi persilangan UZ 3  $\times$  UZ 9 (H2), MAL  $\times$  UZ 9 (H14) dan P137-1  $\times$  R2 (H15) melibatkan salah satu tetua yang memiliki nilai DGU yang besar dan positif. Kombinasi persilangan antara tetua dengan DGU positif dan positif atau sebaliknya, cenderung menghasilkan nilai DGK yang tinggi. Penelitian Putri *et al.* (2022) juga menunjukkan bahwa kombinasi persilangan terbaik seringkali melibatkan salah satu tetua dengan DGU bernilai

negatif, terutama untuk karakter hasil. Temuan ini menunjukkan adanya interaksi gen-gen menguntungkan yang mampu menutupi pengaruh gen-gen yang merugikan, sehingga menghasilkan kombinasi silang dengan performa baik. Efendi *et al.* (2017) menambahkan bahwa pasangan *inbred* dengan banyak alel dominan dapat berinteraksi secara positif, sehingga menghasilkan hibrida dengan potensi hasil tinggi meskipun salah satu tetua memiliki gen yang kurang menguntungkan.

Kombinasi CLYN  $\times$  R2 juga menunjukkan nilai DGK besar dan signifikan pada karakter bobot biji ha<sup>-1</sup>, namun berasal dua tetua dengan nilai DGU negatif. Walaupun umumnya kombinasi persilangan terbaik dihasilkan dari kedua tetua dengan nilai DGU yang baik (Subba *et al.*, 2022), namun persilangan antara dua *inbred* dengan DGU rendah juga dapat menghasilkan keturunan dengan nilai DGK yang tinggi, seperti dilaporkan oleh Priyanto *et al.* (2019).

### 4.4. Heterosis

Nilai heterosis yang tinggi mencerminkan adanya efek gen dominan dan overdominan yang berperan penting dalam mengendalikan karakter hasil (Sulastri *et al.*, 2020). Efek dominan dihasilkan oleh akumulasi gen dominan menguntungkan, sedangkan efek overdominan menunjukkan keunggulan genotipe heterozigot dibandingkan dengan kedua tetuanya. Hibrida H2, H6, H14, dan H15 memperlihatkan nilai heterosis dan heterobeltiosis yang tinggi pada karakter hasil, menunjukkan bahwa kombinasi silang antar galur tersebut berhasil memunculkan efek heterosis maksimum. Nilai heterosis yang tinggi ini juga berkaitan dengan jarak genetik yang jauh antar tetua, sebagaimana dilaporkan oleh Mishra *et al.* (2024) bahwa besarnya heterosis bervariasi antar karakter dan tergantung pada kombinasi persilangan.

Nilai heterosis yang tinggi idealnya sejalan dengan nilai DGK, namun hal ini tidak selalu terjadi karena heterosis dihitung berdasarkan dua galur tetua yang dikombinasikan, sedangkan DGK mencerminkan efek spesifik dari seluruh kombinasi yang diuji. Oleh karena itu, seleksi hibrida unggul perlu mempertimbangkan nilai DGU, DGK dan heterosis secara bersamaan. Efek heterosis yang tinggi pada varietas hibrida dibandingkan *inbred* tetuanya disebabkan oleh pengaruh genetik dan memang diinginkan, namun varietas hibrida yang akan dilepas tentu saja harus memiliki keunggulan ekonomis dibandingkan hibrida yang sudah ada di tengah masyarakat.

Nilai heterosis standar yang positif dan tinggi mencerminkan keunggulan tersebut. Ada tiga hibrida yaitu H2, H14, dan H15 yang menunjukkan

nilai heterosis standar bernilai positif, menandakan bahwa ketiga hibrida memiliki hasil bobot biji ha<sup>-1</sup> lebih tinggi dari varietas pembanding P32. Ketiga hibrida tersebut menunjukkan adanya peluang yang besar untuk mendapatkan varietas hibrida potensial pada kondisi agroekosistem curah hujan tinggi sebagaimana lokasi penelitian pada wilayah yang lebih luas.

## 5. Kesimpulan

Hibrida H2, H6, H14, dan H15 menunjukkan performa agronomis yang unggul pada karakter pertumbuhan, pembungaan dan hasil yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan dengan varietas P32, dengan hasil mencapai 11 ton ha<sup>-1</sup>. Galur UZ 9 terbukti memiliki nilai Daya Gabung Umum (DGU) terbaik terhadap karakter pertumbuhan, pembungaan, dan hasil, sementara kombinasi persilangan galur UZ 3 >< UZ 9 (H2), P137-1 >< R2 (H14), dan CLYN >< R2 (H15) memiliki nilai Daya Gabung Khusus (DGK) terbaik. Ketiga hibrida ini juga konsisten memiliki nilai heterosis, heterobeliosis, dan heterosis standar yang tinggi terhadap hasil. Temuan ini juga diperkuat oleh analisis PCA yang menunjukkan bahwa ketiga hibrida yaitu H2, H14 dan H15 berasosiasi dengan hasil biji yang tinggi, serta umur berbunga dan umur panen yang lebih pendek.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada PT Agro Zuriat Mandiri atas dukungan dan kesempatan kerja sama yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Andalas Tahun 2024 atas pendanaan yang diberikan melalui skema riset tugas akhir Penelitian Skripsi Sarjana (PSS) Batch I Nomor: 218/UN1619/PT.01.03/PSS/2024 yang telah mendukung terlaksananya penelitian dan publikasinya ini dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Arief Munandar, M.Si dan Alponsin, M.Si atas kontribusi pemikiran dan diskusi yang konstruktif selama penulisan manuskrip.

## 7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

## 8. Daftar Pustaka

- Adi EBM, Indrayani S, Burhana N, & Mulyaningsih, ES. 2021. Parameter Genetik Karakter Agronomi pada Galur F1 Padi Hasil Persilangan Galur Murni dan Kultivar Lokal Indonesia. *Agrosainstek: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*. 5(1): 8-17. <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v5i1.143>
- Armandoni EA, Purnamaningsih SL, Rifianto A. 2023. Pendugaan Nilai Heterosis Tujuh Hibrida Jagung Manis (*Zea mays* L. var. *saccharata* Sturt). *Plantropica: Journal of Agricultural Science*. 7(2): 10-17. <https://doi.org/10.21776/ub.jpt.2022.007.2.2>
- Aman J, Bantte K, Alamerew S, Sbhutu DB. 2020. Correlation and Path Coefficient Analysis of Yield and Yield Components of Quality Protein Maize (*Zea mays* L.) Hybrids at Jimma, Western Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 1-7. <https://doi.org/10.1155/2020/9651537>
- Amzeri A. 2019. Evaluasi Nilai Heterosis dan Heterobeliosis pada Persilangan Dialel Tanaman Jagung Madura. *Jurnal Agrosains*. 3(2): 286-295. <https://doi.org/10.21107/amzeri.2016.1>
- Arsyam A, Saptadi D, Sugiharto AN. 2024. Aksi Gen dan Daya Gabung pada Persilangan Jagung Ketan Ungu terhadap Karakter Hasil. *Agricultural Journal*. 7(2): 628-640. <https://doi.org/10.37637/ab.v7i2.1750>
- Badan Pusat Statistik. 2022. Luas Panen dan Produksi Jagung di Indonesia. Subang : Direktorat Statistik Tanaman Pangan, Hortikultura, dan Perkebunan. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjIwNCMy/luas-panen--produksi--dan-produktivitas-jagung-menurut-provinsi.html>.
- Cagnola J, Parco M, Rotili DH, Ploschuk EL, Curin F, Amas J, Luque SF, Maddonni GA, Otegui ME, Casal JJ. 2021. Artificial selection for grain yield has increased net CO<sub>2</sub> exchange of the ear leaf in maize crops. *Journal of Experimental Botany*. 72(10), 3902-3913. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab119>
- Cahyani RR. 2024. Evaluasi Karakter Agronomis Beberapa Galur Inbred Jagung (*Zea mays* L.). [Skripsi]. Padang: Fakultas Pertanian, Universitas Andalas
- Canton H. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations—FAO. In *The Europa Directory of International Organizations 2021* : Routledge.
- Devasree S, Ganesan KN, Ravikesavan R, Senthil N, Paranidharan V. 2020. Relationship between

- yield and its component traits for enhancing grain yield in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). *Electronical Journal of Plant Breeding*. 1(3):796-802.  
<https://doi.org/10.37992/2020.1103.131>
- Efendi R, Makkulawu AT, Azrai M. 2017. Daya Gabung Inbrida Jagung Toleran Cekaman Kekeringan dan Nitrogen Rendah pada Pembentukan Varietas Hibrida. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 1(2): 83-96.  
<https://doi.org/10.21082/jpntp.v1n2.2017.p83-96>
- Fidiyawati E, Cahyono T, Setyorini D. 2024. Optimasi Pertumbuhan dan Hasil Jagung (*Zea mays* L.) dengan Pupuk Ammonium Klorida pada Dataran Rendah. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*. 8(1): 17-24.  
<https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v8i1.418>
- Fadhli N, Farid M, Azrai M, Nur A, Efendi R, Priyanto SB, Nasruddin AD, Novianti F. 2023. Morphological parameters, heritability, yield component correlation, and multivariate analysis to determine secondary characters in selecting hybrid maize. *Biodiversitas*. 24: 3750-3757.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d240712>
- Gomez KA, Gomez AA. 1995. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York, 680 p.
- Handayani N, Supriyanta, Mulyani E. 2022. Seleksi hibrida jagung toleran cekaman lingkungan. *Buletin Plasma Nutfah*. 28(2): 121-129.  
<https://doi.org/10.21082/blpn.v28n1.2022.p1-12>
- Hayati PKD, Prasetyo T, Syarif A. 2014. Evaluasi hibrida dan kemampuan daya gabung beberapa galur inbred jagung di lahan masam. *Jurnal Agroteknologi*, 4(2): 39-43.  
<https://doi.org/10.24014/ja.v4i2.1136>
- Hayati PKD, Sutoyo, Prasetyo T. 2016. Penampilan Jagung Hibrida Hasil Silang-Tunggal dari Berbagai Kombinasi Persilangan Galur Inbrida. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 2(2): 165-168.  
<https://doi.org/10.13057/psnmbi/m020208>
- Hayati PKD. 2018. *Analisis rancangan dalam Pemuliaan Tanaman: Penerapan Statistika dalam Bidang Pemuliaan Tanaman*. Padang: Andalas University Press.
- Hayati PKD, Sutoyo. 2022. *Penuntun Praktikum Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman*. Padang. Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Andalas.
- Hutauruk JN, Sugiharto AN. 2017. Uji Daya Hasil Pendahuluan 9 Galur Jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. 5(12): 2070 - 2078.  
<https://protan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/protan/article/view/607>
- Kementerian Pertanian. 2022. Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2021. Jakarta: Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Tanaman Pangan.
- Kementerian Pertanian. 2024. Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2023. Jakarta: Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Tanaman Pangan.
- Krisnawati A, Adie MM. 2016. Relationship between morphological component with seed yield characters of soybean. *Bul Palawija*. 14: 49-54.  
<https://doi.org/10.21082/bulpa.v14n2.2016.p49-54>
- Mishra DK, Singh B, Chakraborty M, Verma N, Surin SS, Mishra SK. 2024. Combining Ability and Heterosis in Maize (*Zea mays* L.) Inbred Lines. *Journal of Scientific Research and Reports*. 30(6): 943-954.  
<https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i62112>
- Mustakim, Samuddin S, Maemunah. 2019. Genetic diversity, heritability and correlation between local cultivars of upland rice. *Agroland Agric Sci J*. 6 (1): 20-26. <https://doi.org/10.22487/agroland.v6i1.7>.
- Pandey Y, Vyas RP, Kumar J, Singh L, Singh HC, Yadav PC. 2017. Heritability, Correlation and Path coefficient analysis for determining inter-relationships among grain yield and related characters in maize (*Zea mays* L.). *Internat. J. of Pure Appl. Biosci*. 5(2): 595-603.  
<https://doi.org/10.18782/2320-7051.2921>
- Priyanto SB, Makkulawu AT, Iriany RN. 2019. Estimasi Nilai Daya Gabung Inbrida Jagung Menggunakan Metode Line x Tester. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 3(2): 83.  
<https://doi.org/10.21082/jpntp.v3n2.2019.p83-90>
- Priyanto SB, Wicaksana N, Rachmadi M. 2021. Stabilitas Hasil Calon Varietas Jagung Hibrida Toleran Nitrogen Rendah. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*. 5(1): 44-53.  
<https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v5i1.203>
- Priyanto SB, Prayitno, OD, Efendi R. 2023. Correlation and Path Analysis Maize Hybrid Yield. *Journal of Suboptimal Lands*. 12(1): 80-87  
<https://doi.org/10.36706/JLSO.12.1.2023.629>
- Purushottam, Y., & Shanthakumar, G. 2017. General and Specific Combining Ability Studies for Ear Traits in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 6(5): 2242-2245.
- Putri LDN, Saptadi D, Waluyo B. 2022. Analisis Daya Gabung dan Aksi Gen Jagung (*Zea mays* L.)

- menggunakan Rancangan Perkawinan Line X Tester. *Journal of Applied Agricultural Sciences*. 6(2): 191-201. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v6i2.492>
- Reddy VR, Jabeen F. 2016. Narrow sense heritability, correlation and path analysis in maize (*Zea mays* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 48(2):120-126.
- Ruswandi D, Supriatna J, Makkulawu AT, Waluyo B, Marta H, Suryadi E, Ruswandi S. 2015. Determination of Combining Ability and Heterosis of Grain Yield Components for Maize Mutants Based on Line×Tester Analysis. *Asian Journal of Crop Science*. 7(1): 19-33. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2015.19.33>
- Sandesh GM, Karthikeyan A, Kavithamani D, Thangaraj K, Ganesan KN, Ravikesavan R, Senthil N. 2018. Heterosis and Combining Ability Studies for Yield and its Component Traits in Maize (*Zea mays* L.). *Electronic Journal of Plant Breeding*. 9(3): 1012-1023. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2018.00126.6>
- Setyowidianto EP, Basuki N, Damanhuri D. 2017. Daya Gabung dan Heterosis Galur Jagung (*Zea mays* L.) pada Karakter Hasil dan Komponen Hasil. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 45(2): 124-129. <https://doi.org/10.24831/jai.v45i2.11650>
- Singh D, Kumar A, Kumar R, Singh SK, Kushwaha N, Mohanty TA. 2020. Correlation and Path Coefficient Analysis for 'Yield Contributing' Traits in Quality Protein Maize (*Zea mays* L.). *Current Journal of Applied Science and Technology*. 39(25): 91-99. <https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i2530889>
- Sulastri D, Kusmiyati F, Karno D. 2020. Heterobeltiosis, dan Aksi Gen Generasi F1 Hasil Persilangan Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merrill) Varietas Devon dan Dering. *J. Agro Complex*. 4(1): 1-6. <https://doi.org/10.14710/joac.4.1.1-6>
- Supriyanta B, Pratama MS, Nabila N. 2023. Pendugaan Daya Gabung Umum dan Daya Gabung Khusus Jagung Manis dengan Persilangan Dialel Metode Griffing-1. *Vegetalika*. 12(2): 146-159. <https://doi.org/10.22146/veg.77955>



# AGROSAINSTEK

## Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian

Website jurnal : <http://agrosainstek.ubb.ac.id>

### Research Article

## Respons Tiga Varietas Kacang Hijau terhadap Aplikasi Pupuk Boron dengan Dosis Bervariasi

### *Response of Three Varieties of Green Beans to Boron Fertilizer Application with Varied Doses*

Miranti Sari Fitriani<sup>1\*</sup>, Arzita<sup>1</sup>, Nyimas Myrna Elsa Fathia<sup>1</sup>, Sosiawan Nusifera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi,  
Kampus Pinang Masak, Jln. Raya Jambi – Ma. Bulian, KM 15, Kab. Muaro Jambi, Indonesia

Received: August 21, 2023 /Received in revised : June 26, 2025/ Accepted: August 19, 2025

#### ABSTRACT

Boron is a micronutrient that plays an important role in plant growth and development. This research aims to determine the response of several varieties to the application of different doses of boron fertilizer and to obtain the best dose for each variety. The experiment was arranged in a randomized block design with a two-factor factorial pattern with two replications. The first factor is three varieties of green beans (Kutolang, Vima 2, Sampoeng) and the second is five levels of boron fertilization doses (0 kg ha<sup>-1</sup>, 1,5 kg ha<sup>-1</sup>, 3,0 kg ha<sup>-1</sup>, 4,5 kg ha<sup>-1</sup>, 6,0 kg ha<sup>-1</sup>). The variables observed are growth, yield and yield components variables. Data were analyzed using analysis of variance and Duncan's test, each at the 5% level. The optimum dose for each variety was obtained through second order (quadratic) regression analysis. The results show that there are differences in the response between the three varieties to boron fertilizer in the variable seed weight per plant. The influence of varieties can be seen independently on all variables, the influence of boron fertilizer has an independent influence on all variables except the number of primary branches. The optimum dose of boron for the kutolang variety is 2.39 kg ha<sup>-1</sup>, the Vima 2 variety is 3.36 kg ha<sup>-1</sup>, and Sampoeng, 3.19 kg ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Boron; Fertilizer; Green bean; Response; Varieties.

#### ABSTRAK

Boron merupakan salah satu unsur mikronutrien yang berperan penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penelitian ini bertujuan mengetahui respons beberapa varietas terhadap aplikasi pemupukan boron berbeda dosis serta mendapatkan dosis terbaik pada tiap-tiap varietas. Percobaan disusun dalam rancangan acak kelompok pola faktorial dua faktor dengan dua ulangan. Faktor pertama adalah tiga varietas kacang hijau (Kutolang, Vima 2, Sampoeng) dan yang kedua adalah lima taraf dosis pemupukan boron (0 kg ha<sup>-1</sup>, 1,5 kg ha<sup>-1</sup>, 3,0 kg ha<sup>-1</sup>, 4,5 kg ha<sup>-1</sup>, 6,0 kg ha<sup>-1</sup>). Variabel yang diamati adalah variabel pertumbuhan, hasil dan komponen hasil. Data dianalisis dengan analisis varians dan uji Duncan, masing-masing pada taraf 5%. Dosis optimum bagi tiap-tiap varietas diperoleh melalui analisis regresi berordo dua (kuadratik). Hasil memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan respons antara tiga varietas terhadap pupuk boron pada variabel bobot biji per tanaman. Pengaruh varietas secara mandiri terlihat pada semua variabel, pengaruh pupuk boron berpengaruh secara mandiri pada semua variabel kecuali jumlah cabang primer. Dosis optimum boron untuk varietas kutolang adalah 2,39 kg ha<sup>-1</sup> varietas Vima 2 adalah 3,36 kg ha<sup>-1</sup>, dan Sampoeng, 3,19 kg ha<sup>-1</sup>.

**Kata kunci:** Boron; Kacang hijau; Pupuk; Respons; Varietas.

\*Korespondensi Penulis.

E-mail: [miranti\\_sari@unja.ac.id](mailto:miranti_sari@unja.ac.id) (MS Fitriani)

DOI: <https://doi.org/10.33019/5201xp87>

## 1. Pendahuluan

Kacang hijau merupakan tanaman kacang-kacangan yang berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan protein nabati di berbagai belahan dunia. Walaupun tidak sepopuler kedelai, tingkat konsumsi kacang hijau cukup tinggi dan menunjukkan adanya peningkatan setiap tahunnya. Konsumsi kacang hijau pada tahun 2023 sebanyak 245.000 ton dan sebanyak 172.000 ton dipenuhi dari impor (Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian, 2023). Kacang hijau banyak disukai karena kandungan lemaknya yang relatif rendah dibandingkan dengan jenis kacang-kacangan lainnya, selain itu juga mudah dicerna dan mengandung vitamin B1 yang dapat mencegah penyakit beri-beri (Poehlman, 1991; Sehrish *et al.*, 2022)

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan semakin beragamnya jenis makanan hasil olahan kacang hijau, tingkat konsumsi dan kebutuhan kacang hijau pun meningkat, namun peningkatannya belum diimbangi dengan peningkatan produksi, maka diperlukan berbagai upaya. Secara umum, peningkatan produksi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu ekstensifikasi (peningkatan produksi melalui perluasan areal tanam) dan intensifikasi (peningkatan produksi tanaman melalui perbaikan teknologi budidaya dengan tujuan meningkatkan produktivitas tanaman).

Kesuburan tanah merupakan salah satu faktor pembatas penting bagi produktivitas tanaman. Kesuburan fisika, kimia, dan biologi tanah merupakan aspek yang menentukan kualitas tanah sebagai daya dukung bagi pertumbuhan yang optimal (Patel *et al.*, 2022). Provinsi Jambi merupakan wilayah yang mayoritas lahannya berordo ultisol, suatu ordo tanah yang memiliki tingkat kesuburan yang rendah baik kesuburan fisika, kimia, maupun biologi, yaitu sekitar 2.726.633 ha atau 53,46 % dari luas wilayah (Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Jambi, 2008). Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas tanaman diperlukan berbagai masukan (input) agar kesuburan tanah dapat diperbaiki.

Pemupukan merupakan salah satu upaya pemberian masukan (input) pada tanaman. Pada dasarnya pemupukan dilakukan untuk mencukupi kebutuhan hara tanaman baik itu hara makro maupun mikro. Dalam paket budidaya standar pada tanaman kacang hijau, umumnya pemupukan yang diberikan hanyalah berupa unsur hara makro saja. Padahal, ketidak hadirannya atau kekurangan unsur mikro juga akan berdampak pada penurunan hasil dan kualitas hasil. Salah satu unsur hara mikro yang

cukup penting bagi pertumbuhan tanaman adalah Boron (Mukherjee dan Bordolui, 2022).

Boron merupakan salah satu hara mikro yang harus tersedia bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang normal. Boron memiliki peran penting dalam proses pembungaan dan pembuahan, meningkatkan hasil dan kualitas tanaman (Kumar, *et al.*, 2018; Thapa *et al.*, 2021). Sayangnya, boron sejauh ini dikenal sebagai salah satu unsur yang umumnya jarang dijumpai dalam jumlah yang cukup di tanah (Zahid *et al.*, 2022). Bahkan di beberapa negara seperti China, India, Nepal, dan Bangladesh, defisiensi boron dalam tanah merupakan penyebab utama reduksi hasil tanaman (Thakur *et al.*, 2023). Secara umum, defisiensi unsur boron terlihat nyata pada tanah-tanah bertekstur ringan, dan pH tinggi, dan di areal bercurah hujan tinggi (Thakur *et al.*, 2023). Telah dilaporkan bahwa defisiensi boron pada tanaman legum secara drastis menurunkan nodulasi, pertumbuhan dan hasil akibat kurangnya suplai asimilat ke bakteri nodul akar dan tidak cukupnya hasil konversi dari pati ke gula-gula terlarut (Zahid *et al.*, 2022). Selain itu, pada kondisi defisiensi boron, pertumbuhan awal bibit terganggu dan persentase kecambah abnormal cukup besar (Qiaohong *et al.* 2016; Cheng *et al.*, 2021).

Besarnya respons terhadap pemupukan boron sangat bervariasi di antara berbagai jenis tanaman, varietas dalam tanaman dan jenis tanah yang berbeda untuk tanaman yang sama. (Kumar *et al.*, 2018). Hasil-hasil penelitian terhadap efek pemupukan boron bervariasi bergantung pada status hara boron yang ada pada areal yang digunakan. Pada tanaman legum, pemupukan boron meningkatkan pembentukan polong dan hasil biji. Tania *et al.* (2019) dan Quddus *et al.* (2023) melaporkan bahwa pemupukan boron dengan dosis berturut turut 1 kg ha<sup>-1</sup> dan 1,5 kgha<sup>-1</sup> memberikan hasil tertinggi pada tanaman kacang hijau di Bangladesh. Sejalan dengan itu, Maqbool *et al.*, (2018) juga melaporkan aplikasi boron pada dosis 4 kg ha<sup>-1</sup> meningkatkan hasil biji dan kadar protein biji kacang hijau pada kondisi yang tercekam kekurangan air.

Selain faktor teknik budidaya, faktor genetik juga merupakan penentu bagi daya hasil karena fenotipe suatu tanaman bergantung pada genotipe, lingkungan dan interaksi dari keduanya. Jika tidak terdapat interaksi antara genotipe dengan lingkungan, maka perbedaan yang disebabkan oleh genotipe pada berbagai lingkungan akan konstan (Xie dan Mosjidis, 1996). Penelitian sebelumnya memperoleh hasil bahwa pemberian kieserit dosis 50 kg.ha<sup>-1</sup> dapat meningkatkan hasil berbagai varietas kacang hijau. Hasil terbaik diperlihatkan oleh varietas Vima-5 dengan jumlah polong dan

hasil per tanaman tertinggi, dan bobot biji per tanaman terendah diperoleh dari varietas Vimil-1 dengan bobot 100 biji juga lebih rendah dari varietas lainnya (Buhaira et al, 2024). Oleh karena itu, adanya interaksi ini menyebabkan penampilan yang berbeda-beda dari suatu genotipe pada lingkungan yang berbeda. Pemupukan pada dasarnya merupakan salah satu bentuk lingkungan bagi individu tanaman, adanya interaksi genotipe dengan lingkungan dapat diartikan sebagai adanya perbedaan respons antar varietas yang berbeda terhadap aplikasi pemupukan boron. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dosis pemupukan boron yang terbaik untuk memperoleh pertumbuhan dan hasil yang optimal pada berbagai varietas kacang hijau di Provinsi Jambi.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian ini telah dilaksanakan di *Teaching and Research Farm* milik Fakultas Pertanian Universitas Jambi yang berlokasi di Desa Mendalo Indah, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi. Lokasi penelitian terletak pada ketinggian kurang lebih 35 m dpl dengan ordo tanah ultisols. Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan dari April sampai dengan September 2021.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang disusun dalam rancangan acak kelompok pola faktorial yang diulang sebanyak dua kali. Faktor pertama adalah Kultivar kacang hijau yang terdiri atas tiga varietas yaitu:

$v_1$  = 'Kutilang'

$v_2$  = 'Vima 2'

$v_3$  = 'Sampoeng'

Faktor kedua adalah aplikasi pemupukan boron yang terdiri atas 5 taraf dosis yaitu:

$b_0$  = 0 kg ha<sup>-1</sup>

$b_1$  = 1,5 kg ha<sup>-1</sup>

$b_2$  = 3,0 kg ha<sup>-1</sup>

$b_3$  = 4,5 kg ha<sup>-1</sup>

$b_4$  = 6,0 kg ha<sup>-1</sup>

Terdapat 60 unit percobaan. Ukuran petak percobaan adalah 2,4 x 1 m, jarak antar petakan dalam kelompok 50 cm, jarak antar ulangan 100 cm dengan jarak tanam 40 x 20 cm, sehingga terdapat 30 tanaman per petak. Pada setiap petak percobaan diambil 5 tanaman sampel secara acak

Analisis data variabel pengamatan dianalisis dengan analisis ragam univariat. Perbandingan rata-rata dilakukan dengan Uji Duncan (DNMRT) pada taraf  $\alpha_{0,05}$  (Steel dan Torrie, 1980). Dosis optimum aplikasi boron diperoleh melalui analisis regresi ordo dua (kuadrat).

## 3. Hasil

Hasil analisis varians memperlihatkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara varietas dan pupuk boron berbeda dosis pada variable bobot biji per tanaman. Sedangkan pada variable lainnya yaitu jumlah cabang primer, jumlah polong berisi per tanaman, jumlah total polong per tanaman, dan bobot 100 biji, terlihat adanya perbedaan nilai di antara varietas yang dievaluasi. Pengaruh boron berbeda dosis secara mandiri hanya terlihat pada jumlah polong berisi per tanaman, jumlah total polong per tanaman, dan bobot 100 biji. Perbandingan nilai rata-rata berdasarkan analisis varians yang dilakukan pada beberapa variable diketahui berpengaruh tersaji pada Tabel 1. Tabel 1 memperlihatkan bahwa varietas Sampoeng memiliki cabang primer lebih banyak dibandingkan dengan dua varietas lainnya, namun antara kultivar Vima 2 dan Kultivar Sampoeng tidak terlihat adanya perbedaan jumlah cabang primer. Perbedaan karakteristik genetik dari tiga varietas yang dievaluasi terindikasi salah satunya melalui karakter jumlah cabang primer.

Pengaruh boron dan kultivar secara mandiri terlihat pada variable jumlah total polong per tanaman. Hasil perbandingan nilai rata-rata antar kultivar dan antar dosis boron tersaji pada Tabel 2 yang memperlihatkan bahwa variasi karakter jumlah total polong pertanaman antar varietas sejalan dengan karakter jumlah cabang primer per tanaman. Varietas Sampoeng memiliki jumlah total polong lebih banyak dibandingkan varietas Kutilang dan Vima 2. Nampaknya, perbedaan karakteristik genetik antar tiga varietas kacang hijau tersebut juga terindikasi melalui karakter jumlah total polong per tanaman. Tabel 2 juga menjelaskan bahwa aplikasi boron berbeda dosis memperlihatkan efek yang bervariasi pada jumlah polong total per tanaman. Pemberian boron dengan dosis 1,5 kg ha<sup>-1</sup> tampak meningkatkan jumlah polong total per tanaman. Peningkatan dosis boron dari 1,5 kg ha<sup>-1</sup> ke 3 kg ha<sup>-1</sup> tidak mampu meningkatkan lagi jumlah polong per tanaman. Bahkan penambahan dosis selanjutnya justru menyebabkan turunnya jumlah polong per tanaman.

Variasi respons yang sama dengan jumlah total polong per tanaman terlihat pada karakter jumlah polong berisi per tanaman. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat polong hampa pada populasi pertanaman dalam percobaan ini. Rata-rata jumlah polong berisi tersaji pada Tabel 3.

Pengaruh boron pada tanaman kacang hijau juga terindikasi pada variable bobot 100. Bobot 100 biji tersaji pada Tabel 4. Aplikasi boron mampu meningkatkan ukuran biji tanaman kacang hijau.

Namun demikian efek boron ini baru terlihat ketika dosis yang diberikan adalah 3 kg ha<sup>-1</sup>. Penambahan dosis lebih lanjut justru menurunkan ukuran biji sebagaimana terlihat ketika dosis dinaikkan menjadi 6 kg ha<sup>-1</sup>. Perbedaan varietas dari tiga varietas yang dievaluasi juga terlihat pada ukuran bijinya. Varietas Kutilang memperlihatkan ukuran biji yang paling besar, diikuti oleh varietas Vima 2, dan yang paling kecil adalah varietas Sampoeng.

Hasil tanaman adalah variabel yang sangat penting yang menjadi ukuran respons tanaman terhadap suatu perlakuan. Pada penelitian ini, pengaruh interaksi antara varietas dan pupuk boron berbeda dosis hanya terlihat pada variable bobot biji per tanaman. Hasil analisis efek interaksi terhadap variable bobot biji per tanaman tersaji pada Tabel 5.

Tabel 1. Jumlah cabang primer per tanaman berdasarkan jenis varietas.

Varietas	Dosis Boron (Kg ha <sup>-1</sup> )					Rata-rata
	0	1,5	3	4,5	6	
'Kutilang'	9,7	8,2	10	7,8	8	8,74 b
'Vima 2'	7,7	7,9	8	7,8	7	7,68 b
'Sampoeng'	14,4	13,7	13,3	13,1	12,5	13,4 a
Rata-rata	10,6	9,93	10,43	9,57	9,17	9,94

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMR pada 5%.

Tabel 2. Jumlah total polong per tanaman menurut varietas dan dosis boron.

Varietas	Dosis Boron (Kg ha <sup>-1</sup> )					Rata-rata
	0	1,5	3	4,5	6	
'Kutilang'	18,8	30,2	22	19,6	17,3	21,58 b
'Vima 2'	20,5	25,5	24	24	18,3	22,46 b
'Sampoeng'	33,6	37,2	34,6	28,8	38,9	34,62 a
Rata-rata	24,3 b	30,97 a	26,87 ab	24,13 b	24,83 b	26,22

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMR pada 5%.

Tabel 3. Jumlah polong berisi per tanaman menurut varietas dan dosis boron.

Varietas	Dosis Boron (Kg <sup>-1</sup> )					Rata-rata
	0	1,5	3	4,5	6	
'Kutilang'	18,8	30,2	22	19,6	17,3	21,58 b
'Vima 2'	20,5	25,5	24	24	18,3	22,46 b
'Sampoeng'	33,6	37,2	34,6	28,8	38,9	34,62 a
Rata-rata	24,3 b	30,97 a	26,87 ab	24,13 b	24,83 b	26,22

Keterangan: angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMR pada taraf 5%.

Tabel 4. Bobot 100 biji kacang hijau menurut varietas dan dosis boron (g).

Varietas	Dosis Boron (Kg ha <sup>-1</sup> )					Rata-rata
	0	1,5	3	4,5	6	
'Kutilang'	8,06	8,47	8,86	9,5	8,29	8,63 a
'Vima 2'	6,885	6,92	7,94	8,20	5,74	7,13 b
'Sampoeng'	3,52	3,72	3,86	4,09	3,91	3,82 c
Rata-rata	6,16 c	6,37 bc	6,88 ab	7,26 a	5,98 c	6,63

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMR pada 5%.

Tabel 5 menjelaskan bahwa terdapat perbedaan pengaruh aplikasi dosis boron pada tiap-tiap varietas kacang hijau. Pada varietas Kutilang, respons tanaman terhadap aplikasi boron dengan dosis meningkat memperlihatkan trend kuadratik. Sedangkan pada varietas Vima 2, aplikasi boron dengan dosis meningkat tidak memperlihatkan pengaruh pada peningkatan bobot biji. Berbeda halnya dengan Kutilang dan Vima 2, varietas Sampoeng terlihat begitu responsive terhadap peningkatan dosis pupuk boron.

Jika dibandingkan di antara varietas kacang hijau, varietas Kutilang berdaya hasil lebih tinggi dibandingkan dua varietas lainnya apabila tidak diberikan boron, demikian pula jika diberikan boron dengan dosis 1,5 kg ha<sup>-1</sup> dan 4,5 kg ha<sup>-1</sup>.

Pemberian pupuk boron dengan dosis 3 kg ha<sup>-1</sup>, varietas Kutilang dan Sampoeng memperlihatkan bobot biji yang sama, lebih tinggi dibandingkan varietas Vima 2. Respons yang berbeda diperlihatkan jika tanaman kacang hijau diberikan boron dengan dosis 6 kg ha<sup>-1</sup> justru varietas Vima 2

memperlihatkan kan daya hasil yang lebih tinggi dibandingkan kedua varietas lainnya. Meskipun ketiga varietas tersebut memperlihatkan pola respons yang agak bervariasi, analisis regresi membenarkan bahwa pola respons ketiga varietas memperlihatkan trend kuadratik. Hasil analisis respons varietas Kutilang menghasilkan model persamaan regresi sebagai berikut.

Bobot biji per tanaman =  $127,46 + 26,15 X - 5,471 X^2$ . Dosis optimum boron berdasarkan model persamaan tersebut adalah 2,39 Kg ha<sup>-1</sup> dengan hasil maksimum 158, 71 g. Analisis pada varietas Vima 2 menghasilkan hubungan dosis boron dengan bobot biji per tanaman mengikuti model berikut. Bobot biji per tanaman =  $111,55 + 7,12 X - 1,058 X^2$ . Dosis optimum boron yang diperoleh dari model persamaan tersebut adalah 3,36 kg ha<sup>-1</sup> dengan hasil maksimum 123,53 g biji per tanaman. Pada varietas Sampoeng, model yang dihasilkan adalah Bobot biji per tanaman =  $73,5 + 39,38 X - 6,18 X^2$ . Dosis optimum boron yang diperoleh adalah 3,19 kg tanaman.

Tabel 5. Pengaruh interaksi varietas x dosis boron pada bobot biji per tanaman (g)

Varietas	Dosis Boron (Kg ha <sup>-1</sup> )									
	0		1,5		3		4,5		6	
'Kutilang'	130,385	a	150,55	a	150,6	a	146,29	a	82,46	b
	AB		A		A		A		B	
'Vima 2'	112,4	b	118,82	b	121,375	b	125,865	b	114,66	a
	A		A		A		A		A	
'Sampoeng'	78,88	b	100,985	b	157,025	a	115,23	b	88,855	b
	D		BC		A		B		CD	

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DNMRT pada taraf alpha 5%, Huruf kecil dibaca vertikal sedangkan huruf besar dibaca horizontal,

#### 4. Pembahasan

Secara umum dapat dikatakan bahwa aplikasi boron pada tanaman kacang hijau dengan varietas berbeda memberikan pengaruh pada hasil dan komponen hasil. Hal ini disebabkan Boron merupakan mikro-nutrien esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang normal. Boron memegang peran penting dalam proses pembungaan dan pembuahan pada tanaman sehingga dapat meningkatkan hasil dan kualitas produksi tanaman (Gonzales-Fontes dan Fujiwara, 2020). Hasil yang sama telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti yang meneliti pengaruh boron pada kacang hijau di berbagai kondisi lingkungan dan ekosistem yang bervariasi (Maqbool, 2018; Tania et al., 2019; Quddus et al. 2023).

Pengaruh positif aplikasi boron akan terlihat sangat nyata terutama sekali pada wilayah-wilayah yang defisiensi boron. Pada tanaman legume umumnya dan dalam hal ini kacang hijau, defisiensi boron diketahui dapat menurunkan secara drastis nodulasi, pertumbuhan dan hasil legume akibat tidak cukupnya suplai karbohidrat bagi bakteri di nodula akar dan konversi pati menjadi gula terlarut yang kurang mencukupi (Kumar *et al.*, 2018; Thapa et al., 2021)).

Sebagai senyawa mikronutrien, ketersediaan boron hanya diperlukan dalam jumlah yang sedikit. Kelebihan boron boleh jadi dapat menurunkan hasil tanaman. Boron yang berlebih dapat menyebabkan toksisitas pada tanaman, menyebabkan nekrosis pada daun dan menghambat fotosintesis dengan cara mereduksi klorofil dan memicu cekaman oksidatif (Christos dan Antonopoulou, 2020; Milka, 2022). Hal tersebut terverifikasi pada penelitian ini

dimana pola respons menunjukkan trend kuadratik. Dengan kata lain, aplikasi boron dengan dosis meningkat sampai taraf tertentu dapat meningkatkan hasil tanaman untuk selanjutnya hasil akan menurun jika dosis terus ditingkatkan.

Hasil penelitian ini memperlihatkan adanya interaksi antara varietas dan dosis pemupukan boron pada bobot biji per tanaman. Dengan kata lain, respons tanaman kacang hijau terhadap aplikasi boron dengan dosis meningkat berbeda beda bergantung pada varietasnya. Masing-masing varietas menunjukkan sensitivitas yang berbeda terhadap kehadiran unsur boron. Hal ini ditunjukkan dengan besarnya dosis optimum dan hasil maksimum pada tiap-tiap varietas kacang hijau. Rerkasem (2002) dan Rashid *et al.* (2002) melaporkan adanya variasi genotipik pada efisiensi pemanfaatan boron. Tania *et al.* (2019) dan Quddus *et al.* (2023) melaporkan informasi yang sama bahwa terdapat perbedaan pola respons antar varietas terhadap aplikasi boron.

Genotipe tanaman yang berbeda memperlihatkan kemampuan dalam menyerap dan memanfaatkan boron bagi pertumbuhan. Rashid *et al.* (2002) lebih jauh menjelaskan bahwa beberapa genotype memiliki morfologi akar yang berbeda sehingga sistem perakaran yang lebih efisien dalam mengabsorpsi boron dari tanah. Segera setelah diserap, boron ditransportasikan ke bagian-bagian lain dalam tanaman. Variasi genotipik mempengaruhi efisiensi dari proses transport ini. Wang *et al.* (2015) menambahkan bahwa genotype berbeda juga akan berbeda dalam seberapa efektif boron digunakan dalam jaringan tanaman. Hal ini ditentukan oleh kemampuan tanaman dalam memasukkan boron ke dalam dinding sel dan membrane sel dimana ini berkaitan dengan fungsi dan struktur sel itu sendiri. Selain itu, perbedaan antar genotype juga disebabkan perbedaan toleransi terhadap defisiensi boron. Beberapa genotype lebih toleran terhadap kadar boron yang rendah disebabkan kemampuannya mempertahankan pertumbuhan dan reproduksi pada kondisi boron terbatas. Kemampuan ini berkaitan dengan daur ulang boron dalam tanaman dan kemampuan memobilisasi boron dari jaringan yang lebih tua ke jaringan yang baru tumbuh.

Pada sisi lain, dosis optimum juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan penanaman. Hasil-hasil penelitian yang dilakukan dengan kondisi lingkungan yang berbeda menunjukkan dosis optimum yang berbeda. Tania *et al.* (2019) melaporkan dosis 1 kg ha<sup>-1</sup> sebagai dosis terbaik bagi tanaman kacang hijau. Maqbool *et al.*, (2018) mendapatkan dosis optimum boron pada kondisi cekaman air sebesar 4 kg ha<sup>-1</sup> sedangkan

penambahan dosis menjadi 6 kg ha<sup>-1</sup> menyebabkan hasil justru menurun.

## 5. Kesimpulan

Varietas kacang hijau memperlihatkan pola respons yang berbeda terhadap aplikasi pemupukan boron dengan dosis meningkat pada variable bobot biji per tanaman (hasil). Pada variabel lainnya varietas tidak memperlihatkan perbedaan respons. Pengaruh aplikasi boron berbeda dosis secara mandiri berpengaruh pada jumlah total polong per tanaman, jumlah polong berisi per tanaman, dan bobot 100 biji, sedangkan pengaruh varietas terlihat pada semua variabel selain bobot biji per tanaman. Dosis optimum aplikasi pemupukan boron untuk varietas Kutilang adalah 2,39 kg ha<sup>-1</sup> dengan hasil maksimum 158,71 g biji per tanaman, varietas Vima 2 adalah 3,36 kg ha<sup>-1</sup> dengan hasil maksimum 123,53 g dan varietas Sampoeng adalah 3,19 kg ha<sup>-1</sup> dengan hasil maksimum 137,23 g.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Rektor Universitas Jambi yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui DIPA Universitas Jambi.

## 7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

## 8. Daftar Pustaka

- Buhaira, Nusifera S, Salim H. 2024. Hasil dan Komponen Hasil Beberapa Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L. Wilczek) yang Diberi Pemupukan Kieserit. *AGROSAINSTEK: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, 8(2), 69-75.
- Brdar-Jokanović M. 2020. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, doi: 10.3390/IJMS21041424.
- Chatzissavvidis C, Antonopoulou C. 2020. Boron toxicity in fruit crops: Agronomic and physiological implications. doi: 10.1016/B978-0-12-818732-6.00016-2
- Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Jambi. 2008. Laporan Tahunan Dinas Pertanian Propinsi Jambi.
- González-Fontes A, Fujiwara T. *Advances in Plant*

- Boron. 2020. International Journal of Molecular Sciences. 21(11):4107. <https://doi.org/10.3390/ijms21114107>
- Kumar S, Phogat M, Lal M. 2018. Response of Pulse and Oilseed Crops to Boron Application: A Review. *Int.J. Curr. Microbiol. App. Sci* (2018) 7(3): 669-675.
- Li Q, Liu YZ, Pan Z, Xie S, Peng SA. 2016. Boron deficiency alters root growth and development and interacts with auxin metabolism by influencing the expression of auxin synthesis and transport genes. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, doi: 10.1080/13102818.2016.1166985
- Maqbool R, Ali W, Nadeem MA, Abbas T. 2018. Boron Application in Clay-Loam Soil for Improved Growth, Yield and Protein Contents of Mungbean in Water-Stresses. *Sains Malaysiana* 47(1) (2018): 51-58
- Mukherjee A, & Bordolui SK. 2022. Eminent Roles of Micro-nutrients in Quality Seed Production. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(23), 324-342. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i2331596>
- Patel A, Patel R, Maitrey B. 2022. A review - importance of physico-chemical properties in soil quality. *Vidya - a journal of gujarat university*, 1(2), 51-54. <https://doi.org/10.47413/vidya.v1i2.60>
- Poehlman JM. 1991. *The mungbean*. West Press 5500 Central Avenue. Boulden, Colorado
- Quddus MA., Rashid MR, Siddiky MA, Islam M, Rahman M. 2023. Response of Mungbean Varieties to Boron In Calcareous Soils of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, Doi: 10.3329/bjar.v47i1.64884
- Rashid A, Muhammad S, Rafique E. 2002. Genotypic Variation in Boron Uptake and Utilization by Rice and Wheat. In: Goldbach, H.E., Brown, P.H., Rerkasem, B., Thellier, M., Wimmer, M.A., Bell, R.W. (eds) *Boron in Plant and Animal Nutrition*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0607-2\\_29](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0607-2_29)
- Rerkasem B. 2002. Boron Nutrition of Crops and Genotypic Variation in Boron Efficiency. In: Goldbach, H.E., Brown, P.H., Rerkasem, B., Thellier, M., Wimmer, M.A., Bell, R.W. (eds) *Boron in Plant and Animal Nutrition*. Springer, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0607-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0607-2_25)
- Sekretariat Jenderal - Kementerian Pertanian. 2023. *Statistik Komsumsi pangan*. Pusat Data Dan Sistem Informasi Pertanian
- Tania SA, Jamil Uddin FM, Sarkar MAR. 2019. Responses of selected mungbean (*Vigna radiata* L.) varieties to boron fertilization. *Fundamental and Applied Agri-culture*, Vol. 4(1), pp. 655-660: 2019
- Thakur S, Sinha A, Ghosh Bag A. 2023. Boron- A Critical Element for Fruit Nutrition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 54(21), 2899-2914. <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2252878>
- Thapa S, Bhandari A, Ghimire R, Xue Q, Kidwaro F, Ghatrehsamani S, Maharjan B, Goodwin M. 2021. Managing Micronutrients for Improving Soil Fertility, Health, and Soybean Yield. *Sustainability*; 13(21):11766. <https://doi.org/10.3390/su132111766>
- Xie, C. and J. A. Mosjidis. 1996. Selection of stable cultivar using phenotypic variances. *Crop. Sci*. 36: 572 - 576
- Wang N, Yang C, Pan Z, Liu Y and Peng S (2015) Boron deficiency in woody plants: various responses and tolerance mechanisms. *Front. Plant Sci*. 6:916. doi: 10.3389/fpls.2015.00916
- Zafar SH, Umair M, Akhtar M. 2022. Nutritional evaluation, proximate and chemical composition of mungbean varieties/cultivars pertaining to food quality characterization. *Food chemistry advances*, doi: 10.1016/j.focha.2022.100160
- Zahid, Hassan, Tarar, Waqas, Ashraf, Sabina, Asghar. (2022). A review on soil fertility and soybean yield improvement by managing micronutrients. *Journal of global innovations in agricultural sciences*. Doi: 10.22194/jgias/10.1019
- Zhang C, He M, Wang S, Chu L., Wang C, Yang N, Ding G, Cai H, Shi L, Xu F. 2021. Boron deficiency-induced root growth inhibition is mediated by brassinosteroid signalling regulation in Arabidopsis. *Plant Journal*, Doi: 10.1111/TPJ.15311.

**Research Article****Morphophysiological and Vanillin Quality Evaluation of Vanilla Plants (*Vanilla planifolia* Andr.) under Water Stress****Yovi Avianto***Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Institut Pertanian STIPER  
Jl. Nangka II, Krodan, Maguwoharjo, Depok, Sleman 55282*

Received: December 07, 2024 /Received in revised : October 26, 2025/ Accepted: October 29, 2025

**ABSTRACT**

*Vanilla (Vanilla planifolia Andr.) is a globally popular flavoring cultivated in tropical regions such as Madagascar, Indonesia, and Mexico. Due to global climate change, particularly the El Niño phenomenon, droughts have become more frequent, impacting water availability and quality for vanilla plants. This study addresses these challenges by examining the plant's responses to drought at a vanilla plantation in Yogyakarta, Indonesia, over two years. A completely randomized design was used, testing five water stress levels (100%, 50%, 25%, 150%, and 200% field capacity). Variables measured included relative water content, physiological activity, chlorophyll, proline content, leaf total acid, photosynthesis efficiency, and morphological traits. Data analysis was performed using ANOVA and Tukey's HSD test. Vanilla plants exhibited significant physiological and morphological changes in response to varying water conditions. Severe drought (25% water stress) led to reduced relative water content, chlorophyll levels, and CO<sub>2</sub> assimilation, alongside increased proline accumulation. Moderate drought (50% water stress) had a lesser impact. Under field capacity (100%) and excess water (150% and 200%), plants maintained higher relative water content and chlorophyll levels, efficient CO<sub>2</sub> assimilation, and optimal morphological traits. The presence of proline under excess water suggests a dual stress response to drought and waterlogging. Beans from severely drought-stressed plants showed a significant decrease in vanillin content and weight. Identifying and developing vanilla varieties with greater tolerance to water scarcity is essential to ensure sustainable production in the face of climate change.*

**Keywords:** CAM; Drought stress memory; Epiphyte; Quantum yield; Vanillin.**1. Introduction**

Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.) is one of the most popular flavoring agents in the world. It is known for its distinct taste and aroma in food products. As a key export commodity, the largest vanilla producers are Madagascar, Indonesia, India, and Mexico. Their products sold to major markets in Europe and America (Tran et al., 2024). This plant is an epiphytic orchid that climbs on trees and shrubs. Its natural habitat is in tropical regions with humid and warm forests (Havkin-Frenkel & Belanger, 2018). The part of the plant utilized is the fruit, which is fermented and dried. The fruit is then extracted to produce vanillin, a compound with high commercial value (Baqueiro-Peña & Guerrero-Beltrán, 2017).

Droughts are becoming increasingly frequent around the world due to global climate change, which affects rainfall patterns, temperature, and hydrological cycles (Naumann et al., 2018). The El Niño phenomenon has worsened this situation. According to Supari et al. (2018) El Niño causes disruptions in rainfall distribution in tropical regions. In tropical vanilla-producing countries such as Madagascar, Indonesia, and India, prolonged droughts lead to a reduction in groundwater availability. This situation is further aggravated by the fact that proper irrigation practices are not widely applied in vanilla cultivation (Adiputra, 2018). Meanwhile, water is crucial for the growth of vanilla plants. As an epiphyte that thrives in humid environments, vanilla is highly susceptible to the impacts of

\*Korespondensi Penulis.

E-mail: [yovi@instiperjogja.ac.id](mailto:yovi@instiperjogja.ac.id) (Y Avianto)DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v9i2.882>

drought (De Lima & Moreira, 2022). This is because vanilla plants contain high amounts of water in their tissues (Martínez-Santos et al., 2021). Such disturbances pose a significant risk to both the yield and quality of vanilla beans. Over time, this can disrupt the global supply chain and affect the livelihoods of farmers in vanilla-producing countries.

Drought exerts significant physiological stress on vanilla plants. Reduced water availability disrupts water transport through the xylem (Botomanga et al., 2024). Moreover, low turgor pressure leads to stomatal closure as an adaptive mechanism to reduce transpiration (Martínez-Santos et al., 2021). However, this also restricts gas exchange and CO<sub>2</sub> uptake, resulting in a decline in transpiration and photosynthesis. It directly impacts biomass accumulation. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.) is an epiphytic orchid that climbs on trees and shrubs and performs Crassulacean Acid Metabolism (CAM) photosynthesis, allowing it to fix CO<sub>2</sub> primarily at night to reduce water loss under dry conditions. During drought stress, CAM plants such as vanilla struggle to efficiently utilize absorbed light energy. This leads to an increased production of reactive oxygen species (ROS) (Barreda-Castillo et al., 2023). These free radicals cause damage to cell membranes through lipid peroxidation and interfere with protein synthesis by damaging mRNA molecules (You & Chan, 2015). The increased activity of lipoxygenase enzymes during drought accelerates the oxidation of certain unsaturated fatty acids in cell membranes. To counteract this, vanilla plants enhance the activity of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD) (Guo et al., 2018). However, if drought stress persists or intensifies, the plant's biochemical protective capacity may be exceeded, leading to permanent cellular damage.

Biochemically, vanilla plants respond to drought by increasing the production of osmoprotectants such as proline, soluble sugars, and polyamines (González-Arno et al., 2018). Barreda-Castillo et al. (2023) stated that osmoprotectants, especially proline, help maintain osmotic pressure within cells. Proline assists plants in surviving drought by reducing osmotic pressure in plant tissues, thus enabling leaves to maintain their structure despite significant water loss. Additionally, proline serves as a nitrogen and carbon reserve for plant cells (Ghosh et al., 2022). This compound protects cell membranes and proteins from drought-induced damage and helps maintain cellular energy balance by replenishing NADP<sup>+</sup> supplies.

Morphologically, drought causes several changes in vanilla plants such as leaf drop, reduced

leaf size, and stunted growth (Buss et al., 2024). Under drought conditions, the roots of the plants spread further to seek additional water sources (Barreda-Castillo et al., 2023). However, this is often insufficient to address severe water shortages (Botomanga et al., 2024). Consequently, vanilla beans produced under drought conditions tend to be smaller, and their quality deteriorates. This reduction in quality affects the production of vanillin. Previous studies have mainly focused on in vitro drought simulations (Barreda-Castillo et al., 2023; Martínez-Santos et al., 2021), while field-based evaluations of physiological and biochemical responses under natural water regimes remain limited. This study distinguishes itself by combining morphophysiological measurements with vanillin quality assessment in a two-year field experiment in Indonesia. This study aims to specifically examine the impact of drought on vanilla plants to support adaptation efforts in Indonesia.

## 2. Materials and Methods

### *Time and Location*

The study was conducted over two years from January 2022 to February 2024 at a vanilla plantation in Dusun Sendat, Gerbosari, Samigaluh, Yogyakarta (7° 39' 50" S & 110° 10' 36" E), at an altitude of 542 meters above sea level. The research took place in a greenhouse at the center for the management of herbal simplicia, located on a gently sloping, terraced land. The average temperature inside the greenhouse was 28.3 °C, with an average relative humidity of 68% (Primary Data).

### *Research Preparations*

The study was designed using a completely randomized design (CRD) with a single factor of water stress levels and ten replications per experimental unit. Vanilla planting was carried out using certified cuttings of the Vania-2 variety from BPSI TROA. Healthy cuttings, measuring 100 cm in length and 1.5 ± 0.5 cm in diameter, were used. Each cutting was planted in a 50 cm × 50 cm polybag. The growing medium used was a mixture of soil, cocopeat, rice husk charcoal, and manure in a 2:1:1:1 ratio. A 200 g sample of the growing medium was taken during potting, placed in plastic bags, labeled, and brought to the laboratory for field capacity determination. The soil sample was then dried in an oven at 105 °C for 24 hours, weighed, and the average weight was calculated to determine the total moisture content of the soil at planting (FAO, 2023). Next, soil saturation was calculated by adding distilled water to 100 g of dry soil until a saturated paste was formed. The amount of water

used to reach saturation was measured and averaged to determine the percentage of saturation. Field capacity was calculated using the following formula (FAO, 2021):

$$\text{Field Capacity (\%)} = \frac{\text{Saturation Percentage (\%)}}{2}$$

Each pot was filled with 10 kg of growing medium, and the moisture content was adjusted according to the treatments (100%, 50%, 25%, 150%, and 200% field capacity). The field capacity value of the soil in the pots was monitored by weighing the pots with a digital scale. Irrigation was performed when the pot weight indicated that the moisture content had dropped below the treatment threshold. Moisture levels were adjusted consistently based on pot weighing every 2-3 days using a digital scale. The volume of water added was calculated based on the amount needed to reach the desired moisture level for each treatment.

- Field Capacity 100% (Control): The pots were maintained at moisture levels equivalent to field capacity.
- 50% and 25% Field Capacity (Drought): The soil moisture was reduced to 50% or 25% of field capacity before irrigation was applied.
- Excess Water (150% and 200%): Water was added to reach 1.5x or 2x the field capacity (Saturation).

#### *Relative Water Content Measurement*

The relative water content (RWC) was measured before the water stress treatment was applied, utilizing Barrs & Weatherley's (1962) method. For each replication, leaves were collected from the middle of the canopy (approximately the 7th node) in the morning at 07:00. The leaves were then weighed to record their fresh weight. The leaves were submerged in water-filled plastic bags for 8 hours to achieve full turgidity. After draining, the leaves were air-dried and weighed to determine the turgid weight. The leaves were then placed in an oven at 80°C for 4 days until the weight stabilized. This final weight was recorded as the dry weight of the leaves. The RWC was then calculated using the following formula:

$$\text{RWC (\%)} = \frac{(\text{Fresh Weight} - \text{Dry Weight})}{(\text{Turgid Weight} - \text{Dry Weight})} \times 100$$

#### *Physiological Activity Measurement*

The selected plants were measured for gas exchange every hour for a 24-hour cycle using an infrared gas analyzer (Li-6400 XT, Li-COR, Lincoln, Nebraska). The gas flow rate was set at 500  $\mu\text{mol s}^{-1}$ , and the temperature was adjusted to match the

average greenhouse temperature of 28.3°C. Data on total CO<sub>2</sub> uptake were recorded during the daytime (06:00–18:00) and nighttime (18:00–06:00) cycles, using intercellular carbon data. During the 24-hour cycle, the total CO<sub>2</sub> was calculated by summing the daytime and nighttime cycles. Additional data collected from the analyzer included transpiration rate during the daytime, assimilation rate during both the day and night, and stomatal conductance during the day.

#### *Chlorophyll and Proline Assay*

For chlorophyll analysis, vanilla leaf samples were selected from the seventh branch. The chosen leaves were not too old and were healthy. A 1-gram sample of the leaf was weighed and finely ground. To the extract, 20 mL of 80% acetone solution was added and mixed thoroughly. The solution was then filtered using Whatman No. 80 filter paper and collected in a test tube. A 2 mL aliquot of the filtrate was taken and its absorbance measured using a spectrophotometer at wavelengths of 645 nm and 663 nm. The absorbance results were recorded and entered into the formula (Arnon, 1949):

$$\text{Chl} = ((0,0127 \times A_{663} - 0,00269 \times A_{645}) \times 20) + ((0,0229 \times A_{645} - 0,00468 \times A_{663}) \times 20)$$

Proline analysis was determined following Bates et al. (1973). It was conducted using the same leaf sample of 0.5 g, which was ground using a mortar and then mixed with 10 mL of 3% sulfosalicylic acid. The solution was filtered through Whatman No. 40 filter paper. A 2 mL aliquot of the filtrate was transferred to a test tube and mixed with 2 mL of ninhydrin acid and 2 mL of glacial acetic acid (100%). The mixture was then reacted at 100°C for 1 hour. The reaction was stopped by placing the test tube in ice for 15–20 minutes. Afterward, 4 mL of toluene was added to the test tube, and the solution was mixed using a Vortex mixer for 20 seconds. The mixture was left undisturbed until the toluene phase separated from the sample solution phase. The toluene phase was then measured for absorbance at 520 nm, with toluene used as a blank. The proline content was calculated using the following equation:

$$\text{Pro} = (64,3649 \times A_{520} + (-5,2987)) \times 0,347$$

#### *Leaf Total Acid*

The acid content in the leaves is calculated as the total assimilation products over 24 hours by the vanilla plants, with sampling conducted at the end of the day cycle (18:00) and at the end of the night

cycle (06:00) according to Silvera et al. (2005) method. The difference in acid content between the two cycles represents the amount of assimilation products formed during the night cycle. For each replication, two leaf disc samples are taken from the 7th internode with a diameter of 1.2 cm. The leaf discs are weighed for their fresh weight, crushed with a mortar, and dissolved in 50 mL of distilled water. The sample is then filtered using Whatman No. 80 filter paper. The resulting filtrate, 20 mL, is then added with 2 drops of phenolphthalein (PP) indicator and titrated with 0.1 N NaOH until a color change occurs. The volume of NaOH used in the titration is recorded and inserted into the formula to calculate the acid content, as follows:

$$\text{Total Acid (\%)} = \frac{\text{Vol NaOH} \times 0,1 \times 90}{\text{Sample Weight} \times 1000} \times 100$$

#### *Photosynthesis Efficiency Calculation*

The photosynthetic efficiency is determined by measuring chlorophyll fluorescence using the OS-30p fluorometer (Opti Sciences). Fluorescence is observed on selected plants used for total CO<sub>2</sub> measurement. The measurements are conducted at 07:00 by wrapping the leaves in dark plastic for 20 minutes. After that, the fluorescence is directly measured with a light intensity of 6000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> for 2 seconds.

#### *Morphological Characters and Vanillin Content*

The morphological variables observed include the increase in the number of internodes, internode length, number of leaves, and dry weight of fruit. These variables are measured starting from when the plants are 18 months old. When the plants begin to flower, pollination is done manually, and a maximum of 10 fruits is maintained per plant. The extraction process is performed using a Soxhlet apparatus with 200 mL of 99.9% ethanol for 16 hours. The resulting extract is transferred to a 250 mL volumetric flask. The Soxhlet apparatus is rinsed several times with a small amount of 99.9% ethanol, and the rinses are added to the volumetric flask. The volume of the solution is then adjusted to the mark by adding ethanol and mixed until homogeneous (ISO 5565-1982). The vanillin content is analyzed using HPLC with a C18 reverse-phase column, using a mixture of methanol and acidified water (10:90 ratio) as the solvent. Detection is performed at a wavelength of 280 nm. The HPLC used is a Shimadzu model with a flow rate of about 4 mL/min, while UV spectrophotometric analysis is done using a Hitachi device. The standard solution for HPLC is prepared with concentrations

of 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 ppm in 99.9% ethanol and stored at -2°C until analysis. Meanwhile, the standard solution for spectrophotometric analysis is prepared with concentrations of 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, and 5.0 ppm in 99.9% ethanol. The vanillin content is calculated using the following formula:

$$\text{Vanillin(\%)} = \frac{\text{CSS} \times \text{IVS}}{\text{Sample Weight}} \times 100$$

note: CSS = Concentration of Standard Solution;  
IVS = Initial Volume of Solution

#### *Data Analysis*

The data obtained from each variable were tested for normality and homoscedasticity using the Shapiro-Wilk test and Bartlett's test. The effect of drought on all variables was analyzed using analysis of variance (ANOVA) and a range test. Differences between treatments were further analyzed with Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test. Statistical analysis was performed using R software version 4.4.2 and RStudio with the agricolae package).

### **3. Results**

#### *Physiological Characters*

Relative water content (RWC) and chlorophyll content (Chl) were notably reduced under water-limiting conditions compared to field capacity and excess water regimes (Table 1). Severe water stress (25% water) resulted in significantly lower RWC and Chl values. Moderate drought (50% water) also negatively affected these parameters, though the decline was less pronounced. In contrast, under field capacity (100%) and excess water (150% and 200%), RWC and Chl remained consistently high. Proline content (Pro) showed significant accumulation in response to drought. The highest levels were observed under severe water stress. In moderate drought, Pro accumulation persisted but at slightly reduced levels compared to severe stress. Under field capacity and excess water conditions, Pro levels were markedly lower. Water use patterns also varied with water availability. Transpiration rate (E) demonstrated a sharp decline with decreasing water supply. Interestingly, transpiration was almost completely inhibited at field capacity. Slight increases were observed under excess water conditions. Stomatal conductance (gsw) was minimal under all water regimes but displayed no significant difference.

*CO<sub>2</sub> Assimilation*

Vanilla plants showed significant variations in CO<sub>2</sub> assimilation under different water regimes (Table 2). Nighttime assimilation (An) was lowest under severe drought and increased significantly under moderate drought, with no significant difference under field capacity and excess water conditions. Daytime assimilation (Ad) remained at 0.00  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  across all treatments. This phenomenon shows no active CO<sub>2</sub> fixation during daylight hours. Daytime CO<sub>2</sub> accumulation (CO<sub>2d</sub>) and nighttime CO<sub>2</sub> accumulation (CO<sub>2n</sub>) were negative under severe drought but increased significantly with improved water availability. Field capacity showed the highest CO<sub>2d</sub> (9.54  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and CO<sub>2n</sub> (25.68  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), with slightly lower but still positive values under excess water. Total CO<sub>2</sub> accumulation (TCO<sub>2</sub>) followed a similar trend, being significantly lower under severe

drought and moderate drought compared to field capacity and excess water conditions. Maximum quantum yield (Fv/Fm) was significantly reduced under severe and moderate drought compared to field capacity and excess water.

*Morphology Characters and Quality of Bean*

Severe drought (25%) resulted in the lowest growth parameters, including  $\Delta$  Node (3.05), node length (0.92 cm), and  $\Delta$  Leaf (3.58), which were significantly lower than all other treatments (Table 3). Excess water conditions (150% and 200%) maintained similar growth parameters to field capacity and moderate drought (50%) with no significant differences observed. Bean quality showed significant variation among treatments. Severe drought produced the lowest fresh weight per 10 fruits (W10F) and vanillin content, which were significantly lower than all other treatments.

Table 1. Physiological characteristics of vanilla under different water regimes.

Water Stress (%)	RWC	Chl	Pro	E	gsw
25	46.23 c	1.16 c	3.19 b	0.283 b	0.00095 a
50	60.59 b	1.69 b	2.87 b	0.015 a	0.00042 a
100	87.15 a	2.89 a	0.68 a	0.000 a	0.00000 a
150	92.03 a	2.69 a	0.97 a	0.131 b	0.00000 a
200	92.81 a	2.62 a	2.75 b	0.175 b	0.00000 a

Note: Means followed by different letters are significantly different (Tukey HSD Test,  $\alpha = 0.05$ ).

Table 2. CO<sub>2</sub> Assimilation of vanilla under different water regimes.

Water Stress (%)	An	Ad	CO <sub>2d</sub>	CO <sub>2n</sub>	TCO <sub>2</sub>	Fv/Fm	TA
25	2.84 b	0.00 a	-3.58 b	-7.46 d	-11.04 d	0.63 b	0.05 b
50	4.48 a	0.00 a	-1.21 b	3.01 c	1.8 c	0.67 b	0.13 a
100	5.17 a	0.00 a	9.54 a	25.68 a	35.22 a	0.83 a	0.19 a
150	4.32 a	0.00 a	7.13 a	18.91 b	26.04 b	0.81 a	0.17 a
200	4.76 a	0.00 a	5.42 ab	15.32 b	20.74 b	0.80 a	0.13 a

Note: Means followed by different letters are significantly different (Tukey HSD Test,  $\alpha = 0.05$ ).

Table 3. Morphological characteristics and quality of vanilla bean under different water regimes.

Water Stress (%)	$\Delta$ Node	Node Length	$\Delta$ Leaf	W10F	Vanillin
25	3.05 b	0.92 b	3.58 b	21.8 b	0.83 b
50	11.28 a	2.47 a	11.24 a	32.10 a	1.65 a
100	11.14 a	3.18 a	13.49 a	35.19 a	1.72 a
150	10.90 a	2.88 a	14.92 a	33.12 a	1.65 a
200	10.88 a	2.95 a	12.22 a	32.98 a	1.58 a

Note: Means followed by different letters are significantly different (Tukey HSD Test,  $\alpha = 0.05$ ).

#### 4. Discussion

Under varying water regimes, vanilla plants exhibited interconnected physiological responses that highlight their strategies for coping with water availability. Severe drought (25% water stress) significantly decreased RWC. Meanwhile, under moderate stress, RWC values were higher compared to both field capacity and excess water treatments. This decrease indicates impaired water uptake and reduced leaf hydration. According to Fleta-Soriano et al. (2015) CAM plants exhibit an adaptive mechanism known as drought stress memory. This mechanism allows the plant to “remember” or retain its previous responses to drought conditions, enabling it to react more effectively when similar stress occurs in the future.

Low water availability (severe & moderate water stress) disrupted chlorophyll content (Chl), likely due to oxidative stress. This stress led to the degradation of photosynthetic pigments (Guo et al., 2016). As a result, the plants' capacity for photosynthesis was diminished. In response to this stress, plants under severe and moderate drought significantly increased proline content (Pro). Proline acts as an osmoprotectant, stabilizing cellular structures under dehydration. At the molecular level, proline accumulation under drought conditions is primarily regulated by the upregulation of the  $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate synthase (*P5CS*) gene, which catalyzes the rate-limiting step in proline biosynthesis. Conversely, the catabolic pathway mediated by *proline dehydrogenase* (*ProDH*) is often downregulated to prevent proline degradation during stress periods (Szabados & Savouré, 2010). This coordinated regulation between *P5CS* and *ProDH* maintains intracellular proline homeostasis. The regulation later supports osmotic adjustment, membrane protection, and reactive oxygen species (ROS) scavenging under water-deficit conditions. It also helps maintain osmotic balance, which allows the plant to cope with water stress (Chaudhuri et al., 2017). A similar observation was noted in the saturated treatment (200% water application), which resulted in elevated proline levels. This finding indicates that proline also accumulates under waterlogging stress. These results are consistent with the findings of Barickman et al. (2019) who reported an increase in proline content in cucumber plants subjected to waterlogging stress.

Interestingly, the transpiration rate (E) peaked under severe drought but declined sharply under moderate drought and field capacity. This suggests that plants initially attempt to maximize water use

efficiency by maintaining some transpiration, likely to sustain nutrient transport. However, as conditions improve (moderate drought to field capacity), transpiration stabilizes. This reflects the plants' optimization of water use to balance hydration and gas exchange (Leverett & Borland, 2023; Yu & D'Odorico, 2015). The phenomenon of transpiration in vanilla plants is driven by the stomatal opening and closing mechanism, which can be represented by the variable stomatal conductance (Males & Griffiths, 2017). In CAM plants, transpiration is minimized during the daytime due to stomatal closure. During the night, when stomata are open, CAM plants such as vanilla fix atmospheric CO<sub>2</sub> through the activity of phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPC), converting it into oxaloacetate and subsequently malate, which is stored in vacuoles as malic acid (Qiu et al., 2023; Winter & Smith, 2022). This nocturnal fixation enables CO<sub>2</sub> uptake while minimizing water loss. During the daytime, stomata close to prevent transpiration, and the stored malate is decarboxylated to release CO<sub>2</sub> internally, which is then refixed by ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) in the Calvin cycle. Therefore, the consistently low stomatal conductance observed across treatments reflects the CAM-specific water-use optimization strategy, where CO<sub>2</sub> assimilation relies more on internal recycling than on external gas exchange during daylight hours.

As shown in Table 1, stomatal conductance (gsw) remained minimal across all treatments without significant differences, although the highest value was observed under severe drought conditions. This behavior indicates a tightly regulated stomatal closure mechanism to limit water loss, particularly under drought conditions. Under optimal (field capacity) and excess water conditions, gsw values near zero suggest a different limitation. This mechanism is potentially due to water saturation reducing root oxygen availability and metabolic activity, which restricts gas exchange (Pereira et al., 2021).

The CO<sub>2</sub> assimilation patterns of vanilla plants under different water regimes reflect how water availability influences key physiological processes (Table 2). Under severe drought (25% water stress), An, CO<sub>2</sub>d, CO<sub>2</sub>n, TCO<sub>2</sub>, Fv/Fm, and TA were significantly lower compared to other treatments. This reduction can be attributed to limited stomatal opening and reduced photosynthetic activity caused by water deficit. Furthermore, severe drought caused a substantial negative CO<sub>2</sub> balance due to higher respiratory CO<sub>2</sub> release (CO<sub>2</sub>n). These findings indicate that stress-induced metabolic adjustments increased respiratory demands

(Savchenko & Tikhonov, 2021). In moderate drought (50% water stress), An and TCO<sub>2</sub> improved significantly compared to severe drought. This implies that the plants partially recovered their ability to photosynthesize. However, CO<sub>2n</sub> remained lower than field capacity and excess water, meaning that carbon uptake was still limited. While the plants showed some recovery, the carbon balance remained positive but modest. This highlights that moderate drought continues to impact the plants' ability to absorb carbon, likely due to restricted stomatal conductance and stress-related metabolic constraints.

During drought conditions, CAM plants reduce CO<sub>2</sub> uptake. This reduction lowers their capacity to synthesize carbohydrates (Vitale et al., 2020). At the same time, drought disrupts the balance of the photosynthetic process. When plants attempt to continue photosynthesis despite limited CO<sub>2</sub> availability, they may produce excessive reactive oxygen species (ROS) as byproducts of oxidative stress. The overproduction of ROS arises from imbalances in photosynthesis, particularly during the light-dependent reactions (Pospíšil, 2016). In such situations, oxygen may accumulate due to insufficient CO<sub>2</sub> availability. ROS are highly damaging to plants as they harm cellular structures, including membranes, proteins, and DNA, which further aggravates plant stress (Abreu et al., 2018).

At field capacity (100%), vanilla plants achieved the highest TCO<sub>2</sub>, primarily driven by a significant increase in both daytime (CO<sub>2d</sub>) and nighttime (CO<sub>2n</sub>) CO<sub>2</sub> assimilation, as observed in the study by Gantiva Ramírez et al. (2020). Under excess water conditions (150% and 200%), TCO<sub>2</sub> decreased compared to field capacity, despite relatively high levels of An, CO<sub>2d</sub>, and CO<sub>2n</sub>. This decline in total assimilation may be attributed to oxygen-limited root environments caused by water saturation, which can inhibit root function and reduce the efficiency of carbon metabolism (Tan et al., 2018). Interestingly, the Fv/Fm ratio, an indicator of photosystem II efficiency, remained high under both field capacity and excess water conditions compared to drought stress. Under drought conditions, the Fv/Fm ratio may decrease due to ROS-induced damage to photosystem II (PSII). Stomatal closure also reduces CO<sub>2</sub> flow for photosynthesis. Additionally, the accumulation of excess energy in the chloroplasts can further damage PSII (Takagi et al., 2017). As a result, the Fv/Fm ratio declines because the plants are unable to utilize light for photosynthesis efficiently. All these assimilation processes are reflected in the TA variable, which accumulates in vanilla leaves. Severe drought leads to a drastic reduction in TA compared to other treatments. These findings align

with those of Gantiva Ramírez et al. (2020) who reported that water-deficient vanilla plants accumulate lower acid levels in their leaves due to inhibited photosynthesis.

The morphological characteristics and quality of vanilla beans showed clear responses to different water regimes. Under severe drought (25% water stress), plants exhibited a significant reduction in node formation ( $\Delta$  Node), shorter node length, and fewer leaves ( $\Delta$  Leaf). These limitations were likely due to restricted water availability, which impaired cell division and elongation. As a result, vanilla beans under drought stress had a lower fresh weight (W10F) and reduced vanillin content. The decrease in vanillin production can be attributed to the disruption of metabolic processes and biosynthetic pathways under water stress.

Vanillin biosynthesis in *Vanilla planifolia* occurs mainly through the phenylpropanoid pathway, beginning with phenylalanine, which is deaminated by phenylalanine ammonia-lyase (PAL) to form cinnamic acid. Subsequent reactions catalyzed by cinnamate 4-hydroxylase (C4H) and 4-coumaroyl-CoA ligase (4CL) generate intermediates such as p-coumaroyl-CoA that ultimately lead to vanillin formation (Dong et al., 2025). Under drought stress, activation of the phenylpropanoid pathway is a common response as plants accumulate phenolic compounds for antioxidant defense (Li et al., 2025; Peña Barrena et al., 2024). However, this metabolic shift may divert carbon and energy toward general stress-related phenolics rather than vanillin-specific precursors. Upregulation of PAL and related enzymes under drought can enhance lignin and flavonoid biosynthesis, reducing substrate availability for vanillin synthesis. Therefore, the observed decline in vanillin content may reflect a redirection of metabolic flux within the phenylpropanoid pathway, accompanied by altered expression of key regulatory genes such as *4CL*, *COMT*, and transcription factors (e.g., *MYB*, *NAC*, *WRKY*) involved in secondary metabolism (Dong et al., 2025). This study is consistent with the findings of Barreda-Castillo et al. (2023) who reported a reduction in the number of leaves in vanilla plants under drought stress. Similarly, Wang et al. (2019) noted that dragon fruit, another CAM plant, experienced inhibited stem and node growth when subjected to drought stress.

Under moderate drought (50%) and field capacity (100%), vanilla plants exhibited substantial improvements in all morphological parameters. There was a marked increase in node formation, longer node lengths, and more leaves. This led to a higher fresh bean weight (W10F) and vanillin content under field capacity, indicating that optimal hydration promotes both vegetative

growth and the production of key quality compounds. In excess water conditions (150% and 200%), vanilla plants showed similar morphological growth to those at field capacity, with no significant differences in node formation, node length, or leaf production. However, a slight decline in W10F and vanillin content was observed under these conditions. This reduction may be due to waterlogging, which can restrict root oxygen availability and negatively affect nutrient uptake and secondary metabolite synthesis, even though the plants appeared to maintain normal growth.

## 5. Conclusion

Varietas kacang hijau memperlihatkan pola The study demonstrated that vanilla plants exhibited reductions in photosynthetic efficiency, leaf water potential, and biomass accumulation under water stress conditions. Excess water saturation also slightly reduced these parameters. These results highlight the vulnerability of vanilla to both drought and waterlogging stresses, emphasizing the importance of developing water-tolerant varieties to ensure sustainable production. It is essential to identify and develop vanilla varieties with greater tolerance to water scarcity to maintain sustainable production in the face of climate change. This will enable farmers to better safeguard their livelihoods and ensure the long-term viability of vanilla cultivation in Indonesia.

## 6. Acknowledgement

The author would like to express sincere thanks to The Center for the Management of Herbal Simplicia for providing the greenhouse facilities for our research, and to the Samigaluh Village field extension officers for their valuable support.

## 7. Declaration of Conflicting Interests

The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article.

## 8. Daftar Pustaka

- Abreu ME, Carvalho V, Mercier H. 2018. Antioxidant capacity along the leaf blade of the C3-CAM facultative bromeliad *Guzmania monostachia* under water deficit conditions. *Functional Plant Biology*, 45(6), 620. <https://doi.org/10.1071/FP17162>
- Adiputra IGK. 2018. Mini review: Intensification of mulching to improve soil moisture in vanilla plantation. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 3(2), 42. <https://doi.org/10.22146/jtbb.33636>
- Arnon DI. 1949. Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Baqueiro-Peña I & Guerrero-Beltrán JÁ. 2017. Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.), its residues and other industrial by-products for recovering high value flavor molecules: A review. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.10.003>
- Barickman TC, Simpson CR, Sams CE. 2019. Waterlogging Causes Early Modification in the Physiological Performance, Carotenoids, Chlorophylls, Proline, and Soluble Sugars of Cucumber Plants. *Plants*, 8(6), 160. <https://doi.org/10.3390/plants8060160>
- Barreda-Castillo JM, Monribot-Villanueva JL, Velázquez-Rosas N, Bayman P, Guerrero-Analco JA, Menchaca-García RA. 2023. Morphological and Physio-Chemical Responses to PEG-Induced Water Stress in *Vanilla planifolia* and *V. pompona* Hybrids. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4690. <https://doi.org/10.3390/ijms24054690>
- Barrs H & Weatherley P. 1962. A Re-Examination of the Relative Turgidity Technique for Estimating Water Deficits in Leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413. <https://doi.org/10.1071/BI9620413>
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Botomanga A, Jeannoda VH, Fuzzati N, Ramarosandratana AV. (2024). Morpho-anatomical responses of leafless *Vanilla* spp. Roots to drought and habitat degradation. *Flora*, 317, 152562. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152562>
- Buss A, Silva WC, Costa VE, Moreira AS. (2024). How the vertical gradient of light in the understorey and water seasonality affect leaf traits of *Vanilla phaeantha* (Orchidaceae), a crassulacean acid metabolism (CAM) hemiephyte. *Functional Plant Biology*, 51(11). <https://doi.org/10.1071/FP24132>
- Chaudhuri P, Rashid N, Thapliyal C. 2017. Osmolyte System and Its Biological Significance. In L. Rajendrakumar Singh & T. A. Dar (Eds.), *Cellular Osmolytes* (pp. 1–34). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-3707-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3707-8_1)
- De Lima JF & Moreira ASFP. 2022. Structural plasticity in roots of the hemiephyte *Vanilla*

- phaeantha Rchb.f. (Orchidaceae): A relationship between environment and function. *The Science of Nature*, 109(5), 46. <https://doi.org/10.1007/s00114-022-01816-7>
- Dong Z, Zhao S, Xing Y, Su F, Xu F, Fang L, Zhang Z, Zhao Q, Gu F. 2025. Time-Series Metabolome and Transcriptome Analyses Reveal the Genetic Basis of Vanillin Biosynthesis in Vanilla. *Plants*, 14(13), 1922. <https://doi.org/10.3390/plants14131922>
- FAO. 2021. *Standard operating procedure for saturated soil paste extract*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2023. *Standard operating procedure for soil moisture content by gravimetric method*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fleta-Soriano E, Pintó-Marijuan M, Munné-Bosch S. 2015. Evidence of Drought Stress Memory in the Facultative CAM, *Aptenia cordifolia*: Possible Role of Phytohormones. *PLOS ONE*, 10(8), e0135391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135391>
- Gantiva EA, Díez MC, Moreno FH. 2020. Efecto de la interacción luz-agua sobre la fotosíntesis de la Vanilla planifolia (Orchidaceae). *Revista de Biología Tropical*, 68(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i4.41385>
- Ghosh UK, Islam MN, Siddiqui MN, Cao X, Khan MA. 2022. Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. *Plant Biology*, 24(2), 227–239. <https://doi.org/10.1111/plb.13363>
- González-Arno MT, Guerrero-Rangel A, Martínez O, Valdés-Rodríguez S. 2018. Protein changes in the shoot-tips of vanilla (*Vanilla planifolia*) in response to osmoprotective treatments. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 27(3), 331–341. <https://doi.org/10.1007/s13562-018-0442-1>
- Guo YY, Yu HY, Kong DS, Yan F, Zhang YJ. 2016. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. Seedlings. *Photosynthetica*, 54(4), 524–531. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0206-x>
- Guo YY, Yu HY, Yang MM, Kong DS, Zhang YJ. 2018. Effect of Drought Stress on Lipid Peroxidation, Osmotic Adjustment and Antioxidant Enzyme Activity of Leaves and Roots of *Lycium ruthenicum* Murr. Seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65(2), 244–250. <https://doi.org/10.1134/S1021443718020127>
- Havkin-Frenkel D & Belanger FC. (Eds.). 2018. *Vanilla Phylogeny and Classification*. In *Handbook of Vanilla Science and Technology* (1st ed., pp. 375–390). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119377320.ch20>
- Leverett A & Borland AM. 2023. Elevated nocturnal respiratory rates in the mitochondria of CAM plants: Current knowledge and unanswered questions. *Annals of Botany*, 132(4), 855–867. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad119>
- Li Q, Gichuki DK, Zhou H, Hou Y, Gituru RW, Wang Q, Xin H. 2025. Transcriptional modification and the accumulation of flavonoid in the leaves of *Cissus rotundifolia* Lam. in response to drought stress. *Stress Biology*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s44154-024-00205-6>
- Males J & Griffiths H. 2017. Stomatal Biology of CAM Plants. *Plant Physiology*, 174(2), 550–560. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00114>
- Martínez-Santos E, Cruz-Cruz CA, Spinoso-Castillo JL, Bello-Bello JJ. 2021. In vitro response of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews) to PEG-induced osmotic stress. *Scientific Reports*, 11(1), 22611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02207-0>
- Naumann G, Alfieri L, Wyser K, Mentaschi L, Betts RA, Carrao H, Spinoni J, Vogt J, Feyen L. 2018. Global Changes in Drought Conditions Under Different Levels of Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7), 3285–3296. <https://doi.org/10.1002/2017GL076521>
- Peña Barrena LE, Mats L, Earl HJ, Bozzo GG. 2024. Phenylpropanoid Metabolism in *Phaseolus vulgaris* during Growth under Severe Drought. *Metabolites*, 14(6), 319. <https://doi.org/10.3390/metabo14060319>
- Pereira PN, Niechayev NA, Blair BB, Cushman JC. 2021. Climate Change Responses and Adaptations in Crassulacean Acid Metabolism (CAM) Plants. In K. M. Becklin, J. K. Ward, & D. A. Way (Eds.), *Photosynthesis, Respiration, and Climate Change* (Vol. 48, pp. 283–329). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-64926-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-64926-5_10)
- Pospíšil P. 2016. Production of Reactive Oxygen Species by Photosystem II as a Response to Light and Temperature Stress. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01950>
- Qiu S, Xia K, Yang Y, Wu Q, Zhao Z. 2023. Mechanisms Underlying the C3–CAM Photosynthetic Shift in Facultative CAM Plants. *Horticulturae*, 9(3), 398.

- <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030398>
- Savchenko T & Tikhonov K. 2021. Oxidative Stress-Induced Alteration of Plant Central Metabolism. *Life*, 11(4), 304. <https://doi.org/10.3390/life11040304>
- Silvera K, Santiago LS, Winter K. 2005. Distribution of crassulacean acid metabolism in orchids of Panama: Evidence of selection for weak and strong modes. *Functional Plant Biology*, 32(5), 397–407. <https://doi.org/10.1071/FP04179>
- Supari, Tangang F, Salimun E, Aldrian E, Sopaheluwakan A, Juneng L. 2018. ENSO modulation of seasonal rainfall and extremes in Indonesia. *Climate Dynamics*, 51(7–8), 2559–2580. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4028-8>
- Szabados L & Savouré A. 2010. Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
- Takagi D, Ishizaki K, Hanawa H, Mabuchi T, Shimakawa G, Yamamoto H, Miyake C. 2017. Diversity of strategies for escaping reactive oxygen species production within photosystem I among land plants: P700 oxidation system is prerequisite for alleviating photoinhibition in photosystem I. *Physiologia Plantarum*, 161(1), 56–74. <https://doi.org/10.1111/ppl.12562>
- Tan X, Xu H, Khan S, Equiza MA, Lee SH, Vaziriyeganeh M, Zwiasek JJ. 2018. Plant water transport and aquaporins in oxygen-deprived environments. *Journal of Plant Physiology*, 227, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.05.003>
- Tran TK, Salvatore I, Geller J, Theodoracakis E, Ullrich L, Chetschik I. 2024. Molecular Aroma Composition of Vanilla Beans from Different Origins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(34), 19120–19130. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c04775>
- Vitale L, Vitale E, Costanzo G, De Maio A, Arena C. 2020. Photo-Protective Mechanisms and the Role of Poly (ADP-Ribose) Polymerase Activity in a Facultative CAM Plant Exposed to Long-Term Water Deprivation. *Plants*, 9(9), 1192. <https://doi.org/10.3390/plants9091192>
- Wang L, Zhang X, Ma Y, Qing Y, Wang H, Huang X. 2019. The highly drought-tolerant pitaya (*Hylocereus undatus*) is a non-facultative CAM plant under both well-watered and drought conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(5), 643–652. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1595747>
- Winter K & Smith JAC. 2022. CAM photosynthesis: The acid test. *New Phytologist*, 233(2), 599–609. <https://doi.org/10.1111/nph.17790>
- You J & Chan Z. 2015. ROS Regulation During Abiotic Stress Responses in Crop Plants. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01092>
- Yu K & D’Odorico P. 2015. Direct and Indirect Facilitation of Plants with Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Ecosystems*, 18(6), 985–999. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9877-6>

**AGROSAINSTEK****Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian**Website jurnal : <http://agrosainstek.ubb.ac.id>**Research Article****Pengaruh 2,4-D dan BAP terhadap Multiplikasi Tanaman Vanili  
(*Vanilla planifolia* Andrews)*****The Effect of 2,4-D and BAP On The Multiplication of Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews)*****Didik Pudji Restanto<sup>1,2\*</sup>, Nisma Riyadh Nadiya<sup>1</sup>, Parawita Dewanti<sup>1</sup>,  
Mohammad Nur Khozin<sup>1</sup>, Mohammad Candra Prayoga<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Jl. Kalimantan no 37, Jember, 68121<sup>2</sup>Program Studi Magister Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.  
Jl. Kalimantan no 37, Jember, 681221.

Received: February 20, 2025/ Received in Revised: October 31, 2025/ Accepted: November 07, 2025

**ABSTRACT**

*Vanilla is a plant that has many benefits, high selling value and potential to be developed. Conventional propagation of vanilla such as through cuttings has not been effective, so a more effective method of propagation is needed, one of which is propagation through tissue culture. In-vitro propagation of vanilla can be through shoot multiplication to produce fast plantlets. One of the successes of shoot multiplication is influenced by the hormone given. This study aims to determine the effect of giving a combination of 2,4-D and BAP on the multiplication of vanilla shoots. The study design used CRD with a combination factor of 2,4-D (concentration 0.5 mg/L, 1.0 mg/L, and 1.5 mg/L) and BAP (concentration 0.25 mg/L, 0.5 mg/L, and 0.75 mg/L). The explants used were vanilla stem segments. Based on the research results, the combined treatment with concentrations of 2,4-D 1 mg/L and BAP 0.5 mg/L had a very significant effect on the multiplication of vanilla shoots with the fastest emergence of shoots with an average of 6.6 wap, the highest number of shoots was 7 shoots, and the survival percentage was 100%.*

**Keywords: Hormone; In-vitro; Multiplication; Vanilla.****ABSTRAK**

*Vanili adalah tanaman yang memiliki banyak manfaat, nilai jual yang tinggi dan potensi untuk dikembangkan. Perbanyakan vanili secara konvensional seperti melalui stek belum efektif, sehingga perlu metode perbanyakan yang lebih efektif salah satunya perbanyakan melalui kultur jaringan. Perbanyakan vanili secara in-vitro dapat melalui multiplikasi tunas untuk menghasilkan planlet yang cepat. Keberhasilan multiplikasi tunas salah satunya dipengaruhi oleh hormon yang diberikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian kombinasi 2,4-D dan BAP pada multiplikasi tunas vanili. Rancangan penelitian menggunakan RAL dengan faktor kombinasi 2,4-D (konsentrasi 0,5 mg/L, 1,0 mg/L, dan 1,5 mg/L) dan BAP (konsentrasi 0,25 mg/L, 0,5 mg/L, dan 0,75 mg/L). Eksplan yang digunakan yaitu ruas batang vanili. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan kombinasi konsentrasi 2,4-D 1 mg/L dan BAP 0,5 mg/L berpengaruh sangat nyata terhadap multiplikasi tunas vanili dengan kedinian munculnya tunas tercepat dengan rata-rata selama 6,6 mst, jumlah tunas terbanyak 7 tunas, dan persentase hidup sebesar 100%.*

**Kata kunci: Hormon; In-vitro; Multiplikasi; Vanilli.**

\*Korespondensi Penulis.

E-mail: [restanto.lemlit@unej.ac.id](mailto:restanto.lemlit@unej.ac.id) (DP Restanto)DOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v9i2.912>

## 1. Pendahuluan

Tanaman vanili (*Vanilla planifolia* Andrews) adalah tanaman perkebunan yang menghasilkan buah dengan nilai ekonomi tinggi. Buah vanili banyak dimanfaatkan di bidang industri makanan dan minuman (Priefert *et al.*, 2001). Vanili sebagai sumber pendapatan petani dan merupakan komoditas ekspor untuk meningkatkan devisa negara (Nurholis, 2017). Petani vanili memberikan dampak positif terhadap nilai ekspor vanili di Indonesia (Prasaja *et al.*, 2024). Perdagangan vanili Indonesia pada periode 2010-2019 menunjukkan daya saing yang baik dengan nilai rata-rata ISP 0,79 dan nilai rata-rata RCA 5,71 (Dwitama, 2022). Vanili berpotensi untuk dikembangkan dan cocok ditanam pada daerah tropis seperti Indonesia (Rosman, 2015). Permasalahan yang dihadapi pada perbanyakan vanili yaitu viabilitas dan daya kecambah yang rendah (Soch *et al.*, 2023). Kebutuhan vanili yang tinggi perlu diimbangi dengan produksi yang tinggi. Nilai ekspor vanili dari Madagaskar ke Indonesia pada tahun 2022 mencapai 54,7 miliar (Prasaja *et al.*, 2024). Ketersediaan bibit vanili yang sehat menjadi salah satu syarat keberhasilan budidaya vanili (Safitri and Prihastanti, 2023). Ketersediaan bibit vanili merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan produksi vanili. Vanili diperbanyak secara vegetatif menggunakan metode konvensional dengan stek batang (Nurholis, 2017). Menurut Raesita *et al.*, (2023), perbanyakan vanili melalui stek batang potensinya masih rendah, waktu yang cukup lama dan membutuhkan bahan tanam yang banyak. Perbanyakan vanili secara konvensional hanya memiliki laju multiplikasi yang rendah, membutuhkan waktu yang relatif lama dan kurang efektif (Abebe *et al.*, 2009). Pengembangan vanili yang efisien dapat melalui perbanyakan tunas vanili secara *in-vitro*. Mikropropagasi secara *in-vitro* dapat menggunakan eksplan nodal untuk memperbanyak tanaman induk melalui *direct organogenesis* (Anis and Ahmad, 2016).

Perbanyakan vanili melalui *in-vitro* sebagai upaya produksi bibit secara masal atau percepatan penggandaan klon melalui multiplikasi tunas untuk menghasilkan planlet bebas penyakit (Gantait and Kundu, 2017). Multiplikasi tunas adalah metode dalam mikropropagasi untuk menghasilkan tunas yang banyak. Penambahan hormon di dalam media kultur jaringan dapat menginduksi multiplikasi tunas. Jenis dan konsentrasi hormon yang digunakan dapat mempengaruhi arah pertumbuhan atau perkembangan eksplan (Karjadi and Buchory, 2008). Menurut Erawati *et al.* (2020), kombinasi hormon sitokinin dan auksin yang tepat berpengaruh terhadap tinggi tunas tanaman vanili.

Auksin yang berfungsi untuk merangsang pertumbuhan dan merangsang pembelahan dan pembesaran sel (Timburas *et al.*, 2023). Berdasarkan penelitian Abebe *et al.* (2009), kombinasi hormon sitokinin yang lebih tinggi dibandingkan dengan auksin (BA 2 mg/L dan NAA 1 mg/L) menunjukkan mampu menghasilkan tunas vanili 5,7 pucuk per eksplan setelah 90 hari setelah tanam. Tingkat multiplikasi tunas yang tertinggi dicapai dengan subkultur berulang pada media MS yang ditambah dengan 2,0 mg/l BA selama 40 hari setelah tanam (Anis and Ahmad, 2016). Penelitian ini mengamati respon penambahan hormon terhadap multiplikasi tunas dengan pendekatan histologi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respon eksplan terhadap pemberian kombinasi hormon 2,4-D dan BAP pada multiplikasi vanili.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Ekofisiologi dan Kultur Jaringan Tanaman Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Jember pada bulan Januari sampai dengan Desember 2022. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain eksplan vanili, media MS (Murashige and Skoog), hormon 2,4-D, hormon BAP, sukrosa, dan bahan pendukung lainnya. Peralatan yang digunakan antara lain LAF, autoclaf, mikroskop objektif stereo Leica, dan peralatan kultur lainnya.

### Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan yaitu rancangan acak lengkap. Perlakuan yang digunakan terdiri dari kombinasi hormon P1=2,4-D 0,5 mg/L + BAP 0,25 mg/L, P2=2,4-D 0,5 mg/L + BAP 0,5 mg/L, P3=2,4-D 0,5 mg/L + BAP 0,75 mg/L, P4=2,4-D 1,0 mg/L + BAP 0,25 mg/L, P5=2,4-D 1,0 mg/L + BAP 0,5 mg/L, P6=2,4-D 1,0 mg/L + BAP 0,75 mg/L, P7=2,4-D 1,5 mg/L + BAP 0,25 mg/L, P8=2,4-D 1,5 mg/L + BAP 0,5 mg/L, P9=2,4-D 1,5 mg/L + BAP 0,75 mg/L. Media kultur yang digunakan yaitu media MS (Murashige and Skoog) dengan penambahan sukrosa 8 g dan hormon sesuai perlakuan.

### Pelaksanaan Penelitian

Eksplan atau bahan tanam yang digunakan pada bagian ruas batang tanaman vanilli. Eksplan nodus berpotensi untuk diregenerasikan membentuk multiplikasi tunas (Pathak and Joshi, 2021). Sterilisasi eksplan dengan mencuci eksplan menggunakan sunlight serta dibilas dengan air mengalir. Eksplan ruas batang yang sudah bersih

kemudian disterilisasi kembali di dalam LAF dengan digojok menggunakan bahan sterilisasi NaOCl 1% selama 5 menit. Sterilisasi dilanjutkan dengan membilas menggunakan etanol 70% (Solano *et al.*, 2019). Kemudian dibilas menggunakan aquadest steril 3 kali. Eksplan dipotong pada bagian ruas batang kemudian ditanam pada media perlakuan untuk multiplikasi membentuk tunas-tunas baru. Eksplan diinkubasi dalam kondisi terang menggunakan penyinaran lampu LED selama 8 jam/hari dan suhu ruang inkubasi 28-30°C.

#### *Variabel Pengamatan*

Variabel pengamatan multiplikasi tunas vanili meliputi kedinian munculnya tunas dengan cara menentukan perhitungan waktu awal munculnya organ tunas pada eksplan yang ditunjukkan dengan kemunculan nodul atau bakal tunas. Pengamatan kedinian munculnya tunas diamati pada minggu pertama hingga minggu munculnya tunas atau paling lambat ke-minggu terakhir pengamatan (minggu ke-12). Pengamatan variabel jumlah tunas di amati dengan menghitung jumlah tunas yang telah terbentuk pada minggu ke-12 atau minggu terakhir. Persentase hidup ditentukan dengan menghitung tunas yang dapat bertahan hidup sampai pengamatan terakhir. Pengamatan dilakukan pada minggu ke-12 atau minggu terakhir pengamatan. Presentase hidup dihitung dengan cara menghitung jumlah tunas yang bertahan hidup dibagi dengan jumlah keseluruhan eksplan dikalikan 100% untuk memperoleh hasil persentase tumbuhnya tunas. Histologi multiplikasi dengan memilih salah satu sampel terbaik untuk digunakan sebagai pembuatan preparat histologi.

#### *Histologi*

Pengamatan histologi dilakukan pada fase multiplikasi tunas untuk mengetahui struktur sel. Pengamatan histologi dengan membuat preparat dengan tahapan meliputi persiapan sampel. Fixation atau pengawetan sampel menggunakan formaldehyde. Fixation dilakukan selama 12-24 jam pada suhu 25-30°C. Kemudian sampel dilakukan dehidrasi menggunakan aseton dengan konsentrasi bertingkat (70%, 80%, dan 90%). Setiap konsentrasi dilakukan selama 1 hari. Selanjutnya clearing dengan menggunakan xylol. Pembeningan sampel dilakukan dengan merendam pada xylol selama 15 menit sebanyak 2 kali. Selanjutnya pembedaan sampel yang dikenal dengan istilah impregnation atau embedding dengan memasukkan sampel kedalam parafin cair. Selanjutnya dilakukan blocking menggunakan parafin. Sectioning sampel menggunakan microtom

blade. Sempel yang terpotong di seleksi kemudian sampel dipilih di warnai menggunakan heamatoxylin-eosin (HE). Kemudian perekatan sampel pada kaca slides dan labeling. Selanjutnya dilakukan pengamatan menggunakan microscop binokuler pada pembesaran 100x.

#### *Analisis Data*

Analisis data yang didapatkan dilakukan menggunakan analisis varian (ANOVA), apabila antar perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata, maka dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan DMRT dengan taraf kepercayaan 95%. Analisis data dilakukan menggunakan aplikasi SPSS *statistics* versi 26.

### **3. Hasil**

#### *Pembentukan Kalus Organogenik*

Eksplan nodus atau ruas batang yang diinokulasi pada media MS dengan penambahan kombinasi hormon 2,4-D dan BAP mampu membentuk kalus. Terbentuknya kalus merupakan respon jaringan eksplan terhadap hormon pada media. Kalus yang terbentuk merupakan kalus organogenik yang berkembang dan berregenerasi secara indirect orgaonesesis. Fase-fase yang teramati antara lain fase kalus organogenik, fase kوليوptil, dan fase tunas awal.

Kalus yang terbentuk memiliki teksture kompak berwarna kuning muda dan sedikit keputihan (Gambar 1A). Kalus yang terbentuk tumbuh lambat, tetapi kalus menuju pendewasaan sel. Kemudian kalus terus mengalami pendewasaan sel dengan ukuran yang lebih besar dan warna lebih gelap (Gambar 1B). Kalus organogenik kemudian mulai memunculkan kوليوptil sebagai bakal tunas (Gambar 1C). Kemudian diikuti pertumbuhan tunas dan mengalami elongasi atau pemanjangan tunas (Gambar 1D). Tunas yang terbentuk akan mengalami poliferasi sehingga memunculkan tunas yang lebih banyak (Gambar 1E). Tunas yang terbentuk mulai berkembang menjadi bipolar atau memiliki dua arah pertumbuhan yaitu pertumbuhan tunas dan pertumbuhan akar (Gambar 1F). Kalus organogenik yang terbentuk pada media perlakuan kombinasi 2,4-D dan BAP mengalami perkembangan dan memunculkan beberapa tunas-tunas atau mengalami multiplikasi tunas.

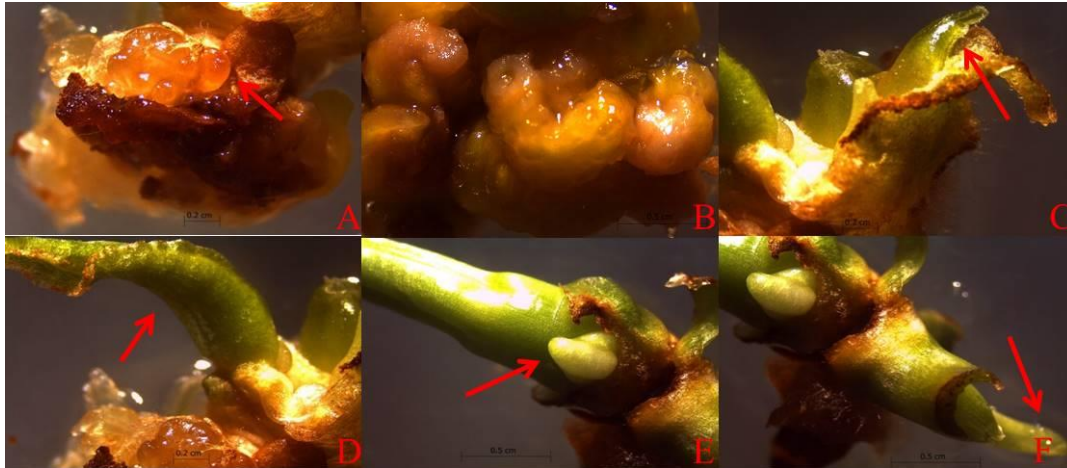
#### *Kedinian Munculnya Tunas*

Kedinian munculnya tunas setiap perlakuan kombinasi hormon menunjukkan respon yang berbeda-beda. Semakin cepat pembentukan tunas maka respon eksplan terhadap hormon yang

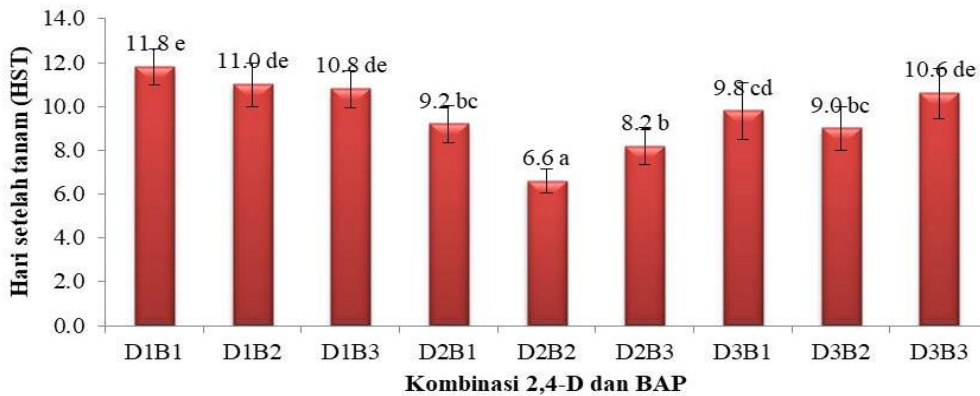
diberikan semakin baik. Penambahan kombinasi 2,4-D dan BAP dengan konsentrasi yang tepat akan memunculkan organ tunas yang lebih cepat.

Berdasarkan grafik (Gambar 2), kediniannya munculnya tunas terbaik diperoleh dari perlakuan D2B2 kombinasi konsentrasi hormon 2,4-D 1 mg/L dan BAP 0,5 mg/L yaitu rata-rata selama 6,6 minggu setelah tanam (mst). Hasil tersebut berbeda nyata dengan semua perlakuan kombinasi hormon

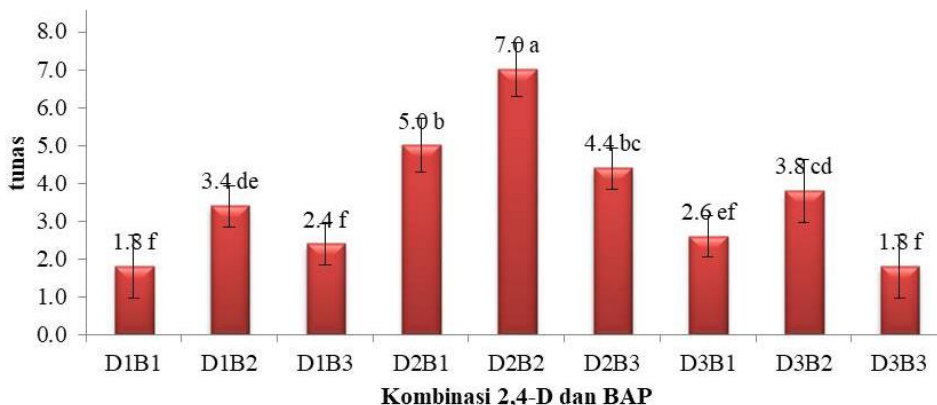
lainnya. Perlakuan D1B1 kombinasi konsentrasi 2,4-D 0,5 mg/L dan BAP 0,25 mg/L menunjukkan waktu munculnya tunas terlama dengan rata-rata selama 11,8 mst. Perlakuan D2B1, D2B2, dan D2B3 merupakan kombinasi hormon BAP 0,25 mg/L, 0,5 mg/L, dan 0,75 mg/L dengan hormon 2,4-D 1 mg/L menghasilkan kediniannya munculnya tunas relatif lebih cepat yaitu 9,2 mst, 6,6 mst, dan 8,2 mst.



Gambar 1. Direct Organogenesis pada multiplikasi vanili (A) pertumbuhan awal kalus organogenik. (B) kalus organogenik (C) awal munculnya koloiptil (D) pertumbuhan tunas (E) tunas baru (F) elongasi tunas dan pertumbuhan akar.



Gambar 2. Grafik rata-rata kediniannya munculnya tunas pada multiplikasi vanili.



Gambar 3. Grafik rata-rata jumlah tunas pada multiplikasi vanili.

### Jumlah Tunas

Respon kalus organogenik membentuk tunas setiap perlakuan kombinasi hormon menunjukkan respon yang berbeda-beda. Semakin banyak tunas yang terbentuk menunjukkan bahwa respon pembentukan tunas semakin baik. Kombinasi hormon BAP dan 2,4-D yang tepat menghasilkan jumlah tunas yang banyak terhadap multiplikasi, rata-rata jumlah tunas yang terbentuk dapat dilihat pada grafik Gambar 3.

Berdasarkan grafik (Gambar 3), jumlah tunas terbanyak diperoleh dari perlakuan D2B2 kombinasi konsentrasi hormon 2,4-D 1 mg/L dan BAP 0,5 mg/L yaitu rata-rata 7 tunas. Hasil tersebut berbeda nyata dengan semua perlakuan kombinasi hormon lainnya. Jumlah tunas paling sedikit diperoleh dari perlakuan D1B1 (2,4-D 0,5 mg/L dan BAP 0,25 mg/L) dan D3B3 (2,4-D 1,5 mg/L dan BAP 0,75 mg/L) dengan rata-rata jumlah tunas 1,8 tunas. Perlakuan D2B1, D2B2, dan D2B3 yang merupakan kombinasi hormon BAP 0,25 mg/L, 0,5 mg/L, dan 0,75 mg/L dengan hormon 2,4-D 1 mg/L diperoleh rata-rata jumlah tunas relatif lebih banyak berturut-turut 5,0 tunas, 7,0 tunas, dan 4,4 tunas.

### Pertumbuhan Tunas

Tunas yang dihasilkan dari multiplikasi masih tergolong sedikit pada pengamatan minggu ke-12. Selain jumlah tunas yang sedikit, pertumbuhan tunas memanjang yang lambat serta belum memunculkan organ daun dan akar pada tunas sampai pada umur 12 mst (Gambar 4). Pemanjangan tunas diperlukan sub kultur pada media baru dengan penambahan hormon yang dapat memicu pertumbuhan tunas yang lebih optimal. Sub kultur dapat memicu pertumbuhan tunas, munculnya daun dan akar.



Gambar 4. Pembentukan tunas pada perlakuan D2B2 (BAP 0,5 mg/L dan 2,4-D 1 mg/L).



Gambar 5. Pembentukan organ daun dan akar setelah subkultur, (A) organ daun pada 2 MST, (B) organ akar pada 6 MST, (C) pertumbuhan planlet pada 14 MST, (D) organ akar pada 14 MST.

Tunas-tunas yang terbentuk dilakukan subkultur pada media MS dengan penambahan hormon sitokinin dengan konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan hormon auksin yaitu BAP 1 mg/L dan 2,4-D 0,5 mg/L (Gambar 5A). Organ daun dan akar mulai terbentuk pada umur 2 minggu setelah subkultur (Gambar 5B). Tunas terus tumbuh lambat dan semakin bertambah tinggi (Gambar 5C) dan pertumbuhan sistem perakaran semakin bertambah panjang (Gambar 5D).

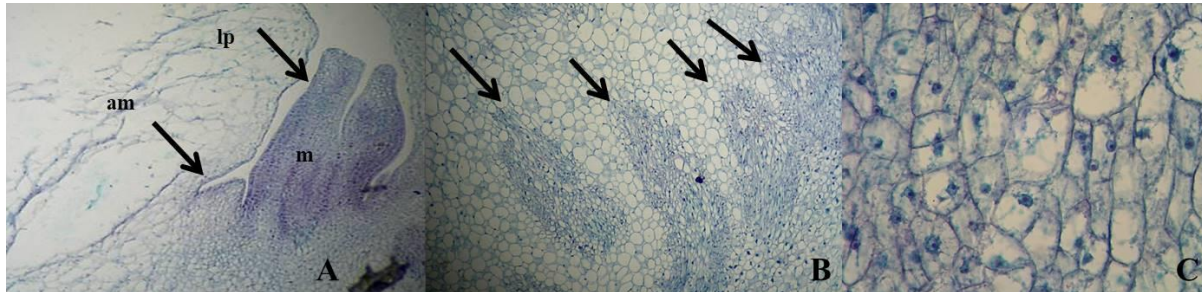
### Histologi

Pengamatan histologi dilakukan pada bagian tunas dan pangkal multiplikasi vanili. Berdasarkan pengamatan histologi dapat diketahui bahwa bakal tunas telah memunculkan primordia daun seperti yang terlihat pada hasil histologi panah lp *leaf primordia* (Gambar 6A). Terdapat aksilar meristem pada tunas yang terbentuk (Gambar 6A). Ujung tunas merupakan jaringan meristem yang aktif membelah. Jaringan meristem dicirikan dengan sel yang berukuran lebih kecil dan aktif terus membelah (Gambar 6C). Sel-sel yang aktif membelah juga ditemui pada pangkal yang mengalami multiplikasi. Seperti yang terlihat pada panah-panah (Gambar 6B) yang merupakan spot-spot sel-sel aktif membelah. Bagian sel-sel yang aktif membelah sebagai pusat pertumbuhan calon tunas-tunas multiplikasi.

Aktivitas sel meristem pada tunas menyebabkan terbentuknya aksilar meristem seperti pada panah am (Gambar 6A). Meristem memiliki sel yang bersifat aktif membelah yang terdapat pada bagian ujung tunas apikal dan tunas

aksilar. Bagian ujung tunas terdapat jaringan meristem yang terus aktif membelah seperti pada panah m (Gambar 6A). Berdasarkan (Gambar 6C) menunjukkan adanya susunan sel yang lebih rapat dengan ukuran relatif lebih kecil, jaringan ini memiliki sel-sel yang terus mengalami pembelahan. Pembelahan sel terus menerus dapat membentuk

perkembangan sel baru. Aktifitas sel meristem yang aktif membelah terdapat pada pangkal tunas yang mengalami multiplikasi ditunjukkan pada (Gambar 6B). Bagian-bagian sel yang aktif mengalami proses pembelahan nantinya membentuk pusat pertumbuhan calon bakal tunas multiplikasi.



Gambar 6. Histologi multiplikasi vanili. (A) histologi tunas pada pembesaran 100x, lp= *leaf primordia*, am= *aksilar meristem*, m=*meristem*. (B) histologi pangkal multiplikasi pada pembesaran 100x. (C) histologi sel meristematik pada pembesaran 100x.

#### 4. Pembahasan

Regenerasi vanili secara *in vitro* pada media MS dengan kombinasi hormon BAP dan 2,4-D teramat terjadi melalui jalur *direct organogenesis* atau pembentukan organ melalui fase kalus organogenik. Menurut Kusbianto *et al.* (2022), pembentukan organ tunas dapat melalui fase pembentukan kalus organogenik. Pada media kultur dan hormon yang tepat kalus organogenik dapat berregenerasi membentuk organ tunas maupun akar (Palama *et al.*, 2010). Berdasarkan penelitian Srilestari (2022), penggunaan media MS pada perbanyak vanili menunjukkan hasil terbaik dibandingkan dengan media B5 dan VW. Nutrisi yang terdapat pada media MS belum mencukupi untuk menginduksi multiplikasi tunas, sehingga diperlukan hormon tambahan. Media MS yang ditambahkan dengan hormon sitokinin dapat memicu munculnya tunas yang banyak (Dwiyani, 2015).

Berdasarkan penelitian ini, eksplan nodus pada media MS dengan kombinasi konsentrasi hormon 2,4-D 1 mg/L dan BAP 0,5 mg/L membentuk kalus organogenik kemudian menghasilkan jumlah tunas terbanyak rata-rata 7 tunas dan kediniannya munculnya tunas tercepat yaitu 6,6 mst. Berdasarkan penelitian Palama *et al.* (2010), kalus organogenik sub kultur ke media MS dengan penambahan NAA 0,5 mg/L berdiferensiasi membentuk tunas lebih cepat yaitu 15-20 hst. Berdasarkan penelitian Sarita *et al.* (2022), penambahan kinetin 3 mg/L mampu menginduksi tunas vanili tercepat yaitu 13 hari setelah tanam. Konsentrasi BAP dan NAA yang lebih tinggi yaitu 13,32  $\mu$ M BAP dan 13,43  $\mu$ M NAA menunjukkan

respons pertumbuhan kalus menghasilkan jumlah tunas lebih banyak yaitu 14,0 tunas (Janarthanam and Seshadri, 2008).

Hormon sitokinin BAP dapat mempercepat eksplan ruas batang memunculkan tunas, tetapi keberhasilan multiplikasi dipengaruhi pula oleh kemampuan setiap jenis tanaman dan eksplan yang digunakan. Kemampuan vanili beregenerasi dan berdiferensiasi untuk multiplikasi membentuk tunas masih terbatas (Erawati *et al.*, 2021). Menurut Kumar (2014) mengatakan bahwa vanili dapat memiliki kemampuan pembentukan tunas sebesar 95% tunas yang dipengaruhi oleh konsentrasi kinetin dan BAP dengan perbandingan 1:2. Kombinasi BAP 1 mg/L, Kinetin 2 mg/L dan NAA 1 mg/L mampu menghasilkan jumlah tunas terbanyak yaitu 5,7 tunas (Kumar, 2014). Berdasarkan penelitian lainnya, penambahan meta topolin dan BAP pada media MS dapat menghasilkan jumlah tunas 5 tunas per eksplan, tunas diperbanyak pada media MS cair yang mengandung meta topolin 0,5 mg/L dan NAA 0,25 mg/L menghasilkan tunas maksimal 62 tunas per eksplan (Manokari *et al.*, 2021).

Beberapa upaya yang telah dilakukan penelitian sebelumnya menunjukkan keberhasilan multiplikasi yang lebih baik. Berdasarkan penelitian Spinoso *et al.* (2017), aplikasi AgNPs 50 mg/L menunjukkan keberhasilan yang signifikan dalam perbanyak dan pemanjangan tunas vanili mencapai 14,8 tunas dengan panjang tunas 4,7 cm. Berdasarkan penelitian Tan *et al.* (2013), multiplikasi pucuk vanili optimal dapat dipicu dengan penambahan hormon BAP 1 mg/L pada media MS yang ditambahkan SNP (*sodium nitroprusside*) menghasilkan peningkatan

terbentuknya tunas. Oksida nitrat dapat merangsang perkembangan pucuk dan dapat memicu regenerasi tunas adventif (Tan *et al.*, 2013). Metode perendaman menggunakan bioreaktor yang efisien untuk regenerasi tanaman vanili secara *in-vitro* terus dikembangkan. Metode perendaman menggunakan bioreaktor menghasilkan nilai poliferasi dan perkembangan tunas tertinggi yaitu 11,4 tunas, bobot berat segar dan kering tertinggi (Ramirez-Mosqueda and Bello-Bello, 2021).

Keberhasilan multiplikasi ditandai dengan pertumbuhan tunas baru secara langsung dari setiap eksplan (Hernandez *et al.*, 2020). Pemberian hormon pada media sangat berpengaruh terhadap keberhasilan multiplikasi. Pada penelitian ini pembentukan tunas berhasil dilakukan, namun pembentukan daun dan akar diperlukan sub kultur pada media baru. Nisbah hormon auksin dan sitokinin dapat meningkatkan proses fisiologis dalam memacu awal pertumbuhan tunas (Dwiyani, 2015). Konsentrasi auksin yang lebih tinggi dapat menginduksi akar yang lebih cepat, sedangkan konsentrasi sitokinin yang lebih tinggi dapat menginduksi tunas yang lebih cepat. Berdasarkan penelitian sebelumnya kombinasi dua jenis hormon sitokinin sekaligus yaitu BAP 0,5 mg/L dan kinetin 2 mg/L mampu menghasilkan organ tunas sebanyak 6 pucuk/eksplan selama 56 hari (Erawati *et al.*, 2021). Penambahan hormon sitokinin secara eksogen penting karena hormon sitokinin secara endogen pada vanili belum cukup untuk menginduksi diferensiasi tunas (Palama *et al.*, 2010). Menurut Erawati *et al.* (2020), hormon BAP dapat menjadi faktor keberhasilan multiplikasi organ tunas vanili dengan rata-rata jumlah tunas 6,8 tunas/eksplan diperoleh dari media dengan konsentrai hormon BAP yang sesuai dengan media yang tepat. Hal tersebut membuktikan bahwa BAP sangat memiliki peran penting dalam proses fisiologis pertumbuhan tunas. Kombinasi hormon yang diberikan dapat berpengaruh terhadap arah pertumbuhan atau morfogenesis pada kultur Jaringan (Dwiyani, 2015). Penambahan BAP dan 2,4-D yang dikombinasikan pada multiplikasi vanili hanya menghasilkan tunas-tunas dan belum membentuk organ daun dan akar atau membentuk planlet tanaman utuh. Organ daun dan akar dapat muncul setelah dilakukan sub kultur pada media baru dengan penambahan hormon sitokinin untuk pertumbuhan tunas dan hormon auksin untuk induksi akar. Keberhasilan pembentukan organ akar dipengaruhi oleh hormon auksin. Berdasarkan penelitian Erawati *et al.* (2020), pemberian hormon NAA secara tunggal 0,5 mg/L dapat menginduksi organ akar dengan rata-rata jumlah akar terbanyak yaitu 3 akar/eksplan. Penambahan 1 mg/L BAP

+15% air kelapa menunjukkan hasil terbaik pada multiplikasi nilam dengan waktu respon tercepat 8.7 hari, rata-rata panjang tunas 2.84 cm/eksplan dan rata-rata panjang akar 0.75 cm/eksplan (Kusbianto *et al.*, 2024).

Berdasarkan pengamatan histologi, kalus yang terbentuk terdapat spot-spot sel meristematik yang terus membelah. Sel-sel yang terus membelah berpotensi menjadi bakal tunas baru atau multiplikasi tunas. Hal ini menandakan keberhasilan dalam menginduksi tunas yang banyak. Sel meristem memiliki sel yang aktif membelah pada bagian ujung tunas apikal dan tunas aksilar, sehingga jaringan meristem juga ikut berperan terhadap pemanjangan tunas dan pemanjangan akar (Chika *et al.*, 2021). Sel-sel kalus penting di pelajari lebih lanjut untuk memperbanyak kalus melalui suspensi sel dalam rangka perbanyakkan masal dan kemampuan suspensi sel kalus vanili untuk beregenerasi membentuk planlet beserta media kultur yang optimal.

## 5. Kesimpulan

Kombinasi 2,4-D dan BAP mampu menghasilkan multiplikasi tunas pada *in vitro* tanaman vanili. Perlakuan kombinasi konsentrasi hormon 2,4-D 1 mg/L dan BAP 0,5 mg/L berpengaruh sangat nyata terhadap kediniannya munculnya tunas tercepat dengan rata-rata selama 6,6 minggu setelah tanam, jumlah tunas terbanyak yaitu 7 tunas, dan persentase hidup sebesar 100%.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Terimakasih Kepada Laboratorium Ekofisiologi dan Kultur Jaringan Tanaman Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Jember yang telah mendukung penelitian ini.

## 7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

## 8. Daftar Pustaka

Anis M, Ahmad N. 2016. *Plant tissue culture: Propagation, conservation and crop improvement, Plant Tissue Culture: Propagation, Conservation and Crop Improvement*. Springer. doi: 10.1007/978-981-10-1917-3.

- Abebe Z, Mengesha A, Teressa A, Tefera E. 2009. Efficient in vitro multiplication protocol for *Vanilla planifolia* using nodal explants in Ethiopia. *African Journal of Biotechnology*. 8(24), pp. 6817–6821.
- Chika S, Kurniawati F, Rahmani TPD. 2021. Kajian Budidaya Tanaman Anggrek *Dendrobium* sp. dengan Teknik Kultur Meristem serta Pengaruh Penambahan Berbagai Ekstrak terhadap Pertumbuhannya. *Prosiding Biologi Achieving the Sustainable Development Goals with Biodiversity in Confronting Climate Change*, (November), pp. 434–441. Available at: <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/psb>.
- Dwitama AG, Darsono, Fajarningsih RU. 2022. Analisis Kinerja Perdagangan Dan Daya Saing Komoditas Vanili Indonesia Di Pasar Internasional Periode 2010-2019. *Agrista*, 10(2), 43–58.
- Dwiyani R. 2015. *Kultur Jaringan Tanaman*. Cetakan Pertama. Denpasar Barat: Pelawa Sari.
- Erawati DN, Wardati I, Humaida S, Mawadah Y, Ikanafi'ah A, Ryana WM. 2021. Shoots multiplication of vanilla (*Vanilla planifolia*) with benzyl amino purine and kinetin modification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 672(1), pp. 0–6. doi: 10.1088/1755-1315/672/1/012007.
- Erawati DN, Fisdiana U, Kadafi M. 2020. Respon Eksplan Vanili (*Vanilla planifolia*) dengan Stimulasi BAP dan NAA Melalui Teknik Mikropropagasi. *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*. 4(2), pp. 146–153. doi: 10.25047/agriprima.v4i2.362.
- Gantait S, Kundu S. 2017. In vitro biotechnological approaches on *Vanilla planifolia* Andrews: advancements and opportunities. *Acta Physiologiae Plantarum*. 39(9), pp. 1–19. doi: 10.1007/s11738-017-2462-1.
- Hernandez F, Dolce NR, Flores O, Rascon MP. 2020. Advances in cryopreservation of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) shoot-tips: assessment of new biotechnological and cryogenic factors. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*. 56(2), pp. 236–246. doi: 10.1007/s11627-020-10069-w.
- Janarthanam B, Seshadri S. 2008. Plantlet regeneration from leaf derived callus of *Vanilla planifolia* Andr. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*. 44(2), pp. 84–89. doi: 10.1007/s11627-008-9123-4.
- Karjadi A, Buchory A. 2008. Sifat Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Pengelolaan Terpadu Kebun Jeruk Sehat Dalam Pengembangan Agribisnis Jeruk Di Kabupaten Sambas, Kalimantan Barat. *Jurnal Hortikultura*. 18(4), pp. 380–384.
- Kumar NSS. 2014. Induction of vanillin related compounds from nodal explants of *Vanilla planifolia* using BAP and Kinetin. *Pelagia Research Library Asian Journal of Plant Science and Research*. 4(1), pp. 53–61. Available at: [www.pelagiaresearchlibrary.com](http://www.pelagiaresearchlibrary.com).
- Kusbianto DE, Kurniawan NC, Arum A, Restanto DP. 2022. Respon Bap Dan 2,4-D Terhadap Induksi Tunas Tanaman Vanili (*Vanilla planifolia*). *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 24(2), pp. 82–87. doi: 10.31186/jipi.24.2.82-87.
- Kusbianto DE, Haliza N, Restanto DP, Wulanjari D, Avivi S, Prayoga MC. 2024. The Effect of Benzyl Amino Purine (BAP) and Coconut Water on the Growth of Vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews.) In Vitro. *Jurnal Nature Indonesia*. 22(2): 76-83. <https://doi.org/10.31258/jnat/22.2.76-83>
- Manokari M, Priyadharshini S, Jogam P, Dey A. 2021. Meta-topolin and liquid medium mediated enhanced micropropagation via ex vitro rooting in *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 146(1), pp. 69–82. doi: 10.1007/s11240-021-02044-z.
- Nurholis. 2017. Perbanyak Tanaman Panili (*Vanilla planifolia* Andrews) Secara Setek dan Upaya untuk Mendukung Keberhasilan Serta Pertumbuhannya. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*. 10(2), pp. 149–156. doi: 10.21107/agrovigor.v10i2.4242.
- Palama TL, Menard P, Fock I, Choi YH, Bourdon E, Govinden J, Bahut M, Payet B, Verpoorte R, Kodja H. 2010. Shoot differentiation from protocorm callus cultures of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae): proteomic and metabolic responses at early stage. *BMC Plant Biology*. 1-18. <https://bmcplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2229-10-82>.
- Pathak AR, Joshi AG. 2021. Regeneration of *hemidesmus indicus* (L.) r. br. using in vitro nodes: An alternative method for efficient multiplication of shoots. *Notulae Scientia Biologicae*. 13(2), pp. 1–8. doi: 10.15835/nsb13210831.
- Prasaja D, Cahyono FK, Hanifa HAI, Nisa SK. 2024. Potensi Indonesia Menjadi Pengekspor Vanili Terbesar Di Dunia. *Journal of Science and Social Research*, 4307(1), 265–272. <http://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR>
- Priefert H, Rabenhorst J, Steinbuchel A. 2001. Biotechnological production of vanillin. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 56(3–4), pp. 296–314. doi: 10.1007/s002530100687.
- Raesita D, Timburas, Arthur G, Pinaria, Edy FL. 2023. Pengaruh Beberapa Konsentrasi Zat Pengatur Tumbuh (ZPT) Auksin Naa

- (Naphthalene Acetic Acid) Pada Pertumbuhan Akar Stek Vanili (*Vanilla planifolia* Andrews). *Jurnal Agroekoteknologi Terapan Universitas Sam Ratulangi*. 4(1), pp. 67–73.
- Ramirez-Mosqueda MA, Bello-Bello JJ. 2021. SETIS™ bioreactor increases in vitro multiplication and shoot length in vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews). *Acta Physiologiae Plantarum*. 43(4), pp. 1–8. doi: 10.1007/s11738-021-03227-z.
- Rosman R. 2015. Status dan strategi pengembangan panili di Indonesia. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. *Perspektif*. 4(2), pp. 43–54.
- Safitri R, Prihastanti E. 2023. Optimization of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) growth with auxin and *Trichoderma harzianum* combination treatment. *Journal of Applied Horticulture*, 25(3), 238–242. <https://doi.org/10.37855/jah.2023.v25i03.42>
- Soch J, Sonka J, Ponert J. 2023. Acid scarification as a potent treatment for an in vitro germination of mature endozoochorous *Vanilla planifolia* seeds. *Botanical Studies*. 64(1). doi: 10.1186/s40529-023-00374-z.
- Solano MCP, Ruiz JS, Arnao MTG, Castro OC, Tovar MEG, Bello JJB. 2019. Evaluation of in vitro shoot multiplication and ISSR marker based assessment of somaclonal variants at different subcultures of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25(2), pp. 561–567. doi: 10.1007/s12298-019-00645-9.
- Spinoso J, Santoscoy AC, Bogdanchikova N, Sato JAP. 2017. Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 129(2), pp. 195–207. doi: 10.1007/s11240-017-1169-8.
- Tan BC, Chin CF, Alderson P. 2013. Effects of sodium nitroprusside on shoot multiplication and regeneration of *Vanilla planifolia* Andrews. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*. 49(5), pp. 626–630. doi: 10.1007/s11627-013-9526-8.
- Timburas RD, Pinaria AG, Lengkong EF. 2023. The Effect Of Several Concentrations Of Growth Regulatory Substance (ZPT) Auxin NAA (Naphthalene Acetic Acid) On The Root Growth Of Vanila (*Vanilla planifolia* Andrew) Cuttings. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 4(1), 67–73. <https://doi.org/10.35791/jat.v4i1.44100>.

# PEDOMAN PENULISAN JURNAL AGROSAINSTEK

Jurnal Agrosainstek merupakan jurnal yang menerbitkan artikel hasil penelitian, artikel *review*, dan catatan penelitian (*research note*) terkait bidang agroteknologi, baik dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris. Bidang ilmu yang diterbitkan meliputi budidaya tanaman, pemuliaan tanaman, ekofisiologi tanaman, ilmu benih, lahan pertanian, pasca panen, hama penyakit tanaman, gulma, teknologi pertanian, dan bioteknologi pertanian.

Semua naskah yang diajukan ke jurnal harus ditulis dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris yang baik. Naskah dapat berupa: hasil-hasil penelitian mutakhir (paling lama 5 tahun terakhir), ulasan (*review*), analisis kebijakan atau catatan penelitian (*research note*) singkat mengenai teknik percobaan, alat, pengamatan, hasil awal percobaan (*preliminary result*). Naskah yang diterima adalah naskah yang belum pernah dimuat atau tidak sedang dalam proses publikasi dalam jurnal ilmiah nasional maupun internasional lainnya.

## FORMAT

Naskah dikirimkan dengan mengikuti format naskah yang telah ditentukan. Naskah, termasuk Abstrak dan *Abstract*, diketik 1,5 spasi pada kertas HVS ukuran A4 (210 x 297 mm), pias 2,5 cm di semua sisi, dan huruf Times New Roman berukuran 12 point. Naskah diketik dengan program *Microsoft Word* (doc). Setiap halaman diberi nomor secara berurutan dengan jumlah maksimal 15 halaman, termasuk tabel dan gambar. Tabel dan gambar disajikan di bagian akhir naskah (disatukan dengan naskah).

## SUSUNAN NASKAH

Naskah disusun dengan urutan:

- Judul
- Nama lengkap Penulis (beri tanda \* pada penulis untuk korespondensi)
- Nama lembaga/institusi, disertai alamat lengkap
- Email penulis untuk korespondensi
- Abstrak
- Kata kunci
- Pendahuluan
- Bahan dan Metode
- Hasil
- Pembahasan
- Kesimpulan
- Ucapan terima kasih (bila diperlukan)
- Daftar Pustaka
- Tabel dan gambar beserta keterangannya

Naskah berupa ulasan, analisis kebijakan, dan catatan penelitian tidak harus ditulis menurut susunan naskah hasil penelitian. Ketentuan untuk naskah berupa catatan penelitian adalah maksimum 10 halaman (termasuk tabel dan gambar). Pendahuluan dan metode ditulis singkat, dan tanpa abstrak. Ulasan ditulis sebagai naskah sinambung tanpa sub judul Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan.

Penulis dapat mengunduh **Template Penulisan Jurnal Agrosainstek** yang telah disediakan untuk memudahkan penulis dan mengurangi kesalahan dalam format penulisan.

## DESKRIPSI TIAP BAGIAN NASKAH

### Halaman Judul

Judul dicetak tebal (*bold*) dengan huruf kapital pada setiap awal kata, kecuali kata sambung. Judul maksimum terdiri atas 15 kata (kecuali kata sambung). Naskah dalam Bahasa Indonesia harus disertai judul dalam Bahasa Inggris yang ditulis miring (*italic*). Di bawah judul, ditulis nama lengkap (tidak disingkat) semua penulis beserta nama dan alamat lembaga afiliasi penulis. Beri tanda \* pada nama penulis untuk korespondensi. Alamat untuk korespondensi harus dilengkapi dengan kode pos, nomor telepon dan HP, faksimile, dan email.

### Abstrak dan Kata Kunci

Abstrak adalah paragraf yang berdiri sendiri dan harus mencakup tujuan, metode, dan hasil secara ringkas. Tidak ada kutipan pustaka di dalam Abstrak. Abstrak ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraph, maksimum 250 kata, dan diketik dalam 1,5 spasi. Kata kunci ditulis setelah abstrak, maksimum enam kata. Naskah dalam Bahasa Indonesia harus menyertakan juga abstrak dan kata kunci dalam Bahasa Indonesia, dituliskan setelah abstrak dan kata kunci dalam Bahasa Inggris.

### Teks

Awal paragraf dimulai dengan indent 1 cm dari sisi kiri naskah. Penulisan sub judul (**PENDAHULUAN, BAHAN DAN METODE, HASIL, PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH, DAFTAR PUSTAKA**) ditulis di tengah dengan huruf kapital. Sub-sub judul level 2 ditulis di kiri halaman dengan huruf kapital di awal setiap kata, sedangkan sub-sub judul level 3 ditulis dengan cetak miring (*italic*) dan huruf kapital di setiap awal kata. Setiap sub judul dan sub-sub judul diberikan nomor (contoh : 1. Pendahuluan, kemudian 1.1, 1.1.1, dst)

Nama organisme harus diikuti dengan nama ilmiahnya secara lengkap pada pengungkapan pertama. Nama ilmiah ditulis miring, sedangkan nama penulis dari nama ilmiah dan kata seperti var. ditulis tegak. Contoh: ***Elaeis guineensis* Jacq.** Singkatan pertama kali ditulis dalam kurung setelah kata kata yang disingkatnya. Nama organisme (Indonesia/Daerah) yang tidak umum dikenal harus diikuti nama ilmiahnya pada pengungkapan pertama kali. Contoh : **Keramunting (*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk).**

Penulisan satuan menggunakan Standar Internasional (SI). Eksponen negatif digunakan untuk menyatakan satuan penyebut. **Contoh: mg L<sup>-1</sup>, bukan mg/L.** Satuan ditulis menggunakan spasi setelah angka, kecuali untuk menyatakan persen. **Contoh: 37 °C, bukan 37°C; 0.8%, bukan 0.8 %.** Penulisan desimal menggunakan titik (bukan koma). Seluruh tabel dan gambar harus dirujuk dalam teks. Penggunaan nilai rata-rata (*means*) harus disertai dengan standar deviasi.

Hasil dan pembahasan ditulis secara terpisah. Hasil harus jelas dan singkat. Menyatakan hasil yang diperoleh berdasarkan metode yang telah dilakukan. Hindari penggunaan data yang sama pada tabel dan grafik. Pembahasan harus menjelaskan secara detail hasil yang diperoleh. Data dibahas dengan membandingkan data yang telah diperoleh saat ini dan hasil penelitian sebelumnya. Ungkapkan kesamaan, perbedaan, dan keunikan dari data penelitian anda.

Disarankan untuk menghindari kutipan yang terlalu umum dan membahas literatur yang telah dipublikasikan.

Kesimpulan harus menjawab tujuan penelitian. Menceritakan bagaimana kelebihan penelitian ditinjau dari perkembangan ilmu pengetahuan. Jangan mengulangi isi abstrak atau hanya daftar hasil eksperimen. Kesimpulan memberikan pembenaran ilmiah yang jelas untuk hasil penelitian dan kemungkinan untuk dikembangkan ataupun diaplikasikan. Anda juga bisa menyarankan untuk penelitian selanjutnya terkait dengan topik tersebut.

#### Daftar Pustaka

Ketentuan untuk pustaka sebagai rujukan adalah:

1. Sumber pustaka primer: jurnal, paten, disertasi, tesis, dan buku teks, yang ditulis dalam 10 tahun terakhir.
2. Proporsi jurnal minimal 80%.
3. Membatasi jumlah pustaka yang mengacu pada diri sendiri (*self citation*).
4. Sebaiknya dihindari: penggunaan pustaka di dalam pustaka, buku populer, dan pustaka dari internet kecuali jurnal dan dari instansi pemerintah atau swasta.
5. Abstrak tidak diperbolehkan sebagai rujukan.

**Pustaka di dalam teks.** Pustaka ditulis menurut nama akhir (nama keluarga) dan tahun. Jika penulis lebih dari dua orang, maka ditulis nama penulis pertama diikuti dengan *et al.* yang dicetak miring (*italic*). Jika penulis hanya dua orang, maka ditulis menggunakan simbol &. Contoh:

**Yusnita et al. (1997)** menyatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan akar pada setek, adalah zat pengatur pertumbuhan.

Zat perangsang akar seperti IBA dan NAA yang ditambahkan pada setek mampu meningkatkan inisiasi, jumlah, dan kualitas akar (**Hitchcock & Zimmerman 1936**).

Daftar pustaka ditulis berdasarkan urutan alfabet dari nama akhir penulis pertama. Pustaka dengan nama penulis (kelompok penulis) yang sama diurutkan secara kronologis. Apabila ada lebih dari satu pustaka yang ditulis penulis (kelompok penulis) yang sama pada tahun yang sama, maka huruf 'a', 'b' dan seterusnya ditambahkan setelah tahun. Beberapa contoh penulisan daftar pustaka adalah sebagai berikut:

#### Jurnal:

Sopandie D, Hamim M, Jusuf N, Heryani. 1996. Toleransi Tanaman Kedelai Terhadap Cekaman Air: Akumulasi Prolinadan Asam Absisik dan Hubungannya dengan Potensial Osmotic Daun dan Penyesuaian Osmotic. *Bul. Agron.* 24(1): 9-14.

#### Buku

Suprihatno B, Daradjat AA, Satoto, Baehaki SE, Widiarta IN, Setyono A, Indrasari SE, Lesmana OS, Sembiring H. 2009. Deskripsi Varietas Padi. Subang : Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.

#### Bab dalam Buku:

Jones MM, Turner MC, Osmond CB. 1991. Mechanisms of Drought Resistance. *In: Paleg, L.G., D. Aspinall (eds). The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants.* New York : Academic Press. p15-53

#### Prosiding

Radjaguguk B. 1990. Pengelolaan Produktivitas Lahan Gambut. Dalam: Aguslin, T., M.H. Abas dan Yurnalis (eds). *Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Meningkatkan Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi.* Padang 17-18 Sept. 1990. hlm217-235.

#### Skripsi/Tesis/Disertasi:

Harnowo D. 1992. Respon Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) Terhadap Pemupukan Kalium dan Cekaman Kekeringan pada Fase Reproduksi. [Tesis]. Bogor: Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

#### Informasi dari Internet

Hansen L. 1999. Non-Target Effects of Bt Corn Pollen on the Monarch Butterfly (Lepidoptera. Danaeidae). <http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/D81.html>. [21 Agustus 1999].

#### Tabel

Tabel berukuran lebar maksimal 166 mm. Penomoran tabel adalah berurutan. Judul tabel ditulis singkat namun lengkap. Judul dan kepala tabel menggunakan huruf kapital pada awal kalimat. Garis vertikal tidak boleh digunakan. Catatan kaki menggunakan angka dengan kurung tutup dan diketik *superscript*. Tanda bintang (\*) atau (\*\*) digunakan untuk menunjukkan tingkat nyata berturut-turut pada taraf 95% dan 99%. Jika digunakan taraf nyata yang lain, gunakan simbol tambahan.

#### Gambar

Gambar dan ilustrasi harus menggunakan resolusi tinggi dan kontras yang baik dalam format JPEG, PDF atau TIFF. Resolusi minimal untuk foto adalah 300 dpi (*dot per inch*), sedangkan untuk grafik dan *line art* adalah 600 dpi. Gambar hitam putih harus dibuat dalam mode *grayscale*, sedangkan gambar berwarna dalam mode RGB. Gambar dibuat berukuran lebar maksimal 80 mm (satu kolom), 125 mm (satu setengah kolom), atau 166 mm (dua kolom). Keterangan di dalam gambar harus jelas. Jika ukuran gambar diperkecil maka semua tulisan harus tetap dapat terbaca.

#### Prosedur Publikasi

Seluruh naskah yang diterima akan dikirimkan ke Dewan Editor untuk dinilai. Dewan Editor berhak meminta penulis untuk melakukan perbaikan sebelum naskah dikirim ke penelaah. Editor juga berhak menolak naskah jika naskah tidak sesuai dengan format yang telah ditentukan.

Naskah akan ditelaah oleh minimum dua orang ahli di bidang yang bersangkutan (mitra bestari). Hasil penelaahan akan diberitahukan kepada penulis untuk diperbaiki dan kemudian ditelaah kembali oleh mitra bestari. Dewan Editor akan menentukan naskah yang dapat diterbitkan berdasarkan hasil penelaahan. Naskah akhir sebelum diterbitkan akan dikirimkan kembali kepada penulis untuk mendapatkan persetujuan.

#### Pengiriman Naskah dan Biaya Publikasi

Naskah dikirimkan dalam bentuk file Ms. Word melalui website jurnal [agrosainstek](http://agrosainstek.ubb.ac.id) atau ke alamat email : [agrosainstek@ubb.ac.id](mailto:agrosainstek@ubb.ac.id). Biaya publikasi naskah yang telah disetujui adalah **Rp. 1.000.000**.