

Respons Pertumbuhan Morfologi dan Fisiologi Vegetatif Bibit Kakao (*Theobroma cacao* L.) pada Beberapa Klon dan Komposisi Media Tanam

(Vegetative Morphological and Physiological Growth Responses of Cocoa Seedlings [Theobroma cacao L.] to Varied Clones and Planting Media Compositions)

Virna, Junaedi *, Darmawan, Syahrini Thamrin, Andi Besse Poleuleng

Program Studi Magister Terapan Ketahanan Pangan, Politeknik Pertanian Negeri Pangkep, Jalan Poros Makassar Parepare Km. 83 Mandalle, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan, 90655, Indonesia

E-mail: junaedi@polipangkep.ac.id

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: April 23, 2026

Accepted: July 25, 2026

Published: July 27, 2026

Keywords:

cocoa clones,
planting media,
morphology,
physiology,
cocoa pod husk compost

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of Indonesia's leading plantation commodities and plays a significant role in the national economy. However, cocoa productivity is often constrained by poor seedling quality, unsuitable planting media, and limited nutrient availability. Therefore, this study aimed to evaluate the morphological and physiological responses of several cocoa clones grown in different planting media compositions to identify the most suitable combination for seedling growth. The experiment was conducted using a factorial Randomized Block Design (RBD) with two factors. The first factor consisted of three cocoa clones: Sulawesi 01 (K_1), MCC 02 (K_2), and ICCRI 09 (K_3). The second factor comprised four planting media compositions (M_0 , M_1 , M_2 , and M_3), resulting in 12 treatment combinations. The data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% significance level whenever significant differences were detected. The results showed that the interaction between clone MCC 02 (K_2) and planting medium M_3 (25% topsoil + 25% rice husk ash + 25% cocoa pod husk compost + 25% chicken manure) produced the best growth response by significantly increasing the number of leaves to 13.33 leaves at 90 days after planting (DAP). In contrast, the highest leaf chlorophyll content (3.43 mg kg^{-1} at 90 DAP) was obtained from the combination of clone MCC 02 and planting medium M_2 . Independently, clone MCC 02 exhibited superior vegetative and physiological performance compared with Sulawesi 01 and ICCRI 09, as indicated by the largest stem diameter (8.24 mm), the highest leaf area index (21.01 cm^2), and the greatest stomatal conductance ($15.24 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) at 90 DAP. Similarly, planting medium M_3 consistently produced the best seedling growth, resulting in the greatest plant height (42.97 cm), stem diameter (8.52 mm), leaf area index (21.87 cm^2), and stomatal conductance ($16.15 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) at 90 DAP.



Copyright © 2026 Author(s). This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan di Indonesia yang memegang peranan strategis dalam menopang perekonomian nasional melalui kontribusinya terhadap penerimaan devisa negara dan penyediaan lapangan kerja bagi jutaan petani. Secara global, Indonesia merupakan produsen kakao terbesar ketujuh di dunia sekaligus pemimpin produksi di benua Asia dengan total volume 180 ribu ton pada tahun 2021 (ICCO, 2021). Namun, potensi agroklimat yang mendukung ini dihadapkan pada ancaman penurunan produktivitas yang nyata di tingkat regional. Di Sulawesi Selatan, yang dikenal sebagai salah satu sentra kakao utama, data statistik menunjukkan tren penurunan produksi dari 113.366 ton pada tahun 2019 menjadi 86.897 ton pada tahun 2022 (BPS, 2024). Penurunan ini dipicu oleh penuaan tanaman, alih fungsi lahan, serangan hama dan penyakit, serta belum optimalnya penerapan aspek budidaya tanaman.

Upaya krusial untuk memulihkan dan meningkatkan kembali kuantitas serta kualitas produktivitas kakao adalah melalui perbaikan pada fase pembibitan. Pembibitan merupakan tahap awal penentu vigor tanaman yang akan memengaruhi keberhasilan serta daya adaptasi bibit saat dipindah ke lapangan (*field establishment*). Fase pertumbuhan vegetatif awal membutuhkan suplai hara serta kondisi fisiologis yang optimal agar bibit mampu membentuk perakaran dan tajuk yang kokoh. Namun, keterbatasan ketersediaan media tanam berkualitas dan pengelolaan nutrisi bibit yang kurang efisien sering kali menjadi kendala utama dalam pembibitan kakao di tingkat petani (Yeni et al., 2022).

Penggunaan klon unggul menjadi salah satu strategi utama dalam perakitan bibit kakao berdaya hasil tinggi. Klon-klon seperti Sulawesi 01, MCC 02, dan ICCRI 09 telah dikenal luas memiliki potensi produksi yang baik serta ketahanan relatif terhadap cekaman lingkungan tertentu. Meski demikian, potensi genetik dari masing-masing klon tersebut tidak akan terekspresi secara maksimal apabila tidak didukung oleh penyediaan media tanam yang sesuai. Keragaman respons fisiologis dan morfologis antar klon menuntut pemilihan kombinasi media yang tepat agar proses pembelahan sel dan pembentukan organ tanaman berjalan secara optimal (Weihsan et al., 2023).

Di sisi lain, pemanfaatan limbah pertanian lokal sebagai bahan campuran media tanam menawarkan solusi ramah lingkungan sekaligus efisien secara ekonomi. Penggunaan formulasi berbasis *top soil* yang diperkaya dengan abu, limbah kulit buah kakao, dan pupuk kotoran ayam mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Limbah kulit buah kakao dan kotoran ayam kaya akan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, sedangkan abu membantu menetralkan keasaman media dan menyediakan unsur hara sekunder. Integrasi limbah organik ini diharapkan mampu menciptakan perakaran yang sehat serta memicu aktivitas fotosintesis bibit secara memadai.

Meskipun kajian mengenai bahan organik dan klon kakao telah banyak dilakukan, evaluasi yang secara spesifik mengukur respons interaktif antara klon unggul (Sulawesi 01, MCC 02, dan ICCRI 09) dengan formulasi media tanam berbasis limbah pertanian terhadap karakter agronomis dan fisiologis bibit masih terbatas. Karakterisasi mendalam melalui parameter pertumbuhan morfologis (tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan indeks luas daun) serta parameter fisiologis (klorofil daun dan konduktansi stomata) sangat diperlukan untuk memahami efisiensi fotosintesis dan adaptabilitas bibit. Oleh karena itu, penelitian ini

bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis klon kakao (Sulawesi 01, MCC 02, dan ICCRI 09) dan formulasi media tanam berbasis limbah pertanian terhadap pertumbuhan vegetatif bibit (tinggi, jumlah daun, diameter batang, dan indeks luas daun), menganalisis kinerja fisiologisnya melalui akumulasi kandungan klorofil daun serta regulasi konduktansi stomata sebagai indikator efisiensi fotosintesis dan hidrasi bibit, serta menentukan kombinasi interaksi terbaik antara faktor genetik klon dan media tanam yang mampu menghasilkan performa bibit kakao paling optimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2025 sampai bulan Februari 2026, yang bertempat di *greenhouse* Tettikenrarae, Kecamatan Marioriwawo, Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Alat dan bahan yang digunakan adalah alat tulis, penggaris, jangka sorong, polibag ukuran 17×25, kamera, alat pengukuran leaf porometer (model SC-1), spektrofotometer, mesin pencacah limbah kulit kakao, benih kakao klon Sulawesi 01, MCC 02, dan ICCRI 09, tanah top soil, abu sekam, kompos kulit buah kakao, dan pupuk organik kotoran ayam.

Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok (RAK) pola faktorial, yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah jenis klon kakao yang terdiri atas tiga jenis, yaitu K_1 = Sulawesi 01, K_2 = MCC 02, dan K_3 = ICCRI 09. Faktor kedua adalah variasi media tanam yang terdiri atas empat kombinasi yaitu M_0 = top soil 100%, M_1 = top soil 50% + abu sekam 50%, M_2 = topsoil 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%, dan M_3 = top soil 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%. Kedua faktor tersebut menghasilkan 12 kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali dan setiap unit percobaan terdiri atas 2 tanaman sampel, sehingga secara keseluruhan terdapat 72 unit bibit tanaman kakao eksperimental.

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi persiapan area penempatan bibit, persiapan media tanam, persiapan bahan tanam, pemeliharaan, serta pengamatan parameter pertumbuhan dan fisiologis. Bahan tanam yang digunakan berupa benih kakao yang diperoleh dari kebun kelompok tani Tettikenrarae, Kecamatan Marioriwawo, Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Pemeraman benih dilakukan selama 3 hari menggunakan media serbuk gergaji (*somel*) hingga berkecambah. Selanjutnya, kecambah dipindahkan ke dalam polibag berukuran 17 cm x 25 cm yang telah disiapkan di dalam *greenhouse*, lalu disiram secara rutin setiap pagi dan sore hari. Bahan media tanam terdiri atas *topsoil*, abu sekam, kompos kulit buah kakao, dan pupuk kandang ayam yang telah dikomposkan selama dua bulan. Komposisi masing-masing media tanam disusun berdasarkan perbandingan volume per volume (v/v) sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan (M_0 , M_1 , M_2 , dan M_3). Kompos kulit buah kakao diperoleh melalui proses pengomposan selama dua bulan setelah kulit buah kakao dicacah hingga berukuran kecil menggunakan mesin pencacah. Selama proses pengomposan, tumpukan kompos dibalik setiap minggu untuk menjaga aerasi dan kelembapan agar proses dekomposisi berlangsung secara optimal. Kompos dinyatakan matang berdasarkan indikator fisik, yaitu berwarna coklat kehitaman, bertekstur remah, tidak berbau menyengat, dan memiliki suhu yang stabil mendekati suhu lingkungan. Pupuk kandang ayam yang digunakan juga merupakan pupuk yang telah mengalami dekomposisi selama dua bulan sehingga telah mencapai kondisi matang dan siap diaplikasikan sebagai bahan penyusun media tanam.

Pengamatan terhadap variabel pertumbuhan dilakukan secara berkala pada saat tanaman berumur 30, 45, 60, 75, dan 90 hari setelah tanam (HST). Variabel pengamatan morfologi yang

diamati yaitu tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, dan indeks luas daun. Variabel fisiologis yaitu konduktansi stomata dan kandungan klorofil. Data dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA). Apabila hasil menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinggi Tanaman

Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan beberapa jenis klon kakao tidak berpengaruh pada bibit kakao umur 30-90 hari setelah tanam (HST), sedangkan perlakuan variasi media tanam memberikan pengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman bibit kakao umur 60-90 hari setelah tanam (HST). Namun, interaksi antara jenis klon dengan variasi media tanam tidak berpengaruh pada tinggi tanaman bibit kakao.

Tabel 1. Pengaruh jenis klon dan variasi media tanam pada tinggi bibit kakao

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)				
	30 HST	45 HST	60 HST	75 HST	90 HST
Klon					
Sulawesi01	23,12	25,15	28,43	30,30	35,26
MCC02	25,61	27,93	30,79	32,09	38,61
ICCRI09	23,02	25,96	29,88	32,23	39,59
Media tanam					
<i>Top soil</i> 100% (M ₀)	20,86	23,13	25,33 ^a	27,28 ^a	32,36 ^a
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 50% (M ₁)	23,75	26,08	28,61 ^{ab}	30,25 ^{ab}	36,44 ^{ab}
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% (M ₂)	24,06	27,00	31,19 ^{bc}	33,00 ^b	39,48 ^{bc}
<i>Top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25% (M ₃)	26,98	29,16	33,65 ^c	35,61 ^b	42,97 ^c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

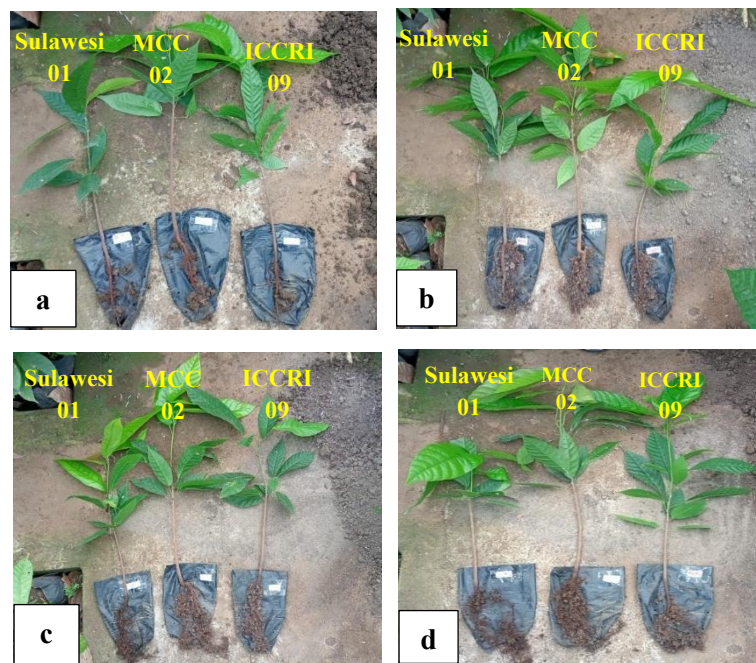
Pertumbuhan tinggi tanaman bibit kakao menunjukkan pola peningkatan seiring bertambahnya umur tanaman dari 30 hingga 90 hari setelah tanam (HST). Tinggi tanaman merupakan salah satu parameter vegetatif yang sangat sensitif terhadap ketersediaan hara, kondisi fisik media tanam, serta potensi genetik klon yang digunakan. Pembentukan jaringan meristem apikal pada pucuk batang sangat bergantung pada suplai hara makro seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) yang cukup untuk mendukung proses pembelahan dan pemanjangan sel (Gardner et al., 2017).

Berdasarkan Tabel 1, perlakuan jenis klon secara umum menunjukkan tren pertumbuhan tinggi yang bervariasi hingga umur 90 HST. Klon ICCRI 09 memiliki rata-rata tinggi tanaman tertinggi pada 90 HST, yaitu sebesar 39,59 cm, diikuti oleh klon MCC 02 sebesar 38,61 cm, dan klon Sulawesi 01 sebesar 35,26 cm. Perbedaan tren pertumbuhan antarklon ini berkaitan erat dengan ekspresi potensi genetik masing-masing klon terhadap pembelahan sel vegetatif dan efisiensi penyerapan hara. Klon ICCRI 09 dan MCC 02 dikenal memiliki responsivitas

fisiologis serta daya adaptasi yang tinggi pada fase pembibitan awal, yang mendorong aktivitas hormon auksin pada bagian apikal secara optimal (Baon et al., 2014; Rubiyo & Siswanto, 2012). Hal ini sejalan dengan temuan Wardiana et al. (2018) yang menyatakan bahwa karakter genetik klon kakao sangat menentukan kecepatan laju pembelahan sel meristem apikal pada fase *vegetative seedling*.

Perlakuan variasi media tanam memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi bibit kakao mulai umur 60 HST hingga 90 HST berdasarkan uji DMRT taraf 5%. Media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) konsisten menghasilkan tinggi bibit terbaik pada setiap umur pengamatan, mencapai 42,97 cm pada 90 HST. Angka ini berbeda nyata secara statistik dibandingkan dengan perlakuan kontrol M₀ (32,36 cm), M₁ (36,44 cm), dan M₂ (39,48 cm). Ketersediaan hara yang seimbang pada media tanam dengan kombinasi M₃ menciptakan lingkungan zona perakaran (*rhizosphere*) yang ideal. Perluasan sistem perakaran yang optimal memungkinkan penyerapan air dan nutrisi berjalan maksimal, yang kemudian ditranslokasikan ke organ apikal untuk mendukung sintesis protein dan pemanjangan sel batang (Nugroho et al., 2021). Sebaliknya, pada perlakuan kontrol (M₀), keterbatasan ketersediaan hara makro serta kepadatan tanah tanpa bahan pembenah organik menyebabkan laju pertumbuhan tinggi bibit menjadi paling lambat.

Secara visual pada Gambar 1a–1d, bibit kakao yang ditanam pada media M₃ (Gambar 1d) menunjukkan habitus tanaman yang paling tinggi dan kekar dibandingkan dengan media M₀ (Gambar 1a). Pemanjangan ruas batang (*internode*) tampak lebih optimal pada perlakuan M₃ karena ketersediaan hara nitrogen (N) yang memicu pembelahan sel pada meristem apikal pucuk. Klon MCC 02 dan ICCRI 09 pada media M₃ menunjukkan pencapaian tinggi tajuk yang paling menonjol dibandingkan perlakuan kontrol M₀ yang cenderung kerdil (*stunted*).



Gambar 1. Keragaan bibit kakao pada media M₀ (a), keragaan bibit kakao pada media M₁ (b), keragaan bibit kakao pada media M₂ (c), keragaan bibit kakao pada media M₃ (d)

Jumlah Daun

Tabel 2 menunjukkan bahwa klon, media tanam, dan interaksi keduanya berpengaruh pada jumlah daun bibit kakao pada umur 30, 45, dan 90 hari setelah tanam (HST). Namun, pada umur 60 dan 75 hari setelah tanam (HST), hanya perlakuan media tanam yang berpengaruh terhadap jumlah daun (Tabel 3).

Tabel 2. Interaksi antara jenis klon dan variasi media tanam terhadap jumlah daun bibit kakao pada umur 30, 45, dan 90 hari setelah tanam (HST)

Perlakuan (K×M)	Jumlah daun (helai)		
	30 HST	45 HST	90 HST
Sulawesi01 + <i>top soil</i> 100%	4,00 ^{ab}	4,00 ^a	8,67 ^a
Sulawesi01 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	4,00 ^{ab}	5,00 ^{bc}	10,33 ^c
Sulawesi01 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% +	4,33 ^b	5,33 ^{cd}	11,67 ^e
Sulawesi01 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% +	5,00 ^c	5,67 ^{de}	11,67 ^e
kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25%			
MCC02 + <i>top soil</i> 100%	3,67 ^a	4,00 ^a	8,33 ^a
MCC02 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	5,00 ^c	5,33 ^{cd}	10,00 ^c
MCC02 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% +	5,67 ^d	6,33 ^{fg}	11,33 ^{de}
kompos kulit kakao 25%			
MCC02 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% +	6,00 ^d	6,67 ^g	13,33 ^g
kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25%			
ICCRI09 + <i>top soil</i> 100%	3,67 ^a	4,67 ^b	8,67 ^a
ICCRI09 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	5,00 ^c	6,00 ^{ef}	9,33 ^b
ICCRI09 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% +	5,00 ^c	6,33 ^{fg}	11,00 ^d
kompos kulit kakao 25%			
ICCRI09 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% +	5,67 ^d	6,67 ^g	12,67 ^f
kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25%			

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Berdasarkan Tabel 2, interaksi antara klon kakao dan variasi media tanam memberikan pengaruh terhadap parameter jumlah daun bibit kakao pada pengamatan umur 30, 45, dan 90 hari setelah tanam (HST). Adanya interaksi ini mengindikasikan bahwa tanggapan atau respons fisiologis masing-masing klon kakao terhadap pembentukan organ daun sangat bergantung pada komposisi dan ketersediaan nutrisi dalam media tanam tempat bibit tumbuh. Pada pengamatan umur 30 HST, kombinasi perlakuan klon MCC 02 dengan media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) menghasilkan rerata jumlah daun terbanyak, yaitu 6,00 helai, tidak berbeda nyata dengan MCC 02 + M₂ (5,67 helai) dan ICCRI 09 + M₃ (5,67 helai), namun berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (M₀). Tren peningkatan jumlah daun ini terus berlanjut hingga pengamatan akhir di umur 90 HST, di mana interaksi klon MCC 02 + media M₃ konsisten mencatatkan rerata jumlah daun tertinggi, yaitu sebesar 13,33 helai, diikuti oleh ICCRI 09 + media M₃ (12,67 helai). Sebaliknya, jumlah daun paling sedikit pada 90 HST ditemukan pada seluruh perlakuan kontrol M₀ (*top soil* 100%), baik pada klon MCC 02 (8,33 helai), Sulawesi 01 (8,67 helai), maupun ICCRI 09 (8,67 helai). Keunggulan interaksi klon MCC 02 yang ditanam pada media M₃ terjadi karena adanya keselarasan antara potensi genetik klon unggul dengan

perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Klon MCC 02 dikenal memiliki daya adaptasi terhadap lingkungan serta laju metabolisme dan pembelahan sel yang cepat pada fase awal pembibitan (Mawardi & Towaha, 2018; Wardiana et al., 2018). Ketika klon berefisiensi tinggi ini ditunjang oleh media M₃, kebutuhan hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) terpenuhi secara optimal. Unsur N dari kotoran ayam berperan sebagai penyusun utama asam amino dan klorofil yang secara langsung mendorong pembentukan primordia daun baru di zona meristem apikal (Laila et al., 2021). Selain pasokan nutrisi yang melimpah, pencampuran abu sekam padi dan kompos kulit kakao pada media M₃ menciptakan struktur tanah yang remah, dengan ketersediaan ruang pori (aerasi) serta kapasitas menahan air yang ideal. Penambahan bahan organik ini meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) media, sehingga nutrisi tidak mudah terliat (*leaching*) dan dapat diserap secara bertahap (*slow release*) oleh perakaran bibit kakao (Rosniawaty et al., 2021).

Tabel 3. Pengaruh faktor tunggal jenis klon dan variasi media tanam terhadap jumlah daun bibit kakao pada umur 60 dan 75 hari setelah tanam (HST)

Perlakuan	Jumlah daun (helai)	
	60 HST	75 HST
Klon		
Sulawesi 01	7,00	7,67
MCC 02	7,17	8,75
ICCRI 09	6,67	8,00
Media tanam		
<i>Top soil</i> 100% (M ₀)	5,78 ^a	7,11 ^a
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 50% (M ₁)	6,56 ^{ab}	7,78 ^a
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% (M ₂)	7,22 ^b	8,22 ^{ab}
<i>Top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25% (M ₃)	8,22 ^c	9,44 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Sistem perakaran yang berkembang luas pada media yang gembur memicu peningkatan translokasi air dan hara menuju bagian pucuk, yang pada akhirnya mengakselerasi pembukaan flush daun baru dalam jumlah yang lebih banyak (Baon et al., 2014; Suryani et al., 2019). Sebaliknya, pada perlakuan tanah *top soil* tunggal (M₀), tingkat kepadatan tanah yang lebih tinggi serta ketersediaan hara makro yang terbatas menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan organ vegetatif. Tanaman pada media M₀ mengalami hambatan dalam inisiasi daun baru akibat terbatasnya suplai N dan P yang diperlukan untuk pembelahan sel meristem apikal (Sutejo & Kartasapoetra, 2011). Hal ini membuktikan bahwa potensi genetik unggul dari klon seperti MCC 02 tidak dapat diekspresikan secara maksimal tanpa adanya modifikasi media tanam berbasis bahan organik yang kaya nutrisi.

Berdasarkan Tabel 3, interaksi antara jenis klon dan variasi media tanam tidak berpengaruh terhadap jumlah daun bibit kakao pada umur 60 dan 75 hari setelah tanam (HST). Faktor tunggal beberapa klon tidak berpengaruh pada jumlah daun bibit kakao pada umur 60

dan 75 HST, sedangkan faktor tunggal variasi media tanam memberikan pengaruh terhadap respons jumlah daun bibit kakao pada kedua umur pengamatan tersebut.

Pada faktor tunggal jenis klon, rerata jumlah daun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik antarklon. Pada umur 60 HST, klon MCC 02 mencatatkan 7,17 helai, Sulawesi 01 sebesar 7,00 helai, dan ICCRI 09 sebesar 6,67 helai. Pola yang relatif homogen ini berlanjut hingga 75 HST, di mana klon MCC 02 menghasilkan 8,75 helai, ICCRI 09 sebesar 8,00 helai, dan Sulawesi 01 sebesar 7,67 helai. Kesamaan respons antarklon pada fase pertengahan ini diduga berkaitan dengan fase dormansi relatif atau fase penyesuaian pertumbuhan (*flushing phase*) yang seragam. Menurut Mawardi & Towaha (2018), pada kisaran umur 60–75 HST, tanaman kakao kerap mengalami fase transisi alokasi fotosintat dari pembentukan organ daun baru (*flushing*) menuju penguatan jaringan batang dan perpanjangan sel intermodal. Pada fase transisi ini, ekspresi genetik antarklon unggul cenderung stabil dan homogen.

Sebaliknya, faktor tunggal media tanam memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik pada pengamatan pada 60 dan 75 HST. Perlakuan media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25) konsisten menghasilkan rerata jumlah daun terbanyak, yaitu 8,22 helai pada 60 HST dan 9,44 helai pada 75 HST. Pada 60 HST, perlakuan M₃ berbeda nyata dengan perlakuan M₂ (7,22 helai), M₁ (6,56 helai), dan kontrol M₀ (5,78 helai). Sementara pada 75 HST, perlakuan M₃ unggul signifikan dibandingkan dengan M₀ (7,11 helai), M₁ (7,78 helai), dan M₂ (8,22).

Tampilan morfologi tajuk pada Gambar 1 memperlihatkan kerapatan susunan daun yang semakin padat seiring bertambahnya komponen bahan organik dalam media (M₀, M₁, M₂, M₃). Bibit pada media M₃ (Gambar 1d) menghasilkan jumlah daun yang lebih banyak dan rimbun pada ketiga klon, dengan keunggulan tertinggi pada klon MCC 02. Sebaliknya, pada media M₀ (Gambar 1a), jumlah daun tampak lebih sedikit dengan interval jarak antardaun yang renggang akibat keterbatasan nutrisi pemicu pembentukan primordia daun.

Diameter Batang

Tabel 4 menunjukkan bahwa diameter batang bibit kakao pada umur 30-75 HST tidak berpengaruh pada seluruh faktor perlakuan. Namun, pada pengamatan 90 HST, perbedaan klon dan perlakuan media tanam memberikan pengaruh terhadap diameter batang, meskipun interaksi di antara keduanya tidak berpengaruh. Pertumbuhan diameter batang merupakan indikator pembelahan sel-sel kambium (meristem sekunder) yang mencerminkan tingkat kekokohan serta translokasi hasil fotosintesis pada pembibitan tanaman kakao. Jenis klon dan variasi media tanam tidak memberikan interaksi yang nyata, namun secara mandiri (faktor tunggal) memberikan respons yang signifikan terhadap peningkatan diameter batang bibit kakao seiring bertambahnya umur tanaman dari 30-90 hari setelah tanam (HST).

Pada faktor tunggal jenis klon, pertumbuhan diameter batang pada umur 30, 45, 60, dan 75 HST menunjukkan respons yang relatif homogen tanpa adanya perbedaan nyata secara statistik. Namun, pada pengamatan akhir yaitu 90 HST, faktor klon memberikan pengaruh yang nyata, di mana klon MCC 02 menghasilkan diameter batang terbesar yaitu 8,24 mm, yang berbeda nyata dibandingkan dengan klon ICCRI 09 (7,06 mm), namun berbeda tidak nyata dengan klon Sulawesi 01 (7,56 mm). Tingginya penambahan diameter batang pada klon MCC 02 dipengaruhi oleh potensi genetik dalam memproduksi dan mentranslokasikan karbohidrat

hasil fotosintesis ke jaringan kambium lateral. Nugroho et al. (2021) menjelaskan bahwa respons pertumbuhan vegetatif antarklon kakao ditentukan oleh aktivitas pembelahan jaringan kambium vaskular yang dipicu oleh fitohormon endogen spesifik klon. Hal ini juga selaras dengan temuan Widyastuti et al. (2021) yang menyatakan bahwa klon MCC 02 memiliki efisiensi fisiologis yang unggul dalam merangsang penebalan jaringan batang pada fase vegetatif akhir di pembibitan.

Tabel 4. Pengaruh jenis klon dan variasi media tanam pada diameter batang bibit kakao (mm)

Perlakuan	Diameter batang (mm)				
	30 HST	45 HST	60 HST	75 HST	90 HST
Klon					
Sulawesi01	3,19	3,35	3,73	4,46	7,56 ^{ab}
MCC02	3,22	3,39	3,79	4,55	8,24 ^b
ICCRI09	3,23	3,43	3,88	4,74	7,06 ^a
Media tanam					
<i>Top soil</i> 100% (M ₀)	3,15	3,30	3,58	4,27	6,51 ^a
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 50% (M ₁)	3,19	3,37	3,74	4,53	7,33 ^{ab}
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% (M ₂)	3,22	3,42	3,86	4,69	8,10 ^b
<i>Top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit	3,27	3,47	4,02	4,84	8,52 ^c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Pada faktor tunggal variasi media tanam, respons diameter batang mulai menunjukkan perbedaan nyata pada pengamatan umur 90 hari setelah tanam (HST). Media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) mencatatkan rata-rata diameter batang terbesar, yaitu 8,52 mm, secara signifikan berbeda nyata terhadap perlakuan M₂ (8,10 mm), M₁ (7,33 mm), dan perlakuan kontrol M₀ (6,51 mm).

Peningkatan pembelahan sel kambium batang pada media M₃ dipengaruhi oleh kombinasi bahan organik dan anorganik yang membenahi kualitas fisik, kimia, dan biologi media. Pemberian pupuk kotoran ayam menyuplai kebutuhan hara makro nitrogen, fosfor, dan kalium yang siap diserap oleh tanaman. Unsur N memacu sintesis protein dan pembentukan klorofil, sedangkan unsur K memegang peranan kunci dalam mengontrol tekanan turgor sel dan translokasi asimilat dari daun menuju batang untuk penebalan dinding sel (Setiawan et al., 2022). Di samping itu, kompos kulit kakao bertindak sebagai bahan organik yang meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) media serta menjaga kelembapan tanah, sementara abu sekam padi memperbaiki struktur sistem aerasi dan drainase perakaran (Riyanto et al., 2023).

Kondisi zona perakaran (*rhizosphere*) yang gembur dan kaya unsur hara pada media M₃ merangsang perkembangan sistem perakaran lateral yang luas. Penyerapan hara dan air yang optimal kemudian ditranslokasikan menuju organ atas tanaman untuk mendukung pembelahan sel-sel lateral pada batang (Sitompul et al., 2014). Sebaliknya, pada perlakuan kontrol (M₀), keterbatasan pasokan hara makro serta kepadatan fisik *top soil* tanpa pembenah organik

menyebabkan laju pembelahan kambium batang menjadi terhambat, sehingga menghasilkan diameter batang yang terendah.

Pengamatan pada bagian pangkal hingga tengah batang (Gambar 1) menunjukkan bahwa bibit pada media M_3 (Gambar 1d) memunculkan proporsi batang yang lebih tebal, kokoh, dan berkayu (*woody*) dibandingkan bibit pada media M_0 dan M_1 yang cenderung ramping dan lemas. Penebalan diameter batang pada media M_3 didukung oleh efisiensi pembelahan sel-sel kambium vaskular lateral yang disokong oleh ketersediaan hara kalium dan perbaikan aerasi tanah dari campuran abu sekam padi.

Indeks Luas Daun

Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan beberapa klon dan variasi media tanam berpengaruh pada indeks luas daun. Interaksi antarkombinasi perlakuan tidak berpengaruh pada indeks luas daun bibit kakao pada umur 90 HST. Indeks luas daun merupakan parameter fisiologis penting yang mencerminkan efisiensi penangkapan radiasi matahari oleh tajuk tanaman untuk berlangsungnya proses fotosintesis. Berdasarkan hasil uji DMRT taraf 5% pada Tabel 4, baik perlakuan faktor tunggal jenis klon maupun faktor tunggal variasi media tanam memberikan pengaruh yang berbeda nyata secara signifikan terhadap indeks luas daun bibit kakao pada pengamatan umur 90 hari setelah tanam (HST).

Tabel 5. Pengaruh jenis klon dan variasi media tanam pada indeks luas daun bibit kakao

Perlakuan	Indeks luas daun (cm ²)
	90 HST
Klon	
Sulawesi 01	18,63 ^b
MCC 02	21,01 ^c
ICCRI 09	16,81 ^a
Media tanam	
<i>Top soil</i> 100% (M_0)	16,03 ^a
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 50% (M_1)	17,77 ^b
<i>Top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% (M_2)	19,59 ^c
<i>Top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25% (M_3)	21,87 ^d

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Pada faktor tunggal jenis klon, klon MCC 02 menghasilkan rata-rata indeks luas daun terbesar yaitu 21,01 cm², yang berbeda nyata secara statistik terhadap klon Sulawesi 01 (18,63 cm²) dan klon ICCRI 09 (16,81 cm²). Perbedaan luas daun antarklon ini menunjukkan adanya tingkat variabilitas genetik dalam ekspresi fisiologis dan morfologi daun. Klon MCC 02 memiliki keunggulan genetik dalam pembentukan helai daun yang lebih lebar serta kemampuan akuisisi nutrisi yang efisien pada fase pembibitan. Perbedaan pertumbuhan daun pada setiap klon kakao dipengaruhi oleh karakter genetik yang dimiliki masing-masing klon. Wardiana *et al.*, (2018) menjelaskan bahwa setiap klon kakao memiliki keragaman genetik dan karakter morfologi yang berbeda, sehingga dapat menimbulkan variasi dalam pertumbuhan

vegetatif tanaman. Selain itu, Baon et al. (2014) menyatakan bahwa klon unggul kakao menunjukkan respons pertumbuhan yang berbeda pada berbagai kondisi lingkungan, yang tercermin pada perkembangan tajuk dan daun. Pertumbuhan daun yang lebih baik juga dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara. Laila et al. (2021) melaporkan bahwa pemberian pupuk kandang ayam yang dikombinasikan dengan pupuk NPK mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif bibit kakao, termasuk jumlah daun dan tinggi tanaman.

Pada faktor tunggal variasi media tanam, terjadi peningkatan indeks luas daun yang berbanding lurus dengan kelengkapan bahan organik pada media. Media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) menghasilkan indeks luas daun tertinggi sebesar 21,87 cm², yang berbeda nyata secara signifikan dengan perlakuan M₂ (19,59 cm²), M₁ (17,77 cm²), dan perlakuan kontrol M₀ (16,03 cm²).

Tingginya indeks luas daun pada media M₃ disebabkan oleh kecukupan suplai unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium yang berasal dari pupuk kotoran ayam dan kompos kulit kakao. Unsur N memainkan peranan utama dalam pembentukan organ vegetatif, perluasan sel parenkim lamina daun, serta pembentukan pigmen klorofil yang optimal (Nurahmi et al., 2021). Kalium merupakan salah satu unsur hara esensial yang berperan dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk menjaga keseimbangan air, aktivitas stomata, dan pembentukan jaringan tanaman. Ketersediaan kalium yang cukup mendukung perkembangan daun sehingga berkontribusi terhadap peningkatan indeks luas daun (Sutejo & Kartasapoetra, 2011).

Perpaduan abu sekam padi dan kompos kulit kakao diduga dapat memperbaiki sifat fisik media tanam, seperti aerasi, porositas, serta kemampuan media dalam menyediakan air dan unsur hara bagi tanaman. Kondisi media yang lebih gembur dan subur mendukung perkembangan sistem perakaran sehingga penyerapan air dan unsur hara menjadi lebih optimal. Ketersediaan hara yang memadai selanjutnya mendukung pembentukan dan perluasan daun, yang tercermin dari meningkatnya indeks luas daun (Manullang & Silalahi, 2019). Sebaliknya, pada perlakuan kontrol (M₀), keterbatasan unsur hara serta kondisi media yang kurang mendukung menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman sehingga menghasilkan indeks luas daun yang paling rendah.

Komposisi media tumbuh merupakan salah satu faktor penting yang menentukan pertumbuhan bibit kakao karena berpengaruh terhadap ketersediaan air, unsur hara, serta kondisi fisik media bagi perkembangan akar. Ahmad et al., (2022) melaporkan bahwa penggunaan media tumbuh yang dikombinasikan dengan bahan organik mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kakao, yang ditunjukkan melalui peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, biomassa tanaman, perkembangan akar, serta luas daun. Kondisi media yang lebih baik memungkinkan akar berkembang secara optimal sehingga penyerapan air dan unsur hara menjadi lebih efektif dalam mendukung pembentukan jaringan vegetatif, termasuk perluasan daun.

Secara visual, morfologi lamina (helai) daun bibit kakao pada media M₂ dan M₃ (Gambar 1c dan 1d) memperlihatkan ukuran daun yang lebih lebar, lebih panjang, dan membentang sempurna dibandingkan dengan daun pada media M₀ (Gambar 1a) yang berukuran lebih kecil dan mempit. Klon MCC 02 pada media M₃ memperlihatkan ekspresi luas helai daun paling

signifikan, yang berkorelasi positif dengan tingginya nilai indeks luas daun untuk mengoptimalkan penangkapan radiasi surya.

Konduktansi Stomata

Stomata merupakan lubang kecil yang berada pada epidermis daun yang berperan penting dalam aktivitas fotosintesis, penguapan air melalui proses transpirasi, dan sebagai tempat pertukaran gas O_2 dan CO_2 (Putri et al., 2016). Pengamatan konduktansi stomata bibit kakao hanya dilakukan pada umur 30 dan 90 hari setelah tanam (HST). Hasil sidik ragam konduktansi stomata (Tabel 6) menunjukkan bahwa perbedaan jenis klon dan interaksi antar kombinasi perlakuan tidak berpengaruh, sedangkan variasi media tanam berpengaruh pada umur 30 dan 90 hari setelah tanam (HST). Pengamatan parameter konduktansi stomata dibatasi pada umur 30 HST dan 90 HST untuk mengevaluasi perbedaan respon fisiologis awal tanaman (*baseline condition*) pasca aklimatisasi serta kapasitas pertukaran gas akumulatif pada akhir fase pembibitan sebelum bibit siap dipindahkan ke lapangan (*field transplanting*).

Tabel 6. Pengaruh jenis klon dan variasi media tanam pada konduktansi stomata

Perlakuan	Konduktansi stomata ($mmol.m^{-2}s^{-1}$)	
	30 HST	90 HST
Klon		
Sulawesi 01	10,24	14,55
MCC 02	10,92	15,24
ICCRI 09	11,21	14,58
Media tanam		
<i>Top soil</i> 100% (M_0)	9,34 ^a	13,21 ^a
Tanah top soil 50% + abu sekam 50% (M_1)	10,35 ^b	14,37 ^{ab}
Tanah top soil 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% (M_2)	11,39 ^{bc}	15,40 ^{ab}
Tanah top soil 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25% (M_3)	12,07 ^c	16,15 ^b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh yang tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Konduktansi stomata merupakan indikator fisiologis penting yang mengukur laju pembukaan celah stomata dalam memfasilitasi pertukaran gas (CO_2 dan H_2O) untuk proses fotosintesis dan transpirasi. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5, perlakuan faktor tunggal jenis klon menunjukkan respons yang relatif homogen (tidak berbeda nyata secara statistik), sedangkan faktor tunggal variasi media tanam memberikan pengaruh terhadap konduktansi stomata bibit kakao pada pengamatan umur 30 dan 90 hari setelah tanam (HST).

Pada faktor tunggal jenis klon, nilai konduktansi stomata cenderung meningkat seiring bertambahnya umur bibit dari 30 hingga 90 HST. Pada umur 30 HST, klon ICCRI 09 mencatatkan rerata konduktansi stomata tertinggi yaitu 11,21 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$. Nilai ini 9,47% lebih tinggi dibandingkan dengan klon Sulawesi 01 (10,24 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$) dan 2,66% lebih tinggi dibandingkan dengan klon MCC 02 (10,92 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$). Namun, memasuki umur 90 HST, klon MCC 02 mencatatkan konduktansi stomata tertinggi, yaitu sebesar 15,24 $mmol.m^{-2}.s^{-1}$, di

mana angka ini 4,74% lebih tinggi dibandingkan klon Sulawesi 01 ($14,55 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dan 4,53% lebih tinggi dibandingkan klon ICCRI 09 ($14,58 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Meskipun tidak berbeda nyata secara statistik, kecenderungan tingginya konduktansi stomata pada klon MCC 02 di akhir pembibitan mencerminkan kerapatan dan fleksibilitas pembukaan celah stomata yang lebih adaptif dalam menyerap CO_2 untuk fotosintesis. Perbedaan karakter fisiologis daun antarklon kakao dapat dipengaruhi oleh faktor genetik serta kemampuan tanaman dalam menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan, terutama dalam pengaturan keseimbangan air. Farhanandi et al. (2022) menjelaskan bahwa perbedaan karakter morfologi dan anatomi daun pada tanaman kakao dapat menunjukkan adanya variasi respons tanaman terhadap lingkungan tumbuh. Selain itu, Gardner et al. (2017) menyatakan bahwa stomata berperan penting dalam mengatur pertukaran gas dan kehilangan air melalui transpirasi, sehingga memengaruhi efisiensi penggunaan air dan pertumbuhan tanaman.

Pada faktor tunggal variasi media tanam, perlakuan media tanam M_3 (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) konsisten memberikan pengaruh positif signifikan terhadap konduktansi stomata pada kedua umur pengamatan. Pada 30 HST, perlakuan M_3 menghasilkan nilai konduktansi stomata terbesar yaitu $12,07 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, berbeda nyata secara statistik dibandingkan dengan perlakuan kontrol M_0 ($9,34 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), M_1 ($10,35 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), dan M_2 ($11,39 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Pada 90 HST, perlakuan M_3 tetap menghasilkan nilai tertinggi sebesar $16,15 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, unggul secara signifikan terhadap perlakuan kontrol M_0 ($13,21 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), M_1 ($14,37 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) dan perlakuan M_2 ($15,40 \text{ mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Meningkatnya nilai konduktansi stomata pada media M_3 diduga berkaitan dengan kondisi media tanam yang mampu menyediakan air dan unsur hara secara lebih optimal. Penambahan bahan organik berupa kotoran ayam dan kompos kulit kakao dapat memperbaiki kesuburan media serta meningkatkan ketersediaan unsur hara yang mendukung proses fisiologis tanaman (Rosniawaty et al., 2021). Unsur kalium berperan penting dalam menjaga keseimbangan air sel dan mengatur aktivitas stomata, sehingga mendukung proses pembukaan stomata melalui pengaturan tekanan turgor sel penjaga (Sutejo & Kartasapoetra, 2011). Selain itu, penggunaan abu sekam padi dalam media tanam dapat membantu memperbaiki sifat fisik media, sehingga mendukung ketersediaan air bagi tanaman (Sjam et al., 2012). Kondisi air yang cukup memungkinkan stomata tetap berfungsi secara optimal dalam mengatur pertukaran gas dan mendukung proses fotosintesis pada bibit kakao (Gardner et al., 2017; Yeni et al., 2022).

Meskipun konduktansi stomata merupakan parameter fisiologis mikroskopis, keragaan visual pada Gambar 1d menunjukkan bahwa bibit pada media M_3 memiliki daun yang turgid, segar, dan tidak mengalami gejala layu parsial. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem perakaran pada media M_3 bekerja efektif dalam menyerap air untuk menjaga tekanan turgor sel penjaga (*guard cells*), sehingga celah stomata dapat membuka secara maksimal untuk mendukung efisiensi pertukaran gas (CO_2 dan H_2O).

Kandungan Klorofil Daun

Kehijauan daun merupakan salah satu indikator status hara nitrogen pada tanaman karena nitrogen berperan penting dalam pembentukan klorofil yang menentukan tingkat kehijauan

daun. Ketersediaan nitrogen yang cukup dapat meningkatkan sintesis klorofil sehingga mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan vegetatif tanaman (Gardner et al., 2017). Pemberian bahan organik dan pupuk yang mengandung nitrogen juga diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan bibit kakao. Nitrogen merupakan unsur penting dalam penyusunan molekul klorofil sehingga kecukupan nitrogen dapat meningkatkan aktivitas fotosintesis dan mendukung pertumbuhan tanaman (Laila et al., 2021; Nurahmi et al., 2021). Semakin hijau warna daun maka tanaman semakin efektif dalam memanfaatkan nitrogen. Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa klon, variasi media tanam, serta interaksi di antara keduanya memberikan pengaruh pada kandungan klorofil daun bibit kakao (Tabel 7).

Tabel 7. Kandungan klorofil daun berdasarkan perlakuan penelitian dan interaksinya

Perlakuan	Klorofil daun (mg.kg^{-1}) pada umur 90 HST
Sulawesi 01 + <i>top soil</i> 100%	2,41 ^{bc}
Sulawesi 01 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	2,56 ^{bcd}
Sulawesi 01 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%	3,37 ^e
Sulawesi 01 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%+ kotoran ayam 25%	2,83 ^d
MCC 02 + <i>top soil</i> 100%	2,03 ^a
MCC 02 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	2,58 ^{cd}
MCC 02 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%	3,43 ^e
MCC 02 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%+ kotoran ayam 25%	3,37 ^e
ICCRI 09 + <i>top soil</i> 100%	2,23 ^{ab}
ICCRI 09 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 50%	2,43 ^{bc}
ICCRI 09 + <i>top soil</i> 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%	2,85 ^d
ICCRI 09 + <i>top soil</i> 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + kotoran ayam 25%	2,81 ^d

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan pengaruh tidak nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$.

Klorofil merupakan pigmen fotoreseptor utama pada daun yang berperan vital dalam menyerap energi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Berdasarkan hasil analisis ragam dan uji DMRT 5% pada Tabel 7, interaksi antara jenis klon kakao dan variasi media tanam berpengaruh terhadap kandungan klorofil daun bibit kakao pada umur 90 hari setelah tanam (HST). Rerata kandungan klorofil daun tertinggi dihasilkan oleh kombinasi interaksi MCC 02 + M₂ (*top soil* 50% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25%) yaitu sebesar 3,43 mg.kg^{-1} , berbeda tidak nyata dengan perlakuan Sulawesi 01 + M₂ (3,37 mg.kg^{-1}) dan MCC 02 + M₃ (3,37 mg.kg^{-1}), namun berbeda nyata secara signifikan terhadap kombinasi perlakuan lainnya. Sebaliknya, nilai kandungan klorofil daun terendah ditemukan pada perlakuan kontrol M₀ (*top soil* 100%) di seluruh klon, dengan rerata terendah pada klon MCC 02

(2,03 mg.kg⁻¹) dan ICCRI 09 (2,23 mg.kg⁻¹). Kombinasi antara klon kakao dan media tanam yang diperkaya dengan bahan organik (M₂ dan M₃) diduga mampu meningkatkan pembentukan klorofil daun. Peningkatan tersebut berkaitan dengan ketersediaan unsur hara, terutama nitrogen (N), magnesium (Mg), dan unsur mikro lainnya yang berperan dalam proses fisiologis tanaman. Nitrogen merupakan komponen penting penyusun klorofil dan protein, sedangkan magnesium berperan sebagai unsur penyusun utama molekul klorofil, sehingga kecukupan kedua unsur tersebut mendukung peningkatan kandungan pigmen hijau daun (Gardner et al., 2017). Penambahan bahan organik seperti kompos dan pupuk kandang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam media sehingga mendukung pertumbuhan dan proses fisiologis bibit kakao (Rosniawaty et al., 2021; Nurahmi et al., 2021). Perbedaan respons antarklon juga menunjukkan bahwa faktor genetik berperan dalam kemampuan tanaman memanfaatkan kondisi lingkungan tumbuh dan ketersediaan hara untuk mendukung pembentukan daun serta kandungan klorofil (Widyastuti et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa potensi genetik klon unggul memerlukan dukungan formulasi media tanam organik yang tepat untuk memaksimalkan pembentukan pigmen fotosintetik.

Perbedaan visual yang paling mencolok pada Gambar 1 terletak pada tingkat kecerahan dan kelestarian warna hijau daun. Daun bibit pada media M₂ dan M₃ (Gambar 1c dan 1d), khususnya pada klon MCC 02 dan Sulawesi 01, menampilkan warna hijau pekat (*dark green*) dan mengkilap. Fenomena visual ini selaras dengan tingginya akumulasi pigmen klorofil daun yang dipicu oleh pasokan hara nitrogen dan magnesium dari kompos kulit kakao serta kotoran ayam, berbeda dengan media M₀ yang daunnya tampak hijau pucat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap berbagai klon dan media tanam pada umur 30-90 hari setelah tanam (HST), dapat disimpulkan bahwa interaksi antara jenis klon MCC 02 dan media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) memberikan respon pertumbuhan terbaik secara signifikan pada parameter jumlah daun (13,33 helai pada 90 HST) serta kandungan klorofil daun (3,43 mg.kg⁻¹ pada 90 HST untuk kombinasi MCC 02 dengan media M₂). Secara mandiri, klon MCC 02 menunjukkan pertumbuhan vegetatif dan fisiologis yang lebih unggul dibandingkan klon Sulawesi 01 dan ICCRI 09, ditunjukkan oleh pencapaian rerata diameter batang terbesar (8,24 mm), indeks luas daun tertinggi (21,01 cm²), dan konduktansi stomata tertinggi (15,24 mmol.m⁻²s⁻¹) pada umur 90 HST. Komposisi media tanam M₃ (*top soil* 25% + abu sekam 25% + kompos kulit kakao 25% + pupuk organik kotoran ayam 25%) secara mandiri mampu menghasilkan pertumbuhan terbaik pada seluruh variabel pengamatan, yaitu tinggi tanaman (42,97 cm), diameter batang (8,52 mm), indeks luas daun (21,87 cm²), dan konduktansi stomata (16,15 mmol.m⁻²s⁻¹) pada umur 90 HST.

Saran

Implementasi klon MCC02 pada komposisi media tanam M₃ (integrasi *top soil*, abu sekam, limbah kulit kakao, dan pupuk kandang ayam) direkomendasikan sebagai strategi optimasi pertumbuhan vegetatif dan performa fisiologis bibit kakao secara berkelanjutan. Untuk melengkapi temuan ini, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada uji adaptabilitas

lapangan (*field trial*) guna mengevaluasi stabilitas fenotipe, konsistensi produktivitas, serta mekanisme resistensi klon terhadap cekaman biotik dan abiotik pada fase generatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H. D. S., Ende, S., Salawati, & Lukman. (2022). Pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.) pada berbagai komposisi media tumbuh di pembibitan. *Jurnal Agrium*, 25(1), 87–94.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Selatan. (2024). Produksi tanaman perkebunan menurut komoditi dan penguasaan. <https://sulsel.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTg3MiMy/produksi-tanaman-perkebunan-menurut-komoditi-dan-penguasaan.html>
- Baon, J. B., Yusianto, & Abdoellah, S. (2014). Keragaan pertumbuhan dan hasil beberapa klon unggul kakao pada berbagai kondisi lingkungan. *Jurnal Pelita Perkebunan*, 30(2), 89–101.
- Farhanandi, W. B., & Indah, K. N. (2022). Karakteristik morfologi dan anatomi tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) yang tumbuh pada ketinggian berbeda. *Jurnal Lentera Bio*, 11(2), 310–325.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (2017). *Fisiologi Tanaman Budidaya (Terjemahan Herawati Susilo)*. UI Press.
- International Cocoa Organization. (2021). ICCO quarterly bulletin of cocoa statistics, cocoa year 2020/2021. <https://www.icco.org/>
- Laila, M., Luaha, S., Marpaung, G. R., & Agung, D. U. (2021). Pertumbuhan bibit kakao dengan pemberian pupuk kandang ayam dan pupuk NPK. *Jurnal Agrotekda*, 5(1), 98–112.
- Manullang, W., & Silalahi, R. L. F. (2019). Pengaruh komposisi media tanam terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Agrica Ekstensia*, 13(2), 28–34.
- Nugroho, H. C., Moeljanto, B. D., Supandji, S., & Probojati, R. T. (2021). Optimasi komposisi media tanam dan dosis pupuk organik cair (POC) terhadap pertumbuhan awal bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *JINTAN: Jurnal Ilmiah Pertanian Nasional*, 1(2), 180–187. <https://doi.org/10.30737/jintan.v1i2.1827>
- Nurahmi, E., Kesumawati, E., & Wahyuni, S. (2021). Evaluasi pertumbuhan bibit kakao pada beberapa tingkat dosis kompos dan pupuk organik kaya nitrogen. *Jurnal Floratek*, 6(4) 72-80.
- Putri, F. M., Suedy, S. W. A., & Darmanti, S. (2016). Pengaruh pupuk nanosilika terhadap jumlah stomata, kandungan klorofil dan pertumbuhan padi hitam (*Oryza sativa* L. cv. Japonica). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 2(1), 72–79.
- Riyanto, A., Syamsia, S., Rosanna, R., & Kadir, M. (2023). Pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.) pada media tanam limbah pertanian. *Jurnal Agroplantae*, 12(1), 33–40.
- Rosniawaty, S., Sudirja, R., Ariyanti, M., Mubarak, S., & Wahyudin, A. (2021). Pengaruh bahan organik terhadap kesuburan tanah serta pertumbuhan dan fisiologi tanaman kakao muda hasil transplanting di tanah Inceptisol. *Jurnal Kultivasi*, 20(3), 160-167.
- Rubiyo, R., & Siswanto. (2012). Peningkatan produksi dan pengembangan kakao (*Theobroma cacao* L.) di Indonesia. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 3(1), 33–48.

- Setiawan, A., Siswanto, Y., & Diki, M. (2022). Respon pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.) akibat pemberian pupuk organik cair limbah tahu dan pupuk kotoran ayam. *Agriland: Jurnal Ilmu Pertanian*, 10(2), 144–150.
- Sitompul, H. F., Simanungkalit, T., & Mawarni, L. L. (2014). Respons pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap pemberian pupuk kandang kelinci dan pupuk NPK (16:16:16). *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 2(3), 1064–1071.
- Sjam, S., Rosmana, A., Rahim, D., Dewi, V., & Surapati, U. (2012). Pengaruh pemberian abu sekam padi sebagai bahan desikan pada penyimpanan benih terhadap daya tumbuh dan pertumbuhan bibit kakao. *Jurnal Pelita Perkebunan*, 28(2), 91–99. <https://doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v28i2.202>
- Sutejo, M. M., & Kartasapoetra, A. G. (2011). *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Rineka Cipta.
- Wardiana, E., Izzah, N. K., Martono, B., & Baharuddin. (2018). Keragaman genetik klon kakao lokal Sulawesi Tenggara berdasarkan marka SSR dan karakter morfologi. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 5(3), 95–104.
- Weihan, R. A., Saidi, A. B., Andriani, D., & Rismon. (2023). Pengaruh media tanam dan ZPT alami terhadap pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(1), 23–33. <https://doi.org/10.36423/agroscript.v5i1.1227>
- Widyastuti, L. S., Parapasan, Y., & Same, M. (2021). Pertumbuhan bibit kakao (*Theobroma cacao* L.) pada berbagai jenis klon dan jenis pupuk kandang. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 9(2), 109–118. <https://jurnal.polinela.ac.id/AIP/article/view/1574>
- Yeni, I., Suliansyah, I., & Yulistriani. (2022). Pengaruh volume penyiraman air terhadap pertumbuhan benih tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.). *JAGUR: Jurnal Agroteknologi*, 4(2), 82–87. <https://doi.org/10.25077/jagur.4.2.82-87.2022>

