

Effect of Methyl Jasmonate on *In Vitro* Callus Growth of *Momordica cochinchinensis*

Widyawati S. Isima¹, Jusna Ahmad^{1*}, Devi Bunga Pagalla¹, Novri Youla Kandowangko¹, Indriati Husain²

¹Biology Study Program, Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Gorontalo State University, Bone Bolango, Indonesia;

²Agrotechnology Study Program, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Gorontalo State University, Bone Bolango, Indonesia;

Article History

Received : June 07th, 2026

Revised : June 25th, 2026

Accepted : July 04th, 2026

*Corresponding Author: **Jusna Ahmad**, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia;
Email: jusna_ahmad@ung.ac.id

Abstract: *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng., locally known as dumbaya in Gorontalo, is a tropical climbing plant with potential as a functional food and medicinal resource, but its natural availability is limited by low seed germination, slow growth, and environmental sensitivity. This study aimed to determine the effect of methyl jasmonate (MeJA) concentrations on callus growth of young stem explants of *M. cochinchinensis* under *in vitro* conditions. The experiment used a completely randomized design with five treatments: MS without plant growth regulators, MS + 2,4-D + BAP, MS + MeJA 6 mL/L, MS + MeJA 11 mL/L, and MS + MeJA 16 mL/L. The observed parameters were callus formation percentage, callus initiation time, and callus morphology. Quantitative data were analyzed using one-way ANOVA followed by Duncan's test at 5%, while morphological data were described qualitatively. All treatments produced 100% callus formation within 14 days. MeJA affected callus initiation time, with MS + MeJA 6 mL/L showing the fastest average response at 3.67 days after culture. The callus was mostly friable with varied coloration. This treatment may support further development of *M. cochinchinensis* callus culture and provides preliminary information for optimizing *in vitro* propagation protocols for this locally valuable species in future studies.

Keywords: Callus induction; *in vitro* culture; Methyl jasmonate; *Momordica cochinchinensis*; Young stem explant.

Pendahuluan

Momordica cochinchinensis (Lour.) Spreng., atau dikenal sebagai *gac fruit*, merupakan tanaman merambat tropis yang banyak ditemukan di wilayah Asia Tenggara. Menurut Lan *et al.*, (2019), spesies ini memiliki sebutan berbeda-beda, seperti *gac* di Vietnam, *red melon* dalam literatur berbahasa Inggris, dan *mu biezi* dalam bahasa Tionghoa. Di Indonesia, tanaman ini umumnya dikenal sebagai tepurang atau pupia, dan di beberapa daerah memiliki nama lain seperti teruah, torobuk/toropu, serta pakurebu yang ditemukan di wilayah Sulawesi. Di Gorontalo,

tanaman ini dikenal dengan nama dumbaya dan telah dimanfaatkan sebagai bahan pangan serta obat tradisional untuk mengatasi batuk, demam, peradangan, dan infeksi luka (Kuna & Mappa, 2022). Pemanfaatan tersebut menunjukkan bahwa *M. cochinchinensis* memiliki potensi biologis yang penting untuk dikembangkan, terutama sebagai sumber bahan tanaman bernilai fungsional.

Beberapa penelitian terbaru juga melaporkan bahwa bagian aril dan buah *M. cochinchinensis* mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi sebagai antioksidan, antiproliferasi, antidiabetes, dan hepatoprotektif (Anunthawan *et al.*, 2022;

Hsieh *et al.*, 2024; Lonan *et al.*, 2025). Selain itu, ekstrak metanol buah *M. cochinchinensis* juga dilaporkan mengandung senyawa fitokimia penting, seperti saponin, flavonoid, dan fenolik, serta menunjukkan aktivitas antimikroba dan hipoglikemik yang mendukung potensinya sebagai tanaman obat (Domingo *et al.*, 2023). Namun, ketersediaan *M. cochinchinensis* di alam masih terbatas. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya kecambah biji, pertumbuhan tanaman yang relatif lambat, serta sensitivitas tanaman terhadap kondisi lingkungan. Kondisi tersebut menjadi kendala dalam penyediaan bahan tanaman secara berkelanjutan. Oleh karena itu, kultur jaringan secara *in vitro* dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk memperbanyak tanaman secara cepat, terkontrol, dan tidak bergantung pada kondisi lingkungan luar (Tran *et al.*, 2020).

Salah satu indikator keberhasilan kultur *in vitro* adalah terbentuknya kalus. Kalus merupakan jaringan tidak terdiferensiasi yang terbentuk melalui proses dediferensiasi dan pembelahan sel aktif pada jaringan tanaman. Pertumbuhan kalus dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis eksplan, komposisi media kultur, zat pengatur tumbuh, serta senyawa tambahan seperti elisitor. Jenis eksplan berperan penting karena setiap jaringan memiliki kemampuan regenerasi yang berbeda; eksplan dari jaringan muda umumnya lebih responsif karena sel-selnya masih aktif membelah. Selain itu, komposisi media dan pemberian zat pengatur tumbuh seperti auksin dan sitokinin juga menentukan keberhasilan induksi kalus karena berperan dalam mengatur pembelahan dan perkembangan sel (Aulia & Habibah, 2024; Malothu *et al.*, 2023). Penambahan senyawa elisitor seperti Metil Jasmonat (MeJA) juga dapat memengaruhi respons fisiologis jaringan, baik dalam pertumbuhan kalus maupun aktivitas metabolisme sekunder (Jeyasri *et al.*, 2023). Oleh karena itu, eksplan batang muda dipilih dalam penelitian ini karena memiliki sel-sel yang masih aktif membelah sehingga berpotensi lebih responsif terhadap induksi dan pertumbuhan kalus.

Metil Jasmonat (MeJA) merupakan salah satu senyawa yang dapat memengaruhi respons fisiologis tanaman dalam kultur *in vitro*. Senyawa ini berperan sebagai elisitor yang

dapat mengatur proses pertumbuhan, respons stres, dan aktivitas metabolisme sel tanaman. Pada konsentrasi tertentu, MeJA dapat mendukung proliferasi kalus, tetapi pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan pertumbuhan kalus menjadi terhambat atau tidak stabil (Danaee, 2015; Yu, 2018; Kamińska, 2021).

Penelitian mengenai penggunaan MeJA pada kultur kalus telah dilakukan pada beberapa jenis tanaman. Namun, kajian mengenai pengaruh variasi konsentrasi MeJA terhadap pertumbuhan kalus *M. cochinchinensis*, khususnya menggunakan eksplan batang muda, masih terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan spesies *M. cochinchinensis* sebagai tanaman lokal potensial dari Gorontalo, penggunaan eksplan batang muda sebagai sumber jaringan, serta pengujian variasi konsentrasi MeJA terhadap indikator pertumbuhan kalus, yaitu persentase pembentukan kalus, waktu muncul kalus, dan morfologi kalus. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai konsentrasi MeJA terhadap respons pertumbuhan kalus eksplan batang muda *M. cochinchinensis* secara *in vitro*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dasar dalam optimasi kultur kalus *M. cochinchinensis* sebagai langkah awal pengembangan bahan tanaman secara terkontrol.

Bahan dan Metode

Subjek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2025 hingga Februari 2026 di Laboratorium Kultur Jaringan, Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo. Sumber eksplan diperoleh dari tanaman *Momordica cochinchinensis* yang tumbuh di Kelurahan Wongkaditi Barat, Kecamatan Kota Utara, Kota Gorontalo. Subjek penelitian ini adalah induksi kalus dari eksplan batang muda *M. cochinchinensis* yang diberi perlakuan variasi konsentrasi Metil Jasmonat (MeJA) dalam sistem kultur *in vitro*. Eksplan batang muda digunakan karena jaringan muda memiliki aktivitas pembelahan sel yang tinggi

sehingga lebih responsif terhadap pembentukan kalus.

Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas ukur, erlenmeyer, gunting, timbangan analitik, autoklaf, botol kultur, laminar air flow (LAF), pinset, petridish, bunsen, korek api, kompor gas, magnetic stirrer, scalpel, steril blade, pH indikator, mikropipet, alat tulis, dan kamera Vivo Y29 sebagai alat dokumentasi.

Bahan yang digunakan terdiri atas batang muda *Momordica cochinchinensis*, media dasar Murashige and Skoog (MS), Metil Jasmonat (MeJA), 2,4-D, BAP, sukrosa, agar powder, aluminium foil, plastik wrap, KOH, HCl, NaOCl 5,25% atau Bayclin, kertas label, alkohol 70%, sarung tangan, masker, deterjen, karet gelang, dan spiritus.

Desain Percobaan

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non-faktorial dengan satu faktor, yaitu konsentrasi Metil Jasmonat (MeJA) pada media kultur. Rancangan ini dipilih karena penelitian dilakukan pada kondisi laboratorium yang relatif homogen, seperti media, suhu, cahaya, dan ruang inkubasi yang terkontrol, sehingga setiap unit percobaan memiliki peluang yang sama untuk menerima perlakuan. Perlakuan terdiri atas lima taraf, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode perlakuan dan formulasi media untuk induksi kalus

Kode Perlakuan	Formulasi Media
WD0	MS tanpa MeJA sebagai kontrol negatif
WD1	MS + 2,4-D 2 mL + BAP 2 ml sebagai kontrol positif
WD2	MS + MeJA 6 mL
WD3	MS + MeJA 11 mL
WD4	MS + MeJA 16 mL

Masing-masing perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan, dan setiap ulangan terdiri atas tiga botol kultur. Setiap botol kultur berisi tiga eksplan, sehingga jumlah eksplan pada setiap perlakuan adalah 27 eksplan. Dalam penelitian

ini, botol kultur digunakan sebagai unit pengamatan, sedangkan nilai setiap ulangan diperoleh dari rata-rata tiga botol kultur pada masing-masing perlakuan. Data yang dianalisis secara statistik merupakan nilai rata-rata per ulangan, sehingga setiap perlakuan memiliki tiga nilai ulangan untuk dianalisis sesuai rancangan percobaan.

Pembuatan Larutan Stok

Larutan Metil Jasmonat dibuat dengan mencampurkan 1 mL MeJA ke dalam 2 mL alkohol 70% sebagai pelarut, kemudian ditambahkan 250 mL akuades steril hingga diperoleh volume akhir 253 mL. Konsentrasi larutan dihitung menggunakan rumus persentase volume per volume (% v/v), yaitu:

$$\begin{aligned}\% \left(\frac{v}{v} \right) &= \frac{V_{MeJA}}{V_{akhir}} \times 100 \\ &= \frac{1}{253} \times 100 \\ &= 0,3953\%\end{aligned}$$

Sehingga konsentrasi larutan Metil Jasmonat yang digunakan dalam penelitian adalah 0,40% (v/v).

Pembuatan Media Kultur

Pembuatan media kultur dilakukan dengan menimbang 4,3 g media dasar MS, 30 g sukrosa, dan 8 g agar powder untuk setiap 1000 mL media. Seluruh bahan dilarutkan menggunakan akuades steril, kemudian dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* hingga tercampur merata. pH media diatur pada 5,8 menggunakan KOH atau HCl, kemudian media dipanaskan hingga agar larut sempurna. Media selanjutnya disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama ±20 menit.

Larutan 2,4-D dan BAP ditambahkan sesuai perlakuan kontrol positif. Larutan Metil Jasmonat (MeJA) yang telah dibuat sebagai stok disterilkan terlebih dahulu menggunakan membran filter steril berukuran 0,22 µm, kemudian ditambahkan ke dalam media steril setelah media didinginkan hingga suhu sekitar 45–50°C agar aktivitas MeJA tidak rusak akibat pemanasan berlebih. Volume larutan stok MeJA yang ditambahkan disesuaikan dengan

konsentrasi perlakuan, yaitu WD2, WD3, dan WD4. Dalam penelitian ini, kontrol pelarut etanol belum disiapkan secara terpisah, sehingga penelitian selanjutnya disarankan menambahkan kontrol pelarut berupa media MS dengan etanol tanpa MeJA pada volume yang setara dengan perlakuan MeJA tertinggi untuk memastikan bahwa respons kalus yang diamati berasal dari MeJA, bukan dari pelarut.

pH media diatur pada kisaran 5,8 menggunakan KOH apabila pH terlalu rendah atau HCl apabila pH terlalu tinggi. Pengaturan pH dilakukan untuk menciptakan kondisi media yang sesuai bagi pertumbuhan dan aktivitas biologis jaringan tanaman. Setelah pH sesuai, media dipanaskan hingga agar larut sempurna. Media kemudian dituangkan ke dalam botol kultur dalam kondisi hangat, masing-masing sebanyak volume yang dibutuhkan, lalu ditutup menggunakan aluminium foil atau plastik penutup. Media yang telah dimasukkan ke dalam botol kultur selanjutnya disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama ± 20 menit. Sterilisasi ini bertujuan untuk memastikan media bebas dari mikroorganisme kontaminan sebelum digunakan dalam proses inokulasi eksplan secara aseptik (Malothu *et al.*, 2023).

Sterilisasi dan Inokulasi Eksplan

Eksplan yang digunakan berupa batang muda *Momordica cochinchinensis*. Eksplan terlebih dahulu dicuci menggunakan air keran mengalir untuk menghilangkan debu dan kotoran yang menempel pada permukaan jaringan. Setelah itu, eksplan dibilas menggunakan air steril sebanyak tiga kali.

Sterilisasi permukaan eksplan dilakukan secara bertahap untuk menekan kontaminasi mikroorganisme tanpa merusak viabilitas jaringan. Eksplan batang muda *Momordica cochinchinensis* terlebih dahulu dicuci menggunakan air mengalir, kemudian dibilas dengan air steril. Selanjutnya, eksplan direndam dalam larutan NaOCl yang dibuat dari 5 mL NaOCl 5,25% dan 200 mL air steril, sehingga konsentrasi akhir NaOCl yang digunakan sekitar 0,13%. Perendaman dilakukan selama 10 menit, kemudian eksplan dibilas sebanyak tiga kali menggunakan air steril untuk menghilangkan sisa larutan sterilan. Setelah itu, eksplan direndam dalam alkohol 70% selama 5 menit sebagai tahap

dekontaminasi tambahan, lalu dibilas kembali sebanyak tiga kali menggunakan air steril. Prosedur ini dipilih karena kombinasi NaOCl dan alkohol 70% umum digunakan dalam sterilisasi permukaan eksplan untuk mengurangi kontaminasi, sedangkan pembilasan berulang bertujuan menghilangkan residu bahan sterilan yang dapat menghambat pertumbuhan jaringan. Selama masa inkubasi, botol kultur yang menunjukkan kontaminasi segera dipisahkan untuk mencegah penyebaran kontaminan ke unit kultur lainnya.

Eksplan yang telah steril dipotong dengan ukuran $\pm 0,5$ cm menggunakan scalpel steril. Inokulasi eksplan dilakukan secara aseptik di dalam laminar air flow. Eksplan dipindahkan ke permukaan media kultur menggunakan pinset steril dan diletakkan dengan posisi yang memungkinkan kontak optimal antara jaringan eksplan dan media. Setelah inokulasi selesai, botol kultur ditutup rapat dan disegel menggunakan plastik wrap untuk menjaga kondisi steril selama masa inkubasi. Sterilisasi eksplan sangat penting untuk menekan kontaminasi mikroba tanpa merusak viabilitas jaringan tanaman yang digunakan dalam kultur in vitro (Singh *et al.*, 2024).

Inkubasi Kultur dan Pengamatan

Botol kultur yang telah berisi eksplan ditempatkan di ruang inkubasi dan dipelihara selama 14 hari. Kultur diinkubasi pada suhu target $25 \pm 2^\circ\text{C}$ dengan periode pencahayaan 12 jam terang dan 12 jam gelap. Pencahayaan diberikan menggunakan lampu putih dengan intensitas sekitar 3.000–3.500 lux. Kelembapan ruang inkubasi tidak dikontrol secara khusus, tetapi kondisi ruang kultur dijaga tetap bersih dan stabil selama masa inkubasi. Botol kultur yang mengalami kontaminasi segera dipisahkan untuk mencegah penyebaran kontaminan ke botol kultur lainnya.

Pengamatan dilakukan selama dua minggu. Pada minggu pertama, pengamatan difokuskan pada waktu munculnya kalus, yaitu jumlah hari sejak inokulasi hingga terlihat jaringan kalus dengan ukuran minimal $\pm 1\text{--}2$ mm pada permukaan eksplan. Kalus umumnya muncul pada bagian luka eksplan karena bagian tersebut menjadi titik utama respons fisiologis akibat pemotongan dan perlakuan zat tambahan dalam media. Inisiasi kalus pada area luka

berkaitan dengan meningkatnya aktivitas mitosis sebagai respons terhadap rangsangan eksogen (Girsang *et al.*, 2023).

Minggu kedua, pengamatan dilakukan terhadap morfologi kalus dan berat basah kalus. Morfologi kalus diamati secara visual berdasarkan warna dan tekstur. Warna kalus yang diamati meliputi putih, hijau, kuning, hingga coklat, sedangkan tekstur kalus dikategorikan menjadi kompak, friable, atau intermediet (Prashariska *et al.*, 2021). Warna putih pada kalus menunjukkan aktivitas meristematik yang tinggi, warna hijau menunjukkan perkembangan plastida dan kloroplas, sedangkan warna coklat dapat menunjukkan adanya oksidasi senyawa fenolik akibat stres. Tekstur kalus juga menjadi indikator kondisi fisiologis jaringan, karena kalus friable umumnya menunjukkan pertumbuhan yang lebih aktif dibandingkan kalus kompak (Muna *et al.*, 2022).

Analisis dan Interpretasi Data

Data yang diperoleh dianalisis sesuai dengan jenis parameter yang diamati. Data kualitatif, seperti warna, tekstur, tingkat kepadatan, dan kondisi permukaan kalus, dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan perubahan morfologi kalus sebagai respons terhadap variasi konsentrasi MeJA. Hasil pengamatan kualitatif digunakan untuk menilai kondisi fisiologis kalus yang berkaitan dengan aktivitas metabolik dan tingkat proliferasi jaringan.

Data kuantitatif berupa waktu muncul kalus dianalisis secara statistik menggunakan IBM SPSS Statistics versi 25. Sebelum dilakukan analisis sidik ragam, data terlebih dahulu diuji normalitasnya menggunakan uji Shapiro-Wilk dan homogenitas variansnya menggunakan uji Levene pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Data dinyatakan berdistribusi normal dan homogen apabila nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan One Way ANOVA untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan antarperlakuan. Apabila hasil ANOVA menunjukkan pengaruh nyata, analisis dilanjutkan menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf 5%. DMRT dipilih karena dapat membandingkan rerata antarperlakuan dan mengelompokkan perlakuan berdasarkan notasi huruf, sehingga memudahkan

penentuan perlakuan yang memberikan respons terbaik terhadap waktu muncul kalus. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas Metil Jasmonat (MeJA) sebagai elisitor terhadap respons pertumbuhan kalus *Momordica cochinchinensis* secara *in vitro* (Compton, 2024).

Hasil dan Pembahasan

Persentase Berkalus

Persentase pembentukan kalus digunakan untuk mengevaluasi kemampuan umum eksplan dalam merespons kondisi media kultur yang diberikan. Pada setiap perlakuan digunakan 27 eksplan, sehingga total eksplan yang diamati sebanyak 135 eksplan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh eksplan pada perlakuan WD0, WD1, WD2, WD3, dan WD4 mampu membentuk kalus, dengan persentase pembentukan kalus sebesar 100% pada masing-masing perlakuan (Tabel 2). Selama periode pengamatan, eksplan yang digunakan untuk analisis tidak menunjukkan kontaminasi maupun nekrosis yang mengganggu pembentukan kalus.

Hasil ini menunjukkan bahwa eksplan batang muda *Momordica cochinchinensis* memiliki kemampuan yang baik untuk beradaptasi dan mengalami dediferensiasi pada seluruh formulasi media yang diuji. Namun, persentase pembentukan kalus yang sama pada semua perlakuan hanya menunjukkan keberhasilan umum induksi kalus dan belum dapat digunakan untuk menentukan perlakuan terbaik. Oleh karena itu, efektivitas perlakuan perlu dilihat melalui parameter lain, seperti waktu muncul kalus dan morfologi kalus.

Tabel 2. Kode perlakuan yang digunakan

Kode Perlakuan	Keterangan
WD0	MS0 (Tanpa ZPT)
WD1	MS0 + 2 ml BAP + 2 ml 2,4-D
WD2	MS0 + MeJA 6 ml
WD3	MS0 + MeJA 11 ml
WD4	MS0 + MeJA 16 ml

Tabel 2 memperlihatkan bahwa tidak terdapat kegagalan pembentukan kalus pada seluruh eksplan yang ditanam. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa komposisi media yang digunakan mampu menyediakan lingkungan yang mendukung proses pertumbuhan awal jaringan. Keberhasilan pembentukan kalus pada semua

perlakuan juga menunjukkan bahwa eksplan yang digunakan berada pada kondisi fisiologis yang baik sehingga mampu mempertahankan aktivitas metabolisme dan pembelahan sel selama masa kultur.

Waktu Kemunculan Kalus

Waktu muncul kalus merupakan parameter penting yang menggambarkan kecepatan respons eksplan terhadap perlakuan media kultur. Semakin cepat kalus terbentuk, semakin cepat pula sel-sel eksplan mengalami dediferensiasi dan memasuki fase pembelahan aktif. Oleh karena itu, parameter ini sering digunakan untuk mengevaluasi efektivitas suatu perlakuan dalam menginduksi pembentukan kalus secara in vitro.

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa perlakuan formulasi media memberikan pengaruh nyata terhadap waktu muncul kalus (Tabel 3). Nilai F hitung sebesar 7,634 dengan nilai signifikansi 0,004. Karena nilai Sig. lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan dalam memengaruhi waktu muncul kalus.

Tabel 3. Hasil analisis *One-way* ANOVA waktu muncul kalus (hari)

	ANOVA				
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
<i>Between Groups</i>	6.806	4	1.701	7.634	.004
<i>Within Groups</i>	2.229	10	.223		
<i>Total</i>	9.035	14			

Tabel 3 menunjukkan perlakuan formulasi media memberikan pengaruh yang berbeda terhadap waktu muncul kalus. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,004 < 0,05$, sehingga dapat dinyatakan perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata terhadap kecepatan pembentukan kalus. Kondisi tersebut mengindikasikan komposisi media yang berbeda menghasilkan respons yang berbeda pula dalam menginisiasi proses dediferensiasi sel dan pembentukan kalus pada eksplan. Perbedaan waktu muncul kalus antar perlakuan menunjukkan bahwa masing-masing formulasi media memiliki kemampuan berbeda dalam

mendukung aktivitas fisiologis dan metabolisme sel yang berperan dalam pembentukan jaringan kalus. Semakin cepat kalus muncul, semakin cepat pula eksplan merespons kondisi media kultur dan memulai proses pembelahan sel yang mengarah pada pembentukan kalus.

Hasil uji lanjut pada Tabel 4 menunjukkan perlakuan memberikan respons yang berbeda terhadap waktu muncul kalus. Perlakuan WD2 menghasilkan waktu muncul kalus tercepat, yaitu $3,67 \pm 0,000$ hari setelah tanam, dan berada pada kelompok huruf a. Perlakuan WD3 dan WD4 masing-masing menunjukkan waktu muncul kalus sebesar $4,11 \pm 0,768$ hari dan $4,33 \pm 0,335$ hari, serta berada pada kelompok ab. Perlakuan WD1 menunjukkan waktu muncul kalus sebesar $4,70 \pm 0,281$ hari dan berada pada kelompok b. Sementara itu, perlakuan WD0 menghasilkan waktu muncul kalus paling lama, yaitu $5,67 \pm 0,577$ hari setelah tanam, dan berada pada kelompok c. Berdasarkan pengelompokan huruf tersebut, WD2 berbeda nyata dengan WD1 dan WD0, tetapi tidak berbeda nyata dengan WD3 dan WD4. Hal ini menunjukkan perlakuan WD2 merupakan perlakuan paling efektif dalam mempercepat waktu muncul kalus pada eksplan batang muda *Momordica cochinchinensis*.

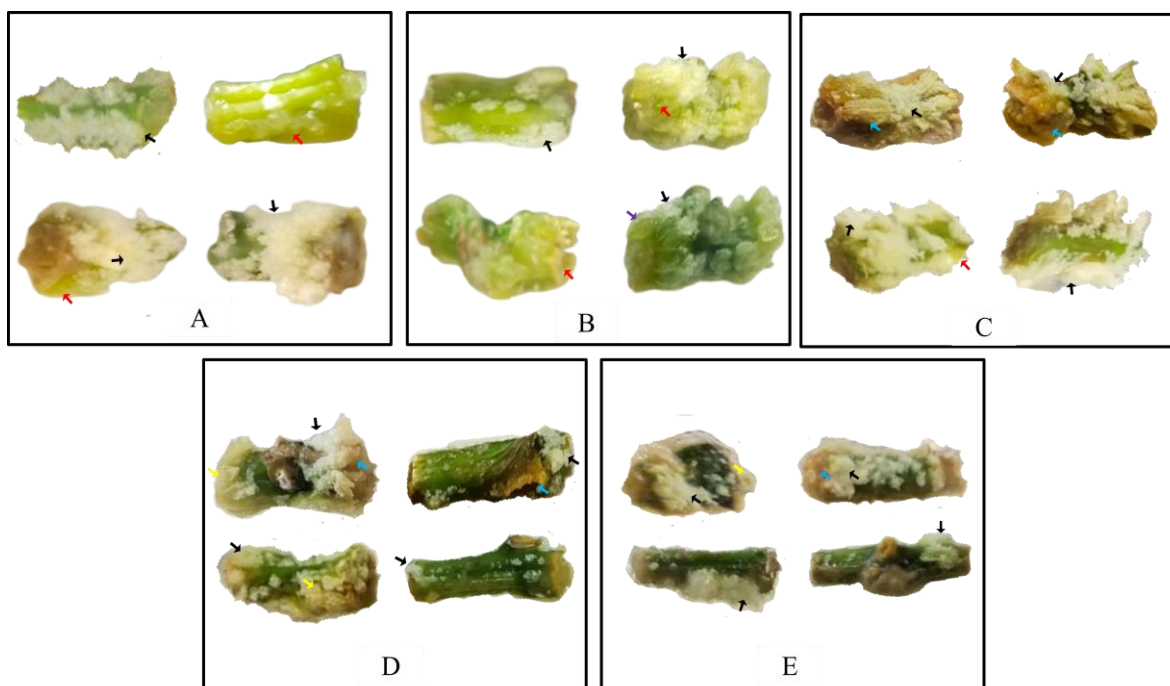
Tabel 4. Rata-rata waktu muncul kalus pada berbagai perlakuan

Perlakuan	Waktu Muncul Kalus
WD0	$5,67 \pm 0,577^c$
WD1	$4,70 \pm 0,281^b$
WD2	$3,67 \pm 0,000^a$
WD3	$4,11 \pm 0,768^{ab}$
WD4	$4,33 \pm 0,335^{ab}$

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf 5%.

Morfologi Kalus

Pengamatan morfologi kalus dilakukan pada eksplan batang muda *Momordica cochinchinensis* yang dikultur pada media MS dengan berbagai konsentrasi Metil Jasmonat (MeJA). Karakter morfologi yang diamati meliputi warna dan tekstur kalus sebagai indikator pertumbuhan dan perkembangan jaringan selama kultur. Morfologi kalus pada masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi kalus eksplan batang muda *M. cochinchinensis* pada berbagai perlakuan media setelah 14 hari kultur. (A) WD0: MS tanpa ZPT; (B) WD1: MS + 2 mg L⁻¹ 2,4-D + 2 mg L⁻¹ BAP; (C) WD2: MS + 88,44 mg L⁻¹ MeJA; (D) WD3: MS + 162,14 mg L⁻¹ MeJA; dan (E) WD4: MS + 235,84 mg L⁻¹ MeJA. Keterangan panah: hitam = kalus putih; merah = kalus hijau kekuningan; kuning = kalus putih kekuningan; ungu = kalus hijau; biru = kalus cokelat

Tabel 6. Warna dan tekstur kalus

Perlakuan	Formulasi Media	Warna Kalus	Tekstur Kalus	Keterangan
WD0	MS tanpa ZPT	Putih dan hijau kekuningan	Remah (<i>friable</i>) dan sebagian kompak	• Kalus terbentuk dengan baik. • Warna putih. • Variasi warna hijau kekuningan.
WD1	MS + 2,4-D 2 mL/L + BAP 2 ppm	Putih, hijau, dan hijau kekuningan	Remah (<i>friable</i>) dan sebagian kompak	• Kalus terbentuk dengan baik. • Warna hijau. • Tekstur kompak.
WD2	MS + MeJA 6 mL/L	Putih, putih kekuningan, hijau, dan putih kecoklatan	Remah (<i>friable</i>)	• Kalus terbentuk dengan baik. • Warna putih cerah. • Sedikit kalus mengalami pencokelatan. • Tekstur remah.
WD3	MS + MeJA 11 mL/L	Putih, putih kekuningan, dan putih kecoklatan	Remah (<i>friable</i>)	• Kalus terbentuk dengan baik. • Mulai terlihat pencokelatan.
WD4	MS + MeJA 16 mL/L	Putih, putih kekuningan, dan putih kecoklatan	Remah (<i>friable</i>)	• Kalus terbentuk. • Mulai terlihat pencokelatan. • Sebagian kalus menunjukkan pencokelatan.

Pembahasan

Persentase Berkalus

Persentase pembentukan kalus merupakan parameter awal yang digunakan untuk

mengetahui kemampuan eksplan dalam merespons media kultur dan perlakuan yang diberikan. Parameter ini menunjukkan keberhasilan eksplan batang muda *M. cochinchinensis* dalam membentuk kalus pada

kondisi kultur *in vitro*. Berdasarkan hasil penelitian, seluruh perlakuan, yaitu WD0, WD1, WD2, WD3, dan WD4, menunjukkan persentase pembentukan kalus sebesar 100% pada 14 hari setelah tanam (HST). Hasil ini menunjukkan bahwa semua eksplan yang ditanam mampu membentuk kalus dengan baik.

Keberhasilan pembentukan kalus pada seluruh perlakuan diduga berkaitan dengan penggunaan eksplan batang muda. Jaringan batang muda umumnya masih aktif secara fisiologis sehingga lebih responsif terhadap kondisi media kultur. Sel-sel pada jaringan muda memiliki kemampuan pembelahan yang lebih tinggi dibandingkan jaringan yang sudah tua, sehingga lebih mudah mengalami perubahan perkembangan menjadi jaringan kalus. Eksplan batang juga dilaporkan mampu memberikan respons pembentukan kalus yang baik dalam kultur *in vitro* karena jaringan tersebut memiliki kemampuan regenerasi yang cukup tinggi (Aulia & Habibah, 2024).

Pembentukan kalus berkaitan dengan proses dediferensiasi sel, yaitu kondisi ketika sel yang telah terdiferensiasi kembali aktif membelah dan membentuk jaringan tidak terdiferensiasi. Perkembangan kalus melibatkan proses *reprogramming* sel yang berhubungan dengan aktivitas hormon, siklus sel, dan perubahan struktur dinding sel (Park et al., 2023). Dengan demikian, persentase pembentukan kalus yang mencapai 100% menunjukkan bahwa eksplan batang muda *M. cochinchinensis* memiliki kemampuan regeneratif yang baik.

Selain dipengaruhi oleh jenis eksplan, keberhasilan pembentukan kalus juga didukung oleh media MS yang digunakan sebagai media dasar. Media MS mengandung unsur hara yang diperlukan untuk menunjang aktivitas metabolisme dan pembelahan sel selama kultur *in vitro*. Pada perlakuan WD0, yaitu media MS tanpa penambahan zat pengatur tumbuh, eksplan tetap mampu membentuk kalus. Hal ini menunjukkan bahwa eksplan kemungkinan memiliki hormon endogen yang cukup untuk memulai proses pembentukan kalus pada tahap awal.

Meskipun seluruh perlakuan menunjukkan persentase pembentukan kalus yang sama, parameter ini belum dapat menunjukkan perlakuan yang paling efektif. Hal ini karena semua perlakuan telah mampu mendukung

proses induksi kalus. Oleh karena itu, pengaruh perlakuan perlu diamati melalui parameter lain, yaitu waktu muncul kalus dan karakter morfologi kalus.

Waktu Muncul Kalus

Waktu muncul kalus merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kecepatan respons eksplan terhadap media kultur dan perlakuan yang diberikan. Semakin cepat kalus terbentuk, maka semakin cepat pula eksplan menunjukkan respons awal terhadap proses induksi kalus. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan WD2, yaitu media MS dengan penambahan MeJA 6 mL/L, menunjukkan waktu muncul kalus paling cepat dengan rata-rata 3,67 HST. Sebaliknya, perlakuan WD0 atau media MS tanpa ZPT menunjukkan waktu muncul kalus paling lama dengan rata-rata 5,67 HST.

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap waktu muncul kalus, dengan nilai signifikansi 0,004 yang lebih kecil dari 0,05. Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa WD2 berbeda nyata dengan WD1 dan WD0, tetapi tidak berbeda nyata dengan WD3 dan WD4. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan WD2 mampu mempercepat inisiasi kalus dibandingkan kontrol negatif dan kontrol positif, meskipun secara statistik masih memiliki kedekatan respons dengan WD3 dan WD4.

Cepatnya waktu muncul kalus pada perlakuan WD2 diduga berkaitan dengan peran Metil Jasmonat (MeJA) sebagai elisitor yang bekerja melalui jalur sinyal jasmonat (*jasmonate signaling*). MeJA dapat bertindak sebagai sinyal stres yang memicu perubahan respons fisiologis sel, termasuk aktivasi metabolisme, respons pertahanan, dan pengaturan ulang aktivitas gen yang berkaitan dengan pertumbuhan jaringan. Pada konsentrasi yang sesuai, sinyal tersebut dapat merangsang sel di sekitar bagian luka eksplan untuk kembali aktif membelah sehingga mempercepat pembentukan kalus. Namun, peningkatan konsentrasi MeJA juga dapat menimbulkan tekanan fisiologis yang lebih besar, seperti peningkatan respons stres, akumulasi senyawa fenolik, dan kemungkinan terjadinya pencokelatan jaringan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, yaitu WD2 menunjukkan rata-rata waktu muncul kalus tercepat sebesar 3,67 HST, sedangkan WD3 dan

WD4 menunjukkan waktu muncul kalus yang lebih lambat.

Perbandingan dengan penelitian lain menunjukkan bahwa respons terhadap MeJA sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman dan konsentrasi yang digunakan. Hyeon *et al.* (2024) melaporkan bahwa pemberian MeJA 100 μ M dan 200 μ M pada kalus *Damnacanthus major* meningkatkan akumulasi rubiadin masing-masing sebesar 12,0 dan 16,2 kali dibandingkan kontrol. Singh *et al.* (2024) juga melaporkan bahwa perlakuan MeJA pada kultur kalus *Calotropis gigantea* mampu meningkatkan senyawa cardiac glycosides hingga 537 dan 357 kali. Dengan demikian, MeJA dapat mengaktifkan respons metabolik jaringan, tetapi efeknya terhadap pertumbuhan kalus tetap bergantung pada konsentrasi, jenis eksplan, dan karakter fisiologis tanaman.

Pembentukan kalus umumnya diawali dari bagian luka akibat pemotongan eksplan. Area luka menjadi bagian yang aktif merespons kondisi kultur karena sel-sel di sekitar jaringan tersebut mengalami perubahan fisiologis dan kembali aktif membelah. Respons luka pada jaringan tanaman dapat memicu pembentukan kalus, regenerasi jaringan, dan respons pertahanan tanaman (Iwase *et al.*, 2021). Oleh karena itu, luka pada eksplan batang muda kemungkinan turut mendukung proses awal pembentukan kalus dalam penelitian ini.

Pada perlakuan WD3 dan WD4, waktu muncul kalus cenderung lebih lambat dibandingkan WD2. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi MeJA tidak selalu mempercepat pembentukan kalus. Pada konsentrasi yang sesuai, MeJA dapat merangsang respons fisiologis jaringan, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat menimbulkan tekanan fisiologis sehingga respons pertumbuhan menjadi lebih lambat. Respons kalus terhadap MeJA dapat dipengaruhi oleh konsentrasi perlakuan dan jenis tanaman yang digunakan (Hyeon *et al.*, 2024).

Dengan demikian, WD2 menunjukkan rata-rata waktu muncul kalus tercepat pada eksplan batang muda *M. cochinchinensis*. Namun, secara statistik WD2 tidak berbeda nyata dengan WD3 dan WD4, sehingga respons waktu muncul kalus perlu dipahami sebagai pengaruh yang berkaitan dengan konsentrasi MeJA, kondisi

fisiologis eksplan, serta kemampuan jaringan dalam beradaptasi terhadap media kultur.

Morfologi Kalus

Morfologi kalus diamati untuk mengetahui karakter fisik kalus yang terbentuk pada setiap perlakuan. Parameter morfologi yang diamati meliputi warna dan tekstur kalus, karena kedua karakter tersebut dapat menggambarkan kondisi fisiologis jaringan kalus. Berdasarkan hasil pengamatan, kalus *M. cochinchinensis* menunjukkan variasi warna, yaitu putih, hijau, hijau kekuningan, putih kekuningan, putih kecoklatan, hingga coklat. Tekstur kalus yang terbentuk sebagian besar tergolong remah atau *friable*, meskipun pada perlakuan tertentu juga ditemukan kalus kompak.

Kalus berwarna putih hingga putih kekuningan menunjukkan bahwa jaringan kalus masih berada dalam kondisi relatif muda dan aktif tumbuh. Warna tersebut umumnya menunjukkan bahwa sel-sel kalus masih aktif membelah dan belum banyak mengalami perubahan pigmen. Sementara itu, warna hijau atau hijau kekuningan dapat menunjukkan adanya perkembangan plastida atau pembentukan klorofil pada jaringan kalus. Warna kalus dapat bervariasi tergantung pada jenis eksplan, komposisi media, dan kondisi kultur yang digunakan (Habibah *et al.*, 2024).

Munculnya warna coklat pada sebagian kalus menunjukkan adanya gejala pencoklatan atau *browning*. Pencoklatan pada kultur jaringan umumnya terjadi akibat akumulasi dan oksidasi senyawa fenolik yang dilepaskan oleh jaringan tanaman sebagai respons terhadap luka atau stres selama kultur. *Browning* merupakan salah satu kendala dalam kultur *in vitro* karena dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan kualitas jaringan (Liu *et al.*, 2024).

Pada tingkat seluler, pencoklatan kalus dapat berkaitan dengan perubahan metabolisme jaringan, akumulasi senyawa fenolik, dan respons stres. *Browning* pada kalus berhubungan dengan perubahan metabolit dan ekspresi gen yang terlibat dalam biosintesis flavonoid serta senyawa fenolik (Wu *et al.*, 2024). Oleh karena itu, warna coklat pada sebagian kalus dalam penelitian ini diduga menunjukkan adanya respons stres pada jaringan eksplan selama proses kultur.

Dari segi tekstur, kalus remah atau *friable* menunjukkan susunan sel yang longgar dan mudah terpisah. Tekstur ini umumnya menunjukkan bahwa jaringan kalus masih aktif tumbuh dan memiliki potensi untuk berkembang lebih lanjut. Sebaliknya, kalus kompak memiliki struktur lebih padat dengan susunan sel yang lebih rapat. Pada penelitian ini, perlakuan WD2 menunjukkan respons morfologi yang cukup baik karena kalus yang terbentuk memiliki warna dominan cerah dan tekstur remah, meskipun sebagian jaringan juga menunjukkan pencoklatan.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan morfologi menunjukkan bahwa eksplan batang muda *M. cochinchinensis* mampu membentuk kalus dengan karakter yang bervariasi. Variasi warna dan tekstur tersebut diduga dipengaruhi oleh kondisi fisiologis eksplan, komposisi media, respons luka, serta konsentrasi MeJA yang diberikan. Kalus dengan warna putih hingga putih kekuningan dan tekstur remah menunjukkan kondisi pertumbuhan yang relatif baik, sedangkan munculnya warna coklat menunjukkan adanya respons stres atau oksidasi pada sebagian jaringan.

Kesimpulan

Eksplan batang muda *Momordica cochinchinensis* mampu membentuk kalus pada seluruh perlakuan dengan persentase pembentukan kalus mencapai 100%, sehingga menunjukkan bahwa eksplan memiliki kemampuan respons yang baik terhadap kondisi kultur *in vitro*. Perlakuan WD2, yaitu MS + MeJA L⁻¹, menunjukkan rata-rata waktu inisiasi kalus tercepat sebesar 3,67 HST; namun, secara statistik perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan WD3 dan WD4. Kalus yang terbentuk memiliki variasi warna putih, hijau, hijau kekuningan, putih kekuningan, putih kecoklatan hingga coklat, dengan tekstur dominan remah atau *friable*. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan rentang konsentrasi MeJA yang lebih spesifik, periode kultur yang lebih lama, serta menambahkan analisis metabolit sekunder untuk mengetahui potensi kalus *M. cochinchinensis* secara lebih mendalam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, atas dukungan pendanaan melalui Skema Penelitian Fundamental Reguler pada Program Pendanaan DPPM Kemdiktisaintek Tahun Anggaran 2025, sesuai dengan dokumen kontrak resmi Nomor 699/UN47.D1/PT.01.03/2025. Artikel ini merupakan bagian dari luaran penelitian yang didukung oleh skema pendanaan tersebut.

Referensi

- Anunthawan, T., Phosri, S., Woraratphoka, J., Somwatcharajit, R., Terdsaksri, P., & Prangphet, P. (2022). Effects of *Momordica cochinchinensis* aril extract on sterilized low-fat milk, antioxidant and antiproliferative activities. *International Journal of Food Science*, 2022, 7934454. <https://doi.org/10.1155/2022/7934454>
- Aulia, S. N., & Habibah, N. A. (2024). Callus induction from stem explants of binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) with the addition of picloram and BAP. *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*, 7(1), 13–22. <https://doi.org/10.21580/ah.v7i1.17799>
- Compton, M. E. (2024). Use of statistics in plant cell tissue culture. In V. M. Loyola-Vargas & N. Ochoa-Alejo (Eds.), *Plant Cell Culture Protocols* (Methods in Molecular Biology, Vol. 2827, pp. 15–34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3954-2_2
- Danaee, M., Farzinebrahimi, R., Kadir, M. A., Sinniah, U. R., & Mohamad, R. (2015). Effects of MeJA and SA elicitation on secondary metabolic activity, antioxidant content and callogenesis in *Phyllanthus pulcher*. *Brazilian Journal of Botany*, 38, 265–272. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0140-3>
- Domingo, A. G., Cariaga, J. F., & Gamboa, F. A. (2023). Evaluation of *Momordica cochinchinensis* fruit methanolic extract for potential medicinal use. *Indian Journal of Science and Technology*, 16(40), 3559–3566.

- <https://doi.org/10.17485/IJST/v16i40.778>
Girsang, I. E., Restiani, R., & Prasetyaningsih, A. (2023). Induksi kalus eksplan daun porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) menggunakan kombinasi air kelapa dan IAA (Indole Acetic Acid). *SCISCITATIO: Journal for Biological Science*, 4(2), 65–76.
<https://doi.org/10.21460/sciscitatio.2023.4.2.119>
- Habibah, N. A., Yuniastuti, A., Susanti, R., Lisdiana, Mustikaningtyas, D., Lutfiah, A., Aulia, S. N., & Rabbani, T. (2024). Growth and production of secondary metabolites in the callus of Bima Brebes shallot varieties. *Biodiversitas*, 25(8), 2811–2820.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d250855>
- Hsieh, Y.-Y., Hou, W.-C., Hsu, S.-J., Liaw, C.-C., Huang, C., Shih, M.-C. M., Shen, Y.-C., Chen, Y.-F., Lee, C.-K., Lee, O. K., Wu, C.-C., Lee, I.-J., Cheng, J.-J., Hou, Y.-C., & Liu, H.-K. (2024). Consumption of carotenoid-rich *Momordica cochinchinensis* (Gac) aril improves glycemic control in type 2 diabetic mice partially through taste receptor type 1 mediated glucagon-like peptide 1 secretion. *Food & Function*, 15(23), 11415–11431.
<https://doi.org/10.1039/D4FO04316B>
- Hyeon, H., Jang, E. B., Kim, S. C., Yoon, S.-A., Go, B., Lee, J.-D., Hyun, H. B., & Ham, Y.-M. (2024). Metabolomics reveals rubiadin accumulation and the effects of methyl jasmonate elicitation in *Damnacanthus major* calli. *Plants*, 13(2), 167.
<https://doi.org/10.3390/plants13020167>
- Iwase, A., Kondo, Y., Laohavisit, A., Takebayashi, A., Ikeuchi, M., Matsuoka, K., Asahina, M., Mitsuda, N., Shirasu, K., Fukuda, H., & Sugimoto, K. (2021). WIND transcription factors orchestrate wound-induced callus formation, vascular reconnection and defense response in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, 232(2), 734–752.
<https://doi.org/10.1111/nph.17594>
- Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Karthick, K., Shin, H., Choi, S. H., & Ramesh, M. (2023). Methyl jasmonate and salicylic acid as powerful elicitors for enhancing the production of secondary metabolites in medicinal plants: An updated review. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 153(3), 447–458.
<https://doi.org/10.1007/s11240-023-02485-8>
- Kamińska, M. (2021). Role and activity of jasmonates in plants under *in vitro* conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 146, 425–447.
<https://doi.org/10.1007/s11240-021-02091-6>
- Kuna, M. R., & Mappa, M. R. (2022). Isolasi dan identifikasi senyawa flavonoid ekstrak metanol biji buah dumbaya (*Momordica cochinchinensis*) menggunakan metode liquid chromatography-mass spectrometry. *Jurnal Farmasi Tinctura*, 3(2), 72–83.
<https://doi.org/10.35316/tinctura.v3i2.1950>
- Lan, H.-Y., Zhao, B., Shen, Y.-L., Li, X.-Q., Wang, S.-J., Zhang, L.-J., & Zhang, H. (2019). Phytochemistry, pharmacological activities, toxicity and clinical application of *Momordica cochinchinensis*. *Current Pharmaceutical Design*, 25(6), 715–728.
<https://doi.org/10.2174/1381612825666190329123436>
- Liu, C., Fan, H., Zhang, J., Wu, J., Zhou, M., Cao, F., Tao, G., & Zhou, X. (2024). Combating browning: Mechanisms and management strategies in *in vitro* culture of economic woody plants. *Forestry Research*, 4, e032.
<https://doi.org/10.48130/forres-0024-0026>
- Lonan, P., Ariyabukalakorn, V., Yoysungnoen, B., Singsai, K., Praphasawat, R., Sangkham, S., Jantarach, N., Riyamongkhol, P., Somparn, N., & Munkong, N. (2025). Hepatoprotective effects of Gac (*Momordica cochinchinensis*) aril extract in acetaminophen-induced liver injury: Modulation of oxidative stress, inflammation, and glucose metabolism. *Journal of Experimental Pharmacology*, 17, 527–543.
<https://doi.org/10.2147/JEP.S517411>
- Malothu, G. S., Marka, R., & Nanna, R. S. (2023). Effect of plant growth regulators on callus induction in *Solanum torvum*

- SW: A medicinal plant. *Vegetos*. <https://doi.org/10.1007/s42535-023-00722-1>
- Muna, A., Suharyanto, & Sasongko, A. B. (2022). Induksi kalus *Piper retrofractum* Vahl. dengan variasi eksplan dan zat pengatur tumbuh. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 14(1), 16–23. <https://doi.org/10.25134/quagga.v14i1.3796>
- Park, J.-S., Choi, Y., Jeong, M.-G., Jeong, Y.-I., Han, J.-H., & Choi, H.-K. (2023). Uncovering transcriptional reprogramming during callus development in soybean: Insights and implications. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1239917. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239917>
- Prashariska, K., Pitoyo, A., & Solichatun. (2021). Pengaruh Indole-3-Acetic Acid (IAA) dan Benzyl Amino Purine (BAP) terhadap induksi dan deteksi alkaloid kalus kamilen (*Matricaria chamomilla* L.). *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*, 23(2), 104–114. <https://doi.org/10.33061/innofarm.v23i2.5916>
- Rahmati, M., Golkar, P., & Tarkesh, M. (2023). Effects of methyl jasmonate elicitation on the carvone and limonene contents, phenolic compounds and antioxidant activity in caraway (*Carum carvi* L.) callus cultures. *Natural Product Research*, 37(24), 4221–4226. <https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2169862>
- Singh, P., Pandey, A., Bilung, C. J., Jeet, A., Nimoriya, R., Nandan, S., Kanojia, S., Mishra, D. K., & Tripathi, V. (2024). Identification of methyl jasmonate-induced cardiac glycosides and related biosynthetic transcripts from callus culture of *Calotropis gigantea* using transcriptome and metabolite profiling. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 60, 575–587. <https://doi.org/10.1007/s11627-024-10446-9>
- Tran, X. T., Parks, S. E., Roach, P. D., & Nguyen, M. H. (2020). Improved propagation methods for GAC (*Momordica cochinchinensis* Spreng.). *Experimental Agriculture*, 56(1), 132–141. <https://doi.org/10.1017/S001447971900022X>
- Wu, K., Zhang, J., Chen, Y., Li, X., Wang, H., Liu, Y., & Zhou, X. (2024). Unveiling the molecular mechanisms of browning in *Camellia hainanica* callus through transcriptomic and metabolomic analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(20), 11021. <https://doi.org/10.3390/ijms252011021>
- Yu, X., Zhang, W., Zhang, Y., Zhang, X., Lang, D., & Zhang, X. (2019). The roles of methyl jasmonate to stress in plants. *Functional Plant Biology*, 46(3), 197–212. <https://doi.org/10.1071/FP18106>