



Pengaruh Pemberian Nanopartikel TiO₂ pada Berbagai Konsentrasi terhadap Perubahan Morfologi dan Biomassa Kalus Ginseng Jawa (*Talinum paniculatum*) secara In Vitro

¹Zakiy Maulana, ^{2*}Zozy Aneloi Noli, ³Suwirmen, ⁴Syifa Fajrisani, ⁵Suci Indah Putri

^{1,2,3,4,5}Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia.

*Corresponding Author e-mail: zozynoli@sci.unand.ac.id

Received: October 2025; Revised: November 2025; Accepted: December 2025; Published: December 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi nanopartikel TiO₂ terhadap karakteristik kalus ginseng jawa. Penelitian dilakukan dengan rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan konsentrasi TiO₂ yang berbeda (0, 1, 2, 3, 4, 5 ppm) selama 14 hari. Parameter diamati yaitu morfologi kalus berupa warna dan tekstur kalus, berat basah dan berat kering kalus. Data berat basah kalus dan berat kering kalus dianalisis menggunakan uji *One-way ANOVA* dan *Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)*, sedangkan data warna dan tekstur kalus dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel TiO₂ menunjukkan perubahan warna kalus pada rentang kuning hingga kuning kemerahan, dan kalus yang dihasilkan bertekstur kompak. Nanopartikel TiO₂ hingga 5 ppm belum menunjukkan efek negatif pada berat basah serta berat kering kalus. Hasil ini menunjukkan bahwa TiO₂ nanopartikel pada konsentrasi tersebut berperan dalam memodifikasi sifat visual kalus tanpa mempengaruhi akumulasi biomassa. Dengan demikian, penggunaan nanopartikel TiO₂ dapat berpotensi digunakan untuk peningkatan produksi metabolit sekunder.

Kata Kunci: Kalus; *Talinum paniculatum*; nanopartikel; TiO₂; In vitro

Abstract: This study aims to analyze the effect of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticle concentrations on the characteristics of *Talinum paniculatum* (Java ginseng) callus. The experiment was conducted using a completely randomized design with six TiO₂ concentration treatments (0, 1, 2, 3, 4, and 5 ppm) over a 14-day incubation period. The observed parameters included callus morphology (color and texture), fresh weight, and dry weight. Fresh and dry weight data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT), while callus color and texture were analyzed descriptively. The results showed that the addition of TiO₂ nanoparticles induced changes in callus color ranging from yellow to yellow-reddish, and the resulting callus exhibited a compact texture. TiO₂ nanoparticles up to a concentration of 5 ppm did not show negative effects on either fresh or dry callus weight. These findings indicate that TiO₂ nanoparticles at the tested concentrations play a role in modifying the visual characteristics of callus without affecting biomass accumulation. Therefore, TiO₂ nanoparticles have potential application in enhancing secondary metabolite production.

Keywords: Callus; *Talinum paniculatum*; nanoparticle; TiO₂; In vitro

How to Cite: Maulana, Z., Noli, Z. A., Suwirmen, Fajrisani, S., & Putri, S. I. (2025). Pengaruh Pemberian Nanopartikel TiO₂ pada Berbagai Konsentrasi terhadap Perubahan Morfologi dan Biomassa Kalus Ginseng Jawa (*Talinum paniculatum*) secara In Vitro. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 3019–3028. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18160>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.18160>

Copyright© 2025, Maulana et al
This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Penggunaan tanaman sebagai sumber bahan obat telah berlangsung sejak lama dan hingga kini masih menjadi fokus penelitian dalam bidang farmasi dan bioteknologi. Salah satu tanaman yang banyak dimanfaatkan adalah *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn., yang dikenal sebagai ginseng jawa atau kolesom jawa. Tanaman ini dilaporkan memiliki berbagai aktivitas biologis, antara lain sebagai agen antihipertensi, antipenuaan, antioksidan, dan antimikroba (Silalahi, 2022). Aktivitas tersebut berkaitan erat dengan kandungan metabolit sekundernya yang meliputi flavonoid, steroid, tanin, senyawa fenolik, dan stigmasterol (Valitova et al., 2024; Yeni, 2022).

Namun, pemanfaatan *T. paniculatum* sebagai bahan obat memerlukan waktu yang relatif lama, yaitu sekitar tujuh bulan hingga satu tahun (Nuhamara, 2017). Untuk mempercepat perolehan metabolit bernilai farmakologis, teknik kultur jaringan, khususnya kultur kalus, dapat dijadikan sebagai alternatif yang efektif. Metode ini memiliki keunggulan berupa kondisi yang lebih terkontrol, bebas dari patogen, serta mampu menghasilkan metabolit target dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan budidaya konvensional (Rai *et al.*, 2022; Kulak *et al.*, 2022). Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa kultur kalus efektif digunakan dalam produksi senyawa bioaktif dari tanaman obat (Putri dan Noli, 2021; Noli *et al.*, 2024; Hanafi *et al.*, 2025).

Produksi metabolit sekunder pada tanaman umumnya meningkat ketika tanaman mengalami cekaman. Dalam kultur jaringan, cekaman dapat diinduksi melalui teknik elisitasi, yaitu pemberian senyawa tertentu dalam konsentrasi rendah untuk merangsang biosintesis metabolit sekunder (Rostami *et al.*, 2022). Elisitasi telah menjadi pendekatan yang populer karena terbukti mampu meningkatkan produksi metabolit dan mengatasi berbagai kendala produksi secara tradisional (Rodrigues *et al.*, 2024; Sangwan *et al.*, 2024). Salah satu agen elisitasi yang kini banyak mendapat perhatian adalah nanopartikel, karena dinilai lebih efisien dalam menginduksi stres terkontrol pada tanaman (Mmereke *et al.*, 2024). Nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) diketahui dapat mengaktifasi sistem pertahanan oksidatif tanaman melalui regulasi Reactive Oxygen Species (ROS) serta meningkatkan aktivitas berbagai enzim dan produksi metabolit sekunder (Lala, 2021). Meskipun demikian, efek nanopartikel sangat bergantung pada konsentrasinya; pada dosis optimum dapat memberikan efek stimulatif, sedangkan pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan sel dan berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman (Trela-Makowej *et al.*, 2024).

Kualitas dan potensi metabolit kalus dapat diindikasikan melalui karakteristik morfologinya, seperti warna dan tekstur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemberian nanopartikel perak (AgNP) pada kalus *Caralluma tuberculata* menghasilkan warna kuning kehijauan dengan tekstur intermediet yang berkorelasi dengan kadar flavonoid dan fenol tertinggi (Ali *et al.*, 2019). Penggunaan nanopartikel kombinasi Fe-ZnO pada kalus *Fagonia indica* menghasilkan kalus berwarna hijau dengan tekstur remah dan kandungan antioksidan, fenol, serta flavonoid tertinggi (Khan *et al.*, 2021). Selain itu, aplikasi nanopartikel TiO_2 dan SiO_2 pada kalus *Argania spinosa* menghasilkan kalus berwarna putih dan bertekstur remah dengan akumulasi metabolit sekunder tertinggi (Hegazi *et al.*, 2020).

Hingga saat ini, informasi mengenai pengaruh nanopartikel TiO_2 terhadap karakteristik kalus ginseng jawa masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemberian nanopartikel TiO_2 terhadap karakteristik morfologi kalus *Talinum paniculatum*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar informasi awal dalam pengembangan strategi optimasi kultur kalus ginseng jawa menggunakan nanopartikel.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, dari bulan Maret hingga Juli 2025. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah scapel, pinset, bunsen spritus, *petridish*, gelas ukur, *beaker glass*, *Laminar Air Flow Cabinet* (LAFC), *autoclave*, oven, timbangan analitik, *hand sprayer*, *hotplate*, *magnetic stirrer*, pipet ukur, kertas pH, karet gelang, plastik tahan panas, botol kultur, *aluminium foil*, pipet tetes, rak kultur, kertas label, kain hitam, dan kamera. Bahan yang digunakan adalah eksplan daun dari *T. paniculatum*, *aluminium foil*, media MS

(Murashige and Skoog) 4,43g/L, agar instan, hormon NAA (1ppm), BAP (1ppm), Nanopartikel TiO_2 , sukrosa, deterjen, bakterisida & fungisida, Clorox 20% & 10%, Tween 80, pelarut etanol, alkohol 70%, *aquadest* steril, NaOH 1N, HCl 1N.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa eksplan daun *T. paniculatum* yang berfungsi sebagai sumber jaringan untuk proses induksi pembentukan kalus. Induksi kalus secara *in vitro* menggunakan media MS yang ditambahkan NAA 1 ppm dan BAP 1 ppm. Eksplan di inkubasi pada suhu ruang 24-25°C selama $\pm$ 30 hari sampai kalus muncul. Selanjutnya kalus dipindahkan kedalam botol berisi media perlakuan dan dipanen setelah 14 hari perlakuan. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan enam taraf perlakuan, yaitu pemberian nanopartikel TiO_2 pada konsentrasi 0 ppm (kontrol), 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm, dan 5 ppm. Setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali untuk memastikan validitas data yang diperoleh. Variabel pengamatan penelitian ini yaitu: (1) warna kalus, (2) tekstur kalus, (3) berat basah (g), (4) berat kering (g).

Prosedur Penelitian

1. Sterilisasi alat

Semua alat penanaman berupa botol kultur, *petridish*, *scapel* dan pinset di cuci bersih dengan air mengalir, kemudian di keringkan di dalam oven dengan suhu 80°C. setelah kering, alat tersebut dibungkus dengan kertas, dimasukkan ke dalam plastik tahan panas dan *diautoclave* selama 15 menit dengan temperatur 121°C. Setelah proses *autoclave* selesai, alat tersebut dikeluarkan dari autoclave dan disimpan di tempat steril sampai akan digunakan. Alat yang tidak tahan panas disterilisasi menggunakan alkohol 70%.

2. Pembuatan media induksi kalus dan media perlakuan

Pembuatan media induksi kalus dilakukan dengan cara media MS instan ditimbang sebanyak 4,43 g dengan menggunakan timbangan analitik dan dimasukan kedalam *beaker glass*, setelah itu dimasukan sukrosa 30 g, hormon NAA 1 ppm dan BAP 1 ppm dan dicukupkan dengan *aquadest* hingga mencapai 1000 mL, selanjutnya dihomogenkan dengan *magnetic stirrer*. Selanjutnya pH diatur pada rentang 5,5-5,8 dengan menambahkan HCL dan NaOH. Setelah pH stabil selanjutnya media ditambahkan agar instan sebanyak 7 g dan media dipanaskan menggunakan *hotplate* hingga mendidih. Media dituang ke botol kultur masing masing sebanyak 10 mL, ditutup dan diberi label. Media kemudian disimpan kedalam lemari penyimpanan.

Media perlakuan disiapkan dengan melarutkan medium MS instan sebanyak $2,23 \text{ g L}^{-1}$ dan sukrosa 15 g L^{-1} , kemudian ditambahkan nanopartikel TiO_2 dengan konsentrasi bertingkat sebesar 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ ke dalam masing-masing larutan perlakuan. Rentang konsentrasi tersebut dipilih berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa nanopartikel TiO_2 pada konsentrasi rendah hingga sedang berpotensi bertindak sebagai elisitor tanpa menimbulkan efek toksik pada jaringan tanaman, sehingga diharapkan mampu memengaruhi karakteristik kalus tanpa menghambat pertumbuhannya. Selanjutnya dicukupkan dengan *aquadest* hingga mencapai 500ml. Selanjutnya pH media disesuaikan pada rentang 5,5-5,8 menggunakan pH meter. Media kemudian dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* dan ditambahkan agar instan 3,5 g. Media dipanaskan dengan *hotplate* hingga mendidih kemudian dituang ke botol kultur masing-masingnya sebanyak 10 mL, ditutup dan diberi label sesuai perlakuan. Semua media disterilkan menggunakan *autoclave* dengan temperatur 121°C selama 15 menit dan setelah dingin media diberi label dan disimpan kedalam lemari penyimpanan.

3. Sterilisasi eksplan

Eksplan berupa daun *T. paniculatum* terlebih dahulu dicuci menggunakan deterjen komersial, kemudian dibilas dengan air mengalir. Sterilisasi permukaan diawali dengan perendaman dalam larutan Tween 80 selama 30 detik, diikuti pembilasan menggunakan akuades steril. Selanjutnya, daun direndam dalam larutan fungisida dan bakterisida selama ± 20 menit, kemudian dibilas kembali dengan akuades steril, dan dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan bakterisida selama ± 4 menit serta pembilasan akuades steril. Seluruh proses berikutnya dilakukan di dalam laminar air flow cabinet (LAFC), yaitu perendaman eksplan dalam larutan kloroks 20% selama ± 10 menit, diikuti pembilasan dengan akuades steril, kemudian perendaman dalam kloroks 10% selama ± 15 menit dan pembilasan kembali. Tahap akhir sterilisasi dilakukan dengan perendaman dalam alkohol 70% selama 30 detik, setelah itu eksplan diletakkan pada cawan petri steril untuk proses penanaman.

4. Inisiasi kalus

Inisiasi kultur dilakukan dengan menanam eksplan secara aseptik. Eksplan diambil menggunakan pinset steril, dikeringkan sementara di atas tisu steril untuk menghilangkan sisa cairan, kemudian ditanam pada botol kultur yang berisi media inisiasi kalus. Mulut botol disterilkan dengan nyala bunsen, selanjutnya botol ditutup rapat menggunakan lakban bening. Setiap botol kultur diberi label yang memuat informasi nama spesies, jenis perlakuan, dan tanggal penanaman. Kultur kemudian diinkubasi di ruang kultur dengan fotoperiode 16 jam terang per hari pada suhu 23–25 °C hingga terbentuk kalus setelah ± 30 hari. Pemeliharaan dilakukan secara rutin melalui pengamatan harian terhadap kondisi media dan pertumbuhan kalus. Botol yang menunjukkan gejala kontaminasi, seperti perubahan warna media atau munculnya mikroorganisme, segera dipisahkan dan dikeluarkan dari ruang kultur untuk mencegah penyebaran kontaminan.

5. Penanaman kalus pada media perlakuan

Kalus yang terbentuk pada media inisiasi selanjutnya disubkultur ke dalam media perlakuan yang mengandung nanopartikel TiO_2 sesuai dengan taraf konsentrasi yang telah ditetapkan. Setiap perlakuan terdiri atas empat ulangan, dengan masing-masing botol kultur berisi tiga klump (potongan) kalus. Kultur diamati setiap hari untuk memantau pertumbuhan dan kemungkinan terjadinya kontaminasi. Kalus kemudian dipanen pada 14 hari setelah tanam (HST) untuk selanjutnya dilakukan analisis kualitatif dan kuantitatif.

Parameter Pengamatan

1. **Warna Kalus:** Warna kalus diamati secara visual dan ditentukan dengan mencocokkan warna kalus menggunakan *The Munsell Plant Tissue Color Book* pada 14 hari setelah tanam (HST).
2. **Tekstur Kalus:** Tekstur kalus diamati secara visual dan taktil menggunakan skalpel, kemudian dikategorikan ke dalam tiga kelompok, yaitu remah, intermediet, dan kompak, pada 14 HST.
3. **Berat Basah Kalus:** Berat basah kalus ditentukan dengan menimbang kalus menggunakan neraca analitik pada 14 HST.
4. **Berat Kering Kalus:** Berat kering kalus diperoleh dengan mengeringkan kalus yang telah ditimbang berat basahanya dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam, kemudian ditimbang kembali menggunakan neraca analitik.

Analisis Data

Data kuantitatif berupa berat basah kalus dan berat kering kalus dianalisis menggunakan IBM SPSS Statistics 25 dengan taraf perlakuan $p=5\%$. Data

dianalisis menggunakan uji *One-way ANOVA* dan *Duncan's New Multiple Range Test* (DNMRT) ketika terdapat perbedaan signifikan. Parameter morfologi berupa warna dan tekstur kalus dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Kalus

Hasil pengamatan morfologi kalus *T. paniculatum* yang dielisisasi dengan nanopartikel TiO₂ disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh perlakuan menghasilkan kalus dengan tekstur kompak, sedangkan warna kalus berada pada kisaran kuning hingga kuning kemerahan.

Tabel 1. Morfologi tekstur dan warna kalus

Perlakuan	Tekstur Kalus	Warna Kalus	Gambar
Nanopartikel TiO ₂ 0ppm	Kompak	<i>Olive brown</i> 2.5Y 5/4	
Nanopartikel TiO ₂ 1ppm	Kompak	<i>Strong yellow</i> 2.5Y 7/10	
Nanopartikel TiO ₂ 2ppm	Kompak	<i>Pale olive</i> 5Y 5/4	
Nanopartikel TiO ₂ 3ppm	Kompak	<i>Reddish yellow</i> 7.5YR 7/8	
Nanopartikel TiO ₂ 4ppm	Kompak	<i>Dark reddish brown</i> 5YR 3/2	
Nanopartikel TiO ₂ 5ppm	Kompak	<i>Light reddish brown</i> 2.5YR 6/4	

Seluruh perlakuan elisitasi menggunakan nanopartikel TiO₂ menghasilkan kalus *T. paniculatum* dengan tekstur kompak. Tekstur kalus merupakan indikator penting kualitas pertumbuhan karena mencerminkan tingkat proliferasi seluler dan status fisiologis jaringan (Habibah *et al.*, 2024). Ardhani *et al.* (2024) menegaskan bahwa kalus dengan tekstur kompak lebih potensial untuk biosintesis metabolit sekunder, yang berkaitan dengan proses lignifikasi dan tingginya akumulasi metabolit. Kalus kompak juga menunjukkan tingkat diferensiasi jaringan yang lebih tinggi dibandingkan kalus remah, yang ditandai oleh ukuran sel yang relatif kecil, sitoplasma padat, nukleus besar, serta kandungan karbohidrat yang tinggi (Herwinaldo *et al.*, 2018; Suryaningsih *et al.*, 2024).

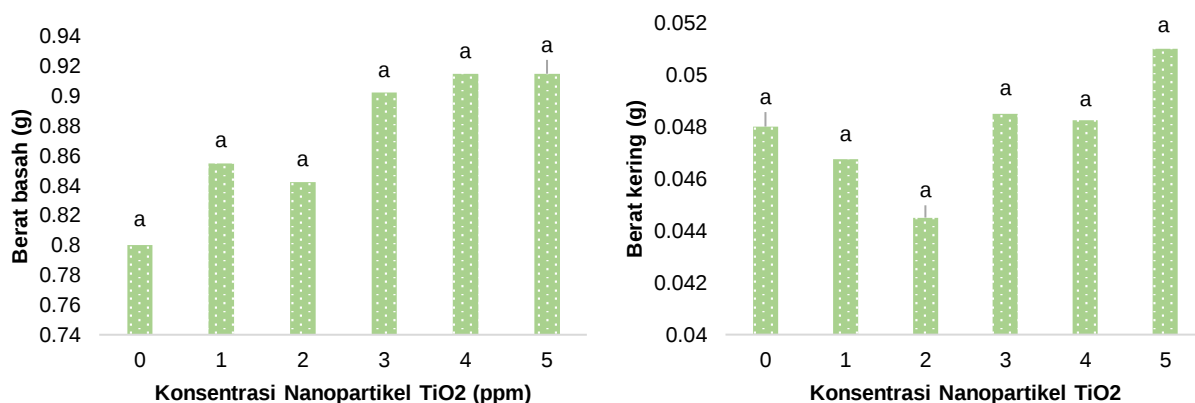
Pengamatan terhadap warna kalus *T. paniculatum* yang diberi perlakuan nanopartikel TiO₂ menunjukkan adanya variasi warna dari hijau kekuningan hingga kuning gelap kemerahan seiring dengan peningkatan konsentrasi nanopartikel.

Perubahan warna tersebut mengindikasikan adanya respons fisiologis kalus terhadap cekaman oksidatif yang ditimbulkan oleh nanopartikel TiO₂. Pada konsentrasi rendah, nanopartikel berperan sebagai elisitor yang memicu aktivitas metabolik dan sintesis pigmen, sedangkan pada konsentrasi yang lebih tinggi cenderung meningkatkan produksi ROS yang selanjutnya mengaktifkan enzim polifenol oksidase (PPO). Aktivasi PPO ini menyebabkan oksidasi senyawa fenolik sehingga warna kalus menjadi lebih gelap atau kecoklatan, yang berpotensi menurunkan viabilitas jaringan (Wahyuni *et al.*, 2020; Taranto *et al.*, 2017).

Fenomena perubahan warna kalus akibat peningkatan konsentrasi elisitor juga dilaporkan pada berbagai tanaman. Szymczyk *et al.* (2021) melaporkan pergeseran warna kalus *Salvia miltiorrhiza* dari kuning menjadi oranye pucat setelah elisitasi asam salisilat pada konsentrasi 0,1–0,4 mM. Hasil serupa dilaporkan oleh Purwianingsih *et al.* (2019) pada kalus *Morinda citrifolia* yang dielisitasi kitosan, di mana intensitas perubahan warna meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi elisitor. ALTaee *et al.* (2024) juga menunjukkan bahwa aplikasi nanopartikel perak (AgNP) pada kalus *Foeniculum vulgare* menyebabkan perubahan warna menjadi kuning kecoklatan dan kehijauan. Dengan demikian, variasi warna kalus pada penelitian ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi nanopartikel TiO₂ berpengaruh langsung terhadap tingkat stres oksidatif dan aktivitas metabolisme kalus *T. paniculatum*, yang selanjutnya tercermin pada perubahan karakter visual dan potensi akumulasi biomassa.

Berat Basah dan Berat Kering Kalus

Hasil pengukuran berat basah dan berat kering kalus *T. paniculatum* yang dielisitasi dengan nanopartikel TiO₂ disajikan pada Gambar 1.



Keterangan: Perlakuan berbagai konsentrasi nanopartikel TiO₂ tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik berdasarkan hasil analisis ANOVA pada taraf 5%

Gambar 1. Berat basah dan berat kering kalus *T. paniculatum* yang dielisitasi dengan beberapa konsentrasi nanopartikel TiO₂ selama 14 hari

Berat basah dan berat kering kalus ditentukan menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,001 g. Data berat basah menunjukkan sebaran normal sehingga analisis dilanjutkan menggunakan uji one-way ANOVA untuk mengevaluasi perbedaan antarperlakuan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian nanopartikel TiO₂ hingga konsentrasi 5 ppm tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap berat basah maupun berat kering kalus ($p > 0,05$). Temuan ini mengindikasikan bahwa pada rentang konsentrasi tersebut, nanopartikel TiO₂ belum memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan maupun akumulasi biomassa

kalus *T. paniculatum*. Nilai berat kering yang lebih rendah dibandingkan berat basah disebabkan oleh berkurangnya kandungan air setelah proses pengeringan (Nafia dan Habibah, 2025).

Tidak ditemukannya perbedaan signifikan pada berat basah dan berat kering kalus diduga berkaitan dengan konsentrasi elisitor yang belum mencapai ambang stimulatif maupun toksik. Al-Khayri & Naik (2020) menjelaskan bahwa elisitor pada konsentrasi rendah sering kali belum mampu memicu peningkatan metabolisme secara nyata, sedangkan pada konsentrasi tinggi justru dapat menurunkan viabilitas sel hingga menyebabkan kematian sel. Selain itu, fase perkembangan kalus juga berperan penting dalam menentukan efektivitas elisitasi. Guru *et al.* (2022) melaporkan bahwa aplikasi elisitor pada kalus yang masih muda cenderung belum mampu meningkatkan biomassa, bahkan dapat menurunkannya, sedangkan pada fase kalus yang lebih matang peluang peningkatan biomassa menjadi lebih besar.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa temuan sebelumnya. Chutipaijit dan Sutjaritvorakul (2018) melaporkan bahwa aplikasi nanopartikel TiO_2 pada konsentrasi 10-40 ppm tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap berat kering kalus *Oryza sativa* L. ssp. indica. Demikian pula, elisitasi kalus *Limonium algarvense* menggunakan asam salisilat pada konsentrasi 50 dan 100 μM tidak menunjukkan perbedaan signifikan pada berat basah maupun berat kering (Lescano *et al.*, 2025), serta pemaparan asam jasmonat pada kalus *Atropa belladonna* dalam rentang 10–50 μM juga tidak memengaruhi berat kering secara nyata (Elshorbagy *et al.*, 2018). Keselarasan hasil ini memperkuat dugaan bahwa pada konsentrasi tertentu, elisitor lebih berperan dalam memodulasi karakter fisiologis dan metabolisme kalus daripada meningkatkan biomassa secara langsung.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan nanopartikel TiO_2 hingga konsentrasi 5 ppm pada kultur kalus *Talinum paniculatum* terbukti memengaruhi karakter morfologi kalus, khususnya tekstur dan warna, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap berat basah maupun berat kering kalus. Hasil ini menunjukkan bahwa TiO_2 nanopartikel pada konsentrasi tersebut berperan dalam memodifikasi sifat visual kalus tanpa mempengaruhi akumulasi biomassa. Temuan ini memberikan dasar bagi penelitian lanjutan untuk mengevaluasi konsentrasi yang lebih tinggi atau parameter fisiologis dan biokimia lain guna mengkaji potensi TiO_2 nanopartikel dalam meningkatkan kualitas dan metabolisme kalus secara lebih komprehensif.

REKOMENDASI

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi kandungan metabolit sekunder yang dihasilkan oleh kalus melalui analisis lanjutan seperti uji spektrofotometri dan LC-MS. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan penelitian dengan memperluas jenis eksplan, variasi umur kalus, serta penggunaan kombinasi perlakuan antar nanopartikel guna memperoleh kondisi optimum bagi peningkatan produksi metabolit sekunder.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada LPPM Universitas Andalas atas hibah Rekognisi Tugas Akhir (RTA) Penelitian Skripsi Sarjana Nomor kontrak: 358/UN16.19/PT.01.03/PSS/2025 dan Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan

Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas yang sudah memfasilitasi kegiatan penelitian ini sehingga penelitian ini berlangsung dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Mohammad, S., Khan, M. A., Raja, N. I., Arif, M., Kamil, A., & Mashwani, Z.-R. (2019). Silver nanoparticles elicited *in vitro* callus cultures for accumulation of biomass and secondary metabolites in *Caralluma tuberculata*. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47(1), 715–724. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1577884>
- Al-Khayri, J. M., & Naik, P. M. (2020). Elicitor-Induced Production of Biomass and Pharmaceutical Phenolic Compounds in Cell Suspension Culture of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Molecules*, 25(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/molecules25204669>
- ALTae, A., Masyab, H., Bilal, S., & Abdullah, R. (2024). Silver Nanoparticles as Catalysts of *Foeniculum vulgare* Callus Formation and Its Content of Vitamins and Some Fatty acids. *Iranian Journal of Biotechnology*, 22(2). <https://doi.org/10.30498/ijb.2024.420812.3814>
- Ardhani, D. N., Maharijaya, A., & Rahayu, M. S. (2024). Callus formation response from immature male flower explant of plantain banana (*Musa acuminata* x *Musa balbisiana* cv. Kepok) treated by 2,4-D and BAP. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 52(1), 101–109. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i1.49008>
- Chutipaijit, S., & Sutjaritvorakul, T. (2018). Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles Induced Callus Induction And Plant Regeneration Of Indica Rice Cultivars (Suphanburi1 And Suphanburi90). *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(4), 1003–1010.
- Elshorbagy, M. I., Ibrahim, S. M., Abo El-Seoud, K. A., & Abd El-Maksoud, A. I. (2018). Tropane Alkaloids Production from Callus Culture of *Atropa belladonna* L. As Affected By Elicitors And Precursor Feeding. *International Research Journal of Pharmacy*, 9(7), 116–125. <https://doi.org/10.7897/2230-8407.097135>
- Guru, A., Dwivedi, P., Kaur, P., & Pandey, D. K. (2022). Exploring the role of elicitors in enhancing medicinal values of plants under *in vitro* condition. *South African Journal of Botany*, 149, 1029–1043. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.014>
- Habibah, N. A., Yuniastuti, A., Susanti, R., Lisdiana, L., 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 Journal of Biological Diversity*, 25(8). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250855>
- Hanafi, M., Noli, Z. A., Idris, M., & Hany, I. P. (2025). Micropopagation of *Cryptocarya massoy* (Oken) Kosterm. Trough optimizing callus induction with Benzylaminopurine (BAP) supplementation. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(2), 1509-1518. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i2.13852>
- Hegazi, G. A., Ibrahim, W. M., Hendawy, M. H., Salem, H. M., & Ghareb, H. E. (2020). Improving A-Tocopherol Accumulation in *Argania spinosa* Suspension Cultures by Precursor and Nanoparticles Feeding. *Plant Archives*, 20(2), 2431–2437.
- Herwinaldo, D. C., Solichatun, S., & Anggarwulan, E. (2018). The effect of sucrose concentration on growth and induction of somatic embryogenesis in *Catharanthus roseus* callus. *Cell Biology and Development*, 2(2). <https://doi.org/10.13057/cellbioldev/v020204>
- Khan, A. U., Khan, T., Khan, M. A., Nadhman, A., Aasim, M., Zaman, N., Ali, W., Nazir, N., & Zahoor, M. (2021). *Iron-doped zinc oxide nanoparticles-triggered elicitation*

- of important phenolic compounds in cell cultures of *Fagonia indica*. Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-314389/v1>
- Kulak, V., Longboat, S., Brunet, N. D., Shukla, M., & Saxena, P. (2022). In Vitro Technology in Plant Conservation: Relevance to Biocultural Diversity. *Plants*, 11(4), 503. <https://doi.org/10.3390/plants11040503>
- Lala, S. (2021). Nanoparticles as elicitors and harvesters of economically important secondary metabolites in higher plants: A review. *IET Nanobiotechnology*, 15(1), 28–57. <https://doi.org/10.1049/nbt2.12005>
- Lescano, L., Cziáky, Z., Custódio, L., & Rodrigues, M. J. (2025). Yeast extract elicitation enhances growth and metabolite production in *Limonium algarvense* callus cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 160(2), 45. <https://doi.org/10.1007/s11240-025-02991-x>
- Mmereke, K. M., Venkataraman, S., Moiketsi, B. N., Khan, M. R., Hassan, S. H., Rantong, G., Masisi, K., Kwape, T. E., Gaobotse, G., Zulfikar, F., Kumar Sharma, S., Malik, S., & Makhzoum, A. (2024). Nanoparticle elicitation: A promising strategy to modulate the production of bioactive compounds in hairy roots. *Food Research International*, 178, 113910. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113910>
- Nafia, R., & Habibah, N. A. (2025). Optimalisasi Induksi Kalus Tebu (*Saccharum officinarum* L.) pada Media Murashige and Skoog dengan Penambahan Pikloram dan Kinetin. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(3), 1790–1802.
- Nuhamara, D. W. (2017). Kandungan Asam Lemak Pada Ginseng Jawa (*Talinum paniculatum*) Serta Tingkat Konversinya Menjadi Biodiesel. Skripsi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Noli, Z. A., Hanafi, M., Idris, M., & Hany, I. P. (2024). Effect of Kinetin Concentration on Callus Induction of *Cryptocarya massoy* (Oken) Kosterm Under in Vitro Conditions. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1b), 532–539. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1b.8162B>
- Purwianingsih, W., Hidayat, R. Y., & Rahmat, A. (2019). Increasing anthraquinone compounds on callus leaf *Morinda citrifolia* (L.) by elicitation method using chitosan shell of shrimps (*Penaeus monodon*). *Journal of Physics: Conference Series*, 1280, 022001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/2/022001>
- Putri, N. S., & Noli, Z. A. (2021). Callus Culture as the Method in Providing Antimalarial Compounds of Piper Genus. *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, 10(Supplement), PP03_p8-PP03_p11. <https://doi.org/10.3107/jesss.10.PP03>
- Rai, A. C., Kumar, A., Modi, A., & Mejara Singha (Eds.). (2022). *Advances in plant tissue culture: Current developments and future trends*. Academic Press.
- Rodrigues, M. J., Neng, N., & Custódio, L. (2024). NaCl elicitation enhances metabolite accumulation and stress resilience in *Inula crithmoides* L. shoot cultures: Implications for its nutritional and medicinal value. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 157(1), 17. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02750-4>
- Rostami, F., Radjabian, T., & Abrishamchi, P. (2022). Enhancement of phenolic acids accumulation in *Salvia abrotanoides* (Kar.) Sytsma shoot cultures under elicitation with nitric oxide. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 149(1), 441–453. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02252-1>
- Sangwan, N. S., Jha, S., & Mitra, A. (2024). Unlocking nature's treasure trove: Biosynthesis and elicitation of secondary metabolites from plants. *Plant Growth Regulation*, 104(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01184-4>

- Silalahi, M. (2022). *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gertn (Kajian Pemanfaatannya sebagai Bahan Pangan dan Bioaktivitasnya). *Jurnal Pro-Life*, 9(1). <https://doi.org/10.33541/jpvol6iss2pp102>
- Suryaningsih, D. R., Indarwati, I., & Herawati, J. (2024). Tissue Culture and Light Elicitor Enhancing Secondary Metabolite on Jasmine. *Agrotechnology Research Journal*, 8(1), 66–71. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v8i1.84998>
- Szymczyk, P., Szymańska, G., Kochan, E., Szemraj, J., & Grąbkowska, R. (2021). Elicitation of solid callus cultures of *Salvia miltiorrhiza* Bunge with salicylic acid and a synthetic auxin (1-naphthaleneacetic acid). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 147(3), 491–502. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02141-z>
- Taranto, F., Pasqualone, A., Mangini, G., Tripodi, P., Miazzi, M. M., Pavan, S., & Montemurro, C. (2017). Polyphenol Oxidases in Crops: Biochemical, Physiological and Genetic Aspects. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ijms18020377>
- Trela-Makowej, A., Orzechowska, A., & Szymańska, R. (2024). Less is more: The hormetic effect of titanium dioxide nanoparticles on plants. *Science of The Total Environment*, 910, 168669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168669>
- Valitova, J., Renkova, A., Beckett, R., & Minibayeva, F. (2024). Stigmasterol: An Enigmatic Plant Stress Sterol with Versatile Functions. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/ijms25158122>
- Wahyuni, D. K., Huda, A., Faizah, S., Purnobasuki, H., & Wardoyo, B. P. E. (2020). Effects of light, sucrose concentration and repetitive subculture on callus growth and medically important production in *Justicia gendarussa* Burm.f. *Biotechnology Reports*, 27, e00473. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00473>
- Yeni, L. F. (2022). Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol *Talinum paniculatum* Lokal Kalimantan Barat terhadap *Shigella sonnei*. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, 14(1), 51–58. <https://doi.org/10.25134/quagga.v14i1.5081>