

Induksi Kalus dari Antera Pisang Goroho (*Musa acuminata L.*) dengan Menggunakan 2,4-D dan BAP

Risna A. Onu^{1*}, Jusna Ahmad², Febriyanti³, Novri Youla Kandowangko⁴, Devi Bunga Pagalla⁵, Indriati Husain⁶

¹⁻⁶ Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

email: risnaonu@gmail.com¹

Article Info :

Received:

18-11-2025

Revised:

19-12-2025

Accepted:

30-12-2025

Abstract

*Callus induction is a critical stage in anther culture for supporting the propagation and genetic improvement of local banana cultivars. This study evaluated the effect of different combinations of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 6-benzylaminopurine (BAP) on callus induction from goroho banana (*Musa acuminata L.*) anthers. Observations were conducted for 30 days after induction, focusing on callus emergence time and morphological characteristics, including color and texture. The results demonstrated distinct responses among treatments. The combination of 1.5 ml 2,4-D and 1.5 ml BAP produced the fastest callus initiation with an average of 13.17 days after induction and generated friable callus with a pale yellow coloration, indicating high cellular activity. Lower growth regulator concentrations delayed callus formation, while higher concentrations promoted color changes associated with early tissue differentiation. No callus formation was observed in the absence of exogenous growth regulators. These findings highlight the importance of balanced auxin and cytokinin concentrations in regulating anther-derived callus induction and provide a physiological basis for further development of goroho banana anther culture systems.*

Keywords: Anther Culture, Callus Induction, 2,4-D, BAP, *Musa Acuminata L.*

Abstrak

Induksi kalus merupakan tahap kritis dalam kultur anter untuk mendukung perbanyakan dan perbaikan genetik varietas pisang lokal. Studi ini mengevaluasi efek kombinasi berbeda dari asam 2,4-dichlorophenoxyacetic (2,4-D) dan 6-benzylaminopurine (BAP) terhadap induksi kalus dari anter pisang goroho (*Musa acuminata L.*). Pengamatan dilakukan selama 30 hari setelah induksi, dengan fokus pada waktu munculnya kalus dan karakteristik morfologis, termasuk warna dan tekstur. Hasil menunjukkan respons yang berbeda di antara perlakuan. Kombinasi 1,5 ml 2,4-D dan 1,5 ml BAP menghasilkan inisiasi kalus tercepat dengan rata-rata 13,17 hari setelah induksi dan menghasilkan kalus yang rapuh dengan warna kuning pucat, menunjukkan aktivitas sel yang tinggi. Konsentrasi regulator pertumbuhan yang lebih rendah menunda pembentukan kalus, sementara konsentrasi yang lebih tinggi mendorong perubahan warna yang terkait dengan diferensiasi jaringan awal. Tidak ada pembentukan kalus yang diamati tanpa regulator pertumbuhan eksogen. Temuan ini menyoroti pentingnya konsentrasi auxin dan cytokinin yang seimbang dalam mengatur induksi kalus dari anther dan memberikan dasar fisiologis untuk pengembangan lebih lanjut sistem kultur anter pisang goroho.

Kata kunci: Kultur Antera, Induksi Kalus, 2,4-D, BAP, *Musa Acuminata L.*



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Bidang bioteknologi tanaman, khususnya kultur jaringan dan induksi kalus, terus mengalami perkembangan pesat seiring meningkatnya kebutuhan global akan perbanyakan tanaman unggul, konservasi plasma nutrif, serta pengembangan varietas adaptif berbasis teknik *in vitro* yang presisi. Pada komoditas pisang (*Musa spp.*), pendekatan kultur jaringan dipandang strategis karena keterbatasan perbanyakan generatif, tingginya kerentanan terhadap penyakit, serta tuntutan produksi berkelanjutan yang memerlukan bahan tanam seragam dan berkualitas tinggi. Perkembangan mutakhir menunjukkan pergeseran fokus dari sekadar multiplikasi tunas menuju penguasaan fase dediferensiasi dan rediferensiasi seluler melalui induksi kalus sebagai prasyarat bagi rekayasa genetik, embriogenesis somatik, dan pemuliaan berbasis kultur sel. Dalam konteks ini, penggunaan zat pengatur tumbuh sintetis seperti auksin dan sitokin, terutama 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) dan 6-

benzylaminopurine (BAP), menjadi pusat perhatian karena perannya dalam mengarahkan respons morfogenetik eksplan secara terkendali. Literatur internasional dan nasional memperlihatkan bahwa kombinasi dan konsentrasi kedua regulator tersebut sangat menentukan keberhasilan induksi kalus pada berbagai spesies dan kultivar tanaman, termasuk pisang, namun responsnya bersifat sangat spesifik genotipe dan jenis eksplan (Ardhani et al., 2024; Putri et al., 2024).

Penelitian terdahulu pada berbagai kultivar pisang telah memberikan landasan empiris penting mengenai peran zat pengatur tumbuh dalam kultur in vitro, terutama pada fase multiplikasi tunas dan pertumbuhan planlet. Studi pada pisang Kepok Kuning, Cavendish, Barang Merah, dan varietas *Musa acuminata* lainnya menunjukkan bahwa BAP berperan dominan dalam merangsang pembelahan sel dan pembentukan tunas, sementara NAA atau auksin lain berfungsi menyeimbangkan diferensiasi jaringan (Andany & Ratnasari, 2023; Khozin et al., 2024; Fadilla et al., 2024; Ayna et al., 2023). Di sisi lain, penelitian mengenai induksi kalus pada pisang masih relatif terbatas dan lebih banyak memanfaatkan eksplan bunga jantan atau jaringan muda tertentu, dengan penekanan pada kombinasi 2,4-D dan BAP sebagai pemicu dediferensiasi sel (Ardhani et al., 2024). Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa keberhasilan pembentukan kalus tidak hanya ditentukan oleh keberadaan auksin dosis tinggi, tetapi juga oleh keseimbangan hormonal yang memengaruhi kompetensi seluler eksplan. Sintesis kritis atas studi-studi ini mengindikasikan bahwa hasil yang diperoleh sering kali sulit dibandingkan secara langsung karena perbedaan jenis eksplan, komposisi media, dan latar genetik tanaman yang digunakan.

Ketidakkonsistenan hasil dalam literatur mengungkap adanya celah konseptual dan empiris yang signifikan terkait pemahaman mekanisme induksi kalus pada pisang, khususnya pada varietas lokal yang belum banyak diteliti. Beberapa studi melaporkan pembentukan kalus yang cepat namun bersifat non-embriogenik, sementara penelitian lain menunjukkan respons lambat tetapi berpotensi embriogenik, tanpa penjelasan memadai mengenai faktor penentu perbedaan tersebut (Negoro et al., 2024; Putri et al., 2024). Selain itu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada varietas komersial berskala luas, sehingga mengabaikan keragaman genetik pisang lokal yang memiliki karakter morfologi dan fisiologi unik. Variasi fenetik pisang di tingkat regional, seperti yang teridentifikasi di Provinsi Gorontalo, menunjukkan bahwa perbedaan genotipe berpotensi memengaruhi respons jaringan terhadap perlakuan hormonal secara signifikan (Gogou et al., 2025). Kondisi ini menegaskan bahwa generalisasi hasil penelitian induksi kalus pada satu kultivar tidak dapat secara otomatis diterapkan pada kultivar lain, terutama varietas lokal dengan latar adaptasi spesifik.

Urgensi ilmiah dan praktis dari penelitian induksi kalus pada pisang lokal semakin menguat ketika dikaitkan dengan potensi pemanfaatannya dalam pemuliaan, konservasi, dan pengembangan produk turunan bernilai tambah. Pisang Goroho, sebagai salah satu varietas lokal khas Sulawesi, memiliki karakteristik unik baik dari sisi morfologi maupun kandungan kimia, termasuk potensi pati resisten yang bernilai fungsional tinggi dalam industri pangan dan kesehatan (Lasale et al., 2022). Namun, keterbatasan teknologi perbanyak dan pemuliaan berbasis kultur jaringan pada varietas ini berpotensi menghambat optimalisasi pemanfaatannya. Tanpa penguasaan teknik induksi kalus yang efisien dan terstandar, peluang pengembangan lebih lanjut melalui pendekatan bioteknologi modern menjadi terbatas. Literatur tentang penggunaan sitokinin pada tanaman non-pisang juga menunjukkan bahwa respons eksplan sangat dipengaruhi oleh formulasi hormon dan konteks spesies, sehingga menegaskan pentingnya kajian spesifik pada setiap objek penelitian (Karyaningtyas et al., 2023).

Dalam lanskap keilmuan kultur jaringan pisang, penelitian ini diposisikan untuk mengisi kekosongan pengetahuan terkait respons induksi kalus dari antara pisang Goroho sebagai jenis eksplan yang relatif jarang dieksplorasi. Sebagian besar penelitian sebelumnya memanfaatkan daun, bunga jantan, atau jaringan vegetatif lain, sementara antara memiliki potensi khusus karena kedekatannya dengan jalur embriogenesis dan kemungkinan pengembangan tanaman haploid atau doubled haploid. Pendekatan ini memperluas perspektif metodologis dalam studi kultur jaringan pisang, sekaligus memungkinkan eksplorasi respons hormonal yang berbeda dibandingkan eksplan somatik konvensional. Dengan memfokuskan pada kombinasi 2,4-D dan BAP, penelitian ini menempatkan diri dalam dialog kritis dengan temuan-temuan sebelumnya, namun dengan orientasi pada varietas lokal yang belum terwakili secara memadai dalam literatur. Posisi ini memperkuat relevansi ilmiah penelitian sekaligus meningkatkan kontribusinya terhadap diversifikasi objek kajian dalam bioteknologi tanaman pisang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons induksi kalus dari antera pisang Goroho melalui perlakuan berbagai kombinasi dan konsentrasi 2,4-D dan BAP dalam sistem kultur in vitro. Kontribusi yang diharapkan tidak hanya bersifat praktis dalam menyediakan dasar teknis bagi perbanyakan dan pemuliaan pisang Goroho, tetapi juga bersifat teoretis dengan memperkaya pemahaman mengenai interaksi hormonal dan kompetensi morfogenetik eksplan generatif pada *Musa acuminata*. Dari sisi metodologis, studi ini menawarkan pendekatan yang memperluas penggunaan jenis eksplan dalam penelitian kultur jaringan pisang, sehingga membuka peluang pengembangan jalur regenerasi alternatif. Temuan yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan dan aplikasi bioteknologi pada varietas pisang lokal lainnya. Secara keseluruhan, penelitian ini berupaya menjembatani kesenjangan antara potensi genetik lokal dan penguasaan teknologi kultur jaringan yang adaptif dan berbasis bukti.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai studi eksperimental berbasis laboratorium dengan pendekatan kuantitatif-deskriptif dalam kerangka desain penelitian lapangan terkontrol, yang dipilih untuk memungkinkan pengujian kausal pengaruh kombinasi zat pengatur tumbuh 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) dan 6-benzylaminopurine (BAP) terhadap induksi kalus dari eksplan antera pisang Goroho (*Musa acuminata* L.) pada kondisi lingkungan yang menyerupai praktik aplikatif kultur jaringan tanaman. Pendekatan ini secara teoretis relevan karena induksi kalus merupakan respons biologis yang sangat dipengaruhi oleh variabel hormonal dan kondisi mikrolingkungan, sehingga memerlukan kontrol eksperimental yang ketat namun tetap merefleksikan konteks operasional nyata. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kultur Jaringan, Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo, pada periode 24 Januari–23 Februari 2025, dengan kondisi inkubasi terstandar pada suhu 25–27 °C. Populasi penelitian berupa seluruh antera yang diisolasi dari bunga jantan pisang Goroho yang diperoleh dari tanaman sehat dan seragam secara morfologis, sementara sampel ditentukan menggunakan teknik purposive sampling berbasis keseragaman fisiologis eksplan untuk meminimalkan variabilitas biologis. Rancangan percobaan disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima taraf perlakuan kombinasi 2,4-D dan BAP, yakni kontrol tanpa ZPT, serta empat kombinasi konsentrasi meningkat (0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0 mL masing-masing hormon), dengan dua ulangan per perlakuan dan tiga botol kultur per ulangan sehingga menghasilkan 30 unit percobaan, yang secara metodologis memadai untuk eksplorasi respons morfogenetik awal pada penelitian pendahuluan induksi kalus.

Instrumen penelitian meliputi seperangkat peralatan kultur jaringan standar seperti autoklaf, laminar air flow, neraca analitik, hot plate stirrer, serta alat diseksi steril, yang seluruhnya dikalibrasi dan disterilkan mengikuti protokol baku untuk menjamin validitas proses dan mengurangi risiko kontaminasi, sementara bahan penelitian mencakup media Murashige and Skoog (MS), sukrosa, agar, 2,4-D, BAP, serta bahan sterilan kimia. Prosedur pengumpulan data dilakukan secara kronologis dan terstandar, dimulai dari sterilisasi alat dan ruang tanam, pembuatan larutan stok hormon, formulasi media MS dengan penyesuaian pH hingga 5,8, sterilisasi media, isolasi dan sterilisasi eksplan antera, penanaman eksplan secara aseptik, hingga inkubasi kultur pada kondisi terkendali. Data dikumpulkan melalui observasi langsung berbasis visual terhadap eksplan selama periode kultur, dengan parameter utama meliputi waktu awal munculnya kalus, warna kalus, dan tekstur kalus sebagai indikator respons morfogenetik. Validitas data dijaga melalui konsistensi pengamatan pada interval waktu yang sama dan penggunaan kriteria deskriptif yang terdefinisi dengan jelas, sementara reliabilitas dijamin melalui pengulangan perlakuan dan keseragaman prosedur. Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan membandingkan pola respons antarperlakuan dalam kerangka analitik morfogenesis in vitro, tanpa penerapan analisis statistik inferensial, karena tujuan utama penelitian difokuskan pada pemetaan respons awal dan karakteristik kalus sebagai dasar pengembangan studi lanjutan yang lebih eksplanatoris.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dinamika Waktu Muncul Kalus Antera Pisang Goroho pada Berbagai Konsentrasi 2,4-D dan BAP

Induksi kalus dari antera pisang goroho menunjukkan respons temporal yang berbeda antarperlakuan, yang merefleksikan sensitivitas jaringan gametofitik terhadap keseimbangan auksin

dan sitokin pada media MS. Perbedaan waktu kemunculan kalus mengindikasikan variasi kecepatan reprogramming seluler dari jaringan terdiferensiasi menuju massa sel tidak terorganisir. Pada penelitian ini, kalus mulai teramat sejak 12 hingga 30 hari setelah induksi, bergantung pada kombinasi 2,4-D dan BAP yang diberikan. Fenomena ini sejalan dengan karakter fisiologis pisang goroho sebagai plasma nutfah lokal yang memiliki respons hormonal spesifik (Lasale et al., 2022; Gogou et al., 2025).

Data kuantitatif menunjukkan bahwa perlakuan P4 menghasilkan rerata waktu muncul kalus tercepat sebesar 13,17 HSI, jauh lebih singkat dibandingkan P2 dan P3 yang masing-masing mencapai 25,17 dan 24,83 HSI. Perbedaan ini memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi ZPT hingga 1,5 ml 2,4-D dan 1,5 ml BAP mampu mempercepat pembelahan sel awal pada jaringan antera. Kecepatan ini berkaitan erat dengan peran 2,4-D dalam meningkatkan plastisitas dinding sel dan memicu dediferensiasi jaringan. Respons serupa juga dilaporkan pada eksplan bunga jantan pisang kepok dengan kombinasi ZPT seimbang (Ardhani et al., 2024; Dhiya Nabilla Ardhani et al., 2024).

Sebaliknya, perlakuan P1 sebagai kontrol tidak menunjukkan pembentukan kalus hingga akhir periode pengamatan selama 30 hari, yang ditandai dengan perubahan warna jaringan menjadi kecoklatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa hormon endogen antera pisang goroho tidak mencukupi untuk memicu pembentukan kalus tanpa suplementasi ZPT eksogen. Fenomena browning pada perlakuan kontrol mengindikasikan akumulasi senyawa fenolik akibat stres luka tanpa diimbangi proses regeneratif. Pola ini konsisten dengan hasil kultur *in vitro* pada berbagai spesies pisang dan tanaman berkayu lainnya (Wulandari Ammaria et al., 2022; Salsabila, 2022).

Tabel 1. Waktu Munculnya Kalus pada Setiap Perlakuan

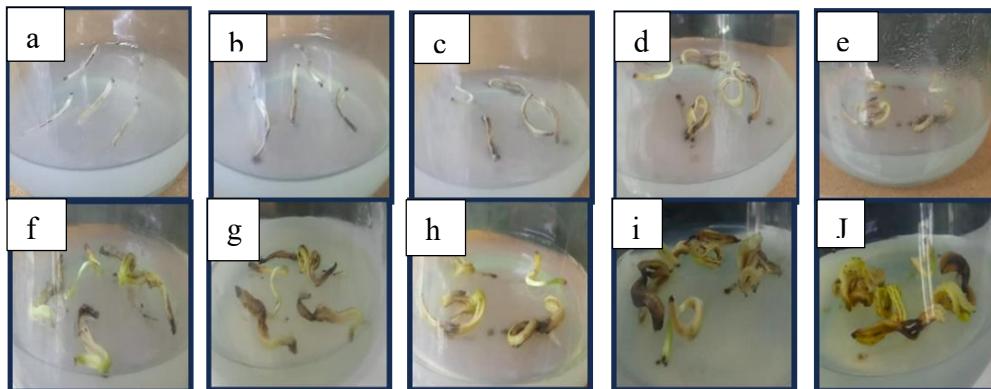
Perlakuan	Waktu Muncul Kalus (HSI) Ulangan 1	Waktu Muncul Kalus (HSI) Ulangan 2	Rerata (HSI)
P1 (Kontrol)	Tidak muncul	Tidak muncul	—
P2 (0,5 ml 2,4-D + 0,5 ml BAP)	23,00	27,33	25,17
P3 (1 ml 2,4-D + 1 ml BAP)	25,67	24,00	24,83
P4 (1,5 ml 2,4-D + 1,5 ml BAP)	13,67	12,67	13,17
P5 (2 ml 2,4-D + 2 ml BAP)	16,00	15,00	15,50

HSI = Hari Setelah Induksi

Perlakuan P5 dengan konsentrasi 2 ml 2,4-D dan 2 ml BAP menunjukkan waktu muncul kalus pada rerata 15,50 HSI, lebih lambat dibandingkan P4 namun tetap lebih cepat dibandingkan P2 dan P3. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi ZPT di atas titik optimum tidak selalu berbanding lurus dengan percepatan induksi kalus. Konsentrasi tinggi auksin berpotensi memicu stres fisiologis ringan yang memperlambat respons awal sel. Temuan ini sejalan dengan laporan pada kultur daun dan hipokotil yang menunjukkan kurva respons optimum terhadap 2,4-D dan BAP (Putri et al., 2024; Teresia et al., 2024).

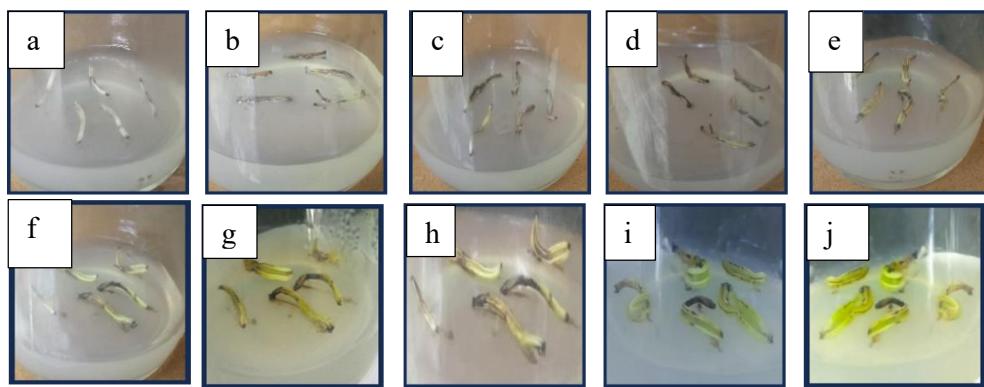
Urutan waktu muncul kalus yang teramat pada perlakuan P4 dan P5 memperlihatkan tahapan morfologis yang konsisten, diawali dengan pembengkakan jaringan pada 5–7 HSI dan diikuti munculnya massa sel berwarna pucat. Proses ini mencerminkan fase dediferensiasi yang dipicu oleh sinyal hormonal eksternal. Aktivitas pembelahan sel yang intensif pada fase ini berhubungan dengan peningkatan aktivitas meristematis semu. Mekanisme tersebut juga ditemukan pada kultur jaringan pisang cavendish dan barang merah dengan aplikasi sitokin dan auksin (Fadilla et al., 2024; Khozin et al., 2024).

Gambar 1. Induksi kalus antera pisang goroho pada perlakuan P4 dari 0–30 HSI



(menunjukkan percepatan pembentukan kalus sejak 12 HSI hingga akumulasi massa sel pada 30 HSI. Induksi Kalus Pada Perlakuan P4. a) eksplan 0 HSI, b) eksplan 3 HSI, c) eksplan 5 HSI, d) eksplan 7 HSI, e) eksplan 10 HSI, f) eksplan 12 HSI, g) eksplan 14 HSI, h) eksplan 17 HSI, I) eksplan 26 HSI, j) eksplan 30 HIS)

Gambar 2. Induksi kalus antera pisang goroho pada perlakuan P5 dari 0–30 HSI



(menunjukkan pembentukan kalus stabil dengan intensitas lebih lambat dibandingkan P4. Induksi Kalus pada Perlakuan P5. a) Eksplan 0 HSI, b) Eksplan 3 HSI, c) Eksplan 5 HSI, d) Eksplan 7 HSI, e) Eksplan 10 HSI, f) eksplan 12 HSI, g) eksplan 14 HSI, h) eksplan 17 HSI, i) eksplan 26 HSI, j) eksplan 30 HSI).

Visualisasi pada Gambar 1 memperlihatkan bahwa perlakuan P4 telah menunjukkan pembentukan kalus yang jelas sejak 12–14 HSI, ditandai dengan munculnya gumpalan sel berwarna putih kekuningan pada area irisan. Intensitas pertumbuhan kalus meningkat secara progresif hingga 30 HSI tanpa indikasi nekrosis awal. Pola ini menunjukkan keseimbangan hormonal yang mendukung pembelahan sel berkelanjutan. Kondisi serupa dilaporkan pada kultur jaringan pisang barang dan kepok dengan rasio auksin dan sitokinin yang seimbang (Wulannanda et al., 2023; Andany & Ratnasari, 2023).

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan P5, pembentukan kalus baru tampak lebih jelas setelah 15–17 HSI dengan perkembangan morfologi yang relatif seragam. Meskipun pembentukan awal lebih lambat, kalus yang terbentuk menunjukkan vitalitas yang baik hingga akhir pengamatan. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi ZPT tinggi masih mendukung induksi kalus, namun memerlukan waktu adaptasi jaringan yang lebih panjang. Fenomena adaptasi ini juga dilaporkan pada eksplan daun dan jaringan muda tanaman tropis lainnya (Utomo et al., 2024; Saripah et al., 2024).

Perbedaan respons waktu muncul kalus antarperlakuan menegaskan bahwa fase awal kultur merupakan tahap kritis dalam keberhasilan induksi. Interaksi antara luka mekanis pada antera dan sinyal hormonal eksternal menentukan kecepatan aktivasi jalur pembelahan sel. Auksin berperan

dominan dalam inisiasi kalus, sementara BAP mendukung keberlanjutan pembelahan sel setelah fase dediferensiasi. Sinergi ini telah banyak dilaporkan pada kultur pisang dan tanaman hortikultura lainnya (Negoro et al., 2024; Walangadi et al., 2025).

Respons lambat pada P2 dan P3 yang masing-masing berada di atas 24 HSI menunjukkan bahwa konsentrasi ZPT rendah belum cukup optimal untuk mengaktifkan respons seluler antera pisang goroho secara cepat. Meskipun kalus tetap terbentuk, keterlambatan ini dapat berdampak pada kualitas dan potensi regeneratif jaringan pada tahap lanjut. Faktor genotipe pisang goroho sebagai varietas lokal turut memengaruhi ambang respons hormonal. Karakteristik genetik dan fisiologis pisang lokal telah dilaporkan memiliki variasi respons terhadap kultur *in vitro* (Rahmayenti, 2024; Saepudin et al., 2023).

Pola waktu muncul kalus yang dihasilkan menunjukkan bahwa kombinasi 1,5 ml 2,4-D dan 1,5 ml BAP merupakan kondisi paling efektif dalam mempercepat induksi kalus antera pisang goroho. Efektivitas ini tercermin dari rerata 13,17 HSI yang konsisten antarulangan serta didukung oleh bukti visual pada Gambar 1. Hasil ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa keseimbangan ZPT lebih menentukan dibandingkan sekadar peningkatan dosis. Temuan ini memberikan dasar fisiologis yang kuat untuk pengembangan kultur antera pisang goroho pada tahap lanjut (Karyaningtyas et al., 2023; Sholikhah et al., 2022; Sutarsih et al., 2022).

Karakter Morfologi Kalus Antera Pisang Goroho pada Berbagai Kombinasi 2,4-D dan BAP

Karakter morfologi kalus yang terbentuk selama 30 hari kultur mencerminkan interaksi kompleks antara sinyal hormonal eksogen dan kapasitas fisiologis jaringan antera pisang goroho. Selain kecepatan induksi, warna dan tekstur kalus menjadi indikator penting yang menggambarkan arah diferensiasi jaringan pasca-dediferensiasi. Variasi karakter visual yang muncul pada akhir pengamatan menunjukkan bahwa setiap kombinasi 2,4-D dan BAP menghasilkan respons seluler yang berbeda. Parameter ini umum digunakan untuk menilai kualitas kalus pada sistem kultur pisang dan tanaman tropis lainnya (Andany & Ratnasari, 2023; Khozin et al., 2024).

Pada perlakuan dengan konsentrasi ZPT rendah hingga menengah, kalus yang terbentuk menunjukkan variasi warna kuning hingga coklat dengan tekstur remah. Warna tersebut mengindikasikan adanya aktivitas metabolismik yang disertai akumulasi senyawa fenolik sebagai respons stres ringan selama fase adaptasi *in vitro*. Meskipun kalus tetap berkembang, karakter warna yang lebih gelap sering dikaitkan dengan efisiensi regeneratif yang lebih rendah pada tahap lanjut. Pola morfologi serupa telah dilaporkan pada kultur pisang cavendish dan barangan dengan konsentrasi sitokin terbatas (Saepudin et al., 2023; Rahmayenti, 2024).

Tabel 2. Variasi Warna Kalus dan Tekstur Kalus Antera Pisang Goroho pada 30 HST

Perlakuan	Variasi Warna Kalus	Tekstur Kalus
P1 (Kontrol)	Tidak terbentuk	—
P2 (0,5 ml 2,4-D + 0,5 ml BAP)	Kuning, coklat	Friable
P3 (1 ml 2,4-D + 1 ml BAP)	Kuning, coklat	Friable
P4 (1,5 ml 2,4-D + 1,5 ml BAP)	Putih kekuningan, coklat	Friable
P5 (2 ml 2,4-D + 2 ml BAP)	Hijau, coklat	Friable

Karakter kalus pada perlakuan P4 menunjukkan dominasi warna putih kekuningan dengan sedikit pencoklatan pada 30 HST, yang menandakan kondisi jaringan masih berada pada fase embrionik awal. Warna cerah ini mengindikasikan tingkat diferensiasi yang rendah dengan aktivitas pembelahan sel yang relatif stabil. Kombinasi 1,5 ml 2,4-D dan 1,5 ml BAP memungkinkan terciptanya keseimbangan hormonal yang mendukung proliferasi tanpa memicu stres oksidatif berlebihan. Kondisi ini sejalan dengan laporan induksi kalus pada eksplan bunga jantan pisang kepok dan pule pandak dengan konsentrasi sitokin menengah (Ardhani et al., 2024; Karyaningtyas et al., 2023).

Perlakuan P5 menghasilkan kalus berwarna hijau dengan sedikit kecoklatan, yang mengindikasikan mulai aktifnya pembentukan klorofil pada jaringan kalus. Warna hijau sering diasosiasikan dengan pengaruh sitokin pada konsentrasi tinggi yang mendorong diferensiasi awal menuju jaringan fotosintetik. Meskipun karakter ini menunjukkan viabilitas jaringan yang baik, arah

diferensiasi tersebut berpotensi mengurangi fleksibilitas regeneratif pada tahap kultur berikutnya. Fenomena serupa dilaporkan pada multiplikasi tunas pisang dan sistem kultur in vitro lain yang didominasi sitokinin (Ayna et al., 2023; Fadilla et al., 2024).

Tekstur friable yang konsisten pada seluruh kalus yang terbentuk menunjukkan bahwa struktur sel belum mengalami lignifikasi dini. Kalus remah memungkinkan difusi nutrisi dan hormon yang lebih merata ke seluruh jaringan, sehingga mendukung proliferasi sel yang berkelanjutan. Karakter tekstur ini banyak dilaporkan sebagai ciri kalus dengan potensi regeneratif tinggi pada berbagai spesies tanaman hortikultura. Temuan ini konsisten dengan hasil induksi kalus pada manggis, jambu air, dan belimbing merah dengan aplikasi 2,4-D dan BAP (Negoro et al., 2024; Saripah et al., 2024; Teresia et al., 2024).

Tidak terbentuknya kalus pada perlakuan kontrol hingga akhir pengamatan memperlihatkan keterbatasan hormon endogen antara pisang goroho dalam memicu dediferensiasi jaringan. Jaringan kontrol menunjukkan kecenderungan pencoklatan progresif tanpa pembentukan massa sel, yang menandakan dominasi respons stres pasca luka. Kondisi ini umum ditemukan pada kultur jaringan tanpa suplementasi ZPT, terutama pada tanaman tropis dan berkayu. Pola serupa dilaporkan pada kultur tecca dan duku yang tidak diberi regulator tumbuh eksogen (Salsabila, 2022; Wulandari Ammaria et al., 2022).

Perbedaan karakter morfologi kalus antarperlakuan juga mencerminkan pengaruh faktor genetik pisang goroho sebagai varietas lokal. Variabilitas respons jaringan terhadap lingkungan in vitro merupakan karakter khas plasma nutfah lokal dengan adaptasi fisiologis tertentu. Hal ini menjelaskan mengapa kombinasi ZPT yang sama dapat menghasilkan karakter kalus yang berbeda antar kultivar pisang. Studi fenetik pisang di Gorontalo menunjukkan adanya variasi morfologi dan fisiologi yang relevan terhadap respons kultur jaringan (Lasale et al., 2022; Gogou et al., 2025).

Kualitas morfologi kalus berimplikasi langsung terhadap keberhasilan tahap regenerasi selanjutnya, termasuk pembentukan tunas dan planlet. Kalus berwarna cerah dengan tekstur friable umumnya memiliki viabilitas lebih tinggi dan risiko kontaminasi yang lebih rendah. Stabilitas jaringan juga menjadi faktor penting dalam menjaga keberlanjutan kultur jangka panjang. Aspek ini selaras dengan kajian pengendalian kontaminasi dan keberhasilan kultur jaringan pada pisang dan tanaman umbi (Sutarsih et al., 2022; Sari et al., 2022).

Karakter warna dan tekstur kalus antara pisang goroho menunjukkan bahwa kombinasi 2,4-D dan BAP berperan tidak hanya dalam memicu pembentukan kalus, tetapi juga menentukan kualitas jaringan yang dihasilkan. Perlakuan P4 menghasilkan kalus dengan karakter paling embrionik, sedangkan P5 menunjukkan kecenderungan diferensiasi awal. Perbedaan ini menegaskan bahwa rasio auksin dan sitokinin lebih menentukan arah perkembangan jaringan dibandingkan peningkatan konsentrasi secara linier. Pola ini konsisten dengan berbagai laporan induksi kalus pada pisang dan tanaman tropis lainnya (Sholikhah et al., 2022; Walangadi et al., 2025; Wulananda et al., 2023).

KESIMPULAN

Induksi kalus dari antara pisang goroho menunjukkan bahwa keberhasilan kultur sangat ditentukan oleh keseimbangan konsentrasi 2,4-D dan BAP yang memengaruhi kecepatan dediferensiasi, karakter morfologi, dan kualitas jaringan kalus. Kombinasi 1,5 ml 2,4-D dan 1,5 ml BAP menghasilkan waktu muncul kalus tercepat serta kalus dengan warna cerah dan tekstur friable yang mencerminkan kondisi embrionik dan viabilitas tinggi. Konsentrasi ZPT yang lebih rendah memperlambat respons seluler, sementara peningkatan dosis di atas titik optimum mengarah pada kecenderungan diferensiasi awal yang ditandai perubahan warna kalus. Tidak terbentuknya kalus pada perlakuan tanpa ZPT menegaskan keterbatasan hormon endogen antara pisang goroho dalam mendukung reprogramming seluler. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan pentingnya rasio auksin dan sitokinin dalam mengarahkan arah perkembangan jaringan antara pisang goroho dan memberikan dasar fisiologis yang kuat untuk pengembangan kultur antara dan regenerasi tanaman pada tahap lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andany, C., & Ratnasari, E. (2023). Effect of adding naa and bap on the growth of kepok kuning banana (*Musa paradisiaca* L.) Planlet on ms media in vitro. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 389-395. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n3.p389-395>

- 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>
- Ayna, Q., Isminingsih, S., Susiyanti, S., & Yenny, R. F. (2023). Multiplikasi Tunas Pada Dua Varietas Pisang (*Musa acuminata* L.) dengan Pemberian Beberapa Konsentrasi Sitokinin. *Jurnal Agroekoteknologi*, 15(2), 17-31. <https://dx.doi.org/10.33512/jur.agroekotek.v15i2.22348>
- Dhiya Nabilla Ardhani, Maharijaya, A., & Megayani Sri Rahayu. (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>
- Fadilla, F., Kesumawati, E., Basyah, B., & Setyowati, M. (2024). Multiplikasi Tunas Pisang Barang Merah (*Musa acuminata* Colla) Dengan Beberapa Konsentrasi BAP Secara In vitro Multiplication of Banana cv. Barang Merah (*Musa acuminata* Colla) Shoots with Several BAP Concentrations In Vitro. *Jurnal Agrotek Lestari*, 10(1), 26-33. <https://doi.org/10.35308/jal.v10i1.8366>
- Gogou, E., Kandowangko, N. Y., Ahmad J., & Ahmad, A. (2025) Hubungan Fenetik Pisang (*Musa* Spp) berdasarkan Karakter Morfologi di Wilayah Provinsi Gorontalo. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 6(2) 283-293. <https://doi.org/10.55241/spibio.v6i2.566>
- Karyaningtyas, A. W., Lestari, A., & Sandra, E. (2023). Pengaruh beberapa formulasi sitokinin terhadap penyediaan bibit dan pertumbuhan eksplan tanaman Pule Pandak (*Rauvolfia serpentina* (L.) Benth. Ex Kurz) secara in vitro. *Jurnal Agroplasma*, 10(1), 237-251. <https://doi.org/10.36987/agroplasma.v10i1.3914>
- Khozin, M. N., Pamungkas, W. E., Restanto, D. P., & Putri, W. K. (2024). MULTIPLIKASI TUNAS PISANG CAVENDISH SECARA KULTUR IN VITRO MENGGUNAKAN NAA DAN BAP. *JURNAL PERTANIAN CEMARA*, 21(2), 54-64. <https://doi.org/10.24929/fp.v21i2.3873>
- Lasale, N. R., Liputo, S. A., & Limonu, M. (2022). Karakteristik Fisik dan Kimia Pati Resisten Pisang Goro (*musa acuminata* sp.) pada Berbagai Suhu Pengeringan. *Jambura Journal of Food Technology*, 4(1), 64–77. <https://doi.org/10.37905/jjft.v4i1.11049>
- Negoro, R. Y., Susiyanti, S., Isminingsih, S., & Millah, Z. (2024). Inisiasi Kalus Embriogenik Manggis (*Garcinia mangostana* L.) var. Macakal Terhadap Pemberian 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid dan 6-Benzyl Amino Purine Secara In Vitro. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5(1), 121-132. <https://doi.org/10.55241/spibio.v5i1.351>
- Putri, S. S., Susiyanti, Muztahidin, N. I., & Isminingsih, S. (2024). Callus Induction of Ciangir Passion Fruit (*Passiflora* sp.) Leaves at Several Concentration Levels of Growth Regulators Substance 2,4-D and BAP. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 168–178. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6454>
- Rahmayenti, S. (2024). Pengaruh berbagai Konsentrasi Ekstrak Pisang Raja terhadap Pertumbuhan Eksplan Tanaman Pisang Barang (*Musa acuminata* L.). *Agriculture and Biological Technology*, 2(1), 31-33. <https://doi.org/10.61761/agitech.2.1.31-33>
- Saepudin, A., Amilin, A., Undang, U., & Sudartini, T. (2023). Kultur In Vitro Pisang Cavendish (*Musa acuminata* L.) Pada Media Dengan Konsentrasi Berbeda Ekstrak Jambu Batu Dan Benzyl Amino Purine. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 11(1), 87-94. <https://doi.org/10.35138/paspalum.v11i1.481>
- Salsabila, M. J. (2022). Induksi Kalus dari Eksplan Daun Tecca (Tecca chantrieri Andre) pada Media Murashige and Skoog dengan Konsentrasi Sukrosa yang Berbeda Secara In Vitro. *Jurnal Biologi UNAND*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.25077/jbioua.10.1.1-9.2022>
- Sari, I., Agustin, D., Suryaminarsih, P., Sasikirono, P., & Wuryandari, Y. (2022). *Pengendalian Hama dan Penyakit pada Bibit Pisang Cavendish Hasil dari Kultur Jaringan Pest and Disease Control in Cavendish Banana Seedlings Resulting from Tissue Culture Pendahuluan* Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki kekayaan khususnya hasil. 2022, 99–104. <https://doi.org/10.11594/nstp.2022.2013>
- Saripah, S., Susiyanti, S., Isminingsih, S., & Millah, Z. (2024). Efektivitas Penyinaran dan ZPT (2,4-D dengan BAP) terhadap Induksi Kalus Daun Jambu Air (*Syzygium aqueum*) var. Cincalo Weha

- secara in Vitro. *Spizaetus: Jurnal Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 5(1), 80. <https://doi.org/10.55241/spibio.v5i1.343>
- Sholikhah, R. I., Makhziah, M., & Widiwurjani, W. (2022). Effect of IAA Addition and Some Organic Supplements on Growth and Rooting of Cavendish Banana (Musa Acuminata, AAA) In-Vitro. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 11(2), 266. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i2.266-278>
- Sutarsoh, T. N. K., Nuraini, Z., Novia Andriani, K., Wulandariningtyas, D., Wirayudha, F., & Wuryantoro. (2022). Kajian Tingkat Kontaminasi Pada Kultur Jaringan Tanaman Porang. *JURNAL AGRI-TEK: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Eksakta*, 23(1), 20–24. <https://doi.org/10.33319/agtek.v23i1.111>
- Teresia, N., Zakiah, Z., & Turnip, M. (2024). Induksi Kalus dari Hipokotil Belimbing Merah (Baccaurea angulata) dengan Penambahan 2, 4-D (Dichlorophenoxy Acetic Acid) dan BAP (6-Benzyl Amino Purin). *Jurnal Biologi Tropis*, 24(1), 194-203. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6387>
- Utomo, A. T. G., Zainal, A., & Yusniwati, Y. (2024). Induksi Kalus Tanaman Gambir (Uncaria gambir (Hunter) Roxb.) Pada Beberapa Konsentrasi 2, 4-D Secara In Vitro. *Agroteknika*, 7(2), 264-274. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i2.263>
- Walangadi, F. R., Ahmad, J., Pagalla, D. B., Kandowangko, N. Y., & Febriyanti, F. (2025). Effect of BAP and NAA on Callus Emergence Time of Dumbaya Young Leaf Explants in Vitro. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1903-1911. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.9045>
- Wulandari Ammaria, M., Silva, S., Nuron Rizky, Z., Sarianti, J., Zulaikha, S., Nurokhman, A., Yachya, A., Handayani, T., Syarifah, & Afriansyah, D. (2022). Pengaruh 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) DAN Benzyl Amino Purine (BAP) Terhadap Induksi Kalus Dari Berbagai Jenis Eksplan Tanaman Duku (Lansium domesticum Corr.). *STIGMA: Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 15(01), 38–45. <https://doi.org/10.36456/stigma.15.01.5606.38-45>.
- Wulannanda, A., Anwar, S., & Kusmiyati, F. (2023). Kajian penambahan kinetin dan 2, 4-D terhadap pertumbuhan kultur jaringan tanaman pisang barang (Musa paradisiaca L.) pada fase subkultur. *Agroteknika*, 6(1), 1-12. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v6i1.161>