

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KALOGENESIS KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) SERTA PELUANG PENGEMBANGAN DI MASA DEPAN

Muhammad Fakhri, Arfan Nazhri Simamora*, dan Yuli Setiawati

Abstrak - Kultur jaringan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) melalui embriogenesis somatik merupakan metode penting untuk memperbanyak klonal genotipe unggul, namun keberhasilannya masih dibatasi oleh rendah dan tidak konsistennya induksi kalus. Kalogenesis merupakan tahap krusial karena menentukan efisiensi pembentukan embrio somatik dan jumlah tanaman yang dihasilkan. Artikel ini meninjau faktor-faktor utama yang mempengaruhi kalogenesis kelapa sawit secara *in vitro*, meliputi komposisi media dasar, jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh, genotipe, sumber eksplan, nomor daun, topofisis, serta peran bahan aditif media. Hasil telaah literatur menunjukkan bahwa respon kalogenesis bersifat multifaktorial dan sangat dipengaruhi oleh interaksi antar faktor serta latar belakang genetik eksplan. Optimasi media dan zat pengatur tumbuh dalam rentang efektif, penggunaan jaringan muda yang bersifat meristematik, serta penambahan bahan aditif seperti asam amino dan senyawa organik dilaporkan berpotensi meningkatkan keberhasilan induksi kalus. Pemahaman terintegrasi terhadap faktor-faktor tersebut diperlukan untuk pengembangan protokol kultur jaringan kelapa sawit yang lebih efisien dan stabil secara genetik.

Kata kunci: *Elaeis guineensis*, genotipe, kalogenesis, kultur jaringan, sumber eksplan, zat pengatur tumbuh

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia karena memberikan kontribusi signifikan terhadap pendapatan negara, penciptaan lapangan kerja, serta percepatan pembangunan infrastruktur di wilayah pedesaan. Kelapa sawit merupakan tanaman penghasil minyak nabati paling produktif di dunia dan produktivitasnya meningkat secara signifikan selama beberapa dekade terakhir sehingga mampu memenuhi sekitar 40% kebutuhan minyak nabati global (WWF, 2022). Sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, Indonesia memiliki peran penting dalam rantai pasok minyak nabati global (Isra et al., 2025). Potensi ekspor minyak kelapa sawit Indonesia juga dinilai sangat besar seiring dengan meningkatnya permintaan global (GAPKI, 2022). Minyak kelapa sawit dimanfaatkan secara luas dalam berbagai sektor industri, antara lain pangan, kosmetik, serta energi

terbarukan seperti biodiesel (BPDPKS, 2025).

Peningkatan produktivitas kelapa sawit sangat bergantung pada penggunaan bahan tanam unggul. Pemanfaatan bahan tanam unggul terbukti mampu menghasilkan produksi tandan buah segar (TBS) dan minyak yang lebih tinggi dibandingkan bibit yang berasal dari benih tidak tersertifikasi (Handayani et al., 2025). Keterbatasan upaya memperbanyak vegetatif dan tingginya keragaman hasil memperbanyak melalui benih mendorong pengembangan bahan tanam kelapa sawit klonal menjadi pendekatan strategis dan berkelanjutan (Weckx et al., 2019). Kultur jaringan dinilai penting dalam memperbanyak genotipe unggul, baik untuk tujuan komersial maupun sebagai konservasi tetua pemuliaan (Ernayunita, et al., 2021). Sebagai tambahan, akibat kebijakan pembatasan perluasan areal perkebunan kelapa sawit, peningkatan produktivitas melalui penggunaan bahan tanam unggul menjadi strategi yang sangat relevan (Simamora, 2020). Klon kelapa sawit hasil kultur jaringan dilaporkan memiliki tingkat keseragaman dan produktivitas yang lebih tinggi, yakni sekitar 20–30% dibandingkan bahan tanam asal benih hibrida (Ernayunita et al., 2024).

Perbanyak kelapa sawit secara *in vitro* dilakukan

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Arfan Nazhri Simamora* (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: arfan.nazhri@gmail.com

dengan menumbuhkan jaringan tanaman yang telah disterilkan pada media buatan yang mengandung mineral, gula, vitamin, serta zat pengatur tumbuh. Teknik yang digunakan adalah embriogenesis somatik, yang diawali dengan pembentukan kalus sebagai tahap awal (Corley & Tinker, 2016). Teknik ini dipilih karena keterbatasan kelapa sawit yang hanya memiliki satu meristem utama, sehingga perbanyakan *in vitro* hanya dapat dilakukan melalui embriogenesis somatik tidak langsung (Weckx et al., 2019).

Meskipun embriogenesis somatik telah menjadi metode utama dalam perbanyakan klonal kelapa sawit, efisiensinya masih dibatasi oleh rendahnya tingkat pembentukan kalus. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa induksi kalus dari eksplan daun muda umumnya masih rendah dan sangat bervariasi, yaitu berkisar antara 0,28–52,05% tergantung genotipe, media kultur, dan zat pengatur tumbuh yang digunakan. Correa et al. (2016) melaporkan tingkat kalogenesis sebesar 0,28–52,05%, sedangkan Constantin, et al. (2015) memperoleh 1,39–30,56%. Penelitian Yusnita dan Hapsoro (2011) menunjukkan tingkat kalogenesis sebesar 8,5–33,7%, sementara Reflini (2017) melaporkan hanya 11–14%. Pada penelitian Sulaksono et al. (2021), persentase kalogenesis berkisar antara 4,67–49,17% bergantung pada kombinasi zat pengatur tumbuh yang digunakan. Weckx et al. (2019) dan Corley & Tinker (2016) mengidentifikasi rendahnya induksi kalus dan embrio somatik sebagai salah satu bottleneck utama dalam mikropropagasi kelapa sawit secara komersial. Kondisi ini penting diperhatikan karena jumlah kalus yang terbentuk akan menentukan keberhasilan tahap embriogenesis somatik berikutnya serta jumlah plantlet yang dapat dihasilkan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kalogenesis pada kelapa sawit merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor eksogen dan endogen. Faktor eksogen meliputi komposisi media kultur, zat pengatur tumbuh, serta kondisi lingkungan *in vitro*, sedangkan faktor endogen mencakup status fisiologis jaringan dan posisi asal eksplan (topofisis). Selain itu, pada tingkat molekuler, proses dediferensiasi sel selama kalogenesis diiringi oleh perubahan regulasi gen dan epigenetik yang dapat berdampak jangka panjang terhadap stabilitas fenotipe tanaman hasil regenerasi.

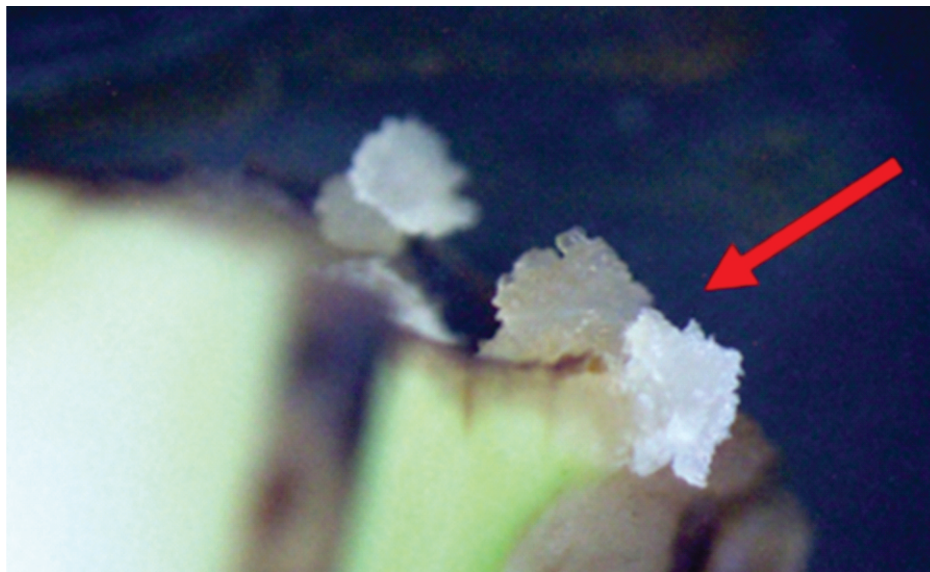
Tulisan ini akan membahas faktor-faktor yang

memengaruhi pembentukan kalus serta strategi potensial untuk meningkatkan keberhasilan kalogenesis pada perbanyakan kelapa sawit secara *in vitro*.

PEMBENTUKAN KALUS SECARA IN VITRO

Perbanyakan kelapa sawit melalui kultur *in vitro* dilakukan menggunakan teknik embriogenesis somatik tidak langsung, yang diawali dengan pembentukan kalus dan diikuti oleh diferensiasi embrio somatik. Tahap pembentukan kalus menjadi prasyarat utama keberhasilan proses ini. Induksi kalus umumnya dilakukan dengan menanam eksplan berupa daun muda (*immature leaf*) pada media kultur jaringan yang mengandung hormon auksin (Hashim et al., 2018). Kalus biasanya terbentuk pada jaringan yang mengalami luka (*wounding*), sebagai respon fisiologis terhadap kerusakan sel akibat proses pemotongan eksplan (Walangadi et al., 2025). Sel-sel yang mengalami autolisis melepaskan senyawa kimia yang menstimulasi pembelahan sel pada jaringan di sekitarnya, sehingga terbentuk massa sel yang belum terdiferensiasi. Proses ini umumnya diawali oleh pembelahan sel epidermis di sekitar area luka, yang kemudian berkembang menjadi agregat sel dan memulai pembentukan kalus pada ujung eksplan (Buana, 2018).

Dari perspektif molekuler, induksi kalus dikendalikan oleh regulasi kompleks sejumlah gen yang berperan dalam pembelahan dan dediferensiasi sel. Gen metiltransferase dan demetilasi pada *Arabidopsis* diketahui berperan dalam meregulasi pembentukan dan proliferasi kalus, seperti gen *MET1*, *CMT2*, *CMT3*, *DRM1* dan *ROS1* (Grzybkowska et al., 2018; Sun et al., 2020; Liu et al., 2022). Gen WUSCHEL-related homeobox (*WOX*) dilaporkan memiliki peran sentral dalam induksi kalus pada tanaman kapas (Tajo et al., 2022), sementara regulator respon sitokinin tipe-B seperti *ARR1* dan *ARR21* turut berkontribusi dalam proses proliferasi sel (Tajima et al., 2004). Selain itu, faktor transkripsi dengan domain RWP-RK, termasuk *RKD1*, *RKD2*, dan *RKD4*, terlibat dalam regulasi gametogenesis dan embriogenesis (Waki et al., 2011). Identifikasi whole genome kelapa sawit menunjukkan bahwa ekspresi gen *WOX*, yaitu *EgWOX2*, *EgWOX7*, *EgWOX8*, *EgWOX9* dan *EgWOX12* berbeda secara signifikan pada tiap tahap pembentukan kalus maupun embriogenesis (Zhang et al., 2022).



Gambar 1. Pembentukan kalus pada ujung eksplan daun muda kelapa sawit. Sumber : Eggie Febrianto Ginanjar

Rasio penggunaan sitokinin dan auksin yang seimbang pada media akan menstimulasi eksplan dalam membentuk kalus (Hapsoro & Yusnita, 2016). Pada kultur *in vitro* kelapa sawit, auksin yang umum digunakan meliputi picloram, 2,4-D, dan NAA, baik secara tunggal maupun dalam kombinasi dengan hormon lain seperti kinetin atau 2,4,5-TCPP (H. Teixeira et al., 2024; Yusnita & Hapsoro, 2011). Menurut Jaligot et al. (2000) terdapat 3 tipe kalus yang terbentuk pada kultur *in vitro* kelapa sawit yakni *nodular aggregate callus*, *nodular friable callus*, dan *chunky callus*. Tipe kalus yang terbentuk berpengaruh langsung terhadap stabilitas genetik tanaman hasil regenerasi. *Nodular compact callus* dilaporkan memiliki tingkat variasi somaklonal relatif rendah, sedangkan *fast growing callus* menunjukkan tingkat variasi somaklonal yang sangat tinggi sehingga tidak direkomendasikan untuk produksi bahan tanam.

Pada kelapa sawit, kalus umumnya terbentuk dari jaringan meristematik atau semi meristematik yang mengalami *reprogramming* fisiologis dan molekuler. Kalus yang dihasilkan dapat bersifat non embriogenik atau embriogenik, di mana hanya kalus embriogenik yang memiliki kemampuan untuk melanjutkan proses embriogenesis somatik. Secara morfologis, kalus embriogenik pada kelapa sawit menunjukkan karakter morfologi khas berupa warna pucat hingga kekuningan dan tekstur kompak atau *semi-friable* yang

mencerminkan aktivitas pembelahan sel tinggi serta status metabolik dan regulasi gen yang berbeda dibandingkan kalus non embriogenik (Vilela et al., 2021). Proses kalogenesis tidak hanya melibatkan proliferasi sel, tetapi juga perubahan besar dalam ekspresi gen yang mengatur modifikasi kromatin, induksi ZPT endogen dan aktivasi berbagai faktor transkripsi agar sel siap untuk berdiferensiasi (Altamura et al., 2016). Dengan demikian, kualitas kalus yang dihasilkan akan menentukan kapasitas regenerasi dan jumlah tanaman yang dapat diproduksi (Nazri et al., 2022). Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai faktor-faktor yang memengaruhi induksi kalus menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi perbanyakan kelapa sawit melalui kultur jaringan. Beberapa faktor utama yang memengaruhi keberhasilan pembentukan kalus akan dibahas pada bagian berikutnya.

Media induksi

Media dasar

Keberhasilan pembentukan kalus pada kultur *in vitro* kelapa sawit sangat ditentukan oleh komposisi media yang digunakan. Media kultur jaringan tersusun atas unsur hara makro dan mikro, vitamin, sumber karbon, zat pengatur tumbuh, serta komponen organik tambahan tertentu, yang secara sinergis mengatur

pertumbuhan, dediferensiasi, dan morfogenesis sel (Hapsoro & Yusnita, 2018).

Makronutrien seperti nitrogen, fosfor, dan kalsium berperan utama dalam pembelahan sel dan pembentukan biomassa kalus (Sidik et al., 2024). Nitrogen, yang umumnya disuplai melalui ammonium nitrat, memengaruhi intensitas pembentukan kalus, sebagaimana dilaporkan pada *Abelmoschus esculentus* L. (Winarto B, 2013). Fosfor berkontribusi terhadap peningkatan berat basah kalus (Supatmi et al., 2007), sedangkan kalsium berperan dalam stabilitas dinding sel dan pertumbuhan kalus (Amin et al., 2013). Selain itu, unsur mikronutrien seperti Fe dan Zn terbukti berpengaruh signifikan terhadap kalogenesis pada berbagai tanaman, seperti *Curcuma* dan *Panicum* (Iqbal et al., 202; Shafique et al., 2020) yang menegaskan pentingnya keseimbangan unsur

hara dalam media.

Pada kultur *in vitro* kelapa sawit, media dasar yang umum digunakan meliputi MS, Y3, dan N6, yang memiliki perbedaan komposisi dan konsentrasi unsur hara. Perbedaan ini menyebabkan respons kalogenesis yang bervariasi, meskipun jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh yang digunakan sama (Thuzar et al., 2011; Constantin et al., 2015; Sulaksono et al., 2021). Sejumlah penelitian melaporkan bahwa media MS cenderung menghasilkan tingkat kalogenesis yang lebih tinggi dibandingkan media lain, namun respons tersebut bersifat genotipe-spesifik. Beberapa genotipe menunjukkan respons optimal pada media MS setengah kekuatan, sementara genotipe lain lebih responsif terhadap MS kekuatan penuh (Chourykaew & Kanchanapoom, 1996).

Tabel 1. Media dasar yang umum digunakan dalam kultur *in vitro* kelapa sawit dan karakteristiknya

Media	Karakteristik umum	Respons kalogenesis	Referensi
		pada kelapa sawit	
MS	Konsentrasi makro dan mikro relatif tinggi	Umumnya menghasilkan kalogenesis lebih tinggi, bergantung genotipe	Hashim et al., 2018 H. Teixeira et al., 2024
Y3	Beberapa unsur hara lebih rendah dibanding MS	Respons bervariasi, umumnya lebih rendah dari MS	Constantin et al., 2015 Teixeira et al., 1993; Corrêa et al., 2016
N6	Komposisi nitrogen berbeda	Digunakan terbatas, respons spesifik eksplan	Thuzar et al., 2011

Komponen lain yang berperan penting dalam media kultur adalah vitamin, yang berfungsi sebagai katalis dalam berbagai proses metabolisme sel (Zahra et al., 2023). Penambahan vitamin yang tepat dapat meningkatkan aktivitas metabolik dan mendukung pembentukan kalus embriogenik.

Sumber karbon, terutama sukrosa, berfungsi sebagai penyedia energi dan osmotikum. Perbedaan konsentrasi sukrosa dari standar media MS dilaporkan mempengaruhi pembentukan dan biomassa kalus pada kelapa sawit serta tanaman lainnya (Wahyuni et al., 2020; Sari et al. 2018; Chourykaew & Kanchanapoom, 1996; Khierallah et al., 2015).

Penambahan asam amino sebagai sumber nitrogen organik juga terbukti meningkatkan induksi dan proliferasi kalus. Asam amino seperti glisin, valin, asparagin, sistein, dan glutamin dilaporkan memberikan respons positif terhadap kalogenesis dan pembentukan kalus embriogenik pada kelapa sawit dan tanaman palma lainnya (Marbun et al., 2015; Samuel et al., 2017; Diab & Hassanen, 2022).

Secara keseluruhan, induksi kalus pada kultur *in vitro* kelapa sawit dipengaruhi oleh interaksi komposisi media dan faktor genotipe. Oleh karena itu, optimasi media yang spesifik genotipe menjadi pendekatan penting, tidak hanya untuk meningkatkan efisiensi

kalogenesis, tetapi juga untuk menekan penggunaan bahan kimia dan biaya produksi kultur jaringan.

Zat pengatur tumbuh (ZPT)

ZPT khususnya auksin, merupakan faktor kunci dalam induksi kalus kelapa sawit secara *in vitro*. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa baik jenis maupun konsentrasi auksin memengaruhi respons kalogenesis. Babu et al., (2024) melaporkan bahwa penggunaan Picloram dan Dicamba menghasilkan tingkat kalogenesis yang berbeda pada eksplan daun bibit dan daun tombak muda.

Bukti empiris menunjukkan bahwa konsentrasi auksin memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan jenisnya. (Constantin et al., 2015) melaporkan bahwa penggunaan NAA tunggal pada

konsentrasi tinggi (107,41 μM) mampu menginduksi kalus kelapa sawit secara optimal pada berbagai posisi daun, baik pada media MS maupun Y3, dan menunjukkan respons yang lebih baik dibandingkan 2,4-D, picloram, maupun kombinasi 2,4-D dan NAA.

Secara umum, ZPT memiliki rentang konsentrasi efektif dalam menginduksi kalus. Peningkatan konsentrasi ZPT tidak selalu diikuti oleh peningkatan persentase kalogenesis. (Reflini, 2017) melaporkan bahwa konsentrasi ZPT yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan tingkat pembentukan kalus pada kultur *in vitro* kelapa sawit. Temuan serupa dilaporkan oleh yang menunjukkan bahwa konsentrasi optimal 2,4-D untuk induksi kalus kelapa sawit berada pada kisaran 5–20 μM , sedangkan konsentrasi di atas rentang tersebut menyebabkan penurunan persentase kalogenesis

Tabel 2. Respons kalogenesis kelapa sawit pada eksplan daun muda terhadap jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh

Media dasar	Zat Pengatur Tumbuh	Konsentrasi	Respons kalogenesis (%)	Referensi
MS	Picloram	450 μM	1,1–11,3	H. Teixeira et al., 2024
	2,4-D	800 μM	0,28–52,05	Corrêa et al., 2016
	2,4-D + NAA	67,86 μM + 107,41 μM	1,39–2,78	Constantin et al., 2015
	NAA	107,41 μM	1,39–30,56	
	2,4-D	5–50 μM	8,5–17,5	Yusnita & Hapsoro, 2011
	2,4-D	400 μM	7,5	
	2,4-D	450 μM	19,8	
	Picloram	1 μM	9,8	
	2,4-D	1–5 μM	10,4–33,7	
	NAA	6–12 mg L^{-1}	11–14	Reflini, 2017
	2,4-D + NAA	0,5 mg L^{-1} – 10 mg L^{-1}	10,5	
	Kinetin + 2,4-D	0,1 mg L^{-1} + 100 mg L^{-1}	31,33	
	Kinetin + 2,4-D	0,5 mg L^{-1} + 90 mg L^{-1}	11,7	

(continued)

Media dasar	Zat Pengatur Tumbuh	Konsentrasi	Respons kalogenesis (%)	Referensi
	2,4-D	100 mg L ⁻¹	4,67	Sulaksono et al., 2021
	2,4-D	177 mg L ⁻¹	8,17	
	NAA + 2,4-D	6 mg L ⁻¹ + 0,5 mg L ⁻¹	49,17	
	NAA + 2,4-D	10 mg L ⁻¹ + 0,5 mg L ⁻¹	25,50	
	NAA	10 mg L ⁻¹	5,0	
Y3	Auksin (beragam)	Beragam	Umumnya lebih rendah dibanding MS	Constantin et al., 2015
N6	Auksin (beragam)	Beragam	Respons spesifik eksplan	Thuzar et al., 2011

Pola respons kalogenesis kelapa sawit terhadap zat pengatur tumbuh (ZPT) menunjukkan kesamaan dengan tanaman palma lainnya, seperti kurma dan kelapa, yang memiliki rentang konsentrasi auksin efektif untuk induksi kalus. Apabila konsentrasi ZPT berada di bawah atau melebihi rentang tersebut, tingkat kalogenesis cenderung menurun (Rahman et al., 2022; Sinta et al., 2024). Fenomena ini menunjukkan bahwa keberhasilan kultur *in vitro* sangat ditentukan oleh keseimbangan hormon yang tepat.

Penggunaan ZPT pada konsentrasi rendah bersifat kurang efektif dalam menstimulasi dediferensiasi sel, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi justru menghambat pertumbuhan kalus. Pada kelapa sawit, pemberian ZPT berlebih dilaporkan menyebabkan pertumbuhan kalus kerdil, penurunan viabilitas, hingga pengeringan jaringan secara bertahap (Ugiagbe et al., 2024). Selain itu, konsentrasi auksin yang tinggi dapat memicu nekrosis jaringan akibat ekskresi senyawa fenolik ke dalam media, yang ditandai dengan pencokelatan kalus (Termizi et al., 2014; Zuraida et al., 2015).

Secara fisiologis, pemberian auksin berlebihan mengganggu keseimbangan antara auksin dan sitokinin, sehingga merusak regulasi diferensiasi dan proliferasi sel. Ketidakseimbangan hormonal ini meningkatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS), yang menyebabkan kebocoran elektron pada rantai transpor

elektron di mitokondria dan kloroplas (Orłowska & Kępczyńska, 2019). Akumulasi ROS selanjutnya memicu stres oksidatif yang mengakibatkan peroksidasi lipid, kerusakan membran sel, serta aktivasi kematian sel terprogram (*programmed cell death*), sehingga menghambat pertumbuhan kalus (Noli et al., 2025).

Selain menghambat kalogenesis, penggunaan ZPT pada konsentrasi tinggi juga meningkatkan risiko variasi somaklonal pada kultur *in vitro* kelapa sawit. Pemberian ZPT yang berlebihan telah dikaitkan dengan peningkatan abnormalitas tanaman hasil kultur, termasuk perubahan fenotipe di lapangan (Azahra & Emayunita, 2023). Kadar auksin yang tinggi dilaporkan memicu variasi somaklonal melalui perubahan epigenetik, terutama metilasi DNA (Nugroho et al., 2024). Selain konsentrasi, lama waktu kontak eksplan dengan ZPT juga berpengaruh terhadap tingkat abnormalitas klon kelapa sawit, di mana paparan yang terlalu lama meningkatkan risiko kelainan pertumbuhan (Pratiwi et al., 2020).

Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan optimasi penggunaan ZPT dalam induksi kalus kelapa sawit yang mempertimbangkan rentang konsentrasi efektif serta durasi paparan yang tepat. Pendekatan ini tidak hanya bertujuan meningkatkan efektivitas kalogenesis, tetapi juga meminimalkan risiko stres fisiologis dan variasi somaklonal pada tanaman hasil kultur *in vitro*.

Genotipe

Keberhasilan induksi kalus kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh genotipe eksplan. Variasi genetik menyebabkan perbedaan respons kalogenesis yang luas, baik antar spesies, persilangan, maupun individu dalam satu persilangan. Induksi kalus pada *Elaeis guineensis* dilaporkan dapat mencapai 52,05%, sedangkan pada hibrida *E. guineensis* × *E. oleifera* hanya 0,79–6,58% Corrêa et al., 2016. Pada tingkat persilangan, ortet Deli × La Mé menunjukkan kalogenesis lebih tinggi dibanding Deli × Yangambi dan Deli × NIFOR Corley & Tinker, 2016.

Perbedaan genotipe juga memengaruhi respons kalogenesis pada tipe dura, pisifera, dan tenera. Beberapa penelitian menunjukkan pisifera memiliki potensi kalogenesis lebih tinggi dibanding tenera, namun pola ini tidak konsisten Reflini, 2017; Sulaksono et al., 2021). Astari et al. (2024) melaporkan bahwa tidak ada tipe varietas yang secara konsisten unggul, karena respons kalogenesis lebih ditentukan oleh genotipe individu dibandingkan tipe varietasnya.

Pada tingkat individu, persilangan yang sama dapat menghasilkan rentang kalogenesis yang luas (1–52%), menunjukkan adanya variasi genetik intra-persilangan (Corrêa et al., 2016). Fenomena serupa juga dilaporkan pada tanaman lain seperti herba, kopi, termasuk juga palma, di mana genotipe menjadi faktor penentu utama induksi kalus (Khumaida & Handayani, 2010).

Perbedaan respons kalogenesis antar genotipe diduga berkaitan dengan variasi kadar fitohormon endogen. Setiap genotipe memiliki profil auksin dan sitokinin yang berbeda, yang memengaruhi respons terhadap induksi kalus (Hisano et al., 2016). Simamora (2020) melaporkan bahwa auksin (IAA) berkorelasi positif terhadap pembentukan kalus

embriogenik, sedangkan zeatin dan rasio IAA:zeatin berkorelasi positif terhadap proliferasi kalus. Temuan ini menegaskan bahwa latar belakang genetik eksplan berperan penting dalam menentukan keberhasilan kalogenesis pada kultur *in vitro* kelapa sawit.

Sumber eksplan

Jenis eksplan

Berbagai jaringan kelapa sawit dapat digunakan sebagai sumber eksplan untuk induksi kalus, namun kemampuan kalogenesisnya sangat bervariasi. Eksplan yang umum digunakan meliputi embrio zigotik, daun muda, dan infloresens (Thuzar et al., 2011). Perbedaan respons kalogenesis antar eksplan terutama dipengaruhi oleh tingkat meristematik jaringan, konsentrasi fitohormon endogen, serta sensitivitas terhadap ZPT eksogen (Weckx et al., 2019). Secara umum, semakin meristematik jaringan eksplan, semakin tinggi kemampuan dediferensiasi dan pembentukan kalus (Saptari & Sumaryono, 2018).

Embrio zigotik

Embrio zigotik merupakan eksplan paling responsif dengan tingkat kalogenesis tinggi (± 55 –93%). Keunggulannya meliputi ketersediaan melimpah, mudah disterilisasi, tidak merusak ortet, dan responsif terhadap kondisi kultur. Beberapa penelitian melaporkan kalogenesis embrio zigotik mencapai >70% pada berbagai kombinasi media dan auksin (Tabel 2). Tingginya respons ini diduga terkait dengan keberadaan zona meristematik embrio yang berkembang menjadi akar dan tajuk. Namun, embrio zigotik kurang ideal untuk perbanyakan komersial karena tidak identik secara genotipe dengan ortet (Weckx et al., 2019).



Gambar 2. Embrio zigotik yang digunakan dari buah kelapa sawit sebagai eksplan

Tabel 3. Ringkasan kalogenesis menggunakan eksplan embrio zigotik kelapa sawit

Sumber	Media + ZPT	Kalogenesis (%)
Thuzar et al. (2011)	N6 / MS + 2 mg/L 2,4-D atau picloram	64,5–81,0
Teixeira et al. (1993)	Y3 modifikasi + 500 µM 2,4-D	55–93
Kanchanapoom & Domyoas (1999)	Y3 + 2 mg/L 2,4-D	29,36
Chourykaew & Kanchanapoom (1996)	½ MS + 1–10 mg/L 2,4-D / 30–70 mg/L NAA	70–91

Infloresens

Infloresens (terutama bunga jantan muda) merupakan alternatif eksplan yang potensial karena kaya meristem dan tidak mengganggu produktivitas tanaman. Tingkat kalogenesis pada eksplan infloresens jantan pada media MS dilaporkan berkisar 33,33% - 66,67% (Zulkarnain et al., 2019) dan 12% - 67,4% pada media Euwen (Y3) (Babu et al., 2025). Pada

eksplan infloresens betina, tingkat kalogenesis dilaporkan sebesar 31,25% menggunakan media basal MS (Panggabean et al., 2021). Infloresens muda dan internal lebih responsif dibanding infloresens matang yang cenderung kaya senyawa fenolik. Menariknya, material hasil embriogenesis somatik dari infloresens terbukti *true-to-type* berdasarkan analisis SSR, sehingga berpotensi untuk memperbanyak klonal (Babu et al., 2025).



Gambar 3. Infloresens muda pada fase belum terbuka yang digunakan sebagai bahan eksplan (Kartika et al., 2019)

Daun muda

Daun muda (umumnya daun -4 hingga -9) merupakan eksplan yang paling sering digunakan dalam mikropropagasi kelapa sawit karena mudah diperoleh dan dapat menghasilkan banyak potongan eksplan (Constantin, et al., 2015). Namun, tingkat kalogenesisnya relatif lebih rendah dan bervariasi luas (0,28–52,05%) dibanding embrio zigotik dan infloresens (Yusnita & Hapsoro, 2011; Constantin, et al., 2015; Corrêa et al., 2016; Reflini, 2017).

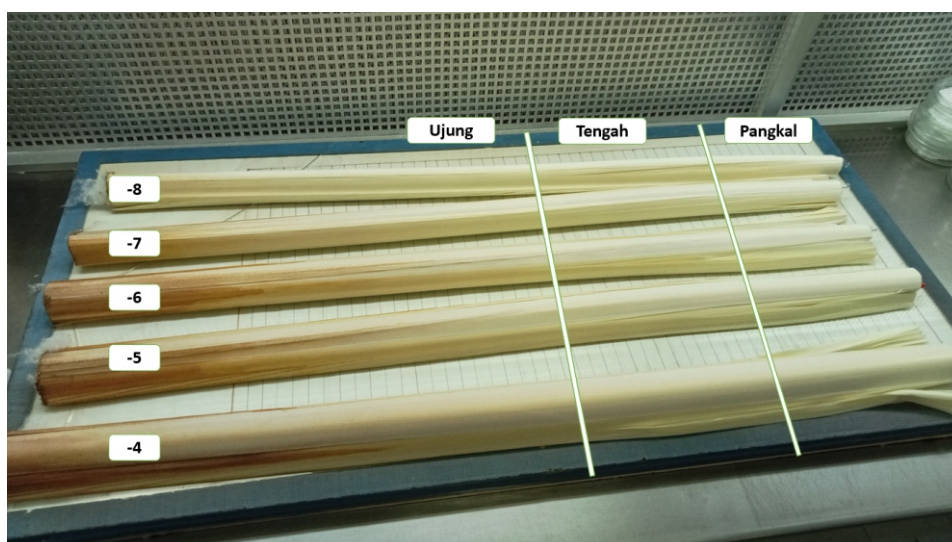
Secara umum, kemampuan kalogenesis eksplan kelapa sawit mengikuti urutan: embrio zigotik > infloresens > daun muda. Tingginya respons embrio zigotik dan infloresens berkaitan erat dengan keberadaan dan jumlah meristem. Meskipun embrio zigotik unggul secara respons, infloresens menawarkan kompromi terbaik antara potensi kalogenesis dan kesesuaian untuk memperbanyak klonal karena bersifat genetik identik dengan ortet. Oleh karena itu, pemilihan eksplan perlu disesuaikan dengan tujuan kultur, baik untuk optimasi kalogenesis maupun aplikasi komersial.

Nomor daun dan topofisis

Meskipun embrio zigotik dan infloresens dapat digunakan sebagai sumber eksplan, daun muda merupakan eksplan yang paling umum pada kultur *in vitro* kelapa sawit karena ketersediaannya tinggi dan relatif steril. Sejumlah penelitian menunjukkan adanya variasi respon kalogenesis berdasarkan nomor daun yang digunakan, meskipun belum diperoleh kesimpulan yang konsisten. (H. Teixeira et al., 2024) dan (Nazri et al., 2022) melaporkan bahwa daun -4 menunjukkan tingkat kalogenesis tertinggi. Sebaliknya, beberapa penelitian lain menyebutkan bahwa daun -9 memberikan respon kalogenesis yang lebih baik karena bersifat paling muda dan lebih meristematik (Constantin et al., 2015; Wiendi et al., 2015). Perbedaan hasil antar studi tersebut menunjukkan bahwa pengaruh nomor daun terhadap

kalogenesis belum bersifat konklusif dan kemungkinan dipengaruhi oleh faktor lain seperti genotipe dan kondisi kultur.

Selain nomor daun, topofisis juga diduga mempengaruhi respon kalogenesis. Topofisis pangkal umumnya dilaporkan lebih responsif dibanding bagian tengah dan ujung daun karena merupakan jaringan paling muda (Simamora 2020; Weckx et al., 2019). Meskipun perbedaannya sering kali tidak signifikan secara statistik, kecenderungan pembentukan kalus lebih awal dan lebih konsisten pada topofisis pangkal menunjukkan bahwa jaringan muda memiliki potensi morfogenik yang lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan prinsip umum kultur jaringan bahwa jaringan muda lebih mudah mengalami dediferensiasi dan induksi kalus dibanding jaringan tua (Lee et al., 2020; Jayanthi et al., 2015).



Gambar 4. nomor daun dan topofisis eksplan daun muda pada kultur *in vitro* kelapa sawit

Secara keseluruhan, baik nomor daun maupun topofisis belum dapat ditetapkan sebagai faktor tunggal penentu kalogenesis. Namun, penggunaan jaringan yang paling muda—seperti daun -9 dan topofisis pangkal—cenderung memberikan respon yang lebih baik dan berpotensi meningkatkan keberhasilan induksi kalus.

Kondisi kultur *in vitro*

Selain media, zat pengatur tumbuh, genotipe, dan

sumber eksplan, kondisi kultur *in vitro* seperti suhu, pencahayaan, fotoperiode, dan frekuensi subkultur turut memengaruhi keberhasilan kalogenesis melalui pengaruhnya terhadap aktivitas metabolisme, pembelahan sel, dan diferensiasi jaringan (George et al., 2008; Loyola-Vargas & Ochoa-Alejo, 2018). Pada berbagai spesies tanaman, kondisi inkubasi yang optimal terbukti meningkatkan pembentukan kalus dan embriogenesis somatik, sedangkan kondisi yang tidak sesuai dapat menurunkan viabilitas eksplan serta menghambat proliferasi kalus (Fehér, 2019).

Pada kultur *in vitro* kelapa sawit, induksi kalus umumnya dilakukan dalam kondisi gelap pada suhu 25–29°C, sedangkan tahap embriogenesis dan regenerasi dipindahkan ke kondisi terang dengan fotoperiode 16 jam terang/8 jam gelap dan intensitas cahaya sekitar 20–60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Weckx et al., 2019; Corley & Tinker, 2016). Kondisi gelap dilaporkan mempertahankan kemampuan dediferensiasi sel dan menekan oksidasi senyawa fenolik, sedangkan subkultur bulanan mampu meningkatkan pembentukan kalus embriogenik dari 0,8% menjadi 20,8% (Weckx et al., 2019). Meskipun demikian, pengaruh faktor lingkungan kultur seperti suhu, intensitas cahaya, dan kondisi atmosfer terhadap kalogenesis kelapa sawit masih relatif sedikit dievaluasi dibandingkan media dan zat pengatur tumbuh, sehingga optimasinya masih menjadi peluang penelitian untuk meningkatkan efisiensi embriogenesis somatik.

STRATEGI PENINGKATAN KALOGENESIS

Optimasi media dan zat pengatur tumbuh

Media dan ZPT merupakan faktor kunci dalam induksi kalus. Variasi jenis dan konsentrasi makronutrien, mikronutrien, serta ZPT menghasilkan respon kalogenesis yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan optimasi media untuk menentukan rentang konsentrasi efektif yang tidak bersifat menghambat maupun suboptimal. Mengingat respon eksplan sangat dipengaruhi genotipe, optimasi media idealnya dilakukan secara spesifik per genotipe untuk memperoleh protokol baku sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan bahan kimia.

Penggunaan jaringan muda

Jaringan muda lebih bersifat meristematik dan morfogenik sehingga lebih responsif terhadap induksi kalus serta berpotensi menekan terjadinya pencokelatan (*browning*). Pada kelapa sawit, penggunaan tofosis pangkal serta daun -9 direkomendasikan sebagai sumber eksplan meskipun perbedaannya tidak selalu signifikan secara statistik.

Penambahan bahan aditif media

Penambahan bahan aditif seperti asam amino,

vitamin, dan senyawa organik berpotensi meningkatkan kalogenesis secara *in vitro*. Putrescin dilaporkan meningkatkan pembentukan kalus pada padi (Maharani et al., 2020), sementara pada kurma penambahan putrescine dan spermidine meningkatkan pertumbuhan kalus secara signifikan (Hussein et al., 2021). Suplementasi cistein dan glutamin juga dilaporkan meningkatkan pembentukan kalus hingga dua kali lipat dibanding kontrol (Diab & Hassanen, 2022). Pada kelapa sawit, penambahan asam amino seperti glisin, valin, dan asparagin terbukti meningkatkan proliferasi kalus (Marbun et al., 2015). Temuan ini menunjukkan bahwa bahan aditif media berpotensi dioptimalkan untuk meningkatkan kalogenesis kelapa sawit secara *in vitro*.

KESIMPULAN

Kalogenesis kelapa sawit merupakan proses multifaktorial yang dipengaruhi oleh interaksi beberapa faktor biologis dan teknis seperti media dasar, zat pengatur tumbuh, genotipe, sumber eksplan dan kondisi lingkungan kultur. Pendekatan berupa optimasi media dan zat pengatur tumbuh sesuai genotipe, pemanfaatan jaringan muda, serta suplementasi bahan aditif media berpotensi meningkatkan efisiensi induksi kalus dan menjadi dasar pengembangan protokol kultur jaringan yang lebih efektif dan aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Altamura, M.M., Della Rovere, F., Fattorini, L., D'Angeli, S., Falasca, G. (2016). Recent Advances on Genetic and Physiological Bases of In Vitro Somatic Embryo Formation. *Methods Mol Biol.* 1359:47-85. doi: 10.1007/978-1-4939-3061-6_3.
- Ahmad, A., Tahir Ul Qamar, M., Shoukat, A., Aslam, M.M., Tariq, M., Hakim, M., Joyia, F.A. (2021). The effects of genotypes and media composition on callogenesis, regeneration and cell suspension culture of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Peer J.* 9:e11464. doi: 10.7717/peerj.11464.
- Amin, N. U. L., Sanga, G. U. L., Ara, N., Shah, S. H., & Farhatullah. (2013). Effect of various concentrations of calcium chloride on callus growth and potassium nutrition of calli cultures

- of potato (*Solanum tuberosum*). *Pakistan Journal Botany*, 45(1), 209–214.
- Astari, R. P., Basyuni, M., Siregar, L. A. M., Damanik, R. I. M., Arifiyanto, D., Affandi, D., & Syahputra, I. (2024). Genotypic effects on accelerated propagation of oil palm breeding materials selected (*Elaeis guineensis* Jacq.) using somatic embryogenesis. *Oil Crop Science*, 9(2), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2024.03.005>
- Babu, B. K., Mathur, R. K., Suresh, K., Ravichandran, G., Susanthi, B., Patil, G. B., Ruthweek, N., & Mahesh, M. (2025). Efficient regeneration protocol for producing true-to-type oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) through somatic embryogenesis from immature male inflorescence. *Heliyon*, 11(1), e41479. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41479>
- BPDPKS. (2025). *Keunggulan Minyak Sawit sebagai Kebutuhan Penting bagi Masyarakat Dunia*. BPDP Kelapa Sawit. <https://www.bpd.or.id/6-keunggulan-minyak-sawit-sebagai-kebutuhan-penting-bagi-masyarakat-dunia>
- Buana, A. S. (2018). Induksi kalus stevia *Rebaudiana bertonii* M. dengan pemberian kombinasi ZPT NAA (naphtalene asetic acid), 2 , 4-D (2 , 4 diclorophenoxy asetic acid) dan BAP (benzil amino purin). *G-Tech*, 1(2), 78–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.33379/gtech.v1i2.272>
- Chourykaew, B., & Kanchanapoom, K. (1996). In Vitro culture of embryos and callus of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). In *J.Sci .Soc.Thailand* (Vol. 22, pp. 1–12). <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.1996.22.001>
- Constantin, M., Nchu, W. A., Godswill, N., Made, N., & Wiendi, A. (2015). Induction of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq. Var. Tenera) callogenesis and somatic embryogenesis from young leaf explants. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 04(04), 05–09. <https://doi.org/10.7324/JABB.2015.3402>
- Corley, R. H. V., & Tinker, P. B. (2015). *The Oil Palm: Fifth Edition*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118953297>
- Corrêa, T. R., Motoike, S. Y., Paula, A., Andrade, D. S., & Coser, S. M. (2016). Accelerated in vitro propagation of elite oil palm genotypes (*Elaeis guineensis* Jacq.) by substituting cytokinin with putrescine. *African Journal of Biotechnology*, 15(50), 2817–2825. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15670>
- Correa, T. R., Sérgio, Y. M., Ana, P. de S. A., Sara, M. C., Vanessa, Q., Manuela, M. C. G., Débora, D. N. C., Cristian, N. M. P., & Edgard, A. de T. P. (2016). Accelerated in vitro propagation of elite oil palm genotypes (*Elaeis guineensis* Jacq.) by substituting cytokinin with putrescine. *African Journal of Biotechnology*, 15(50), Article 50. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15670>
- Diab, M. I., & Hassanen, S. A. (2022). Impact of cysteine and glutamine on callus growth and somatic embryo formation of dry date palm (*Phoenix dactylefira*) cv. Ghorm Ghazal. *Quest Journals*, 9(2).
- Fehér, A. (2019). Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: What these terms mean in the era of molecular plant biology? *Frontiers in Plant Science*, 10, 536. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00536>
- GAPKI. (2022). *Global Palm Oil Demand Rising, Sustainability Market Stunted*. GAPKI. <https://gapki.id/en/news/2022/11/03/global-palm-oil-demand-rising-sustainability-market-stunted/>
- George, E. F., Hall, M. A., & De Klerk, G.-J. (2008). *Plant propagation by tissue culture* (3rd ed., Vol. 1: The background). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3>
- Handayani, N., Hakim, M., & Yosoef, A. (2025). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruh Permintaan Kecambah Kelapa Sawit Oleh Petani Kelapa Sawit di Pusat Penelitian Kelapa Sawit. *Jurnal Agroplasma*, 12(1), 7–12.
- Hapsoro, D., & Yusnita. (2016). *Kultur Jaringan untuk Perbanyak Klonal Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq)*. Aura
- Hapsoro, D., & Yusnita. (2018). *Kultur Jaringan Teori dan Praktik*. CV Andi Offset.
- Hashim, A. T., Zamzuri Ishak, Rosli, S. K., Ong-Abdullah, M., Ooi, S.-E., Husri, M. N., & Bakar, D. A. (2018). *Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq.) Somatic Embryogenesis* (Vol. 85). Springer

- International Publishing .
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9>
- Hisano, H., Matsuura, T., Mori, I. C., Yamane, M., & Sato, K. (2016). Endogenous hormone levels affect the regeneration ability of callus derived from different organs in barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.12.005>
- Hussein, N. H., Jawad, H. A., & Saleh, F. F. (2021). The effect of putrescine and spermidine on somatic embryogenesis and regeneration of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Barhee. *Int. J. Agricultural Statistical Science*, 17(2), 827–830.
- Iqbal, M., Aftab, Z. E. H., Anjum, T., Rizwana, H., Akram, W., Aftab, A., Sajid, Z. A., & Li, G. (2024). Nano-Integrated Plant Tissue Culture to Increase the Rate of Callus Induction, Growth, and Curcuminoid Production in *Curcuma longa*. *Plants*, 13(13), 2–13. <https://doi.org/10.3390/plants13131819>
- Isra, M., Sitepu, A. C., Ismu, A., Panjaitan, A., Juniarta, M. R., Safitri, N., Hasibuan, U. B., Wina, V., Harahap, L., William Iskandar, J., Baru, K., Percut, K., Tuan, S., & Serdang, K. D. (2025). Masa Depan Industri Kelapa Sawit Tantangan dan Peluang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 4(1), 276–282
- Jaligot, E., Rival, A., Beul, T., Dussert, S., & Verdeil, L. (2000). *Somaclonal variation in oil palm (Elaeis guineensis Jacq.): The DNA methylation hypothesis*. 19(7), 685–690. <https://doi.org/10.1007/s002999900177>
- Jayanthi, M., Susanthi, B., Murali Mohan, N., & Mandal, P. K. (2015). In vitro somatic embryogenesis and plantlet regeneration from immature male inflorescence of adult dura and tenera palms of (*Elaeis guineensis* Jacq.). *SpringerPlus*, 4(256), 2–7. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1025-4>
- Kartika, E., Lizawati, & Zulkarnain. (2019). In vitro callus formation from male inflorescences of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) by the application of picloram. *TOM*, 26(1), 57–61.
- Khierallah, H. S. M., Al-Hamdany, M. H. S., Abdulkareem, A. A., & Saleh, F. F. (2015). Influence of Sucrose and Paclobutazol on Callus Growth and Somatic Embryogenesis in Date Palm cv. Bream. *International Journal of Current Research and Academic Review*, 3(1), 270–276.
- Khumaida, N., & Handayani, T. (2010). Induksi dan Proliferasi Kalus Embriogenik pada Beberapa Genotipe Kedelai. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 38(1), 19–24.
- Loyola-Vargas, V. M., & Ochoa-Alejo, N. (Eds.). (2018). *Plant cell culture protocols* (3rd ed.). Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4>
- Maharani, A., Indra, W., Fanata, D., Laeli, F. N., Kim, K., & Handoyo, T. (2020). Callus Induction and Regeneration from Anther Cultures of Indonesian Indica Black Rice Cultivar. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 23(1), 21–28. <https://doi.org/10.1007/s12892-019-0322-0>
- Marbun, C. L. M., Toruan-Mathius, N., Reflini, Utomo, C., & Liwang, T. (2015). Micropropagation of Embryogenic Callus of Oil Palm (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Using Temporary Immersion System. *2nd Humboldt Kolleg in Conjunction with International Conference on Natural Sciences, HK-ICONS*, 14, 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.018>
- Nazri, E., Setiowati, R. D., Rahmadi, H. Y., & Yenni, Y. (2022). Peran Sumber Ortet , Nomor Daun dan Waktu Inkubasi Terhadap Hasil Kalus Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *J.Pen. Kelapa Sawit*, 30(3), 153–160.
- Noli, Z. A., Hany, I. P., & Idris, M. (2025). Enhancing Somatic Embryogenesis in *Dendrobium discolor* Lindl. Through Optimized PGRs Addition: A Promising Approach for Mass Propagation. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 10(3). <https://doi.org/10.22146/jtbb.13181>
- Nugroho, S., Rahmadi, H. Y., Setiowati, R. D., & Siregar, H. A. (2024). Pendekatan Berbasis Genomik Dalam Mengatasi Permasalahan Abnormalitas Klon Kelapa Sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 29(1), 69–80. <https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v29i1.142>

- Orłowska, A., & Kępczyńska, E. (2019). Oxidative status in *Medicago truncatula* Gaertn. Non-embryogenic and embryogenic tissues with particular reference to somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 140(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01709-0>
- Pratiwi, D. R., Wening, S., Nazri, E., & Harahap, I. Y. (2020). Pengaruh Waktu paparan zat pengatur tumbuh terhadap tingkat abnormalitas kelapa sawit. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 28(1), 29–40.
- Rahman, Z. A., Govindasamy, S. K., Ngalm, A., Adlan, N. A. S., Basiron, N. N. A., & Othman, A. N. (2022). Callus Induction of Young Leaf Coconut cv. MATAG with Combination of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D), α -Naphthalene Acetic Acid (NAA) and Benzyl Amino Purin (BAP). *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 13(05), 254–263. <https://doi.org/10.4236/abb.2022.135015>
- Reflini. (2017). Evaluation of 2. 4-D and NAA Concentrations for Callus and Somatic Embryos Formation in Oil. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 4(3). <https://doi.org/10.18178/joaat.4.3.215-218>
- Samuel, K. O. K., Salomé, Y. E. S., Modeste, K. K., Oumar, S., Edmond, K., Hilaire, K. T., & 1. (2017). Improved callogenesis and somatic embryogenesis using amino acids and plant growth regulators combination in pineapple [*Ananas comosus* (L .) merr. (Bromeliaceae)]. *Eurupean Journal of Biotechnolpgy and Bioscience*, 5(5), 6–16.
- Saptari, R. T., & Sumaryono. (2018). Embriogenesis somatik dari pucuk tunas tanaman kurma (*Phoenix dactylifera* L.). *Menara Perkebunan*, 86(2), 81–90. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v86i2.313>
- Shafique, S., Jabeen, N., Shafique, K., Id, A., Irum, S., Anwaar, S., Ahmad, N., Alam, S., Ilyas, M., Farooq, T., Id, K., & Hussain, S. Z. (2020). Green fabricated zinc oxide nanoformulated media enhanced callus induction and regeneration dynamics of *Panicum virgatum* L . *P L O S O N E*, 1 – 1 4 . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230464>
- Sidik, N. J., Agha, H. M., Alkamil, A. A., Mohammed, M., Alsayadi, S., & Mohammed, A. A. (2024). A Mini Review of Plant Tissue Culture: The Role of Media Optimization , Growth Regulators in Modern Agriculture , Callus Induction and the A Mini Review of Plant Tissue Culture: The Role of Media Optimization , Growth Regulators in Modern Agriculture , . 1(2), 96–109.
- Simamora, A. N. (2020). Status fitohormon beberapa genotipe kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Dan korelasinya dengan pembentukan kalus in vitro. Institut Pertanian Bogor.
- Sinta, M. M., Saptari, R. T., Riyadi, I., & Sumaryono, S. (2024). Callus induction and regeneration of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. Zambli through somatic embryogenesis from four layers of young leaves explant. *E-Journal Menara Perkebunan*, 92(2), 131–140. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v92i2.588>
- Sulaksono, G., Hasmeda, M., Hanum, L., Wendra, F., Santika, B., & Asmono, D. (2021b). The effect of culture media type and plant growth regulator on callus induction of oil palm Pisifera type. *BIOVALENTIA: Biological Research Journal*, 7(2), 55–60. <https://doi.org/10.24233/biov.7.2.2021.224>
- Supatmi, Solichatun, & Anggarwulan, E. (2007). Pertumbuhan kalus dan produksi reserpin pule pandak *Rauvolfia verticillata* Pengaruh penurunan konsentrasi fosfor dalam media MS terhadap pertumbuhan kalus dan produksi reserpin pule pandak *Rauvolfia verticillata* secara in vitro. *Biofarmasi*, 5 (1). <https://doi.org/10.13057/biofar/f050103>
- Tajima, Y., Imamura, A., Kiba, T., Amano, Y., Yamashino, T., & Mizuno, T. (2004). Comparative Studies on the Type-B Response Regulators Revealing their Distinctive Properties in the His-to-Asp Phosphorelay Signal Transduction of *Arabidopsis thaliana*. *Plant and Cell Physiology*, 45(1), 28–39. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcg154>
- Tajo, S. M., Pan, Z., He, S., Chen, B., KM, Y., Mahmood, T., Bello Sadau, S., Shahid Iqbal, M., Gereziher, T., Suleiman Abubakar, U., Joseph, M., Sammani, T., Geng, X., & Du, X. (2022). Characterization of WOX genes

- revealed drought tolerance, callus induction, and tissue regeneration in *Gossypium hirsutum*. *Frontiers in Genetics*, 13, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.928055>
- Teixeira, H., Leandro, G., Machado, G., Monah, P., Bartos, C., Aparecida, T., Henrique, F., Vânia, C., Rennó, C., Inaê, A., Araújo, M. De, Cardoso, S., Luís, A., Souza, X. De, Ward, P., & Jonny, I. (2024). *Somatic embryogenesis in oil palm from immature leaves with emphasis on leaf position, sequential callus re-collection, use of temporary immersion system, and assessment of genetic and epigenetic fidelity of the resulting clones*.
- Teixeira, J. B., Srndahl, M. R., & Kirby, E. G. (1993). Somatic embryogenesis from immature zygotic embryos of oil palm. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44(1), 19–24. <https://doi.org/10.1007/BF00045908>
- Termizi, Z. H., Sidik, N. J., Hashim, T. A., & Ahmat, N. (2014). The effects of different concentrations of NAA on oil palm (*Elaeis guineensis*) embryoid cultures and phytosterols production. *Australian Journal of Crop Science*, 8(6), 840–847.
- Thuzar, M., Vanavichit, A., Tragoonrung, S., & Jantasuriyarat, C. (2011). Efficient and rapid plant regeneration of oil palm zygotic embryos cv. “Tenera” through somatic embryogenesis. *Acta Physiologiae Planta*, 33(1), 123–128. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0526-6>
- Ugiagbe, I. M., Abdul-Qadir, M. I., Abu, R. A., Audu, I., & Imogie, A. E. (2024). In vitro responses of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) apical meristem and zygotic embryo to growth regulators and culture media. *Nigerian Journal of Agricultural Economics (NJAE)*, 14(1), 18.
- Vilela, M. S. P., Andrade, J. de C. e, Santos, R. S., Vanessa, Stein, C., Alves, P. C. M. S., & Paiva, L. V. (2021). *Induction and maintenance of embryogenic characteristics of callus of the oil palm hybrid manicoré*. 1–14.
- Waki, T., Hiki, T., Watanabe, R., Hashimoto, T., & Nakajima, K. (2011). The arabidopsis RWP-RK protein RKD4 triggers gene expression and pattern formation in early embryogenesis. *Current Biology*, 21(15), 1277–1281. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.07.001>
- Walangadi, F. R., Ahmad, J., Pagalla, D. B., & Youla, N. (2025). *Jurnal Biologi Tropis Effect of BAP and NAA on Callus Emergence Time of Dumbaya Young Leaf Explants in Vitro*.
- Weckx, S., Inzé, D., & Maene, L. (2019). Tissue culture of oil palm: Finding the balance between mass propagation and somaclonal variation. *Frontiers in Plant Science*, 10(June). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00722>
- Wiendi, N. M. A., Constantin, M., & Wachyar, A. (2015). Study of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) In vitro Embriogenesis using Young Leaf Explants. *Journal of Tropical Crop Science*, 2(2).
- Winarto B. (2013). Pengaruh Medium Dasar dan Amonium Nitrat terhadap Pembentukan , Regenerasi Kalus , dan Penggandaan Tunas Hasil Kultur Anther Anthurium. *J.Hort*, 23(1), 9–20.
- WWF. (2022). *8 things to know about palm oil*. Wwf.Org. <https://www.wwf.org.uk/updates/8-things-know-about-palm-oil>
- Yusnita, & Hapsoro, D. (2011a). In Vitro Callus Induction and Embryogenesis of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) from Leaf Explants. *HAYATI Journal of Biosciences*, 18(2), Article 2. <https://doi.org/10.4308/hjb.18.2.61>
- Yusnita, & Hapsoro, D. (2011b). In Vitro Callus Induction and Embryogenesis of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) from Leaf Explants. *HAYATI Journal of Biosciences*, 18(2), 61–65. <https://doi.org/10.4308/hjb.18.2.61>
- Zahra, J. A. Z., Sasmita, E. R., & Wijayani, A. (2023). *Subkultur anggrek bulan (Phalaenopsis sp.) Pada media MS dengan penambaghan thiamin dengan ekstrak taugé*. 6, 34–39.
- Zuraida, A. R., Mohd, S. M. A., Sabrina, M. N. E., & Nazreena, O. A. (2015). Improvement of Regeneration of Pelargonium radula via Somatic Embryogenesis. *British Biotechnology Journal*, 5(4), 166–173. <https://doi.org/10.9734/bbj/2015/15337>