

Induksi Kalus dari Eksplan Umbi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L var. Bima Brebes) Dengan Penambahan BAP dan Pikloram

Taqiyyah Rabbani Ramadhan*, Noor Aini Habibah

Program Studi Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D6 Lt.1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: taqiyyahrabbani10@gmail.com

Diterima 12 Agustus 2023

Disetujui 01 Oktober 2023

Dipublikasikan 16 Oktober 2023

Abstrak

Kandungan metabolit sekunder dalam umbi bawang merah (*Allium ascalonicum*) secara efektif dapat diproduksi melalui teknik kultur kalus yang dipengaruhi oleh komposisi auksin dan sitokinin pada media. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi *benzyl aminopurin* (BAP) dan pikloram yang optimal terhadap induksi kalus eksplan umbi bawang merah. Rancangan penelitian adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor yaitu konsentrasi BAP dan konsentrasi pikloram, masing-masing dengan konsentrasi 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm dan 3 ppm. Eksplan yang diinduksi berupa bagian pelepah kuncup umbi. Kultur dilakukan pada media Murashige and Skoog (MS) dengan pencahayaan 2.000 lux, suhu $\pm 20-25^{\circ}\text{C}$, kelembapan 52-58% dan diinkubasi selama 45 hari. Indikator yang diamati meliputi waktu muncul kalus, persentase berkalus dan morfologi kalus. Data waktu muncul kalus dan persentase berkalus dianalisis dengan uji Kruskal-Wallis dan diuji lanjut dengan uji Dunn. Data morfologi kalus dianalisis secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi BAP tidak berpengaruh signifikan terhadap waktu muncul kalus dan persentase tumbuh kalus sedangkan konsentrasi pikloram berpengaruh signifikan terhadap kedua parameter tersebut. Rerata waktu muncul kalus tercepat yaitu 8,6 hst (hari setelah tanam) dicapai pada perlakuan 2 ppm BAP + 3 ppm pikloram dengan persentase tumbuh kalus 100%. Morfologi kalus yang dihasilkan pada sebagian perlakuan bertekstur kompak dengan warna kalus putih kekuningan.

Kata kunci: bawang merah, kultur kalus, BAP, pikloram

Abstract

*The content of secondary metabolites in shallot bulbs (*Allium ascalonicum*) can be effectively produced through callus culture techniques that are influenced by the composition of auxins and cytokinins in the media. This study aims to analyze the effect of optimal concentrations of benzyl aminopurin (BAP) and pikloram on callus induction of shallot bulb explants. The research design is a complete randomized design with two factors, namely BAP concentration and pikloram concentration, each consisting of 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm and 3 ppm concentrations. The induced explants were the fronds of the tuber buds. Cultures were conducted on Murashige and Skoog (MS) media under 2,000 lux lighting, $\pm 20-25^{\circ}\text{C}$ temperature, 52-58% humidity and incubated for 45 days. Observation indicators include callus emergence time, percentage of callus and callus morphology. Quantitative data were analyzed by Kruskal wallis test and further tested by Dunn's test. Callus morphology data were analyzed descriptively. The results showed that the concentration of BAP had no significant effect on callus emergence time and callus growth percentage while the concentration of pikloram had a significant effect on both parameters. The fastest average callus emergence time of 8.6 dap (days after planting) was achieved in the treatment of 2 ppm BAP + 3 ppm picloram with 100% callus growth percentage. Morphology of callus produced in most treatments is compact texture with yellowish white callus color.*

Keywords: shallots, callus culture, BAP, picloram

How to cite:

Ramadhan T. R., Habibah N. A. (2023). Induksi kalus dari eksplan umbi bawang merah (*Allium ascalonicum* L var. Bima Brebes) dengan penambahan BAP dan pikloram. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 46(2), 53-60.

PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium ascalonicum*) merupakan tanaman hortikultura yang berperan penting bagi sektor pertanian karena mempunyai berbagai manfaat serta nilai ekonomi yang tinggi (Astoro & Munajat, 2021). Tanaman ini memiliki kandungan senyawa aktif metabolit sekunder terutama pada bagian umbi. Senyawa metabolit sekunder yang terkandung pada umbi bawang merah diantaranya flavonoid, tanin, saponin, minyak atsiri, kaemferol, flavonglikosida, fluroglusin, saponin, dan lainnya (Hasibuan *et al.*, 2020). Diantara senyawa tersebut, beberapa memiliki peran sebagai antioksidan, antibakteri dan antijamur (Octaviani *et al.*, 2019).

Proses produksi senyawa metabolit sekunder langsung dari umbi bawang merah secara efektif dapat dihasilkan melalui teknik kultur kalus. Kultur kalus bertujuan untuk merangsang pembelahan sel secara berlanjut dari bagian tanaman tertentu menggunakan zat pengatur tumbuh sampai terbentuk kalus (massa sel) (Wahyuni *et al.*, 2020). Proses induksi kalus dipengaruhi oleh jenis zat pengatur tumbuh (ZPT) serta pemilihan eksplan. Penelitian Wardani (2020) menyatakan bahwa konsentrasi 2,0 ppm *benzyl aminopurin* (BAP) + 1,0 ppm pikloram merupakan perlakuan terbaik dalam kultur kalus *Pogestemon cablin*. Pebriana *et al.* (2018) menyatakan bahwa 2,5 ppm BAP menunjukkan hasil terbaik pada persentase tumbuh eksplan dan tunas eksplan bawang merah. Umbi bawang merah dipilih sebagai eksplan karena memiliki jaringan meristematik dan aktif tumbuh sehingga mudah berdiferensiasi (Kurniati *et al.*, 2012).

Indikator keberhasilan pertumbuhan kalus dapat dilihat dari waktu muncul kalus, persentase tumbuh kalus dan morfologi kalus yang dihasilkan. Penambahan pikloram konsentrasi 0,5-2 ppm dapat menghasilkan kalus bertekstur kompak dengan warna kalus putih sampai kuning kehijauan pada eksplan *Stelechocarpus burahol*. Pikloram juga menunjukkan pertumbuhan kalus dengan waktu tumbuh kalus tercepat pada 7 hari setelah tanam (hst) (Wahyudiningsih *et al.*, 2022). Pengatur tumbuh BAP pada konsentrasi 2 ppm mampu menghasilkan kalus dengan waktu pertumbuhan kalus tercepat pada eksplan tanaman porang (Lailani & Kuswandi, 2022).

Senyawa metabolit pada umbi bawang merah dapat dihasilkan melalui proses kultur kalus. Penambahan jenis dan konsentrasi zat pengatur tumbuh dapat mempengaruhi keberhasilan pertumbuhan kalus pada kultur kalus. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penambahan kombinasi BAP dan pikloram pada beberapa konsentrasi dalam menginduksi kalus bawang merah.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan, FMIPA, Universitas Negeri Semarang. Eksplan tanaman yang digunakan adalah bagian pelepah kuncup umbi bawang merah varietas bima Brebes. Variabel bebas meliputi konsentrasi BAP dan konsentrasi pikloram yang masing masing terdiri dari 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm. Variabel terikat penelitian meliputi waktu muncul kalus, persentase tumbuh kalus, dan morfologi kalus (warna dan tekstur). Variabel kontrol berupa media Murashige and Skoog (MS), suhu ruangan $\pm 20-25$ °C, kelembapan 52-58%, di bawah pencahayaan (lampu LED) sebesar 2.000 lux yang dipertahankan selama 12 jam dalam sehari. Penelitian ini dirancang dengan rancangan acak lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi BAP dan faktor kedua adalah konsentrasi pikloram. Masing-masing terdiri dari 4 taraf sehingga diperoleh 16 kombinasi perlakuan. Unit penelitian adalah 16 perlakuan dengan lima kali ulangan sehingga terdiri dari 80 unit.

Pembuatan dan Sterilisasi Media

Komposisi media perlakuan terdiri atas media MS, gula, inositol, pematat (agar) dan ZPT BAP dan pikloram. Media diatur pada pH seimbang yaitu 5.8 - 6,0. Sterilisasi media dilakukan dengan autoklaf pada suhu 121 °C dan tekanan 1.5 atm selama 20 menit.

Sterilisasi Eksplan

Eksplan umbi bawang merah dicuci di bawah air mengalir selama 30 menit, dilanjutkan sterilisasi dengan zat antiseptik selama 50 menit, perendaman eksplan dengan fungisida 0,1 g/L dan bakterisida 0,1 g/L yang sudah dilarutkan masing masing 50 menit. Sterilisasi dalam *laminar air flow*, terdiri dari perendaman eksplan dalam natrium hipoklorit 70%, 30% dan 100 % masing-masing selama 10 menit. Setiap tahapan yang dilakukan, eksplan umbi dibilas dengan akuades. Setiap pembilasan dilakukan selama 2 menit untuk memastikan eksplan bersih dari bahan aktif sterilan.

Penanaman dan Inkubasi

Eksplan umbi diambil dengan memotong setiap permukaannya (seperti dikupas) untuk membuang bagian mati akibat proses sterilisasi. Pengupasan dilakukan sampai bagian terdalam. Bagian tersebut ditanam pada media perlakuan, setiap botol diisi 1 potongan eksplan. Hasil penanaman tersebut kemudian diinkubasi selama 45 hari pada ruang kultur dengan suhu $\pm 20-25^{\circ}\text{C}$, kelembapan 52-58%, di bawah pencahayaan (lampu LED) sebesar 2.000 lux yang dipertahankan selama 12 jam dalam sehari.

Pengamatan

Indikator pengamatan terdiri dari waktu muncul kalus, persentase tumbuh kalus, dan morfologi kalus. Data waktu muncul kalus dan persentase tumbuh kalus dianalisis dengan uji Kruskal-Wallis pada signifikansi 0,05 menggunakan perangkat SPSS ver. 26 dan jika terdapat perbedaan dilakukan uji lanjut Dunn. Data morfologi kalus yang terdiri dari tekstur dan warna kalus dianalisis secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu Muncul Kalus

Berdasarkan hasil uji statistik menunjukkan nilai signifikansi kombinasi BAP dan pikloram adalah $0,001 < 0,005$ sehingga terdapat pengaruh konsentrasi BAP dan pikloram terhadap waktu muncul kalus. Hasil uji lanjut menunjukkan kombinasi perlakuan 2 ppm BAP + 3 ppm pikloram tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0 BAP + 2 pikloram, 0 BAP + 3 pikloram, 1 BAP + 3 pikloram, 2 BAP + 2 pikloram, 2 BAP + 3 pikloram, 3 BAP + 2 pikloram, dan 3 BAP + 3 pikloram (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan yang berpengaruh signifikan terhadap waktu muncul kalus adalah penambahan pikloram. Konsentrasi pikloram yang menunjukkan hasil yang signifikan adalah 2 ppm dan 3 ppm pikloram, keduanya menunjukkan perbedaan yang nyata dengan konsentrasi 0 ppm dan 1 ppm.

Tabel 1. Perhitungan uji lanjut *Dunn* pada pengaruh konsentrasi BAP dan pikloram terhadap rerata waktu muncul kalus dan persentase berkalus.

ZPT (ppm)		Rerata waktu muncul kalus (HST)*	Rerata persentase berkalus (%)*
BAP	Pikloram		
0	0	$13,3 \pm 0,577^c$	$60 \pm 54,77^b$
	1	$10,0 \pm 0,000^b$	$100 \pm 0,00^a$
	2	$9,4 \pm 0,548^{ab}$	$100 \pm 0,00^a$
	3	$9,2 \pm 0,447^a$	$100 \pm 0,00^a$
1	0	$12 \pm 0,000^c$	$20 \pm 44,72^c$
	1	$10,2 \pm 0,837^b$	$100 \pm 0,00^a$
	2	$9,6 \pm 0,548^{ab}$	$100 \pm 0,00^a$
	3	$9,0 \pm 0,000^a$	$100 \pm 0,00^a$
2	0	$10,0 \pm 0,000^b$	$20 \pm 44,72^c$
	1	$9,8 \pm 0,447^b$	$100 \pm 0,00^a$
	2	$9,4 \pm 0,548^{ab}$	$100 \pm 0,00^a$
	3	$8,6 \pm 0,548^a$	$100 \pm 0,00^a$
3	0	- (NA)	- (NA)
	1	$10,2 \pm 0,837^b$	$100 \pm 0,00^a$
	2	$9,2 \pm 0,447^a$	$100 \pm 0,00^a$
	3	$9,2 \pm 0,447^a$	$100 \pm 0,00^a$

*Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata

Rerata waktu muncul kalus tercepat adalah 8,6 hst. Hal ini menunjukkan bahwa kultur eksplan bawang merah menunjukkan respon pertumbuhan setelah 7 hari atau lebih setelah perlakuan (Pebriana *et al.*, 2018). Hormon auksin dalam hal ini adalah pikloram memiliki peran dalam mekanisme perkembangan sel dengan mendorong elongasi sel, serta jika dikombinasikan dengan hormon sitokinin mampu mempercepat terjadinya pembelahan sel sehingga pertumbuhan sel tumbuhan dapat terjadi. Pada pembentukan kalus, konsentrasi auksin mempengaruhi organogenesis

sehingga penyerapan nutrisi oleh tanaman akan lebih efektif jika permukaan eksplan lebih banyak menyentuh medium (Budaya *et al.*, 2022).

Pada kondisi konsentrasi tinggi, auksin dapat memicu proliferasi kalus karena adanya pergerakan auksin (Smith, 2013). Munculnya kalus berasal dari bagian perlukaan, kemudian luka ini dapat memicu organogenesis. Wound induced dedifferentiation (WIND) adalah gen yang berperan pada mekanisme kemunculan kalus pada kultur. Faktor transkripsi gen tersebut akan mendorong pembentukan kalus pada perlukaan eksplan kemudian diekspresikan selama perkembangan kalus (Iwase *et al.*, 2021). Dilihat dari penambahan konsentrasi pikloram dan banyaknya kalus yang dihasilkan, semakin sedikit konsentrasi pikloram maka semakin sedikit pula jumlah kalus. Pikloram berpengaruh signifikan dalam perkembangan kalus tanaman gerbera bahkan lebih baik dari auksin lain, baik digunakan sendiri maupun dikombinasi dengan ZPT lain (Gantait & Mahanta, 2021).

Penambahan konsentrasi ZPT dan lingkungan yang mendukung dapat mendorong pembelahan sel sehingga memicu terbentuknya kalus (Pardede *et al.*, 2021). Auksin membantu proses pemanjangan sel karena berpengaruh pada fleksibilitas dinding sel serta dapat memicu suatu protein pada membran plasma untuk memompa ion H^+ menuju dinding sel. Ion H^+ tersebut mengaktifkan suatu enzim dan memutuskan ikatan silang hidrogen molekul selulosa yang menyusun dinding sel. Kemudian, akibat air yang masuk dengan cara osmosis, sel akan tumbuh memanjang dengan melakukan sintesis kembali mineral dinding sel (Prashariska *et al.*, 2021).

Persentase Tumbuh Kalus

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa hampir keseluruhan eksplan kombinasi perlakuan dapat menginduksi kalus. Uji statistik menunjukkan bahwa nilai signifikansi sebesar $0,0 < 0,05$, sehingga konsentrasi BAP dan pikloram berpengaruh pada persentase tumbuh kalus dan terdapat interaksi antara keduanya. Penambahan pikloram pada semua perlakuan mampu menginduksi kalus dan berhasil membentuk kalus sebesar 100%, dan tidak semua konsentrasi BAP tanpa kombinasi mampu menginduksi kalus sehingga terdapat persentase tumbuh kalus terendah sebesar 20% (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi BAP tidak mempengaruhi persentase berkalus. Konsentrasi pikloram 1 ppm, 2 ppm dan 3 ppm berbeda nyata dengan konsentrasi 0 ppm. Penambahan konsentrasi auksin yang lebih tinggi mampu mengurangi penggunaan BAP dan dapat menginduksi kalus pada tanaman (Busaifi *et al.*, 2021). Terbentuknya kalus dipengaruhi oleh konsentrasi hormon pada media perlakuan. Pada media tanpa ZPT atau konsentrasi yang ditambahkan tidak seimbang, maka tidak dapat terikat dengan hormon endogen tanaman sehingga tidak dapat mengalami pertumbuhan. Persentase berkalus yang tinggi menandakan adanya respon dari eksplan untuk menyerap hormon eksogen yang terdapat pada media sehingga mendorong pertumbuhan jaringan dalam membentuk kalus (Wahyuni *et al.*, 2020).

Penambahan konsentrasi sitokinin dan auksin pada kultur kalus dibutuhkan untuk proliferasi sel. Regulator cyclin-dependent kinase (CDK) berperan dalam pengendalian pembelahan sel yang diinduksi oleh asam absisat. Hormon auksin dan sitokinin berperan dalam mempercepat peralihan fase G1- S dan fase G2-M. Peralihan itulah yang diatur oleh cyclin-D (CYCD). Mekanisme CYCD dipengaruhi oleh faktor dari luar seperti hormon eksogen. Hormon yang terikat dengan CYCD akan mempercepat fase peralihan, sehingga dihasilkan siklus sel inti yang terlibat dalam pengintegrasian dan pengkoordinasian pembelahan sel pada tingkat molekuler (Dewitte & Murray, 2003).

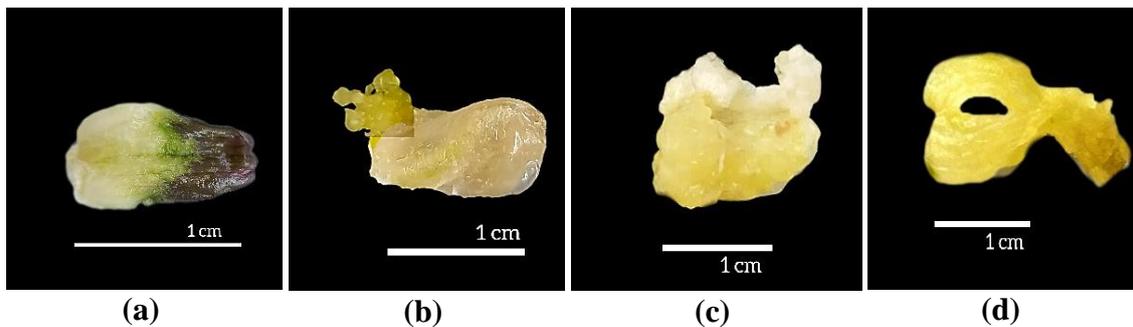
Perlakuan dengan konsentrasi BAP tanpa penambahan pikloram tidak menunjukkan respon yang baik dalam tumbuh kalus (beberapa tidak tumbuh kalus), namun terlihat menghasilkan pertumbuhan tunas yang cukup baik. Terlihat bahwa penambahan hormon BAP pada eksplan kurang efektif dalam pembentukan kalus tetapi mampu menghasilkan tunas yang baik pada eksplan. Jenis sitokinin BAP memberikan respon yang lebih efektif dan lebih baik dibandingkan jenis pengatur tumbuh lain (Asra *et al.*, 2020). Pada penelitian Pebriana *et al.* (2018), penambahan BAP minimal 2 ppm menunjukkan hasil terbaik dalam pertumbuhan tunas bawang merah.

Pemilihan eksplan yang masih aktif melakukan pertumbuhan meningkatkan kemungkinan menghasilkan kalus lebih tinggi. Umbi merupakan bagian dari tanaman yang memiliki tingkat diferensiasi sel yang tinggi (Nulfitriani *et al.*, 2017). Biosintesis hormon sitokinin terjadi pada nodul akar, ujung akar dan biji atau endosperm yang masih berkembang. Eksplan umbi yang digunakan pada kultur juga berpengaruh terhadap kerja sitokinin BAP karena sifatnya yang masih meristematik. Zat pengatur tumbuh sitokinin berfokus pada jaringan meristematik atau sedang aktif tumbuh sehingga sedikit bekerja pada jaringan yang sudah tua (Rantau *et al.*, 2021).

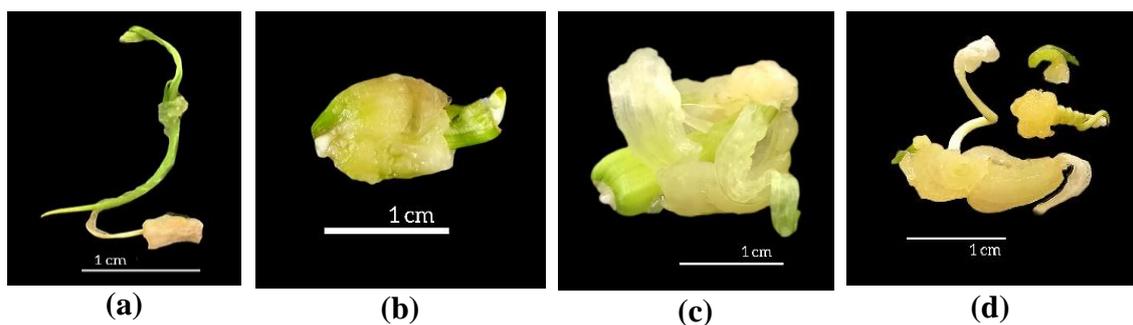
Morfologi kalus

Berdasarkan pengamatan, sebagian besar kalus eksplan bawang merah memiliki tekstur kompak. Kalus yang bertekstur kompak memiliki susunan sel yang padat dan rapat, sedangkan kalus bertekstur remah memiliki banyak ruang antar sel dan teksturnya lebih lunak dibanding kalus kompak (Sugiyarto & Kuswandi, 2014). Tekstur kalus kompak juga dihasilkan oleh penambahan pikloram konsentrasi 3 ppm pada eksplan *Pogostemon cablin* (Wardani, 2020). Hormon auksin pikloram mendorong elongasi sel dan jika dikombinasikan dengan hormon sitokinin dapat mempercepat pembelahan sel. Auksin meningkatkan tekanan osmotik pada sel sehingga permeabilitas sel terhadap air meningkat dan tekanan dinding sel berkurang. Auksin mengatur sifat dinding sel dengan memulai pelonggaran pada dinding sel. Pemberian auksin akan mendorong sintesis protein, mengembangkannya dinding sel dan meningkatkan respon kemampuan sel sebagai respons terhadap lingkungan (plastisitas sel). Dinding sel yang longgar membuat enzim yang memecah ikatan polisakarida dinding sel aktif sehingga sel tumbuh lebih cepat (Majda & Robert, 2018).

Warna kalus terlihat pada Gambar 1-4. Pengamatan warna kalus menunjukkan bahwa eksplan umbi bawang merah memiliki warna yang hampir sama yaitu putih kekuningan (Gambar 2). Kalus yang dihasilkan dari penambahan pikloram yang tinggi menghasilkan warna kuning yang lebih kuat. Wijawati *et al.* (2019) menyebutkan bahwa konsentrasi pikloram 3,5 ppm menghasilkan kalus rejasa berwarna kuning. Perlakuan konsentrasi BAP yang tinggi menghasilkan kalus dengan warna putih kehijauan. Penelitian kalus kedelai oleh Arsyam *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penambahan sitokinin menghasilkan warna kalus hijau cerah.



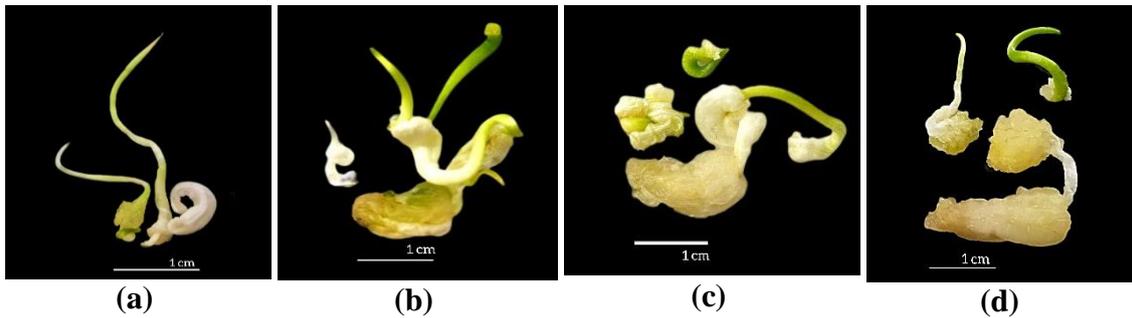
Gambar 1. Morfologi kalus umbi bawang merah var (a) BAP 0 ppm + pikloram 0 ppm ; (b) BAP 0 ppm + pikloram 1 ppm ; (c) BAP 0 ppm + pikloram 2 ppm; (d) BAP 0 ppm + pikloram 3 ppm



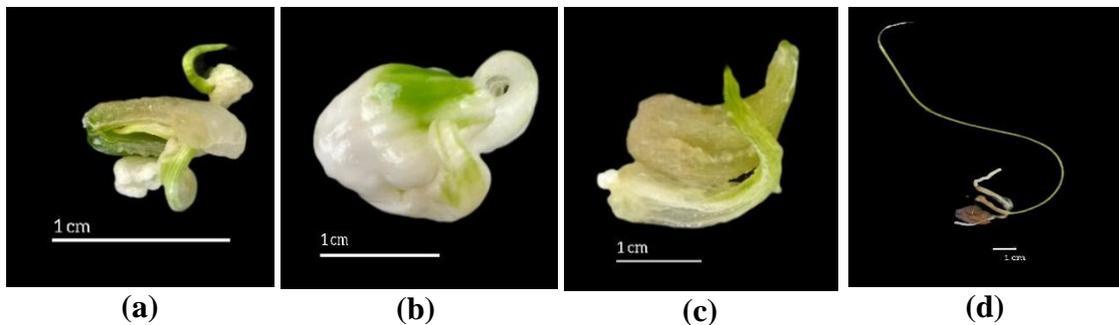
Gambar 2. Morfologi kalus umbi bawang merah (a) BAP 1 ppm + pikloram 0 ppm ; (b) BAP 1 ppm + pikloram 1 ppm ; (c) BAP 1 ppm + pikloram 2 ppm; (d) BAP 1 ppm + pikloram 3 ppm

Adanya sitokinin BAP dalam media menghasilkan kalus berwarna kehijauan (Gambar 4). Hal ini disebabkan karena proses perkembangan kloroplas dan ekspresi gen terjadi akibat interaksi sitokinin dan cahaya terang (Chen, 1989). Sitokinin menghasilkan warna lebih hijau karena sitokinin berperan dalam pembentukan klorofil. Warna kalus kehijauan juga dipengaruhi oleh pembentukan klorofil dari perlakuan cahaya dan degradasi klorofil oleh sitokinin. Warna kuning yang dihasilkan kalus dipengaruhi oleh penambahan auksin pikloram karena berkaitan dengan menurunnya kandungan klorofil pada kalus (Rahayu & Anggarwulan, 2003). Auksin yang tinggi akan mendorong

penurunan metabolisme karbohidrat (penggunaan pada tanaman), sintesis klorofil juga menurun sehingga kalus kehijauan tidak ditemukan pada keadaan auksin tinggi.



Gambar 3. Morfologi kalus eksplan umbi bawang merah (a) BAP 2 ppm + pikloram 0 ppm ; (b) BAP 2 ppm + pikloram 1 ppm ; (c) BAP 2 ppm + pikloram 2 ppm; (d) BAP 2 ppm + pikloram 3 ppm



Gambar 4. Morfologi kalus eksplan umbi bawang merah (a) BAP 3 ppm + pikloram 1 ppm ; (b) BAP 3 ppm + pikloram 2 ppm ; (c) BAP 3 ppm + pikloram 3 ppm ; (d) BAP 3 ppm + pikloram 0 ppm (tidak menghasilkan kalus)

Selain berfungsi sebagai visualisasi, perbedaan warna kalus menunjukkan adanya pertumbuhan pada sel sehingga dapat memperlihatkan keberhasilan proses regenerasi (Rismayanti & Nafi'ah, 2021). Warna kalus dihasilkan selama proses pertumbuhan. Berubahnya warna pada kalus inilah yang menandakan terjadinya fase pertumbuhan pada suatu sel (Armila *et al.*, 2014).

SIMPULAN

Konsentrasi BAP tidak berpengaruh signifikan terhadap waktu muncul kalus dan persentase berkalus sedangkan konsentrasi pikloram berpengaruh signifikan terhadap waktu muncul kalus dan persentase berkalus. Rerata waktu muncul kalus tercepat yaitu 8,6 hst dicapai pada kombinasi 2 ppm BAP + 3 ppm pikloram. Kombinasi perlakuan dengan penambahan BAP + pikloram 2-3 ppm merupakan kondisi optimal dalam induksi kalus bawang merah dengan persentase kalus 100%. Morfologi kalus yang dihasilkan pada sebagian besar perlakuan kombinasi bertekstur kompak dengan warna kalus putih kekuningan.

DAFTAR PUSTAKA

- Armila, N. K. P., Bustami, M. U., & Basri, Z. (2014). Sterilisasi dan induksi kalus bawang merah (*Allium Ascalonicum* L.) lokal Palu secara in vitro. *Agrotekbis*, 2(2), 129-137.
- Astoro, A., & Munajat. (2021). Kajian Teknis pengembangan budidaya bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kecamatan Belitang III Kabupaten OKU Timur. *Jurnal Bakti Agribisnis*, 7(01), 44-51. <https://doi.org/10.53488/jba.v7i01.100>
- Asra, R., Samarlina, R. A., Jatmoko. & Silalahi, M. (2020). *Hormon tumbuhan*. Jakarta: UKI Press.
- Arsyam, A., Abdullah, A., & Said, N. S. (2020). Daya regenerasi kalus eksplan embrio kedelai (*Glycine Max* L.) pada berbagai konsentrasi hormon tumbuh 2,4 D dan BAP secara in vitro. *Agrotekmas*, 1(3), 8-15.

- Budaya, M. S., Mursyanti, E., & Yuda, P. (2022). Transformasi genetik pada kalus embriogenik tanaman suku rubiaceae. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 7(4), 94-107. <https://doi.org/10.24002/biota.v7i2.5550>
- Busaifi, R., Hirjani, H., & Lestari, R. (2021). Induksi kalus daun stevia (*Stevia rebaudiana*) pada berbagai kombinasi 2,4 D dan BAP secara in vitro. *Evolusi Jurnal of Mathematics and Sciences*, 5(1), 50-57
- Chen, C. M. (1989). Cytokinin-modulated macromolecular synthesis and gene expression. In S. Kung & C.J. Arntze (Eds), *Plant Biotechnology* (245-256). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-409-90068-2.50018-6>.
- Dewitte, W., & Murray, J. A. H. (2003). The plant cell cycle. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 235-264. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134836>
- Gantait, S., & Mahanta, M. (2021). Pikloram-Induced enhanced callus-mediated regeneration, acclimatization, and genetic clonality assessment of gerbera. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 1-8. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00269-1>
- Hasibuan, A. S., Edrianto, V., & Purba, N. (2020). Skrining fitokimia etanol umbi bawang merah (*Allium cepa* L.). *Jurnal Farmasimed*, 2(2), 45-49. <https://doi.org/10.35451/jfm.v2i2.357>
- Iwase, A., Kondo, Y., Laohavisit, A., Takebayashi, A., I. M., Matsuoka, K., & Sugimoto, K. (2021). WIND transcription factors orchestrate wound-induced callus formation, vascular reconnection and defense response in arabidopsis. *The New Phytologist*, 232(2), 734. <https://doi.org/10.1111%2Fnp.17594>
- Kurniati, R., Purwito, A., Wattimena, G. A., & Marwoto, B. (2012). Induksi kalus tiga kultivar lili dari petal bunga pada beberapa jenis media. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 3(1), 17-23. <https://doi.org/10.29244/jhi.3.1.17-23>
- Lailani, Z. I., & Kuswandi, C. P. (2022). Pengaruh penambahan BAP terhadap induksi kalus tanaman porang secara in vitro. *The Journal of Biological Studies*, 8(1), 74-84. <https://doi.org/10.21831/kingdom.v9i1.18481>
- Majda, M., & Robert, S. (2018). The role of auxin in cell wall expansion. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(4). <https://doi.org/10.3390/ijms19040951>
- Nulfitriani, N., Basri, Z., & Suwastika, I. N. (2017). Induksi kalus dan inisiasi tunas bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) lokal Palu. *Mitra Sains*, 5(2), 11-18. <https://doi.org/10.22487/mitrasains.v5i2.63>.
- Octaviani, M., Fadhli, H., Yuneistya, E., Tinggi, S., Riau, I. F., & Kunci, K. (2019). Uji aktivitas antimikroba ekstrak etanol dari kulit bawang merah (*Allium cepa* L.) dengan metode difusi cakram *Pharmaceutical Sciences and Research*, 6(1), 62-68. <https://doi.org/10.7454/psr.v6i1.4333>
- Pardede, Y., Mursyanti, E., & Sidharta, B. R. (2021). Pengaruh hormon terhadap induksi embrio somatik kacapiring (*Gardenia jasminoides*) dan Potensi aplikasinya dalam pembuatan benih sintetik. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 6(4), 162-177. <https://doi.org/10.24002/biota.v6i3.4093>
- Pebriana, F., Wiyatiningsih, S., & Nugrahani, P. (2018). Pengaruh konsentrasi benzyl aminopurine (BAP) pada media MS terhadap induksi kultur jaringan cakram bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). *Plumula: Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.33005/plumula.v6i1.1>.
- Prashariska, K., Pitoyo, A., & Solichatun, S. (2021). Pengaruh indole-3-acetic acid (IAA) dan benzyl amino purine (BAP) terhadap induksi dan deteksi alkaloid kalus kamillen (*Matricaria chamomilla* L.). *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*, 23(2), 104-114. <https://doi.org/10.33061/innofarm.v23i2.5916>
- Rantau, D. E., Wulandari, D. R., & Maharijaya, A. (2021). Growth response of shallot (*Allium ascalonicum* L.) seedlings cultured on MS solid and liquid medium supplemented with BAP, thiamine and adenine sulphate. *Earth and Environmental Science*, 762(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/762/1/012035>
- Rahayu, B., & Anggarwulan, E. (2003). Pengaruh asam 2, 4-diklorofenoksiasetat (2, 4-D) terhadap pembentukan dan pertumbuhan kalus serta kandungan flavonoid kultur kalus *Acalypha indica* L. *Biofarmasi*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.13057/biofar/f010101>
- Rismayanti, A. Y., & Nafi'ah, H. H. (2021). Modifikasi media pada induksi kalus kopi arabika (*Coffea Arabica* L.) berbuah kuning. *Agro Wiralodra*, 4(2), 42-49. <https://doi.org/10.31943/agrowiralodra.v4i2.60>

- Smith, R. H. (2013). In vitro propagation for commercial production of ornamentals. In S. Park (Eds) *Plant Tissue Culture* (127-145). Digital Science & Research Solutions, Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821120-5.00008-0>
- Sugiyarto, L., & Kuswandi, P. (2014). Pengaruh 2, 4-diklorofenoksiasetat (2, 4-D) dan benzyl aminopurin (BAP) terhadap pertumbuhan kalus daun binahong (*Anredera Cordifolia* L) serta analisis kandungan flavonoid total. *Jurnal Penelitian Saintek*, 19(1), 23-30. <https://doi.org/10.21831/jps.v19i1.2322>
- Wahyuni, A., Satria, B., & Zainal, A. (2020). Induksi kalus gaharu dengan NAA dan BAP secara in vitro. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 22(1), 39-44. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v22i1.36007>
- Wahyudiningsih, T. S., Farid, N., Novianto, E. D., Noviantika, T., Muin, A., Dewi, D. C., & Wulandari, R. S. (2022). Induksi kalus dari eksplan biji immature kepel (*Stelechocarpus burahol* (Bl) Hook. f.& Th.) secara in vitro. *Jurnal Penulisan Tananaman Hutan*, 16(1), 1-9. <https://doi.org/10.20886/jpth.2022.16.1.1-9>.
- Wardani, D., K. (2020). Induksi kalus tanaman nilam (*Pogostemon Cablin* Benth) dengan pemberian konsentrasi auksin jenis 2, 4-D (*Dichlorophenoxyacetic Acid*) dan pikloram. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 1(05), 396-401. <https://doi.org/10.36418/jiss.v1i5.73>
- Wijawati, N., Habibah, N. A., Musafa, F., Mukhtar, K., & Anggraito, Y. U. (2019). Pertumbuhan kalus rejasa (*Elaeocarpus grandiflorus*) dari eksplan tangkai daun pada kondisi gelap. *Life Science*, 8(1), 17-24. <https://doi.org/10.15294/lifesci.v8i1>.