



LITERATURE REVIEW : MEDIA KULTUR JARINGAN TANAMAN UNTUK PRODUKSI KUERSETIN

Grace Ivana Clarissa¹, Himalaya Wana Kelana², Syarif Hamdani³

^{1,2,3}Program Studi Sarjana Farmasi, Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia, Bandung
syarifhamdani@stfi.ac.id

Abstrak

Kuersetin merupakan senyawa flavonoid dengan aktivitas antioksidan, antiinflamasi, dan antikanker yang tinggi, namun produksinya dari tanaman konvensional terbatas oleh faktor musim, iklim, dan rendahnya akumulasi alami. Kultur jaringan tanaman menawarkan alternatif produksi kuersetin yang berkelanjutan dengan kontrol lingkungan optimal dan biosintesis metabolit sekunder yang dapat diinduksi. Penetapan jenis dan komposisi media kultur menjadi krusial karena media menentukan ketersediaan nutrisi, keseimbangan hormon, dan kondisi fisiologis yang mempengaruhi jalur biosintesis. Artikel ini merupakan *literature review* dengan kerangka PICOC menggunakan data tahun 2015–2025 yang dianalisis secara sistematis mengikuti alur PRISMA. Kajian ini menganalisis 32 studi untuk mengevaluasi pengaruh media kultur terhadap produktivitas kuersetin pada berbagai sistem kultur *in vitro*. Media Murashige-Skoog (MS) mendominasi 90,6% penelitian, dengan modifikasi $\frac{1}{2}$ MS pada kultur *hairy roots* menghasilkan produktivitas tertinggi (48,24 mg/g DW pada *Raphanus sativus*). Media B5 menunjukkan keunggulan untuk spesies leguminosa dengan peningkatan kuersetin 5,03 kali lipat. Manipulasi konsentrasi sukrosa (30–45 g/L) dan suplementasi biostimulator menghasilkan akumulasi hingga 64,9 mg/g. Kultur *hairy roots* dan suspensi sel menunjukkan responsivitas tertinggi dengan rentang produktivitas 0,34–209,93 mg/g DW. Optimalisasi media untuk produksi kuersetin memerlukan pendekatan spesifik berdasar pada jenis tanaman, metoda kultur, dan jenis ekspansi yang dipakai.

Kata Kunci: Kuersetin, Kultur Jaringan, Media Tumbuh, Eksplan, Literature Review

Abstract

Quercetin is a flavonoid compound with high antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities, but its production from conventional plants is limited by seasonal factors, climate, and low natural accumulation. Plant tissue culture offers an alternative for sustainable quercetin production with optimal environmental control and inducible biosynthesis of secondary metabolites. Determining the type and composition of culture media is crucial because the media determines nutrient availability, hormonal balance, and physiological conditions that affect the biosynthetic pathway. This article is a literature review with a PICOC framework using data from 2015–2025 that was systematically analyzed following the PRISMA flowchart. This review analyzed 32 studies to evaluate the effect of culture media on quercetin productivity in various *in vitro* culture systems. Murashige-Skoog (MS) media dominated 90.6% of the studies, with a $\frac{1}{2}$ MS modification in hairy root cultures resulting in the highest productivity (48.24 mg/g DW in *Raphanus sativus*). B5 media showed superiority for legume species with a 5.03-fold increase in quercetin. Manipulation of sucrose concentration (30–45 g/L) and biostimulator supplementation resulted in accumulations of up to 64.9 mg/g. Hairy roots and cell suspension cultures showed the highest responsiveness with a productivity range of 0.34–209.93 mg/g DW. Optimization of media for quercetin production requires a specific approach based on the plant species, culture method, and type of expansion used.

Keywords: Quercetin, Tissue Culture, Growth Medium, Explants, Literature Review

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2025

* Corresponding author :

Address : Jl. Soekarno-Hatta No.354, Batununggal, Kec. Bandung Kidul, Kota Bandung, Jawa Barat 40266

Email : syarifhamdani@stfi.ac.id

PENDAHULUAN

Metabolit sekunder merupakan senyawa bioaktif yang diproduksi oleh tanaman dan berperan penting sebagai bahan baku obat, suplemen kesehatan, kosmetik, hingga industri pangan fungsional. Permintaan global terhadap metabolit sekunder meningkat seiring berkembangnya industri farmasi berbasis bahan alam, namun ketersediaan dari sumber alami seringkali terbatas karena faktor musim, iklim, dan kerusakan ekosistem (Alenizi *et al.*, 2020). Salah satu solusi untuk meningkatkan ketersediaan metabolit sekunder adalah melalui teknik kultur jaringan tanaman *in vitro*. Sistem ini memungkinkan produksi metabolit secara terkontrol, berkelanjutan, dan tidak bergantung pada lingkungan eksternal. Berbagai sistem kultur seperti kalus, suspensi sel, dan akar rambut telah diaplikasikan untuk memproduksi metabolit sekunder bernilai tinggi (Gabr *et al.*, 2022).

Salah satu flavonoid penting yang menjadi perhatian adalah kuersetin, anggota golongan flavonol yang banyak ditemukan pada berbagai spesies tanaman, baik sebagai aglikon maupun dalam bentuk glikosida seperti rutin. Kuersetin memiliki aktivitas biologis yang luas, antara lain sebagai antioksidan kuat dengan kemampuan menetralkan radikal bebas dan meningkatkan enzim antioksidan endogen (Taji *et al.*, 2024). Secara farmakologis, kuersetin juga menunjukkan efek antiinflamasi melalui penghambatan mediator proinflamasi seperti TNF- α dan IL-6, serta aktivitas antikanker dengan menginduksi apoptosis dan menghambat proliferasi sel tumor. Selain itu, kuersetin berpotensi sebagai agen kardioprotektif, neuroprotektif, serta adjuvan pada terapi penyakit degeneratif (Li *et al.*, 2016). Produksi kuersetin dari budidaya lapang rentan terhadap variasi lingkungan, musim, dan heterogenitas bahan baku, sedangkan kultur jaringan tanaman *in vitro* menyediakan sistem aseptik dan terkontrol untuk mengoptimalkan komposisi media serta elisitasi, sehingga biosintesis kuersetin dapat ditingkatkan dan distandarkan.

Komposisi media kultur merupakan faktor kunci yang memengaruhi pertumbuhan jaringan maupun akumulasi metabolit sekunder. Media dasar seperti Murashige and Skoog (MS), Gamborg B5, atau *Woody Plant Medium* (WPM) biasanya dipadukan dengan zat pengatur tumbuh (ZPT) seperti auksin (2,4-D, NAA) dan sitokinin (BAP, kinetin) untuk menginduksi kalus atau meningkatkan produksi metabolit (Ahmadpoor *et al.*, 2022). Selain itu, penggunaan elisitor alami maupun sintetik, seperti metil jasmonat (MeJA), *yeast extract*, atau asam salisilat, telah terbukti mampu meningkatkan akumulasi flavonoid termasuk kuersetin pada sistem kultur *in vitro* (Setiawati *et al.*, 2023).

Berbagai penelitian terkini memperlihatkan bahwa kombinasi media dasar, ZPT, dan elisitor dapat menghasilkan perbedaan signifikan pada kadar metabolit. Misalnya, (Ahmadpoor *et al.*, 2022) melaporkan bahwa kombinasi MS + NAA 3 mg/L + kinetin 1 mg/L memberikan kadar kuersetin tertinggi pada *Melia azedarach L.*, sementara Gabr *et al.*, (2022) menemukan bahwa media MS + NAA + kinetin meningkatkan kandungan kuersetin pada kultur *Fapogyum sp.* Hasil serupa juga ditemukan oleh Alenizi *et al.*, (2020) pada *Paronychia argentea L.* serta Setiawati *et al.*, (2023) pada *Chrysanthemum morifolium*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini disusun sebagai tinjauan sistematis berbasis kerangka PICOC, yang akan memetakan dan mengevaluasi variasi media kultur jaringan, pada berbagai spesies tanaman dan jenis eksplan. Analisis akan berfokus pada media kultur jaringan terhadap eksplan kultur jaringan dan produksi kuersetin. Melalui review literatur ini, diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi peneliti, praktisi pertanian, dan konservasionis dalam menentukan protokol sterilisasi yang optimal, sehingga dapat meningkatkan konsistensi dan efisiensi produksi kuersetin melalui kultur jaringan.

METODE

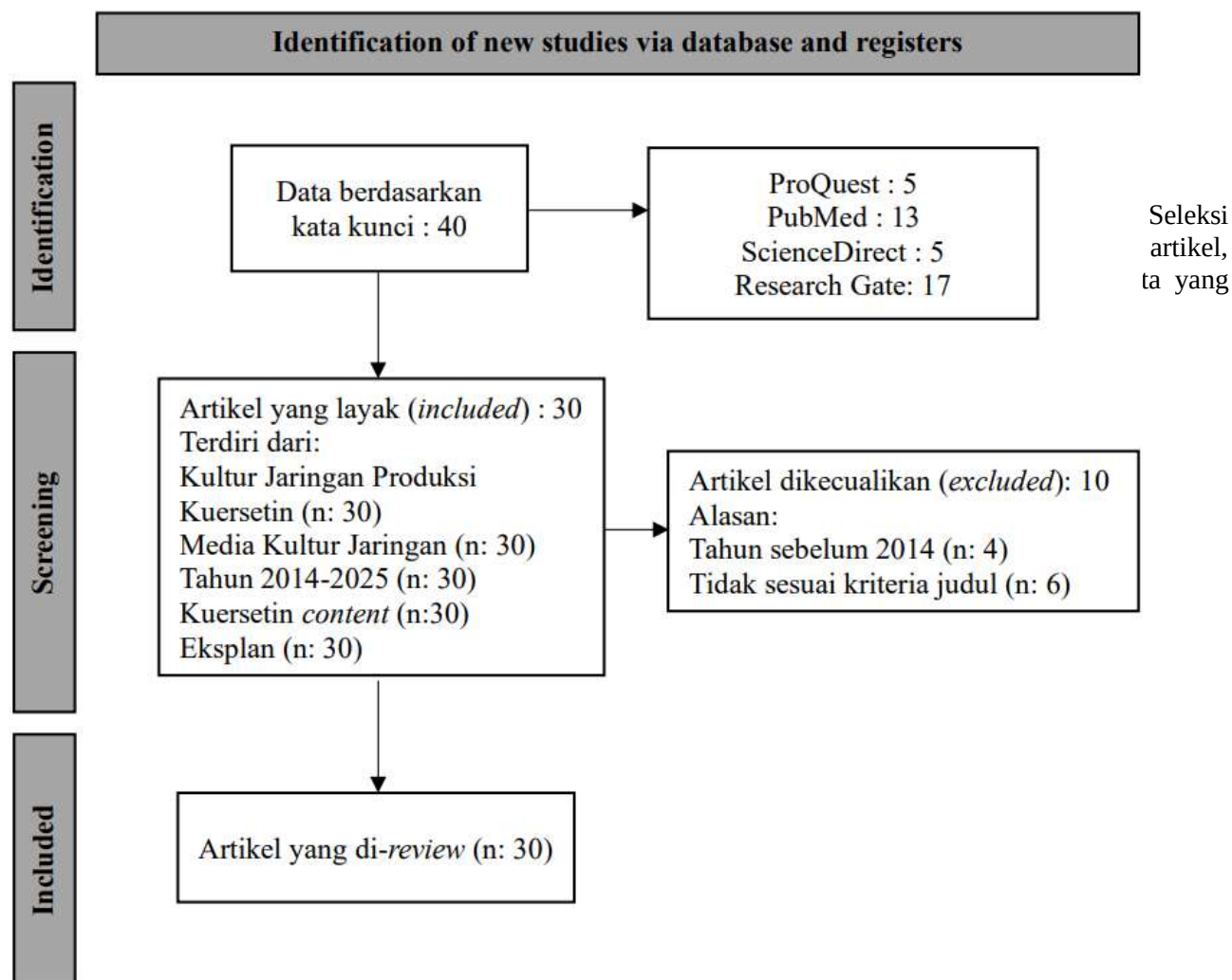
Artikel ini disusun sebagai literature review menggunakan kerangka PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*). Berdasarkan PICOC, identifikasi masalah yang dapat kita telusuri:

P1: Media apa yang paling umum digunakan untuk produksi kuersetin pada berbagai metode kultur jaringan?

P2: Komposisi media apa yang paling lazim digunakan menurut metode dan jenis eksplan?

Penelusuran literatur dilakukan melalui database ProQuest, PubMed, ScienceDirect, Research Gate pada periode 2014–2025 dengan kata kunci “media kultur”, “kultur jaringan tanaman”, dan “kuersetin”. Kriteria inklusi meliputi artikel original berbahasa Inggris yang membahas media kultur jaringan terkait produksi kuersetin.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1 Diagram PRISMA

Tabel 1. Data PICOC Hasil Penelusuran Pustaka

Spesies Tanaman (P)	Media Dasar (I)	Penambahan ZPT & Elisitor (C)	Kadar Kuersetin (O)	Metode Kultur & Jenis Ekspan (C)	Referensi
<i>Melia azedarach</i> L. (Dikotil)	MS	MS + NAA 3 mg/L + 1 mg/L Kinetin	Kuersetin : 2.063 µg/g FW	Kalus (Daun)	(Ahmadpoor <i>et al.</i> , 2022)
<i>Raphanus sativus</i> L. (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 0.5 mg/L	Kuersetin : 6.46 mg/g DW	Kalus (Daun)	(Balasubramanian & Girija, 2024)
<i>Ficus benghalensis</i> L. (Dikotil)	MS	MS + BAP 2 mg/L + NAA 0.1 mg/L	Kuersetin : 0,31 mg/g DW	Kalus (Daun)	(Bandekar & Lele, 2014)
<i>Capparis</i> sp. (Dikotil)	MS	MS + BAP 2 mg/L + NAA 1 mg/L + Spermidine 0.5 mg/L	Kuersetin : 8.3 µg/g FW	Kalus (Daun)	(Coskun & Yaman, 2022)
<i>Allium cepa</i> L. var. aggregatum (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 1 mg/L	Kuersetin : 0.81 ±0.03 mg/g DW pada MeJA 100 µM (↑13.94× dibanding induk)	Kalus (Daun)	(Iqbal <i>et al.</i> , 2019)

<i>Dysosma pleiantha</i> (Dikotil)	B5 (Gamborg)	B5 + 2,4-D 2 mg/L + Kinetin 0.2 mg/L	Meningkatkan akumulasi kuersetin hingga 5.03 kali kontrol	Kalus (Daun)	(Karuppaiya & Tsay, 2020)
<i>Labisia pumila</i> var. <i>alata</i> ; (Dikotil)	MS	MS + ZPT 2,4-D 0,5 mg/L + Zeatin 0,25 mg/L	TFC Ekuivalen Kuersetin : 2.38 mg EQ/g DW	Kalus (Daun)	(Najhah <i>et al.</i> , 2021)
<i>Abutilon indicum</i> L.; (Dikotil)	MS +	MS + 2,4-D 2 mg/L + IAA 0.4 mg/L + fenilalanin 75 mg/100 mL	Kuersetin : 0.47 mg/g DW	Kalus (Daun muda)	(Sajjalaguddam & Paladugu, 2015)
<i>Chrysanthemum morifolium</i> var. Yulimar (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 4 ppm + sukrosa 45 g/L	Kuersetin : 0,437 mg/g DW	Kalus (Daun umur 45 HST)	(Setiawati <i>et al.</i> , 2023)
<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat.; (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 4 ppm + PEG 10 ppm	Kuersetin : 2,59 µg/g DW	Kalus (Daun umur 45 HST)	(Setiawati, Ayalla, et al., 2020)
<i>Actinidia deliciosa</i> (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 1 mg/L + 6-BAP 0,5 mg/L	Kuersetin : 13,26 mg/100 g FW ≈ 419,76 mg/100 g DW;	Kalus (Daun)	(Negri <i>et al.</i> , 2021)
<i>Lycium barbarum</i> L. (Dikotil)	MS	MS + TDZ 0,55 mmg/L + NAA 0,5 mg/L	Kuersetin : 17,59 µg/g DW	Kalus (Hipokotil)	(Karakas, 2020)
<i>Alpinia purpurata</i> (Monokotil)	MS	MS + 2,4-D 2.0 mg/L + BAP 0.5 mg/L + Kinetin 0.5 mg/L + MeJa 100 µM	Kuersetin : 994.22 ± 2.15 µg/g DW (MJ)	Organ (Pucuk)	(Mounika & Giri, 2024)
<i>Chrysanthemum morifolium</i> (Dikotil)	MS	MS + BAP 1 ppm.	Kuersitritin : 0.437 mg/g DW	Organ (Pucuk)	(Setiawati <i>et al.</i> , 2020)
<i>Paronychia argentea</i> L. (Dikotil)	MS	MS + TDZ 0.5 mg/L + NAA 0.1 mg/L	Kuersetin : 1.867 ppm	Organ (Nodus)	(Alenizi <i>et al.</i> , 2020)
<i>Staurogyne repens</i> (Dikotil)	MS	MS + Ekstrak Daun Moringa Peregrina 3 mg/L	Kuersetin : 64,9 mg/g	Organ (Nodus)	(Khajeh <i>et al.</i> , 2025)
<i>Hypericum perforatum</i> L. (Dikotil)	MS	MS + 1.2 mg/L BA + 0.02 mg/L NAA + 30 g/L sukrosa.	Kuersetin : 3.28 µg/mL	Organ (Nodus)	(Rebaz <i>et al.</i> , 2019)
<i>Fagopyrum esculentum</i> (Dikotil)	MS	MS + Kinetin 0.25 + Arang aktif 0.5 g/L + Blue Light	Kuersetin : 26 mg/g	Organ (Tunas)	(Gabr <i>et al.</i> , 2022)
<i>Raphanus sativus</i> L. (Dikotil)	MS	1/2 MS + sukrosa 116.8 mM	Kuersetin : 48.24 mg/g DW	Hairy roots (Daun)	(Balasubramanian <i>et al.</i> , 2024)
<i>Cichorium intybus</i> L. var. Palla Rossa; (Dikotil)	MS	1/2 MS + Sukrosa 30 g/L	Kuersetin : 4.307 ± 0.016 mg/g	Hairy roots (Kotiledon)	(Matvieieva <i>et al.</i> , 2023)
<i>Fagopyrum tataricum</i> Gaertn. (Dikotil)	MS	1/2 MS + sukrosa 30 g/L + UV-B 3 menit/hari x 3 hari	Kuersetin : 0.02 mg/g DW (pra UV-B) Kuersetin : 0.04 mg/g DW (pasca UV-B)	Hairy roots (Kotiledon)	(X. Huang et al., 2016)
<i>Prosopis farcta</i> (Dikotil)	MS	MS tanpa ZPT + Agrobacterium rhizogenes	Kuersetin : 7.3 µg/g DW	Hairy roots (kotiledon)	(Zafari <i>et al.</i> , 2018)

<i>Hedysarum neglectum</i> Ledeb. (Dikotil)	B5 (Gamborg)	B5 + BAP 1,5 mg/L	Kuersetin : 4,32 ± 0,05 mg/g	<i>Hairy roots</i> (Bibit)	(Vesnina <i>et al.</i> , 2023)
<i>Fagopyrum tataricum</i> (Dikotil)	MS	1/2 MS + Strain R1000 (Tanpa ZPT)	Kuersetin : 0.34–0.39 µg/mg DW	<i>Hairy roots</i> (biji)	(Thwe <i>et al.</i> , 2016)
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (Dikotil)	MS	MS + 2,4-D 2 mg/L + BPA 1 mg/L + Kinetin 1.5 mg/L + Sukrosa 45 g/L	Kuersetin : 16.5 mg/g DW	Suspensi sel (Daun)	(Madanakumar <i>et al.</i> , 2017)
<i>Thevetia peruviana</i> (Dikotil)	SH	SH + 2,4-D 2 mg/L + Kinetin 0.5 mg/L + MeJa 0.3 µM	TFC Ekuivalen Kuersetin : 4,14 mg EQ/g DW	Suspensi sel (Buah)	(Durán <i>et al.</i> , 2021)
<i>Marchantia linearis</i> Lehm & Lindenb. (Hepaticopsida)	MS	MS + 2,4-D 0,5 mg/L + MeJa 200 µM	Kuersetin : 0.1825 mg/g DW	Suspensi Sel (Spora)	(Krishnan <i>et al.</i> , 2014)
<i>Ageratina pichichensis</i> (Dikotil)	MS	MS + NAA 4.52 µM + Kinetin 0.46 µM	TFC Ekuivalen Kuersetin : 209.93 mg EQ/g DW	Suspensi sel (Nodus)	(Motolinia-Alcántara <i>et al.</i> , 2023)
<i>Astragalus vesicarius</i> ssp. (Dikotil)	MS	MS + Casein 1 g/L + Kinetin 2 mg/L + 2,4-D 0.1 mg/L + IAA 0.2 mg/L + Kuersetin 3 mg/mL	Isoquercitrin : 150.83 nmol/g DW	Suspensi sel (Pucuk)	(Popova <i>et al.</i> , 2021)
<i>Cyperus pangorei</i> Rottb. (Monokotil) × <i>Amaranthus dubius</i> Mart. ex Thell. (Dikotil)	MS	MS + BAP 1.0 ppm + 2,4-D 1.5 + elisitasi MeJa 1.5 ppm	Kuersetin : 24.06 ± 0.30 g/mL	Protoplas (Daun)	(Seran <i>et al.</i> , 2025)

Pembahasan

Kajian pustaka secara sistematis ini menganalisis hubungan antara jenis media kultur dan komposisi nutriennya terhadap akumulasi kuersetin pada berbagai sistem kultur jaringan tanaman. Data komprehensif dari 32 studi menunjukkan bahwa pemilihan media dasar dan modifikasi komposisinya berinteraksi secara signifikan dengan tipe kultur, konsentrasi ZPT, dan strategi elisitasi dalam menentukan produktivitas biosintesis kuersetin.

Media tumbuh kultur jaringan berisi campuran berbagai nutrisi dan hormon tanaman. Faktor keberhasilan suatu pertumbuhan, perkembangan, bibit yang dihasilkan serta kandungan metabolit sekunder pada suatu eksplan pada teknik kultur jaringan adalah media (Istiqomah *et al.*, 2020). Media tumbuh merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan pertumbuhan dan diferensiasi jaringan tanaman secara *in vitro*. Media tumbuh berfungsi sebagai sumber nutrisi yang menyediakan unsur hara makro, unsur hara mikro, vitamin, sumber karbon, senyawa organik, serta bahan pemat (Chimdessa, 2020).

Media MS: Dominasi dan Versatilitas

Media Murashige-Skoog (MS) menunjukkan dominasi absolut dengan aplikasi pada 90,6% kajian (29 dari 32 studi), mencerminkan versatilitasnya sebagai platform dasar untuk kultur jaringan. Analisis lebih mendalam mengungkapkan bahwa efektivitas media MS tidak bersifat universal, melainkan bergantung pada interaksinya dengan parameter kultur lainnya. Pada kultur kalus *Raphanus sativus*, media MS lengkap dengan 2,4-D 0,5 mg/L menghasilkan kuersetin 6,46 mg/g DW, namun ketika dimodifikasi menjadi ½ MS dengan sukrosa 116,8 mM pada sistem *hairy roots*, produktivitas meningkat drastis hingga 48,24 mg/g DW. Fenomena ini mengindikasikan bahwa reduksi konsentrasi garam mineral pada media MS dapat mengoptimalkan akumulasi metabolit sekunder dengan mengurangi stres osmotik dan mengalihkan alokasi karbon dari pertumbuhan vegetatif ke biosintesis flavonoid (Ahamad, 2024).

Modifikasi komposisi sukrosa pada media MS juga menunjukkan pengaruh signifikan. Pada

Chrysanthemum morifolium, peningkatan konsentrasi sukrosa dari standar 30 g/L menjadi 45 g/L dikombinasikan dengan 2,4-D 4 ppm menghasilkan kuersetin 0,437 mg/g DW pada kultur kalus. Sukrosa tidak hanya berfungsi sebagai sumber karbon, tetapi juga sebagai molekul sinyal yang mengatur ekspresi gen terkait biosintesis metabolit sekunder melalui mekanisme penginderaan gula (Huang *et al.*, 2016).

Media B5 dan SH: Alternatif untuk Spesies Spesifik

Media B5 (Gamborg) digunakan pada 6,25% kajian, khususnya untuk spesies dengan karakteristik nutrisi unik seperti *Dysosma pleiantha* dan *Hedysarum neglectum*. Komposisi media B5 yang mengandung nitrogen dalam bentuk nitrat lebih rendah dibandingkan MS (25 mM vs 60 mM) diduga mempengaruhi jalur metabolisme nitrogen-karbon (Hassanpour, 2024). Pada *Dysosma pleiantha*, kombinasi media B5 dengan 2,4-D 2 mg/L dan kinetin 0,2 mg/L menghasilkan peningkatan akumulasi kuersetin hingga 5,03 kali lipat dibandingkan kontrol. Rasio nitrogen rendah dapat menginduksi kondisi stres nutrisi terkontrol yang memicu mekanisme pertahanan tanaman melalui aktivasi jalur biosintesis fenilpropanoid (Ninkuu *et al.*, 2025).

Pada *Hedysarum neglectum*, media B5 dengan BAP 1,5 mg/L pada sistem *hairy roots* menghasilkan kuersetin 4,32 mg/g DW. Perbandingan ini menunjukkan bahwa media B5 lebih sesuai untuk kultur *hairy roots* spesies leguminosa yang memiliki kebutuhan nitrogen spesifik. Media SH yang digunakan pada *Thevetia peruviana* (3,125% kajian) dengan komposisi vitamin berbeda menghasilkan TFC ekuivalen kuersetin 4,14 mg EQ/g DW pada kultur suspensi sel, mengindikasikan bahwa pemilihan media harus mempertimbangkan karakteristik fisiologis dan biokimia spesies target (Hameg *et al.*, 2020).

Hubungan Media dengan Sistem Kultur

Analisis stratifikasi berdasarkan tipe kultur mengungkapkan pola interaksi kompleks antara media dan sistem kultur. Pada kultur kalus (18 studi), media MS lengkap dengan 2,4-D dominan digunakan, menghasilkan rentang kuersetin 0,31-16,5 mg/g DW. Variabilitas tinggi ini mengindikasikan bahwa faktor genetik spesies dan strategi elisitasi lebih determinan dibandingkan komposisi media pada kultur kalus.

Sebaliknya, pada kultur *hairy roots* (7 studi), modifikasi media menunjukkan pengaruh

lebih konsisten. Penggunaan ½ MS pada 4 dari 7 studi *hairy roots* dengan produktivitas tinggi (0,34-48,24 mg/g DW) mendukung hipotesis bahwa reduksi kekuatan ionik media mengoptimalkan biosintesis metabolit sekunder pada kultur dengan diferensiasi morfologis. Kultur *hairy roots* yang ditransformasi dengan *Agrobacterium rhizogenes* memiliki kapasitas sintesis metabolit konstitutif, sehingga lebih responsif terhadap modifikasi nutrisi media dibandingkan kultur kalus yang bergantung pada stimulasi ZPT eksternal (Sathasivam *et al.*, 2022).

Pada kultur suspensi sel (5 studi), media MS lengkap dengan suplementasi kompleks (kasein hidrolisat, ekstrak ragi, atau elisitor) menunjukkan produktivitas tertinggi. *Caesalpinia pulcherrima* dengan media MS + 2,4-D 2 mg/L + BPA 1 mg/L + kinetin 1,5 mg/L + sukrosa 45 g/L menghasilkan 16,5 mg/g DW, sementara *Ageratina pichichensis* mencapai 209,93 mg EQ/g DW. kultur suspensi sel memerlukan nutrisi lebih tinggi karena pertumbuhan sel yang cepat dalam fase logaritmik membutuhkan pasokan karbon dan nitrogen berlimpah (Pasternak & Steinmacher, 2024).

Media dan Elisitasi Terintegrasi

Suplementasi media dengan prekursor biosintesis atau biostimulator menunjukkan strategi inovatif dalam meningkatkan produktivitas. Penambahan fenilalanin 75 mg/100 mL pada media MS untuk *Abutilon indicum* meningkatkan ketersediaan substrat untuk jalur fenilpropanoid. Ekstrak daun *Moringa peregrina* 3 mg/L pada *Staurogyne repens* menghasilkan kuersetin tertinggi untuk kultur organ (64,9 mg/g), menunjukkan bahwa biostimulator alami dapat menggantikan atau melengkapi ZPT sintetis (Handoko & Lin, 2025).

Suplementasi elisitor pada media juga menunjukkan sinergi dengan komposisi dasar media. MeJA 100 µM yang ditambahkan pada media MS standar untuk *Allium cepa* menghasilkan peningkatan kuersetin 13,94 kali lipat, sedangkan pada *Alpinia purpurata* dengan kombinasi ZPT kompleks menghasilkan 994,22 µg/g DW. PEG 10 ppm sebagai elisitor abiotik pada media MS untuk *Chrysanthemum morifolium* menghasilkan 2,59 µg/g DW, lebih rendah dibandingkan manipulasi sukrosa (0,437 mg/g DW), mengindikasikan bahwa elisitor osmotik kurang efektif dibandingkan manipulasi nutrisi pada spesies ini (Setiawati *et al.*, 2023).

SIMPULAN

Jenis dan komposisi media kultur merupakan determinan kritis yang berinteraksi secara kompleks dengan tipe kultur, genotipe, dan strategi elisitasi dalam menentukan produktivitas kuersetin. Media MS menunjukkan versatilitas tinggi namun memerlukan optimalisasi spesifik melalui reduksi konsentrasi garam ($\frac{1}{2}$ MS) untuk kultur *hairy roots* atau peningkatan sukrosa untuk kultur kalus dan suspensi sel. Media B5 dan SH menawarkan alternatif untuk spesies dengan kebutuhan nutrisi spesifik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari hibah penelitian internal STFI dengan skema Percepatan Lektor Kepala. Terimakasih kepada STFI dan Yayasan Hazanah untuk pendanaan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamad, S. (2024). Cite this article: Ahamad S. Optimization of Low-Cost Media for Plant Tissue Culture: A Step towards the Formulation of Economical Culture Medium. *Journal of Plant Biology and Crop Research*, 7(1), 1097. <http://meddocsonline.org/>
- Ahmadpoor, F., Zare, N., Asghari, R., & Sheikhzadeh, P. (2022). Sterilization protocols and the effect of plant growth regulators on callus induction and secondary metabolites production in in vitro cultures *Melia azedarach* L. *AMB Express*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01343-8>
- Alenizi, A., Shibli, R. A. A., Tahtamouni, R. W., Al-Qudah, T. S., & Remeilh, B. A. (2020). In vitro propagation and enhancement of quercetins and isorhamnetin production in wild *paronychia argentea* L. *Jordan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 65–75.
- Balasubramanian, M., & Girija, S. (2024). Overexpression of AtMYB12 transcription factor simultaneously enhances quercetin-dependent metabolites in radish callus. *Heliyon*, 10(8), e27053. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27053>
- Balasubramanian, M., Kumaraguru, G., & Girija, S. (2024). Efficient extraction methods and callus culture of quercetin from Indian white radish: yield analysis via HPLC quantification and assessment of cytotoxic activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 3556–3572. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17043>
- Bandekar, H., & Lele, S. S. (2014). Production of flavonol Quercetin from cultured plant cells of Banyan (*Ficus benghalensis* L .). *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(5), 12150–12157.
- Chimdessa, E., & Agricultural, O. (2020). Composition and Preparation of Plant Tissue Culture Medium. *Journal of Tissue Culture and Bioengineering*, 3(01). <https://doi.org/10.29011/2688-6502.000020>
- Coskun, Y., & Yaman, V. (2022). Polyamine Elicitation of Quercetin and Rutin Production in Callus Cultures of Caper and Impact to Regeneration. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 81(5), 475–481. <https://doi.org/10.56042/jsir.v81i05.58826>
- Durán, M. D. L., Zabala, M. E. A., & Londoño, G. A. C. (2021). Optimization of Flavonoid Production in Plant Cell Culture of *Thevetia peruviana* Elicited with Methyl Jasmonate and Salicylic Acid. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021210022>
- Gabr, A. M. M., Fayek, N. M., Mahmoud, H. M., El-Bahr, M. K., Ebrahim, H. S., Sytar, O., & El-Halawany, A. M. (2022). Effect of Light Quality and Media Components on Shoot Growth, Rutin, and Quercetin Production from Common Buckwheat. *ACS Omega*, 7(30), 26566–26572. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c02728>
- Hameg, R., Arteta, T. A., Landin, M., Gallego, P. P., & Barreal, M. E. (2020). Modeling and Optimizing Culture Medium Mineral Composition for in vitro Propagation of *Actinidia arguta*. *Frontiers in Plant Science*, 11(December). <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.554905>
- Handoko, R. N. S., & Lin, S. Y. (2025). Integrating plant growth regulators and biostimulants to enhance resilient and sustainable raspberry and blackberry production. *Scientia Horticulturae*, 350(July), 114296. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2025.114296>
- Hassanpour, H. (2024). Optimized medium composition in *Physalis alkekengi* callus culture altered nitric oxide level for inducing antioxidant enzyme activities and secondary

- metabolites. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67191-7>
- Huang, H., Xie, S., Xiao, Q., Wei, B., Zheng, L., Wang, Y., Cao, Y., Zhang, X., Long, T., Li, Y., Hu, Y., Yu, G., Liu, H., Liu, Y., Huang, Z., Zhang, J., & Huang, Y. (2016). Sucrose and ABA regulate starch biosynthesis in maize through a novel transcription factor, ZmEREB156. *Scientific Reports*, 6(May), 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep27590>
- Huang, X., Yao, J., Zhao, Y., Xie, D., Jiang, X., & Xu, Z. (2016). Efficient rutin and quercetin biosynthesis through flavonoids-related gene expression in *Fagopyrum tataricum* gaertn. Hairy root cultures with UV-B irradiation. *Frontiers in Plant Science*, 7(FEB2016), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00063>
- Iqbal, M. S., Iqbal, Z., & Ansari, M. I. (2019). Enhancement of total antioxidants and flavonoid (quercetin) by methyl jasmonate elicitation in tissue cultures of onion (*Allium cepa* L.). *Acta Agrobotanica*, 72(3), 1–11. <https://doi.org/10.5586/aa.1784>
- Istiqomah, M., Setiari, N., & Nurchayati, Y. (2020). Pengaruh Media MS dan VW Terhadap Pertumbuhan Planlet Anggrek Bulan Setelah Transplanting. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek Ke-5, Semarang*, 476–480.
- Karakas, F. P. (2020). Efficient plant regeneration and callus induction from nodal and hypocotyl explants of goji berry (*Lycium barbarum* L.) and comparison of phenolic profiles in calli formed under different combinations of plant growth regulators. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.009>
- Karuppaiya, P., & Tsay, H. S. (2020). Enhanced production of podophyllotoxin, kaempferol, and quercetin from callus culture of *Dyosma pleiantha* (Hance) Woodson: An endangered medicinal plant. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 67(1), 95–104. <https://doi.org/10.1002/bab.1810>
- Khajeh, H., Fazeli-Nasab, B., Salehi Sardoei, A., Fotoohiyan, Z., Hatami, M., Mirzaei, A., Ghorbanpour, M., & Maggi, F. (2025). Characterization of Biological Components of Leaves and Flowers in *Moringa peregrina* and Their Effect on Proliferation of *Staurogyne repens* in Tissue Culture Conditions. *Plants*, 14(15), 2340. <https://doi.org/10.3390/plants14152340>
- Krishnan, R., Anil Kumar, V. S., & Murugan, K. (2014). Establishment of cell suspension culture in *Marchantia linearis* Lehm & Lindenb. For the optimum production of flavonoids. 3 *Biotech*, 4(1), 49–56. <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0123-7>
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., Liu, H., & Yin, Y. (2016). Quercetin, inflammation and immunity. *Nutrients*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu8030167>
- Madanakumar, A. J., Murukan, G., Lawrence, B., & Kumaraswamy, M. (2017). Isolation, purification of quercetin from in vitro cell suspension culture of *caesalpinia pulcherrima* and its analysis by HPLC-DAD and NMR. *Pharmacognosy Journal*, 9(6), s44–s51. <https://doi.org/10.5530/pj.2017.6s.156>
- Matvieieva, N., Bessarabov, V., Khainakova, O., Duplij, V., Bohdanovych, T., Ratushnyak, Y., Kuzmina, G., Lisovyi, V., Zderko, N., & Kobylinska, N. (2023). *Cichorium intybus* L. “hairy” roots as a rich source of antioxidants and anti-inflammatory compounds. *Heliyon*, 9(3), e14516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14516>
- Motolinia-Alcántara, E. A., Franco-Vásquez, A. M., Nieto-Camacho, A., Arreguín-Espinosa, R., Rodríguez-Monroy, M., Cruz-Sosa, F., & Román-Guerrero, A. (2023). Phenolic Compounds from Wild Plant and In Vitro Cultures of *Ageratina pichichensis* and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Plants*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/plants12051107>
- Mounika, K., & Giri, A. (2024). Elicitation an approach to improving the metabolic profile of therapeutically important flavonoids from callus cultures of *Alpinia purpurata*. *Agricultural and Biological Research*, 40(1), 792–800. <https://doi.org/10.35248/0970-1907.24.40.792-800>
- Najhah, M. Y., Jaafar, H. Z. E., Nakasha, J. J., & Hakiman, M. (2021). Shoot Multiplication and Callus Induction of *Labisia pumila* var. *alata* as Influenced by Different Plant Growth Regulators Treatments and Its Polyphenolic Activities Compared with the Wild Plant. *Molecules*, 26(3229), 1–14.
- Negri, S., Gambini, S., Ceoldo, S., Avesani, L., Commisso, M., & Guzzo, F. (2021).

- Undifferentiated in vitro cultured actinidia deliciosa as cell factory for the production of quercetin glycosides. *Plants*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/plants10112499>
- Ninkuu, V., Aluko, O. O., Yan, J., Zeng, H., Liu, G., Zhao, J., Li, H., Chen, S., & Dakora, F. D. (2025). Phenylpropanoids metabolism: recent insight into stress tolerance and plant development cues. *Frontiers in Plant Science*, 16(June), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1571825>
- Pasternak, T. P., & Steinmacher, D. (2024). Plant Growth Regulation in Cell and Tissue Culture In Vitro. *Plants*, 13(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/plants13020327>
- Popova, P., Zarev, Y., & Ionkova, I. (2021). Biotransformation of quercetin, kaempferol and apigenin to monoglycosylated derivatives by in vitro suspension cultures of *Astragalus vesicarius* ssp. *carniolicus*. *Pharmacia*, 68(2), 307–311. <https://doi.org/10.3897/PHARMACIA.68.E54289>
- Rebaz, N., Dalar Van Yuzuncu, A., Ahmet Ozdemir, F., & Turker Van Yuzuncu, M. (2019). In vitro propagation and secondary metabolites investigation of *hypericum perforatum* L. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(7), 5569–5576. <https://www.researchgate.net/publication/334049867>
- Sajjalaguddam, R. R., & Paladugu, A. (2015). Phenylalanine enhances quercetin content in in vitro cultures of *abutilon indicum* L. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(10), 80–84. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.501014>
- Sathasivam, R., Choi, M., Radhakrishnan, R., Kwon, H., Yoon, J., Yang, S. H., Kim, J. K., Chung, Y. S., & Park, S. U. (2022). Effects of various *Agrobacterium rhizogenes* strains on hairy root induction and analyses of primary and secondary metabolites in *Ocimum basilicum*. *Frontiers in Plant Science*, 13(October), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.983776>
- Seran, S., Boobalan, S., Keerthanaa, T., Kumaravel, S., Karunakaran, G., & Srinivasan, R. (2025). Augmentation of betacyanin and quercetin in hybrid callus: Comprehensive assessment of biosynthesized silver nanoparticles for their potent biological activities, advanced in silico interactions, and rigorous toxicological evaluation. *Industrial Crops and Products*, 227(March), 120824. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120824>
- Setiawati, T., Arofah, A. N., Nurzaman, M., Annisa, A., Mutaqin, A. Z., & Hasan, R. (2023). Effect of sucrose as an elicitor in increasing quercetin-3-O-rhamnoside (quercitrin) content of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium* Ramat) callus culture based on harvest time differences. *Biotechnologia*, 104(3), 289–300. <https://doi.org/10.5114/bta.2023.130731>
- Setiawati, T., Ayalla, A., Nurzaman, M., Kusumaningtyas, V. A., & Bari, I. (2020). Analysis of Secondary Metabolites of Shoot, Callus Culture and Field Plant of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Jurnal ILMU DASAR*, 21(1), 1. <https://doi.org/10.19184/jid.v21i1.8665>
- Setiawati, T., Zazuli, S. F., Annisa, A., Nurzaman, M., & Irawan, B. (2020). PENGARUH POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) TERHADAP KADAR KUERSETIN KULTUR KALUS *Chrysanthemum morifolium* Ramat PADA KONDISI PENCAHAYAAN BERBEDA. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi*, 13(1), 116–127. <https://doi.org/10.15408/kauniyah.v13i1.13688>
- Taji, A., Kumar, P., & Lakshmanan, P. (2024). In Vitro Plant Breeding. *In Vitro Plant Breeding*, 1–167. <https://doi.org/10.1201/9781003578529>
- Thwe, A., Arasu, M. V., Li, X., Park, C. H., Kim, S. J., Al-Dhabi, N. A., & Park, S. U. (2016). Effect of different *Agrobacterium rhizogenes* strains on hairy root induction and phenylpropanoid biosynthesis in tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn). *Frontiers in Microbiology*, 7(MAR), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00318>
- Vesnina, A., Milentyeva, I., Minina, V., Kozlova, O., & Asyakina, L. (2023). Evaluation of the In Vivo Anti-Atherosclerotic Activity of Quercetin Isolated from the Hairy Roots of *Hedysarum neglectum* Ledeb. *Life*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/life13081706>
- Zafari, S., Sharifi, M., & Chashmi, N. A. (2018). A comparative study of biotechnological approaches for producing valuable flavonoids in *Prosopis farcta*. *Cytotechnology*, 70(2), 603–614. <https://doi.org/10.1007/s10616-017-0143-y>