

NANOSILIKA SEKAM PADI MEMODIFIKASI ANATOMI AKAR DAN MENINGKATKAN PANJANG AKAR PLANLET ANGGREK *Dendrobium* sp. IN VITRO

RICE HUSK NANOSILICA MODIFIES ANATOMY AND ENHANCES ROOT LENGTH OF IN VITRO-CULTURED *Dendrobium* sp. PLANTLETS

Tantri Swandari^{1*}, Laras Panji Laksana¹, Kuni Faizah²

¹Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Stiper

²Teknik Pertanian, Fakultas Teknik Pertanian, Institut Pertanian Stiper

Jl. Nangka II, Krodan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

Corresponding email: tantri14swandari@instiperjogja.ac.id

ABSTRAK

Kata kunci:

Aklimatisasi
Anggrek
Epidermis
In vitro
Silika

Nanosilika berbasis sekam padi berpotensi sebagai bahan aditif media kultur jaringan untuk meningkatkan kualitas bibit anggrek *Dendrobium* sp. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh nanosilika sekam padi terhadap respon morfologis, fisiologis, dan anatomis planlet anggrek *Dendrobium* sp. yang ditumbuhkan secara *in vitro* dan menentukan konsentrasi efektif. Penelitian dilakukan dengan penambahan nanosilika pada media kultur jaringan. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap satu faktor yaitu pemberian nanosilika yang terdiri atas empat taraf perlakuan: 0 g L⁻¹, 1 g L⁻¹, 2 g L⁻¹, 3 g L⁻¹ masing-masing diulang sebanyak 10 kali. Parameter yang diamati meliputi tinggi planlet, jumlah daun dan akar, panjang akar, berat segar, warna daun (L*, a*, dan b*), serta karakter anatomi akar dan daun melalui pengamatan mikroskopis irisan melintang. Data parameter dianalisis menggunakan analisis varian dilanjutkan dengan uji duncan taraf signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan perlakuan nanosilika secara signifikan meningkatkan panjang akar dan warna daun (*green group* 138B) serta memodifikasi struktur anatomi berupa pembesaran sel epidermis akar dan daun serta pembentukan berkas pengangkut akar yang lebih kompak. Nanosilika padi pada dosis 2 g L⁻¹ mampu meningkatkan kualitas morfologis, fisiologis, dan anatomi planlet anggrek *Dendrobium* sp., sehingga meningkatkan kesiapan adaptasi tanaman pada fase aklimatisasi dan berpotensi meningkatkan keberhasilan pertumbuhan bibit.

ABSTRACT

Keywords:

Acclimatization
Epidermal cell
In vitro
Orchid
Silica

Rice husk-based nanosilica has potential as an additive in tissue culture media to improve the quality of *Dendrobium* sp. orchid plantlets. This study aimed to evaluate the effects of rice husk nanosilica on the morphological, physiological, and anatomical responses of in vitro-cultured *Dendrobium* sp. plantlets and to determine the effective concentration. The experiment was conducted by incorporating nanosilica into the culture medium and arranged in a completely randomized design with a single factor, namely nanosilica application, with four concentration levels: 0 g L⁻¹, 1 g L⁻¹, 2 g L⁻¹, and 3 g L⁻¹, each replicated 10 times. The observed parameters included plantlet height, number of leaves, number of roots, root length, fresh weight, leaf color parameters (L*, a*, and b*), and root and leaf anatomical characteristics assessed through microscopic observation of transverse sections. Data were analyzed using analysis of variance followed by Duncan's multiple range test at a 5% significance level. The results showed that nanosilica treatment significantly increased root length and improved leaf color quality, as indicated by darker green leaves (*green group* 138B). Anatomical modifications were also observed, including enlargement of epidermal cells in both roots and leaves and the formation of more compact vascular bundles in roots. Rice husk nanosilica at a concentration of 2 g L⁻¹ was identified as the most effective treatment, enhancing the morphological, physiological, and anatomical quality of *Dendrobium* sp. plantlets, thereby improving plant readiness for acclimatization and potentially increasing seedling establishment success.

PENDAHULUAN

Dendrobium merupakan salah satu genus tanaman anggrek yang banyak dibudidayakan karena memiliki nilai ekonomis tinggi, keindahan bentuk bunga, keragaman warna, serta daya tahan bunga yang relatif lama setelah mekar. Selain itu, *Dendrobium* banyak diminati oleh masyarakat karena teknik perawatan yang relatif lebih mudah dibandingkan genus anggrek lainnya. Kelebihan tersebut membuat *Dendrobium* menjadi komoditas yang populer sebagai anggrek potong dan anggrek pot. Oleh karena itu, pengembangan budidaya *Dendrobium* memiliki peran strategis untuk meningkatkan nilai ekonomi hortikultura maupun mendukung upaya konservasi plasma nutfah anggrek bernilai tinggi (Rofik, 2018; Widiastoety *et al.*, 2016).

Permintaan pasar *Dendrobium* terus meningkat sampai 50% terutama saat pandemi COVID-19 bahkan pada tahun 2022 tercatat nilai penjualan tertinggi yaitu mencapai 1,02 juta tanaman yang senilai Rp 62,95 miliar rupiah (Kementerian Pertanian, 2019; Anggraeni, 2022; Septiani *et al.*, 2024). Namun, ketersediaan bibit anggrek unggul dalam jumlah banyak masih terbatas sehingga belum sepenuhnya memenuhi peningkatan permintaan pasar. Teknik kultur jaringan atau mikropopagasi menjadi alternatif yang lebih unggul karena mampu menghasilkan bibit dalam

jumlah besar, seragam, serta memerlukan waktu lebih cepat (Mulwa & Mwanza, 2006; Teixeira da Silva *et al.*, 2015). Metode ini juga memungkinkan perbanyakan sepanjang tahun tanpa bergantung pada musim, serta menjadi sarana penting dalam konservasi dan perbaikan varietas unggul (Adawiyah *et al.*, 2024). Namun, pertumbuhan eksplan dalam kultur jaringan seringkali terhambat sehingga diperlukan inovasi dalam formulasi media kultur untuk meningkatkan efisiensi pertumbuhan eksplan. Salah satu inovasi yang potensial adalah penambahan nanosilika sebagai sumber silikon (Si) yang dikenal sebagai unsur benefisial bagi tanaman. Dalam kultur jaringan, penambahan nanosilika telah dilaporkan mampu meningkatkan pertumbuhan dan memperkuat struktur sel (Dung *et al.*, 2016; Khasanah *et al.*, 2016).

Akumulasi Si dalam jaringan tanaman juga dapat meningkatkan kualitas fisiologis dan daya adaptasi tanaman setelah diaklimatisasi (Ehirim *et al.*, 2014; Sivanesan & Park, 2014). Tanaman yang memperoleh suplai nanosilika selama fase *in vitro* cenderung memiliki sistem perakaran lebih kuat, fotosintesis yang efisien, serta lebih tahan terhadap perubahan lingkungan saat dipindahkan dari kondisi aseptik ke lingkungan alami (Lu *et al.*, 2015; Nikmah *et al.*, 2017). Dengan demikian, penambahan nanosilika pada media kultur

diharapkan tidak hanya mempercepat pertumbuhan *in vitro*, tetapi juga meningkatkan keberhasilan aklimatisasi dan daya adaptasi tanaman *Dendrobium*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh nanosilika sekam padi terhadap respons morfologis, fisiologis, dan anatomis planlet anggrek *Dendrobium* yang ditumbuhkan secara *in vitro* dan menentukan konsentrasi efektif.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kultur Jaringan Tanaman, Institut Pertanian Stiper Yogyakarta. Eksplan yang digunakan berupa PLB (*protocorm like bodies*) anggrek *Dendrobium* sp. yang berumur 1 bulan setelah penaburan biji. Pengamatan pertumbuhan anggrek dilakukan pada bulan Februari hingga Maret, sedangkan pengamatan anatomi dilakukan pada bulan April. Bahan yang digunakan antara lain media dasar Murashige dan Skoog (MS), sukrosa, agar sebagai bahan pematat media, nanosilika berbasis sekam padi dengan kandungan silika (SiO_2) dominan yaitu sebesar 91,80% (Risfaheri *et al.*, 2026). Bahan pendukung lainnya meliputi akuades, kalium hidroksida (KOH) dan asam klorida (HCl) untuk pengatur pH media, serta alkohol 70% (v/v) untuk sterilisasi. Alat yang digunakan meliputi LAF (*Laminar Air Flow*), botol kultur, gelas ukur, pipet tetes, spatula, pinset, pH stik, autoklaf Hirayama

Hiclave HVE-50, timbangan analitik digital ADJ, dan mikroskop Olympus CX21. Tahap penelitian meliputi:

Sterilisasi eksplan buah anggrek dan penaburan biji anggrek

Buah anggrek *Dendrobium* sp berumur 3 bulan dari persilangan sendiri (*selfing*) disterilisasi melalui dua tahap, yaitu di luar dan dalam LAF. Sterilisasi buah anggrek di luar LAF dilakukan dengan mencuci buah menggunakan Tween kemudian dibilas dengan air mengalir. Selanjutnya buah anggrek disemprot dengan alkohol 70% sebelum dipindahkan ke dalam LAF untuk proses sterilisasi kedua. Dalam LAF, buah anggrek terlebih dahulu dicelupkan ke dalam alkohol 70% selama kurang lebih 30 detik, kemudian buah dilewatkan pada api bunsen untuk memastikan permukaan steril, langkah ini diulang 2-3 kali. Setelah sterilisasi, buah dibelah memanjang dengan menggunakan skalpel, dan biji yang diperoleh ditampung dalam cawan petri untuk penaburan. Penaburan biji dilakukan langsung ke dalam media kultur steril yang telah disiapkan sebelumnya. Penaburan dilakukan merata pada semua permukaan media kultur.

Pembuatan media kultur dengan penambahan nanosilika pasir

Media dasar yang digunakan adalah media Murashige and Skoog (MS) instan dengan beberapa perlakuan penambahan nanosilika, yaitu 0 g L⁻¹ (M1N0), 1 g L⁻¹ (M1N1), 2 g L⁻¹ (M1N2), dan 3 g L⁻¹ (M1N3). Media dibuat dengan menimbang

7 g agar sebagai pematat, 30 g sukrosa sebagai sumber karbon, dan 4,43 g bubuk media MS instan. Selanjutnya disiapkan larutan awal dengan menambahkan 500 mL akuades ke dalam gelas ukur 1000 mL, kemudian dimasukkan agar, sukrosa, dan media MS instan.

Larutan diaduk hingga homogen, kemudian pH diukur dan disesuaikan pada kisaran 5,6 - 5,8 menggunakan KOH atau HCl. Setelah itu, ditambahkan akuades hingga mencapai volume akhir 1000 mL, kemudian larutan dipanaskan kembali sampai seluruh komponen terlarut sempurna. Larutan media yang telah homogen dibagi ke dalam empat gelas ukur, masing-masing berisi 250 mL. Penambahan nanosilika disesuaikan dengan perlakuan yaitu 0 g untuk M1N0, 0,25 g untuk M1N1 (setara dengan 1 g L⁻¹), 0,50 g untuk M1N2 (setara dengan 2 g L⁻¹), dan 0,75 g untuk M1N3 (setara dengan 3 g L⁻¹). Selanjutnya, larutan diaduk hingga tercampur merata. Media kemudian dimasukkan ke dalam botol kultur sesuai kebutuhan, ditutup rapat, dan disterilisasi menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C dengan tekanan 1 atm selama 15 - 20 menit. Media yang telah disterilisasi disimpan pada suhu ruang hingga siap digunakan untuk penanaman eksplan.

Subkultur PLB anggrek *Dendrobium* sp. dalam media MS dengan penambahan nanosilika pasir.

PLB anggrek *Dendrobium* sp. berumur 4 minggu setelah penaburan biji selanjutnya ditanam dalam media

perlakuan (penambahan nanosilika pasir 1g L⁻¹, 2 g L⁻¹, 3 g L⁻¹, dan kontrol tanpa penambahan). Setiap botol ditanam sebanyak 3 PLB, kemudian mulut botol dipanaskan pada api bunsen lalu ditutup dengan alumunium foil steril dan dilapisi dengan *plastic wrap*. PLB yang disubkultur diinkubasi pada suhu 25°C dan diterangi dengan lampu LED 24 jam. Pengamatan dilakukan setiap minggu selama 2 bulan.

Parameter pengamatan.

Pertumbuhan bibit anggrek *Dendrobium* sp. diamati melalui beberapa parameter. Tinggi tanaman (cm) diukur dari pangkal batang hingga ujung daun terpanjang menggunakan kertas milimeter. Pengukuran dilakukan setiap minggu selama dua bulan untuk memantau laju pertumbuhan. Jumlah daun dan akar (unit) dicatat dengan cara menghitung organ yang muncul pada setiap bibit dengan interval waktu yang sama. Panjang akar (cm) diamati pada minggu ke-8 setelah tanam dengan mengukur akar terpanjang dari pangkal hingga ujung. Berat segar tanaman (g) ditentukan pada minggu ke-8 dengan cara menimbang bibit menggunakan timbangan analitik.

Selain pertumbuhan, warna daun juga dianalisis pada minggu ke-8 menggunakan colorimeter. Data warna yang diperoleh dalam format CIE-Lab kemudian diolah dengan aplikasi EasyRGB untuk mendapatkan deskripsi warna daun secara lebih detail. Pada akhir pengamatan

dilakukan analisis anatomi akar dan daun meliputi lapisan epidermis serta berkas pengangkut. Jaringan tanaman terlebih dahulu difiksasi menggunakan larutan Formalin Asam Asetat Alkohol (FAA), kemudian melalui tahap dehidrasi bertingkat dengan etanol, penjernihan, dan *embedding* dalam parafin. Sampel jaringan dipotong tipis dengan mikrotom, diwarnai menggunakan safranin, lalu dibuat preparat awetan. Preparat yang dihasilkan diamati di bawah mikroskop.

Rancangan penelitian dan analisis data

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan satu faktor yaitu pemberian nanosilika yang terdiri atas empat taraf perlakuan: N0 (0 g L⁻¹), N1 (1 g L⁻¹), N2 (2 g L⁻¹), N3 (3 g L⁻¹). Masing-masing diulang sebanyak 10 kali sehingga terdapat 40 satuan percobaan (10 botol kultur). Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan aplikasi SPSS pada taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan tanpa penambahan nanosilika (MN0) maupun perlakuan dengan penambahan nanosilika 1, 2, dan 3 g L⁻¹ (MN1-MN3) mengikuti pola pertumbuhan sigmoid yang dicirikan oleh fase awal pertumbuhan lambat kemudian mencapai maksimal lalu mengalami fase perlambatan. Meskipun pola dasarnya serupa namun penambahan nanosilika

memunculkan perbedaan kecenderungan pertumbuhan pada setiap parameter vegetatif yang diamati.

Pada parameter tinggi tanaman, perlakuan tanpa penambahan nanosilika (MN0) menunjukkan kecenderungan penambahan tinggi yang lebih besar dibandingkan perlakuan dengan nanosilika 1, 2, dan 3 g L⁻¹ (MN1-MN3). Kondisi ini mengindikasikan bahwa tanpa penambahan nanosilika, pertumbuhan tanaman cenderung diarahkan pada pemanjangan batang. Sebaliknya, pada perlakuan dengan nanosilika, laju penambahan tinggi relatif lebih terkendali yang menunjukkan adanya perubahan pola alokasi pertumbuhan akibat keberadaan nanosilika dalam media. Nanosilika diduga tidak berperan secara langsung dalam memacu pemanjangan batang melainkan secara tidak langsung memengaruhi tinggi tanaman melalui perbaikan struktur jaringan, peningkatan kekokohan sel serta optimalisasi fungsi fisiologis tanaman. Dengan demikian, pertumbuhan cenderung dialokasikan pada pembentukan organ vegetatif yang lain seperti akar dan daun dibandingkan pada pemanjangan batang (Dung *et al.*, 2016; Lu *et al.*, 2015).

Penambahan jumlah daun tertinggi pada perlakuan MN2 (2 g L⁻¹ nanosilika) menunjukkan bahwa konsentrasi tersebut berada pada kisaran optimal dalam mendukung pembentukan daun pada planlet *Dendrobium* sp. Peningkatan ini

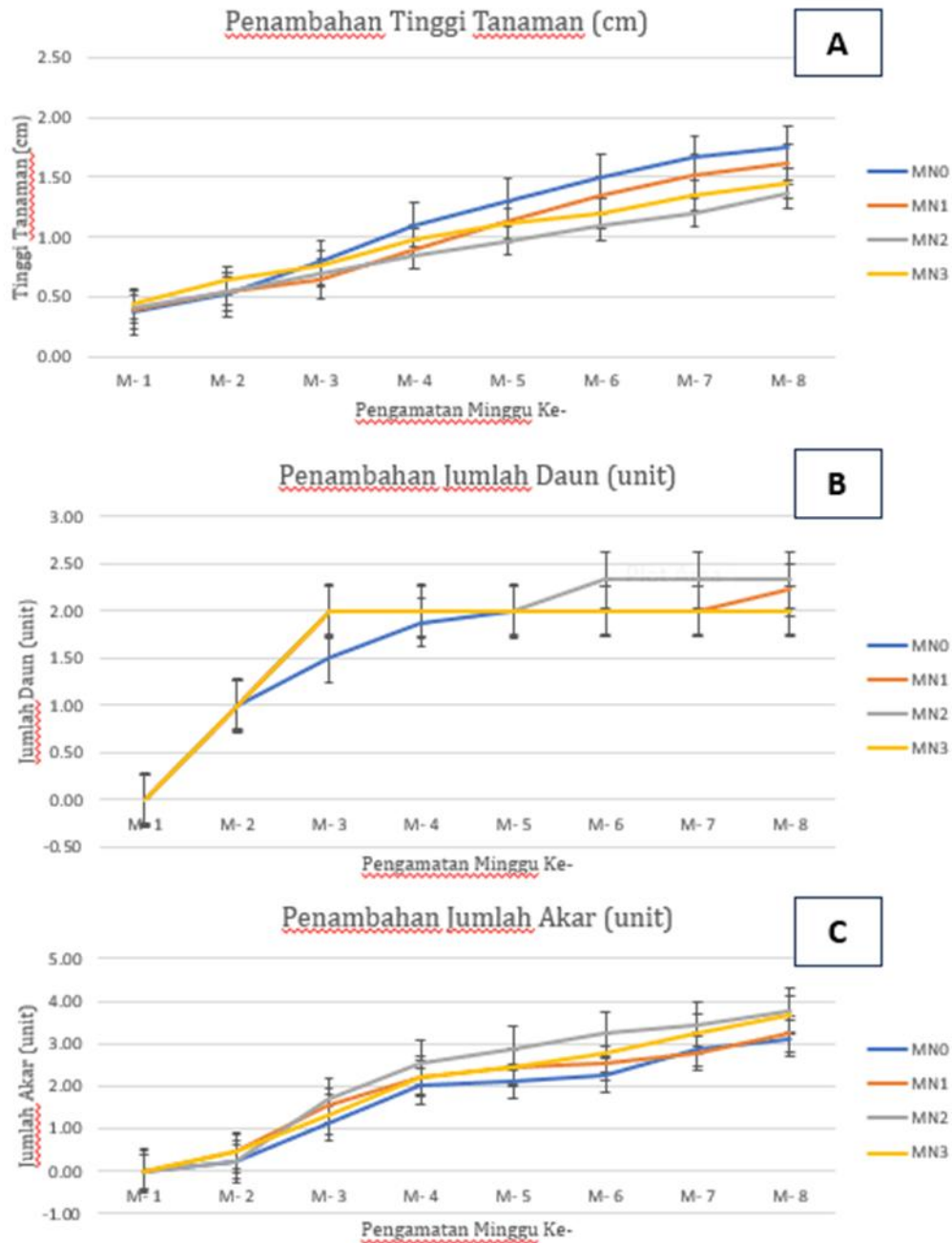
diduga terjadi secara tidak langsung melalui peran silika dalam memperbaiki kondisi fisiologis tanaman, termasuk peningkatan efisiensi penyerapan hara, penguatan struktur jaringan, dan optimalisasi aktivitas meristem pucuk. Kondisi tersebut memungkinkan peningkatan sintesis dan aktivitas hormon sitokinin endogen yang berperan dalam pembelahan sel dan pembentukan primordium daun (Saptiningsih *et al.*, 2025; Adhi *et al.*, 2024).

Pada konsentrasi 2 g L^{-1} , efek stimulatif nanosilika berada pada tingkat yang seimbang sehingga mendukung pembentukan daun secara lebih efektif dibandingkan konsentrasi yang lebih rendah maupun lebih tinggi. Peningkatan jumlah daun pada MN2 berpotensi meningkatkan luas bidang fotosintesis dan efisiensi pemanfaatan cahaya, yang merupakan faktor penting dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman secara keseluruhan (Ma & Yamaji, 2006; Dung *et al.*, 2016; Ismail *et al.*, 2022). Pada parameter jumlah akar, perlakuan MN2 dan MN3 menunjukkan kecenderungan penambahan yang lebih besar dibandingkan MN0 dan MN1.

Respons peningkatan jumlah akar pada perlakuan nanosilika khususnya pada konsentrasi menengah hingga tinggi, mengindikasikan bahwa perlakuan nanosilika lebih efektif dalam merangsang perkembangan sistem perakaran jika dibandingkan tanpa perlakuan. Secara

fisiologis, nanosilika diduga tidak bekerja sebagai hormon tetapi berperan sebagai modulator yang secara tidak langsung mengoptimalkan sintesis dan distribusi auksin endogen, hormon utama yang mengatur pembelahan dan diferensiasi sel akar (Dung *et al.*, 2016; Phu *et al.*, 2017; Swandari & Faisal, 2023). Perbaikan metabolik, integritas dinding sel, serta aktivitas meristem akar akibat keberadaan Si menciptakan lingkungan menguntungkan bagi pembentukan dan pemanjangan akar. Peningkatan jumlah akar mencerminkan kemampuan tanaman dalam memperluas daerah serapan air dan hara yang sangat penting untuk menopang pertumbuhan tajuk (Nasrudin & Rosmala, 2020; Aziza *et al.*, 2022) serta menjaga keseimbangan fisiologis planlet *Dendrobium* sp.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan adanya respons konsentrasi terhadap nanosilika. Perlakuan MN2 merupakan konsentrasi paling seimbang dalam mendukung pembentukan daun dan akar, sedangkan konsentrasi lebih tinggi (MN3) alokasi pertumbuhan cenderung untuk pembentukan sistem perakaran. Sebaliknya, tanpa nanosilika (MN0), pertumbuhan lebih dominan pada pemanjangan batang. Pola ini menegaskan bahwa nanosilika berperan dalam alokasi pertumbuhan antarorgan, bukan sekadar meningkatkan pertumbuhan secara kuantitatif (Khasanah *et al.*, 2016; Santi, 2016, Nikmah *et al.*, 2017).



Gambar 1. Laju pertumbuhan planlet anggrek *Dendrobium* sp. dengan perlakuan penambahan nanosilika pada media kultur jaringan. A. Penambahan tinggi tanaman (cm), B. Penambahan jumlah daun (unit helai⁻¹), C. Penambahan jumlah akar (unit).

Berdasarkan **Tabel 1**, penambahan nanosilika pada berbagai konsentrasi (1–3 g L⁻¹) tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap penambahan tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah akar, maupun berat segar planlet anggrek *Dendrobium* sp.

Keseragaman notasi pada setiap parameter menunjukkan bahwa pada fase planlet, penambahan nanosilika hingga konsentrasi 3 g L⁻¹ belum memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan vegetatif secara kuantitatif.

Tabel 1. Karakter pertumbuhan planlet anggrek *Dendrobium* sp. pada akhir periode pengamatan

Perlakuan	Penambahan				Berat segar (g)	Warna daun		
	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun (unit)	Jumlah akar (unit)	Panjang akar (cm)		L	a	b
MN0	1.75 a	2.00 a	3.12 a	0.51 b	0.19 a	67.08 a	-5.28 a	11.09 b
MN1	1.65 a	2.25 a	3.37 a	0.49 b	0.13 a	61.16 b	-9.57 b	21.59 a
MN2	1.41 a	2.37 a	4.00 a	0.62 ab	0.20 a	60.45 b	-8.75 b	18.95 a
MN3	1.52 a	2.00 a	3.87 a	0.78 a	0.17 a	66.18 ab	-7.71 b	17.28 a

Keterangan: Parameter warna daun dinyatakan dalam sistem warna CIELAB, yaitu L* (tingkat kecerahan; 0 = hitam, 100 = putih), a* (koordinat hijau dan merah; nilai negatif menunjukkan intensitas warna hijau), dan b* (koordinat biru dan kuning; nilai positif menunjukkan intensitas warna kuning). Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf signifikansi 5% ($p < 0,05$).

Hasil ini mengindikasikan bahwa pada fase awal pertumbuhan *in vitro*, perkembangan planlet masih tergantung pada media dasar dan suplai karbon eksogen dari media kultur. Oleh karena itu, pengaruh perlakuan tambahan belum terlihat jelas pada peningkatan parameter pertumbuhan maupun akumulasi biomassa planlet (Pikukuh *et al.*, 2015). Meskipun demikian, secara deskriptif terlihat adanya perbedaan kecenderungan respons antarperlakuan. Penambahan tinggi tanaman cenderung lebih besar pada perlakuan MN0 (tanpa nanosilika), yang menunjukkan tanpa nanosilika, pertumbuhan planlet lebih diarahkan pada pemanjangan batang. Sebaliknya, pada perlakuan dengan nanosilika (MN1–MN3), pertumbuhan tinggi relatif lebih terkendali, mengindikasikan adanya perubahan pola alokasi pertumbuhan akibat keberadaan nanosilika dalam media kultur. Hasil ini berbeda dengan penelitian Sibarani *et al.*, (2021) yaitu

terdapat peningkatan tinggi tanaman tembakau yang ditumbuhkan secara *in vitro* dengan penambahan nanosilika pada media kultur. Perbedaan respons tersebut kemungkinan karena perbedaan laju pertumbuhan vegetatifnya.

Respons pertumbuhan yang lebih jelas terlihat pada parameter sistem perakaran. Perlakuan MN3 (3 g L⁻¹ nanosilika) menghasilkan akar terpanjang dan berbeda nyata dibandingkan MN0 dan MN1. Hal ini menunjukkan bahwa nanosilika pada konsentrasi tinggi berpotensi mendorong pemanjangan akar planlet. Pemanjangan akar yang tidak diikuti oleh peningkatan jumlah akar secara nyata mengindikasikan bahwa nanosilika lebih berperan dalam proses elongasi akar dibandingkan inisiasi akar baru (Currie & Perry, 2007; Nikmah *et al.*, 2017). Dalam konteks kultur jaringan, karakter akar yang lebih panjang menjadi aspek penting karena berpotensi meningkatkan kemampuan adaptasi

planlet pada tahap aklimatisasi. Selain itu, dapat mendukung keberhasilan pertumbuhan lanjutan di luar kondisi *in vitro* (Lu *et al.*, 2015; Nikmah *et al.*, 2017).

Berat segar planlet relatif seragam pada seluruh perlakuan, yang menunjukkan bahwa penambahan nanosilika belum berdampak langsung terhadap akumulasi biomassa. Hal ini umum terjadi pada kultur *in vitro* karena pertumbuhan planlet masih sangat bergantung pada sumber karbon dari media dan belum sepenuhnya ditentukan oleh aktivitas fotosintesis (Sahebi *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perubahan fisiologis awal yang dipicu oleh nanosilika belum secara langsung tercermin dalam peningkatan bobot segar tanaman (Raynalta & Sukma, 2015; Sivanesan & Park, 2014).

Parameter warna daun (L^* , a^* , dan b^*) menunjukkan respons yang lebih sensitif terhadap perlakuan nanosilika dibandingkan parameter morfologi planlet. Penurunan nilai kecerahan (L^*) pada perlakuan nanosilika menunjukkan daun tampak lebih gelap, yang mengindikasikan adanya peningkatan kemampuan daun dalam menyerap cahaya dan kemungkinan peningkatan kandungan klorofil. Nilai koordinat hijau dan merah (a^*) yang semakin negatif mencerminkan intensitas warna hijau daun yang lebih tinggi, menunjukkan dominasi pigmen klorofil sebagai komponen utama fotosintesis. Sementara

itu, peningkatan nilai koordinat biru dan kuning (b^*) mengindikasikan adanya perubahan keseimbangan pigmen ke arah komponen kuning-hijau, yang berkaitan dengan peran pigmen daun.

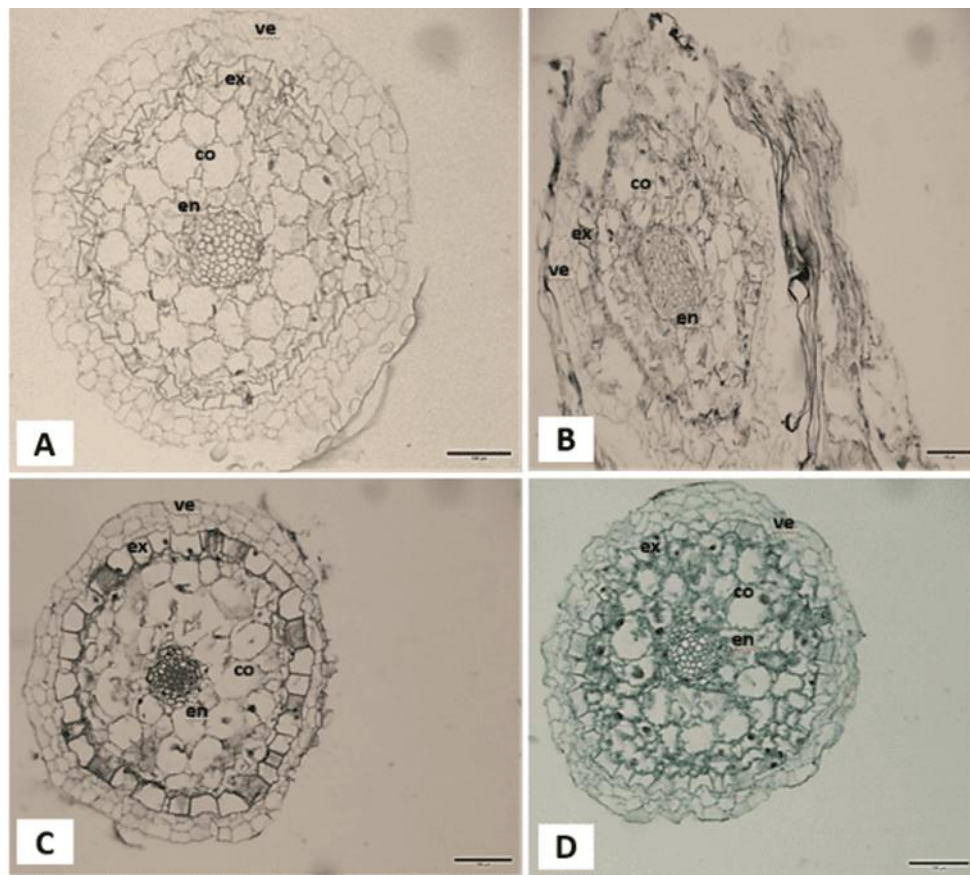
Perubahan parameter warna daun mengindikasikan bahwa respons terhadap nanosilika lebih cepat terjadi pada aspek fisiologis daun daripada pertumbuhan morfologi yang bersifat kuantitatif. Hal ini berkaitan dengan peningkatan efisiensi penyerapan cahaya serta stabilitas pigmen fotosintetik pada jaringan daun (Adrees *et al.*, 2015; Ismail *et al.*, 2022). Peran nanosilika sebagai elemen semi-esensial tercermin dari kemampuannya dalam memperbaiki fungsi dan struktur jaringan daun. Meskipun tidak secara langsung meningkatkan ukuran organ, keberadaan nanosilika dapat mendukung peningkatan kesiapan fisiologis planlet selama fase pertumbuhan *in vitro*.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan nanosilika pada media kultur jaringan anggrek *Dendrobium* sp. belum secara nyata meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan biomassa planlet. Namun, penambahan nanosilika mempengaruhi perkembangan sistem perakaran dan karakter fisiologis daun. Perlakuan MN2 menunjukkan respons yang relatif seimbang antara pertumbuhan vegetatif dan kualitas daun, sedangkan MN3 mendorong pemanjangan akar. Temuan ini menegaskan bahwa nanosilika

berperan sebagai modulator fisiologis yang berpotensi meningkatkan kesiapan adaptif planlet terhadap cekaman abiotik pada tahap aklimatisasi dibandingkan sebagai pemacu pertumbuhan vegetatif cepat pada fase *in vitro* (Currie & Perry, 2007; Alsaeedi *et al.*, 2019).

Hasil pengamatan anatomi akar anggrek *Dendrobium* sp. akibat aplikasi nanosilika konsentrasi 2 g L⁻¹ menunjukkan adanya perubahan struktur jaringan yang bersifat spesifik walaupun

hanya diamati secara kualitatif (**Gambar 2B**). Perubahan tersebut terutama tampak pada penebalan eksodermis serta karakter berkas pengangkut yang lebih kecil namun tersusun lebih kompak dibandingkan perlakuan tanpa perlakuan nanosilika. Modifikasi anatomi ini mengindikasikan adanya respons fisiologis tanaman terhadap keberadaan nanosilika sebagai agen penguat struktur dan peningkatan ketahanan jaringan (Lu *et al.*, 2015; Sahebi *et al.*, 2016).



Gambar 2. Penampang lintang akar anggrek *Dendrobium* sp. A. MN0 (tanpa penambahan nanosilika), B. MN1 (penambahan nanosilika 1 g L⁻¹), C. MN2 (penambahan nanosilika 2 g L⁻¹), D. MN3 (penambahan nanosilika 3 g L⁻¹). Kode en: endodermis, co: kortek, ex: eksodermis, ve: velamen

Penebalan eksodermis (ex) merupakan salah satu respons anatomi yang paling terlihat jelas akibat aplikasi nanosilika. Eksodermis pada akar anggrek

berfungsi sebagai lapisan pelindung utama di bawah velamen (ve) yang berperan dalam mengatur lalu lintas air dan ion dari lingkungan menuju jaringan dalam.

Peningkatan ketebalan eksodermis mengindikasikan adanya deposisi silika pada dinding sel, yang berpotensi membentuk lapisan penguat berupa kompleks silika kutikula atau fitolit (Oliveira & Sajo, 1999; Sivanesan & Park, 2014; Metusala *et al.*, 2017). Deposisi ini memperkuat dinding sel secara mekanis sehingga meningkatkan ketahanan akar terhadap penetrasi patogen, khususnya mikroorganisme penyebab busuk akar yang umum menyerang tanaman hasil kultur jaringan. Selain berfungsi sebagai pertahanan mekanis, penebalan eksodermis berperan sebagai penghalang apoplastik yang efektif dalam mengurangi kehilangan air (Sasidharan *et al.*, 2011; Nasution *et al.*, 2020).

Pada fase aklimatisasi maupun kondisi lingkungan mikro yang fluktuatif, kemampuan akar untuk mempertahankan status air menjadi faktor kunci keberhasilan pertumbuhan planlet anggrek. Penebalan eksodermis akibat keberadaan silika diduga berperan sebagai penghalang difusi air dari jalur apoplast sehingga dapat mengurangi kehilangan air pada jaringan akar. Meskipun transport air melalui xilem tetap berlangsung, namun keberadaan lapisan eksodermis yang berkembang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan ketahanan planlet terhadap cekaman kekeringan. Temuan ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyebutkan bahwa silika mampu meningkatkan

deposisi suberin dan lignin pada eksodermis akar. Kondisi tersebut berfungsi memperkuat jaringan sekaligus membatasi pergerakan air dan ion secara tidak terkontrol (Currie & Perry, 2007).

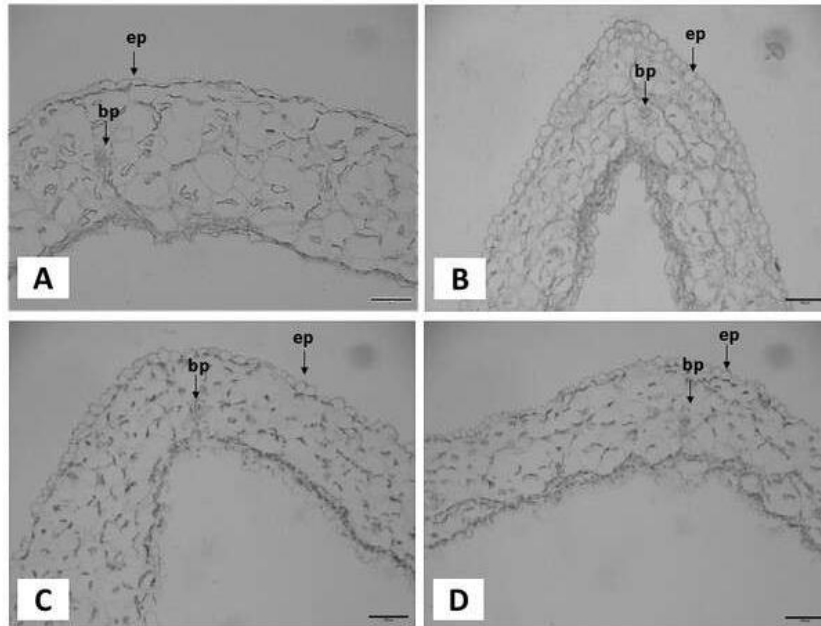
Perubahan anatomi lain yang diamati adalah struktur berkas pengangkut yang tampak lebih kecil namun tersusun lebih rapat dan kompak. Kondisi ini menunjukkan adanya reorganisasi jaringan vaskular sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan tumbuh *in vitro*. Berkas pengangkut yang lebih kompak sering dikaitkan dengan peningkatan kerapatan elemen xilem dan floem. Secara fisiologis kondisi ini dapat meningkatkan efisiensi transportasi air, mineral, dan hasil fotosintesis. Struktur berkas pengangkut yang kompak juga memberikan keuntungan dari sisi stabilitas mekanis (Nikmah *et al.*, 2017; Oliveira & Sajo, 1999).

Berkas pengangkut pada akar yang lebih padat mampu menahan tekanan fisik dari media tanam serta fluktuasi tekanan turgor yang sering terjadi pada sistem kultur jaringan. Dengan demikian, nanosilika tidak hanya berperan dalam memperkuat jaringan perifer akar, tetapi juga memperkuat jaringan internal untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Sahebi *et al.*, 2016).

Secara keseluruhan, perubahan anatomi akar anggrek akibat penambahan nanosilika 2 g L⁻¹ mencerminkan peran silika sebagai elemen semi-esensial yang

bersifat protektif dan adaptif. Oleh karena itu, aplikasi nanosilika pada konsentrasi yang tepat berpotensi menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kualitas dan

ketahanan bibit anggrek sebelum memasuki tahap aklimatisasi dan pertumbuhan lanjutan (Sivanesan & Park, 2014).



Gambar 3. Penampang lintang daun anggrek *Dendrobium* sp. A. MN0 (tanpa penambahan nanosilika), B. MN1 (penambahan nanosilika 1 g L⁻¹), C. MN2 (penambahan nanosilika 2 g L⁻¹), D. MN3 (penambahan nanosilika 3 g L⁻¹). Kode ep: epidermis, bp: berkas pengangkut.

Anatomi daun *Dendrobium* secara *in vitro* akibat penambahan nanosilika menunjukkan perubahan nyata pada struktur epidermis daun. Pada perlakuan kontrol, sel epidermis tampak lebih kecil dan tersusun rapat dengan lapisan kutikula yang relatif tipis. Sebaliknya, pemberian nanosilika menghasilkan sel epidermis berukuran lebih besar dengan susunan yang lebih teratur serta lapisan kutikula yang lebih tebal dan jelas (**Gambar 3B**). Perubahan ini mengindikasikan adanya modifikasi struktural jaringan epidermis sebagai respons terhadap integrasi silika ke dalam dinding sel daun (Nikmah *et al.*, 2017; Sahebi *et al.*, 2016).

Secara fisiologis, pembesaran sel epidermis dan penebalan kutikula pada daun yang diberi nanosilika berkaitan dengan deposisi silika di bawah lapisan kutikula yang membentuk *silicon-cuticle double layer* (Metusala *et al.*, 2017; Sahebi *et al.*, 2016). Struktur ini meningkatkan kekuatan mekanis dan rigiditas daun, sehingga daun cenderung lebih tegak dan mampu mengoptimalkan penangkapan cahaya untuk fotosintesis (Nasution *et al.*, 2020; Nikmah *et al.*, 2017). Selain itu, epidermis yang lebih berkembang dapat meningkatkan efisiensi transmisi cahaya menuju jaringan mesofil serta mengurangi kehilangan air melalui transpirasi. Keadaan ini sangat penting bagi ketahanan

bibit anggrek hasil kultur jaringan pada fase aklimatisasi (Metusala *et al.*, 2017). Dengan demikian, nanosilika berfungsi sebagai elemen semiesensial yang memperkuat struktur pelindung daun.

KESIMPULAN

Konsentrasi nanosilika 2 g L⁻¹ menunjukkan respons paling optimal dalam meningkatkan pertumbuhan dan kualitas fisiologis planlet anggrek *Dendrobium* sp. pada media kultur jaringan. Respons terlihat dari peningkatan panjang akar, perubahan parameter warna daun, serta modifikasi struktur anatomi akar dan daun. Perlakuan nanosilika juga meningkatkan ukuran sel epidermis dan membentuk berkas pengangkut akar yang lebih kompak. Penelitian selanjutnya perlu mengevaluasi pengaruh nanosilika terhadap parameter fisiologis yang lebih spesifik serta keberhasilan aklimatisasi planlet pada kondisi *ex vitro*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, A., Tridesianti, S., Oktaviani, V., Julita, U., & Supriyatna, A. (2024). Pertumbuhan kultur meristem porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) dengan penambahan kombinasi *Benzylaminopurine* (BAP) dan *Indole Butyric Acid* (IBA). *AGROSCRIPT: Journal of Applied Agricultural Sciences*, 6(2), 164–174. Retrieved from: <https://doi.org/10.36423/agroscrip.v6i2.2012>
- Adhi, J.W.S., Darmanti, S., & Saptaningsih, E. (2024). Pertumbuhan vegetatif tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) var. Suri 4 dengan perlakuan nanosilika. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 9(2), 186–192. Retrieved from: <https://doi.org/10.14710/baf.9.2.2024.186-192>
- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Qayyum, M.F., & Irshad, M.K. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119, 186–197. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.011>
- Alsaedi, A., El-Ramady, H., Alshaal, T., El-Garawany, M., Elhawat, N., & Al-Otaibi, A. (2019). Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 1–10. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.008>
- Anggraeni, N. (2022). Potensi anggrek Indonesia di tengah pandemi Covid-19. *Mimbar Agribisnis: Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*, 8(2), 639–648. Retrieved from: <https://doi.org/10.25157/ma.v8i2.7171>
- Aziza, I., Rahayu, Y.S., & Dewi, S.K. (2022). Pengaruh pupuk organik cair dengan penambahan silika dan cekaman air terhadap tanaman kedelai. *Lentera Bio*, 11(1), 183–191. Retrieved from: <https://doi.org/10.26740/lenterabi.v11n1.p183-191>
- Currie, H.A., & Perry, C.C. (2007). Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Annals of Botany*, 100(7), 1383–1389. Retrieved from: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm247>
- Dung, P.D., Ngoc, L.S., Thuy, N.N., Truc, L.T. M., Le, B. Van, Phu, D. Van, Duy, N.N., & Hien, N.Q. (2016). Effect of

- nanosilica from rice husk on the growth enhancement of chilli plant (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Science and Techmology*, 54(5), 607–613. Retrieved from: <https://doi.org/10.15625/0866-708X/54/5/7034>
- Ehirim, B.O., Ishaq, M.N., Agboire, S., Solomon, C., Ejizu, A.N., & Diarra, A. (2014). Acclimatization: an important stage in tissue culture. *Asian American Plant Science Research Journal*, 1, 1–7. Retrieved from: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15272.47369>
- Ismail, L.M., Ismail, L.M., Soliman, M.I., Soliman, M.H., El-Aziz, M.H.A., El-Aziz, M.H.A., Abdel-Aziz, H.M.M., & Abdel-Aziz, H.M.M. (2022). Impact of silica ions and nano silica on growth and productivity of pea plants under salinity stress. *Plants*, 11(4), 494. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/plants11040494>
- Kementerian Pertanian. (2019). *Pasar ekspor anggrek terus meningkat*. Retrieved from: <https://hortikultura.pertanian.go.id/pasar-ekspor-anggrek-terus-meningkat/>
- Khasanah, I., Prihastanti, E., Hastuti, E.D., & Subagio, A. (2016). Pengaruh kombinasi pupuk daun dan nano silika terhadap pertumbuhan anggrek (*Dendrobium* sp.) pada subkultur secara *in vitro*. *Jurnal Biologi*, 5(3), 15–22. Retrieved from: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/biologi/article/view/19499>
- Lu, M.M.D., Silva, D.M.R. De, Peralta, E.K., & Fajardo, A.N. (2015). Effects of nanosilica powder from rice hull ash on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Philippine E-Journal for Applied Reseacrch and Development*, 5, 11–22. Retrieved from: <http://pejard.slu.edu.ph/vol.5/2015.08.06.pdf>
- Ma, J.F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, 11(8), 392–397. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>
- Metusala, D., Supriatna, J., Nisyawati, & Sopandie, D. (2017). Comparative leaf and root anatomy of two *Dendrobium* species (Orchidaceae) from different habitat in relation to their potential adaptation to drought. *AIP Conference Proceedings*, 1862, 030118. Retrieved from: <https://doi.org/10.1063/1.4991222>
- Mulwa, R.M.S., & Mwanza, L.M. (2006). Biotechnology approaches to developing herbicide tolerance selectivity in crops. *African Journal of Biotechnology*, 5(5), 396–404. Retrieved from: <https://doi.org/10.4314/ajb.v5i5>
- Nasution, L.Z., Hasibuan, M., & Manurung, E.D. (2020). Adaptability of tissue-cultured *Dendrobium* orchid planlets on planting media and its position during acclimatization process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 454, 012166. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012166>
- Nikmah, Z.C., Slamet, W., & Kristanto, B.A. (2017). Aplikasi silika dan NAA terhadap pertumbuhan Anggrek Bulan (*Phalaenopsis amabilis* l.) pada tahap aklimatisasi. *Journal of Agro Complex*, 1(3), 101–110. Retrieved from: <https://doi.org/10.14710/joac.1.3.101-110>
- Oliveira, V. del C., & Sajo, M. das G. (1999). Root anatomy of nine orchidaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 42(4). Retrieved from: <https://doi.org/10.1590/s1516-89131999000400005>
- Phu, D. Van, Du, B.D., Nghiem, L., Tuan, A., Tam, H. Van, & Quoc, N. (2017). Preparation and foliar application of oligochitosan - nanosilica on the enhancement of soybean seed yield. *International Journal of Environment, Agriculture and*

- Biotechnology (IJEAB)*, 2(1), 421–428. Retrieved from: <https://doi.org/10.22161/ijeab.2.1.53>
- Pikukuh, P., Djajadi, Tyasmoro, S.Y., & Aini, N. (2015). Pengaruh frekuensi dan konsentrasi penyemprotan pupuk nano silika (Si) terhadap pertumbuhan tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(3), 249–258. Retrieved from: <https://doi.org/10.21176/protan.v3i3.192>
- Raynalta, E., & Sukma, D. (2015). Pengaruh komposisi media dalam perbanyakan protocorm like bodies, pertumbuhan planlet, dan aklimatisasi *Phalaenopsis amabilis*. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 4(3), 131–139. Retrieved from: <https://doi.org/10.29244/jhi.4.3.131-139>
- Risfaheri, R., Hidayat, T., Yuliani, S., Hoerudin, H., Wahyuningsih, K., Yulianto, A., Setyawan, N., Winarti, C., & Arif, A.B. (2026). Sustainable production of high-purity amorphous silica from rice husk: A comparative study on the impact of fresh and reused hydrochloric acid leaching. *South African Journal of Chemical Engineering*, 56, 100848. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2026.100848>
- Rofik, A. (2018). Peluang wirausaha budidaya anggrek *Dendrobium* hybrid. *Jurnal Abdimas Mahakam*, 2(1), 1–5. Retrieved from: <https://doi.org/10.24903/jam.v2i1.288>
- Nasrudin, N., & Rosmala, A. (2020). Analisis pertumbuhan padi lokal akses PH 1 menggunakan penambahan pupuk silika padat pada kondisi salin. *Agroteknika*, 3(2), 75–84. Retrieved from: <https://doi.org/32530/agroteknika.v3i2.71>
- Sahebi, M., Hanafi, M.M., & Azizi, P. (2016). Application of silicon in plant tissue culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 52(3), 226–232. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11627-016-9757-6>
- Santi, L. P. (2016). Pemanfaatan bio-silika untuk meningkatkan produktivitas dan ketahanan terhadap cekaman kekeringan pada kelapa Sawit. *Seminar Nasional Pengembangan Pertanian Berkelanjutan yang Adaptif Terhadap Perubahan Iklim Menuju Ketahanan Pangan dan Energi*, 1, 456–466.
- Saptiningsih, E., Putri, M.S., Widodo, S., & Suedy, A. (2025). Peningkatan pertumbuhan tajuk dan nilai estetika tanaman hias *epipremnum aureum* pada aplikasi sitokinin sintetik (6-benzylaminopurine). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 10(1), 81–91. Retrieved from: <https://doi.org/10.14710/baf.10.1.2025.81-91>
- Sasidharan, R., Voesenek, L.A.C.J., & Pierik, R. (2011). Cell wall modifying proteins mediate plant acclimatization to biotic and abiotic stresses. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(6), 548–562. Retrieved from: <https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615706>
- Septiani, K.R., Pamuji, B.A., Prayogi, M., & Mansur, M. (2024). Analisis kelayakan usaha budidaya pembibitan kompot anggrek *Dendrobium* di usaha pembibitan anggrek *Dendrobium* Estie'S Orchid Kecamatan Limo, Kota Depok, Jawa Barat. *Jurnal Ekonomi Revolusioner*, 7(7), 119–130. Retrieved from: <https://oaj.jurnalhst.com/index.php/jer/article/view/9>
- Sibarani, J.K., Swandari, T., & Setyorini, T. (2021). Respon pertumbuhan in vitro kecambah tembakau (*Nicotiana tabacum*) varietas Kemloko Terhadap pemberian nanosilika padi dan pasir. *Lambung*, 20(2), 72–78. Retrieved from: <https://doi.org/10.32530/lambung.v20i2.239>
- Sivanesan, I., & Park, S.W. (2014). The role of silicon in plant tissue culture. *Frontiers in Plant Science*, 5, 2012–

2015. Retrieved from:
<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00571>
- Swandari, T., & Faisal, A. (2023). Pengaruh auksin, sitokinin, giberelin, dan paklobutrazol terhadap pertumbuhan bibit Anggrek *Dendrobium sylvanum* pada tahap aklimatisasi. *Agrium*, 26(1), 83–91. Retrieved from:
<https://doi.org/10.30596/agrium.v26i1.14375>
- Teixeira da Silva, J.A., Cardoso, J.C., Dobránszki, J., & Zeng, S. (2015). Dendrobium micropropagation: a review. *Plant Cell Reports*, 34(5), 671–704. Retrieved from:
<https://doi.org/10.1007/s00299-015-1754-4>
- Widiastoety, D., Solvia, N., & Soedarjo, M. (2016). Potensi anggrek Dendrobium dalam meningkatkan variasi dan kualitas anggrek bunga potong. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 29(3), 101–106. Retrieved from:
<https://doi.org/10.21082/jp3.v29n3.2010.p101-106>