

**Pemuliaan Bibit Tanaman Kantong Semar (*Nepenthes mirabilis*)
Dalam Upaya Konservasi Dengan Penambahan Hormon Melalui Teknologi
Modern Kultur Jaringan**

***Breeding Of Pitcher Plant (*Nepenthes mirabilis*) Seedlings For Conservation Efforts
Through The Addition Of Hormones Using Modern Tissue Culture Technology***

Amin Nurokhman¹, Fina Aryani², Tegar Bintang Saputri³, Faizah Qonita Zhafira⁴
^{1,2,3,4}Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

Abstrak

Nepenthes mirabilis merupakan tanaman endemik sumatera yang telah terancam punah sejak tahun 2014. Tanaman tersebut perlu dilestarikan agar keberadaannya tidak langka. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam mengatasi ancaman kepunahan yaitu pemuliaan bibit tanaman melalui teknologi modern kultur jaringan, dengan metode tersebut pemuliaan tanaman dapat dilakukan secara singkat dengan jumlah yang besar dan tidak memerlukan musim. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melestarikan tumbuhan langka, dengan eksperimen, menggunakan rancangan acak lengkap. Data dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Pada penelitian ini dilakukan penambahan variasi hormon kinetin (0 ppm, 0,25 ppm, 0,50 ppm, 0,75 ppm, 1,0 ppm, 1,25 ppm dan 1,50 ppm, 1,55 ppm dan 2,00 ppm). Perlakuan terbaik diperoleh pada konsentrasi 1,50 ppm, dengan rata-rata jumlah daun tertinggi ($8,00 \pm 0,000$) dan panjang daun terpanjang ($8,083 \pm 0,022$ cm). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan hormon kinetin pada konsentrasi tertentu mampu mempercepat pemuliaan bibit *Nepenthes mirabilis* secara in vitro, menghasilkan jumlah bibit lebih banyak dalam waktu singkat, serta tidak tergantung pada musim. Dengan demikian, teknik kultur jaringan dengan penambahan hormon kinetin dapat menjadi solusi efektif dalam mendukung konservasi dan perbanyakan *Nepenthes mirabilis* secara berkelanjutan

Kata Kunci: *Hormon, kantong semar, konservasi, kultur jaringan, pemuliaan.*

Abstract

Nepenthes mirabilis is an endemic plant of Sumatra that has been classified as endangered since 2014. This plant needs to be conserved to prevent its extinction. One of the methods that can be applied to overcome the threat of extinction is plant propagation through modern tissue culture technology. Using this method, plant breeding can be carried out in a relatively short time, in large quantities, and without depending on seasonal conditions. The aim of this research is to conserve this rare species through experimental approaches using a completely randomized design. The data were analyzed both descriptively and quantitatively. In this study, variations of kinetin hormone concentrations were applied (0 ppm, 0.25 ppm, 0.50 ppm, 0.75 ppm, 1.0 ppm, 1.25 ppm, 1.50 ppm, 1.55 ppm, and 2.00 ppm). The best results were obtained at a concentration of 1.50 ppm, with the highest average number of leaves (8.00 ± 0.000) and the longest leaf length (8.083 ± 0.022 cm). These findings indicate that the application of kinetin at certain concentrations can accelerate the propagation of *Nepenthes mirabilis* seedlings in vitro, producing more plantlets in a shorter period of time, and without seasonal limitations. Therefore, tissue culture techniques with the addition of kinetin hormone can serve as an effective solution to support the conservation and sustainable propagation of *Nepenthes mirabilis*.

Keywords: *conservation, Hormone, pitcher plant, propagation, tissue culture*

PENDAHULUAN

Nepenthes sp., juga dikenal sebagai kantong semar, adalah genus tumbuhan karnivora yang terkenal dengan kantong penangkap serangga yang unik (Previaaningrum *et al.*, 2021; Isnaini, 2017; Nilanti *et al.*, 2024; Wardani *et al.*, 2024):. Tumbuhan ini tersebar di wilayah tropis Asia Tenggara, termasuk Indonesia, Malaysia, Filipina, dan beberapa pulau di Samudra Hindia (Renjana *et al.*, 2024; Amran *et al.*, 2024; Bhattacharya *et al.*, 2024; Cross *et al.*, 2020). Tumbuhan ini umumnya ditemukan di daerah dengan kelembaban tinggi, seperti hutan hujan tropis (Susilo *et al.*, 2024; Renjana *et al.*, 2024; Paidi *et al.*, 2025).

Nepenthes sp. merupakan salah satu spesies endemik Indonesia, tumbuhan ini hanya dapat ditemukan secara alami di wilayah Indonesia (Mahardhika *et al.*, 2023; Cross *et al.*, 2020). Habitat alaminya tersebar di beberapa pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan, dan Jawa (Siswanto, 2023). Indonesia merupakan surga bagi para pecinta tumbuhan karnivora, khususnya genus *Nepenthes* (Supriatna & Margules, 2022). Hingga saat ini, jumlah spesies *Nepenthes sp.* yang teridentifikasi di Indonesia mencapai puluhan jenis (Murni, 2020). Setiap spesies memiliki ciri khas bentuk kantong, warna, dan habitat yang berbeda-beda (Tarigan *et al.*, 2024; Fitmawati & Juliantari, 2023; Setiawan *et al.*, 2022). *Nepenthes* dikenal karena kantongnya yang unik, yang berfungsi sebagai perangkap serangga (Cheek *et al.*, 2019). Tumbuhan ini memiliki berbagai adaptasi menarik untuk menarik, menjebak, dan mencerna mangsanya (Miguel *et al.*, 2018 & Bauer *et al.*, 2016).

Nepenthes atau kantong semar, selain memiliki bentuk yang unik dan menarik, ternyata juga menyimpan segudang manfaat bagi kesehatan.

Potensi tanaman karnivora ini telah menarik perhatian para peneliti untuk mengungkap rahasia di balik khasiatnya diantaranya 1) Antibakteri Chan *et al.*, (2021); Satrimafitrah *et al.*, 2023 yaitu Cairan dalam kantong *Nepenthes sp.* mengandung senyawa antibakteri yang bermanfaat melawan berbagai jenis infeksi, antiinflamasi untuk mengobati peradangan dalam tubuh. 2) Antioksidan: *Nepenthes* dapat membantu melindungi jaringan tubuh dari kerusakan disebabkan radikal bebas (Wal *et al.*, 2024; Satrimafitrah *et al.*, 2023). 3) Potensi antikanker: Beberapa senyawa dalam *Nepenthes* sedang diteliti lebih lanjut untuk potensi efek antikankernya (Lai *et al.*, 2025; Kim *et al.*, 2024). Namun keberadaan *Nepenthes* mulai langka dan terancam punah (Robinson, & Roberts, 2024; Witono, 2024)

Berdasarkan data International Union for conservation of nature (IUCN) (2014) *Nepenthes sp.* telah masuk dalam daftar tumbuhan yang terancam punah. *Nepenthes* di alam liar semakin terancam punah disebabkan 1) Kebakaran dapat memusnahkan populasi *Nepenthes* secara massal (Devi *et al.*, 2019); 2) Permintaan yang tinggi dari kolektor tanaman eksotis mendorong perburuan liar *Nepenthes* (Fleischmann *et al.*, 2023); 3) Perubahan iklim dapat mengganggu pertumbuhan *Nepenthes* (Gray *et al.*, 2017); 4) Kenaikan permukaan air laut dapat mengancam habitat *Nepenthes* yang tumbuh di daerah pesisir (King, 2020); 5) Limbah industri dan pertanian dapat mencemari lingkungan hidup *Nepenthes*, sehingga mengganggu pertumbuhan dan perkembangannya (Wong, 2015); 6) Serangan hama seperti serangga dan jamur dapat merusak tanaman *Nepenthes* (Merbach *et al.*, 2007). Disamping itu terdapat kendala perbanyakkan *Nepenthes*. Budidaya tanaman *Nepenthes* dilakukan melalui biji namun, biji tidak mudah dijumpai, karena *nepenthes* bersifat

dioecious (Neli, 2021; & Isnaini, 2017). Selain itu cangkok dan stek dapat diaplikasikan dalam perbanyakan tanaman, tetapi memiliki kekurangan sulit mendapatkan bibit dalam jumlah yang banyak dan dalam kurun waktu yang singkat. Salah satu *Nepenthes* yang terancam punah yaitu *Nepenthes mirabilis*.

Banyaknya faktor penyebab kepunahan maka harus ada terobosan dalam konservasi/pemuliaan bibit tanaman yaitu dengan teknologi modern kultur jaringan. Kultur jaringan adalah salah satu teknik multiplikasi tanaman secara vegetatif kumar *et al.*, (2025) yang sangat menjanjikan untuk konservasi *Nepenthes*. Teknik ini memungkinkan banyak *Nepenthes* berkembang dalam waktu yang singkat (Omari, 2024). Hal ini sangat penting untuk meningkatkan populasi spesies yang terancam punah. Kultur jaringan dapat membantu melestarikan keanekaragaman genetik *Nepenthes* (Bhattacharjee *et al.*, 2024). Dengan menyimpan jaringan tanaman dalam kondisi kriopreservasi, kita dapat mempertahankan varietas genetik yang berharga. Tanaman yang dihasilkan melalui kultur jaringan umumnya bebas dari penyakit, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan daya tahan hidup tanaman (Tumaini *et al.*, 2024). Kultur jaringan memungkinkan konservasi *Nepenthes* di luar habitat aslinya, sehingga mengurangi tekanan terhadap populasi alami dan mampu mencegah kepunahan bibit *Nepenthes*.

Pada kultur jaringan tanaman kantong semar tidak terlepas dari hormon agar suatu jaringan lebih cepat tumbuh. Salah satu hormon yang dapat mempercepat tumbuhnya tunas yaitu Kininetin. Kininetin berperan sebagai pemicu pembelahan sel meristem Kantharaj *et al.*, (2024); Setiadi *et al.*, (2025) dan diferensiasi sel meristematik menjadi tunas (Ramadhan *et al.*, 2024; Walker & Bennett, 2024) dengan cara

memicu ekspresi gen agar mempercepat mitosis pada sel-sel meristem tunas, Wu *et al.*, (2021). Pemberian kinetin dapat menghambat tunas lateral (Bhagiya *et al.*, 2025). Sehingga kinetin berfokus terhadap pertumbuhan tunas apikal (Shri, & Pandey, 2025).

Beberapa penelitian tentang kultur jaringan tanaman kantong semar telah dilakukan diantaranya: Perbanyakan Tanaman Kantong Semar (*Nepenthes* spp) pada Berbagai Media dan Asam Indol Asetat (IAA) Secara In Vitro (Srilestari & Herastuti, 2023); Perkecambahan Biji dan Pertumbuhan Kecambah *Nepenthes gymnamphora* Nees terhadap Garam Mineral MS, Pepton, dan Thidiazuron (Nurchayati, 2022); Pembentukan kantong *Nepenthes ampullaria* dan *Nepenthes rafflesiana* pada media in vitro yang dimodifikasi (Isnaini & Novitasari, 2023); Perbanyakan *Nepenthes mirabilis* Lour (Druce) secara In Vitro dengan Variasi Konsentrasi Sukrosa dan BAP (Rahayu & Banowati, 2022); Pengaruh Konsentrasi BAP (6-Benzyl Amino Purine) terhadap Pertumbuhan Mikrostek *Nepenthes ampullaria* (Budisantoso *et al.*, 2018); Modifikasi Formulasi Media dan Konsentrasi untuk Meningkatkan Mikropropagasi Tanaman Kantong Semar (*Nepenthes mirabilis* (Lour.) Druce) untuk Konservasi dan Pengembangan Mikroflorikultur (Putri *et al.*, 2024); Perbanyakan tumbuhan kantong semar (*Nepenthes gracilis* Korth. dan *Nepenthes reinwardtiana* Miq.) melalui induksi kalus (Isnaini & Novitasari, 2021); Kultur Tunas *Nepenthes albomarginata* Lobb ex Lindl. In Vitro dengan penambahan BA dan NAA (Sukamto *et al.*, 2011). Namun belum ada penelitian tentang pemuliaan bibit tanaman kantong semar (*Nepenthes mirabilis*) dengan menambahkan hormon Kininetin melalui teknologi modern kultur jaringan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus-Oktober 2025, di ruang Kultur Jaringan, Laboratorium Biologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang. Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif dengan desain penelitian rancangan acak lengkap (RAL) dengan menggunakan 9 perlakuan (0,0 ppm kinetin; 0,25 ppm kinetin; 0,50 ppm kinetin; 0,75 ppm kinetin; 1,00 ppm kinetin; 1,25 ppm kinetin; 1,50 ppm kinetin; 1,75 ppm kinetin; 2,00 ppm kinetin dan 3 pengulangan.

Alat dalam penelitian ini yang digunakan diantaranya: *Laminair air flow* (LAF), *Autoclave*, botol kultur 100 ml, gelas ukur 100 ml, gelas beker 250 ml, 500 ml dan 1000 ml, erlenmeyer 250 ml, 500 ml dan 1000 ml, *hotplate* dengan *magnetic stirrer*, pinset 15 cm, 29 cm dan 25 cm, *scalpel handle* no 4, blade no 23 cawan petri 15 cm, timbangan digital, bunsen, korek api, kertas label, kertas *copy*, aluminium foil, dan kertas pH. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah planlet *Nepenthes mirabilis*, bahan sterilisasi (alkohol, aquades steril, detergen), media dasar ½ MS (*Murashige dan Skoog*), agar-agar, sukrosa, Kinetin.

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan seperti Sterilisasi Alat-alat seperti botol kultur, alat disecting (Scaple, pinset, gunting), Erlenmeyer dan alat lainnya dicuci bersih dengan detergen, lalu dikeringkan dengan oven, lalu sterilkan dengan autoklaf dengan temperatur 121°C selama kurang lebih 20 menit (Tagiran, 2025).

Pembuatan media memodifikasi Isnaini (2023) dengan menimbang media ½ MS (*Murashige and Skoog*) 2,215 g, agar-agar 4 g, sukrosa 15 g, kemudian media dan sukrosa dimasukkan ke dalam aquades dan di homogenkan dengan *stirrer* diatas *hotplate*, ditambahkan ZPT

sesuai komposisi media ½ MS, ukur pH 5,8 apabila >5,8 maka tambahkan HCL 1N, jika 5,8 maka tambahkan KOH 1N. tambahkan agar-agar dan panaskan hingga suhu mencapai 85°C, media tersebut dituang ± 20 ml ke dalam botol kultur dan ditutup menggunakan aluminium foil. Kemudian disterilkan menggunakan *Autoclave* dengan suhu 121°C selama 15 menit.

Sebelum melakukan inisiasi, semua alat dan bahan yang digunakan disterilkan menggunakan alkohol 70% dan dimasukkan kedalam *Laminair air flow* (LAF), untuk disterilkan menggunakan sinar UV selama 60 menit kecuali eksplan. Selanjutnya inisiasi eksplan *Nepenthes mirabilis*: planlet dikeluarkan dari botol kultur satu persatu, kemudian disterilkan dengan NaOCl sebanyak 2%, kemudian dibilas dengan menggunakan aquades steril, kemudian eksplan ditiriskan menggunakan kertas saring dan diseleksi agar memiliki keseragaman ukuran yang sama, dengan cara diukur menggunakan penggaris steril yang diletakkan dibawah cawan petri sebagai alas eksplan. Terakhir eksplan diinisiasi dalam botol kultur dan di letakkan diruang kultur selama 8 minggu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi kantong semar (*Nepenthes mirabilis*) yang telah dikultur sebagai pemuliaan bibit tanaman.

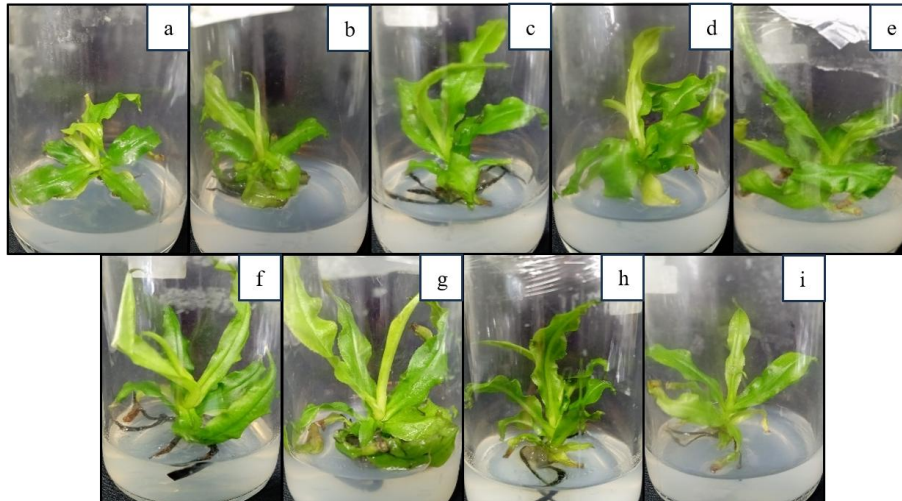
Berdasarkan hasil kultur selama 8 minggu, planlet *Nepenthes mirabilis* pada media tanpa penambahan Kinetin (0,0 ppm) (Gambar 1a) menunjukkan pertumbuhan paling lambat dengan jumlah tunas terbatas, daun kecil, roset rendah, dan warna hijau pucat. Kondisi ini sejalan dengan temuan Aniu (2022) dan Andini (2019) yang melaporkan bahwa perlakuan kontrol menghasilkan pertumbuhan paling lambat akibat minimnya aktivitas sitokinin yang berperan dalam pembelahan sel dan

pembentukan tunas (Sosnowski *et al.*, 2023). Pertumbuhan dan organogenesis pada kultur jaringan sangat bergantung pada ketersediaan hormon, khususnya sitokinin seperti Kinetin yang berfungsi merangsang pembelahan sel meristem, menginduksi tunas adventif, dan mendorong diferensiasi jaringan (Fazeli-Nasab *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2021). Tanpa sitokinin eksogen, eksplan bergantung pada kadar sitokinin endogen yang sering kali rendah, sehingga aktivitas meristem apikal dan aksilar menurun dan menyebabkan frekuensi pembentukan tunas baru menjadi sangat terbatas (Šmeringai *et al.*, 2019; Grzegorzcyk-Karolak *et al.*, 2021).

Pada konsentrasi 0,25 ppm Kinetin (Gambar 1b), planlet menunjukkan peningkatan vigor dibanding kontrol, dengan daun lebih lebar dan hijau serta munculnya tunas lateral yang masih jarang. Kondisi ini sesuai dengan temuan Nurchayati (2022) pada *Nepenthes gymnamphora* yang menunjukkan sedikit peningkatan turgor. Dosis rendah Kinetin ini berada pada ambang rangsang sitokinin yang masih lemah namun aktif secara biologis, sehingga memicu respons fisiologis awal seperti aktivasi gen siklus sel (siklin dan CDK) yang mendorong pembelahan sel pada meristem pucuk (Quevedo-Amaya & Moreno-Fonseca, 2025). Stimulasi tersebut belum maksimal, sehingga efeknya hanya berupa pelebaran daun dan inisiasi beberapa primordium lateral

(Yadav, 2010). Selain menginduksi pembelahan, sitokinin juga meningkatkan ekspansi sel melalui pengaturan sintesis dinding sel dan aktivitas ekspansi (Svolacchia & Sabatini, 2023) serta memodulasi perkembangan kloroplas dan biosintesis klorofil yang membuat daun tampak lebih hijau (Cackett *et al.*, 2022).

Respon yang relatif lemah pada konsentrasi 0,25 ppm Kinetin, ditandai dengan sedikitnya tunas lateral dan perubahan morfologi yang belum mencolok, disebabkan berbagai faktor yang memengaruhi ketersediaan serta efektivitas hormon di jaringan eksplan. Kinetin yang diserap dari medium dapat mengalami hambatan dalam permeabilitas membran, transport aktif, maupun degradasi enzimatis oleh CKX sehingga konsentrasi efektif di jaringan target menjadi lebih rendah (Hu & Schaller, 2023; Nedvěd *et al.*, 2021). Selain itu, rasio auksin–sitokinin yang masih tinggi dapat menekan pembentukan tunas meskipun terdapat Kinetin dalam jumlah rendah (Kumar *et al.*, 2025). Faktor lingkungan *in vitro* seperti ketersediaan sukrosa, pH medium, suhu, dan intensitas cahaya juga memengaruhi energi serta turgor sel yang diperlukan untuk ekspansi sel (Ćosić *et al.*, 2021). Kombinasi faktor-faktor tersebut menyebabkan respons fenotipik bahwa rasio hormon dan kondisi lingkungan dalam menentukan hasil organogenesis (Chen *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2025).



Gambar 1 Morfologi planlet *Nepenthes mirabilis*, a) 0,0 ppm Kinetin, b) 0,25 ppm Kinetin, c) 0,5 ppm Kinetin, d) 0,75 ppm Kinetin, e) 1,00 ppm Kinetin, f) 1,25 ppm Kinetin, g) 1,50 ppm Kinetin, h) 1,75 ppm Kinetin. i) 2,00 ppm Kinetin.

Pada konsentrasi 0,5 ppm Kinetin (Gambar 1c), planlet *Nepenthes mirabilis* menunjukkan pertumbuhan yang lebih nyata dengan daun lebih panjang, tebal, dan berwarna hijau pekat. Percabangan tunas yang merata serta roset yang kompak menandakan peningkatan aktivitas pembelahan sel akibat stimulasi sitokinin (Astuti *et al.*, 2020; Werner & Schmülling, 2009). Perubahan ini mencerminkan sinergi antara percepatan pembelahan dan ekspansi sel melalui induksi enzim ekspansin yang meningkatkan plastisitas dinding sel (Suryani & Dinarti, 2023; Sultan *et al.*, 2021). Sitokinin juga menstimulasi diferensiasi jaringan fotosintetik dan pematangan kloroplas, sehingga akumulasi klorofil dan kapasitas fotosintetik meningkat (Pratiwi & Nurcahyani, 2022; Sakakibara, 2021). Dominasi percabangan tunas dipengaruhi oleh keseimbangan auksin–sitokinin, di mana rasio sitokinin yang lebih tinggi menekan dominansi apikal dan memungkinkan perkembangan tunas aksilar secara merata (Widiayani *et al.*, 2024), menghasilkan roset yang rapat dan seragam sebagai ciri multiplikasi kultur yang optimal (Reinhardt *et al.*, 2018). Selain itu, sitokinin meningkatkan

transportasi nutrisi dan aliran sumber–sink yang memperlancar distribusi fotosintat serta nitrogen ke jaringan muda, mendukung pembelahan dan pembesaran sel (Villar-Salvador *et al.*, 2015). Secara keseluruhan, konsentrasi 0,5 ppm Kinetin dapat dianggap mendekati tingkat optimal untuk merangsang pertumbuhan vegetatif *in vitro* serta menegaskan pentingnya rasio hormonal dalam regulasi organogenesis dan peningkatan kapasitas fotosintetik *Nepenthes mirabilis*.

Pada konsentrasi 0,75 ppm Kinetin (Gambar 1d), planlet menunjukkan pertumbuhan vigor dengan percabangan tunas lebih banyak, daun lebih lebar, dan warna hijau yang lebih intens tanpa gejala abnormalitas. Kondisi ini menandakan aktivitas sitokinin yang optimal dalam mengatur pembelahan serta diferensiasi sel melalui peningkatan ekspresi gen siklus sel yang mempercepat mitosis di meristem pucuk (Wu *et al.*, 2021), sehingga mendukung pembentukan tunas aksilar yang melimpah dan roset yang kompak (McKim, 2019). Rasio sitokinin yang lebih tinggi juga menekan dominansi apikal yang dikendalikan auksin, memungkinkan perkembangan tunas

lateral secara merata (Žukauskaitė *et al.*, 2023). Selain itu, pelebaran daun menunjukkan peran sitokinin dalam ekspansi sel melalui aktivasi enzim ekspansin dan sintesis dinding sel, menyebabkan lamina daun menebal dan melebar (Wu *et al.*, 2021). Sitokinin juga mempercepat pematangan kloroplas dan biosintesis klorofil, meningkatkan intensitas warna hijau dan kapasitas fotosintetik yang menyediakan energi serta karbon untuk mendukung fase multiplikasi tunas (Liu *et al.*, 2020).

Pada pemberian 1,0 ppm Kinetin (Gambar 1e), planlet *Nepenthes mirabilis* memperlihatkan morfologi sehat dan seimbang dengan jumlah tunas meningkat, daun panjang dan tebal, serta warna hijau tua yang menandakan aktivitas fotosintesis tinggi tanpa gejala vitrifikasi. Konsentrasi ini termasuk dalam rentang efektif untuk multiplikasi tunas karena mendekati tingkat optimal stimulasi sitokinin (Khan *et al.*, 2022). Secara fisiologis, sitokinin mengaktifkan gen pengendali siklus sel yang mempercepat transisi G1–S, meningkatkan pembelahan di meristem pucuk (Wul *et al.*, 2021), dan menjelaskan peningkatan jumlah tunas serta pembesaran organ vegetatif (Kalve *et al.*, 2014). Daun yang panjang dan tebal mencerminkan kombinasi pembelahan dan ekspansi sel yang optimal melalui stimulasi enzim ekspansin dan peningkatan turgor yang memperluas sel parenkim lamina (Nedukha, 2020). Sitokinin juga memacu pematangan kloroplas dan biosintesis klorofil, meningkatkan kandungan pigmen fotosintetik dan efisiensi asimilasi karbon (Wang *et al.*, 2021). Rasio auksin–sitokinin pada konsentrasi ini menekan dominansi apikal dan merangsang pertumbuhan tunas aksilar secara merata, sementara kondisi kultur tetap stabil tanpa vitrifikasi (EL Sabagh *et al.*, 2022). Secara keseluruhan,

konsentrasi 1,0 ppm Kinetin berada dalam kisaran optimal untuk multiplikasi *in vitro Nepenthes mirabilis*, menghasilkan tunas melimpah dengan morfologi baik serta fotosintesis efisien—dua faktor penting dalam produksi planlet berkualitas tinggi untuk konservasi dan perbanyakan komersial (Cavallaro *et al.*, 2022).

Pada pemberian 1,25 ppm Kinetin (Gambar 1f), planlet *Nepenthes mirabilis* menunjukkan pertumbuhan vigor tinggi dengan daun panjang dan tunas melimpah. Beberapa eksplan mulai memperlihatkan pemanjangan internodus halus, namun kondisi keseluruhan tetap sehat tanpa gejala abnormalitas, menandakan respons yang mendekati puncak aktivitas sitokinin. Rasio auksin–sitokinin pada konsentrasi ini tampak berada pada titik optimum, di mana dominasi sitokinin menekan dominansi apikal dan mendorong percabangan tunas merata, sementara kadar auksin endogen tetap cukup untuk menjaga pembentukan akar serta stabilitas morfologi (Olatunji *et al.*, 2017). Tidak ditemukannya gejala hiperhidrisitas menunjukkan bahwa meskipun berada pada tingkat stimulasi tinggi, konsentrasi ini masih berada dalam rentang fisiologis yang aman (Polivanova & Bedarev, 2022). Secara keseluruhan, 1,25 ppm Kinetin memberikan respons maksimal terhadap multiplikasi *in vitro* dengan menghasilkan planlet vigor, daun panjang, dan tunas melimpah, serta dapat dianggap sebagai batas atas efektif sebelum munculnya efek samping sitokinin seperti pemanjangan internodus berlebih atau vitrifikasi.

Pada pemberian 1,5 ppm Kinetin (Gambar 1g), planlet *Nepenthes mirabilis* menunjukkan pertumbuhan paling optimal dengan jumlah tunas terbanyak, roset padat, serta daun lebar dan hijau pekat. Tekstur daun yang normal dan turgid tanpa gejala vitrifikasi

menandakan keseimbangan ideal antara pembelahan sel dan diferensiasi jaringan. Konsentrasi ini menjadi perlakuan terbaik untuk multiplikasi tunas karena rasio auksin–sitokinin yang terbentuk mampu menekan dominansi apikal dan mendorong perkembangan tunas lateral secara seragam, sekaligus mempertahankan diferensiasi jaringan yang stabil tanpa pembentukan kalus berlebih atau anomali morfologis (Žukauskaitė *et al.*, 2023; Zunazri *et al.*, 2024). Daun yang lebar dan hijau pekat mencerminkan peningkatan ekspansi sel dan kapasitas fotosintetik akibat stimulasi sitokinin terhadap pematangan kloroplas, sintesis klorofil, serta aktivitas enzim fotosintetik. Tekstur daun yang tetap turgid menunjukkan integritas dinding sel dan keseimbangan air jaringan yang baik, sejalan dengan peningkatan ekspresi gen transporter air (aquaporin). Kombinasi antara pembelahan sel yang aktif, diferensiasi jaringan yang proporsional, dan efisiensi fotosintesis tinggi menjadikan konsentrasi 1,5 ppm Kinetin sebagai perlakuan paling efektif untuk multiplikasi *in vitro* *Nepenthes mirabilis*.

Pada pemberian 1,75 ppm Kinetin (Gambar 1h), jumlah tunas *Nepenthes mirabilis* masih tinggi, namun mulai tampak perubahan morfologi seperti daun melengkung dan permukaan mengilap. Kondisi ini menunjukkan stimulasi sitokinin yang berlebihan, menyebabkan rasio auksin–sitokinin menjadi tidak seimbang (Mok, 2019). Dominasi sitokinin memicu pembelahan sel meristem yang sangat cepat, tetapi mengganggu diferensiasi normal (Wu *et al.*, 2021), sehingga terbentuk jaringan berdinding tipis dan berair tinggi yang tampak sebagai gejala vitrifikasi. Permukaan daun yang mengilap menandakan akumulasi air dan penipisan kutikula, sedangkan kelengkungan daun mencerminkan gangguan tekanan turgor akibat ketidakseimbangan osmoregulasi

(Ali *et al.*, 2023). Gejala tersebut mengindikasikan jaringan mendekati ambang toksisitas fisiologis. Kelebihan sitokinin juga dapat meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan menurunkan kapasitas antioksidan, memicu stres oksidatif yang berdampak pada morfologi planlet (Tognetti *et al.*, 2017). Dengan demikian, meskipun jumlah tunas masih tinggi, kualitas planlet menurun akibat ketidakseimbangan hormonal dan stres fisiologis pada konsentrasi ini.

Pada pemberian 2,0 ppm Kinetin (Gambar 3.1i), planlet *Nepenthes mirabilis* menunjukkan morfologi abnormal dengan daun transparan, rapuh, dan gejala vitrifikasi yang jelas. Kelebihan sitokinin pada konsentrasi ini memicu aktivitas pensinyalan berlebih (Li *et al.*, 2021), menyebabkan rasio auksin–sitokinin menjadi sangat tidak seimbang dan pembelahan sel berlangsung tanpa kendali (Schaller *et al.*, 2014). Pembelahan cepat tanpa diferensiasi memadai menghasilkan jaringan berdinding tipis dan berair tinggi akibat rendahnya deposisi lignin, selulosa, serta kutikula. Selain itu, kadar sitokinin yang terlalu tinggi meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dan mengganggu keseimbangan hormon lain seperti auksin dan giberelin, sehingga kapasitas antioksidan menurun dan stres oksidatif meningkat (Tognetti *et al.*, 2017). Kondisi tersebut menyebabkan jaringan rapuh dan transparan, menurunkan kualitas planlet meskipun jumlah tunas meningkat (Abu-Romman *et al.*, 2015). Planlet dengan tingkat vitrifikasi tinggi umumnya gagal beradaptasi pada tahap aklimatisasi karena jaringan berair mudah mengalami dehidrasi dan infeksi, sehingga konsentrasi 2,0 ppm Kinetin tidak direkomendasikan untuk perbanyakan *Nepenthes mirabilis* karena

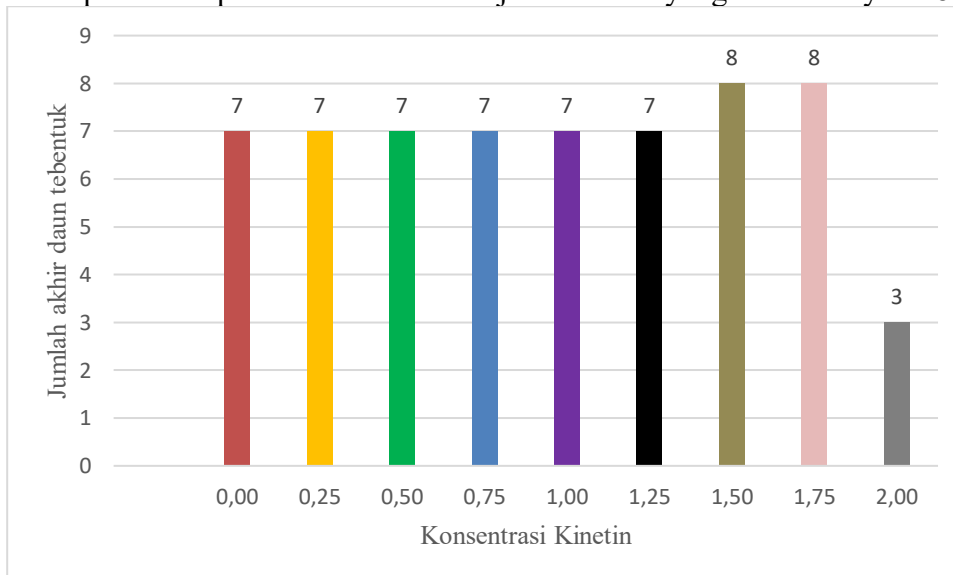
lebih menonjolkan proliferasi kuantitatif daripada kualitas morfologis.

Pemambahan hormon Kinetin terhadap jumlah daun tanaman kantong semar (*Nepenthes mirabilis*) melalui teknologi modern kultur jaringan

Pengamatan terhadap jumlah penambahan daun *Nepenthes mirabilis* setelah 8 minggu kultur menunjukkan pola respons yang konsisten terhadap peningkatan konsentrasi Kinetin. Pada perlakuan tanpa Kinetin (0,00 ppm), rata-rata penambahan daun mencapai 3 daun per eksplan, sedangkan pada konsentrasi 0,25–1,25 ppm meningkat menjadi 7 daun per eksplan. Respons maksimal

tercapai pada 1,50 dan 1,75 ppm, dengan rata-rata penambahan 4 daun per eksplan atau total 8 helai daun. Namun, pada konsentrasi tertinggi (2,00 ppm), jumlah daun kembali menurun menjadi 7 helai. Secara kuantitatif, peningkatan sebesar $\pm 33,3\%$ pada kisaran 1,50–1,75 ppm dibandingkan kontrol menunjukkan bahwa konsentrasi tersebut merupakan titik optimum untuk stimulasi pembentukan daun.

Pada konsentrasi 0,00; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 ppm dan 1,25 ppm kinetin jumlah daun yang bertambah yaitu 3 dari 4 daun awal penanaman sehingga akhir pengamatan daun menjadi 7 helai ini sesuai penelitian Andini (2019) pada penambahan kinetin pada rentan 0-1 jumlah daun yang terbentuk yaitu 8 helai.



Grafik 1. Jumlah daun pada akhir pengamatan pada berbagai konsentrasi

Hasil kuantitatif penelitian ini sejalan dengan mekanisme fisiologis sitokinin, khususnya kinetin, yang berperan dalam merangsang pembelahan sel meristematik serta inisiasi tunas dan primordia daun pada *Nepenthes mirabilis* in vitro. Sitokinin berinteraksi dengan reseptor spesifik dan mengaktifkan jalur transduksi sinyal tipe *phosphorelay* (Mohapatra & Sahu, 2021), yang selanjutnya menstimulasi *Arabidopsis Response Regulator* (ARR) tipe-B

sebagai faktor transkripsi pengatur ekspresi gen pertumbuhan. Aktivasi ARR tipe-B memicu ekspresi gen siklus sel seperti *Cyclin D3* (*CYCD3*) (Kwon & Wang, 2011), yang berikatan dengan *Cyclin-Dependent Kinase* (*CDK*) membentuk kompleks aktif untuk memfosforilasi protein *Retinoblastoma-like* (*Rb*). Proses ini membebaskan faktor transkripsi penginduksi gen replikasi DNA, mempercepat transisi fase G1–S, dan meningkatkan laju pembelahan sel.

Akibatnya, terbentuk lebih banyak primordia daun baru pada *Nepenthes mirabilis* (Dewitte *et al.*, 2007).

Pada rentang konsentrasi rendah hingga menengah (0–1,25 ppm), pengaruh kinetin terhadap pembentukan primordia daun *Nepenthes mirabilis* relatif stabil. Meskipun terjadi aktivasi jalur ARR tipe-B dan *CYCD3* yang meningkatkan pembelahan sel, sinyal sitokinin belum mencapai ambang fisiologis yang diperlukan untuk memicu inisiasi primordium daun tambahan secara signifikan. Akibatnya, perlakuan pada konsentrasi ini hanya menghasilkan rata-rata tiga daun baru selama delapan minggu, dengan total peningkatan dari empat menjadi tujuh helai daun. Pertumbuhan tersebut terutama disebabkan oleh pembelahan sel yang memperbesar ukuran daun dan membentuk sejumlah kecil primordia baru, namun belum cukup untuk memicu siklus inisiasi daun berikutnya (Sprangers *et al.*, 2016).

Sebaliknya, pada konsentrasi 1,50–1,75 ppm, kinetin telah melampaui ambang stimulasi fisiologis sehingga aktivasi ARR tipe-B berlangsung lebih kuat dan ekspresi *CYCD3* meningkat secara signifikan. Peningkatan ini memperbanyak jumlah sel meristem yang aktif membelah, disertai modulasi interaksi dengan auksin yang mengatur pola *auxin maxima* di tepi meristem (Mazzoni-Putman *et al.*, 2021). Sinergi kedua hormon tersebut meningkatkan kompetensi meristem *Nepenthes mirabilis* dalam membentuk primordia daun baru, yang menghasilkan satu siklus inisiasi tambahan selama delapan minggu, sehingga jumlah daun meningkat menjadi delapan helai dari empat helai awal.

Fenomena *plateau* atau penurunan respons pada konsentrasi tinggi, seperti 2,00 ppm, disebabkan oleh mekanisme umpan balik negatif. Aktivasi sitokinin

yang berlebihan menstimulasi ekspresi ARR tipe-A sebagai regulator penghambat serta meningkatkan aktivitas enzim Cytokinin Oxidase/Dehydrogenase (CKX) yang berfungsi mendegradasi sitokinin (Li *et al.*, 2021). Akumulasi hormon yang berlebih juga dapat menimbulkan stres fisiologis pada jaringan kultur, termasuk vitrifikasi dan kelainan morfogenetik, yang pada akhirnya menghambat pembentukan daun lebih lanjut (Wijerathna-Yapa *et al.*, 2023).

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kinetin pada konsentrasi rendah hingga menengah (0–1,25 ppm) hanya mampu menstimulasi pembelahan sel untuk ekspansi dan pembentukan daun baru secara terbatas, menghasilkan rata-rata tujuh helai daun pada akhir pengamatan. Sebaliknya, pada konsentrasi optimum (1,50–1,75 ppm), aktivasi ARR tipe-B dan induksi *CYCD3* yang mempercepat transisi G1→S telah melampaui ambang fisiologis yang diperlukan untuk memicu inisiasi primordium daun tambahan, sehingga terbentuk delapan helai daun. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas kinetin dalam perbanyakkan *Nepenthes mirabilis* secara *in vitro* bergantung pada konsentrasi yang tepat, dengan rentang optimum yang mendukung keberhasilan konservasi melalui perbanyakkan vegetatif berkelanjutan.

Peningkatan jumlah daun menjadi delapan helai pada konsentrasi 1,50–1,75 ppm menunjukkan bahwa ambang efektif untuk merangsang inisiasi daun pada kultur *Nepenthes mirabilis* berada di sekitar kisaran tersebut, di mana kinetin mampu mempercepat siklus pembelahan dan diferensiasi primordia daun tanpa menurunkan kualitas jaringan (Ghazy *et al.*, 2023). Sebaliknya, penurunan respons pada 2,00 ppm mencerminkan efek supra-optimal kinetin yang menyebabkan ketidakseimbangan rasio

sitokinin–auksin atau munculnya stres fisiologis seperti vitrifikasi, pembentukan kalus, dan penurunan efisiensi fotosintesis lokal (Sosnowski *et al.*, 2023). Fenomena puncak respons yang diikuti penurunan pada konsentrasi tinggi merupakan karakteristik umum regulasi hormon tanaman *in vitro*, di mana efek promotif memiliki batas atas sebelum beralih menjadi faktor penghambat diferensiasi normal

Pemambahan hormon Kinetin terhadap Panjang daun tanaman kantong semar (*Nepenthes mirabilis*) melalui teknologi modern kultur jaringan

Rata-rata panjang daun *Nepenthes mirabilis* setelah 56 hari kultur *in vitro* menunjukkan variasi yang signifikan

akibat perbedaan konsentrasi kinetin. Perlakuan tanpa kinetin (0,00 ppm) menghasilkan daun terpendek dengan rata-rata $3,495 \pm 0,040$ cm, sedangkan penambahan 0,25 ppm dan 0,50 ppm meningkatkan panjang daun masing-masing menjadi $3,995 \pm 0,788$ cm dan $4,643 \pm 0,917$ cm. Pertumbuhan terus meningkat hingga mencapai $6,552 \pm 0,026$ cm pada 1,25 ppm, kemudian mencapai nilai tertinggi pada 1,50 ppm dengan panjang rata-rata $8,083 \pm 0,022$ cm. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi (1,75–2,00 ppm), panjang daun menurun signifikan menjadi $5,704 \pm 1,198$ cm dan $4,571 \pm 0,219$ cm. Perbedaan superskrip antarperlakuan menunjukkan bahwa variasi tersebut signifikan secara statistik, menegaskan bahwa kinetin berpengaruh nyata terhadap pemanjangan daun pada kultur *Nepenthes mirabilis*.

Tabel 3.1 Rerata jumlah daun dan panjang daun *Nepenthes mirabilis* setelah dikultur selama 8 minggu

Konsentrasi Kinetin (ppm)	Rata-rata	
	Jumlah Daun	Panjang Daun
0,00	7 + 0,000 ^a	3,495 ± 0,040 ^a
0,25	7 + 0,000 ^a	3,995 ± 0,788 ^b
0,50	7 + 0,000 ^a	4,643 ± 0,917 ^c
0,75	7 + 0,000 ^a	5,014 ± 0,036 ^d
1,00	7 + 0,000 ^a	5,471 ± 0,230 ^e
1,25	7 + 0,000 ^a	6,552 ± 0,026 ^f
1,50	8 + 0,000 ^b	8,083 ± 0,022 ^g
1,75	8 + 0,000 ^b	5,704 ± 1,198 ^h
2,00	7 + 0,000 ^a	4,571 ± 0,219 ^c

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang daun *Nepenthes mirabilis* meningkat bertahap seiring penambahan kinetin dari konsentrasi rendah hingga menengah. Pada kontrol (0,00 ppm), panjang daun hanya mencapai 3,495 cm, namun meningkat hingga 6,552 cm pada konsentrasi 1,25 ppm. Pola ini menegaskan peran signifikan kinetin dalam merangsang pertumbuhan organ vegetatif, khususnya daun, melalui mekanisme fisiologis yang melibatkan fungsi sitokinin sebagai hormon pemacu pembelahan dan diferensiasi sel

(Svolacchia & Sabatini, 2023). Secara fisiologis, kinetin berperan sebagai sitokinin yang merangsang pembelahan sel (*cytokinesis*) di daerah meristem pucuk (Sosnowski *et al.*, 2023). Aktivasi reseptor sitokinin memicu ekspresi faktor transkripsi ARR tipe-B yang menginduksi gen siklus sel seperti *Cyclin D3 (CYCD3)* (Zubo & Schaller, 2020), yang berfungsi mengatur transisi fase G1 menuju fase S sehingga mempercepat proliferasi sel meristematik (Qi & Zhang, 2020). Peningkatan jumlah sel hasil pembelahan ini menjadi dasar

pertumbuhan organ, termasuk pemanjangan daun. Dengan demikian, peningkatan konsentrasi kinetin dalam rentang 0,25–1,25 ppm memberikan efek positif terhadap pertambahan panjang daun *Nepenthes mirabilis*.

Selain merangsang pembelahan sel, kinetin juga meningkatkan biosintesis protein dan asam nukleat yang menunjang aktivitas metabolik sel (Barciszewski *et al.*, 2000). Peningkatan ini mendorong pemanjangan sel parenkim daun melalui aktivasi enzim pelonggar dinding sel seperti *expansin*, yang memfasilitasi proses ekspansi sel (Ghazy *et al.*, 2023). Kombinasi antara proliferasi sel meristematik dan ekspansi sel parenkim menjelaskan peningkatan panjang daun dari 3,495 cm menjadi 6,552 cm pada rentang konsentrasi rendah hingga menengah. Dengan demikian, kinetin berperan ganda sebagai pemicu pembelahan sel dan stimulator ekspansi jaringan, menghasilkan pertumbuhan panjang daun yang signifikan pada *Nepenthes mirabilis* dalam kultur jaringan.

Peningkatan konsentrasi kinetin memberikan pengaruh signifikan terhadap pertambahan panjang daun *Nepenthes mirabilis* yang dikultur secara *in vitro* selama delapan minggu. Panjang daun meningkat bertahap dari 3,495 cm pada kontrol (0,00 ppm) hingga 6,552 cm pada 1,25 ppm, dan mencapai nilai maksimum 8,083 cm pada 1,50 ppm. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi (1,75 dan 2,00 ppm), panjang daun menurun masing-masing menjadi 7,25 cm dan 6,75 cm. Pola kuadratik ini menunjukkan bahwa respons pertumbuhan daun terhadap kinetin memiliki titik optimum pada 1,50 ppm, menandakan adanya ambang fisiologis di mana peningkatan konsentrasi sitokinin hanya efektif hingga batas tertentu sebelum menimbulkan kejenuhan atau

efek penghambatan hormon (Ahmad *et al.*, 2019).

Pada rentang konsentrasi rendah hingga menengah (0,25–1,25 ppm), peningkatan panjang daun *Nepenthes mirabilis* sejalan dengan fungsi fisiologis kinetin sebagai sitokinin yang berperan dalam pembelahan sel (*cytokinesis*) dan merangsang ekspansi jaringan melalui peningkatan aktivitas meristem. Kinetin pada taraf ini meningkatkan aktivitas daerah meristem pucuk serta menginduksi biosintesis protein dan asam nukleat, sehingga terjadi percepatan pembelahan dan pemanjangan sel parenkim daun. Selain itu, sitokinin juga memicu ekspresi gen pengatur siklus sel seperti *Cyclin D3* (*CYCD3*) melalui aktivasi regulator transkripsi *ARR* tipe-B (*Arabidopsis Response Regulator* tipe-B) yang berperan sebagai pengendali utama pembelahan sel pada jaringan muda. Akibatnya, jaringan daun mengalami ekspansi dan perluasan lamina. Fenomena ini sejalan dengan temuan Dewir *et al.* (2021), yang melaporkan bahwa konsentrasi sitokinin rendah hingga menengah mampu mempercepat pembentukan organ vegetatif melalui peningkatan ekspresi gen siklus sel dan aktivitas enzim pelonggar dinding sel. Dengan demikian, pertambahan panjang daun *Nepenthes mirabilis* pada taraf ini dapat dikaitkan langsung dengan peningkatan aktivitas fisiologis dan biokimia yang mendukung pertumbuhan vegetatif secara optimal.

Peningkatan panjang daun mencapai nilai maksimum pada konsentrasi 1,50 ppm, yang ditetapkan sebagai taraf optimum Kinetin bagi pertumbuhan daun *Nepenthes mirabilis*. Pada konsentrasi ini, keseimbangan antara sitokinin eksogen dan auksin endogen berada pada kondisi sinergis, memungkinkan pembelahan dan pembesaran sel berlangsung seimbang. Kinetin pada taraf optimum

meningkatkan aktivitas metabolik jaringan, memperkuat pembelahan sel meristematik, serta menstimulasi ekspansi jaringan daun muda. Secara fisiologis, hal ini didukung oleh peningkatan aktivitas enzim pelonggar dinding sel seperti ekspansin, selulase, dan xiloglukan endotransglikosilase/hidrolase (XTH), yang memungkinkan peregangan sel parenkim secara maksimal. Selain itu, sintesis protein struktural dan translokasi fotosintat menuju pucuk meningkat, mendukung pembentukan lamina daun yang lebih luas dan panjang. Hasil ini konsisten dengan temuan Nuaini *et al.*, (2017) pada *Solanum tuberosum* L, di mana kinetin 1,5 ppm menghasilkan panjang tunas tertinggi sebelum menurun pada taraf lebih tinggi, serta Rahman *et al.* (2023) yang melaporkan efek optimum sitokinin 1,5 ppm pada *Drosera burmannii*. Dengan demikian, konsentrasi 1,50 ppm terbukti sebagai taraf paling efektif dalam mengoptimalkan pembelahan dan ekspansi sel secara sinergis untuk pertumbuhan daun *Nepenthes mirabilis*.

Namun, pada konsentrasi tinggi (1,75–2,00 ppm), panjang daun kembali menurun, menandakan adanya regulasi negatif akibat kelebihan Kinetin. Aktivitas sitokinin yang berlebih memicu umpan balik negatif melalui aktivasi ARR tipe-A, yaitu regulator yang menghambat kerja ARR tipe-B dan menekan ekspresi CYCD3, sehingga pembelahan sel di jaringan meristem menurun. Selain itu, kadar Kinetin yang tinggi menstimulasi aktivitas enzim Cytokinin Oxidase/Dehydrogenase (CKX) yang menguraikan sitokinin menjadi bentuk inaktif, menyebabkan efektivitas hormonal berkurang (Ahmad *et al.*, 2022). Dari sisi fisiologis, kelebihan sitokinin mengganggu rasio keseimbangan dengan auksin endogen yang diperlukan untuk menjaga

plastisitas dinding sel dan ekspansi jaringan. Ketidakseimbangan ini menghambat pemanjangan sel serta menurunkan laju pertumbuhan daun. Secara seluler, kelebihan sitokinin juga dapat meningkatkan produksi reactive oxygen species (ROS), yang menurunkan aktivitas enzim pelonggar dinding sel seperti ekspansin dan XTH, sehingga dinding sel menjadi lebih kaku dan pertumbuhan terhambat. Fenomena serupa dilaporkan oleh Dewir *et al.* (2021), Rahman *et al.* (2023), dan Ahmad *et al.* (2022), yang menunjukkan bahwa konsentrasi sitokinin di atas dosis optimum menurunkan pertumbuhan vegetatif akibat aktivasi mekanisme degradasi hormonal dan stres oksidatif jaringan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa Kinetin memiliki peran krusial dalam mengatur pertumbuhan panjang daun *Nepenthes mirabilis* melalui mekanisme fisiologis yang bergantung pada konsentrasi. Pada dosis rendah hingga menengah, Kinetin berfungsi meningkatkan pembelahan dan ekspansi sel, sedangkan pada konsentrasi optimum (1,50 ppm) tercapai keseimbangan hormonal ideal antara sitokinin dan auksin yang menghasilkan pertumbuhan daun maksimal. Namun, pada dosis tinggi, efek stimulatif tersebut menurun akibat mekanisme regulasi balik hormonal dan aktivasi degradasi sitokinin yang menghambat pembelahan serta ekspansi sel. Pola respon ini memperkuat konsep bahwa keberhasilan kultur jaringan sangat bergantung pada keseimbangan hormonal yang presisi, dan bahwa *Nepenthes mirabilis* menunjukkan karakter fisiologis khas tanaman tropis yang sangat sensitif terhadap fluktuasi konsentrasi sitokinin (Pasternak *et al.*, 2024).

Fenomena peningkatan kemudian penurunan panjang daun ini menunjukkan pola respons dosis-hormon

klasik, di mana hormon tumbuhan memberikan efek promotif pada konsentrasi optimum, tetapi beralih menjadi inhibitor ketika kadarnya berlebih. Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi 1,50 ppm Kinetin dapat direkomendasikan sebagai taraf paling efektif untuk memacu pertumbuhan panjang daun *Nepenthes mirabilis* dalam kondisi kultur *in vitro*. Konsentrasi ini mampu menjaga keseimbangan antara pembelahan dan ekspansi sel tanpa menimbulkan gangguan morfologis. Temuan ini juga menegaskan pentingnya pengaturan rasio sitokinin–auksin yang seimbang guna mendukung pertumbuhan vegetatif yang optimal serta mencegah munculnya efek negatif pada proses morfogenesis dan diferensiasi jaringan.

Implikasi Potensial Pemuliaan Bibit melalui Kultur Jaringan terhadap Konservasi *Nepenthes mirabilis*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian Kinetin pada konsentrasi optimum mampu meningkatkan pembelahan sel dan memperpanjang daun *Nepenthes mirabilis* secara signifikan pada tahap kultur *in vitro*. Temuan ini memberikan dasar fisiologis yang kuat bagi pengembangan metode konservasi tumbuhan karnivora langka tersebut melalui pendekatan bioteknologi modern. Meskipun penelitian ini belum mencakup tahap aklimatisasi, respons positif pada fase multiplikasi menunjukkan bahwa bibit hasil kultur memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut hingga mencapai tahap regenerasi sempurna (Ceasar *et al.*, 2010). Dalam konteks konservasi, kemampuan memperbanyak bibit secara cepat dan seragam di bawah kondisi aseptik menjadi langkah awal yang krusial untuk mengatasi keterbatasan jumlah individu *Nepenthes mirabilis* di alam, yang populasinya

menurun sejak ditetapkan sebagai spesies terancam punah oleh IUCN (2014).

Selain itu, pendekatan kultur jaringan memungkinkan upaya pemuliaan *Nepenthes mirabilis* secara *ex situ* tanpa mengganggu populasi liar, sehingga mendukung konservasi berkelanjutan. Menurut Dewir *et al.* (2021), kultur jaringan merupakan strategi efektif untuk konservasi tanaman langka karena mampu menghasilkan banyak bibit dengan stabilitas genetik tinggi dalam waktu relatif singkat. Secara fisiologis, kemampuan sel meristematik mempertahankan totipotensinya di bawah pengaruh sitokinin seperti Kinetin menjadi dasar utama pembentukan tunas dan organ baru (Sosnowski *et al.*, 2023). Aktivasi jalur sinyal sitokinin–auksin yang seimbang berperan penting dalam mendorong pembentukan daun serta jaringan fotosintetik, yang pada akhirnya menentukan keberhasilan pertumbuhan tanaman pada tahap awal konservasi.

Lebih jauh, keberhasilan fase multiplikasi *in vitro* seperti yang dicapai dalam penelitian ini memiliki implikasi langsung terhadap tahapan lanjutan, yakni aklimatisasi dan reintroduksi. Walaupun belum diuji dalam penelitian ini, bibit hasil kultur yang memperlihatkan morfologi daun normal dan struktur jaringan yang sehat memiliki peluang lebih besar untuk bertahan pada fase adaptasi *ex situ*. Menurut Rahman *et al.* (2023), kualitas bibit hasil kultur sangat menentukan tingkat keberhasilan aklimatisasi karena berhubungan langsung dengan kapasitas fotosintesis serta ketahanan terhadap stres lingkungan. Dengan demikian, peningkatan parameter pertumbuhan seperti panjang daun dapat dipandang sebagai indikator awal kesiapan fisiologis tanaman untuk menghadapi tahap konservasi berikutnya.

Dalam konteks konservasi jangka panjang, penerapan teknologi kultur jaringan *Nepenthes mirabilis* juga mendukung strategi restorasi habitat dan reintroduksi populasi alami. Kajian oleh Ahmad *et al.* (2022) menunjukkan bahwa regenerasi tanaman endemik melalui sistem mikropopagasi dapat membantu membangun kembali populasi liar yang mengalami tekanan ekologis akibat degradasi habitat. Jika tahapan aklimatisasi dan adaptasi lapangan berhasil, bibit hasil kultur *Nepenthes mirabilis* dapat berperan sebagai sumber genetik penting untuk memperkuat ketahanan populasi di alam. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi konseptual signifikan terhadap upaya pelestarian plasma nutfah lokal melalui pendekatan bioteknologi berkelanjutan.

Secara konseptual, penelitian ini menegaskan pentingnya pemahaman fisiologi hormon dalam pengembangan teknologi konservasi tumbuhan langka. Regulasi pertumbuhan yang dikendalikan oleh sitokinin—seperti peningkatan ekspresi gen *Cyclin D3* dan pembentukan tunas—tidak hanya berpengaruh pada morfogenesis *in vitro*, tetapi juga mempersiapkan jaringan tanaman untuk beradaptasi terhadap lingkungan yang lebih kompleks. Hal ini menunjukkan bahwa studi fisiologi pertumbuhan, meskipun dilakukan dalam kondisi laboratorium, dapat memberikan implikasi luas bagi keberhasilan konservasi di lapangan.

Akhirnya, meskipun tahap penelitian ini belum mencakup proses aklimatisasi, hasil yang diperoleh telah menunjukkan arah positif bagi pengembangan protokol konservasi *Nepenthes mirabilis*. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan adaptasi bibit hasil kultur pada kondisi *ex situ* maupun *in situ*. Namun demikian, hasil ini telah membuktikan bahwa penerapan

teknologi kultur jaringan dengan pengaturan konsentrasi hormon yang tepat dapat menjadi fondasi utama dalam upaya konservasi spesies endemik dan langka, sejalan dengan strategi global pelestarian keanekaragaman hayati.

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa pemberian hormon Kinetin berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan daun *Nepenthes mirabilis* pada kultur jaringan. Peningkatan konsentrasi Kinetin dari 0 hingga 1,25 ppm mampu merangsang pembelahan dan pemanjangan sel, yang tercermin dari peningkatan panjang daun hingga 6,552 cm. Pertumbuhan optimal diperoleh pada konsentrasi 1,50 ppm dengan panjang daun rata-rata 8,083 cm, menunjukkan bahwa keseimbangan hormonal antara sitokinin dan auksin pada tingkat ini mendukung aktivitas meristematik secara maksimal. Namun, pada konsentrasi lebih tinggi (1,75–2,00 ppm), panjang daun menurun akibat efek umpan balik negatif sitokinin yang menekan aktivitas gen, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsentrasi Kinetin 1,50 ppm merupakan dosis optimum dalam mendukung pertumbuhan vegetatif *in vitro* *Nepenthes mirabilis* serta memiliki implikasi penting bagi pengembangan teknik konservasi eks-situ melalui kultur jaringan.

SARAN

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan adaptasi dan tingkat keberhasilan aklimatisasi bibit hasil kultur *Nepenthes mirabilis* pada kondisi eks-situ. Kajian kombinasi hormon sitokinin dan auksin direkomendasikan untuk memperoleh keseimbangan fisiologis yang lebih baik dalam perbanyakan tunas dan pembentukan daun. Selain itu, pengembangan protokol kultur jaringan *Nepenthes mirabilis*

diharapkan menjadi dasar bagi strategi konservasi jangka panjang, termasuk pembentukan bank plasma nutfah dan program reintroduksi spesies endemik ini ke habitat alaminya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih tujuan ke litabdimas yang telah mensupport penelitian ini dari awal hingga akhir, sehingga penelitian berjalan dengan lancar.

REFERENSI

- Abu-Romman, S. M., Al-Hadid, K. A., & Arabiyyat, A. R. (2015). Kinetin is the most effective cytokinin on shoot multiplication from cucumber. *Journal of Agricultural Science*, 7(10), 159.
- Ahmad, I., Kamran, M., Meng, X., Ali, S., Bilegjargal, B., Cai, T., ... & Han, Q. (2019). Effects of plant growth regulators on seed filling, endogenous hormone contents and maize production in semiarid regions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1467-1480.
- Ahmad, S., Khan, M. A., Fatima, A., & Hussain, A. (2022). *High cytokinin concentration inhibits shoot elongation and leaf formation in Dendrobium sp. under in vitro culture*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(3), 1352-1363.
- Ainun, N. (2022). *Konservasi Ex Situ Tanaman Kantong Semar (Nepenthes sp.) Secara In Vitro di Sulawesi Selatan* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Ali, O., Cheddadi, I., Landrein, B., & Long, Y. (2023). Revisiting the relationship between turgor pressure and plant cell growth. *New Phytologist*, 238(1), 62-69.
- Amran, N. M., Abdullah, N. M., Hassan, N. H. N., Harun, N. A., & Nasir, N. (2024). Mapping the distribution of the in *Nepenthes* Malaysia using Geographical Information System (GIS). *Enhanced Knowledge in Sciences and Technology*, 4(2), 687 – 697.
- Andini, A. (2019). Multiplikasi subkultur tunas Kantong Semar (*Nepenthes mirabilis*) menggunakan NAA (Naphthalene Acetic Acid) dan Kinetin (6-Furfuryl Amino Purine) secara in vitro (*Doctoral dissertation*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Astuti, R.R., Supriati, R., & Dewi, G. (2012). Inventarisasi tumbuhan kantong semar (*Nepenthes* sp) di Kecamatan Selebar Kota Bengkulu. *Konservasi Hayati*, 8(1), 16-21.
- Barciszewski, J., Siboska, G., Rattan, S. I., & Clark, B. F. (2000). Occurrence, biosynthesis and properties of kinetin (N6-furfuryladenine). *Plant growth regulation*, 32(2), 257-265.
- Bauer, U., Rembold, K., & Grafe, T. U. (2016). Carnivorous *Nepenthes* pitcher plants are a rich food source for a diverse vertebrate community. *Journal of Natural History*, 50(7-8), 483 – 495.
- Bhagiya, B. K., Yadav, D. S., & Mantri, V. A. (2025). Explant priming with bio-effectors improves regeneration by 6-benzylaminopurine treatment while adventitious lateral shoot development by kinetin in marine red alga *Gracilaria dura* (Rhodophyta). *Discover Oceans*, 2(1), 10.
- Bhattacharjee, S., Washmin, N., Borah, T., Sarkar, A., Mudoj, K. D., Saikia, S. P., ... & Banik, D. (2024). Conspectus on endangered carnivorous pitcher plant *Nepenthes khasiana* Hook. f. emphasizing in-vitro regeneration,

- pitcher development, and stability in genetic makeup. *South African Journal of Botany*, 167, 270-284.
- Bhattacharya, A., Momin, S. G., & Sarkar, P. (2024). New distribution records of the endemic pitcher plant, *Nepenthes khasiana* Hook. f. and identification of threats in Meghalaya, India. *Journal of Environmental Biology*, 45(1), 1 – 7.
- Budisantoso, I., Indriani, M., & Kamsinah, K. (2018). Effect of BAP (6-Benzyl Amino Purine) concentration on growth micro cutting of *Nepenthes ampullaria*. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 10(3), 678-683.
- Cackett, L., Luginbuehl, L. H., Schreier, T. B., Lopez-Juez, E., & Hibberd, J. M. (2022). Chloroplast development in green plant tissues: the interplay between light, hormone, and transcriptional regulation. *New Phytologist*, 233(5), 2000-2016.
- Cavallaro, V., Pellegrino, A., Muleo, R., & Forgione, I. (2022). Light and plant growth regulators on in vitro proliferation. *Plants*, 11(7), 844.
- Ceasar, S.A, Maxwell, S.L, Prasad, K.b, Karthigan, M., & Ignacimuthu, S. (2010). Highly efficient shoot regeneration of *Bacopa monnieri* (L.) using a two-stage culture procedure and assessment of genetic integrity of micropropagated plants by RAPD. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(3), 443-452
- Chan, E. W. L., Chin, M. Y., Low, Y. H., Tan, H. Y., Ooi, Y. S., & Chong, C. W. (2021). The antibacterial agent identified from *Acidocella* spp. in the fluid of *Nepenthes gracilis* against multidrug-resistant *Klebsiella pneumoniae*: a functional metagenomic approach. *Microbial Drug Resistance*, 27(8), 1018-1028.
- Cheek, M., Jebb, M., & Murphy, B. (2019). A classification of functional pitcher types in *Nepenthes* (Nepenthaceae). *bioRxiv*, 852137.
- Ćosić, T., Perin, G., Proietti, S., Laux, T., & Scialdone, A. (2021). Sucrose interferes with endogenous cytokinin homeostasis and expression of organogenesis-related genes during *de novo* shoot organogenesis. *The Plant Journal*, 106(2), 551–567.
- Cross, A. T., Krueger, T. A., Gonella, P. M., Robinson, A. S., & Fleischmann, A. S. (2020). Conservation of carnivorous plants in the age of extinction. *Global Ecology and Conservation*, 24, 1 – 30
- Devi, S. P., Kumaria, S., Sharma, P. R., Khoyumthem, P., & Tandon, P. (2019). *Nepenthes khasiana* Hook f., an endangered tropical pitcher plant of India. *Indian Journal of Traditional Knowledge* 18 (1) 68 – 75
- Dewir, Y. H., El-Mahrouk, M. E., Murthy, H. N., Naidoo, Y., & Van Staden, J. (2021). *Influence of cytokinins on in vitro propagation and growth of plants: A review*. *Plants*, 10(8), 1758.
- Dewitte, W., Scofield, S., Alcasabas, A. A., Maughan, S. C., Menges, M., Braun, N., ... & Murray, J. A. (2007). *Arabidopsis* CYCD3 D-type cyclins link cell proliferation and endocycles and are rate-limiting for cytokinin responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(36), 14537-14542.
- EL Sabagh, A., Islam, M. S., Hossain, A., Iqbal, M. A., Mubeen, M., Waleed,

- M., ... & Abdelhamid, M. T. (2022). Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Agronomy*, 4, 765068.
- Fazeli-Nasab, B., Rahmani, A. F., & KHajeh, H. (2021). Effects of culture medium and plant hormones in organogenesis in olive (CV. Kroneiki). *J Plant Bioinform Biotech*, 1(1), 1-13.
- Fitmawati, S., & Juliantari, E. (2023). Diversity of pitcher plants (*Nepenthes* spp.) in Riau Archipelago Province, Indonesia. *SABRAO J. Breed. Genet*, 55(3), 927-939.
- Fleischmann, A., München, B. S., & GeoBio-Center, L. M. U. (2023). Carnivorous plants and conservation—the role of carnivorous plant enthusiasts. *Carnivorous Plant Newsletter* 52, 85 – 105
- Ghazy, M. I., Hamad, H. S., Gewaily, E. E., Bleih, E. M., Arafat, E. F., El-Kallawy, W. H., ... & Abd El Moneim, D. (2023). Impacts of kinetin implementation on leaves, floral and root-related traits during seed production in hybrid rice under water deficiency. *BMC Plant Biology*, 23(1), 398.
- Gray, L. K., Clarke, C., Wint, G. W., & Moran, J. A. (2017). Potential effects of climate change on members of the Palaeotropical pitcher plant family Nepenthaceae. *PloS one*, 12(8), 1 – 17
- Grzegorzczuk-Karolak, I., Hnatuszko-Konka, K., Krzemińska, M., Olszewska, M. A., & Owczarek, A. (2021). Cytokinin-based tissue cultures for stable medicinal plant production: Regeneration and phytochemical profiling of *Salvia bulleyana* shoots. *Biomolecules*, 11(10), 1513.
- Hu, Y., & Schaller, G. E. (2023). Cytokinin activity – transport and homeostasis at the whole-plant level. *New Phytologist*, 238(1), 65–84.
- Isnaini, Y., & Novitasari, Y. (2023). Pitcher formation of *Nepenthes ampullaria* and *Nepenthes rafflesiana* on modified in vitro media. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1255, No. 1, p. 012038). IOP Publishing.
- Kalve, S., De Vos, D., & Beemster, G. T. (2014). Leaf development: a cellular perspective. *Frontiers in plant science*, 5, 362.
- Kantharaj, V., Ramasamy, N. K., Yoon, Y. E., Lee, K. A., Kumar, V., Choe, H., ... & Lee, Y. B. (2024). Regulatory Response of Rice Seedlings to Exogenously Applied Kinetin During Oxidative Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 43(12), 4680-4690.
- Khan, M. M. A., Khanam, N., Uddin, M., Mishra, R. K., & Khan, R. (2022). Nanotized kinetin enhances essential oil yield and active constituents of mint via improvement in physiological attributes. *Chemosphere*, 288, 132447.
- Kim, D. S., Jang, W. Y., Park, S. H., Yoon, J. H., Shin, C. Y., Huang, L., ... & Cho, J. Y. (2024). Therapeutic effect of *Nepenthes kamptiana* Lecomte ethanol extract (Nk-EE) on androgenic alopecia through the inhibition of apoptosis and 5 α -reductase activity. *Natural Product Research*, 1-6.
- King, C. (2020). The Search for *Nepenthes*: The Use of Species Distribution Modelling to Find High Suitability Areas in the

- Philippines (*Doctoral dissertation, Dissertation, M. Sc, University of London*).
- Kumar, R., Salaria, N., Kumari, I., & Hajam, Y. A. (Eds.). (2025). *Plant Tissue Culture Technology: An Innovative Tool for the Propagation, Management, and Conservation of Himalayan Biodiversity*. CRC Press.
- Kwon, H. K., & Wang, M. H. (2011). The D-type cyclin gene (Nicta; CycD3; 4) controls cell cycle progression in response to sugar availability in tobacco. *Journal of plant physiology, 168*(2), 133-139.
- Lai, K. M., Huang, Y. H., Lien, Y., & Huang, C. Y. (2025). Bioactive Potential of *Nepenthes miranda* Flower Extracts: Antidiabetic, Anti-Skin Aging, Cytotoxic, and Dihydroorotase-Inhibitory Activities. *Plants, 14*(16), 2579.
- Li, S. M., Zheng, H. X., Zhang, X. S., & Sui, N. (2021). Cytokinins as central regulators during plant growth and stress response. *Plant cell reports, 40*(2), 271-282.
- Liu, Z., Dai, X., Li, J., Liu, N., Liu, X., Li, S., & Xiang, F. (2020). The type-B cytokinin response regulator ARR1 inhibits shoot regeneration in an ARR12-dependent manner in *Arabidopsis*. *The Plant Cell, 32*(7), 2271-2291.
- Mahardhika, A. Y., Wahyuni, S., Siregar, H. M., Siregar, M., Fauzan, Y. S. A., Persada, A. Y., ... & Primananda, E. (2023). New distributional records and conservation implications for the threatened Sumatra endemic *Nepenthes lavicola* Wistuba & Rischer (Nepenthaceae). *Journal for Nature Conservation, 74*, 126441.
- Mazzoni-Putman, S. M., Brumos, J., Zhao, C., Alonso, J. M., & Stepanova, A. N. (2021). Auxin interactions with other hormones in plant development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 13*(10), a039990.
- McKim, S. M. (2019). How plants grow up. *Journal of Integrative Plant Biology, 61*(3), 257-277.
- Merbach, M. A., Zizka, G., Fiala, B., Merbach, D., Booth, W. E., & Maschwitz, U. (2007). Why a carnivorous plant cooperates with an ant-selective defense against pitcher-destroying weevils in the myrmecophytic pitcher plant *Nepenthes bicalcarata* Hook. f. *Ecotropica, 13*, 45-56.
- Miguel, S., Hehn, A., & Bourgaud, F. (2018). *Nepenthes*: State of the art of an inspiring plant for biotechnologists. *Journal of biotechnology, 265*, 109 – 115.
- Mohapatra, P. K., & Sahu, B. B. (2021). Hormonal Regulation of Spikelet Development. In *Panicle Architecture of Rice and its Relationship with Grain Filling* (pp. 187-282). Cham: Springer International Publishing.
- Murni, S. (2020). *Jenis dan Karakteristik Tumbuhan Kantong Semar (Nepenthes spp.) Di Kawasan Burni Ramung Sebagai Referensi pada Materi Plantae di SMAN 1 Kecamatan Putri Betung Kabupaten Gayo Lues* (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry).
- Nedukha, O. (2022). Tolerance of Plant Cell Wall to. *Advances in Plant Defense Mechanisms, 325*.
- Nedvěd, D., Spíchal, L., & Schmölling, T. (2021). Differential Subcellular Distribution of Cytokinins. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(16), 8931.
- Neli, R. A. (2021). Keanekaragaman Kantong Semar (*Nepenthes* sp.) di Kawasan Hutan Lindung Gunung

- Sibuatan Kecamatan Merek, Kabupaten Karo, Sumatera Utara. *Skripsi*. Universitas Medan Area
- Nilanti Jennings, D. E., & Rohr, J. R. (2011). A review of the conservation threats to carnivorous plants. *Biological Conservation*, 144(5), 1356-1363
- Nuraini, A., Nugroho, P. S., Sutari, W., Mubarok, S., & Hamdani, J. S. (2021). Effects of cytokinin and paclobutrazol application time on growth and yield of G2 potato (*Solanum tuberosum* L.) Medians cultivar at medium altitude in Indonesia. *Agriculture and Natural Resources*, 55(2), 171-176.
- Nurchayati, Y. (2022). Response of seed germination and growth of *Nepenthes gymnamphora* Nees in vitro to the concentration of MS mineral salt, peptone and thidiazuron. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 9(1), 57-65.
- Olatunji, D., Geelen, D., & Verstraeten, I. (2017). Control of endogenous auxin levels in plant root development. *International journal of molecular sciences*, 18(12), 2587.
- Omari, E. N., Mucheru-Muna, M., Mburu, B. K., & Odawa, A. A. (2024). Assessing the Advantages of Tissue Culture Bananas Technology Production of Banana Farmers in Kisii County, Kenya. *Environmental Challenges*, 14, 100843.
- Pasternak, T. P., & Steinmacher, D. (2024). Plant growth regulation in cell and tissue culture in vitro. *Plants*, 13(2), 327.
- Polivanova, O. B., & Bedarev, V. A. (2022). Hyperhydricity in plant tissue culture. *Plants*, 11(23), 3313
- Pratiwi, R., & Nurcahyani, E. (2022). Kandungan Klorofil dan Laju Pertumbuhan Mikroplant Tanaman Hias pada Media dengan Variasi Zat Pengatur Tumbuh. *Jurnal Sains dan Teknologi Pertanian*, 7(1), 1-10.
- Previaningrum, H., Qadir, A., & Isnaini, Y. (2021). Konservasi in vitro kantong semar (*Nepenthes rafflesiana* Jack.) dengan metode slow growth. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 3(1), 07 – 10.
- Putri, A. K., Prasetyo, R., Proklamasiningsih, E., Davison, P. A., & Sugiyono, S. Modification of Media Formulation and Agar Concentration to Improve Pitcher Plant (*Nepenthes mirabilis* (Lour.) Druce) Micropropagation for Conservation and Microfloriculture Development. (2024) . *AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health*, 5(1), 41-53.
- Qi, F., & Zhang, F. (2020). Cell cycle regulation in the plant response to stress. *Frontiers in plant science*, 10, 1765.
- Quevedo-Amaya, Y. M., & Moreno-Fonseca, L. P. (2025). Source–Sink Relationship in Sugarcane and Its Intrinsic Regulatory Mechanisms as a Tool for Plant Breeding. In *Revolutionizing Sugarcane Molecular Breeding and Biotechnological Approaches: Current Status and Future Strategies* (pp. 219-254). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Rahayu, E. S., & Banowati, N. C. (2022). In Vitro Multiplication of *Nepenthes mirabilis* Lour (Druce) with Variations Concentration of Sucrose and BAP. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 14(3), 417-421.
- Rahman, M. A., Anwar, F., & Rashid, S. (2023). *Effect of cytokinins on*

- growth and development of carnivorous plant Drosera burmannii under in vitro condition.* Plant Tissue Culture and Biotechnology, 33(1), 13–22.
- Ramadhan, M. A., Bayfuqron, F. M., Saputro, N. W., & Suhesti, S. (2024). Pengaruh Kombinasi BAP (Benzyl Amino Purine) dan Kinetin Terhadap Multiplikasi Tunas Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Varietas AAS Agribun. *JURNAL AGROPLASMA*, 11(1), 153-160.
- Reinhardt, D. H. R., Bartholomew, D. P., Souza, F. V. D., Carvalho, A. C. P. P. D., Pádua, T. R. P. D., Junghans, D. T., & Matos, A. P. D. (2018). Advances in pineapple plant propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40, e-302.
- Renjana, E., Firdiana, E. R., Handayani, T., Witono, J. R., Ningrum, L. W., Siregar, M., ... & Yudaputra, A. (2024). Exploring a critically endangered pitcher plant *Nepenthes rigidifolia* and predicting its distribution habitat in North Sumatra, Indonesia. *Journal for Nature Conservation*, 80, 126645.
- Robinson, J. E., & Roberts, D. L. (2024). Determining the legality of newly described CITES-listed species in the horticulture trade of tropical pitcher plants (*Nepenthes*). *Conservation Biology*, 38(5), e14361.
- Sakakibara, H. (2021). Cytokinins: Biosynthesis, perception and regulatory functions in plant development and stress response. *Annual Review of Plant Biology*, 72, 457-482.
- Satrimafitrah, P., Indriani, I., Ahmad, S., Nugrawati, W., Milang, F. C., Inda, N. I., ... & Iqbal, M. (2023, May). Potential antioxidant and antibacterial activity of leaves extract from endemic *Nepenthes maxima* Reinw. ex Ness, Central Sulawesi. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2719, No. 1). AIP Publishing.
- Schaller, G. E., Street, I. H., & Kieber, J. J. (2014). Cytokinin and the cell cycle. *Current opinion in plant biology*, 21, 7-15.
- Setiadi, A., Hanum, F., Indrayanti, R., & Hadipoentyanti, E. (2025, April). In vitro shoot induction of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews.) through the application of kinetin, NAA, and TDZ. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1476, No. 1, p. 012051). IOP Publishing.
- Setiawan, H., Hakim, L., Fernandes, A. A. R., & Retnaningdyah, C. (2022). Prey composition and correlation between morphometry and prey biomass weight of the endemic *Nepenthes bicalcarata* in Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(10) 5453 – 5460
- Shri, M., & Pandey, V. (2025). Developing in-vitro cultivation techniques for *Psoralea corylifolia* and optimizing seed germination methods to investigate the impact of elicitors on seedling growth. *Scientific Reports*, 15(1), 15530.
- Siswanto, S. (2023). *Identifikasi Jenis Kantong Semar (Nepenthes SPP) di KHDTK Kelurahan Mungku Baru Kecamatan Rakumpit Kota Palangka Raya* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Palangkaraya).
- Šmeringai, J., Schrumpfová, P. P., & Pernisová, M. (2023). Cytokinins—regulators of de novo shoot organogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1239133.

- Sosnowski, J., Truba, M., & Vasileva, V. (2023). The impact of auxin and cytokinin on the growth and development of selected crops. *Agriculture*, 13(3), 724.
- Sprangers, K., Avramova, V., & Beemster, G. T. (2016). Kinematic analysis of cell division and expansion: quantifying the cellular basis of growth and sampling developmental zones in *Zea mays* leaves. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, (118), 54887.
- Srilestari, R., & Herastuti, H. (2023). Micro Cuttings Propagation Of Pitcher Plant (*Nepenthes* spp) On Various Media And Indole Acetic Acid (IAA) By In Vitro. *Asian Journal of Management, Entrepreneurship and Social Science*, 3(04), 949-954.
- Sukanto, L. A., Mujiono, D., & Henuhili, V. (2011). Shoot tip culture of *Nepenthes albomarginata* Lobb ex Lindl. in vitro. *J. Biol. Indon*, 7, 251-261.
- Sultan, B. A., Hameed, S. T., & Sabir, F. R. (2021). The molecular and physiological roles of cytokinins in cell elongation and cell wall modification. *Plant Cell Reports*, 40(10), 1801–1810.
- Supriatna, J., & Margules, C. (2022). *The national parks of Indonesia*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Suryani, A., & Dinarti, D. (2023). Kajian Kinetin terhadap Pertumbuhan Daun dan Biomassa *In Vitro* Tanaman Konservasi. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 14(1), 1-8.
- Susilo, M. R. J. P., Nilawati, T. S., & Kusdianti, K. (2024). Morphological characteristic of *Nepenthes gymnamphora*'s pitcher in Pasir Cadas Panjang Mountain Ciwidey West Java. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 94, p. 05005). EDP Sciences.
- Svolacchia, N., & Sabatini, S. (2023). Cytokinins. *Current Biology*, 33(1), R10-R13.
- Tarigan, L. (2025). Sterilization of Plant Tissue Culture Equipment. *Journal of Innovation and Scientific Collaboration*, 1(1), 25-30.
- Tarigan, M. R. I. M. A., faisal, M., Manalu, K., Khairuna, K., Tambunan, E. P. S., Rahmadina, R., ... & Ritonga, Y. E. (2024). Morphology of arthropods discovered in pitchers of *Nepenthes* at Aceh Singkil District, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(7).
- Tognetti, V. B., Bielach, A., & Hrtyan, M. (2017). Redox regulation at the site of primary growth: auxin, cytokinin and ROS crosstalk. *Plant, Cell & Environment*, 40(11), 2586-2605.
- Tumaini, S., Gwahula, R., & Macha, S. (2024). The Influence of Complexity on the Adoption of Tissue Culture Banana Seedlings in Tanzania. *International Journal of Business, Law, and Education*, 5(1), 148-157.
- Villar-Salvador, P., Uscola, M., & Jacobs, D. F. (2015). The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests*, 46(5), 813-839.
- Wal, A., Piekarniak, M., Staszek, P., Chodór, K., Bieniek, J., Gniazdowska, A., & Krasuska, U. (2024). Nitric oxide action in the digestive fluid of *Nepenthes* × *ventrata* is linked to the modulation of ROS level. *Plant Physiology and Biochemistry*, 216, 109088.
- Wang, T., Li, L., Cheng, G., Shu, X., Wang, N., Zhang, F., ... & Wang, Z. (2021). Physiological and molecular analysis reveals the differences of photosynthesis

- between colored and green leaf poplars. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8982.
- Wardani, A. K. (2024). *Perencanaan Jalur Interpretasi Wsiata Alam Danau Lingkat Di Desa Lempur Mudik Kabupaten Kerinci* (Doctoral dissertation, Universitas Jambi).
- Werner, T., & Schmölling, T. (2009). Cytokinin Action in Plant Development. *Current Topics in Developmental Biology*, 87, 185-225.
- Widiayani, N., Jasadina, I. M., & Nasruddin, N. (2024). Pengaruh Konsentrasi Auksin dan Sitokinin Terhadap Keberhasilan dan Pertumbuhan Stek Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.). *Jurnal Agrivigor*, 40-59.
- Wijerathna-Yapa, A., & Hiti-Bandaralage, J. (2023). Tissue culture—A sustainable approach to explore plant stresses. *Life*, 13(3), 780.
- Witono, J. R. (2024). Role of Indonesian Botanic Gardens in Plant Conservation. In *Botanical Gardens and Their Role in Plant Conservation* (pp. 25-50). CRC Press.
- Wong, C. (2015). Biosorption of Copper by *Nepenthes ampullaria*-associated-endophytic Fungi (Doctoral dissertation, Swinburne).
- Wu, W., Du, K., Kang, X., & Wei, H. (2021). The diverse roles of cytokinins in regulating leaf development. *Horticulture Research*, 8.
- Yadav, B., Pandit, D. L., Banjade, D., Mehata, D. K., Bhattarai, S., Bhandari, S., ... & Paudel, P. (2024). Insights into the germplasm conservation and utilization: Implications for sustainable agriculture and future crop improvement. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 9(1), 180-193.
- Žukauskaitė, A., Saiz-Fernandez, I., Bielešová, K., Iškauskienė, M., Zhang, C., Smýkalová, I., ... & Doležal, K. (2023). New PEO-IAA-inspired anti-auxins: Synthesis, biological activity, and possible application in hemp (*Cannabis sativa* L.) micropropagation. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(12), 7547-7563.
- Zunazri, N. H., Kemat, N., Ariffin, N., & Rineksane, I. A. (2024). Effect of media components on hyperhydricity in horticultural crops: A review. *Journal of Plant Biotechnology*, 51(1), 307-319.