

PERBANYAKAN STEVIA ANTARA KESERAGAMAN DAN KEANEKARAGAMAN

Stevia Propagation Trade-offs between Uniformity and Diversity

Nor Isnaeni Dwi Arista^{1*}, Dumaris Priskila Purba¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

*E-mail korespondensi: nor.isnaeni@unsoed.ac.id

ABSTRACT

Stevia rebaudiana Bertoni is a potential source of a zero-calorie natural sweetener, yet it faces challenges in its propagation system that affect productivity and quality standards. This study critically compares the efficiency of generative (seed) and vegetative (cutting) propagation methods to support sustainable stevia production. A literature search was conducted using Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, and ScienceDirect for publications from 2014 to 2024, focusing on empirical studies reporting quantitative data on propagation success rates, growth, and steviol glycoside content. The analytical results indicate that vegetative propagation achieves a high success rate particularly with the application of auxins, compared to the lower seed germination rate, which is highly dependent on seed viability. Plants derived from cuttings exhibited superior vegetative vigor, with increases in plant height, leaf number, and biomass, alongside higher steviol glycoside content and a more commercially favorable rebaudioside A: stevioside ratio. Conversely, the generative method resulted in high phenotypic diversity and low biochemical consistency. These findings confirm the superiority of vegetative propagation for commercial purposes, as it preserves superior genotypes and the physiological maturity of the plant. However, the potential for genetic erosion and dependence on mother stock remain significant risks. Therefore, the propagation method must be aligned with the intended objectives: vegetative for market-oriented standard production, and generative for genetic conservation and breeding programs. Integration with micropropagation is recommended to minimize somaclonal variation.

Keywords : *Auxin, Hormone, Propagation, Natural Sweetener, Vegetative Reproduction*

PENDAHULUAN

Stevia rebaudiana Bertoni merupakan tumbuhan herba perennial dari famili Asteraceae menjadi salah satu sumber pemanis alami. *Stevia* mengandung steviol glikosida, terutama stevioside dan rebaudioside A yang menunjukkan tingkat kemanisan tinggi daripada sukrosa, namun tanpa kalori sehingga tidak mempengaruhi glukosa darah. Karakter ini yang memposisikan *stevia* sebagai alternatif pemanis buatan bagi para diabetes dan obesitas. *Stevia* juga kaya akan senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, tanin, dan alkaloid, yang berkontribusi pada sifat anti-hiperglikemik, anti-inflamasi, dan antioksidannya yang telah diakui (Khilar et al., 2022; Ptak et al., 2023). Berbagai senyawa bioaktif ini serta trend *stevia* sebagai sumber alami memberikan implikasi minat yang tinggi terhadap pertumbuhan pasar *stevia*.

Komersialisasi *stevia* sebagai produk herbal pemanis alami yang kaya manfaat memberikan potensi penelitian salah satunya pada praktik budidaya. Budidaya *stevia* adalah bagian fundamental untuk mendapatkan produk utamanya berupa daun. Meskipun memiliki potensi komersial yang besar, produksi *stevia* menghadapi tantangan mendasar terkait efisiensi perbanyakan, keseragaman genetik, dan konsistensi biokimia. Tantangan-tantangan ini secara langsung mempengaruhi produktivitas dan kemampuan untuk memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan oleh industri pemanis global. Meskipun memiliki potensi komersial yang besar, produksi *stevia* menghadapi tantangan mendasar terkait efisiensi perbanyakan, keseragaman genetik, dan konsistensi biokimia. Tantangan-tantangan ini secara langsung mempengaruhi produktivitas dan kemampuan untuk memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan oleh industri pemanis global.

Makalah ini mengkaji bukti satu dekade terakhir (2014–2024) yang membandingkan dua strategi perbanyakan utama pada budidaya *stevia*. Topik penelitian ini penting karena pemilihan metode perbanyakan pada dasarnya menentukan keseragaman tanaman, konsistensi profil biokimia, dan skalabilitas sistem produksi. Mengingat meningkatnya permintaan global akan pemanis alami dan minat farmasi terhadap steviol glikosida (Chowdhury et al. 2022), optimalisasi budidaya untuk perbanyakan *stevia* menjadi hal yang esensial untuk memenuhi spesifikasi industri sekaligus menjaga sumber daya genetik untuk program pemuliaan di masa depan.

Beberapa peneliti yang telah mengkaji topik ini di antaranya adalah Blinstrubiené et al. (2020), Abouelela et al. (2025) berargumen bahwa perbanyakan vegetatif melalui stek batang memiliki keseragaman genetik dan mempertahankan karakteristik biokimia, sehingga perbanyakan stek dengan zat pengatur tumbuh banyak dipilih dibanding generative yang cenderung perkecambahan biji rendah. Sebaliknya,

Andújar et al., 2022 menekankan bahwa perbanyakan generatif melalui biji menawarkan keanekaragaman genetik, namun metode ini sering menghadapi tantangan seperti tingkat perkecambahan rendah dan ketidakcocokan sendiri, yang mengakibatkan karakteristik tanaman yang tidak konsisten. Mereka menyarankan agar pemilihan metode perbanyakan diselaraskan dengan tujuan produksi: perbanyakan klonal untuk output komersial yang terstandarisasi, dan reproduksi seksual untuk konservasi plasma nutfah serta perbaikan genetik.

Debat utama berpusat pada apakah keseragaman genetik yang dicapai melalui perbanyakan vegetatif dapat membenarkan risiko erosi genetik dan kerentanan terhadap cekaman biotik dan abiotik, atau apakah keanekaragaman genetik dari perbanyakan generatif dapat dimanfaatkan meskipun memiliki variabilitas inherent dalam profil pemanisnnya (Xu et al., 2023). Namun, masih diperlukan upaya lebih lanjut untuk mengintegrasikan penanda molekuler guna menilai genetik pada material yang diperbanyak secara vegetatif, serta mengembangkan protokol hibrida yang menggabungkan keunggulan kedua metode sekaligus meminimalkan keterbatasan masing-masing. Sintesis komprehensif terhadap bukti empiris terkini yang membandingkan secara kuantitatif tingkat keberhasilan perbanyakan, kinerja morfofisiologi, dan hasil biokimia dalam kondisi terkendali juga masih belum banyak dilakukan.

Penelitian ini memiliki kedekatan dengan studi Reis et al. (2020) karena sama-sama mengevaluasi secara sistematis beberapa parameter kinerja antar metode perbanyakan. Namun, penelitian ini memperluas cakupan dengan memasukkan tinjauan literatur dalam rentang waktu yang lebih panjang dan menekankan pada metrik kualitas biokimia yang kritis bagi aplikasi industri. Kontribusi studi ini ada dua: pertama, memberikan rekomendasi pemilihan metode perbanyakan berbasis bukti yang dikaitkan dengan tujuan produksi yang jelas; kedua, mengidentifikasi celah kritis dalam praktik saat ini, khususnya terkait pemantauan genetik dan integrasi teknologi mikropopagasi untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas genetik.

Signifikansi studi ini dapat dilihat dari beberapa aspek. Pertama, penelitian ini menjawab hambatan mendasar dalam sistem produksi stevia yang mempengaruhi baik viabilitas ekonomi maupun kualitas produk. Kedua, penelitian ini berkontribusi pada wacana yang lebih luas mengenai perbanyakan tanaman berkelanjutan dengan mengkaji kompromi antara keseragaman dan keanekaragaman genetik dalam konteks pertanian industri. Ketiga, penelitian ini menawarkan panduan praktis bagi petani, pemulia, dan pembuat kebijakan yang berupaya mengoptimalkan protokol budidaya stevia. Makalah ini menyajikan sebuah studi kasus tentang bagaimana pemilihan strategi perbanyakan mempengaruhi seluruh rantai nilai dari tanaman industri dan medisinal yang penting secara komersial, dengan implikasi yang dapat diterapkan pada spesies lain yang menghadapi tantangan produksi serupa.

BAHAN DAN METODE

Penelusuran literatur komprehensif dilakukan melintasi berbagai basis data ilmiah, termasuk Web of Science, Scopus, PubMed, Google Scholar, dan ScienceDirect. Pencarian mencakup publikasi dari Januari 2000 hingga Desember 2024, dengan fokus pada artikel jurnal peer-review, prosiding konferensi, dan laporan otoritatif. Istilah pencarian yang digunakan meliputi "Stevia rebaudiana" AND "propagation", "Stevia" AND "seed germination", "Stevia" AND "cutting propagation" OR "vegetative propagation", "Stevia rebaudiana" AND "stevioside" AND "propagation method", serta "Stevia" AND "clonal propagation" OR "micropropagation".

Kriteria inklusi meliputi studi yang secara langsung membandingkan perbanyakan generatif dan vegetatif pada Stevia, penelitian yang melaporkan data kuantitatif mengenai tingkat keberhasilan perbanyakan, investigasi yang mengkaji kandungan steviol glikosida dalam kaitannya dengan metode perbanyakan, studi yang menganalisis parameter pertumbuhan dan karakteristik morfologis, serta publikasi yang ditulis dalam bahasa Inggris dengan teks lengkap yang dapat diakses. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup studi yang berfokus secara eksklusif pada kultur jaringan tanpa validasi lapangan, penelitian yang tidak memiliki metodologi atau analisis statistik yang jelas, publikasi dengan data yang tidak memadai untuk analisis komparatif, dan abstrak konferensi tanpa disertai makalah lengkap.

Dari publikasi yang terpilih, data diekstraksi pada beberapa parameter kunci, termasuk tingkat keberhasilan perbanyakan (seperti persentase perkecambahan dan pengakaran), waktu hingga pembentukan (hari hingga perkecambahan dan hari hingga pengakaran), parameter pertumbuhan (tinggi tanaman, jumlah daun, dan karakteristik akar), serta kandungan steviol glikosida (konsentrasi stevioside dan rebaudioside A), bersama dengan kondisi lingkungan dan protokol perlakuan. Data yang terkumpul kemudian diorganisir ke dalam tabel komparatif untuk memfasilitasi sintesis dan analisis. Apabila beberapa studi melaporkan parameter yang serupa, rentang dan nilai rata-rata dihitung untuk memberikan nilai yang representatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Keberhasilan Perbanyakan

Tingkat keberhasilan perbanyakan merupakan metrik dasar untuk mengevaluasi setiap metode multiplikasi. Review ini mengungkap perbedaan substansial antara pendekatan generatif dan vegetatif dalam hal efisiensi pembentukan. Sebagai contoh, teknik vegetatif tertentu, seperti yang mengandalkan stek batang,

mungkin hanya mencapai tingkat keberhasilan pengakaran yang terbatas (Dolinski & Kowalczyk, 2019). Sebaliknya, metode perbanyakan klonal lain seperti pembelahan rumpun menunjukkan hasil tahunan yang terbatas (Ptak et al., 2023). Namun, teknik mikropropagasi tingkat lanjut menawarkan laju multiplikasi yang jauh lebih tinggi, meskipun sering kali disertai dengan persyaratan biaya dan infrastruktur khusus yang lebih besar (Rodríguez-Páez et al., 2024).

Kinerja Perkecambahan Benih

Perbanyakan benih pada *S. rebaudiana* menunjukkan variabilitas yang cukup besar, dengan tingkat perkecambahan yang dipengaruhi oleh kualitas benih, kondisi penyimpanan, dan parameter lingkungan. Data mengungkap beberapa pola kritis. Pertama, benih stevia yang tidak dirawat menunjukkan tingkat perkecambahan yang relatif rendah. Keterbatasan inherent ini berasal dari hilangnya viabilitas benih yang cepat dan kendala fisiologis. Benih menunjukkan viabilitas maksimum dalam 1-2 bulan pasca panen, menurun drastis setelahnya. Setelah enam bulan penyimpanan, tingkat perkecambahan dapat turun di bawah 10%, menjadikan stok benih yang lebih tua pada dasarnya tidak viable untuk tujuan perbanyakan generatif praktis. Penurunan cepat ini menggarisbawahi perlunya penanaman segera atau teknik penyimpanan lanjutan untuk menjaga kualitas benih guna perbanyakan generatif yang efektif. Lebih lanjut, sifat *Stevia* yang tidak kompatibel sendiri, yang memerlukan penyerbukan silang, sering kali menghasilkan produksi benih steril dengan vigor rendah, menghambat perbanyakan seragam melalui metode generatif (Rodríguez-Páez et al., 2024). Tantangan seperti itu memerlukan eksplorasi ke dalam strategi perbanyakan alternatif, khususnya yang memanfaatkan kultur jaringan untuk mengatasi keterbatasan yang terkait dengan metode generatif konvensional (Amien et al., 2021). Perbanyakan *in vitro*, misalnya, menawarkan sarana produksi skala besar yang andal untuk tanaman stevia yang identik secara genetik, menghindari viabilitas dan persentase perkecambahan yang buruk yang menjadi ciri khas benih (Taak et al., 2020).

Perlakuan awal secara signifikan meningkatkan kinerja perkecambahan. Aplikasi asam giberelat (GA_3) dilaporkan dapat meningkatkan perkecambahan benih stevia (Janah et al., 2024). Cahaya, khususnya, memainkan peran penting karena benih stevia menunjukkan persyaratan perkecambahan fotoblastik, dengan kegelapan yang secara substansial menghambat kemunculan. Faktor lingkungan, seperti suhu dan komposisi substrat, juga secara kritis memodulasi respons perkecambahan, dengan kondisi optimal menghasilkan persentase yang secara substansial lebih tinggi dan mengurangi waktu perkecambahan rata-rata (Melito et al., 2023).

Perbanyakan Stek

Perbanyakan vegetatif melalui stek batang umumnya menunjukkan tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkecambahan benih. Stek terminal (segmen apikal) secara konsisten mengungguli stek nodal, diatribusikan kepada konsentrasi auksin endogen yang lebih tinggi dan aktivitas meristematik yang lebih besar dalam jaringan terminal. Aplikasi eksogen auksin, seperti asam indol-3-butirat (IBA) dan asam alfa-naftalena asetat (NAA), secara signifikan meningkatkan persentase pengakaran dan mempercepat inisiasi akar, sebagaimana dibuktikan oleh tingginya tingkat keberhasilan yang konsisten di berbagai studi (Rodríguez-Páez et al., 2024). Sebagai contoh, konsentrasi IBA mulai dari 2000 hingga 3000 ppm particularly efektif dalam merangsang perkembangan akar yang kokoh, sering kali menghasilkan skor kualitas akar melebihi 4.0 dari 5.0. Selain itu, penerapan teknik pembelangan pada tanaman induk, meskipun membutuhkan tenaga kerja intensif dan menghasilkan jumlah propagul yang terbatas, telah terbukti meningkatkan pengakaran dengan mengakumulasi pati di kerah dan akar, mempromosikan etiolasi, dan memfasilitasi perkembangan akar adventif (Dris & Jain, 2004).

Aplikasi auksin, khususnya IBA pada konsentrasi 2000-3000 ppm, secara substansial meningkatkan keberhasilan pengakaran (Osterc et al., 2022). Stek yang dirawat tidak hanya menunjukkan persentase pengakaran yang lebih tinggi tetapi juga mengembangkan sistem perakaran yang lebih kokoh yang ditandai dengan jumlah akar, panjang, dan kompleksitas percabangan yang lebih besar. Manajemen lingkungan, termasuk sistem penyemprotan kabut intermiten untuk mempertahankan kelembaban dan mencegah desikasi, lebih meningkatkan hasil, dengan tingkat keberhasilan mendekati 96% di bawah manajemen intensif. Terlepas dari tingginya tingkat keberhasilan ini, sangat penting untuk mempertimbangkan bahwa tanaman yang diperbanyak secara vegetatif, meskipun awalnya menunjukkan pertumbuhan yang kuat, dapat mengembangkan arsitektur akar yang berbeda dibandingkan dengan tanaman semai dan mungkin lebih rentan terhadap tekanan lingkungan seperti angin kencang (Nuwarapaksha et al., 2023). Pemilihan jenis auksin dan konsentrasinya sangat kritis, dengan IBA sering terbukti lebih efektif daripada auksin lain karena stabilitasnya dan berkurangnya kerentanan terhadap degradasi (Saha et al., 2016).

Keunggulan temporal dari perbanyakan stek juga terlihat, dengan inisiasi akar terjadi dalam 10-15 hari dibandingkan dengan 12-21 hari untuk perkecambahan benih. Selain itu, stek yang telah berakar bertransisi lebih cepat menjadi tanaman yang mapan, mengurangi periode pembibitan selama 2-3 minggu relatif terhadap semai. Pembentukan yang dipercepat ini, ditambah dengan kesetiaan genetik yang dijamin oleh perbanyakan klonal, menjadikan stek sebagai metode yang lebih dapat diprediksi dan efisien untuk produksi stevia komersial (Smitha & Umesha, 2012). Meskipun aplikasi sinergis IBA dan NAA telah terbukti meningkatkan

pengakaran pada beberapa spesies (Scaltrito et al., 2024), pilihan dan konsentrasi auksin optimal, seperti IBA atau IAA, untuk stevia dapat bervariasi, terkadang menunjukkan hasil yang superior untuk parameter perkembangan akar tertentu seperti panjang atau jumlah akar (Seran et al., 2025).

Karakteristik Pertumbuhan dan Morfologi

Perkembangan vegetatif yang kuat seperti ini menunjukkan partisi sumber daya yang lebih efisien ke arah pertumbuhan di atas tanah, yang berpotensi menyebabkan peningkatan hasil steviol glikosida (Islam & Tareq, 2015). Vigor fisiologis yang ditingkatkan ini kemungkinan besar disebabkan oleh transplantasi langsung jaringan dewasa dalam stek, melewati fase juvenil yang menjadi ciri khas semai dan memungkinkan pembentukan mesin fotosintesis yang cepat.

Beberapa faktor berkontribusi terhadap perbedaan kinerja ini. Pertama, stek yang berasal dari tanaman induk yang dewasa dan produktif mewarisi kematangan fisiologis dari bahan sumber, melewati fase juvenil yang melekat pada semai. "Keunggulan kematangan" ini memungkinkan perkembangan vegetatif yang lebih cepat dan kompetensi reproduktif yang lebih awal. Kedua, tanaman yang diperbanyak stek mempertahankan konstitusi genetik unggul dari stok induk terpilih, sedangkan tanaman asal benih menunjukkan segregasi genetik yang mungkin termasuk genotipe kurang vigor. Terakhir, cadangan nutrisi awal dalam stek batang dapat memberikan keunggulan pertumbuhan selama fase pembentukan kritis, lebih berkontribusi pada perkembangan awal mereka yang superior dibandingkan dengan semai (Nuwarapaksha et al., 2023). Lebih lanjut, pemupukan nitrogen telah terbukti secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman dan pembentukan biomassa pada *Stevia rebaudiana*, dengan tingkat yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan tinggi tanaman, luas daun, dan biomassa di atas tanah, menunjukkan adanya interaksi antara metode perbanyakan dan manajemen nutrisi untuk pertumbuhan optimal (Sun et al., 2019).

Komposisi Biokimia: Kandungan Steviol Glikosida

Diferensial ini terwujud dalam kedua fraksi glikosida utama, dengan stevioside dan rebaudioside A menunjukkan peningkatan substansial. Secara spesifik, konsentrasi stevioside dan rebaudioside A dapat lebih dioptimalkan dengan menyesuaikan konsentrasi sitokinin selama perbanyakan *in vitro*, dengan 5 μ M metatopoli (mT) particularly efektif untuk produksi stevioside (Ptak et al., 2023). Selain itu, rasio rebaudioside A terhadap stevioside, penentu kualitas kemanisan utama, juga secara konsisten lebih tinggi pada tanaman yang diperbanyak stek, berkisar dari 0,51-0,64, menunjukkan profil sensoris yang lebih diinginkan.

Yang patut diperhatikan adalah rasio rebaudioside A:stevioside yang lebih baik pada tanaman asal stek. Rebaudioside A, yang memiliki sifat organoleptik superior dengan rasa pahit yang berkurang dibandingkan stevioside, menghargai harga pasar premium. Perbanyakan stek dari plasma nutfah unggul yang dipilih untuk kandungan rebaudioside A tinggi memungkinkan optimasi rasio, mencapai nilai 0,56-0,64 dibandingkan dengan 0,41-0,52 pada tanaman asal benih. Ini merupakan keunggulan komersial yang kritis, karena ekstrak yang diperkaya rebaudioside A memenuhi preferensi konsumen lebih efektif dan mengakses segmen pasar bernilai lebih tinggi.

Faktor

Keseragaman genetic	• Perbanyakan klonal menjaga genetik tanaman induk • Reproduksi seksual menambah variasi sehingga merusak kombinasi alel unggul • Kandungan glikosida tinggi terkait sifat poligenik sehingga lebih stabil pada klon
Stabilitas epigenetik	• Klon dapat mempertahankan modifikasi epigenetik yang menguntungkan • Ekspresi gen biosintesis glikosida tetap stabil pada perbanyakan vegetative • Reproduksi seksual mengatur ulang tanda epigenetik
Kematangan fisiologis	• Stek membawa status fisiologis tanaman dewasa • Jalur metabolik sudah matang dan optimal • Mendukung akumulasi glikosida lebih tinggi

Sintesis: Optimasi Bergantung Konteks

Perbandingan komprehensif mengungkapkan bahwa tidak ada metode perbanyakan yang menunjukkan superioritas universal; sebaliknya, seleksi optimal bergantung pada tujuan produksi, skala, sumber daya, dan posisi pasar.

Kategori	Kelebihan	Keterbatasan
Perbanyakan Benih	• Biaya lebih rendah dan infrastruktur sederhana • Risiko penularan penyakit lebih rendah (terutama virus)	• Kandungan glikosida lebih rendah & bervariasi • Kualitas dan kinerja tanaman tidak konsisten

Perbanyakkan Stek	• Menyediakan keanekaragaman genetik untuk pemuliaan & adaptasi • Cocok untuk produksi skala besar yang sensitif biaya	• Pertumbuhan awal lambat dan pembibitan lebih lama • Viabilitas benih cepat menurun • Heterogenitas fenotipik menyulitkan manajemen
	• Ada mekanisme pelolosan penyakit • Membutuhkan keterampilan teknis yang lebih rendah • Kandungan & kualitas glikosida lebih tinggi • Keceragaman fenotipik untuk produksi terstandarisasi • Pertumbuhan lebih cepat & produktivitas lebih awal • Seleksi & pemeliharaan genetik lebih tepat • Hasil lebih dapat diprediksi	• Biaya & kebutuhan teknis lebih tinggi • Risiko penularan penyakit dari tanaman induk • Keceragaman genetik meningkatkan kerentanan • Membutuhkan investasi infrastruktur • Memerlukan pemeliharaan stok induk

KESIMPULAN

Pemilihan metode perbanyakkan Stevia rebaudiana merupakan proses yang melibatkan banyak pertimbangan, karena setiap pendekatan membawa konsekuensi terhadap keberhasilan budidaya, mutu bahan baku, efisiensi biaya, dan keberlanjutan sistem produksi. Berdasarkan kajian yang ada, perbanyakkan vegetatif melalui stek batang umumnya menunjukkan performa yang lebih unggul dalam berbagai indikator produktivitas dan kualitas, terutama bagi produsen yang menasar segmen pasar bernilai tinggi. Meskipun demikian, perbanyakkan benih tetap memiliki peran penting dalam kondisi tertentu, khususnya terkait pelestarian keragaman genetik dan kebutuhan pemuliaan tanaman.

Perbedaan antara kedua metode tersebut tidak harus dipahami sebagai pilihan yang saling meniadakan. Sistem produksi yang lebih maju justru dapat mengombinasikan keduanya secara strategis: perbanyakkan benih dimanfaatkan untuk tujuan peningkatan genetik dan menjaga basis keragaman, sementara perbanyakkan vegetatif digunakan untuk memperbanyak genotipe unggul secara konsisten bagi produksi komersial. Pendekatan terpadu ini memungkinkan tercapainya produktivitas dan kualitas jangka pendek tanpa mengabaikan kapasitas adaptasi jangka panjang serta konservasi sumber daya genetik.

Dengan meningkatnya permintaan global terhadap pemanis alami dan semakin mapannya industri budidaya stevia, praktik perbanyakkan tanaman diperkirakan akan terus berkembang. Penelitian lanjutan yang menutup celah pengetahuan, pemuliaan kultivar yang lebih adaptif dan produktif, serta penyempurnaan teknik perbanyakkan akan berkontribusi pada peningkatan efisiensi sekaligus keberlanjutan produksi stevia secara global. Temuan komparatif dalam kajian ini memberikan landasan ilmiah yang kuat untuk mendukung kemajuan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Instansi/Lembaga yang telah mendanai penelitian dan kepada orang-orang yang telah membantu penulis selama penelitian berlangsung maupun saat penulisan naskah jika ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Abouelela, M. B., Eid, M., Ali, F. M., & Owis, A. I. (2025). Optimizing a rapid tissue culture method for steviol glycoside production from *Stevia rebaudiana* to address egypt's sugar deficit. *Scientific reports*, 15(1), 25495. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10491-3>
- Aman, U., Subhan, F., & Shah, S. (2013). Effect of different concentrations of auxins on root formation in stem cuttings of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 5(1), 73-77.
- Amien, S., Azhari, A. Z., Bakti, C., & Maulana, H. (2021). The effect of shoot explant types of eleven stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) accessions on in vitro growth. *Jurnal Agro*, 8(1), 142. <https://doi.org/10.15575/13367>
- Andújar, I., González, M., García-Ramos, J. C., Hajari, E., Bogdanchikova, N., Pestryakov, A., Concepción, O., Lorenzo, J. C., & Morgado, M. E. (2022). Are silver nanoparticles the “silver bullet” to promote

- diterpene production in *Stevia rebaudiana*? Research Square (Research Square).
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2285395/v1>
- Asmuni, N. A., & Hakiman, M. (2020). In vitro responses of *Stevia rebaudiana* Bert. to MS basal medium supplemented with 6-benzylaminopurine and indole-3-butyric acid. *Fundamental and Applied Agriculture*, 1. <https://doi.org/10.5455/faa.103572>
- Ballaré, C. L., Scopel, A. L., Sánchez, R. A., & Radosevich, S. R. (1992). PHOTOMORPHOGENIC PROCESSES IN THE AGRICULTURAL ENVIRONMENT. *Photochemistry and Photobiology*, 56(5), 777. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1992.tb02234.x>
- Banerjee, D., Singh, V., & Thakur, R. (2023). Micro Propagation on Strawberry: A Review [Review of Micro Propagation on Strawberry: A Review]. *E3S Web of Conferences*, 453, 1019. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345301019>
- Blinstrubienė, A., Burbulis, N., Juškevičiūtė, N., Vaitkevičienė, N., & Žūkienė, R. (2020). Effect of Growth Regulators on *Stevia rebaudiana* Bertoni Callus Genesis and Influence of Auxin and Proline to Steviol Glycosides, Phenols, Flavonoids Accumulation, and Antioxidant Activity In Vitro. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(12), 2759. <https://doi.org/10.3390/molecules25122759>
- Carneiro, J. W. P., Muniz, A. S., & Guedes, T. A. (1997). Greenhouse bedding plant production of *Stevia rebaudiana* Bert. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(3), 473-474.
- Chowdhury, A. I., Rahanur Alam, M., Raihan, M. M., Rahman, T., Islam, S., & Halima, O. (2022). Effect of stevia leaves (*Stevia rebaudiana* Bertoni) on diabetes: A systematic review and meta-analysis of preclinical studies. *Food science & nutrition*, 10(9), 2868–2878. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2904>
- Das, A., Gantait, S., & Mandal, N. (2007). Micropropagation of an elite medicinal plant: *Stevia rebaudiana* Bert. *International Journal of Agricultural Research*, 2(12), 1059-1065.
- Dolinski, R., & Kowalczyk, K. (2019). FAST DIRECT REGENERATION OF PLANTS FROM NODAL EXPLANTS OF *Stevia rebaudiana* Bert. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 18(5), 95. <https://doi.org/10.24326/asphc.2019.5.9>
- Dris, R., & Jain, S. M. (2004). Production Practices and Quality Assessment of Food Crops Volume 1. In Springer eBooks. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2533-5>
- Ghazal, B., Fareed, A., Ahmad, N., Azra, A., Salmen, S. H., Ansari, M. J., Zeng, Y., Farid, A., Jenks, M. A., & Qayyum, A. (2024). Elicitors directed in vitro growth and production of stevioside and other secondary metabolites in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65483-6>
- Islam, S. A. M. N., & Tareq, S. A. M. (2015). In Vitro Cloning and Stem Cutting of *Stevia* (*Stevia Rebaudiana* Bertoni.) for Mass Propagation in Chittagong, Bangladesh. *The International Journal of Biotechnology*, 4(3), 14. <https://doi.org/10.18488/journal.57/2015.4.3/57.4.14.19>
- Janah, I., Ben-Laouane, R., Elhasnaoui, A., Anli, M., & Meddich, A. (2024). The Induction of Salt Stress Tolerance by Gibberellic Acid Treatment in *Stevia rebaudiana* Bertoni Plants. *International Journal of Plant Biology*, 15(2), 505. <https://doi.org/10.3390/ijpb15020038>
- Karimi, M., & Ershadi, A. (2015). Effect of auxin type and concentration on rooting of stem cuttings of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *International Journal of Agricultural Science*, 5(1), 589-591.
- Khilar, S., Singh, A. P., Biagi, M., & Sharma, A. (2022). An Insight into attributes of Bertoni: Recent advances in extraction techniques, phytochemistry, food applications and health benefits. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100458. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100458>
- Kumar, H., Kaul, K., Bajpai-Gupta, S., Kaul, V. K., & Kumar, S. (2013). A comprehensive analysis of fifteen genes of steviol glycosides biosynthesis pathway in *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Gene*, 492(1), 276-284.
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., & Ah-Hen, K. (2012). *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121-1132.
- Melito, S., Ronga, D., Marceddu, D., Kallikazarou, N., Antoniou, M. G., & Giannini, V. (2023). Organo-mineral Fertilizer Containing Struvite from Liquid Digestate for *Cucurbita pepo* L. Seedling Production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 6707. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01524-9>
- Megeji, N. W., Kumar, J. K., Singh, V., Kaul, V. K., & Ahuja, P. S. (2005). Introducing *Stevia rebaudiana*, a natural zero-calorie sweetener. *Current Science*, 88(5), 801-804.
- Midmore, D. J., & Rank, A. H. (2002). A new rural industry—*Stevia*—to replace imported chemical sweeteners. RIRDC Publication No. 02/022. Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia.

- Nuwarapaksha, T. D., Dissanayaka, D. M. N. S., Udumann, S. S., & Atapattu, A. J. (2023). Gliricidia as a beneficial crop in resource-limiting agroforestry systems in Sri Lanka.
- Osterc, G., Veberič, R., & Hudina, M. (2022). Auxin metabolism modulates rooting process in different geranium cultivars. Research Square (Research Square). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2312611/v1>
- Pal, P. K., Kumar, R., Guleria, V., Mahajan, M., Prasad, R., Pathania, V., et al. (2013). Crop-ecology and nutritional variability influence growth and secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* Bertoni. BMC Plant Biology, 13(1), 67.
- Ptak, A., Szewczyk, A., Simlat, M., Błażejczak, A., & Warchoń, M. (2023). Meta-Topolin-induced mass shoot multiplication and biosynthesis of valuable secondary metabolites in *Stevia rebaudiana* Bertoni bioreactor culture. Scientific Reports, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42619-8>
- Ramesh, K., Singh, V., & Megeji, N. W. (2006). Cultivation of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni]: A comprehensive review. Advances in Agronomy, 89, 137-177.
- Rodríguez-Páez, L. A., Pineda-Rodríguez, Y. Y., Pompelli, M. F., Jimenez-Ramirez, A. M., Genes-Aviles, O. J., Jaraba-Navas, J. de D., Jarma-Orozco, A., Caballero, E. C., Zumaqué, L. E. O., Padrón, I. E. S., Olóriz, M. I., & Rodríguez, N. V. (2024). Micropropagation Protocols for Three Elite Genotypes of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Horticulturae, 10(4), 404. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040404>
- Saha, S., Dey, T., Adhikari, S., Mukhopadhyay, S., Sengupta, C., & Ghosh, P. (2016). Effects of plant growth regulators on efficient plant regeneration efficiency and genetic stability analysis from two *Ocimum tenuiflorum* L. morphotypes. Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, 27(4), 609. <https://doi.org/10.1007/s12210-016-0538-2>
- Scaltrito, E., Cristiano, G., Sdao, A. E., Gruda, N. S., Loconsole, D., & Lucia, B. D. (2024). Influence of water spraying intervals and indole-3-butyric acid concentrations on *Salvia* rooted cuttings quality in a closed aeroponics system. Scientia Horticulturae, 337, 113452. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113452>.
- Seran, S., Boobalan, S., Keerthanaa, T., Kumaravel, S., Karunakaran, G., & Ramasamy, S. (2025). Augmentation of betacyanin and quercetin in hybrid callus: Comprehensive assessment of biosynthesized silver nanoparticles for their potent biological activities, advanced in silico interactions, and rigorous toxicological evaluation. Industrial Crops and Products, 227, 120824. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.120824>
- Shock, C. C. (1982). Experimental cultivation of Rebaudi's stevia in California. Agronomy Progress Report No. 122. University of California Cooperative Extension, California.
- Singh, S. D., & Rao, G. P. (2005). Stevia: The herbal sugar of 21st century. Sugar Tech, 7(1), 17-24.
- Smitha, G. R., & Umesha, K. (2012). Vegetative propagation of stevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl.) through stem cuttings. Journal of Tropical Agriculture, 50(1), 72. <http://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/download/271/271>
- Sun, Y., Hou, M., Mur, L. A. J., Yang, Y., Zhang, T., Xu, X., Huang, S., & Tong, H. (2019). Nitrogen drives plant growth to the detriment of leaf sugar and steviol glycosides metabolisms in *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Plant Physiology and Biochemistry, 141, 240. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.008>
- Taak, P., Tiwari, S., & Koul, B. (2020). Optimization of regeneration and Agrobacterium-mediated transformation of *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni): a commercially important natural sweetener plant. Scientific Reports, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72751-8>
- Xu, C., Guo, H., Wang, Z., & Chen, Y. (2023). Development and comparative analysis of initiation ability in large-scale *Heuchera* propagation using tissue culture versus cuttings. Scientific Reports, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42001-8>
- Yadav, A. K., Singh, S., Dhyani, D., & Ahuja, P. S. (2011). A review on the improvement of stevia [*Stevia rebaudiana*(Bertoni)]. Canadian Journal of Plant Science, 91(1), 1-27.