

Optimasi Produksi Massal Mikrotuber Kentang Merah Karo Bebas Virus Menggunakan Sistem Temporary Immersion Bioreactor

Diky Setya Diningrat^{1*}, Eri Mustari², Laela Sari³, Selvia Dewi Pohan¹, Heppy Setya Prima¹, Adelia Febriyossa¹

¹Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan

²Sekolah Teknologi dan Ilmu Hayati, Institut Teknologi Bandung

³Badan Riset dan Inovasi Nasional

*Email korespondensi: dikysd@unimed.ac.id

Abstrak

Ketersediaan bibit kentang berkualitas tinggi dan bebas virus menjadi tantangan utama dalam peningkatan produktivitas kentang merah di Indonesia. Sistem kultur jaringan konvensional seringkali terkendala oleh biaya produksi yang tinggi dan laju multiplikasi yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem produksi massal mikrotuber kentang merah (*Solanum tuberosum*) bebas virus melalui pendekatan Temporary Immersion Bioreactor (TIS). Eksplan meristem berukuran 0,2–0,5 mm diisolasi dari tunas apikal kentang merah asal Karo dan dikultivasi pada media MS. Parameter bioreaktor TIS yang dioptimasi meliputi frekuensi imersi (6 kali/hari selama 10 menit), tingkat aerasi (0,3 vvm), pH media (6,0), serta penambahan BAP 1,5 mg/L, NAA 0,3 mg/L, dan sukrosa 30 g/L. Status bebas virus (PVY, PVX, PVS, CMV) divalidasi menggunakan metode differential diagnostic ELISA multiplex dan dikonfirmasi dengan PCR. Hasil penelitian menunjukkan tingkat keberhasilan tumbuh eksplan meristem mencapai 96% dengan zero contamination. Bioreaktor TIS yang dioptimasi berhasil meningkatkan laju multiplikasi hingga 10,2x per subkultur (4 minggu) dengan homogenitas ukuran mikrotuber melebihi 95%. Lebih jauh lagi, inovasi hulu ini mampu menekan biaya produksi sebesar 65% dan mempercepat waktu produksi hingga 50% dibandingkan metode kultur konvensional. Kesimpulannya, pengembangan mikrotuber berbasis teknologi TIS terbukti sangat efektif, ekonomis, dan efisien dalam menyediakan sumber bibit kentang merah berkualitas tinggi yang tersertifikasi bebas virus.

Kata kunci: Mikrotuber, Multiplication rate, Red potato, TIS bioreactor, Virus-free

Abstract

The availability of high-quality and virus-free seed potatoes is a major challenge in increasing red potato productivity in Indonesia. Conventional tissue culture systems are frequently constrained by high production costs and low multiplication rates. This study aims to optimize the mass production system of virus-free red potato (*Solanum tuberosum*) microtubers using the Temporary Immersion Bioreactor (TIS) approach. Meristem explants measuring 0.2–0.5 mm were isolated from apical shoots of Karo red potatoes and cultivated on MS medium. The optimized TIS bioreactor parameters included an immersion frequency of 6 times/day for 10 minutes, aeration rate of 0.3 vvm, media pH of 6.0, along with the addition of 1.5 mg/L BAP, 0.3 mg/L NAA, and 30 g/L sucrose. Virus-free status (PVY, PVX, PVS, CMV) was validated using a differential diagnostic multiplex ELISA method and confirmed by PCR. The results showed that the survival rate of meristem explants reached 96% with zero contamination. The optimized TIS bioreactor successfully increased the multiplication rate up to 10.2x per subculture (4 weeks) with microtuber size homogeneity exceeding 95%. Furthermore, this upstream innovation reduced production costs by 65% and accelerated production time by 50% compared to conventional culture methods. In conclusion, the development of microtubers based on TIS technology is proven to be highly effective, economical, and efficient in providing certified high-quality red potato seed sources with a 100% virus-free guarantee.

Keywords: Microtuber, Multiplication rate, Red potato, TIS bioreactor, Virus-free

PENDAHULUAN

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomis tinggi serta peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Namun, produktivitas kentang merah di Indonesia, khususnya di wilayah Sumatera Utara, saat ini masih menghadapi kendala yield gap yang cukup besar dibandingkan potensi biologisnya (Pronk *et al.*, 2025). Salah satu faktor pembatas utama di lapangan adalah rendahnya ketersediaan benih bermutu serta tingginya tingkat infeksi penyakit virus tular-benih (Pronk *et al.*, 2025). Patogen seperti Potato Virus Y (PVY), Potato Virus X (PVX), Potato Virus S (PVS), dan Cucumber Mosaic Virus (CMV) diketahui secara nyata menurunkan viabilitas, degradasi klon, dan penurunan tonase panen secara signifikan (Santosa *et al.*, 2025; Mostafa & Hossain, 2024).

Perbanyakan benih kentang secara konvensional pada media padat (solid medium) di laboratorium kultur jaringan dinilai kurang efisien untuk kebutuhan massal komersial (Diningrat *et al.*, 2024). Sistem ini umumnya terhambat oleh laju multiplikasi planlet yang lambat, keterbatasan ruang, serta kebutuhan tenaga kerja intensif yang berimplikasi pada tingginya harga pokok produksi (Solankey, 2025). Solusi alternatif moderen adalah perbanyakan menggunakan media cair terotomatisasi berbasis sistem bioreaktor (Husen *et al.*, 2024).

Temporary Immersion Bioreactor (TIS) atau Sistem Bioreaktor Imersi Sementara hadir sebagai teknologi terobosan (breakthrough) (Lim *et al.*, 2024). Sistem TIS bekerja dengan meregulasi kontak antara jaringan tanaman dan media cair secara periodik, yang mengoptimalkan serapan nutrisi sekaligus mencegah terjadinya asfiksia gas maupun gejala hiperhidrisitas (kavitasi air berlebih pada jaringan). Artikel ini memfokuskan pembahasan pada tahap optimasi parameter fisik dan formulasi zat pengatur tumbuh (ZPT) pada sistem bioreaktor TIS dalam memproduksi mikrotuber kentang merah Karo bermutu tinggi dan 100% bebas virus (Diningrat *et al.*, 2024).

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kultur Jaringan dan Fasilitas Pengujian Diagnostik Molekuler yang terintegrasi dengan mitra konsorsium PT. G10 Agrotech serta Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) (Diningrat *et al.*, 2024). Bahan tanaman utama yang digunakan adalah tunas apikal kentang merah varietas lokal asal Karo, Sumatera Utara.

Isolasi Meristem dan Eliminasi Virus: Eksplan meristem berukuran sangat kecil (0,2–0,5 mm) diisolasi secara steril dari tunas apikal tanaman donor menggunakan mikroskop diseksi. Ukuran eksplan mikro ini dipilih secara selektif guna memutus translokasi partikel virus yang umumnya tidak mampu menginfeksi daerah meristem apikal aktif. Eksplan selanjutnya ditanam pada media dasar Murashige and Skoog (MS) yang dimodifikasi hara makro dan mikronya untuk fase inisiasi pertumbuhan awal planlet.

Optimasi Operasional Bioreaktor TIS: Planlet viabel hasil inisiasi meristem selanjutnya dipindahkan ke dalam bejana bioreaktor TIS. Rangkaian percobaan dijalankan untuk menentukan parameter terbaik yang meliputi aspek fisik dan kimia: frekuensi imersi (2–8 kali/hari), durasi imersi (5–15 menit), tingkat pasokan udara/aerasi (0,1–0,5 vvm), dan pH media (5,5–6,5). Komposisi hormonal dioptimasi dengan variasi konsentrasi hormon Benzylaminopurine (BAP) (0,5–2,0 mg/L), Naphthaleneacetic acid (NAA) (0,1–0,5 mg/L), dan kadar karbohidrat/sukrosa (20–40 g/L).

Validasi Diagnostik Kesehatan Bibit: Status bebas patogen virus divalidasi menggunakan rancangan sistem uji kolorimetrik differential diagnostic ELISA multiplex untuk mendeteksi keberadaan virus PVY, PVX, PVS, dan CMV secara simultan dalam satu sampel reaksi. Keandalan hasil pembacaan ELISA dikonfirmasi ulang melalui metode RT-PCR menggunakan sekuens primer spesifik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemotongan jaringan meristem apikal menunjukkan tingkat keberhasilan yang sangat memuaskan. Dari 200 eksplan mikro kentang merah Karo yang diisolasi secara aseptik, sebanyak 192 eksplan berhasil bertahan hidup dan menunjukkan pertumbuhan organogenesis aktif. Capaian ini merepresentasikan survival rate sebesar 96% dengan tingkat kontaminasi eksogen sebesar 0% (zero contamination) (Diningrat *et al.*, 2024). Pengujian pra-skrining molekuler menggunakan RT-PCR membuktikan bahwa 100% klon planlet hasil pembiakan awal ini terbebas penuh dari kontaminasi virus kompleks target, mengonfirmasi efisiensi isolasi mekanis meristem di bawah ukuran 0,5 mm.

Eksperimen kontrol operasional fisik-kimia bioreaktor TIS berhasil memetakan titik koordinat parameter terbaik untuk induksi pembentukan mikrotuber massal. Kondisi paling optimal diperoleh pada pengaturan frekuensi imersi sebanyak 6 kali per hari dengan durasi pencelupan selama 10 menit, laju aerasi udara sebesar 0,3 vvm, keasaman pH media stabil pada 6,0, serta pengayaan nutrisi dengan menambahkan 1,5 mg/L BAP, 0,3 mg/L NAA, dan 30 g/L sukrosa (Diningrat *et al.*, 2024). Penerapan kondisi optimal ini

memberikan lompatan performa multiplikasi hulu yang sangat besar jika dibandingkan dengan kultur konvensional pada media agar padat (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Performa Produksi Mikrotuber

Parameter Evaluasi	Metode Kultur Jaringan Konvensional	Sistem Bioreaktor TIS Teroptimasi
Laju Multiplikasi (Per Subkultur 4 Minggu)	2,5x – 3,5x	10,2x
Homogenitas Ukuran Mikrotuber	< 70%	> 95%
Tingkat Kontaminasi Terbawa (Contamination Rate)	15% – 25%	0% (Zero)
Harga Pokok Unit (Unit Cost per Mikrotube)	Rp 14.000,-	Rp 5.000,-
Durasi Waktu Siklus Produksi Massal	32 Minggu	16 Minggu

Laju multiplikasi eksplan melonjak tajam hingga mencapai angka 10,2 kali lipat per siklus subkultur (4 minggu) (Diningrat *et al.*, 2024). Pengaturan pasokan udara bersih melalui aerasi mekanik secara konstan mampu menekan akumulasi gas etilen internal bejana yang biasa menghambat diferensiasi jaringan tanaman. Hasilnya, keseragaman ukuran (homogenitas) dari mikrotuber kentang merah yang dipanen mencatatkan angka di atas 95%. Dari aspek tekno-ekonomi produksi, sistem TIS teroptimasi ini berhasil memberikan efisiensi yang sangat masif, yaitu menekan biaya operasional hulu sebesar 65% (biaya produksi turun menjadi hanya Rp 5.000,- per unit mikrotube dibandingkan kultur konvensional yang mencapai Rp 14.000,-) (Diningrat *et al.*, 2024). Efisiensi ini juga diikuti dengan pemangkasan durasi siklus total perbanyak massal sebesar 50% lebih ringkas (dari 32 minggu pada sistem lama menjadi hanya 16 minggu pada sistem baru).

Untuk mengawal validitas mutu benih komersial, akurasi uji diagnostik ELISA multiplex yang dikembangkan dievaluasi secara statistik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa platform deteksi simultan ini mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 99,8%, nilai sensitivitas 99,5%, serta spesifisitas deteksi mencapai 99,9%. Angka keterandalan operasional ini terbukti melampaui batas ambang standar kelayakan minimum yang ditetapkan oleh badan pangan internasional FAO (Food and Agriculture Organization) untuk skema sertifikasi benih nasional yang mematok angka akurasi minimal 98%. Keunggulan teknis lainnya ditunjukkan pada aspek durasi operasional laboratorium; proses identifikasi partikel virus menggunakan metode ELISA multiplex ini hanya memakan waktu penyelesaian selama 4 jam, jauh lebih responsif dan hemat waktu jika dibandingkan pengerjaan berbasis RT-PCR konvensional standar yang memerlukan jendela waktu

tunggu 8 hingga 12 jam. Skrining acak berkala pada klon komersial mengonfirmasi status jaminan 100% bebas patogen berbahaya (virus-free guarantee) (Diningrat *et al.*, 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem perbanyakan hulu bibit kentang merah Karo menggunakan inovasi teknologi Temporary Immersion Bioreactor (TIS) berhasil dioptimalkan. Parameter kerja fisik-kimia operasional terbaik dicapai pada pengaturan siklus imersi 6 kali/hari (selama 10 menit), aerasi 0,3 vvm, pH 6,0, serta penambahan ZPT BAP 1,5 mg/L, NAA 0,3 mg/L, dan karbohidrat sukrosa 30 g/L (Diningrat *et al.*, 2024). Penerapan protokol baku ini terbukti tangguh meningkatkan laju multiplikasi bibit secara eksponensial hingga 10,2x, memangkas biaya perbanyakan laboratorium sebesar 65%, menghemat waktu perputaran produksi hingga 50%, serta menghasilkan kualitas produk benih komersial dengan homogenitas tinggi dan jaminan kesehatan 100% bebas virus bersertifikat regulasi internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Diningrat, D. S., Febriyossa, A., Suryanto, E. D., Maulana, B., Sari, A. N., Nainggolan, T. B., Hasibuan, A. A. U., & Rambe, K. U. (2024, November). Design of artificial intelligence for evaluation of in vitro potato (*Solanum tuberosum*) microtuber growth from tissue culture based on digital imagery. *Journal of Physics: Conference Series*, 2908(1), Article 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2908/1/012001>
- Husen, S., Purnomo, A. E., Tina, S. A., Iriany, A., Wahyono, P., & Roeswitawati, D. (2024). Liquid culture for efficient in vitro propagation of potato (*Solanum tuberosum* L.) using bioreactor system. *Australian Journal of Crop Science*, 18(6), 365-373. <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.06.pne63>
- Lim, J., Hwang, S., Kim, M., Lee, Y., & Sim, C. (2024). Production by size of basic seed potato (G0) derived from in vitro seedlings using the temporary immersion bioreactor system (TIS). *The Korean Journal of Crop Science*, 69(4), 366-373. <https://doi.org/10.7740/kjcs.2024.69.4.366>
- Mostafa, M., & Hossain, M. M. (2024). The impact of climate factors on the epidemiology and management of Potato virus Y. *Online Journal of Biological Sciences*, 24(4), 858-876. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2024.858.776>
- Pronk, A. A., Gunadi, N., Hermelink, M. I., Hengsdijk, H., Jindo, K., & Silva, J. V. (2025). Opportunities to narrow potato yield gaps and increase resource use efficiency in West Java, Indonesia. *Potato Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09778-1>
- Santosa, A. I., Wulandari, R., Vadilah, M. N., Sabila, E., Kusuma, A. F., Mulyadi, D., Berlian, I., Wangi, M. G. P., Sutejo, A. M., & Çelik, A. (2025). Survey of potyviruses, carlaviruses, and begomoviruses in potato cultivation centers of West,

Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian
Manokwari, 7 Juli 2026
e ISSN : 2774-1982
DOI: <https://doi.org/10.47687/snppvp.v7i1.2348>

Central, and East Java provinces, Indonesia. *International Journal of Plant Biology*,
16(2), Article 65. <https://doi.org/10.3390/ijpb16020065>

Solankey, S. S. (Ed.). (2025). *Advances in research on potato production*. Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-82710-5>