

ISSN : 1978-1644
E-ISSN : 4037-7638

ENVIAGRO

JURNAL PERTANIAN & LINGKUNGAN

Vol.12 No. 2 Oktober 2026



ISI
ENVIAGRO
Vol. 12 No. 2 Oktober 2026

Pertumbuhan Bunga Lada Varietas Nyelungkup dengan Pemberian <i>Benzyladenin</i> dan Pupuk Daun	Arini, Devi Lestari, Muhammad Syukron Wahid, Maera Zasari	50-58
Evaluasi Kinerja Lingkungan dan Potensi Valorisasi Hasil Samping Agroindustri Sirup Kalamansi Di Provinsi Bengkulu	Iman Darmatama, Fahrul Rozi Maulana, Zakhi Restu Pratama	59-73
Uji Efektivitas Agen Hayati dalam Pengendalian Patogen Penyebab Penyakit Secara In Vitro	Nur Febriansyah Rahmanda, Miranda, Muniroh, Indri Riyana, Jumita, Gholi Wedana Nursyah, Gen Adi Wisanggeni	74-82
Analisis Faktor Penentu Produksi Tandan Buah Segar (Tbs) Tanaman Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin Sumatera Selatan	Tri Lestari Puji Astuti, Nova Tri Buyana, Yuliantina	83-90
Pengaruh Ruang Simpan dan Periode Simpan Terhadap Mutu Umbi Bawang Merah Bima Brebes Desa Air Mesu Timur	Kartika, Resti Nabila, Winda Wahyuni	91-103

PERTUMBUHAN BUNGA LADA VARIETAS NYELUNGKUP DENGAN PEMBERIAN BENZYLADENIN DAN PUPUK DAUN

*Flower Growth of Pepper (*Piper nigrum* L.) Variety Nyelungkup as Affected by Benzyladenine and Foliar Fertilizer Applications*

Arini¹, Devi Lestari¹, Muhammad Syukron Wahid¹, Maera Zasari^{1*}

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunijuk, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33125

* E-mail Korespondensi: maerazasari72.ubb@gmail.com

ABSTRACT

*Pepper (*Piper nigrum* L.) is a leading commodity in Indonesia, particularly in the Bangka Belitung region, because it contributes significantly to community income and national foreign exchange. Pepper production can be influenced by the flowering process. Flower induction can be enhanced through the application of Benzyladenine and foliar fertilizers containing cytokinins and essential nutrients. This study aims to determine the effects of Benzyladenine concentrations and foliar fertilizer on the flowering of the Nyelungkup pepper variety. The research will be conducted in Beruas Village, Central Bangka Regency, from July to November 2025, using a split-plot design arranged in a randomized complete block design with three replications. The main plot consists of Benzyladenine (BA) at four concentrations: 0 ml/L, 10 ml/L, 20 ml/L, and 30 ml/L. The subplot consists of foliar fertilizer dosages at three levels: 2 ml/L (P0), 3 ml/L (P1), and 4 ml/L (P2). The results showed that the application of BA at 10 ml/L and foliar fertilizer at 2 ml/L was the optimal treatment for increasing the number of productive branches, number of leaves, and number of flowers. The combination (BA 10 ml/L + foliar fertilizer 2 ml/L) showed a tendency to improve the number of productive branches, flower formation, and overall vegetative performance.*

Key words: Benzyladenine, Pepper, Flowering, Foliar Fertilizer.

ABSTRAK

Lada adalah komoditas unggulan di Indonesia terutama Bangka Belitung karena dapat meningkatkan pendapatan masyarakat dan devisa negara. Produksi lada dapat dipengaruhi oleh pembungaan. Pembungaan bunga kopi dapat dilakukan dengan pemberian *Benzyladenin* dan pupuk daun mengandung sitokinin dan hara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi *Banzyladenin* dan pupuk daun terhadap pembungaan tanaman lada varietas nyelungkup. Penelitian ini akan dilakukan bertempat di Desa Beruas, Kabupaten Bangka Tengah pada bulan Juli hingga November 2025, menggunakan rancangan percobaan petak terbagi dengan rancangan acak kelompok yang diulang sebanyak 3 kali dengan petak utama adalah ZPT Benzyladenin yang terdiri dari 4 taraf, yaitu konsentrasi 0 ml/liter, konsentrasi 10 ml/liter, konsentrasi 20 ml/liter, konsentrasi 30 ml/liter. Anak petak pada rancangan perlakuan acak terbagi adalah dosis pupuk daun yang terdiri atas 3 taraf, yaitu 2 ml/L (P0), 3 ml/L (P1), 4 ml/L (P2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi BA 10 ml/L dan dosis pupuk daun 2 ml/L merupakan konsentrasi optimal untuk meningkatkan jumlah cabang produktif, jumlah daun, dan jumlah bunga. Kombinasi konsentrasi (BA 10 ml/L + pupuk daun 2 ml/L) memberikan kecenderungan peningkatan jumlah cabang produktif, bunga, dan performa vegetatif yang lebih baik.

Kata kunci: Benzyladenin, Lada, Pembungaan, Pupuk Daun.

PENDAHULUAN

Lada merupakan komoditi ekspor terpenting setelah karet, minyak sawit, kopi, teh, dan tembakau. Kedudukannya sebagai komoditi ekspor perkebunan Indonesia tidak dapat diabaikan sebagai salah satu penambah devisa negara. Saat ini Indonesia termasuk negara produsen lada kedua di dunia di bawah Vietnam. Daerah penghasil lada utama di Indonesia adalah Lampung dan Bangka. Kebutuhan lada baik lada hitam maupun lada putih, semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pertumbuhan penduduk, perluasan bidang kegunaan, dan perluasan daerah pemasarannya (Same, M., 2019). Tanaman lada merupakan komoditas andalan bagi masyarakat Bangka Belitung. Tanaman lada Bangka Belitung memiliki kekuatan dan daya jual tersendiri karena cita rasanya yang khas (Panggabean *et al.*, 2016).

Produktivitas tanaman lada masih berpotensi dapat ditingkatkan melalui penerapan teknologi budidaya mulai dari persiapan lahan, pembibitan, penanaman, pemeliharaan dan penanganan pasca panen yang baik (Nanda *et al.*, 2020). Peningkatan produksi lada memerlukan upaya untuk meningkatkan kualitas hasil lada. Pembungaan menjadi salah satu bagian yang harus menjadi perhatian khusus, karena pembungaan merupakan tahapan awal terbentuknya cikal bakal buah lada. Proses mempercepat rangsangan dan mencegah kerontokan pembungaan pada lada dapat dilakukan dengan induksi pembungaan, yaitu transisi fase vegetatif ke fase generatif. Induksi pembungaan sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal tanaman. Faktor internal pada tanaman diantaranya genetik dan fitohormon tanaman (Nurtjahjaningsih *et al.* 2012). Faktor eksternal pada tanaman lada diantaranya perubahan musim, cahaya, temperatur, dan lama penyinaran (Sumardi, 2018).

Induksi pembungaan dapat dilakukan dengan pemberian larutan mengandung zat pengatur tumbuh, tetapi penambahan hara dalam larutan penginduksi dapat meningkatkan induksi pembungaan. Zat pengatur tumbuh merupakan senyawa organik alami atau sintesis yang mempromosikan, menghambat atau memodifikasi pertumbuhan secara kualitatif dan perkembangan tanaman (Siahaan *et al.*, 2021). Zat pengatur tumbuh (ZPT) adalah zat organik yang merangsang, menghambat dan mengubah pertumbuhan serta perkembangan tanaman. Penggunaan zat pengatur tumbuh bila digunakan dengan konsentrasi rendah akan merangsang dan mempercepat proses pertumbuhan tanaman, dan sebaliknya bila digunakan dalam jumlah besar/konsentrasi tinggi akan menghambat pertumbuhan bahkan dapat mematikan tanaman (Nugroho *et al.*, 2022). *Benziladenin* merupakan ZPT dari golongan sitokinin yang berperan sebagai hormon tanaman alami atau sintetik yang menginduksi pembelahan sel dan tunas pucuk adventif (Fitrahtunnisa, F., & Aisah, A. R., 2021). Hasil Penelitian Puspita A. (2024) mengatakan perlakuan kombinasi perlakuan 20 ml/liter dengan interval waktu pemberian Flower Inducer dua minggu sekali menunjukkan hasil yang sangat cepat, yaitu 14 hari setelah perlakuan hingga munculnya primordia. *Benziladenin* merupakan jenis sitokinin sintetik yang mempunyai aktivitas yang kuat, lebih efektif daripada kinetin karena BA mempunyai gugus benzil (Lestari, 2011).

Lada merupakan tanaman yang membutuhkan unsur hara dalam jumlah yang relatif banyak. Untuk memperoleh tingkat pertumbuhan dan hasil yang tinggi diperlukan dosis pemupukan yang tinggi dengan komposisi unsur yang berimbang. Salah satu hambatan dalam pertumbuhan bibit lada adalah kurang tersedianya unsur hara dalam tanah (Same, M., 2019). Pemupukan adalah usaha memberikan pupuk agar unsur hara dapat tersedia sesuai dengan kebutuhan pada tanaman. Pemupukan tersebut tidak hanya dilakukan melalui tanah atau pupuk akar, tetapi dapat pula diberikan ke tubuh tanaman melalui daun. Pemupukan melalui daun dilakukan dengan cara menyemprotkan unsur hara pada daun atau tubuh tanaman lainnya.

Pupuk daun bentuknya dapat berupa padatan dan cairan, pupuk daun untuk pembungaan sebaiknya yang mengandung hara makro terutama P dan K yang tinggi, selain itu juga mengandung hara mikro yang diperlukan. Komposisi hara yang terkandung dalam pupuk daun adalah hara makro, meliputi N, P dan K, dan hara makro Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mo, dan Zn (Gani, I. S., & Ralle, A., 2023). Pupuk ini sangat berguna untuk mengatasi kekurangan unsur-unsur hara mikro, merangsang pertumbuhan, membantu proses fotosintesis dan penyerapan unsur hara dari dalam tanah, sehingga dapat memberikan hasil yang optimal (Saberan, N., Rahmi, A., & Syahfari, H., 2014). Hasil penelitian Viloga dkk. (2013)

menyatakan pemberian pupuk daun 2 gram/liter air sudah mampu memenuhi kebutuhan unsur hara bagi tanaman.

Aplikasi benziladenin dan pupuk daun dapat dilakukan untuk mengetahui respon pertumbuhan bunga pada tanaman lada. Penelitian ini diharapkan dapat mampu menjadi solusi untuk memanfaatkan BA sebagai ZPT serta mampu menjadi acuan dosis penggunaan pupuk Growmore terhadap pertumbuhan bunga lada.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juli sampai bulan November 2025. Penelitian ini akan dilakukan bertempat di Desa Beruas, Kecamatan Simpang Katis, Kabupaten Bangka Tengah, Kepulauan Bangka Belitung. Bahan utama yang digunakan adalah tanaman lada varietas nyelungkup, *Benzyladein* (BA) dan pupuk daun.

Tanaman lada yang dijadikan sampel disusun dalam Rancangan Percobaan Petak Terbagi (Spitplot) pada Rancangan perlakuan Acak Kelompok (RAK). Rancangan petak terbagi terdiri dari petak utama dan anak petak. Petak utama pada rancangan perlakuan acak terbagi ZPT Benzyladenin yang terdiri dari 4 taraf, yaitu konsentrasi 0 ml/liter, konsentrasi 10 ml/liter, konsentrasi 20 ml/liter, konsentrasi 30 ml/liter. Anak petak pada rancangan perlakuan acak terbagi adalah dosis pupuk daun yang terdiri atas 3 taraf, yaitu 2 ml/L (P0), 3 ml/L (P1), 4 ml/L (P2). Percobaan meliputi 12 kombinasi perlakuan, masing-masing kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 36 unit percobaan.

Cara kerja pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa kegiatan, yaitu pemilihan tanaman lada, pelabelan pada tanaman, menentukan cabang produktif, persiapan larutan penginduksi bunga yaitu BA dan pupuk daun, pengaplikasian larutan penginduksi bunga dan pengamatan. Peubah yang diamati dengan mengamati pertumbuhan bunga, meliputi: jumlah ruas, jumlah cabang produktif, jumlah primordia, jumlah tunas yang muncul, jumlah daun yang muncul dan jumlah bunga yang muncul. Data dianalisis dengan menggunakan uji sidik ragam (ANOVA) dan apabila berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* dengan taraf kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis sidik ragam (anova) (Tabel 1) dari berbagai parameter pertumbuhan dengan pemberian perlakuan berbagai konsentrasi *Benzyl Adenine* (BA), Dosis Pupuk Daun dan Interaksinya. Hasil analisis data menunjukkan bahwa perlakuan berbagai konsentrasi BA menunjukkan hasil yang berpengaruh sangat nyata pada peubah jumlah cabang produktif, jumlah bunga dan jumlah daun serta menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata pada peubah jumlah ruas, jumlah primordia dan jumlah tunas. Hasil analisis pada perlakuan berbagai dosis pupuk daun menunjukkan hasil yang berpengaruh sangat nyata pada peubah jumlah primordia, hasil yang berpengaruh nyata pada peubah jumlah ruas dan menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata pada peubah jumlah cabang produktif, jumlah bunga dan jumlah tunas. Hasil analisis data dari interaksi kedua perlakuan tersebut menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata pada seluruh peubah yang diamati yaitu jumlah ruas, jumlah cabang produktif, jumlah primordia, jumlah bunga, jumlah daun dan jumlah tunas.

Tabel 1. Hasil analisis sidik ragam (Anova) pada perlakuan *Benzil Adenine* (BA), Pupuk Daun dan Interaksi antara *Benzil Adenine* (BA) dan Pupuk Daun.

Peubah yang diamati	BA	Pupuk Daun	KK (%)	Interaksi	KK (%)
	Pr>F	Pr>F		Pr>F	
Jumlah Ruas	0,2117 ^{tn}	0,0266*	8,33	0,5167 ^{tn}	8,58
Jumlah Cabang Produktif	0,0051**	0,6919 ^{tn}	25,59	0,0570 ^{tn}	24,72
Jumlah Primordia	0,2171 ^{tn}	0,0004**	28,03	0,3172 ^{tn}	29,31
Jumlah Bunga	<,0001**	0,7839 ^{tn}	44,12	0,2399 ^{tn}	48,10
Jumlah Daun	0,0004**	0,9218 ^{tn}	35,23	0,3217 ^{tn}	39,59
Jumlah Tunas	0,1344 ^{tn}	0,5275 ^{tn}	34,42	0,8110 ^{tn}	40,26

Keterangan : * (Berpengaruh nyata pada tingkat kepercayaan 95%), ** (Berpengaruh sangat nyata pada tingkat kepercayaan 99%) tn (tidak berpengaruh nyata), $Pr > F$ (Nilai Probabilitas), KK (Koefisien keragaman).

Hasil analisis pada uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) (Tabel 2) pada perlakuan berbagai konsentrasi *Benzil Adenine* (BA) menunjukkan hasil yang berpengaruh terhadap peubah yang diamati. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa perlakuan dari berbagai konsentrasi BA yang diaplikasikan, konsentrasi BA sebesar 10 ml/liter (B0) merupakan konsentrasi yang menunjukkan hasil terbaik pada peubah jumlah cabang produktif, jumlah primordia dan jumlah daun dibandingkan dengan konsentrasi *Benzil Adenine* (BA) lainnya.

Tabel 2. Hasil Uji Lanjut DMRT Perlakuan berbagai konsentrasi *Benzil Adenine* (BA) terhadap pertumbuhan bunga lada

Peubah yang diamati	Perlakuan Berbagai Konsentrasi BA			
	0 ml/liter (B0)	10 ml/liter (B1)	20 ml/liter (B2)	30 ml/liter (B3)
Jumlah Cabang Produktif	5,05bc	6,53a	5,74ab	3,86c
Jumlah Primordia	0,91b	2,90a	1,33b	1,05b
Jumlah Daun	1,84b	3,38a	2,05b	1,36b

Keterangan: Angka yang memiliki huruf yang sama pada baris yang sama dibelakangnya menunjukkan perbedaan hasil yang tidak berbeda nyata secara statistik berdasarkan uji rerata (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) (Tabel 3) pada perlakuan pemberian berbagai dosis pupuk daun yang menunjukkan hasil yang berpengaruh terhadap jumlah ruas dan jumlah primordia, Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk daun 3 ml/liter (P3) menunjukkan hasil terbaik pada peubah jumlah ruas. Perlakuan dosis pupuk daun 2 ml/liter (P2) menunjukkan hasil terbaik pada peubah jumlah primordia.

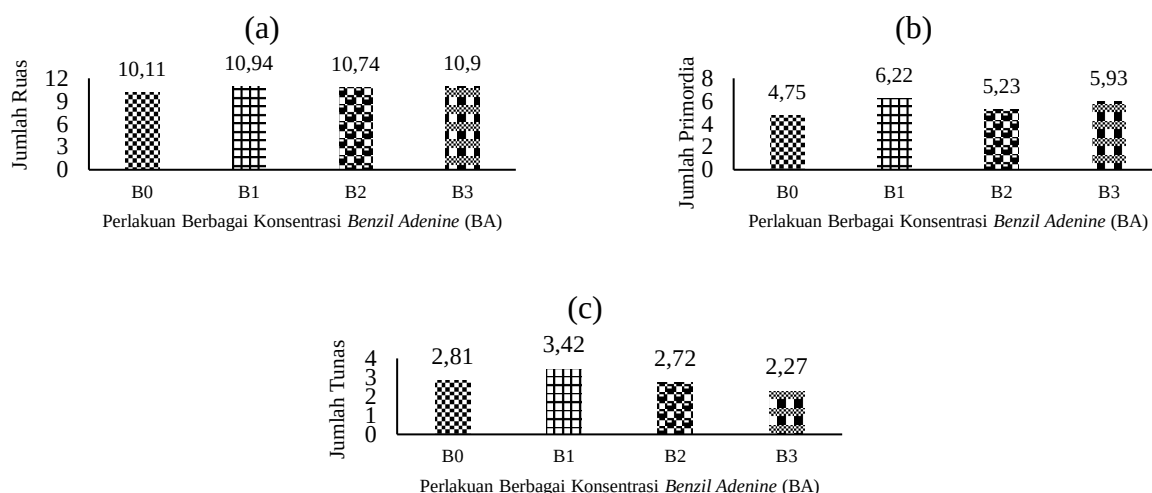
Tabel 2. Hasil Uji Lanjut DMRT Perlakuan berbagai dosis pupuk daun terhadap pertumbuhan bunga lada

Peubah yang diamati	Perlakuan Berbagai Dosis Pupuk Daun		
	2 ml/liter (P2)	3 ml/liter (P3)	4 ml/liter (P4)
Jumlah Ruas	10,04b	11,00a	10,98a
Jumlah Primordia	7,17a	5,55b	3,88c

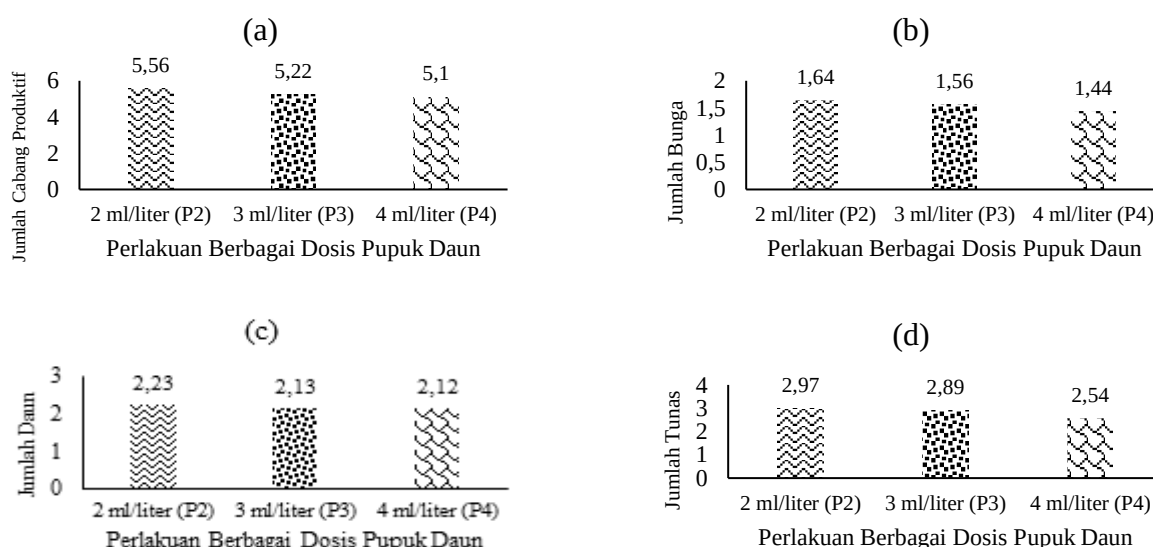
Keterangan: Angka yang memiliki huruf yang sama pada baris yang sama dibelakangnya menunjukkan perbedaan hasil yang tidak berbeda nyata secara statistik berdasarkan uji rerata (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%.

Hasil rerata pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perlakuan berbagai konsentrasi *Benzil Adenine* (BA), hasil rerata menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi BA 20 ml/liter menunjukkan hasil rerata tertinggi pada peubah jumlah ruas, jumlah primordia dan jumlah tunas. Perlakuan konsentrasi B0 menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah jumlah ruas dan jumlah primordia sedangkan perlakuan konsentrasi BA 30 ml/liter (B3) menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah jumlah tunas.

Hasil rerata pada Gambar 2 menunjukkan bahwa perlakuan berbagai dosis pupuk daun hasil rerata menunjukkan bahwa perlakuan dosis pupuk daun 2 ml/liter (P2) menunjukkan hasil rerata tertinggi pada peubah jumlah cabang produktif, jumlah bunga, jumlah daun dan jumlah tunas. Perlakuan dosis pupuk daun 4 ml/liter (P4) menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah peubah jumlah cabang produktif, jumlah bunga, jumlah daun dan jumlah tunas.



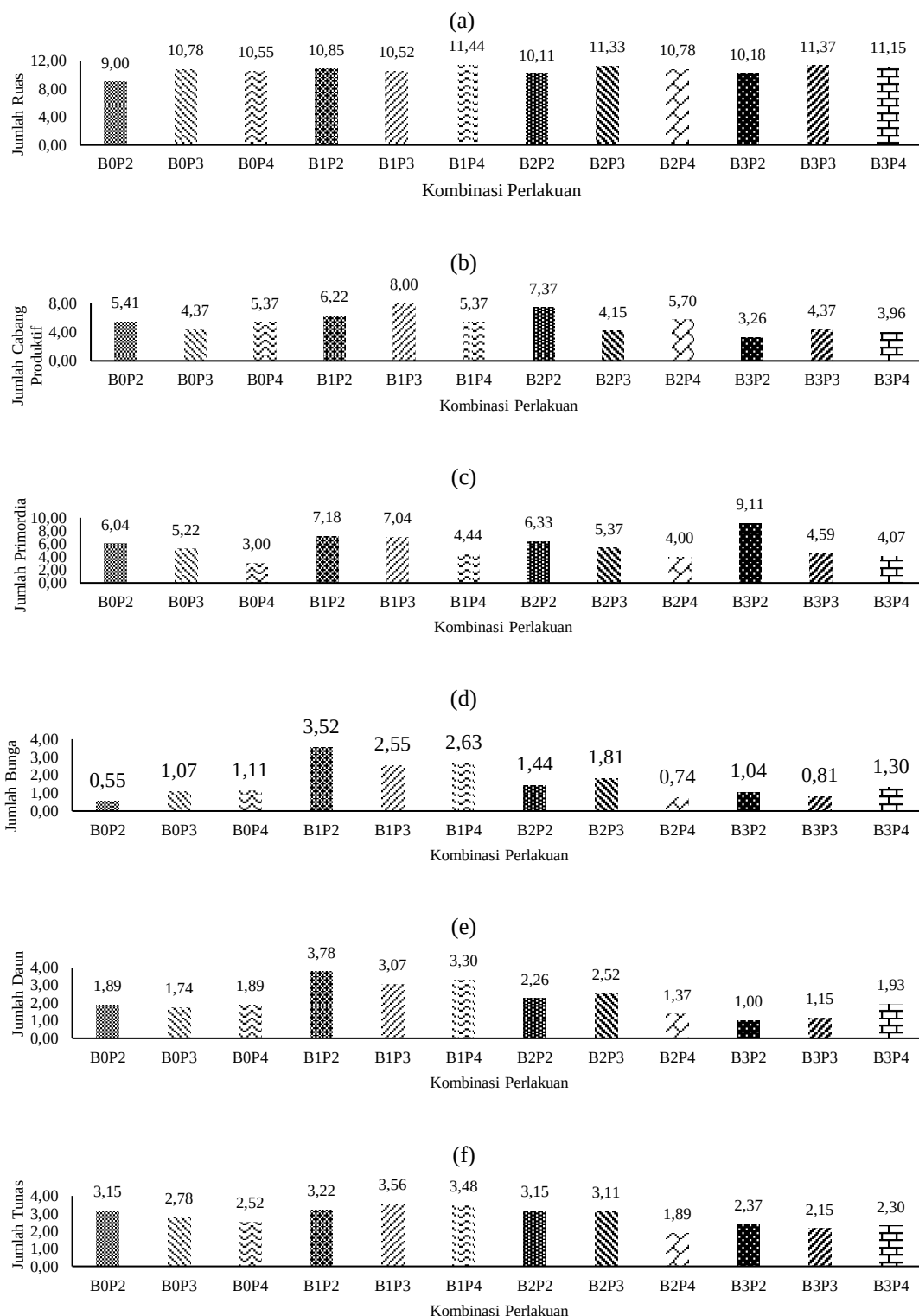
Gambar 1. Hasil rerata perlakuan berbagai konsentrasi *Benzil Adenine* (BA) terhadap pertumbuhan bunga lada. (a) jumlah ruas, (b) jumlah primordia dan (c) jumlah tunas. B0 = 0 ml/ liter; B1 = 10 ml/liter; B2 = 20 ml/liter; B3 = 30 ml/liter.



Gambar 2. Hasil rerata perlakuan berbagai dosis pupuk daun terhadap pertumbuhan bunga lada. (a) jumlah cabang produktif, (b) jumlah bunga, (c) jumlah daun dan (d) jumlah tunas.

Hasil rerata interaksi pada Gambar 3 menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan BA dan pupuk daun menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata. Hasil rerata menunjukkan bahwa pada peubah jumlah ruas perlakuan B1P4 menunjukkan hasil rerata tertinggi pada peubah jumlah ruas sedangkan perlakuan B0P1 menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah jumlah ruas. Hasil rerata menunjukkan bahwa pada peubah jumlah cabang produktif perlakuan B1P3 menunjukkan hasil rerata tertinggi pada peubah jumlah cabang produktif sedangkan perlakuan B3P2 menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah jumlah cabang produktif. Hasil rerata menunjukkan bahwa pada peubah jumlah primordia perlakuan B3P3 menunjukkan hasil rerata tertinggi pada peubah jumlah primordia sedangkan perlakuan B0P3 menunjukkan hasil rerata terendah pada peubah jumlah primordia. Perlakuan B1P2 menunjukkan nilai rerata menunjukkan nilai rerata tertinggi pada peubah jumlah bunga sedangkan perlakuan B0P2 menunjukkan nilai rerata terendah pada peubah jumlah bunga. Hasil pengamatan pada peubah jumlah daun, perlakuan B1P2 menunjukkan nilai rerata tertinggi sedangkan perlakuan B3P2

menunjukkan nilai rerata terendah pada peubah jumlah daun. Perlakuan B1P3 menunjukkan nilai rerata tertinggi pada peubah jumlah tunas sedangkan perlakuan B2P4 menunjukkan nilai rerata terendah pada peubah jumlah tunas.



Gambar 3. Hasil rerata interaksi perlakuan berbagai konsentrasi BA dan dosis pupuk daun terhadap pertumbuhan bunga lada. (a) jumlah ruas, (b) jumlah cabang produktif, (c) jumlah primordia, (d) jumlah bunga, (e) jumlah daun, (f) jumlah tunas. B0 = 0 ml/liter; B1 = 10 ml/liter; B2 = 20 ml/liter; B3 = 30 ml/liter. P2 = 2 ml/liter; P3 = 3 ml/liter; P4 = 4 ml/liter.

Peningkatan pembuahan pembungaan tanaman lada memerlukan input hara yang cukup. Menurut Puspita A. (2024), penyediaan kebutuhan unsur hara bagi tanaman dapat dilakukan dengan pemberian hara. Pemberian larutan yang mengandung hara dan zat pengatur tumbuh sangat membantu untuk meningkatkan pembungaan tanaman. Larutan yang mengandung unsur hara sangat diperlukan untuk mencapai pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang optimal dengan memastikan konsentrasi larutan hara yang diperlukan oleh tanaman terpenuhi secara optimal. Penambahan hara pada tanaman merupakan hal yang harus dilakukan untuk keberlangsungan pembungaan yang baik. Menurut Setiawan (2023), zat pengatur tumbuh memengaruhi proses fisiologi pada semua tahap kehidupan tanaman, mulai pertumbuhan, dari perkecambahan, pembungaan, pengaturan pembentukan buah. Menurut Ula *et al.* (2019), pupuk daun dapat mempercepat tumbuh tunas, panjang cabang, meningkatkan kuntum bunga dan mempercepat bunga muncul.

Secara fisiologis BA berperan dominan dalam merangsang aktivitas pembelahan dan diferensiasi sel yang berkaitan dengan pembentukan organ vegetatif seperti daun dan cabang produktif. Temuan ini selaras dengan Dewi *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa aplikasi sitokinin (BA) mampu meningkatkan jumlah daun dan tunas pada tanaman *Piper nigrum L.* melalui peningkatan sintesis protein dan klorofil. Menurut Sari *et al.* (2022) menemukan bahwa pemberian BA 10 ppm pada fase vegetatif tanaman lada mendorong pembentukan daun muda lebih cepat dibanding kontrol tanpa BA. Pupuk daun dapat meningkatkan pembentukan primordia dan ruas melalui peningkatan ketersediaan unsur hara mikro seperti Zn dan B yang berperan dalam pertumbuhan meristem apikal (Rachmawati *et al.*, 2020). Penelitian Sukmawan *et al.* (2022) di Lampung juga menunjukkan bahwa frekuensi penyemprotan pupuk daun NPK setiap dua minggu sekali mampu meningkatkan jumlah ruas dan panjang sulur lada secara signifikan dibanding interval empat minggu.

Aplikasi BA pada dosis 10 ml/L mampu memacu pembentukan organ vegetatif (cabang, daun) secara optimal, sedangkan pupuk daun dosis 2–3 ml/L lebih berperan dalam pembentukan struktur awal pertumbuhan (ruas dan primordia). Kombinasi keduanya menunjukkan efek positif tetapi belum signifikan secara statistik, yang mungkin disebabkan oleh perbedaan waktu serapan hormon dan unsur hara daun. Menurut Yuliani *et al.* (2023) menunjukkan bahwa efektivitas hormon sitokinin sering dipengaruhi oleh kondisi fisiologis daun dan pH permukaan saat aplikasi foliar.

Konsentrasi Benzyl Adenine (BA) memberikan pengaruh sangat nyata terhadap beberapa parameter pertumbuhan, yaitu jumlah cabang produktif, jumlah bunga, dan jumlah daun. Perlakuan ini tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah ruas, jumlah primordia, maupun jumlah tunas. BA berpengaruh lebih dominan terhadap pertumbuhan organ vegetatif dan reproduktif bagian atas tanaman, terutama yang berkaitan dengan percabangan dan pembentukan bunga. Konsentrasi BA 10 ml/liter memberikan hasil terbaik pada parameter jumlah cabang produktif, jumlah primordia, dan jumlah daun. Konsentrasi ini dianggap optimal karena mampu menstimulasi pembelahan sel dan pertumbuhan jaringan baru tanpa menimbulkan efek toksik atau ketidakseimbangan fisiologis pada tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Taheri dan Haghighi (2018) yang menyatakan bahwa aplikasi foliar Benzyl Adenine (BA) dengan konsentrasi rendah hingga menengah (6 ppm) secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering akar dan batang, serta menurunkan tingkat gugur bunga pada tanaman *Capsicum annum* (paprika). BA bekerja sebagai hormon sitokinin yang berfungsi menstimulasi pembelahan sel, pembentukan tunas lateral, dan memperlambat penuaan daun melalui peningkatan sintesis protein serta kandungan klorofil (Taheri & Haghighi, 2018).

Hasil menunjukkan bahwa pemberian pupuk daun berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah primordia dan nyata terhadap jumlah ruas, tetapi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah cabang produktif, bunga, dan tunas. Unsur hara yang diberikan melalui daun langsung diserap dan dimanfaatkan oleh jaringan fotosintetik tanaman untuk mempercepat pembentukan titik tumbuh baru (primordia) serta meningkatkan aktivitas pembentukan ruas batang. Menurut Ann (2016) pada tanaman lada hitam menunjukkan bahwa aplikasi pupuk daun organik sebesar 5 ml/L air secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman, berat kering, panjang akar, serta hasil panen. Penggunaan pupuk daun memungkinkan penyerapan hara mikro (seperti Mg, Zn, Fe) lebih efisien melalui stomata, sehingga memperkuat pertumbuhan vegetatif tanpa mengganggu keseimbangan hara dalam tanah.

Penelitian Kumar *et al.* (2021) menunjukkan bahwa aplikasi BA 10 ppm pada tanaman lada meningkatkan jumlah bunga per tandan sebesar 18–22 % dibanding kontrol, disebabkan oleh peningkatan aktivitas sitokinin dalam menghambat penuaan daun dan memperpanjang masa fotosintesis aktif. Menurut Gunawan *et al.* (2020) menunjukkan bahwa penyemprotan pupuk daun dengan kandungan N dan K tinggi mampu meningkatkan rasio bunga jantan–betina dan mempercepat pembungaan pada lada. Interaksi BA $\times$ pupuk daun yang tidak signifikan pada penelitian ini menunjukkan bahwa respon hormon dan nutrisi foliar tidak selalu bersifat sinergis pada waktu aplikasi yang sama. Menurut Wijaya *et al.* (2022) pada tanaman cabai, di mana interaksi BA dan pupuk daun hanya signifikan bila aplikasi BA dilakukan 3–5 hari sebelum penyemprotan pupuk daun. Waktu optimum aktivitas enzim nitrogenase dan sitokinin dalam jaringan daun. BA berperan dalam meningkatkan potensi pembentukan bunga dan cabang produktif, sedangkan pupuk daun mendukung peningkatan kapasitas fotosintetik dan transportasi hara ke organ generatif. Meskipun interaksi keduanya tidak nyata secara statistik, kombinasi dosis moderat (BA 10 ml/L + pupuk daun 2 ml/L) secara fisiologis menunjukkan kecenderungan peningkatan jumlah bunga dan cabang produktif yang dapat mendukung produktivitas jangka panjang. Pembungaan pada tanaman lada berdampak pada hasil panen yang berkualitas. Pemahaman yang baik mengenai mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi induksi pembungaan sangat penting bagi petani untuk mengoptimalkan hasil panen dan meningkatkan produksi biji lada yang berkualitas.

KESIMPULAN

Perlakuan konsentrasi BA 10 ml/L merupakan konsentrasi optimal untuk meningkatkan jumlah cabang produktif, jumlah daun, dan jumlah bunga. Perlakuan dosis pupuk daun 2 ml/L merupakan dosis optimal untuk meningkatkan jumlah cabang produktif, jumlah daun, dan jumlah bunga. Kombinasi konsentrasi (BA 10 ml/L + pupuk daun 2 ml/L) memberikan kecenderungan peningkatan jumlah cabang produktif, bunga, dan performa vegetatif yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan yang telah memfasilitasi kegiatan pembelajaran (*Team Base Project*) serta Lembaga Penjamin Mutu dan Pengembangan Pembelajaran Universitas Bangka Belitung, yang memberikan bantuan dana untuk kegiatan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, A. P., Ramadhani, S., & Lestari, M. (2021). Pengaruh pemberian *Benzyl Adenine* (BA) terhadap pertumbuhan dan pembentukan tunas lada (*Piper nigrum* L.) secara in vitro. *Jurnal Agrotek Tropika*, 9(2), 112–120.
- Fitrahtunnisa, F., & Aisah, A. R. (2021). Respons Pertumbuhan Tiga Varietas Pisang Lokal Terhadap ZPT *Benzil Adenin* (BA) Secara In Vitro. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 28(1), 1-8.
- Gani, I. S., & Ralle, A. (2023). Pengaruh Berbagai Konsentrasi Pupuk Daun Growmore Terhadap Pertumbuhan Tanaman Hias *Monstera* (*Monstera adansonii*). *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 4(2), 183-191.
- Gunawan, E., Sari, W. D., & Kurniawan, F. (2020). Pengaruh dosis pupuk daun N dan K terhadap pembungaan dan hasil tanaman lada (*Piper nigrum* L.) di lahan marginal. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(3), 145–153.
- Lestari, E.G. 2011. Peranan Zat Pengatur Tumbuh dalam Perbanyakan Tanaman melalui Kultur Jaringan. *Jurnal AgroBiogen* 7(1): 63-68.

- Kumar, V., Anandan, R., & Jayanthi, R. (2021). Effect of 6-Benzylaminopurine on flowering and yield attributes of black pepper (*Piper nigrum* L.) under field conditions. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 30(1), 55–62.
- Nanda, E. T., Safruddin, N. C., & Chaniago, N. (2020). Pengaruh Pupuk Solid Dan Zpt Auksin Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Stek Lada (*Piper nigrum* L.). *Bernas: Jurnal Penelitian Pertanian*, 15(1), 91-102.
- Nugroho, S. A., Bagiatus, S., Setyoko, U., Fatimah, T., Novenda, I. L., & Pujiastuti, P. (2022). Pengaruh Zpt Nabati Dan Media Tumbuh Terhadap Perkembangan Kopi Robusta. *Jurnal Biosense*, 5(2), 62-76.
- Panggabean, M. T., Amanah, S., & Tjitropranoto, P. (2016). Persepsi petani lada terhadap diseminasi teknologi usahatani lada di Bangka Belitung. *Jurnal Penyuluhan*, 12(1).
- Puspita, A., Kartika, K., & Zasari, M. (2024). Pengaruh Konsentrasi dan Interval Waktu Pemberian Flower Inducer terhadap Pembungaan Kopi Robusta. *JURNAL AGROTROPIKA*, 23(1), 19-29.
- Rachmawati, N., Sudarsono, D., & Hadi, A. (2020). Respon pertumbuhan lada terhadap aplikasi pupuk daun dengan kandungan unsur mikro pada fase vegetatif. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 7(1), 29–38.
- Sabaran, N., Rahmi, A., & Syahfari, H. (2014). Pengaruh pupuk NPK pelangi dan pupuk daun Grow Team M terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* L. Mill) varietas permata. *Agrifor*, 13(1), 67-74.
- Same, M. (2019). Pengaruh Sekam Bakar dan Pupuk NPK Pada Pertumbuhan Bibit Lada. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(3), 217-224.
- Sari, N. D., Putra, I. M., & Hartono, T. (2022). Pengaruh konsentrasi Benzyl Adenine terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman lada (*Piper nigrum* L.) pada fase awal. *Jurnal Agronida*, 8(1), 43–50.
- Septiani, T. (2019). Pengaruh Berbagai Konsentrasi tonik Terhadap Pertumbuhan Setek Lada (*Piper Nigrum* L.). *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 7(1), 46-51.
- Sukmawan, D., Lestari, P., & Widodo, R. (2022). Pengaruh frekuensi penyemprotan pupuk daun terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman lada (*Piper nigrum* L.) di Lampung Timur. *Jurnal Agro Industri*, 12(2), 88–95.
- Sumardi, S. (2018, May). Studi Fenologi dan Intensitas Pembungaan Cendana (*Santalum album* Linn.) di Kabupaten Timor Tengah Selatan–Nusa Tenggara Timur. In *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek)* (pp. 243-246).
- Ula, D. Q., Azizah, N., & Suryanto, A. (2019). Pembungaan Kembali Tanaman Mawar (*Rosa* SP.) Sebagai Tanaman Taman Melalui Pemangkasan dan Pemberian Pupuk. *Plantropica: Journal of Agricultural Science*, 4(1), 1-10.
- Viloga, N., Gultom, H., & Sabli, T. E. (2013). Pemberian Pupuk Kandang Sapi dan Growmore 12-45-10 pada Pertumbuhan Tanaman Buah Naga (*Hylocereus costaricensis*). *Dinamika Pertanian*, 28(2), 91-96.
- Wijaya, H., Nuraini, S., & Prasetyo, D. (2022). Interaksi Benzyl Adenine dan pupuk daun terhadap pembentukan bunga dan hasil tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.). *Jurnal Hortikultura Tropika*, 5(3), 121–130.
- Yuliani, E., Mulyadi, & Kadir, N. (2023). Efektivitas aplikasi hormon sitokinin dan pupuk daun terhadap respon fisiologis tanaman rempah tropika. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 6(4), 201–210.

EVALUASI KINERJA LINGKUNGAN DAN POTENSI VALORISASI HASIL SAMPING AGROINDUSTRI SIRUP KALAMANSI DI PROVINSI BENGKULU

Environmental Performance Assessment and Valorization Potential of By-products from the Kalamansi Syrup Agroindustry in Bengkulu Province

Iman Darmatama^{1*}, Fahrul Rozi Maulana², Zakhi Restu Pratama³

^{1,3} Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

² Program Studi Sains Agribisnis, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

* E-mail Korespondensi: idarmatama@gmail.com

ABSTRACT

Calamansi (Citrofortunella microcarpa) is an agricultural commodity developed and processed into value-added products in Bengkulu Province, including calamansi syrup. This study aimed to evaluate the environmental performance of the calamansi syrup agroindustry and identify the valorization potential of its by-products based on secondary scientific data. A descriptive-quantitative approach was applied by synthesizing published studies on production processes, life cycle assessment (LCA), by-product characteristics, and valorization technologies. Environmental performance was evaluated using secondary LCA results with a cradle-to-grave system boundary, a functional unit of 500 mL of calamansi syrup per bottle, and the CML-IA Baseline method. The results showed that the production stage was the main hotspot, particularly due to sugar use. The reported impact values were 4.98483×10^{-14} kg CO₂-eq/FU for Global Warming Potential, 3.04384×10^{-14} kg SO₂-eq/FU for Acidification Potential, 5.43431×10^{-14} kg PO₄-eq/FU for Eutrophication Potential, and 1.40336×10^{-15} kg CFC-11-eq/FU for Ozone Layer Depletion Potential. The by-products comprised peel, pulp, seeds, and settling liquid. Peel showed the strongest empirical basis for valorization through pectin extraction, while the combined use of peel and pulp showed strong potential for concrete (aromatic solvent extract) production. The settling liquid also showed potential for essential-oil production. The findings indicate that by-product valorization can support resource efficiency and sustainability, although comparative LCA and economic feasibility of each valorization scenario require further study.

Key words: Bengkulu, by-products, calamansi syrup, environmental performance, life cycle assessment, valorization.

ABSTRAK

Jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) merupakan komoditas pertanian yang dikembangkan dan diolah menjadi produk bernilai tambah di Provinsi Bengkulu, salah satunya sirup kalamansi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja lingkungan agroindustri sirup kalamansi serta mengidentifikasi potensi valorisasi hasil samping berdasarkan data sekunder dari publikasi ilmiah. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan mensintesis informasi mengenai proses produksi, hasil *Life Cycle Assessment* (LCA), karakteristik hasil samping, dan teknologi pemanfaatannya. Evaluasi kinerja lingkungan mengacu pada hasil LCA sekunder dengan batas sistem *cradle-to-grave*, unit fungsional 500 mL sirup kalamansi per botol, dan metode CML-IA Baseline. Hasil menunjukkan bahwa tahap produksi merupakan hotspot utama, terutama akibat penggunaan gula. Nilai dampak yang dilaporkan meliputi *Global Warming Potential* sebesar $4,98483 \times 10^{-14}$ kg CO₂-eq/FU, *Acidification Potential* sebesar $3,04384 \times 10^{-14}$ kg SO₂-eq/FU, *Eutrophication Potential* sebesar $5,43431 \times 10^{-14}$ kg PO₄-eq/FU, dan *Ozone Layer Depletion Potential* sebesar $1,40336 \times 10^{-15}$ kg CFC-11-eq/FU.

Hasil samping terdiri atas kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan. Kulit memiliki dasar empiris paling kuat untuk divalorisasi melalui ekstraksi pektin, sedangkan kombinasi kulit dan pulp menunjukkan potensi kuat untuk produksi *concrete* (*ekstrak aromatik hasil ekstraksi pelarut*). Cairan hasil pengendapan juga menunjukkan potensi untuk dimanfaatkan dalam produksi minyak atsiri. Temuan menunjukkan bahwa valorisasi hasil samping berpotensi mendukung efisiensi sumber daya dan keberlanjutan agroindustri, meskipun LCA komparatif dan analisis kelayakan ekonomi setiap skenario masih diperlukan.

Kata kunci: Bengkulu, hasil samping, kinerja lingkungan, *life cycle assessment*, sirup kalamansi, valorisasi.

PENDAHULUAN

Jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang berkembang dan dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai produk olahan di Provinsi Bengkulu. Karakteristik buah yang memiliki cita rasa asam dan aroma khas mendorong pemanfaatannya dalam bentuk produk bernilai tambah, salah satunya sirup kalamansi. Hidayat et al. (2018) menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku jeruk kalamansi di Kota Bengkulu telah mendorong berkembangnya industri rumah tangga pengolahan sirup. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa pengolahan kalamansi tidak hanya berperan dalam meningkatkan nilai ekonomi komoditas, tetapi juga menjadi bagian dari aktivitas agroindustri berbasis sumber daya pertanian lokal. Dari sisi mutu bahan baku, Dinata dan Hidayat (2019) juga menunjukkan bahwa kondisi buah kalamansi berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan kimia buah, termasuk bobot, diameter, volume sari, dan total padatan terlarut.

Pengolahan jeruk kalamansi menjadi sirup menghasilkan produk utama sekaligus sejumlah hasil samping. Pada proses pengepresan dan pengolahan, bagian buah yang tidak masuk ke dalam produk utama dapat berupa kulit, pulp, biji, serta cairan hasil pengendapan. Tutuarima et al. (2018) secara khusus melaporkan bahwa industri sirup jeruk kalamansi menghasilkan kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan sebagai hasil samping. Keberadaan material tersebut menunjukkan bahwa peningkatan produksi sirup juga perlu diikuti dengan pengelolaan hasil samping yang tepat agar tidak hanya berorientasi pada peningkatan output produk. Dari perspektif agroindustri berkelanjutan, hasil samping perlu dipandang sebagai material yang masih memiliki potensi guna dan bukan semata-mata sebagai limbah yang harus dibuang.

Potensi pemanfaatan hasil samping kalamansi telah dibuktikan melalui berbagai penelitian. Rosalina et al. (2017) menunjukkan bahwa limbah kulit dan kulit+daging buah hasil pengepresan jeruk kalamansi dapat digunakan sebagai sumber pektin. Rendemen pektin dari kulit kalamansi dilaporkan mencapai 15,3%, sedangkan dari kulit+daging buah sebesar 7,82%, dengan kandungan galakturonat pada pektin kulit kalamansi mencapai 93,51%. Sementara itu, Tutuarima et al. (2018) mengkaji pemanfaatan kulit dan pulp hasil samping industri sirup sebagai bahan untuk menghasilkan *concrete* (*ekstrak aromatik hasil ekstraksi pelarut*) melalui proses maserasi. Penelitian tersebut memperoleh rendemen *concrete* maksimum sebesar 54,6823% pada kondisi penelitian tertentu. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa hasil samping agroindustri kalamansi mempunyai kandungan dan karakteristik yang memungkinkan dikembangkan menjadi bahan atau produk bernilai tambah.

Di sisi lain, pemanfaatan hasil samping perlu ditempatkan dalam konteks kinerja lingkungan agroindustri secara keseluruhan. Setiap proses pengolahan membutuhkan bahan baku, air, energi, bahan kemasan, dan sumber daya lainnya serta menghasilkan keluaran berupa produk, hasil samping, dan limbah. Fahlin et al. (2025) melalui kajian *Life Cycle Assessment* pada produk sirup kalamansi Bengkulu menunjukkan bahwa aktivitas agroindustri menghasilkan penggunaan sumber daya dan energi serta keluaran berupa limbah padat dan cair. Penelitian tersebut mengevaluasi dampak lingkungan sepanjang daur hidup produk, mulai dari tahap hulu hingga hilir, dan mengidentifikasi skenario perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan. Temuan tersebut memperkuat kebutuhan untuk melihat pengelolaan

hasil samping tidak hanya dari sisi potensi ekonomi, tetapi juga dari kontribusinya terhadap peningkatan kinerja lingkungan dan keberlanjutan agroindustri.

Berdasarkan penelitian terdahulu, informasi mengenai proses produksi sirup kalamansi, karakteristik hasil samping, serta alternatif pemanfaatannya telah tersedia secara terpisah, tetapi informasi tersebut perlu disintesis untuk memberikan gambaran yang lebih terarah mengenai hubungan antara kinerja lingkungan dan potensi valorisasi hasil samping agroindustri. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari publikasi ilmiah dan sumber penelitian yang dapat diverifikasi untuk mengevaluasi kinerja lingkungan agroindustri sirup kalamansi serta mengidentifikasi dan menilai potensi valorisasi hasil samping yang dapat mendukung keberlanjutan agroindustri di Provinsi Bengkulu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan pemanfaatan hasil samping yang lebih produktif sekaligus mendukung pengelolaan lingkungan pada agroindustri berbasis komoditas lokal.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dan komparatif berbasis data sekunder. Data diperoleh dari publikasi ilmiah yang membahas agroindustri sirup kalamansi, proses pengolahan, penggunaan sumber daya, dampak lingkungan, serta pemanfaatan hasil samping. Data utama mengenai kinerja lingkungan mengacu pada hasil penelitian LCA sirup kalamansi Bengkulu yang dilakukan oleh Fahlin et al. (2025), sedangkan informasi mengenai karakteristik dan pemanfaatan hasil samping diperoleh dari penelitian Tutuarima et al. (2018). Penelitian Tutuarima et al. (2018) mengidentifikasi hasil samping industri sirup kalamansi berupa kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan serta mengkaji pemanfaatan kulit dan pulp untuk menghasilkan *concrete*. Dengan demikian, penelitian ini merupakan kajian sintesis data sekunder dan bukan LCA primer masing-masing kombinasi perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 36 unit percobaan.

Data sekunder dipilih berdasarkan tiga kriteria, yaitu (1) berasal dari sumber yang dapat diverifikasi, (2) memiliki informasi kuantitatif atau deskripsi proses yang jelas, dan (3) relevan dengan sistem agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu. Data dari sumber yang berbeda tidak langsung digabungkan. Setiap data terlebih dahulu diperiksa berdasarkan lokasi penelitian, tahun pengamatan, unit pengukuran, batas sistem, dan karakteristik proses.

Sumber dan Jenis Data

Data penelitian dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu data proses agroindustri, data kinerja lingkungan, serta data hasil samping dan alternatif valorisasi. Data proses agroindustri meliputi bahan baku, tahapan pengolahan, penggunaan air, energi, bahan tambahan, bahan kemasan, produk utama, dan hasil samping. Data kinerja lingkungan diperoleh dari penelitian *Life Cycle Assessment* (LCA) yang telah dipublikasikan, terutama penelitian Fahlin et al. (2025) mengenai sirup kalamansi Bengkulu. Penelitian tersebut menggunakan batas sistem *cradle-to-grave* dengan unit fungsional 500 mL sirup kalamansi per botol dan mengevaluasi *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP), *Eutrophication Potential* (EP), dan *Ozone Layer Depletion Potential* (ODP). Data hasil samping dan alternatif valorisasi mencakup jenis hasil samping, jumlah atau proporsinya, bentuk pemanfaatan, proses pengolahan, rendemen, dan karakteristik produk yang dihasilkan. Tutuarima et al. (2018) melaporkan bahwa pengolahan sirup kalamansi menghasilkan hasil samping berupa kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan, sedangkan kulit dan pulp telah dikaji untuk menghasilkan *concrete*.

Evaluasi Kinerja Lingkungan

Evaluasi kinerja lingkungan dilakukan menggunakan kerangka *Life Cycle Assessment* (LCA) yang terdiri atas *goal and scope definition*, *life cycle inventory* (LCI), *life cycle impact assessment* (LCIA), dan interpretasi. Penelitian ini tidak melakukan LCA primer melalui pengumpulan data langsung dari unit agroindustri, tetapi menggunakan data LCA yang telah dipublikasikan sebagai basis

evaluasi dan kemudian menghubungkannya dengan analisis hasil samping serta potensi valorisasi. Batas sistem mengikuti dataset yang memiliki informasi paling lengkap dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian Fahlin et al. (2025) menggunakan pendekatan *cradle-to-grave*, sehingga mencakup tahapan penyediaan bahan baku, proses produksi, distribusi, penggunaan produk, dan pengelolaan akhir produk. Pendekatan tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi posisi agroindustri sirup kalamansi dalam menghasilkan potensi dampak lingkungan.

Inventarisasi Daur Hidup

Inventarisasi daur hidup dilakukan dengan menyusun seluruh input dan output yang berkaitan dengan produksi sirup kalamansi berdasarkan data sekunder yang tersedia. Input meliputi buah kalamansi, gula, air, energi listrik, bahan bakar, bahan kemasan, dan bahan pendukung lainnya, sedangkan output meliputi sirup kalamansi sebagai produk utama serta kulit, pulp, biji, cairan hasil pengendapan, limbah cair, limbah padat, dan emisi yang dilaporkan dalam sumber data. Setiap data dicatat berdasarkan satuan aslinya, kemudian dikonversi apabila diperlukan agar dapat digunakan dalam satuan yang seragam. Data yang tidak memiliki informasi mengenai satuan, batas sistem, atau dasar perhitungan yang memadai tidak digunakan untuk perhitungan kuantitatif. Inventarisasi ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara penggunaan input, produksi produk utama, pembentukan hasil samping, dan keluaran lingkungan.

Penilaian Dampak Lingkungan

Penilaian dampak lingkungan dilakukan berdasarkan hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) yang tersedia pada sumber utama. Kategori dampak yang digunakan meliputi GWP dalam satuan kg CO₂-eq, AP dalam kg SO₂-eq, EP dalam kg PO₄-eq, dan ODP dalam kg CFC-11-eq. Metode CML-IA Baseline dipertahankan sebagai metode penilaian dampak karena digunakan oleh Fahlin et al. (2025) dalam penelitian LCA sirup kalamansi Bengkulu. Nilai dampak kemudian dibandingkan berdasarkan unit fungsional yang digunakan pada sumber data. Apabila data memungkinkan dilakukan konversi secara konsisten, nilai dampak dinyatakan per unit produk sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi kategori dampak dan tahapan proses yang memberikan kontribusi relatif lebih besar terhadap kinerja lingkungan.

Identifikasi dan Kuantifikasi Hasil Samping

Identifikasi hasil samping dilakukan berdasarkan aliran material yang tidak menjadi bagian dari produk sirup utama. Hasil samping dikelompokkan menjadi kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan sesuai dengan informasi yang dilaporkan Tutuarima et al. (2018). Apabila data massa tersedia, proporsi masing-masing hasil samping dihitung terhadap massa bahan baku atau dasar perhitungan yang digunakan dalam sumber data dengan persamaan:

$$Y_i = \frac{M_i}{M_b} \times 100\%$$

Keterangan:

Y_i = proporsi hasil samping ke-i (%); M_i = massa hasil samping ke-i (kg);

M_b = massa bahan baku yang digunakan (kg).

Perhitungan hanya dilakukan terhadap data yang memiliki dasar pengukuran yang jelas. Data kualitatif tetap digunakan untuk mendukung identifikasi dan pembahasan, tetapi tidak dikonversi menjadi nilai kuantitatif tanpa dasar empiris.

Analisis Potensi Valorisasi Hasil Samping

Potensi valorisasi dianalisis dengan mengidentifikasi berbagai bentuk pemanfaatan hasil samping yang telah dibuktikan melalui penelitian terdahulu. Analisis mencakup jenis hasil samping, alternatif pemanfaatan, produk yang dihasilkan, proses pengolahan, rendemen, karakteristik bahan atau produk, serta kebutuhan teknologi. Alternatif valorisasi tidak ditentukan berdasarkan asumsi, tetapi harus memiliki dukungan dari publikasi ilmiah atau sumber penelitian yang dapat diverifikasi. Kulit dan pulp, misalnya, telah diteliti oleh Tutuarima et al. (2018) sebagai bahan baku pembuatan *concrete*. Informasi tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana hasil samping agroindustri sirup kalamansi dapat dialihkan dari material yang tidak termanfaatkan menjadi bahan baku atau produk yang memiliki nilai guna lebih tinggi.

Penilaian Potensi Valorisasi

Potensi valorisasi dianalisis secara kualitatif-komparatif berdasarkan empat aspek, yaitu (1) kekuatan bukti empiris pemanfaatan, (2) potensi pemanfaatan atau pengalihan hasil samping dari aliran residu, (3) potensi nilai tambah, dan (4) kesiapan atau kesederhanaan teknologi. Penilaian didasarkan pada informasi yang tersedia dalam literatur, terutama keberadaan hasil eksperimen, rendemen atau hasil produk, karakteristik bahan, serta metode pengolahan yang telah diuji. Alternatif dengan bukti empiris lebih kuat dan jalur pemanfaatan yang lebih jelas ditempatkan pada tingkat potensi yang lebih tinggi. Kategori sangat tinggi diberikan pada alternatif yang memiliki bukti eksperimen langsung, informasi rendemen atau karakteristik produk yang jelas, serta jalur pemanfaatan yang telah diuji pada hasil samping kalamansi. Kategori tinggi diberikan pada alternatif yang memiliki bukti empiris pemanfaatan, tetapi informasi mengenai karakteristik produk, kondisi proses, atau penerapannya masih lebih terbatas. Karena penelitian tidak melibatkan survei pakar, data biaya, atau pengujian teknologi pada kondisi agroindustri aktual, penelitian ini tidak memberikan skor numerik yang bersifat subjektif. Hasil penilaian digunakan untuk mengelompokkan alternatif berdasarkan kekuatan bukti dan prospek penerapannya, bukan sebagai pengukuran kuantitatif kelayakan ekonomi atau lingkungan.

Analisis Potensi Kontribusi Valorisasi terhadap Kinerja Lingkungan

Kontribusi valorisasi terhadap kinerja lingkungan dievaluasi dengan membandingkan kondisi dasar dan skenario pemanfaatan hasil samping apabila data lingkungan untuk kedua kondisi tersedia. Persentase perubahan dampak dihitung menggunakan persamaan:

$$R = \frac{D_b - D_v}{D_b} \times 100\%$$

Keterangan:

R = persentase perubahan dampak (%);

D_b = dampak pada kondisi dasar;

D_v = dampak pada skenario valorisasi.

Nilai positif menunjukkan adanya penurunan dampak pada skenario valorisasi. Apabila data kuantitatif untuk membangun skenario tidak tersedia, hasil penelitian tidak akan membuat estimasi baru, tetapi menyajikan potensi manfaat lingkungan berdasarkan bukti empiris dari penelitian terdahulu. Dalam penelitian ini, data yang tersedia belum memungkinkan penyusunan inventori LCA baru untuk setiap skenario valorisasi. Oleh karena itu, kontribusi lingkungan valorisasi dianalisis secara kualitatif berdasarkan potensi pengalihan hasil samping dari aliran residu dan bukti empiris pemanfaatannya, tanpa menghitung persentase penurunan dampak lingkungan.

Analisis dan Interpretasi Data

Data dianalisis secara deskriptif-kuantitatif dan komparatif melalui perhitungan proporsi, nilai dampak, perbandingan hasil penelitian terdahulu, dan penilaian kualitatif potensi valorisasi. Hasil

evaluasi kinerja lingkungan digunakan untuk mengidentifikasi kategori dampak dan tahapan proses yang perlu mendapat perhatian, sedangkan analisis hasil samping digunakan untuk menentukan material yang memiliki peluang pemanfaatan paling besar. Kedua hasil tersebut kemudian diintegrasikan untuk menentukan alternatif valorisasi yang paling prospektif berdasarkan aspek lingkungan, nilai tambah, dan kesiapan teknologi. Interpretasi akhir diarahkan pada kontribusi pemanfaatan hasil samping terhadap keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu.

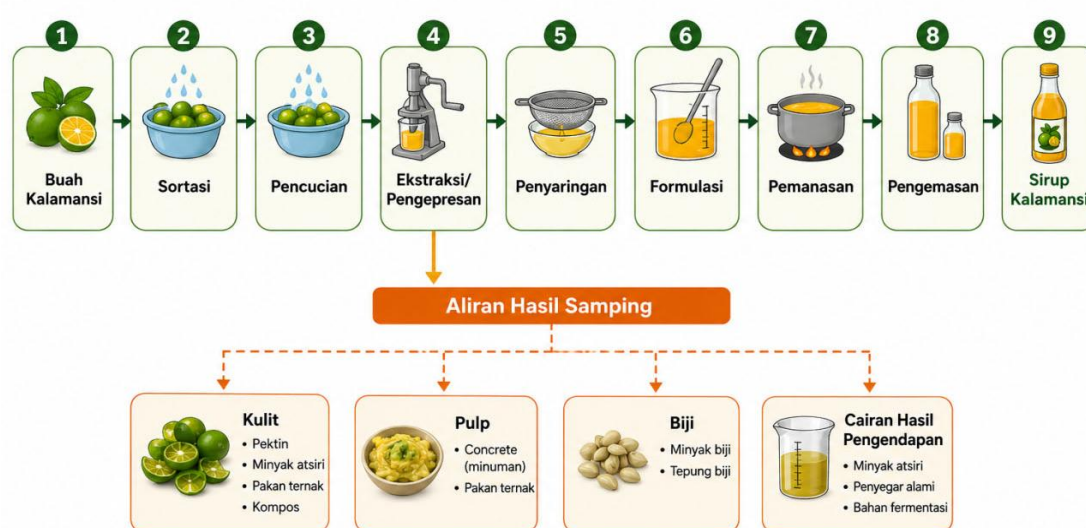
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sistem Produksi Agroindustri Sirup Kalamansi di Provinsi Bengkulu

Jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) merupakan salah satu komoditas pertanian yang dikembangkan dan diolah menjadi produk bernilai tambah di Provinsi Bengkulu. Salah satu bentuk pengolahannya adalah sirup kalamansi yang telah diproduksi oleh industri rumah tangga di Kota Bengkulu. Hidayat et al. (2018) melaporkan bahwa ketersediaan buah kalamansi di wilayah Kampung Melayu, Kota

Bengkulu, mendorong pelaku usaha untuk mengolahnya menjadi sirup. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa produksi sirup kalamansi telah berkembang pada tingkat industri rumah tangga dan dapat dikaji dari aspek teknis maupun finansial. Karakteristik tersebut memperlihatkan bahwa pengolahan kalamansi merupakan bagian dari kegiatan agroindustri yang mengubah komoditas pertanian segar menjadi produk dengan nilai ekonomi lebih tinggi.

Sistem produksi sirup kalamansi pada dasarnya dimulai dari penerimaan dan penyiapan buah sebagai bahan baku, kemudian dilanjutkan dengan proses pencucian, ekstraksi atau pengepresan sari buah, penyaringan, pencampuran dengan bahan formulasi, pemanasan, dan pengemasan. Hidayat et al. (2018) menggunakan inventarisasi bahan baku, peralatan, tenaga kerja, proses produksi, dan tata letak fasilitas sebagai bagian dari analisis teknis industri sirup kalamansi. Informasi tersebut menunjukkan bahwa proses produksi tidak hanya menentukan jumlah produk akhir, tetapi juga menentukan terbentuknya aliran material lain selama proses pengolahan. Pada tahap ekstraksi dan pemisahan sari buah, bagian buah yang tidak masuk ke dalam produk utama akan keluar sebagai hasil samping. Dengan demikian, karakteristik proses produksi perlu dipahami sebelum mengevaluasi kinerja lingkungan dan peluang pemanfaatan material yang dihasilkan dari setiap tahapan proses.



Gambar 1. Diagram Sistem Produksi dan Aliran Hasil Samping Agroindustri Sirup Kalamansi di Provinsi Bengkulu. Sumber: Diadaptasi dari Hidayat et al. (2018) dan Tutuarima et al. (2018).

Gambar 1 menunjukkan bahwa hasil samping terutama terbentuk pada tahap pemisahan bagian buah dari sari yang digunakan sebagai bahan utama sirup. Tutuarima et al. (2018) secara khusus mengidentifikasi kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan sebagai hasil samping industri sirup jeruk kalamansi. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa hasil samping berbentuk padatan, khususnya kulit dan pulp, masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *concrete*. Temuan tersebut penting karena menunjukkan bahwa material yang keluar dari proses produksi tidak seluruhnya merupakan material yang kehilangan nilai guna. Sebagian di antaranya masih mengandung komponen yang dapat dimanfaatkan melalui proses pengolahan lanjutan.

Potensi tersebut semakin terlihat dari penelitian Rosalina et al. (2017) yang mengkaji ekstraksi pektin dari limbah kulit dan kulit+daging buah kalamansi. Penelitian tersebut memperoleh rendemen pektin sebesar 15,3% dari kulit kalamansi dan 7,82% dari kulit+daging buah kalamansi, dengan kandungan galakturonat pada pektin dari kulit kalamansi mencapai 93,51%. Hasil ini menunjukkan bahwa bagian buah yang sebelumnya berada di luar aliran produk utama masih dapat menjadi sumber bahan bernilai tambah.

Temuan tersebut menjadi dasar penting dalam melihat sistem produksi sirup kalamansi dari perspektif kinerja lingkungan. Agroindustri tidak hanya menghasilkan produk utama, tetapi juga menghasilkan aliran material yang perlu dikelola agar tidak meningkatkan beban lingkungan. Penelitian Fahlin et al. (2025) menunjukkan bahwa agroindustri sirup kalamansi Bengkulu menggunakan sumber daya dan energi serta menghasilkan keluaran berupa limbah padat dan cair dalam keseluruhan daur hidup produk. Penelitian tersebut menggunakan pendekatan LCA untuk mengevaluasi dampak lingkungan produk sirup kalamansi.

Berdasarkan karakteristik tersebut, sistem produksi sirup kalamansi dapat dipandang sebagai sistem agroindustri yang memiliki dua kelompok keluaran, yaitu produk utama dan hasil samping. Pemisahan kedua kelompok keluaran tersebut menjadi penting dalam penelitian ini karena hasil samping tidak hanya akan dianalisis berdasarkan jumlahnya, tetapi juga berdasarkan peluang untuk divalorisasi. Dengan demikian, evaluasi sistem produksi menjadi dasar untuk menghubungkan proses pengolahan, pembentukan hasil samping, kinerja lingkungan, dan peluang pemanfaatan kembali material dalam mendukung keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu.

Evaluasi Kinerja Lingkungan Agroindustri Sirup Kalamansi

Evaluasi kinerja lingkungan dilakukan berdasarkan data sekunder hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) pada agroindustri sirup kalamansi di Kota Bengkulu. Fahlin et al. (2025) menggunakan pendekatan *cradle-to-grave* dengan unit fungsional 500 mL sirup kalamansi per botol dan metode CML-IA Baseline untuk menilai empat kategori dampak, yaitu *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP), *Eutrophication Potential* (EP), dan *Ozone Layer Depletion Potential* (ODP). Berdasarkan hasil LCA Fahlin et al. (2025), tahap produksi merupakan kontributor utama pada kategori dampak yang dievaluasi, dengan penggunaan gula diidentifikasi sebagai salah satu hotspot utama. Data tersebut digunakan dalam penelitian ini sebagai dasar untuk menggambarkan kinerja lingkungan agroindustri dan selanjutnya dikaitkan dengan peluang perbaikan melalui pemanfaatan hasil samping.

Nilai dampak yang dilaporkan untuk setiap kategori adalah EP sebesar $5,43431 \times 10^{-14}$ kg PO₄-eq/FU, GWP sebesar $4,98483 \times 10^{-14}$ kg CO₂-eq/FU, AP sebesar $3,04384 \times 10^{-14}$ kg SO₂-eq/FU, dan ODP sebesar $1,40336 \times 10^{-15}$ kg CFC-11-eq/FU. Nilai tersebut tidak dibandingkan secara langsung antar-kategori karena masing-masing kategori menggunakan satuan ekuivalen dan mekanisme dampak yang berbeda. Nilai tersebut dikutip dari Fahlin et al. (2025).

Tabel 1. Kinerja Lingkungan Agroindustri Sirup Kalamansi Berdasarkan Kategori Dampak

Kategori dampak	Nilai dampak	Satuan	Kontributor utama	Interpretasi
GWP	4,98483	× kg CO ₂ -	Proses produksi,	Menunjukkan kontribusi
	10 ⁻¹⁴	eq/FU	terutama penggunaan gula	terhadap pemanasan global; tahap produksi menjadi sumber dampak utama.
AP	3,04384	× kg SO ₂ -	Proses produksi,	Menunjukkan potensi pengasaman lingkungan; tahap produksi memberikan kontribusi terbesar.
	10 ⁻¹⁴	eq/FU	terutama penggunaan gula	
EP	5,43431	× kg PO ₄ -	Proses produksi,	Menunjukkan potensi kontribusi terhadap eutrofikasi berdasarkan hasil LCIA yang dilaporkan.
	10 ⁻¹⁴	eq/FU	terutama penggunaan gula	
ODP	1,40336	× kg CFC-11-	Proses produksi,	Merupakan kategori dengan nilai terendah dan menunjukkan potensi kontribusi terhadap penipisan lapisan ozon.
	10 ⁻¹⁵	eq/FU	terutama penggunaan gula	

Sumber: Diolah dari Fahlin et al. (2025).

Catatan: Identifikasi kontributor utama mengikuti hasil hotspot yang dilaporkan oleh Fahlin et al. (2025) dan tidak merupakan hasil inventarisasi primer dalam penelitian ini.

Hasil pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa tahap produksi merupakan titik kritis dalam sistem agroindustri sirup kalamansi. Fahlin et al. (2025) mengidentifikasi penggunaan gula sebagai salah satu penyebab utama *hotspot* dampak lingkungan pada tahap tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa perbaikan kinerja lingkungan tidak cukup dilakukan hanya pada pengelolaan hasil samping, tetapi juga perlu mempertimbangkan bahan dan aktivitas yang memberikan kontribusi besar terhadap dampak sepanjang sistem produksi. Dalam penelitian LCA agroindustri ayam potong di Indonesia, proses produksi dan penggunaan energi juga ditemukan sebagai salah satu sumber penting dampak lingkungan, sehingga identifikasi *hotspot* diperlukan sebelum menentukan tindakan perbaikan.

Kondisi tersebut sekaligus memberikan dasar untuk menghubungkan evaluasi kinerja lingkungan dengan potensi valorisasi hasil samping. Hasil samping yang selama ini keluar dari proses produksi dapat menjadi bagian dari strategi pengurangan beban lingkungan apabila dimanfaatkan kembali secara tepat. Tutuarima dan Intara (2020), misalnya, menunjukkan bahwa kulit yang dihasilkan dari industri sirup kalamansi dapat diolah menjadi minyak atsiri menggunakan metode *steam distillation*, dengan rendemen 0,33%. Penelitian tersebut juga menempatkan pemanfaatan kulit sebagai upaya untuk mengurangi permasalahan lingkungan akibat penumpukan limbah kulit di sekitar industri.

Dengan demikian, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kinerja lingkungan agroindustri sirup kalamansi masih memiliki ruang untuk diperbaiki, terutama pada tahap produksi yang menjadi *hotspot*. Pada sisi lain, keberadaan hasil samping memberikan peluang intervensi melalui pemanfaatan kembali material yang masih bernilai. Dalam konteks penelitian ini, informasi mengenai GWP, AP, EP, dan ODP tidak digunakan untuk membuat klaim bahwa seluruh dampak dapat dihilangkan melalui valorisasi, tetapi menjadi dasar untuk menilai potensi kontribusi pemanfaatan hasil samping terhadap pengelolaan

lingkungan agroindustri. Pendekatan tersebut membuat analisis berikutnya dapat difokuskan pada jenis hasil samping yang paling tersedia, alternatif pemanfaatannya, serta bukti empiris mengenai nilai tambah dan manfaat lingkungannya.

Identifikasi dan Karakteristik Hasil Samping

Hasil samping merupakan bagian material yang keluar dari proses pengolahan tetapi tidak menjadi bagian dari produk utama. Pada agroindustri sirup kalamansi, hasil samping terutama terbentuk pada tahap ekstraksi, pengepresan, penyaringan, dan pengendapan sari buah. Tutuarima et al. (2018) secara khusus mengidentifikasi hasil samping industri sirup jeruk kalamansi berupa kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa aliran material pada proses pengolahan kalamansi tidak seluruhnya berakhir sebagai sirup, tetapi menghasilkan beberapa fraksi yang masih memiliki potensi pemanfaatan. Kulit dan pulp merupakan fraksi padat yang berasal dari bagian buah yang tertinggal setelah pengambilan sari, sedangkan biji ikut terpisah bersama material padat selama proses ekstraksi. Cairan hasil pengendapan merupakan fraksi cair yang terpisah dari sari buah selama proses produksi.

Dari sisi karakteristik dan potensi pemanfaatannya, kulit merupakan salah satu hasil samping yang paling prospektif. Rosalina et al. (2017) menunjukkan bahwa limbah kulit kalamansi dapat digunakan sebagai bahan baku ekstraksi pektin dengan rendemen 15,3%, sedangkan bahan berupa campuran kulit dan daging buah menghasilkan rendemen 7,82%. Pektin yang diperoleh dari kulit kalamansi juga memiliki kandungan galakturonat sebesar 93,51%, sehingga menunjukkan kualitas bahan yang cukup baik untuk dikembangkan sebagai produk turunan. Sementara itu, Tutuarima et al. (2018) menunjukkan bahwa fraksi padat berupa kulit dan pulp dapat diekstraksi melalui proses maserasi untuk menghasilkan *concrete*, dengan rendemen maksimum 54,6823% pada kondisi penelitian. Data tersebut memperlihatkan bahwa kulit dan pulp bukan sekadar material buangan, tetapi memiliki komponen yang dapat dipisahkan dan dimanfaatkan kembali melalui proses pengolahan lanjutan.

Biji dan cairan hasil pengendapan memiliki karakteristik yang berbeda sehingga peluang pemanfaatannya juga perlu dianalisis secara terpisah. Pada penelitian Tutuarima et al. (2018), biji diidentifikasi sebagai salah satu hasil samping, tetapi tidak menjadi bahan utama dalam pengujian produksi *concrete*. Oleh karena itu, penelitian ini tidak menetapkan rendemen atau produk turunan tertentu untuk biji apabila belum tersedia data eksperimental yang dapat diverifikasi. Sebaliknya, cairan hasil pengendapan telah menunjukkan potensi pemanfaatan yang lebih jelas. Tutuarima dan Intara (2020) menunjukkan bahwa limbah kulit industri kalamansi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan minyak atsiri dan bahwa fermentasi alami selama empat hari menghasilkan rendemen minyak yang paling tinggi dalam perlakuan penelitian tersebut. Penelitian lain mengenai cairan hasil samping industri sirup kalamansi juga menunjukkan bahwa fraksi cair hasil pengendapan dapat digunakan sebagai bahan baku produksi minyak atsiri dengan proses hidrodistilasi.

Berdasarkan karakteristik tersebut, hasil samping agroindustri sirup kalamansi memiliki tingkat potensi yang berbeda. Kulit dan pulp memiliki bukti pemanfaatan yang paling kuat, terutama untuk produksi pektin dan *concrete*, sedangkan cairan hasil pengendapan memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai sumber senyawa volatil atau minyak atsiri. Biji tetap dicatat sebagai hasil samping, tetapi potensi valorisasinya dalam penelitian ini tidak diberikan nilai kuantitatif apabila belum didukung oleh data penelitian yang spesifik. Pendekatan tersebut diperlukan agar analisis potensi valorisasi pada subbab berikutnya hanya menggunakan informasi yang memiliki dasar empiris dan tidak memasukkan estimasi yang tidak dapat diverifikasi. Secara keseluruhan, keberadaan beberapa fraksi hasil samping menunjukkan adanya peluang untuk mengurangi material yang tidak termanfaatkan sekaligus meningkatkan pemanfaatan sumber daya dalam sistem agroindustri sirup kalamansi.

Potensi Valorisasi Hasil Samping Agroindustri Sirup Kalamansi

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa hasil samping agroindustri sirup kalamansi tidak seluruhnya merupakan material yang tidak bernilai. Kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan memiliki karakteristik yang berbeda sehingga peluang pemanfaatannya perlu ditentukan berdasarkan

bukti penelitian yang tersedia. Dewi et al. (2016) menunjukkan bahwa hasil samping industri sirup kalamansi dapat dipisahkan menjadi fraksi padat, cairan 1, dan cairan 2, yang seluruhnya masih menghasilkan minyak atsiri melalui proses penyulingan. Dari 100 kg buah kalamansi segar diperoleh 40 kg hasil samping padat, 20 L cairan 1, dan 10 L cairan 2. Minyak atsiri yang diperoleh masing-masing sebesar 300,79 g, 354,39 g, dan 22,33 g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan hasil samping dapat diarahkan pada produk dengan nilai ekonomi lebih tinggi daripada sekadar pembuangan material sisa. Apabila persamaan proporsi hasil samping diterapkan pada data tersebut, fraksi padat setara dengan 40% dari massa buah kalamansi segar, sedangkan cairan 1 dan cairan 2 dilaporkan dalam satuan volume (20 L dan 10 L per 100 kg buah) sehingga tidak dikonversi menjadi proporsi massa.

Potensi valorisasi juga terlihat pada pemanfaatan kulit dan pulp sebagai sumber bahan baku produk turunan. Rosalina et al. (2017) memperoleh rendemen pektin sebesar 15,30% dari kulit kalamansi dan 7,82% dari campuran kulit dan daging buah, dengan kandungan galakturonat pektin dari kulit kalamansi mencapai 93,51%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kulit kalamansi memiliki karakteristik yang mendukung pemanfaatannya sebagai sumber pektin. Sementara itu, Tutuarima et al. (2018) mengembangkan proses maserasi menggunakan etanol 96% untuk menghasilkan concrete dari kulit dan pulp hasil samping industri sirup kalamansi. Rendemen maksimum yang diperoleh sebesar 54,6823% pada lama maserasi 24 jam dan rasio bahan terhadap pelarut 1:1,75. Temuan tersebut memperkuat bahwa hasil samping padat memiliki lebih dari satu jalur pemanfaatan dan dapat diarahkan sesuai karakteristik bahan serta teknologi yang tersedia.

Potensi pemanfaatan kulit kalamansi juga didukung oleh keberadaan senyawa bioaktif. Amiliah et al. (2021) menunjukkan bahwa ekstrak kasar dan minyak atsiri kulit jeruk kalamansi memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Temuan tersebut memperluas peluang pemanfaatan kulit kalamansi tidak hanya sebagai sumber bahan ekstraktif, tetapi juga sebagai bahan baku produk yang memiliki fungsi biologis.

Tabel 2. Potensi Valorisasi Hasil Samping Agroindustri Sirup Kalamansi

Hasil samping	Alternatif valorisasi	Produk potensial	Rendemen/hasil	Bukti peneutian	Potensi
Kulit	Ekstraksi pektin	Pektin	15,30%; galakturonat 93,51%	Rosalina et al. (2017)	Sangat tinggi
Kulit + pulp	Maserasi menggunakan etanol 96%	Concrete	54,6823% dari kulit + pulp	Tutuarima et al. (2018)	Sangat tinggi
Kulit + pulp (fraksi padat)	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	0,752% atau 300,79 g/40 kg hasil samping padat	Dewi et al. (2016)	Tinggi
Pulp	Ekstraksi pektin	Pektin	7,82% dari kulit + daging buah	Rosalina et al. (2017) Tutuarima et al. (2018)	Tinggi
Biji	—	—	Belum tersedia data rendemen spesifik	mengidentifikasi biji sebagai hasil samping, tetapi tidak mengujinya secara terpisah	Belum dapat ditentukan
Cairan hasil pengendapan	Hidrodistilasi	Minyak atsiri	1,771% atau 354,39 g/20 L untuk cairan 1; 0,223% atau 22,33 g/10 L untuk cairan 2	Dewi et al. (2016)	Sangat tinggi

Sumber: Diolah dari Dewi et al. (2016), Rosalina et al. (2017), dan Tutuarima et al. (2018).

Berdasarkan Tabel 2, kulit kalamansi mempunyai pilihan valorisasi paling beragam dibandingkan hasil samping lainnya. Kulit dapat diarahkan menjadi pektin, *concrete*, maupun minyak atsiri. Keunggulan pektin terutama terlihat dari rendemen 15,30% dan kandungan galakturonat 93,51% yang dilaporkan Rosalina et al. (2017). Di sisi lain, rendemen *concrete* sebesar 54,6823% yang diperoleh Tutuarima et al. (2018) menunjukkan bahwa proses ekstraksi senyawa larut dari kulit dan pulp juga memiliki prospek yang kuat. Perbedaan hasil tersebut tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa *concrete* secara langsung lebih unggul daripada pektin karena kedua penelitian menggunakan bahan, metode, parameter proses, dan dasar perhitungan rendemen yang berbeda. Perbandingan dalam penelitian ini digunakan untuk menunjukkan keragaman jalur valorisasi, bukan untuk menyamakan hasil antarproses. Penentuan alternatif yang paling prospektif juga perlu mempertimbangkan kesesuaian teknologi dengan karakteristik bahan yang tersedia. Moreno-González dan Ottens (2021) menunjukkan bahwa pemulihan senyawa bernilai dari *agri-food side streams* perlu mempertimbangkan karakteristik bahan, komponen target, dan teknologi pemisahan yang digunakan. Oleh karena itu, rendemen yang tinggi belum cukup untuk menentukan suatu alternatif sebagai pilihan utama apabila teknologi pengolahannya sulit diterapkan pada kondisi agroindustri yang tersedia.

Cairan hasil pengendapan juga menunjukkan peluang yang penting. Dewi et al. (2016) memperoleh rendemen minyak atsiri sebesar 1,771% dari cairan 1, lebih tinggi dibandingkan fraksi padat sebesar 0,752% dan cairan 2 sebesar 0,223%. Hasil ini menunjukkan bahwa fraksi cair yang terbentuk selama pengolahan tidak dapat langsung dianggap sebagai material yang tidak memiliki nilai. Pemanfaatan hasil samping kalamansi melalui teknologi ekstraksi juga telah dikembangkan pada tingkat penerapan teknologi. Maryanti et al. (2018) menerapkan teknologi ekstraksi fasa cair-gas melalui *steam distillation* untuk memperoleh minyak atsiri dari residu pengolahan sirup kalamansi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknologi ekstraksi dapat digunakan untuk mengubah residu pengolahan menjadi produk turunan yang memiliki nilai pemanfaatan. Penelitian yang lebih baru oleh Tutuarima dan Intara (2020) juga menunjukkan bahwa fermentasi alami selama empat hari dapat meningkatkan rendemen minyak atsiri dari limbah kulit kalamansi tanpa mengubah karakteristik mutu minyak secara signifikan. Temuan tersebut memperlihatkan adanya peluang pengembangan teknologi sederhana untuk meningkatkan nilai hasil samping sebelum proses ekstraksi dilakukan.

Sementara itu, biji kalamansi belum dapat ditetapkan sebagai alternatif valorisasi tertentu dalam penelitian ini karena belum ditemukan data eksperimen yang cukup untuk menentukan rendemen dan karakteristik produk turunannya secara spesifik dari hasil samping industri sirup kalamansi. Tutuarima et al. (2018) memang mencatat biji sebagai salah satu hasil samping industri, tetapi penelitian tersebut berfokus pada kulit dan pulp sebagai bahan baku *concrete*. Karena itu, pemberian nilai potensi untuk biji tanpa dukungan data kuantitatif akan menghasilkan kesimpulan yang lemah. Pendekatan ini sekaligus menjaga agar analisis valorisasi tetap berbasis bukti dan tidak mengubah peluang teoritis menjadi klaim hasil penelitian.

Secara keseluruhan, hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kulit, pulp, dan cairan hasil pengendapan memiliki dasar empiris yang cukup kuat untuk dikembangkan sebagai bahan baku produk bernilai tambah. Pilihan valorisasi tidak hanya ditentukan oleh rendemen, tetapi juga oleh karakteristik bahan, kebutuhan proses, teknologi yang tersedia, dan manfaat yang dapat diberikan terhadap pengelolaan hasil samping. Dalam konteks keberlanjutan agroindustri, pemanfaatan tersebut dapat menggeser posisi hasil samping dari material yang harus dibuang menjadi sumber bahan baku sekunder. Schieber (2017) menjelaskan bahwa hasil samping industri pangan memiliki peluang untuk divalorisasi menjadi produk bernilai melalui pemanfaatan komponen yang masih terkandung di dalamnya. Dengan demikian, hasil pada subbab ini menjadi dasar untuk menentukan prioritas valorisasi dan kontribusinya terhadap keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi pada subbab berikutnya.

Prioritas Valorisasi dan Kontribusinya terhadap Keberlanjutan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa prioritas valorisasi perlu ditentukan tidak hanya berdasarkan rendemen produk yang dihasilkan, tetapi juga berdasarkan kemampuan alternatif tersebut dalam mengurangi hasil samping, menghasilkan nilai tambah, memberikan manfaat lingkungan, dan dapat

diterapkan dengan teknologi yang tersedia. Berdasarkan hasil pada Tabel 2, kulit kalamansi memiliki posisi paling prospektif karena telah dibuktikan dapat dimanfaatkan melalui beberapa jalur, terutama ekstraksi pektin, produksi *concrete*, dan ekstraksi minyak atsiri. Rosalina et al. (2017) memperoleh rendemen pektin sebesar 15,30% dari kulit kalamansi dengan kandungan galakturonat 93,51%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kulit memiliki komponen yang dapat dipisahkan menjadi produk bernilai tambah. Dari sisi pemanfaatan material, pengolahan kulit menjadi produk turunan juga memberikan peluang untuk mengurangi jumlah biomassa yang harus dikelola sebagai residu.

Pulp memiliki potensi yang relatif tinggi karena dapat dimanfaatkan bersama kulit untuk menghasilkan *concrete* maupun sebagai sumber pektin. Tutuarima et al. (2018) melaporkan rendemen *concrete* maksimum sebesar 54,6823% dari bahan kulit dan pulp pada kondisi ekstraksi yang diteliti. Sementara itu, fraksi cair hasil pengendapan juga menunjukkan peluang valorisasi yang kuat karena Dewi et al. (2016) memperoleh minyak atsiri dari fraksi cair tersebut dengan rendemen 1,771% pada cairan 1 dan 0,223% pada cairan 2. Hasil ini menunjukkan bahwa setiap fraksi hasil samping mempunyai karakteristik yang berbeda dan tidak dapat diperlakukan dengan satu metode pemanfaatan yang sama. Oleh karena itu, strategi valorisasi perlu disesuaikan dengan karakteristik bahan dan tujuan pemanfaatannya, bukan semata-mata memilih alternatif berdasarkan rendemen tertinggi. Pertimbangan tersebut sejalan dengan pendekatan valorisasi hasil samping agroindustri yang menempatkan residu sebagai sumber bahan baku sekunder. Gómez-García et al. (2021) menjelaskan bahwa hasil samping agroindustri pangan masih dapat mengandung komponen bernilai yang dapat dipulihkan melalui proses pengolahan yang sesuai. Pemanfaatan tersebut dapat mengurangi beban pengelolaan residu sekaligus membuka peluang pembentukan produk dan nilai ekonomi baru.

Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan hasil samping memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi sumber daya karena material yang sebelumnya keluar dari aliran produk utama dapat dikembalikan ke dalam kegiatan produksi sebagai bahan baku sekunder. Galanakis (2015) menjelaskan bahwa pendekatan valorisasi hasil samping pangan dapat diarahkan untuk memperoleh senyawa atau produk bernilai tambah sekaligus mengurangi beban pengelolaan residu. Dalam konteks agroindustri sirup kalamansi, pendekatan tersebut menjadi relevan dengan hasil evaluasi LCA pada subbab sebelumnya, terutama karena tahap produksi merupakan salah satu sumber kontribusi dampak lingkungan. Namun, penelitian ini tidak menghitung besarnya penurunan GWP, AP, EP, dan ODP akibat masing-masing skenario valorisasi karena data LCA sekunder yang tersedia belum menyediakan inventori lengkap untuk setiap alternatif pemanfaatan. Oleh sebab itu, kontribusi lingkungan dalam penelitian ini dinyatakan berdasarkan bukti empiris pemanfaatan hasil samping dan potensi pengurangan material yang tidak termanfaatkan, tanpa membuat estimasi pengurangan dampak yang tidak didukung data. Perlu dicatat bahwa valorisasi hasil samping tidak secara langsung menangani hotspot penggunaan gula pada tahap produksi, sehingga manfaat lingkungannya bersifat tidak langsung (pengurangan residu) dan belum dapat dikuantifikasi.

Berdasarkan kekuatan bukti empiris, ekstraksi pektin dari kulit dan pemanfaatan kulit-pulp menjadi *concrete* merupakan alternatif yang paling kuat, sedangkan pemanfaatan fraksi cair untuk menghasilkan minyak atsiri juga prospektif. Biji belum dapat ditempatkan dalam prioritas karena belum tersedia data eksperimental yang memadai mengenai rendemen dan produk turunannya dari sistem industri sirup kalamansi. Prioritas tersebut menunjukkan bahwa keberlanjutan agroindustri kalamansi dapat dikembangkan melalui beberapa jalur valorisasi yang saling melengkapi. Dengan demikian, valorisasi hasil samping tidak hanya berfungsi sebagai strategi pengelolaan residu, tetapi juga dapat menjadi bagian dari pengembangan agroindustri kalamansi yang lebih efisien dalam menggunakan sumber daya dan menghasilkan nilai tambah.

Implikasi terhadap Keberlanjutan Agroindustri Sirup Kalamansi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu berkaitan erat dengan kemampuan sistem produksi dalam mengelola seluruh aliran material, bukan hanya menghasilkan produk utama. Hasil evaluasi lingkungan pada penelitian ini menunjukkan bahwa tahap produksi memberikan kontribusi pada beberapa kategori dampak lingkungan, sementara

pada saat yang sama proses pengolahan menghasilkan kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan yang masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peluang untuk menghubungkan pengelolaan hasil samping dengan peningkatan efisiensi pemanfaatan sumber daya. Rosalina et al. (2017) membuktikan bahwa limbah kulit dan kulit+daging buah kalamansi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pektin, dengan rendemen masing-masing 15,30% dan 7,82%. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa material yang keluar dari aliran produk utama masih dapat dikembalikan ke dalam kegiatan ekonomi melalui proses pengolahan lanjutan.

Dari aspek pengelolaan sumber daya, hasil penelitian memberikan dasar untuk mengembangkan sistem agroindustri yang tidak hanya berorientasi pada produk utama, tetapi juga mempertimbangkan pemanfaatan hasil samping sebagai bahan baku sekunder. Tutuarima et al. (2018) menunjukkan bahwa kulit dan pulp hasil samping industri sirup kalamansi dapat diolah melalui proses maserasi untuk menghasilkan *concrete*. Penelitian tersebut juga mengidentifikasi kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan sebagai hasil samping industri sirup kalamansi. Dengan demikian, penerapan valorisasi dapat diarahkan secara berbeda sesuai karakteristik masing-masing fraksi. Kulit dapat diprioritaskan untuk menghasilkan pektin atau produk ekstraktif, kulit dan pulp dapat dimanfaatkan untuk *concrete*, sedangkan fraksi lain perlu dikembangkan berdasarkan ketersediaan bukti teknologi. Pendekatan ini sejalan dengan Nattassha et al. (2020), yang menunjukkan bahwa penerapan ekonomi sirkular pada rantai pasok pangan dapat dilakukan dengan mengubah hasil samping yang sebelumnya dibuang menjadi input bagi proses atau produk lain.

Implikasi ekonomi dari pendekatan tersebut terletak pada peluang menghasilkan nilai tambah dari material yang sebelumnya tidak menjadi produk utama. Namun, hasil penelitian ini belum dapat menyatakan besarnya keuntungan ekonomi dari masing-masing alternatif karena data biaya investasi, biaya operasi, harga produk hasil valorisasi, dan skala produksi belum tersedia secara seragam pada seluruh sumber. Oleh karena itu, nilai tambah dalam penelitian ini diposisikan sebagai potensi, bukan sebagai keuntungan aktual. Pendekatan tersebut penting untuk menjaga konsistensi antara data yang tersedia dan kesimpulan penelitian. Dari perspektif pengembangan agroindustri, hasil samping yang telah terbukti dapat diolah menjadi produk bernilai memberikan dasar untuk penelitian lanjutan mengenai kelayakan teknis dan ekonomi pada skala industri. Gagasan tersebut sejalan dengan D'Amato et al. (2020), yang menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah dan hasil samping pertanian dapat dikembangkan melalui model bisnis sirkular yang menghubungkan proses pemanfaatan biomassa dengan penciptaan nilai baru.

Dengan demikian, keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi tidak hanya ditentukan oleh peningkatan efisiensi proses produksi, tetapi juga oleh kemampuan mengelola hasil samping secara produktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa valorisasi kulit dan pulp memiliki dasar empiris paling kuat, sedangkan pemanfaatan fraksi lain masih membutuhkan penelitian lebih lanjut. Strategi tersebut dapat mendukung pengurangan material yang tidak termanfaatkan, meningkatkan pemanfaatan sumber daya, dan membuka peluang diversifikasi produk. Namun, manfaat lingkungan dari setiap alternatif belum dapat dinyatakan dalam bentuk persentase penurunan GWP, AP, EP, atau ODP karena belum tersedia inventori LCA yang lengkap untuk masing-masing skenario valorisasi. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan valorisasi sebagai strategi potensial untuk meningkatkan keberlanjutan agroindustri, sementara pembuktian kuantitatif terhadap pengurangan dampak lingkungan dan kelayakan ekonominya menjadi agenda penelitian berikutnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu memiliki kinerja lingkungan yang perlu diperhatikan sekaligus peluang pemanfaatan hasil samping yang cukup besar. Berdasarkan data *Life Cycle Assessment* (LCA) sekunder dengan unit fungsional 500 mL sirup kalamansi per botol, nilai Global Warming Potential (GWP) sebesar $4,98483 \times 10^{-14}$ kg CO₂-eq/FU, Acidification Potential (AP) sebesar $3,04384 \times 10^{-14}$ kg SO₂-eq/FU, Eutrophication Potential (EP) sebesar $5,43431 \times 10^{-14}$ kg PO₄-eq/FU, dan Ozone Layer Depletion Potential (ODP) sebesar $1,40336 \times$

10⁻¹⁵ kg CFC-11-eq/FU. Tahap produksi, terutama penggunaan gula, menjadi kontributor utama dampak lingkungan. Proses produksi juga menghasilkan kulit, pulp, biji, dan cairan hasil pengendapan sebagai hasil samping yang perlu dikelola secara lebih produktif.

Potensi valorisasi paling kuat ditemukan pada kulit melalui ekstraksi pektin serta pada kombinasi kulit dan pulp untuk menghasilkan concrete, sedangkan fraksi cair hasil pengendapan berpotensi dimanfaatkan untuk menghasilkan minyak atsiri. Kulit menghasilkan rendemen pektin sebesar 15,30% dengan kandungan galakturonat 93,51%, sementara campuran kulit dan pulp menghasilkan concrete dengan rendemen maksimum 54,6823% berdasarkan penelitian terdahulu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa valorisasi hasil samping berpotensi mengurangi jumlah material yang tidak termanfaatkan, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, dan membuka peluang nilai tambah bagi agroindustri. Namun, penelitian ini belum menghitung secara kuantitatif pengurangan dampak lingkungan akibat setiap skenario valorisasi karena keterbatasan inventori LCA sekunder. Dengan demikian, ekstraksi pektin dari kulit serta pemanfaatan kombinasi kulit dan pulp untuk menghasilkan concrete merupakan alternatif valorisasi yang memiliki bukti empiris paling kuat untuk mendukung keberlanjutan agroindustri sirup kalamansi di Provinsi Bengkulu, sedangkan pemanfaatan fraksi cair untuk menghasilkan minyak atsiri masih perlu dikaji lebih lanjut dari aspek kelayakan teknis dan ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian daur hidup (*Life Cycle Assessment*) dalam produksi pupuk urea: Studi kasus PT Pupuk Kujang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 522–527. <https://doi.org/10.14710/jil.17.3.522-527>
- Amiliah, A., Nurhamidah, N., & Handayani, D. (2021). Aktivitas antibakteri kulit buah jeruk Kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *ALOTROP*, 5(1). <https://doi.org/10.33369/atp.v5i1.16493>
- Dewi, K. H., Mujiharjo, S., & Utama, A. P. (2016). Potensi pengolahan hasil samping sirup kalamansi menuju “zero waste”. *Jurnal Agroindustri*, 6(1), 1–9.
- Fahlin, D. K., Ismayana, A., & Romli, M. (2025). *Analisis penilaian daur hidup (Life Cycle Assessment) produk sirup kalamansi (Citrus microcarpa) Bengkulu* [Tesis, Institut Pertanian Bogor]. IPB University Scientific Repository.
- Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>
- Hidayat, L., Darmatama, I., Dany, Y., & Djamilah, D. (2018). Technical and financial analysis on production of calamansi syrup: A case study on “Segar Asri” home industry in Kampung Melayu Bengkulu City. *Jurnal Agroindustri*, 8(1), 11–25. <https://doi.org/10.31186/j.agroindustri.8.1.11-25>
- Maryanti, E., Fitriani, D., & Wirahmi, N. (2018). Penerapan teknologi ekstraksi fasa cair-gas pada pengembangan produk berbasis jeruk kalamansi. *Dharma Raflesia: Jurnal Ilmiah Pengembangan dan Penerapan IPTEKS*, 16(2). <https://doi.org/10.33369/dr.v16i2.6454>
- Moreno-González, M., & Ottens, M. (2021). A structured approach to recover valuable compounds from agri-food side streams. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1387–1406. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02647-6>
- Nattassha, R., Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Siallagan, M. (2020). Understanding circular economy implementation in the agri-food supply chain: The case of an Indonesian organic fertiliser producer. *Agriculture & Food Security*, 9, Article 10. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00264-8>
- Rosalina, Y., Susanti, L., & Karo, N. B. (2017). Kajian ekstraksi pektin dari limbah jeruk Rimau Gerga Lebong (jeruk RGL) dan jeruk kalamansi. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 11(2), 68–75. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v11i2.3174>

- Schieber, A. (2017). Side streams of plant food processing as a source of valuable compounds: Selected examples. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8, 97–112. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-030135>
- Tutuarima, T., Dewi, K. H., & Sinambela, N. (2018). Optimasi proses maserasi hasil samping industri sirup jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*). *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 3(2), 358–363. <https://doi.org/10.24843/JITPA.2018.v03.i02.p07>
- Tutuarima, T., & Intara, Y. I. (2020). Pengaruh lama fermentasi alami terhadap rendemen dan karakteristik minyak atsiri dari limbah kulit jeruk kalamansi (*Citrofortunella microcarpa*). *Jurnal Agroekoteknologi*, 12(1), 1–10.

UJI EFEKTIVITAS AGEN HAYATI DALAM PENGENDALIAN PATOGEN PENYEBAB PENYAKIT SECARA IN VITRO

Testing The Effectiveness Of Biological Agents In Controlling Disease-Causing Pathogens In Vitro

Nur Febriansyah Rahmanda¹, Miranda¹, Muniroh¹, Indri Riyana¹, Jumita¹, Gholi Wedana
Nursyah¹, Gen Adi Wisangeni^{1*}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya
Balunijuk, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33125

*E-mail Korespondensi: genadi.lab@ubb.ac.id

ABSTRACT

Alternative plant disease control can be carried out using biological agents in an effort to reduce chemical pesticides. The antagonistic mechanism possessed by biological agents has been widely used as an effective and environmentally friendly alternative. Biological agents that are often used for biocontrol include Trichoderma sp. and Gliocladium sp.. This experiment aims to determine the comparative antagonism of Trichoderma spp. and Gliocladium biological agents against Curvularia spp. and Fusarium spp. This experiment was conducted to test the antagonism of biological agents. The experimental factors tested to determine the inhibitory effect were Trichoderma sp. and Gliocladium sp. isolates. Next, pure cultures of Trichoderma sp. and Gliocladium spp., which were 7 days old, were inoculated into the medium to observe the contact between Trichoderma sp. and Curvularia sp., Trichoderma sp. and Fusarium sp., Gliocladium sp and Curvularia sp., and Gliocladium sp and Fusarium sp. The antagonistic test results showed that the Trichoderma sp. biological agent treatment was able to optimally inhibit the growth of Curvularia sp. and Fusarium sp. The Gliocladium sp. treatment was able to inhibit the growth of Fusarium sp., but was less optimal in inhibiting the growth of Curvularia sp.

Key words: Antagonism, Biocontrol, Biological Agent, Gliocladium, Trichoderma.

ABSTRAK

Alternatif pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan menggunakan agen hayati dalam upaya pengurangan pestisida kimia. Mekanisme antagonis yang dimiliki agen hayati telah banyak dijadikan sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan. Agen hayati yang sering dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai biokontrol diantaranya *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antagonis agen hayati *Trichoderma* spp., *Gliocladium* terhadap *Curvularia* spp. dan *Fusarium* spp. Percobaan ini dilakukan untuk melihat uji antagonis dari agen hayati. Faktor percobaan yang di uji untuk melihat daya hambat yaitu isolat *Trichoderma* sp. dan isolat *Gliocladium* sp. Selanjutnya, biakan murni *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* spp., yang sudah berumur 7 hari diinokulasikan ke dalam media untuk melihat terjadi kontak antara *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp, *Trichoderma* sp. dan *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp dan *Curvularia* sp., *Gliocladium* sp dan *Fusarium* sp. Berdasarkan pengamatan visual pada uji kultur ganda in vitro, perlakuan agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. secara optimal. Perlakuan *Gliocladium* sp., mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp., namun kurang optimal dalam menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp.

Kata kunci: Agen Hayati, Antagonisme, Biokontrol, Gliocladium, Trichoderma.

PENDAHULUAN

Pengendalian penyakit tanaman oleh petani pada umumnya masih sangat bergantung pada penggunaan pestisida kimia. Pestisida sering digunakan karena efektivitas cepat dalam mengurangi populasi patogen yang merugikan hasil tanaman budidaya sehingga hasil panen dapat meningkat (Tudi *et al.*, 2021). Namun, penggunaan pestisida secara terus menerus dalam frekuensi tinggi menyebabkan residu berbahaya dari pestisida semakin tinggi, sehingga dapat merusak tanaman dan lingkungan sekitar (Zhou *et al.*, 2025). Selain itu, paparan pestisida pada petani juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan akut hingga kronis seperti gangguan pernapasan sampai risiko kanker (Shekhar *et al.*, 2024). Penggunaan pestisida kimia secara terus menerus juga menyebabkan patogen menjadi resistensi, hal tersebut mengurangi efektivitas dan meningkatkan biaya aplikasi (Fenta & Mekonnen, 2024). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan alternatif pengendalian penyakit tanaman yang lebih aman dan ramah lingkungan.

Salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam upaya pengendalian patogen tanaman yaitu dengan menggunakan agen hayati. Penggunaan agen hayati berupa mikroorganisme antagonis mampu mengendalikan patogen melalui berbagai mekanisme tanpa meninggalkan residu kimia berbahaya (Negi *et al.*, 2023). Pengendalian patogen dengan penggunaan agen hayati dianggap sebagai solusi pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan yang dapat menggantikan sebagian pestisida kimia (Beyari, 2025). Selain itu penggunaan agen hayati juga dapat meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan melalui stimulasi pertahanan alami tanaman, sehingga hal ini dapat dijadikan sebagai agen biokontrol yang sangat potensial untuk sistem pertanian berkelanjutan (Lahlali *et al.*, 2022; Saad *et al.*, 2022). Agen hayati yang sering dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai biokontrol diantaranya *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp.

Pengendalian hayati dengan menggunakan mikroorganisme antagonis, seperti *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp., telah banyak dijadikan sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan (Thambugala *et al.*, 2020). *Trichoderma* sp. dikenal sebagai jamur yang mampu menghambat pertumbuhan berbagai patogen melalui mekanisme fisik dan kimia, seperti produksi enzim pemecah dinding sel patogen (Oyesola *et al.*, 2025; Mukherjee *et al.*, 2021). *Gliocladium* sp. juga berperan dalam pengendalian hayati dengan kemampuan menghasilkan metabolit toksik bagi patogen dan mendukung kesehatan tanaman (Fardhani *et al.*, 2024).

Trichoderma sering digunakan terutama digunakan untuk mengendalikan penyakit tular tanah pada berbagai tanaman dan beberapa penyakit daun serta biji (Abbas *et al.*, 2022; Vicente *et al.*, 2020). Selain dapat mencegah penyakit pada tanaman, *Trichoderma* berfungsi untuk mendorong pertumbuhan tanaman, meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara, meningkatkan ketahanan tanaman, dan memperbaiki polusi agrokimia (Al-surhanee, 2022; Fontana *et al.*, 2021). *Trichoderma* memiliki efek pengendalian pada berbagai jamur patogen tanaman, seperti *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Pseudocercospora* spp. dan *Colletotrichum* spp. dengan tingkat daya hambatnya mencapai 70-88% pada uji invitro (Zhang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022). Al-askar *et al.*, (2021) menyatakan bahwa efek pengendaliannya mencapai 54,8%, yang 12,5% lebih tinggi daripada pestisida kimia karbendazim.

Gliocladium sp. memiliki karakteristik antagonis terhadap jamur patogen. Antagonisme *Gliocladium* sp. menghambat pertumbuhan jamur patogen melalui mekanisme kompetisi, parasitisme dan antibiosis (Fadiji & Babalola, 2020). *Gliocladium* sp. dapat mensintesis senyawa antibiotik termasuk gliotoksin, gliovirin, dan viridin. Gliotoksin yang dapat menghambat pertumbuhan miselium jamur patogen (Kalimutu *et al.*, 2020), sedangkan senyawa gliovirin dapat mengaglutinasi sitoplasma jamur patogen dan menyebabkan kerusakan dinding sel jamur, sementara viridin dapat menghambat perkecambahan spora jamur patogen seperti *Fusarium* sp. (Khalimi *et al.*, 2025). Penelitian lain menyebutkan bahwa *Gliocladium* sp. dapat menghambat pertumbuhan jamur patogen yang menyebabkan infeksi pada tanaman (Irmawatie *et al.*, 2025).

Dalam melakukan pengujian awal untuk melihat keefektifitasan dari agen hayati dapat dilakukan melalui uji in vitro. Metode uji in vitro menjadi langkah awal yang penting untuk menguji efektivitas

Trichoderma dan *Gliocladium* dalam menekan pertumbuhan patogen (Sopialena *et al.*, 2024). Melalui uji *in vitro*, interaksi langsung antara agen hayati dan patogen dapat ditelaah secara rinci dan dalam kondisi terkontrol (Ayaz *et al.*, 2023). Hasil uji *in vitro* memudahkan screening isolat unggul dengan kemampuan antagonistik terbaik (Li *et al.*, 2020).

Berdasarkan uraian penjelasan dari latarbelakang tersebut percobaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antagonis agen hayati *Trichoderma* spp., *Gliocladium* terhadap *Curvularia* spp. dan *Fusarium* spp.

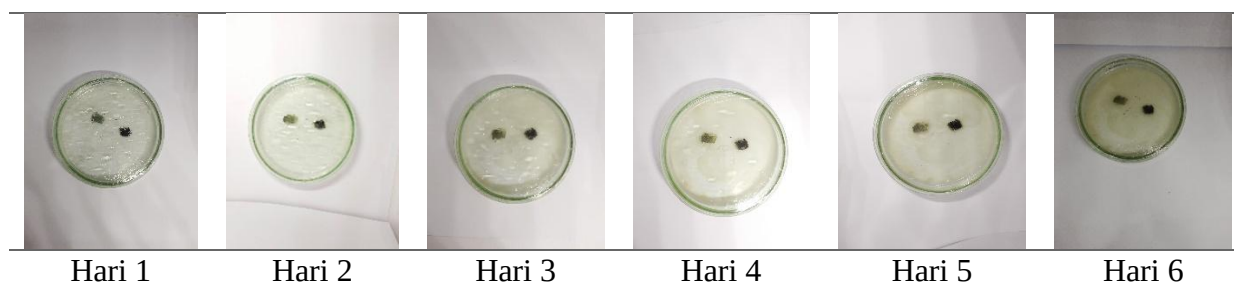
METODE PENELITIAN

Percobaan ini dilaksanakan pada bulan Oktober-November 2024. Percobaan ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung. Bahan dan alat yang digunakan seperti cawan petri, media PDA, isolat *Trichoderma*, isolat *Gliocladium*, isolat *Curvularia* sp., isolat *Fusarium* sp., plastik wrapping, label, alat tulis, spatula, alkohol 70%, bunsen, kamera dan lembar pengamatan

Percobaan ini dilakukan untuk melihat uji antagonis dari agen hayati. Faktor percobaan yang di uji untuk melihat daya hambat yaitu isolat *Trichoderma* sp. dan isolat *Gliocladium* sp. Selanjutnya, biakan murni *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* spp., yang sudah berumur 7 hari diinokulasikan ke dalam media menggunakan alat spatula dari tepi koloni. Selanjutnya, tempatkan *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. isolasi potongan pada media PDA dari tepi cawan petri. Tempatkan masing-masing isolat *Trichoderma* sp. dan *Gliocladium* sp. di cawan petri yang berbeda. Potongan isolat *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. kemudian diinokulasikan pada media PDA di cawan petri dari tepi cawan petri di seberang *Trichoderma* sp sedangkan untuk *Fusarium* letakan di bagian cawan petri berlawanan arah *Gliocladium*. Pertumbuhan koloni kemudian diamati pada masing-masing cendawan hingga terjadi kontak antara *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp, *Trichoderma* sp. dan *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp dan *Curvularia* sp., *Gliocladium* sp dan *Fusarium* sp. Pertumbuhan koloni diamati secara visual dan didokumentasikan dengan foto selama 6 hari pengamatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

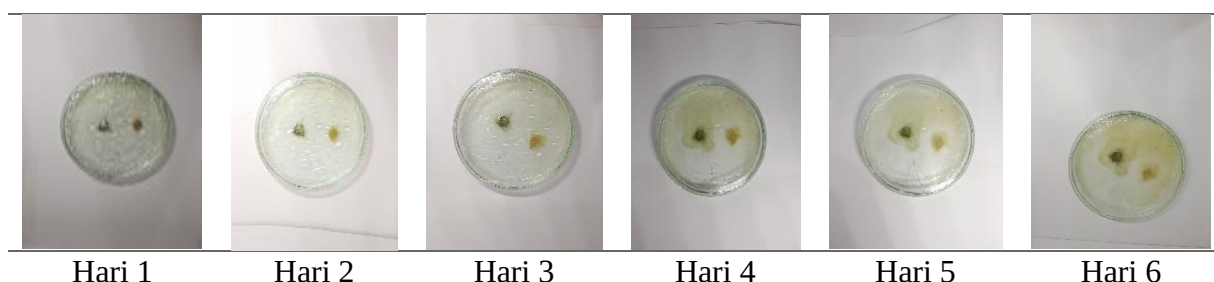
Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 1.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp., hasil ini dapat dilihat dimulai dari hari 1 pengamatan, walaupun belum terlihat jelas secara visual. Hasil yang lebih jelas terlihat dari hari ke 4 pengamatan, dimana sudah terlihat jelas bahwa *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp.



Gambar 1. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Curvularia* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Warna hijau ; *Trichoderma*, Warna hitam ; *Curvularia*.

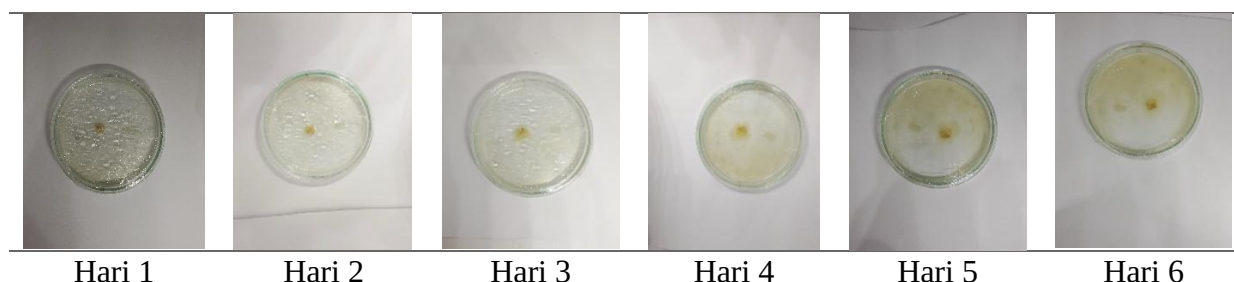
Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Fusarium* sp. (Gambar 2.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Trichoderma*

sp. dan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp., hasil ini dapat dilihat dimulai dari hari 3 pengamatan, dimana sudah terlihat jelas secara visual. Hasil menunjukkan *Trichoderma* sp., sudah mendominasi pertumbuhan sehingga pertumbuhan *Fusarium* sp. tidak banyak mengalami pertumbuhan.



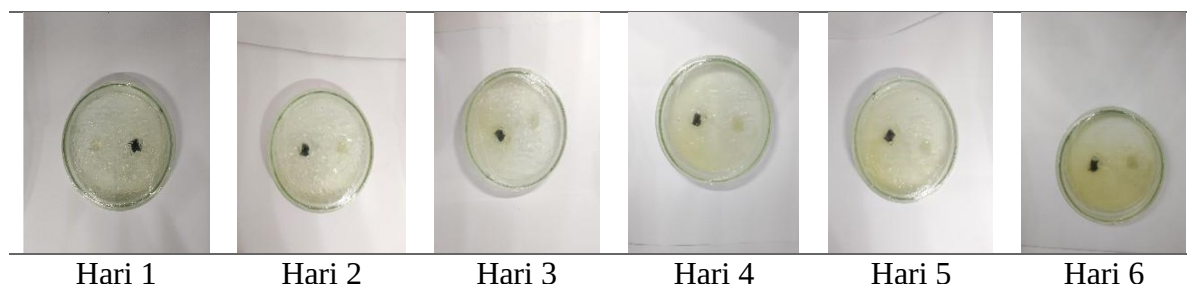
Gambar 2. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dengan *Fusarium* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Warna hijau ; *Trichoderma*, Warna Kuning ; *Fusarium*.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Fusarium* sp. (Gambar 3.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp., hasil ini dapat dilihat pada hari 3 pengamatan, dimana *Gliocladium* sp. mampu mendominasi pertumbuhan dari *Fusarium* sp., pada cawan petri. Hal ini menunjukkan bahwa *Gliocladium* sp., cukup efektif menekan pertumbuhan *Fusarium* sp. Hasil menunjukkan *Gliocladium* sp., sudah mendominasi pertumbuhan yang sudah mengelilingi *Fusarium* sp.



Gambar 3. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Fusarium* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Putih ; *Gliocladium*, Warna Kuning ; *Fusarium*.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 4.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan yang seimbang antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Curvularia* sp. Hasil menunjukkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp., belum mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp., hasil ini dapat dilihat sampai hari 6 pengamatan, dimana *Gliocladium* sp. belum mampu mendominasi pertumbuhan dari *Curvularia* sp., pada cawan petri. Hal ini menunjukkan bahwa *Gliocladium* sp., belum terlalu optimal dalam mengendalikan *Curvularia* sp.



Gambar 4. Hasil Uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. selama 6 hari pengamatan. Keterangan ; Putih ; *Gliocladium*, Warna Hitam; *Curvularia*.

Pemanfaatan agen hayati sebagai agen untuk mengendalikan patogen pada tanaman menjadi solusi lebih ramah lingkungan dan mengurangi penggunaan pestisida kimia sintetik serta mendukung meningkatkan pertumbuhan tanaman. Shaili & Kabiraj, (2025) menyatakan bahwa pemanfaatan agen hayati dapat mengurangi penggunaan pestisida kimia dan dapat mengendalikan organisme pengganggu tanaman yang lebih efektif, sehingga dapat meningkatkan hasil panen. Fahad *et al.*, (2021) menyebutkan bahwa penggunaan agen hayati dapat membantu dalam menjaga populasi patogen yang dapat dikendalikan secara hayati, yang mendukung lingkungan menjadi ramah lingkungan dan mendukung pertanian berkelanjutan. Elnahal *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa pemanfaatan agen hayati selain dapat meningkatkan ketahanan terhadap patogen, agen hayati dapat meningkatkan penyerapan nutrisi dan memperbaiki struktur tanah sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil pada tanaman.

Hasil uji antagonis antara agen hayati *Trichoderma* sp. dan *Curvularia* sp. menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menahan pertumbuhan dari *Curvularia* sp. (Gambar 1.). Hal ini diduga karena *Trichoderma* sp. memiliki berbagai mekanisme antagonis yang efektif dalam menghambat patogen. Proses antagonisme yang dilakukan oleh *Trichoderma* sp. sebabkan karena persaingan antar dua patogen yang ditanam secara bersamaan. Harahap *et al.*, (2024) menyebutkan *Trichoderma* sp. bersifat antagonis terhadap *Curvularia* sp, sehingga dapat menghambat pertumbuhan dari patogen penyebab kerusakan pada tanaman. Hasil ini sejalan dengan penelitian Baiyee *et al.*, (2019) yang menyebutkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp, berkisaran 85,64%-93,03% melalui mekanisme kompetisi sehingga mampu menekan pertumbuhan *Curvularia* sp.. Yusmar *et al.*, (2023) menyatakan bahwa mekanisme antagonis yang dilakukan oleh *Trichoderma* sp. bersifat target, parasitisme dan ruang kompetisi yang efektif sehingga menekan pertumbuhan *Curvularia* sp.

Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa agen hayati *Trichoderma* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp. (Gambar 2). Penelitian Darmanto *et al.*, (2025) menyebutkan bahwa sifat antagonis dari *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan daya hambatnya mencapai 91%. Zin & Badaluddin, (2020) menyatakan bahwa sifat daya hambat yang terjadi pada patogen disebabkan oleh kemampuan *Trichoderma* sp. sebagai parasit pada agen penyebab patogen dan membunuhnya setelah 120 jam inkubasi pada uji *dual culture*. Syarifah *et al.*, (2024) menyatakan bahwa penghambatan pada media PDA yang disebabkan oleh *Trichoderma* sp. terhadap *Fusarium* sp. disebabkan oleh karena terjadi mekanisme antibiosis dan kompetisi ruang.

Hasil uji antagonis perlakuan *Trichoderma* mampu menghambat terhadap pertumbuhan patogen *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp., hal ini mengindikasikan bahwa *Trichoderma* efektif untuk dijadikan sebagai agen pengendalian secara hayati. Guzman *et al.*, (2023) ; Poveda *et al.*, (2024) menyebutkan bahwa *Trichoderma* merupakan salah satu mikroorganisme yang sering digunakan sebagai agen pengendalian secara hayati karena bersifat seperti parasitisme, antibiotik, produksi metabolit sekunder dan induksi sistem pertahanan tanaman. Asad, (2022) menyebutkan bahwa mekanisme biokontrol yang dilakukan oleh *Trichoderma* , yang mengarah pada perlindungan tanaman yang efisien, dapat bersifat langsung ketika jamur berinteraksi dengan patogen melalui mikoparasitisme, kompetisi, atau antibiosis; dan secara tidak langsung dapat meningkatkan sistem pertahanan tanaman sehingga tanaman dapat mempertahankan diri terhadap patogennya. Gualtieri *et al.*, (2022) ; Tyskiewicz *et al.*, (2022) menyebutkan bahwa *Trichoderma* untuk menghasilkan sekitar 400 metabolit sekunder dengan sifat antagonis diantaranya peptaibol, poliketida, gislin, terpenoid, pirin dan antrakuinon yang aktivitas senyawanya bersifat fungisidanya serta menghasilkan senyawa metabolit non-volatil dan senyawa volatil yang memiliki kemampuan sebagai biokontrol.

Hasil uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp. menunjukkan hasil terjadi persaingan antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Fusarium* sp., dimana agen hayati *Gliocladium* sp., mampu menahan pertumbuhan dari *Fusarium* sp. (Gambar 3.) Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sofian *et al.*, (2025) yang menyebutkan bahwa agen hayati *Gliocladium* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp. dengan tingkat daya hambatnya mencapai 60-75%. Hasil lain ditunjukkan pada penelitian Anadiasthy *et al.*, (2025) yang menyatakan bahwa daya hambat yang dihasilkan oleh agen hayati *Gliocladium* sp. terhadap *Fusarium* sp. mencapai 99% berdasarkan hasil uji

kultur ganda. Mukaromah *et al.*, (2025) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. juga memiliki kemampuan yang tidak kalah kuat dalam menghambat pertumbuhan patogen, terutama melalui produksi gliotoksin yang merupakan senyawa antifungi yang dimiliki oleh *Gliocladium* sp.

Hasil pengamatan uji antagonis antara agen hayati *Gliocladium* sp. dengan *Curvularia* sp. (Gambar 4.) selama 6 hari pengamatan menunjukkan bahwa terjadi persaingan yang seimbang antara agen hayati *Gliocladium* sp. dan *Curvularia* sp. Anadiasthy *et al.*, (2025) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. memiliki kemampuan menghambat patogen lebih rendah dibandingkan dengan kemampuan penghambatan agen hayati lainnya, selanjutnya *Gliocladium* sp. hanya berfungsi sebagai kompetitor dan parasit serta tidak menghasilkan senyawa antibiosis. Malik *et al.*, (2022) menyatakan bahwa *Gliocladium* sp. akan lebih cepat dan menghambat pertumbuhan patogen apabila dalam proses mikoparasit banyak menyerap nutrisi.

KESIMPULAN

Hasil uji antagonis menunjukkan bahwa perlakuan agen hayati *Trichoderma* sp. mampu menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp. dan *Fusarium* sp. secara optimal. Perlakuan *Gliocladium* sp., mampu menghambat pertumbuhan *Fusarium* sp., namun kurang optimal dalam menghambat pertumbuhan *Curvularia* sp.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan yang telah memfasilitasi kegiatan pembelajaran (*Team Base Project*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Zheng, H., Zuñiga, C., & Moya-elizondo, E. A. (2022). *Trichoderma* spp . Genes Involved in the Biocontrol Activity Against *Rhizoctonia solani*. *Front. Microbiol*, 13(May), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.884469>
- Al-askar, A. A., Saber, W. I. A., Ghoneem, K. M., Hafez, E. E., & Ibrahim, A. A. (2021). *Crude Citric Acid of Trichoderma asperellum : Tomato Growth*.
- Al-surhane, A. A. (2022). Saudi Journal of Biological Sciences Protective role of antifusarial eco-friendly agents (*Trichoderma* and salicylic acid) to improve resistance performance of tomato plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(4), 2933–2941. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.020>
- Anadiasthy, I. S., Bimantara, A., Alifianto, L. G., & Wicaksono, D. P. (2025). Antagonism Test of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium* sp . in the Golden Tricho Product Against *Fusarium* sp . *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3, 518–531.
- Asad, S. A. (2022). Mechanisms of action and biocontrol potential of *Trichoderma* against fungal plant diseases - A review. *Ecological Complexity*, 49(June 2021), 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2021.100978>
- Ayaz, M., Ali, F., Yu, X., Yu, Q., Zhao, J., Yu, J., Qi, R., & Huang, W. (2023). Bacterial and Fungal Biocontrol Agents for Plant Disease Protection: Journey from Lab to Field, Current Status, Challenges, and Global Perspectives. *Molecules*, 28(6375), 1–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules28186735>
- Baiyee, B., Pornsuriya, C., Ito, S., & Sunpapao, A. (2019). *Trichoderma spirale* T76-1 displays biocontrol activity against leaf spot on lettuce (*Lactuca sativa* L .) caused by *Corynespora cassiicola* or *Curvularia aerea*. *Biological Control*, 129(June 2018), 195–200.

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.018>

- Beyari, E. A. (2025). Alternatives to chemical pesticides: the role of microbial biocontrol agents in phytopathogen management: a comprehensive review. *Journal of Plant Pathology*, 107(1), 291–314. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01808-8>
- Darmanto, K., Lihawa, M., Husain, I., & Pulogu, S. I. (2025). Uji Antagonis Agen Hayati Trichoderma Sp. Terhadap Colletotrichum Capsici Dan Fusarium Sp. Dari Tanaman Cabai. *JATT*, 14(1), 52–66.
- Elnahal, A. S. M., El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Desoky, E.-S. M., El-Tahan, A. M., Rady, M. M., AbuQamar, S. F., & El-Tarabily, K. A. (2022). The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: A review. *European Journal of Plant Pathology*, 162(4), 759–792. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>
- Fadiji, A. E., & Babalola, O. O. (2020). Elucidating Mechanisms of Endophytes Used in Plant Protection and Other Bioactivities With Multifunctional Prospects. *Front. Bioeng and Biotechnol*, 8(May), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00467>
- Fahad, S., Saud, S., Akhter, A., Ahsan, A., Hassan, S., Battaglia, M., Adnan, M., Wahid, F., Datta, R., Babur, E., Danish, S., & Zarei, T. (2021). Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences Bio-based integrated pest management in rice: An agro-ecosystems friendly approach for agricultural sustainability. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(2), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.12.004>
- Fardhani, D. M., Fuadiyah, D. A., Susila, W. A., & Afifah, I. (2024). Inhibition of Gliocladium sp against plant pathogenic fungus and their exoenzyme activity. *International Journal of Health Science and Technology*, 6(1), 45–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.31101/ijhst.v6i1.3312>
- Fenta, L., & Mekonnen, H. (2024). Microbial Biofungicides as a Substitute for Chemical Fungicides in the Control of Phytopathogens : Current Perspectives and. *Scientifica*, 2024(November), 1–22. <https://doi.org/10.1155/2024/5322696>
- Fontana, D. C., Paula, S. De, Torres, A. G., Hugo, V., Souza, M. De, Pascholati, F., Schmidt, D., & Neto, D. D. (2021). Endophytic Fungi: Biological Control and Induced Resistance to Phytopathogens and Abiotic Stresses. *Pathogens Review*, 10(570), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pathogens10050570>
- Gualtieri, L., Monti, M. M., Mele, F., Russo, A., Pedata, P. A., & Ruocco, M. (2022). Volatile Organic Compound (VOC) Profiles of Different Trichoderma Species and Their Potential Application. *Journal of Fungi Article*, 8(989), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jof8100989>
- Guzman, Paulina, K., Ajay, Santos-villalobos, S. D. L., Parra-cota, F. I., Orozco-mosqueda, M. C., Fadiji, A. E., Hyder, S., Babalola, O. O., & Santoyo, G. (2023). Trichoderma Species : Our Best Fungal Allies in the Biocontrol of Plant Diseases — A Review. *Plants Review*, 12(432), 1–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants12030432>
- Harahap, M. S., Siregar, E. J., Lubis, M. H., Harahap, H., Lubis, J. R., Muhammad, T., & Gunung, R. (2024). Optimalisasi Strategi Pengendalian Bercak Daun Curvularia sp. pada Pembibitan Kelapa Sawit di Desa Binanga. *Jumas : Jurnal Masyarakat*, 03(1995), 73–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.54209/jumas.v3i02.93 spesies>
- Irmawatie, L., Adviany, I., Hamdani, D., Nurdin, R., Suswana, S., Ginger, E., Ginger, E., Ginger, R., & Biostimulant, A. (2025). Effects of Gliocladium sp . on Suppression of the Intensity of Scab Disease (Streptomyces scabies Lambert and Loria) and the Quality of Potato Seeds (Solanum tuberosum L .). *Central Research Institute for Agriculture (CeRIA)*, 19(1), 9–14. <https://doi.org/10.59651/ccria>
- Kalimutu, K., Bagus, I., Mahardika, K., Agung, A., & Putri, S. (2020). SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science) Antagonism Test of Trichoderma atroviride and Gliocladium sp . Bali Local Isolates As a Disease Control of Blendok Disease (Botryodiplodia theobromae) in Grapefruit (Citrus grandis L . Osbeck). *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 04(02), 102–110. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22225/seas.4.2.2311.102-110>
- Khalimi, K., Wayan, N., & Leana, A. (2025). Antifungal Activity of Gliocladium viride against Fusarium oxysporum. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 30(April), 268–276.

<https://doi.org/10.18343/jipi.30.2.268>

- Lahlali, R., Ezrari, S., Radouane, N., Kenfaoui, J., & Esmaeel, Q. (2022). Biological Control of Plant Pathogens : A Global Perspective. *Microorganisms Review*, 10(596), 1–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/microorganisms10030596>
- Li, J., Hu, M., Xue, Y., Chen, X., Lu, G., & Zhang, L. (2020). microorganisms Screening , Identification and E ffi cacy Evaluation of Antagonistic Bacteria for Biocontrol of Soft Rot Disease Caused by *Dickeya zeae*. *Microorganisms*, 8(697), 2–19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050697>
- Malik, A. F., Siagian, R., & Diyasti, F. (2022). Penghambatan *Gliocladium* Sp. Cordo. Terhadap *Phytophthora Capsici* Leonian. Penyebab Penyakit Busuk Pangkal Batang Lada Serta Bentuk Formulasinya. *AGROSCRIPT Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(1), 39–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.36423/agroscript.v4i1.972>
- Mukaromah, B. D., Bahri, S., & Indahsari, W. M. N. (2025). Exploration and Identification of *Gliocladium* sp as Biological Agent from the Rhizosphere of Tomato. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jbekh.v12i1.390>
- Negi, R., Sharma, B., Kaur, S., Kaur, T., Khan, S. S., Kumar, S., Ramniwas, S., Rustagi, S., Singh, S., Rai, A. K., Kour, D., & Thakur, N. (2023). Microbial antagonists : diversity , formulation and applications for management of pest – pathogens. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00748-2>
- Oyesola, O. L., Kinge, R. T., & Obembe, O. O. (2025). Trichoderma: A Review of its Mechanisms of Action in Plant Sustainable Disease Control. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1492(1), 12008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1492/1/012008>
- Poveda, J., Millen, M. R., & Bailey, A. M. (2024). Analysis of Trichoderma as an effective biological control agent against the honey fungus (*Armillaria* spp .). *Biological Control*, 188(August 2023), 105424. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105424>
- Saad, A. M., Soliman, S. M., Salem, H. M., Ahmed, A. I., Babalghith, A. O., & Elrys, A. S. (2022). Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases : Mechanisms , challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 13(October), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.923880>
- Shaili, S. J., & Kabiraj, U. K. (2025). Fungal Biocontrol in Agriculture : A Sustainable Alternative to Chemical Pesticides – A Comprehensive Review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 26(01), 2305–2316. <https://doi.org/https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.1.0732>
Abstract
- Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., & Sharma, A. K. (2024). A systematic review of pesticide exposure , associated risks , and long-term human health impacts. *Toxicology Reports*, 13(November), 101840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101840>
- Sofian, Sopialena, & Aprilia, R. (2025). Antagonistic Test of Endophytic Fungi from Black Pepper (*Piper nigrum* L .) against *Fusarium oxysporum* the Main Cause of *Fusarium* Wilt in Chili Plants (*Capsicum annuum* L .). *JAPSI (Journal of Agriprecision and Social Impact)*, 2(3), 368–387. <https://doi.org/10.62793/japsi.v2i3.75>
- Sopialena, Nadira, N., & Arwita, P. (2024). Antagonist Test of Trichoderma sp and *Gliocladium* sp Againts Fungal Pathogens That Cause Diseases on Tomato Plant. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 7(1), 78–84. <https://doi.org/DOI.210.35941/JATL>
- Syarifah, S. M., Sari, O. P., & Bimantara, A. (2024). Isolat Trichoderma sp . Asal Rizosfer Bambu dari Kecamatan Kedu , Kabupaten Temanggung (Pathogen Biological Control of *Fusarium oxysporum* f . sp . capsica using Isolated Trichoderma sp . of Bamboo Rhizosphere from Kedu District , Temanggung Regency). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 29(3), 454–460. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.3.454>
- Thambugala, K. M., Daranagama, D. A., & Phillips, A. J. L. (2020). Fungi vs . Fungi in Biocontrol : An Overview of Fungal Antagonists Applied Against Fungal Plant Pathogens. *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, 10(November), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.604923>

- Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., & Chu, C. (2021). Agriculture Development , Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1112), 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Tyskiewicz, R., Nowak, A., & Ozimek, E. (2022). Trichoderma : The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth. *Molecular Sciences*, 23(2329), 1–28.
- Vicente, I., Baroncelli, R., Bernardi, R., Puntoni, G., Hermosa, R., Monte, E., Vannacci, G., & Sarrocco, S. (2020). Combined Comparative Genomics and Gene Expression Analyses Provide Insights into the Terpene Synthases Inventory in Trichoderma. *Microorganisms Article*, 8(1603), 1–20. <https://doi.org/doi:10.3390/microorganisms8101603>
- Yusmar, M., Aslamil, M., & Siti, Z. (2023). Uji Pelet Biofungisida Trichoderma Harzianum Mengandung Beberapa Bahan Alami terhadap Curvularia Sp . secara In Vitro. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 507–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.47687/snppvp.v4i1.674>
- Zhang, C., Wang, W., Xue, M., Liu, Z., Zhang, Q., & Hou, J. (2021). *The Combination of a Biocontrol Agent Trichoderma asperellum SC012 and Hymexazol Reduces the Effective Fungicide Dose to Control Fusarium Wilt in Cowpea*.
- Zhang, Y., Xiao, J., Yang, K., Wang, Y., Tian, Y., & Id, Z. L. (2022). *Transcriptomic and metabonomic insights into the biocontrol mechanism of Trichoderma asperellum M45a against watermelon*. 1–19.
- Zhou, W., Li, M., & Achal, V. (2025). A comprehensive review on environmental and human health impacts of chemical pesticide usage. *Emerging Contaminants*, 11(1), 100410. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100410>
- Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Annals of Agricultural Sciences Biological functions of Trichoderma spp . for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>

ANALISIS FAKTOR PENENTU PRODUKSI TANDAN BUAH SEGAR (TBS) TANAMAN KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) DI PT. TUNAS BARU LAMPUNG BANYUASIN SUMATERA SELATAN

Analysis Of The Production Factor Of Fresh Fruit Medicine (Tb) Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) In PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin South Sumatra

Tri Lestari Puji Astuti^{1*}, Nova Tri Buyana¹, Yuliantina¹

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tridinant

*E-mail Korespondensi: ntribuyana@gmail.com

ABSTRACT

*Palm oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) is a strategic plantation commodity that plays an important role in the Indonesian economy. This research aims to analyze the determinants of the production of Fresh Fruit Bunches (TBS) in PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin (PT. TBLB). The research was carried out for six months (October 2014-March 2015) with the survey method using data *time series* in 2007-2014. The data is analyzed using multiple linear regression with rainfall variables, NPK Blue fertilizer, MOP, RP, Borate, and Kieserite. The results showed fertilization, especially NPK Blue and MOP, had a real effect on the production of TBS with a value of R^2 77.2%-92.5%. Rainfall shows an unreal negative effect on production. A descriptive comparison shows that the 2006 planting year had a higher average production (18.63 tons/ha) than the 2007 planting year (15.97 tons/ha). The conclusion of this study is that fertilization is the main determining factor for TBS production in PT. TBLB. The recommendation given is the need for proper fertilization management and the improvement of the drainage system to optimize palm oil production.*

Keywords: palm oil, TBS production, fertilization, precipitation, multiple linear regression.

ABSTRAK

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas perkebunan strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia. Penelitian ini bertujuan menganalisis faktor penentu produksi Tandan Buah Segar (TBS) di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin (PT. TBLB). Penelitian dilaksanakan selama enam bulan (Oktober 2014–Maret 2015) dengan metode survei menggunakan data time series tahun 2007–2014. Data dianalisis menggunakan regresi linear berganda dengan variabel curah hujan, pupuk NPK Blue, MOP, RP, Borate, dan Kieserite. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan, terutama NPK Blue dan MOP, berpengaruh nyata terhadap produksi TBS dengan nilai R^2 77,2%–92,5%. Curah hujan menunjukkan pengaruh negatif yang tidak nyata terhadap produksi. Secara deskriptif, tahun tanam 2006 memiliki rata-rata produksi (18,63 ton/ha) lebih tinggi dibandingkan tahun tanam 2007 (15,97 ton/ha). Kesimpulan penelitian ini adalah pemupukan merupakan faktor penentu utama produksi TBS di PT. TBLB. Rekomendasi yang diberikan adalah perlunya pengelolaan pemupukan yang tepat dan perbaikan sistem drainase untuk mengoptimalkan produksi kelapa sawit.

Kata kunci: kelapa sawit, produksi TBS, pemupukan, curah hujan, regresi linear berganda.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu tanaman penting yang mendukung tingkat perekonomian bangsa karena memiliki aspek nyata terhadap pertumbuhan ekonomi, baik untuk kebutuhan pangan maupun non pangan (Pahan, 2021). Komoditas ini memiliki peran strategis sebagai bahan utama minyak goreng, komoditas ekspor non migas andalan, serta mampu menciptakan kesempatan kerja dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Pahan, 2021).

Minyak mentah CPO (*Crude Palm Oil*) yang dihasilkan dapat dijadikan bahan baku industri minyak goreng, margarin, sabun, kosmetik, tekstil, dan etanol. Menurut Fauzi dkk. (2012), potensi CPO terbukti dari semakin bertambahnya jumlah penduduk dunia yang berimplikasi pada pertambahan kebutuhan pangan, terutama minyak goreng. Penerapan teknologi budidaya yang baik (*good agricultural practices*), termasuk aspek pemeliharaan, memegang peranan penting dalam pencapaian peningkatan produktivitas. Pemeliharaan tanaman menghasilkan (TM) merupakan salah satu aspek penting dalam proses produksi untuk mendapatkan produksi kelapa sawit tetap maksimal dan memerlukan banyak tenaga dan biaya (Pahan, 2021).

PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin (PT. TBLB) telah mengelola lahan perkebunan kelapa sawit seluas 8.363 hektar yang terdiri atas 7 divisi. Tanaman di PT. TBLB telah memasuki tanaman menghasilkan (TM) dengan tahun tanam 2006-2013. Varietas kelapa sawit yang digunakan adalah *Dura* dan *Pisifera* dari PT. Marihat, PT. Socfindo, PT. Sampoerna, dan PT. Univanic. Penelitian tentang faktor penentu produksi kelapa sawit telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Oktavian, Supijatno, dan Sudradjat (2025) menemukan bahwa dosis optimum pupuk NPK pada kelapa sawit umur sebelas tahun adalah 8,32 kg per tanaman per tahun dengan produktivitas tertinggi 27,16 ton per hektar per tahun. Ramadhani (2024) melaporkan bahwa perlakuan NPK 1,5 dosis per tanaman per tahun pada kelapa sawit umur sepuluh tahun berpengaruh nyata terhadap morfologi dan komponen produksi dengan efektivitas agronomi relatif mencapai 429%.

Sopian, Arsensi, dan Fellix (2026) mengkonfirmasi bahwa pupuk NPK dosis 3,0 kg per pohon berpengaruh signifikan terhadap jumlah bunga betina dan berat janjang rata-rata. Husean, Syafrinal, dan Khoiri (2025) menambahkan bahwa pupuk NPK berpengaruh nyata terhadap bobot tandan buah segar, bobot buah segar, dan ketebalan mesocarp. Sinaga, Sopandie, dan Santosa (2024) melaporkan bahwa ketepatan cara aplikasi pupuk MOP mencapai 92,78% (sangat baik), namun ketepatan dosis hanya 80,56% (masih di bawah standar 92%). Farahdiba, Hutagaol, dan Khani (2025) menemukan bahwa curah hujan berkorelasi positif dengan berat tandan per tandan, tetapi berkorelasi negatif dengan jumlah tandan per hektar, serta interaksi curah hujan dan pupuk NPK berpengaruh nyata terhadap berat tandan per hektar. Parinduri dan Sinaga (2024) mengidentifikasi curah hujan sebagai kriteria paling dominan (bobot 0,456) dalam pemilihan pupuk terbaik. Aziza, Faisal Hizbullah, Daryono, Ngapiyatun, dan Puspita (2023) melaporkan bahwa kombinasi pupuk NPK (75%), jangkos (60%), dan limbah cair (90%) merupakan kombinasi paling efektif meningkatkan produksi.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya karena mengintegrasikan enam variabel faktor penentu produksi (curah hujan, NPK Blue, MOP, RP, Borate, dan Kieserite) secara simultan menggunakan analisis regresi linear berganda pada dua kelompok tahun tanam berbeda di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin, sehingga memungkinkan identifikasi faktor penentu produksi yang paling dominan berdasarkan umur tanaman. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis faktor-faktor penentu yang mempengaruhi produktivitas kelapa sawit di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan (Oktober 2014-Maret 2015) di 7 divisi PT. TBLB: Sidomulyo, Cinta Manis Lama, Sebokor, Perambahan, Teluk Tenggirik, Rimba Jaya, dan Sebusus. Bahan dan alat yang digunakan adalah data-data, arsip, dan dokumen yang ada di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin.

Penelitian menggunakan metode survei dengan data *time series* berdasarkan lokasi/divisi kebun, varietas, dan tahun tanam. Data sekunder yang dikumpulkan meliputi tahun tanam, lokasi/divisi, varietas, dan faktor penentu produksi: curah hujan (mm/tahun), pupuk (NPK Blue, MOP, RP, Borate, Kieserite), dan produksi per hektar per tahun.

Data ditabulasi berdasarkan tahun tanam (2006 dan 2007), varietas (M.Fielda), dan lokasi/divisi. Analisis menggunakan regresi linear berganda (Gujarati, 2003):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + e$$

Keterangan:

- Y = Produksi (ton/ha)
- X_1 = Curah hujan (mm/tahun)
- X_2 = Pupuk NPK Blue (kg/ha)
- X_3 = Pupuk MOP (kg/ha)
- X_4 = Pupuk RP (kg/ha)
- X_5 = Pupuk Borate (kg/ha)
- X_6 = Pupuk Kieserite (kg/ha).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi rata-rata pemupukan NPK Blue di PT. TBLB selama delapan tahun pengamatan (2007-2014) untuk tanaman dengan tahun tanam 2006 dan 2007 disajikan pada Tabel 1. Penggunaan pupuk NPK Blue menjadi perhatian utama karena merupakan salah satu input produksi dengan kontribusi biaya terbesar dalam kegiatan pemeliharaan tanaman kelapa sawit (Pahan, 2021).

Tabel 1. Rata-rata Penggunaan Pupuk NPK Blue per Divisi (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (kg/ha)	Tahun Tanam 2007 (kg/ha)
1	Sidomulyo	777,06	693,77
2	Cinta Manis Lama	677,57	670,18
3	Sebokor	667,43	686,47
4	Perambahan	-	680,40
5	Teluk Tenggirik	-	679,82
6	Rimba Jaya	-	678,01
Rata-rata			681,44

Data Tabel 1 terlihat bahwa penggunaan pupuk NPK Blue pada tahun tanam 2006 rata-rata mencapai 707,35 kg/ha dengan kisaran 667,43-777,06 kg/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 rata-rata 681,44 kg/ha dengan kisaran 670,18-693,77 kg/ha. Konsistensi dosis pemupukan yang diterapkan di seluruh divisi mencerminkan adanya standar operasional prosedur yang diterapkan perusahaan, meskipun terdapat variasi yang diduga disesuaikan dengan kondisi spesifik masing-masing lokasi seperti hasil analisis tanah dan status hara tanaman. Data ini menjadi dasar untuk mengevaluasi efektivitas pemupukan terhadap pencapaian produksi TBS di masing-masing divisi.

Pupuk MOP (KCl) merupakan sumber unsur hara kalium (K) yang berperan penting dalam proses fotosintesis, transportasi karbohidrat, dan pembentukan minyak pada kelapa sawit. Rata-rata penggunaan pupuk MOP pada tahun tanam 2006 dan 2007 di masing-masing divisi PT. TBLB selama periode 2007-2014 disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata penggunaan pupuk MOP pada tahun tanam 2006 berkisar antara 268,81-270,79 kg/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 berkisar antara 245,34-259,86 kg/ha. Penggunaan pupuk MOP pada tahun tanam 2006 relatif seragam antar divisi dengan dosis tertinggi di Divisi Cinta Manis Lama (270,79 kg/ha) dan terendah di Divisi Sidomulyo (268,81 kg/ha). Pada tahun tanam 2007, penggunaan tertinggi terdapat di Divisi Sebokor (259,86 kg/ha) dan terendah di Divisi Rimba Jaya (245,34 kg/ha). Secara umum, penggunaan pupuk MOP pada tahun tanam 2007 lebih rendah

dibandingkan tahun tanam 2006, yang diduga berkaitan dengan perbedaan umur tanaman dan kebutuhan hara yang berbeda pada setiap fase pertumbuhan.

Tabel 2. Rata-rata Penggunaan Pupuk MOP per Divisi (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (kg/ha)	Tahun Tanam 2007 (kg/ha)
1	Sidomulyo	268,81	255,6
2	Cinta Manis Lama	270,79	249,47
3	Sebokor	269,48	259,86
4	Perambahan	-	247,8
5	Teluk Tenggirik	-	249,57
6	Rimba Jaya	-	245,34

Pupuk Rock Phosphate (RP) merupakan sumber unsur hara fosfor (P) yang berperan penting dalam perkembangan akar, pembentukan bunga, dan pemasakan buah kelapa sawit. Rata-rata penggunaan pupuk RP pada tahun tanam 2006 dan 2007 di masing-masing divisi PT. TBLB selama periode 2007-2014 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Penggunaan Pupuk Rock Phosphate per Divisi (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (kg/ha)	Tahun Tanam 2007 (kg/ha)
1	Sidomulyo	101,2	102,24
2	Cinta Manis Lama	102,03	100,08
3	Sebokor	100,27	102,24
4	Perambahan	-	100,8
5	Teluk Tenggirik	-	101,52
6	Rimba Jaya	-	101,52

Rata-rata penggunaan pupuk RP relatif seragam (Tabel 3.), baik pada tahun tanam 2006 maupun 2007. Pada tahun tanam 2006, penggunaan pupuk RP berkisar antara 100,27-102,03 kg/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 berkisar antara 100,08-102,24 kg/ha. Konsistensi dosis pemupukan RP ini menunjukkan bahwa dosis yang diterapkan perusahaan relatif seragam antar divisi; kondisi ini belum dapat dijadikan dasar untuk menyimpulkan bahwa ketersediaan unsur fosfor tanah homogen karena data analisis tanah tidak disajikan. Dosis pemupukan RP yang diterapkan telah sesuai dengan rekomendasi untuk memenuhi kebutuhan fosfor tanaman kelapa sawit pada fase tanaman menghasilkan.

Pupuk Borate merupakan sumber unsur hara mikro boron (B) yang berperan penting dalam pembentukan bunga, perkembangan buah, dan mencegah terjadinya buah cacat pada kelapa sawit. Rata-rata penggunaan pupuk Borate pada tahun tanam 2006 dan 2007 di masing-masing divisi PT. TBLB selama periode 2007-2014 disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata Penggunaan Pupuk Borate (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (kg/ha)	Tahun Tanam 2007 (kg/ha)
1	Sidomulyo	27,65	29,82
2	Cinta Manis Lama	27,88	30,46
3	Sebokor	27,4	30,03
4	Perambahan	-	30,24
5	Teluk Tenggirik	-	30,36
6	Rimba Jaya	-	30,03

Berdasarkan Tabel 4, rata-rata penggunaan pupuk Borate pada tahun tanam 2006 berkisar antara 27,40-27,88 kg/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 berkisar antara 29,82-30,46 kg/ha. Terdapat

peningkatan dosis pupuk Borate pada tahun tanam 2007 dibandingkan tahun tanam 2006, yang diduga disebabkan oleh perbedaan kebutuhan unsur boron berdasarkan umur tanaman dan hasil analisis daun. Unsur boron sangat penting bagi kelapa sawit karena berperan dalam proses pembentukan bunga dan buah, sehingga pemenuhan kebutuhan boron yang tepat akan berpengaruh terhadap peningkatan produksi TBS.

Pupuk Kieserite merupakan sumber unsur hara magnesium (Mg) yang berperan sebagai komponen utama klorofil dan berfungsi dalam proses fotosintesis tanaman kelapa sawit. Rata-rata penggunaan pupuk Kieserite pada tahun tanam 2006 dan 2007 di masing-masing divisi PT. TBLB selama periode 2007-2014 disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata Penggunaan Pupuk Kieserite per Divisi (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (kg/ha)	Tahun Tanam 2007 (kg/ha)
1	Sidomulyo	93,61	93,65
2	Cinta Manis Lama	94,38	94,38
3	Sebokor	92,75	99,05
4	Perambahan	-	97,65
5	Teluk Tenggirik	-	98,35
6	Rimba Jaya	-	98,35

Tabel 5 menunjukkan bahwa rata-rata penggunaan pupuk Kieserite pada tahun tanam 2006 berkisar antara 92,75-94,38 kg/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 berkisar antara 93,65-99,05 kg/ha. Penggunaan pupuk Kieserite pada tahun tanam 2006 relatif seragam, sedangkan pada tahun tanam 2007 terdapat variasi yang lebih besar, dengan dosis tertinggi di Divisi Sebokor (99,05 kg/ha) dan terendah di Divisi Sidomulyo (93,65 kg/ha). Pemenuhan kebutuhan unsur magnesium sangat penting untuk mencegah terjadinya gejala defisiensi Mg yang ditandai dengan klorosis pada daun tua, yang dapat menurunkan kemampuan fotosintesis dan produksi TBS.

Produksi Tandan Buah Segar (TBS) merupakan indikator utama keberhasilan budidaya kelapa sawit. Rata-rata produksi TBS pada tahun tanam 2006 dan 2007 di masing-masing divisi PT. TBLB selama periode 2007-2014 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata Produksi TBS per Divisi (2007-2014)

No.	Divisi	Tahun Tanam 2006 (ton/ha)	Tahun Tanam 2007 (ton/ha)
1	Sidomulyo	18,82	16,78
2	Cinta Manis Lama	19,14	15,23
3	Sebokor	17,92	16,36
4	Perambahan	-	14,18
5	Teluk Tenggirik	-	16,57
6	Rimba Jaya	-	16,72

Berdasarkan Tabel 6, rata-rata produksi TBS pada tahun tanam 2006 berkisar antara 17,92-19,14 ton/ha, sedangkan pada tahun tanam 2007 berkisar antara 14,18-16,78 ton/ha. Produksi tertinggi pada tahun tanam 2006 terdapat di Divisi Cinta Manis Lama (19,14 ton/ha), sedangkan terendah di Divisi Sebokor (17,92 ton/ha). Pada tahun tanam 2007, produksi tertinggi terdapat di Divisi Sidomulyo (16,78 ton/ha) dan terendah di Divisi Perambahan (14,18 ton/ha). Perbedaan produksi antara tahun tanam 2006 dan 2007 menunjukkan adanya pengaruh umur tanaman terhadap produktivitas, di mana tanaman yang lebih tua (TM 7) menghasilkan produksi lebih tinggi dibandingkan tanaman yang lebih muda (TM 6). Hal ini sesuai dengan pernyataan Pahan (2021) bahwa produksi optimal kelapa sawit dicapai pada saat rata-rata umur tanaman 7-15 tahun.

Tabel 7. Perbandingan Rata-rata Faktor Produksi Berdasarkan Tahun Tanam

No.	Variabel	Tahun Tanam 2006	Tahun Tanam 2007	Selisih
1	NPK Blue (kg/ha)	707,35	681,44	-25,91
2	MOP (kg/ha)	269,69	251,27	-18,42
3	RP (kg/ha)	101,17	101,4	0,23
4	Borate (kg/ha)	27,64	30,16	2,52
5	Kieserite (kg/ha)	93,58	96,9	3,32
6	Produksi (ton/ha)	18,63	15,97	-2,66

Perbandingan rata-rata seluruh faktor produksi antara tahun tanam 2006 dan 2007 disajikan pada Tabel 7 untuk melihat perbedaan pola penggunaan input produksi dan hasil produksi yang dicapai. Tabel 7. menunjukkan bahwa penggunaan pupuk NPK Blue dan MOP pada tahun tanam 2006 lebih tinggi dibandingkan tahun tanam 2007, masing-masing dengan selisih -25,91 kg/ha dan -18,42 kg/ha. Sebaliknya, penggunaan pupuk Borate dan Kieserite pada tahun tanam 2007 lebih tinggi dibandingkan tahun tanam 2006, dengan selisih +2,52 kg/ha dan +3,32 kg/ha. Produksi TBS pada tahun tanam 2006 mencapai 18,63 ton/ha, lebih tinggi 2,66 ton/ha dibandingkan tahun tanam 2007 (15,97 ton/ha). Perbedaan produksi yang cukup besar ini diduga disebabkan oleh kombinasi faktor umur tanaman yang lebih tua (TM 7) pada tahun tanam 2006 dengan dosis pemupukan NPK Blue dan MOP yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan produktivitas yang lebih optimal. Perbedaan ini bersifat deskriptif dan belum diuji secara statistik; selisih dosis NPK Blue (25,91 kg/ha) hanya sekitar 3,7% dari dosis tahun tanam 2006, sehingga pengaruh umur tanaman dan faktor lain tidak dapat dipisahkan dari pengaruh pemupukan.

Pengaruh Pemupukan terhadap Produksi TBS

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemupukan merupakan faktor penentu utama produksi TBS di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin. Pupuk NPK Blue dan MOP secara konsisten berpengaruh positif dan nyata terhadap produksi TBS, dengan nilai R^2 yang tinggi (77,2%-92,5%). Temuan ini sejalan dengan penelitian Oktavian, Supijatno, dan Sudradjat (2025) yang menunjukkan bahwa pupuk NPK dapat meningkatkan bobot tandan buah segar (TBS) dan bobot janjang rata-rata (BJR) kelapa sawit umur sebelas tahun (TM 8) lebih tinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya. Pada penelitian tersebut, perlakuan 9,3 kg per tanaman per tahun menghasilkan produktivitas tertinggi sebesar 27,16 ton per hektar per tahun, dengan dosis optimum secara kuadratik sebesar 8,32 kg per tanaman per tahun.

Pemupukan NPK terbukti efektif secara agronomi dengan nilai *Relative Agronomic Effectiveness* (RAE) tertinggi mencapai 120,65%, yang berarti mampu meningkatkan hasil 1,2 kali lebih besar dibandingkan pupuk standar (Oktavian, Supijatno, dan Sudradjat, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk NPK dengan dosis yang tepat memberikan efisiensi pemupukan yang lebih baik dan berdampak langsung pada peningkatan produktivitas kelapa sawit.

Penelitian oleh Sopian, Arsensi, dan Fellix (2026) juga mengkonfirmasi bahwa aplikasi pupuk NPK yang mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) berpengaruh signifikan terhadap jumlah bunga betina dan berat janjang rata-rata kelapa sawit. Pupuk NPK dengan dosis 3,0 kg per pohon terbukti meningkatkan kelas kesesuaian lahan, yang menunjukkan bahwa pemupukan NPK yang tepat dapat mengoptimalkan potensi produksi lahan perkebunan kelapa sawit.

Perbedaan rata-rata produksi antara tahun tanam 2006 (18,63 ton/ha) dan tahun tanam 2007 (15,97 ton/ha) menunjukkan adanya pengaruh umur tanaman terhadap respons pemupukan. Hal ini sesuai dengan temuan bahwa tanaman yang lebih tua memiliki sistem perakaran yang lebih berkembang dan kapasitas serapan hara yang lebih baik. Penelitian Sinaga, Sopandie, dan Santosa (2024) tentang pengelolaan pemupukan kelapa sawit di Kebun Aek Nabara, Sumatera Utara, menunjukkan bahwa ketepatan cara aplikasi pupuk MOP mencapai 92,78% yang dikategorikan sangat baik, namun ketepatan dosis aplikasi MOP hanya mencapai 80,56%, masih di bawah standar kebun yaitu 92%. Hal ini

mengindikasikan bahwa aspek ketepatan dosis pemupukan masih perlu ditingkatkan untuk menghasilkan pemupukan yang optimal.

Pengaruh Umur Tanaman terhadap Produksi TBS

Umur tanaman berpengaruh terhadap produksi TBS. Penelitian pada Kebun Tanjung Lebar menunjukkan umur tanaman, luas panen, dan pemupukan secara bersama-sama maupun individu berpengaruh signifikan terhadap produktivitas TBS dengan koefisien determinasi 0,553 yang berarti 55% variasi produktivitas TBS dapat dijelaskan oleh ketiga variabel tersebut (Amanda & Alim, 2025).

Pengaruh Faktor Lain

Faktor populasi tanaman per hektar (SPH) dan jenis varietas juga mempengaruhi produktivitas. Penelitian lain menunjukkan faktor umur tanaman, SPH, dan topografi berpengaruh signifikan terhadap produksi kelapa sawit. Faktor produksi seperti luas lahan, jumlah pohon, tenaga kerja, pupuk, dan pestisida secara simultan berpengaruh signifikan terhadap produksi dengan nilai Adjust R-Squared 0,96. Pengaruh SPH, jenis varietas, dan topografi tidak dianalisis dalam penelitian ini; uraian di atas merujuk pada penelitian lain.

Perlu manajemen pemupukan tepat dengan mengaplikasikan pupuk sesuai rekomendasi dan prinsip 5 T (tepat jenis, dosis, waktu, cara, dan tempat). Perbaikan sistem drainase dapat dipertimbangkan sebagai langkah antisipasi untuk mengelola curah hujan dan menghindari genangan air yang mengganggu pertumbuhan akar. Sistem administrasi kebun perlu dikelola lebih baik agar berbagai permasalahan dapat diketahui dan dicari solusinya. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menganalisis faktor-faktor lain seperti keterampilan pemanen, kualitas jalan, dan sistem panen terhadap produksi TBS.

KESIMPULAN

Faktor penentu utama produksi TBS di PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin adalah pemupukan, khususnya pupuk NPK Blue dan MOP, yang menunjukkan pengaruh positif dan nyata dengan nilai R^2 77,2%-92,5%. Curah hujan menunjukkan pengaruh negatif tidak nyata terhadap produksi TBS yang diduga karena rata-rata curah hujan di lokasi penelitian masih dalam kisaran sesuai untuk pertumbuhan kelapa sawit. Secara deskriptif, tanaman tahun tanam 2006 memiliki rata-rata produksi (18,63 ton/ha) lebih tinggi dibandingkan tahun tanam 2007 (15,97 ton/ha). Semua faktor penentu produksi saling terkait dan saling mempengaruhi, sehingga kekurangan satu faktor akan berdampak pada pencapaian produksi TBS yang diharapkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Tunas Baru Lampung Banyuasin yang telah memberikan izin dan dukungan data dalam penelitian ini, serta kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, H., & Handayani, S. (2022). Faktor Yang Memengaruhi Produksi Tandan Buah Segar (Tbs) Pada Pt. Agro Sinergi Nusantara Unit Kebun Jaya Sejahtera. *Jurnal Pertanian Agros*, 24(1).
- Amanda, T., & Alim, K. (2025). Analisis Pengaruh Umur Tanaman, Luas Panen dan Pemupukan Terhadap Produktivitas Tandah Buah Segar Pada Kebun Tanjung Lebar. *STATMAT: Jurnal Statistika dan Matematika*, 7(3). <https://doi.org/10.32493/sm.v7i3.54853>
- Baskoro, S. (2022). Pengaruh Curah Hujan Terhadap Produksi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Di Divisi II PT. Mananjung Hayak Kalimantan Tengah. *Diploma thesis*, Politeknik Negeri Jember.
- Bawafi, F. (2022). Perbedaan Pengaruh Curah Hujan dan Terhadap Produksi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di PT. Dwi Mitra Adiusaha dan PT. Mananjung Hayak Kalimantan Tengah. *Diploma thesis*, Politeknik Negeri Jember.

- Chaira, N., Napitulu, D., & Oktari Ulma, R. (2022). Analisis Efisiensi Teknis Penggunaan Faktor Produksi Pada Usahatani Kelapa Sawit Rakyat Di Kecamatan Kumpeh Ulu Kabupaten Muaro Jambi. *JALOW | Journal of Agribusiness and Local Wisdom*, 5(1), 15–29. <https://doi.org/10.22437/jalow.v5i1.19739>
- Efendi, Z., & Ramon, E. (2019). Peningkatan Produktivitas Kelapa Sawit Dengan Pemberian Pupuk Kompos Dan Biourine Sapi Di Desa Margo Mulyo Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, VI(1).
- Fauzi, T., & Liyantono, L. (2021). Estimasi Produktivitas Kelapa Sawit dengan Indeks Keterbukaan Lahan dan Indeks Vegetasi Citra Landsat 8, Curah Hujan dan Dosis Pemupukan. *Repository IPB*.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y.E., Satyawibawa, I., & Paeru, R.H. (2012). *Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Gujarati, D.N. (2003). *Basic Econometrics*. 4th Edition. McGraw-Hill. New York.
- Indrayudha, H. (2022). Pengaruh Pupuk Urea dan KCL Terhadap Produksi TBS Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Di Divisi II PT. Dwi Mitra Adhiusaha. *Diploma thesis*, Politeknik Negeri Jember.
- Manjit, S., Abdul, H., & Sulkasta, S. (2015). Yield responses of young mature oil palms to NPK fertiliser application on deep peat in North Sumatera Province, Indonesia. *Sidalc*.
- Pahan, I. (2021). *Panduan Budidaya Kelapa Sawit Untuk Pekebun*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Parinduri, M.A., & Sinaga, L.P. (2024). Optimalisasi Pemilihan Pupuk Sawit Terbaik di PTPN IV Marihat dengan Metode WASPAS. *Prosiding Seminar Nasional Jurusan Matematika*. Medan.
- Prihutami, N.D., Qadir, A., & Hariyadi. (2011). Analisis faktor penentu produksi Tandan Buah Segar (TBS) tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jacq.) di Sungai Bahaur Estate (SBHE), PT Bumitama Gunajaya Agro. *Repository IPB*.
- Sari, L. (2021). Analisis Faktor Penentu Produksi Tandan Buah Segar Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) Di PT. Tunas Prima Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara. *Skripsi*, Universitas Mulawarman.
- Sinaga, R., Siswati, L., & Mufti, M. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pendapatan Usahatani Kelapa Sawit di Desa Dayo Kecamatan Tandun Kabupaten Rokan Hulu. *Jurnal Sains dan Komunikasi*, 1(1): 1-10.
- Siregar, R.H. (2023). Pengaruh Curah Hujan, Hari Hujan, serta Perbedaan Tingkat Kemiringan Lahan terhadap Produktivitas Dua Varietas Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) di PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Kebun Pabatu. *Skripsi*, Universitas Sumatera Utara.
- Sutarta, E.S., et al. (2001). Pengaruh Pemupukan dan Curah Hujan terhadap Produksi Kelapa Sawit. *Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Syaputri, W., Maidalena, M., & Harahap, M.I. (2024). Analisis Faktor Faktor yang Mempengaruhi Produksi TBS (Studi pada Petani Kelapa Sawit Desa Sukarame Baru Kabupaten Labuhanbatu Utara). *Jurnal Manajemen Terapan dan Keuangan*, 13(3): 680-693.

PENGARUH RUANG SIMPAN DAN PERIODE SIMPAN TERHADAP MUTU UMBI BAWANG MERAH BIMA BREBES DESA AIR MESU TIMUR

The Effect of Storage Conditions and Duration on the Bulb Quality of Bima Brebes Shallots Air Mesu Timur Village

Kartika^{1*}, Resti Nabila¹, Winda Wahyuni¹

¹ Program Studi Agroteknologi, Jurusan Pertanian, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung, Jl. Raya Balunijuk, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, 33125

*E-mail Korespondensi: kartikaubb@gmail.com

ABSTRACT

The area of land used for shallot production in Air Mesu Timur Village has increased in recent years. This increase in cultivated area has gone hand in hand with an increase in seed usage. Shallot bulbs are layered and prone to damage during storage, which reduces seed quality. One measure taken to maintain seed bulb quality before use is to ensure proper storage conditions and duration. Storage conditions and duration are factors that influence the physical and physiological quality of shallots. This study aimed to determine the effects of storage conditions and duration on the quality of shallot bulbs. This study was conducted in Air Mesu Timur Village, Central Bangka Regency; at the Agricultural Seed Center (UPTD) in Air Buluh Village; at the Experimental and Research Farm (KP2); and at the Agricultural Laboratory of the University of Bangka Belitung, from February through June 2025. The study design used was a split-plot randomized block factorial design. The main plots were storage rooms, consisting of three treatment levels: drying house (P1), room temperature (P2), and air-conditioned room (P3). The subplot was storage duration, which consisted of three treatment levels: 1 month (L1), 2 months (L2), and 3 months (L3). The results showed that the air-conditioned storage room combined with a storage duration of 2 months (P3L2) produced the highest growth speed (22.71%), with a growth rate, growth uniformity, and vigor index of 100%, while weight loss was 27.38%, sprouted tubers 1.25%, hollow tubers 11.25%, and rotten tubers 4.38%.

Keywords: Shallot, Bangka Belitung Island, Storage space, Air conditioning, Seed quality, Storage period.

ABSTRAK

Luas tanam bawang merah di Desa Air Mesu Timur terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Peningkatan luas tanam diikuti peningkatan penggunaan benih, umbi bawang merah termasuk umbi lapis yang mudah mengalami kerusakan selama penyimpanan sehingga mutu benih menurun. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga mutu umbi benih sebelum digunakan adalah melalui ruang dan periode simpan yang tepat. Ruang dan periode simpan menjadi faktor yang mempengaruhi mutu fisik dan fisiologis bawang merah. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh ruang simpan dan periode simpan terhadap mutu umbi bawang merah. Penelitian ini dilaksanakan di Desa Air Mesu Timur, Kab. Bangka Tengah, ruang penyimpanan di UPTD Balai Benih Pertanian Desa Air Buluh, Kebun penelitian dan percobaan (KP2) dan Laboratorium Teknologi Benih Program Studi Agroteknologi Universitas Bangka Belitung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Juni 2025. Penelitian ini menggunakan Rancangan Petak Terbagi (Split Plot Design). Petak utama adalah ruang simpan yang terdiri atas 3 taraf perlakuan yaitu rumah pengeringan (P1), suhu ruang (P2), ruang AC (P3). Anak petak adalah periode simpan yang terdiri atas 3 taraf perlakuan yaitu 1 bulan (L1), 2 bulan (L2), 3 bulan (L3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ruang simpan AC dan periode simpan 2 bulan

(P3L2), menghasilkan kecepatan tumbuh tertinggi (22,71%), daya tumbuh (100%), keserempakan tumbuh (100%), dan indeks vigor (100%), dengan susut bobot (27,38%), umbi bertunas (1,25%), umbi hampa (11,25%), dan umbi busuk (4,38%).

Kata kunci: Bawang merah, Desa Air Mesu Timur, ruang simpan, AC, mutu benih, periode simpan.

PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang penting bagi masyarakat Indonesia, baik untuk kebutuhan sehari-hari ataupun pemenuhan komersil. Menurut Mutia, (2019) bawang merah digunakan sebagai bumbu campuran masakan maupun sebagai obat-obatan tradisional yang banyak bermanfaat untuk kesehatan. Menurut Hulzana *et al.* (2014) umbi bawang merah memiliki beberapa kandungan nutrisi seperti protein, lemak, karbohidrat, kalsium, fosfor, besi, vitamin B dan C, serta air. Menurut Andriani (2020) banyaknya kandungan nutrisi didalam umbi bawang merah menghasilkan nilai ekonomis bagi masyarakat sehingga banyak tercipta produk-produk olahan dari umbi bawang merah seperti ekstrak bawang, pasta bawang merah, bubuk bawang merah, minyak atsiri, dan bawang goreng.

Luas tanam bawang merah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung pada tahun 2022 mencapai 22,6 ha dengan produksi umbi bawang merah mencapai 78,7 ton (BPS, 2022). Luas tanam dan produksi bawang merah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung mengalami peningkatan yaitu jumlah luas tanam mencapai 30,8 Ha dan jumlah produksi mencapai 1470.81 ton, angka tersebut mengalami kenaikan yang cukup baik bagi sektor pertanian terutama bagi tanaman hortikultura semusim (BPS Babel, 2023).

Peningkatan jumlah luas tanam bawang merah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung diikuti dengan meningkatnya jumlah kebutuhan terhadap benih bawang merah yang bermutu. Peningkatan jumlah produksi bawang merah dapat dilakukan dengan penggunaan benih bermutu tinggi (Herlina *et al.*, 2017). Ketersediaan benih (umbi) bermutu yang terbatas mengakibatkan sebagian petani menanam bawang merah menggunakan benih yang berasal dari hasil budidaya sebelumnya sehingga jumlah produksi yang dihasilkan belum optimal. Salah satu faktor yang berperan dalam jumlah produksi suatu tanaman yaitu penggunaan benih (bahan tanam) (Sutrisno, 2015).

Benih merupakan salah satu faktor yang mendukung tinggi atau rendahnya produktivitas suatu tanaman, apabila benih yang digunakan memiliki mutu yang tinggi maka akan menghasilkan produktivitas yang tinggi pula begitu juga sebaliknya. Benih bawang merah yang baik memiliki karakteristik yang terbagi menjadi 3 kelompok yaitu benih ortodoks, rekalsitran, dan intermediet (Yuniarti *et al.*, 2016).

Umbi bawang merah tergolong kedalam benih rekalsitran berupa umbi lapis yang mempunyai kadar air tinggi sehingga mudah mengalami kerusakan, jenis kerusakan yang terjadi berupa pelunakan umbi, keriput, keropos, busuk, pertunasan, pertumbuhan akar dan tumbuhnya jamur (Mardiana *et al.*, 2016). Kerusakan pada umbi bawang merah sering terjadi pada saat kegiatan pasca panen berlangsung terutama pada saat kegiatan penyimpanan (Mandala *et al.*, 2024). Umbi bawang merah yang telah dipanen masih mengalami proses fisiologis seperti respirasi dan transpirasi, dua aktivitas fisiologis tersebut menyebabkan perubahan-perubahan komposisi kimia dan komponen gizi yang tidak dapat dihentikan (Dianawati & Yulyatin, 2021).

Proses penyimpanan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjaga mutu benih sampai benih ditanam kembali oleh petani. Teknik penyimpanan yang kurang tepat dapat mengakibatkan terjadinya penurunan nilai viabilitas benih (Herlina *et al.*, 2017). Upaya yang dapat dilakukan untuk menekan terjadinya penurunan nilai viabilitas umbi benih bawang merah dapat dilakukan dengan mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi laju kemunduran benih (Sadratulmuntaha *et al.*, 2022). Beberapa faktor yang mempengaruhi laju kemunduran benih yaitu faktor genetik, dormansi benih, kelembaban dan suhu di lapangan, penanganan pascapanen dan kondisi penyimpanan benih (Firmansyah *et al.*, 2024). Penyimpanan umbi bawang merah yang tepat bertujuan untuk mencegah

terjadinya kerusakan yang dapat memperpendek masa simpan dan menurunkan mutu umbi benih bawang merah.

Ruang simpan merupakan salah satu yang mempengaruhi tingkat mutu benih. Ruang simpan berkaitan dengan suhu yang berpengaruh terhadap aktivitas metabolisme suatu benih yaitu respirasi. Ruang simpan yang tidak tepat menyebabkan respirasi yang tinggi sehingga umur simpan benih menjadi singkat, sehingga perlu untuk mengetahui karakteristik dari suatu benih agar benih tersebut dapat disimpan dalam waktu yang lama (Asgar, 2017). Suhu ruang simpan benih berpengaruh terhadap umur simpan (Rahayu *et al.*, 2021). Suhu anjuran dalam penyimpanan umbi bawang merah berkisar antara 26-29°C (Balitbangtan, 2016). Penyimpanan umbi bawang merah pada suhu 26-29°C menyebabkan terjadinya susut bobot yang tinggi (Mutia *et al.*, 2014). Hasil penelitian Sarjani *et al.* (2018) penyimpanan umbi bawang merah pada suhu dingin (5°C) selama 12 minggu dapat mempertahankan viabilitas dan vigor di atas 90% dengan kerusakan (umbi bertunas, *chilling injury*, hampa atau busuk) sebesar 9,8% dan susut bobot sebesar 15,6%. Penelitian mengenai ruang simpan dilakukan juga oleh Lestari *et al.* (2018) yang menunjukkan bahwa umbi bawang merah yang disimpan pada ruangan ber-AC selama 3 bulan menghasilkan indeks vigor dan jumlah umbi yang tumbuh lebih banyak, serta kecepatan perkecambahan yang tinggi dibandingkan dengan penyimpanan di gudang dan suhu ruang.

Faktor lain yang mempengaruhi mutu benih bawang merah selain ruang simpan yang tepat adalah lama periode simpan yang berpengaruh terhadap mutu umbi benih bawang merah. Lamanya periode simpan suatu benih dapat diketahui dari tingkat viabilitasnya saat budidaya dilakukan. Hasil penelitian Ansar *et al.* (2022) menunjukkan bahwa umbi bawang merah yang simpan selama 60 hari setelah panen menghasilkan tingkat perkecambahan tertinggi yaitu sebesar 26,57%/etmal dengan waktu perkecambahan lebih cepat yaitu 3,97 hari.

Petani Provinsi Kepulauan Bangka Belitung umumnya masih melakukan kegiatan budidaya bawang merah dengan metode tradisional, salah satunya yaitu pada saat proses penyimpanan yang menyebabkan beberapa masalah. Penelitian mengenai ruang simpan dan periode simpan umbi benih bawang merah di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung masih belum banyak dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh ruang simpan dan periode simpan terhadap mutu umbi benih bawang merah. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh ruang simpan dan lama periode simpan terhadap mutu umbi bawang merah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari sampai Juni 2025. Penyimpanan benih umbi bawang merah dilakukan di rumah pengeringan petani di Desa Air Mesu Timur, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah dan ruang penyimpanan di UPTD Balai Benih Pertanian Desa Air Buluh, Kecamatan Mendo Barat, Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, serta Kebun Penelitian dan Percobaan (KP2). Kegiatan pengujian mutu benih dilaksanakan di /Laboratorium Benih Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Perikanan Dan Kelautan Universitas Bangka Belitung. Bahan yang digunakan adalah umbi bawang merah varietas bima brebes yang telah berumur 55 HST, pasir, kemasan kantung jaring/net, air, dan kapur pertanian. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan analitik, cawan, oven listrik, tali rafia, jangka sorong, kertas label, keranjang buah, *thermohygrometer*, karung, alat tulis, kamera, bak persemaian, sprayer, pisau, gunting, karton warna hitam dan talenan.

Percobaan menggunakan rancangan petak terbagi (*Split Plot Design*) dimana yang menjadi petak utama adalah ruang simpan yang terdiri dari 3 petak yaitu P1= rumah pengeringan (30-34°C), P2= suhu ruang (24-27°C) dan P3= ruangan AC (20-22°C). Anak petak adalah lama periode simpan yang terdiri dari 3 perlakuan yaitu L1= 1 Bulan, L2= 2 Bulan, dan L3= 3 Bulan. Terdapat 9 kombinasi perlakuan, masing-masing perlakuan diulang sebanyak 4 kali sehingga terdapat 36 satuan percobaan dengan jumlah umbi bawang merah setiap kombinasi perlakuan adalah 40 benih sehingga diperlukan umbi bawang merah sebanyak 1.440 benih, setiap kombinasi dikemas ke dalam kemasan kantung jaring/net.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah umbi bawang merah varietas Bima Brebes berumur 55 HST yang telah dipanen. Umbi bawang merah didapatkan dari petani bawang merah di Desa Air Mesu Timur, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah. Setelah dipanen bawang merah dibersihkan dari kotoran yang terbawa dari lahan budidaya dan umbi bawang merah yang rusak dipisahkan dari tumpukan. Umbi bawang merah yang diperoleh dari petani yaitu umbi yang masih berdaun.

Umbi bawang merah yang telah diperoleh dari petani dikeringkan dengan cara menggantung umbi bawang merah di rumah pengeringan selama 12 hari. Pengeringan (*drying*) bertujuan untuk mengeringkan daun, bagian batang leher umbi, lapisan luar kulit pembungkus dan kadar air umbi mencapai 85-80% berdasarkan (SNI 01-3159-1992). Ciri-ciri umbi bawang merah yang telah kering yaitu dapat dilihat dari warnanya yang lebih merah, batang leher umbi lebih keras dan kering, nampak mengkilap, padat, dan keras, serta apabila dipegang terasa gemerisik kering (Fahroji *et al.*, 2017).

Kegiatan selanjutnya yaitu penyortiran umbi bawang merah dengan cara memilih umbi yang baik, umbi yang terserang hama dan umbi yang mengalami kerusakan. Umbi bawang merah yang dipilih adalah umbi yang bebas dari cacat, kerusakan fisik akibat kegiatan panen atau serangan hama dan penyakit. Umbi yang digunakan adalah umbi bawang merah yang sehat dan bersih dari penyakit. Umbi yang telah bersih kemudian dikelompok berdasarkan ukuran umbinya, pengelompokkan ukuran umbi memodifikasi penelitian Addai & Anning (2015) yaitu umbi berukuran kecil (2.5-3.5 cm), sedang (3.5-4.5), besar (4.5-5.5), dan sangat besar (5.5-6.5). Umbi yang sudah disortir selanjutnya dikemas dengan menggunakan jaring/net dengan jumlah masing-masing setiap kemasan terdapat 40 umbi bawang merah, sebelum dilakukan pengemasan umbi bawang merah ditaburkan dengan kapur pertanian sampai permukaan umbi tertutupi secara keseluruhan. Umbi bawang merah yang telah dikemas diletakkan pada ruang penyimpanan. Ruang penyimpanan yang digunakan yaitu suhu ruang, rumah pengeringan, dan ruangan ber-AC, setiap ruang simpan diletakkan masing-masing 1 buah *thermohyrometer*.

Pengujian mutu benih dilakukan dengan menanam umbi bawang merah yang telah disimpan didalam bak persemaian dengan media tanam pasir, sebelum pasir digunakan untuk menjaga agar umbi tidak berjamur ketika ditanam maka dilakukan sterilisasi media terlebih dahulu dengan metode sangrai. Adapun peubah yang diamati adalah kadar air (%), daya tumbuh (%), kecepatan tumbuh (%/etmal), indeks vigor (%), keserempakan tumbuh (%), susut bobot (%) dan persentase kerusakan (%). Data dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% dan 99%, dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf 5%, dan beberapa peubah menggunakan data hasil transformasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kadar air umbi benih bawang merah varietas bima brebes untuk setiap kombinasi perlakuan disajikan pada (Tabel 1). Hasil pengujian kadar air awal benih, kadar air tertinggi terdapat pada ruang simpan AC (P3) sebesar 84,17%, sedangkan kadar air terendah terdapat pada ruang simpan rumah pengeringan (P1) sebesar 80,75%. Penurunan kadar air terjadi mulai periode simpan 1 bulan pada semua perlakuan ruang simpan. Setelah periode simpan 3 bulan (L3), perlakuan ruang simpan rumah pengeringan (P1) mengalami peningkatan kadar air sebesar 0,8%, sedangkan pada perlakuan suhu ruang mengalami penurunan sebesar 4% dan ruang AC sebesar 1,49%.

Tabel 1. Hasil pengujian kadar air benih pada berbagai ruang simpan dan periode simpan

Ruang Simpan	Kadar Air (%)			
	0 bulan	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah Pengeringan (P1)	80,5	74,32	80,17	81,03
Suhu Ruang (P2)	82,90	75,69	81,39	78,90
AC (P3)	84,17	78,37	82,98	82,68

Hasil sidik ragam yang menunjukkan bahwa perlakuan ruang simpan berpengaruh sangat nyata pada parameter kecepatan tumbuh (KCT), susut bobot, umbi bertunas, dan umbi busuk. Berpengaruh tidak nyata terhadap parameter daya tumbuh (DT), keserempakan tumbuh (Kst), indeks vigor (IV), dan umbi hampa. Perlakuan periode simpan berpengaruh nyata terhadap parameter daya tumbuh (DT), berpengaruh sangat nyata terhadap parameter kecepatan tumbuh (KCT), keserempakan tumbuh (Kst), indeks vigor (IV), susut bobot, umbi bertunas, umbi hampa, dan berpengaruh tidak nyata terhadap parameter umbi busuk. Interaksi antara perlakuan ruang simpan dan periode simpan berpengaruh sangat nyata terhadap semua kombinasi perlakuan (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil sidik ragam perlakuan ruang simpan dan periode simpan terhadap umbi benih bawang merah

Parameter Pengamatan	Ruang Simpan		Periode Simpan		Interaksi		KK (%)
	F-hit	Pr>F	F-hit	Pr>F	F-hit	Pr>F	
Daya Tumbuh(%)	2,86 ^{tn}	0,0745	4,91 [*]	0,0152	3,38 ^{**}	0,0082	2,27
Kecepatan Tumbuh(%)	50,33 ^{**}	<,0001	606,23 ^{**}	<,0001	173,82 ^{**}	<,0001	5,75
Keserempakan tumbuh(%)	1,63 ^{tn}	0,2141	1690,67 ^{**}	<,0001	423,89 ^{**}	<,0001	6,04
Indeks Vigor (%)	1,17 ^{tn}	0,3266	676,17 ^{**}	<,0001	170,12 ^{**}	<,0001	11,56
Susut Bobot (%)	7,01 ^{**}	0,0035	86,55 ^{**}	<,0001	28,23 ^{**}	<,0001	25,04
Umbi Bertunas (%)	12,89 ^{**}	0,0001	11,14 ^{**}	0,0003	10,75 ^{**}	<,0001	38,49 ^{tr}
Umbi Hampa (%)	0,05 ^{tn}	0,9545	15,79 ^{**}	<,0001	4,34 ^{**}	0,0018	29,38 ^{tr}
Umbi Busuk (%)	10,16 ^{**}	0,0005	0,03 ^{tn}	0,9693	3,88 ^{**}	0,0037	39,36 ^{tr}

Keterangan: Pr>F (Nilai probabilitas); KK (Koefisien keragaman); tr (hasil transformasi data); * (berpengaruh nyata) pada taraf kepercayaan 95%; ** (berpengaruh sangat nyata) pada taraf kepercayaan 99%.

Parameter daya tumbuh umbi bawang merah pada periode simpan 1 bulan dan perlakuan ruang simpan AC (P3L1) memiliki nilai terbaik yaitu sebesar 100% berbeda tidak nyata dengan periode simpan 2 bulan dan 3 bulan pada semua perlakuan ruang simpan dan berbeda nyata dengan perlakuan ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 1 bulan (P2L1) (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap daya tumbuh umbi bawang merah

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	98,75 a	100,00 a	100,00 a
Suhu ruang (P2)	93,75 b	100,00 a	100,00 a
AC (P3)	100,00 a	100,00 a	100,00 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada uji lanjut DMRT (α : 5%).

Parameter kecepatan tumbuh umbi bawang merah tertinggi sebesar 22,71% terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 2 bulan (P3L2) berbeda nyata dengan perlakuan lainnya dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan (P3L3). Nilai kecepatan tumbuh terendah terdapat pada perlakuan ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 1 bulan (P2L1) sebesar 7,78% (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap kecepatan tumbuh umbi bawang merah.

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	8,65 f	15,26 e	18,98 c
Suhu ruang (P2)	7,78 f	16,61 d	20,64 b
AC (P3)	8,78 f	22,71 a	21,92 ab

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter keserempakan tumbuh umbi bawang merah mulai periode simpan 2 bulan dan 3 bulan pada semua perlakuan ruang simpan menunjukkan nilai terbaik sebesar 100% berbeda nyata dengan periode simpan 1 bulan pada semua perlakuan ruang simpan. Nilai keserempakan tumbuh terendah terdapat pada ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 1 bulan (P2L1) sebesar 8,75% berbeda tidak nyata dengan perlakuan ruang simpan rumah pengeringan dan periode simpan 1 bulan (P1L1) (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap keserempakan tumbuh umbi bawang merah

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	10,00 c	100,00 a	100,00 a
Suhu ruang (P2)	8,75 c	100,00 a	100,00 a
AC (P3)	17,50 b	100,00 a	100,00 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter indeks vigor umbi bawang merah tertinggi sebesar 100% terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan rumah pengeringan dan periode simpan 3 bulan (P1L3), berbeda tidak nyata dengan perlakuan ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 3 bulan (P2L3), ruang simpan AC periode simpan 2 bulan (P3L2) dan berbeda nyata dengan perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan (P3L3). Indeks vigor terendah terdapat pada semua perlakuan ruang simpan dan periode simpan 1 bulan sebesar 0,00% (Tabel 6).

Tabel 6. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap indeks vigor umbi bawang merah.

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	0,00 c	87,50 b	100,00 a
Suhu ruang (P2)	0,00 c	86,25 b	100,00 a
AC (P3)	0,00 c	100,00 a	98,75 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter susut bobot umbi bawang merah tertinggi sebesar 56.55% terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan (P3L3) berbeda nyata dengan semua kombinasi perlakuan lainnya. Nilai susut bobot terendah terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 1 bulan sebesar 4,25% (Tabel 7).

Tabel 7. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap susut bobot umbi bawang merah

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (P2)	3 bulan (P3)
Rumah pengeringan (P1)	13,56 de	19,74 cd	28,54 c
Suhu Ruang (P2)	7,51 ef	22,32 cd	37,61 b
AC (P3)	4,25 f	27,38 c	56,55 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter umbi bawang merah bertunas menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada kombinasi ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan (P3L3) sebesar 11,88% berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan periode simpan 1 bulan pada semua ruang simpan dan berbeda tidak nyata pada periode simpan 2 bulan pada ruang simpan rumah pengeringan dan suhu ruang, serta periode simpan 3 bulan pada ruang simpan rumah pengeringan (Tabel 8).

Tabel 8. Hasil DMRT pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap umbi bertunas

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	0,00 b	0,00 b	0,00 b
Suhu ruang (P2)	0,00 b	0,00 b	0,63 b
AC (P3)	0,00 b	1,25 b	11,88 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter umbi bawang merah hampa tertinggi sebesar 16,25% terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 3 bulan (P2L3) berbeda nyata dengan perlakuan lainnya dan berbeda tidak nyata dengan perlakuan ruang simpan AC dan rumah pengeringan pada periode simpan 3 bulan. Nilai terendah terdapat pada kombinasi perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 1 bulan (P3L1) sebesar 1,88% (Tabel 9).

Tabel 9. Pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap umbi hampa

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	5,63 bc	6,25 bc	15,00 a
Suhu ruang (P2)	3,75 bc	8,75 abc	16,25 a
AC (P3)	1,88 c	11,25 ab	15,00 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Parameter umbi bawang merah busuk tertinggi sebesar 6,25% terdapat pada kombinasi perlakuan suhu ruang dan periode simpan 1 bulan (P2L1) serta periode simpan 3 bulan (P2L3) berbeda tidak nyata dengan periode simpan 2 bulan pada semua ruang simpan. Nilai terendah terdapat pada kombinasi perlakuan rumah pengeringan dan periode simpan 2 bulan (P1L2) yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan (P3L3) sebesar 0,63% (Tabel 10).

Tabel 10. Pengaruh interaksi ruang simpan dan periode simpan terhadap umbi busuk

Ruang simpan	Periode simpan (%)		
	1 bulan (L1)	2 bulan (L2)	3 bulan (L3)
Rumah pengeringan (P1)	1,25 b	0,63 b	1,25 b
Suhu ruang (P2)	6,25 a	3,13 ab	6,25 a
AC (P3)	1,25 b	4,38 ab	0,63 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda pada baris dan kolom berbeda menunjukkan berbeda nyata pada DMRT (α : 5%).

Umbi bawang merah yang telah disimpan pada suhu ruang menunjukkan persentasi total parameter kerusakan umbi busuk dan umbi hampa tertinggi dibandingkan dengan perlakuan ruang simpan dan periode simpan lainnya, sedangkan pada kerusakan umbi bertunas perlakuan ruang simpan AC menunjukkan presentasi total tertinggi dibandingkan dua perlakuan ruang simpan lainnya.

Kemampuan benih untuk mempertahankan viabilitasnya dipengaruhi oleh kadar air benih pada awal penyimpanan. Kadar air awal pada penelitian ini berkisar antara 80-84% dan mengalami penurunan setelah periode simpan 3 bulan pada ruang simpan suhu ruang dan ruang AC. Diduga penurunan kadar air dikarenakan umbi yang disimpan mengalami kesetimbangan kadar air dengan udara ruang simpan, sedangkan pada perlakuan ruang simpan rumah pengeringan mengalami peningkatan. Terjadinya peningkatan kadar air umbi bawang merah setelah 3 bulan penyimpanan di rumah pengeringan diduga disebabkan oleh kelembaban relatif udara di ruang simpan.

Kusumastuti *et al.* (2017) menambahkan kadar air benih akan mengalami peningkatan dan penurunan seiring dengan meningkat atau menurunnya kelembaban relatif. Menurut Indarwati *et al.* (2024) terjadinya perubahan kadar air selama periode simpan dikarenakan benih bersifat higroskopis yang menyebabkan benih dapat menyerap dan melepaskan air dari udara di sekitar ruang simpan terutama saat kelembaban udara tinggi dan sirkulasi tidak optimal. Kondisi ini mengakibatkan kadar air umbi yang semula menurun pada awal penyimpanan kembali mengalami peningkatan pada periode simpan 3 bulan. Kadar air pada perlakuan ruang AC mengalami penurunan yang cukup kecil dibandingkan dengan suhu ruang. Menurut Fachruri *et al.*, (2019) kadar air pada benih dipengaruhi oleh suhu ruang simpan dan masa simpan suatu benih. Menurut Shania & Pudjihartati, (2023) suhu dan kelembaban yang rendah pada ruang AC dapat mempertahankan kadar air benih lebih baik dibandingkan dengan suhu ruang. Selain itu menurut Vitis *et al.* (2020) benih yang disimpan pada suhu ruang akan mengalami kemunduran yang disebabkan oleh laju respirasi yang cepat. Benih yang mengalami respirasi menyebabkan terjadinya perubahan jumlah cadangan makanan, meningkatnya suhu dan kelembaban, dan dapat menurunkan nilai viabilitas benih. Menurut Agriawati *et al.* (2022) proses respirasi merupakan reaksi kimia enzimatik yang memecah pati, gula, protein, lemak, asam organik, dan senyawa kompleks lainnya menjadi energi berupa air dan karbon dioksida (H_2O dan CO_2) yang kemudian dilepaskan. Menurut Saleh (2018), kadar air berhubungan dengan penurunan bobot umbi bawang merah karena pada saat penyimpanan terjadinya pengurangan kadar air umbi yang menyebabkan bobot umbi bawang merah berkurang.

Tingkat viabilitas benih dapat diamati melalui parameter daya tumbuh (DT), kecepatan tumbuh (KCT), keserempakan tumbuh (KST), indeks vigor (IV) yang merupakan kemampuan umbi bawang merah untuk bertunas setelah ditanam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa umbi bawang merah yang disimpan pada ruang simpan AC memiliki nilai tertinggi pada parameter pengamatan kecepatan

tumbuh dan indeks vigor dibandingkan perlakuan ruang simpan lainnya. Umbi bawang merah yang disimpan pada ruang AC menunjukkan pertumbuhan yang baik sejak periode simpan 2 bulan. Menurut Palupi *et al.* (2021), suhu ruang simpan yang rendah dapat mengaktifasi giberelin yang dapat meningkatkan metabolisme, karotenoid, glukosa, aktivitas enzim amilase dan menurunkan pati yang dapat mematahkan masa dormansi umbi. Arda *et al.* (2014) menambahkan umbi bawang merah yang disimpan pada suhu rendah meningkatkan aktivitas pembelahan sel dan giberelin endogen serta peningkatan auksin. Menurut Un *et al.* (2018) hormon giberelin berperan dalam mematahkan dormansi dan merangsang pembentukan enzim amilase yang memecah senyawa amilum pada cadangan makanan menjadi glukosa dan digunakan sebagai sumber energi untuk proses perkecambahan. Menurut Deden & Wachdijono (2018) daya tumbuh dipengaruhi oleh tingkat cadangan makanan yang terkandung dalam umbi berupa karbohidrat yang akan dimobilisasikan ke titik tumbuh untuk memacu terjadinya pertumbuhan tunas. Menurut Rajiman *et al.* (2023) umbi bawang merah yang melalui masa penyimpanan mengalami perubahan keseimbangan dan jumlah hormon yang dapat memacu pertunasan. Perkecambahan yang tinggi pada pengujian mutu benih menunjukkan bahwa benih mampu berkecambah setelah penyimpanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ruang simpan AC dan periode simpan 3 bulan memberikan nilai tertinggi terhadap susut bobot umbi bawang merah, hal ini berbanding terbalik dengan data susut bobot yang tergolong lebih kecil yaitu sebesar 21,4%. Umbi bawang merah selama masa penyimpanan masih mengalami proses metabolisme yang menyebabkan terjadinya penurunan bobot. Umbi bawang merah yang disimpan di ruang AC mengalami susut bobot paling tinggi sejak periode simpan 2 bulan. Tingginya susut bobot pada penyimpanan ruang AC karena umbi mengalami pertumbuhan tunas selama penyimpanan. Peningkatan jumlah umbi bertunas pada ruang simpan AC diduga karena suhu dan tingkat kelembaban ruang simpan yang rendah sehingga memacu terjadinya pertumbuhan tunas. Menurut Lestari *et al.* (2018) banyaknya umbi bertunas pada penyimpanan umbi bawang merah di ruang AC disebabkan oleh suhu ruang AC yang rendah sehingga dapat memacu pertumbuhan tunas. Hasil penelitian Sohany *et al.* (2016) menunjukkan bahwa umbi bawang merah yang disimpan selama 60 hari pada suhu 13°C mengalami pertunasan sebesar 68% yang menyebabkan penurunan bobot umbi.

Penyimpanan umbi bawang merah pada ruang simpan AC memiliki prinsip yang sama dengan vernalisasi (perlakuan suhu rendah). Perlakuan vernalisasi atau paparan suhu dingin umbi bawang merah dapat mempercepat kemunculan tunas. Menurut Wibowo *et al.* (2018) suhu merupakan faktor alami yang dapat mengatur pertumbuhan dan morphogenesis suatu tanaman. Menurut Jasmi *et al.* (2013) suhu dingin mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sehingga tanaman tumbuh lebih pesat. Mardiana *et al.* (2016) menambahkan penyimpanan umbi pada suhu rendah menyebabkan terjadinya peningkatan aktivitas enzim dan giberelin dalam sel sehingga dapat memicu pertumbuhan tunas.

Umbi bawang merah varietas bima brebes yang disimpan pada suhu ruang mengalami kerusakan paling tinggi dibandingkan dengan ruang simpan AC dan rumah pengeringan. Kerusakan pada ruang simpan suhu ruang disebabkan oleh umbi busuk dan umbi hampa, hal ini diduga disebabkan oleh aktivitas respirasi dan pertumbuhan mikroorganisme cendawan selama masa penyimpanan berlangsung. Umbi bawang merah yang disimpan pada suhu ruang mengalami busuk disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup selama masa penyimpanan ataupun yang terbawa benih dari lapangan kemudian berkembang yang dipacu oleh suhu dan tingkat kelembaban ruang simpan (Mutia *et al.*, 2014). Gejala umbi busuk dimulai saat dilapangan dan terbawa hingga penyimpanan (Rasiukeviciute *et al.*, 2016). Umbi busuk disebabkan karena terjadinya perubahan kandungan nutrisi (karbohidrat, protein, lemak) didalam umbi (Sulistyaningrum *et al.*, 2020). Umbi hampa disebabkan oleh suhu ruang simpan yang tidak tetap dapat meningkatkan laju penguapan umbi sehingga cadangan makanan yang tersedia berkurang sehingga umbi menjadi kering.

Hasil penyimpanan umbi bawang merah pada rumah pengeringan menunjukkan hasil yang cukup baik terhadap beberapa peubah yang diamati, meskipun tidak setinggi dengan penyimpanan pada ruang AC. Penyimpanan pada rumah pengeringan (P1) dengan suhu penyimpanan 30-34° C, hasilnya setelah periode simpan 3 bulan menunjukkan rerata DT dan Kst yang tidak beda nyata dengan ruang AC.

Penyimpanan pada rumah pengeringan memiliki tingkat kerusakan yang terjadi cukup rendah dibandingkan dengan suhu ruang. Hal tersebut menunjukkan bahwa penyimpanan pada rumah pengeringan mampu menahan terjadinya kerusakan dan mengurangi penyusutan bobot umbi lebih baik dibandingkan dengan ruang simpan lainnya sehingga dapat menyimpan umbi dalam jangka waktu yang lebih lama. Hal tersebut diduga pada penyimpanan rumah pengeringan terjadinya proses pengeringan (*curing*) yang dapat meningkatkan daya simpan umbi. Menurut Desta *et al.* (2021) pada proses *curing* menyebabkan kulit luar dan leher daun umbi bawang merah mengering sehingga dapat mencegah keluarnya air dan penurunan bobot selama penyimpanan berlangsung. Selain itu penyimpanan pada rumah pengeringan menunjukkan tingkat kadar air yang tergolong optimal setelah periode simpan 3 bulan. Menurut Nugraha *et al.* (2011) penyimpanan pada rumah pengeringan mempunyai suhu ruang simpan yang cukup stabil dan penguapan selama penyimpanan berlangsung secara kontinyu.

Hasil penelitian pada kombinasi perlakuan ruang simpan suhu ruang dan periode simpan 1 bulan (P2L1) menghasilkan mutu benih rendah. Suhu ruang yang berkisar antara 24-27°C menyebabkan proses respirasi berjalan sangat cepat sehingga cadangan makanan umbi mengalami penurunan yang menyebabkan daya kecambah umbi rendah. Selain itu, umbi bawang merah yang disimpan selama 4 minggu masih mengalami dormansi sehingga persentase umbi berkecambah rendah. Menurut Sarjani *et al.*, (2018) umbi bawang merah varietas bima brebes dapat digunakan sebagai benih pada saat umur 8 minggu setelah simpan karena telah melewati masa dormansi.

Mutu fisiologis merupakan kemampuan benih untuk tumbuh, berkembang, dan menghasilkan tanaman normal pada kondisi lingkungan yang optimal maupun sub-optimal. Mutu fisiologis benih pada penelitian ini terdiri dari daya tumbuh, kecepatan tumbuh, indeks vigor, dan keserempakan tumbuh, hasil uji korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang positif terhadap beberapa parameter tersebut. Mutu fisiologis menunjukkan daya hidup suatu benih yang berkaitan dengan proses metabolisme, aktivitas enzim, dan cadangan makanan. Menurut Fatonah & Rozen, (2017) daya tumbuh benih merupakan faktor utama yang mendukung mutu fisiologis benih, benih dengan daya tumbuh tinggi umumnya memiliki kecepatan tumbuh, indeks vigor, dan keserempakan lebih cepat karena aktivitas metabolisme berjalan optimal sehingga cadangan makanan dapat dimobilisasi untuk pertumbuhan tunas yang menyebabkan benih berkecambah tumbuh pada waktu yang sama (seragam) dan cepat. Syaranamual *et al.* (2024) menyebutkan bahwa semakin tinggi daya tumbuh suatu benih maka semakin cepat pula benih tersebut berkecambah. Daya tumbuh tidak hanya menentukan jumlah kecambah yang muncul tetapi juga berperan dalam keserempakan waktu perkecambahan benih.

Selain mutu fisiologis, benih juga memiliki mutu fisik yang menentukan kualitas suatu benih. Mutu fisik merupakan penampakan luar benih yang dapat diamati secara visual meliputi susut bobot, dan tingkat kerusakan. Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang positif antar beberapa parameter tersebut, salah satu faktor yang menentukan mutu fisik suatu benih adalah susut bobot. Susut bobot merupakan penurunan berat benih selama periode simpan berlangsung yang disebabkan oleh penguapan air, respirasi, dan degradasi cadangan makanan (Asgar & Rahayu, 2014). Benih yang mengalami penurunan bobot tinggi umumnya cenderung memiliki kecepatan tumbuh, indeks vigor, keserempakan tumbuh yang rendah, selain itu susut bobot berkaitan dengan tingginya persentase umbi hampa, umbi dengan cadangan makanan yang rendah akibat proses metabolisme yang berlangsung akan lebih mudah menjadi hampa dan tidak mampu berkecambah dengan normal (Rohima *et al.*, 2023).

Selama penyimpanan berlangsung benih mengalami penurunan mutu yang ditunjukkan melalui perubahan mutu fisik dan fisiologis benih. Penurunan mutu fisik berupa penurunan bobot, munculnya umbi hampa, busuk, dan bertunas, sedangkan mutu fisiologis benih dapat dilihat dari penurunan daya tumbuh, kecepatan tumbuh, keserempakan, dan indeks vigor (Nuraini *et al.*, 2018). Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara mutu fisik dan mutu fisiologis benih, hal tersebut dikarenakan umbi yang menyusut, hampa, busuk, dan bertunas berpengaruh terhadap turunnya daya tumbuh, kecepatan tumbuh, indeks vigor, dan keserempakan tumbuh benih (Aruan *et al.*, 2018). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa mutu fisik mempengaruhi mutu fisiologis benih, mutu fisik yang baik akan menghasilkan mutu fisiologis (persentase daya tumbuh) yang baik (Rusmin *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Terdapat pengaruh perlakuan ruang simpan terhadap mutu umbi benih bawang merah. Ruang simpan AC menghasilkan kecepatan tumbuh yang lebih tinggi dibandingkan ruang simpan lainnya, tetapi disertai susut bobot dan umbi bertunas yang lebih tinggi pada periode simpan 3 bulan. Periode simpan berpengaruh terhadap mutu umbi benih bawang merah: periode simpan 1 bulan menghasilkan indeks vigor 0,00% pada semua ruang simpan, sedangkan periode simpan 3 bulan pada ruang simpan AC meningkatkan susut bobot (56,55%) dan umbi bertunas (11,88%). Kombinasi perlakuan terbaik yang dapat dipilih yaitu umbi benih bawang merah yang disimpan pada ruang AC dan periode simpan 2 bulan apabila umbi benih akan digunakan dalam waktu cepat, dengan nilai DT tertinggi yaitu 100%, nilai KCT tertinggi yaitu 22,71%, nilai KST tertinggi yaitu 100%, nilai IV tertinggi yaitu 100%, susut bobot sebesar 27,38%, umbi bertunas 1,25%, umbi hampa 11,25%, dan umbi busuk 4,38%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kelompok Tani Timur Makmur, Desa Air Mesu Timur, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah, dan UPTD Balai Benih Pertanian Air Buluh, Kecamatan Mendo Barat, Kabupaten Bangka, atas dukungan, bantuan, kerja sama, serta fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Addai, I. K., & Anning, D. K. (2015). Response of onion (*Allium cepa* L.) to bulb size at planting and NPK 15:15:15 fertilizer application rate in the Guinea savannah agroecology of Ghana. *Journal of Agronomy*, 14(4), 304–309. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.304.309>
- Agriawati, D. P., Nurmalia, Purba, H. F., Purba, T., & Ramija, K. E. (2022). Physiological Changes of “Batu Ijo” Shallot (*Allium Ascalonicum*) Variety at Room Temperature Storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1024(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012042>.
- Ansar, M., Bahrudin, Maemunah, & Paiman. (2022). Effect of harvest age and storage duration on viability and vigor of shallot (*Allium cepa* L.) tubers. *Research on Crops*, 23(4), 815–821. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.ROC-909>.
- Arda, M., Suwirmen, & Noli, Z. A. (2014). Pengurangan Masa Stratifikasi dengan Penambahan Hormon GA 3 Pada Perkecambahan Benih Stroberi (*Fragaria x annanassa* (Weston) Duchesne). *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*, 3(4), 296–302.
- Asgar, A., & Rahayu, S. (2014). Pengaruh Suhu Penyimpanan Dan Waktu Pengkondisian Untuk Mempertahankan Kualitas Kentang Kultivar Margahayu. *Berita Biologi*, 13(3), 238–239.
- Aruan, R. B., Nyana, I. D. N., Siadi, I. K., & Raka, I. G. N. (2018). Toleransi penundaan prosesing terhadap mutu fisik dan mutu fisiologis benih kedelai (*Glycine max* L. Merrill). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 7(2), 264–274. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT264>
- Balitbangtan. (2016). Teknologi penanganan pascapanen bawang merah di indonesia. *Balai Besar Penelitian Pengembangan Pascapanen*, 12, 15.
- [BPS]. (2022). Catalog: 1101001. In *Statistik Indonesia 2022* (Vol. 1101001). <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>
- [BPS Babel]. (2023). *Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Bangka Belitung 2023*. <https://babel.bps.go.id/publication/2024/05/22/8c7e76d6d738124f6af6739d/statistiknilai-tukar-petani-provinsi-kepulauan-bangka-belitung2023.html>.
- Deden, D., & Wachdijono, W. (2018). Pengaruh Penyimpanan Umbi Bibit Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) pada Suhu Dingin Terhadap Kualitas Bibit, Pertumbuhan, dan Hasil pada Varietas

- Bima dan Ilokos. *Agrosintesa Jurnal Ilmu DeBudidaya Pertanian*, 1(2), 84. <https://doi.org/10.33603/v1i2.1933>
- Desta, B., Woldetsadik, K., & M. Ali, W. (2021). Effect of Harvesting Time, Curing and Storage Methods on Storability of Garlic Bulbs. *The Open Biotechnology Journal*, 15(1), 36–45. <https://doi.org/10.2174/1874070702115010036>
- Dianawati, M., & Yulyatin, A. (2021). Peningkatan pertunasan dengan vernalisasi pada berbagai ukuran benih bawang merah. *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP)*, 10(10), 89–93.
- Fachruri, M., Muhidong, J., & Sapsal, M. T. (2019). Analisis Pengaruh Suhu dan Kelembaban Ruang terhadap Kadar Air Benih Padi di Gudang Penyimpanan PT. Sang Hyang Seri. *Jurnal Agritechno*, 12(2), 131–137. <https://doi.org/10.20956/at.v0i0.221>
- Fahroji, Zulfia, V., & Syuryati. (2017). Pascapanen Bawang Merah dan Cabai. Pekanbaru. UR PRESS.
- Fatonah, K., & Rozen, N. (2017). Penetapan Metode Uji Daya Hantar Listrik untuk Benih Sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Jurnal Agroteknologi Universitas Andalas*, 1(1). www.jagur.faperta.unand.ac.id
- Firmansyah, Ismayanti, R., Ibrahim, E., Muis, A., & Komalasari, E. (2024). Deteriorasi Benih pada 25 Sumber Tetua Padi Tahan Tungro. *Jurnal Vegetalika*, 13(2), 184–195. <https://doi.org/10.22146/veg.85550>
- Herlina, N., Gesriantuti, N., & Susanti, D. (2017). Uji Viabilitas dan Vigor Umbi Bawang merah (*Allium cepa* L.) Dengan Kadar Air dan Suhu Penyimpanan yang Berbeda. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 7(2), 143–154. <https://doi.org/10.37859/jp.v7i02.777>
- Indarwati, D. N. A., Fatimah, T., Irawan, T., & Nuraisyah, A. (2024). Vigor Benih Kakao (*Theobroma cacao* L .) Klon ICCRI 08H Terhadap Berbagai Jenis Kemasan dan Lama Penyimpanan. *Prosiding Seminar Dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2024 Peningkatan Ketahanan Pangan Melalui Adaptasi Perubahan Iklim Untuk Pertanian Berkelanjutan 13 – 14 Juni 2024 AGROPROSS*, 202–210.
- Jasmi, Sulistyaningsih, E., & Indradewa, D. (2013). Pengaruh Vernalisasi Umbi terhadap Pertumbuhan, Hasil, dan Pembungaan Bawang Merah (*Allium cepa* L. Aggregatum group) di Dataran Rendah. *Ilmu Pertanian*, 16(1), 42–57.
- Kusumastuti, S. N., Sari, M., & Widajati, E. (2017). Perlakuan Benih diantara Periode Penyimpanan untuk Meningkatkan Daya Simpan Benih Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Buletin Agrohorti*, 5(2), 242–250. <https://doi.org/10.29244/agrob.v5i2.16805>
- Lestari, R. H. S., Sulistyaningsih, E., & Purwantoro, A. (2018). The Effect of Drying and Storage on the Quality of Shallot (*Allium cepa* L. Aggregatum group) Bulbs. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 3(3), 117–1226. <https://doi.org/10.22146/ipas.34203>
- Mandala, M. A. A., Anindita, D. C., & Nareswari, H. P. (2024). Hubungan antara Durasi Penyimpanan Umbi dan Kinerja Pertumbuhan serta Hasil Dua Varietas Bawang Merah. *Jurnal Ilmiah Pertanian Nasional*, 5431(2), 210–216.
- Mardiana, Purwanto, A., Pujantoro, L., & Sobir. (2016). Pengaruh Penyimpanan Suhu rendah Benih Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap Pertumbuhan Benih. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 4(1), 1–23.
- Mutia, A. K. (2019). Pengaruh Kadar Air Awal pada Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) terhadap Susut Bobot dan Tingkat Kekerasan Selama Penyimpanan pada Suhu Rendah. *Gorontalo Agriculture Technology Journal*, 2(1), 30. <https://doi.org/10.32662/gatj.v2i1.538>
- Nugraha, S., Adiandri, R. S., & Yulianingsih. (2011). Pelayuan dan Pengeringan Bawang Merah Menggunakan Instore Drying untuk Mempertahankan Mutu dan Mengurangi Tingkat Kerusakan. *J. Pascapanen*. 8 (2) 72–81.
- Nuraini, A., Sumadi, S., Kadapi, M., Wahyudin, A., Ruswandi, D., & Anindya, M. N. (2018). Evaluasi Ketahanan Simpan Enam Belas Genotip Benih Jagung Hibrida Unpad pada Periode Simpan Empat Bulan. *Kultivasi*, 17(1), 568–575. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v17i1.15854>
- Palupi, E. R., Septianingrum, C. D., Putri, E. A. E., & Qadir, A. (2021). Perendaman dalam GA3 dan Penyimpanan pada Suhu Rendah untuk Pematangan Dormansi Umbi Bawang Putih (*Allium sativum*

- L.). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 12(2), 89–98.
- Rahayu, A., Waluyo, N., & Azmi, C. (2021). Pengaruh Lama dan Ruang Simpan terhadap Perkecambahan Benih *True Shallot Seed* (TSS). *Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture ISBN*, 244–254.
- Rajiman, R., Megawati, S., Adiwijaya, I. . P., & Permata, N. . (2023). Pengaruh Varietas Dan Jarak Tanam Terhadap Kualitas Benih Umbi Bawang Merah Selama Penyimpanan. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 7(1), 67–73. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v7i1.305>
- Rasiukeviciute, N., Suproniene, S., & Valiuskaite, A. (2016). Effective onion leaf fleck management and variability of storage pathogens. *Open Life Sciences*, 11(1), 259–269. <https://doi.org/10.1515/biol-2016-0036>
- Rohima, I. E., Marthia, N., & Ikrawan, Y. (2023). Pengaruh Lama Penyimpanan dan Cahaya Terhadap Mutu Umbi Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Kultivar Medians yang Ditanam pada Dataran Medium dan Tinggi. *Agroscience (Agsci)*, 13(2), 108. <https://doi.org/10.35194/agsci.v13i2.3571>.
- Rusmin, D., Fatmawaty, A., Hermita, N., & Syukur, C. (2021). Mutu fisik dan fisiologis benih setek berakar vanili pada berbagai jenis media dan lama periode simpan. *Jurnal Kultivasi*, 20(2), 111–119.
- Sadratulmuntaha, Rita Hayati, S. (2022). Pengaruh Konsentrasi Gel Lidah Buaya Dan Lama Penyimpanan Terhadap Kualitas Bawang Merah (*Allium Cepa* L.). *J. Floratek*, 17(2), 72–86.
- Saleh, I. (2018). Karakteristik Dan Viabilitas Bibit Bawang Merah Pada Waktu Panen Berbeda. *Jurnal Hexagro*, 2(1), 30–35.
- Sarjani, A. S., Palupi, E. R., & Suhartanto, M. R. (2018). Pengaruh Suhu Ruang Simpan dan Perlakuan Pasca Penyimpanan terhadap Mutu dan Produktivitas Umbi Benih Bawang Merah (*Allium cepa* L. group Aggregatum). *Jurnal Horti Indonesia*, 9(2), 111–121.
- Shania, F. N., & Pudjihartati, E. (2023). Daya Simpan Benih Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) Varietas Kawali dengan Berbagai macam Pengemasan dan Kondisi Ruang Penyimpanan. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5, 8–15. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v5i.697>
- Sohany, M., Sarker, M. K. U., & Mahomud, M. S. (2016). Physiological Changes in Red Onion Bulbs at Different Storage Temperature. *World Journal of Engineering and Technology*, 04 (02), 261–266. <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.42025>
- Sulistyaningrum, A., Kiloes, A. M., & Darudriyo, D. (2020). Analisis Regresi Penampilan Bawang Putih Sangga Sembalun dan Lumbu Kuning Selama Penyimpanan dalam Suhu Ruang. *Jurnal Agronida*, 6(1), 34. <https://doi.org/10.30997/jag.v6i1.2599>
- Sutrisno, S. (2015). Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pengembangan Budidaya Bawang Merah (*Allium ascalonicum* sp.) Di Kabupaten Pati. *Jurnal Litbang: Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK*, 11(2), 93–102. <https://doi.org/10.33658/jl.v11i2.65>
- Vitis, M. De, Hay, F. R., Dickie, J. B., Trivedi, C., Choi, J., & Fiegenger, R. (2020). Seed storage : maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*, 28(28), 249–255. <https://doi.org/10.1111/rec.13174>
- Wibowo, T. R., Sri, & Purnamaningsih, L. (2018). Pengaruh Lama Vernalisasi Umbi Terhadap Pembungaan dan Hasil Biji Pada Tiga Varietas Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 6(7), 1570–1577.
- Yuniarti, N., Nurhasybi, N., & Darwo, D. (2016). Karakteristik Benih Kayu Bawang (*Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs) Berdasarkan Tingkat Pengeringan dan Ruang Penyimpanan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(2), 105–112. <https://doi.org/10.20886/jpht.2016.13.2.105-112>.