

POTENSI DAN PENGEMBANGAN PESTISIDA NABATI BUAH MAJA (*Aegle marmelos*) SERTA UJI EFEKTIVITAS TERHADAP PRODUKSI CABAI BESAR (*Capsicum annuum* L.)

Potential and Development of Maja Fruit (Aegle marmelos) Botanical Pesticide and Efficacy Test on Large Chilli (Capsicum annuum L.) Production

**Yurnengsi Palebangan, Ajani Prasanna Pongdatu, Driyunita, Sepsriyanti
Kannapadang, Ernytha A Galla, Sion Oktafianus**

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Nusantara No.12, Makale, Rantepao, Toraja Utara, Sulawesi Selatan, Indonesia.

e-mail: [*pakidingtanningd@gmail.com](mailto:pakidingtanningd@gmail.com)

ABSTRACT

This study aims to develop a botanical pesticide derived from maja (bael) fruit (*Aegle marmelos*) and to evaluate its potential as an environmentally friendly biopesticide, with a focus on product potential and formulation characterization. Product development was carried out at Karassik and the efficacy test at Kandeapi, North Toraja Regency, Sulawesi Selatan (700 m asl), from June to October 2025. The pesticide was prepared by fermenting 20 kg of maja fruit flesh in 60 L of water with 5 L of 70% alcohol for 24 h, then filtered and formulated at concentrations of 5%, 10%, 15%, and 20% (P1–P4) against an untreated control (P0). The efficacy test used a single-factor randomized block design (RBD) with five treatments and three replications (15 plots, 90 plants). No growth parameters were assessed in order to focus the analysis on pesticide development; only production variables were observed over three harvests: number of fruit per plant, single-fruit weight, fruit weight per plant, and fruit weight per plot. Data were analyzed by ANOVA followed by the LSD test at 5%, and production feasibility was evaluated through the R/C ratio, break-even point (BEP), and return on investment (ROI). Results showed that the 15% treatment (P3) significantly gave the highest production — 4.90 fruit/plant and 17.00 g/fruit (harvest 2), 45.44 g/plant, and 153.67 g/plot — differing significantly from all other treatments. The economics of production were feasible, with an R/C ratio of 1.08, a BEP of 50 bottles (500 mL) and 71 bottles (250 mL), and an ROI of 10.81%. The maja fruit pesticide is therefore worth developing and offers promising potential as an economically viable, marketable, and environmentally friendly biopesticide. Quantitative chemical characterization (total alkaloid, total flavonoid, total phenol, GC-MS profile) and a pest mortality/LC50 bioassay are recommended as follow-up research.

Keywords: botanical pesticide; *Aegle marmelos*; maja fruit; *Capsicum annuum*; formulation; biopesticide; chili production; economic feasibility

PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida kimia sintetik secara intensif dan berkelanjutan menimbulkan degradasi lahan, pencemaran lingkungan, dan risiko residu terhadap kesehatan manusia serta keamanan pangan (Suryaminarsih et al., 2021). Meningkatnya kesadaran masyarakat akan pola hidup sehat menuntut ketersediaan produk hortikultura yang bermutu dan bebas residu. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah pestisida nabati, yaitu pestisida yang berasal dari tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, terpenoid, dan minyak atsiri, yang mudah

terurai dan relatif aman bagi manusia, hewan, serta lingkungan (Suryaminarsih et al., 2018; 2021).

Indonesia memiliki kekayaan hayati yang berpotensi besar sebagai bahan baku pestisida nabati, salah satunya adalah buah maja (*Aegle marmelos*). Selama ini buah maja lebih dikenal sebagai tanaman pagar dan sebagian besar buahnya dibuang karena aroma serta teksturnya (Majid, 2021). Padahal daging buah maja mengandung flavonoid dan alkaloid (Khusna, 2021) serta kadar nitrogen dan zat pengatur tumbuh yang menguntungkan bagi tanaman (Bakri, 2020). Senyawa aktif tersebut bekerja

sebagai insektisida alami: limonin menghambat pertumbuhan dan perkembangan serangga (Kumar & Khusna, 2024); flavonoid bersifat antibakteri, antifungi, dan antioksidan; minyak atsiri berperan sebagai repelen antiserangga; asam sitrat bersifat antimikroba; dan terpenoid berfungsi sebagai pengusir dan pengendali hama alami.

Meskipun efektivitas buah maja sebagai insektisida nabati telah dibuktikan — misalnya mortalitas kutu daun *Aphis gossypii* hingga 86,7% pada konsentrasi 60% dengan LC₅₀ 559,68 ppm (Parwanti, 2020; 2021) dan penurunan populasi serangga pada jagung manis (Widya Analisa & Vera Octalia, 2023) — studi-studi tersebut umumnya berhenti pada uji mortalitas di laboratorium atau respons agronomis di lapangan tanpa mengintegrasikan pengembangan produk (formulasi), potensi bioaktif, dan kelayakan ekonomi pada satu produk yang sama.

Kesenjangan penelitian (research gap) yang diidentifikasi meliputi: (1) belum adanya karakterisasi kimia formulasi biopestisida buah maja berbasis analisis laboratorium; (2) standardisasi dan karakterisasi produk (pH, stabilitas, konsistensi antar-batch) yang belum terverifikasi; (3) hubungan dosis–respons yang belum ditautkan pada kandungan zat aktif dan titik potensi fitotoksik; serta (4) belum adanya studi tunggal yang menggabungkan karakterisasi, potensi bioaktif, formulasi produk, dan kelayakan ekonomi pada produk yang sama. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan memfokuskan analisis pada pengembangan pestisida — potensi produk, formulasi, dan kinerja produksi sebagai indikator efikasi perlindungan tanaman — sementara parameter pertumbuhan vegetatif (tinggi tanaman dan jumlah daun) dikeluarkan karena bukan indikator langsung efikasi pestisida.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengembangkan dan memformulasikan pestisida nabati buah maja pada konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 20%; (2) mengkaji potensi dan kinerja produk terhadap produksi cabai besar (*Capsicum annuum* L.) sebagai indikator efikasi perlindungan tanaman; dan (3) menganalisis kelayakan ekonomi produksi pestisida nabati buah maja berdasarkan R/C ratio, BEP, dan ROI.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Produksi pestisida nabati dilakukan di Karassik, sedangkan uji efektivitas dilakukan di Kandeapi, Kabupaten Toraja Utara, Sulawesi Selatan (ketinggian 700 m dpl) pada bulan Juni–Oktober 2025.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi tong air kapasitas 100 L, timbangan, pisau, wadah, ember, botol kemasan, saringan, corong, selang, gelas ukur, alat penyemprot (sprayer), polybag, tali rafia, dan skop. Bahan meliputi daging buah maja, alkohol 70%, air, benih cabai besar, pupuk kandang, sekam bakar, dan tanah.

Prosedur Produksi

Sebanyak 20 kg daging buah maja dihaluskan dengan blender, kemudian dicampurkan dengan 60 L air dan 5 L alkohol 70% di dalam tong berukuran 100 L dan diaduk rata. Campuran dibiarkan selama 24 jam untuk proses fermentasi, kemudian disaring hingga diperoleh larutan pestisida yang siap digunakan. Produk dikemas dalam botol 500 mL dan 250 mL dengan label yang mencantumkan nama produk, komposisi (buah maja, alkohol 70%, air bersih), cara pemakaian, dan informasi penyimpanan (label “100% alami”).

Rancangan Percobaan

Uji efektivitas disusun menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktor tunggal dengan lima taraf

perlakuan: P0 = kontrol (tanpa pestisida nabati), P1 = 5% (50 mL pestisida + 950 mL air), P2 = 10% (100 mL + 900 mL), P3 = 15% (150 mL + 850 mL), dan P4 = 20% (200 mL + 800 mL). Setiap perlakuan diulang tiga kali sehingga terdapat 15 petak percobaan; setiap petak berisi enam tanaman, dengan total 90 tanaman. Aplikasi pestisida dilakukan lima kali sejak umur 14 sampai 70 HST dengan interval 14 hari (50, 100, 150, 200, dan 250 mL per tanaman sesuai dosis perlakuan), disemprotkan pada seluruh bagian tanaman pada pagi hari.

Variabel Pengamatan

Sesuai dengan fokus pengembangan pestisida, parameter pertumbuhan vegetatif (tinggi tanaman dan jumlah daun) dikeluarkan dari analisis. Variabel yang diamati adalah variabel produksi pada tiga kali panen: (1) jumlah buah per tanaman; (2) bobot buah satuan (g); (3) bobot buah per tanaman (g); dan (4) bobot buah per plot (g). Pengamatan dilakukan dengan menimbang dan menghitung seluruh buah pada tanaman sampel menggunakan timbangan analitik pada setiap kali panen.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan ANOVA (sidik ragam); apabila terdapat pengaruh nyata, dilanjutkan dengan uji BNT (beda nyata terkecil) taraf 5%. Analisis tambahan dilakukan untuk menilai respons dosis melalui analisis regresi dan koefisien determinasi (R^2). Analisis ekonomi produksi dilakukan secara deskriptif-kuantitatif, meliputi

perhitungan biaya tetap, biaya variabel, penerimaan (revenue), R/C ratio, break-even point (BEP), dan return on investment (ROI), dengan kriteria usaha layak apabila $R/C > 1$ dan $ROI > 0$.

Hasil

Karakterisasi Formulasi Dan Potensi Produk

Produksi pestisida nabati buah maja menghasilkan formulasi larutan hasil fermentasi daging buah maja dengan alkohol 70% sebagai pelarut. Alkohol 70% berfungsi untuk mengubah senyawa aktif menjadi larutan yang homogen sehingga lebih mudah diaplikasikan, sementara air berperan sebagai pelarut/pengencer bahan aktif. Lima taraf konsentrasi (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) merepresentasikan rentang dosis yang diuji untuk mengetahui konsentrasi optimum produk sebelum direkomendasikan sebagai biopestisida. Potensi produk ditopang oleh kandungan senyawa bioaktif buah maja yang telah terdokumentasi pada literatur (alkaloid dan limonin; flavonoid; minyak atsiri; asam sitrat; terpenoid) serta kandungan nitrogen dan zat pengatur tumbuh yang mendukung kesehatan tanaman (Bakri, 2020). Kombinasi mekanisme ini menjadikan pestisida nabati buah maja berpotensi sebagai pengendali hama dan penyakit sekaligus produk ramah lingkungan, sekaligus membuka peluang valorisasi buah maja yang selama ini terbuang menjadi produk bernilai ekonomi.



Gambar 1. Produk pestisida nabati buah maja dalam kemasan botol 500 mL dan 250 mL.

Efektivitas Terhadap Produksi Cabai Besar

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa pestisida nabati buah maja berpengaruh sangat nyata terhadap seluruh variabel produksi pada panen 1, 2, dan 3. Analisis ortogonal menunjukkan

kecenderungan hubungan linier–kuadratik antara peningkatan konsentrasi dengan peningkatan produksi. Hasil uji BNT 5% disajikan pada Tabel 1–4. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan proses aplikasi pestisida nabati serta kondisi tanaman cabai pada petak percobaan.



Gambar 2. Aplikasi pestisida nabati buah maja pada tanaman cabai besar.



Gambar 3. Pertanaman cabai besar pada petak percobaan di polybag.

Tabel 1. Jumlah Buah Per Tanaman Cabai Besar (Buah)

Perlakuan	Panen 1	Panen 2	Panen 3
P0 (kontrol)	2,44 a	2,56 a	2,11 a
P1 (5%)	2,67 ab	3,22 b	3,02 bc
P2 (10%)	2,78 b	3,11 ab	3,00 b
P3 (15%)	3,92 d	4,90 d	4,00 d
P4 (20%)	2,89 bc	3,33 bc	2,11 a
BNT 5%	0,45	0,74	0,20

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Tabel 2. Bobot buah satuan cabai besar (g)

Perlakuan	Panen 1	Panen 2	Panen 3
P0 (kontrol)	9,00 a	9,11 a	10,56 a
P1 (5%)	11,11 b	13,89 b	13,56 b
P2 (10%)	14,33 c	14,44 bc	14,11 c
P3 (15%)	15,78 d	17,00 d	16,00 d
P4 (20%)	14,78 c	14,89 bc	14,78 c
BNT 5%	0,53	1,15	0,96

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Tabel 3. Bobot Buah Per Tanaman Cabai Besar (g)

Perlakuan	Panen 1	Panen 2	Panen 3
P0 (kontrol)	21,00 a	19,33 a	19,89 a
P1 (5%)	36,00 b	44,22 c	37,11 b
P2 (10%)	39,00 c	36,11 b	38,78 c
P3 (15%)	43,22 d	45,44 d	43,89 e
P4 (20%)	36,78 b	37,33 b	42,00 d
BNT 5%	3,23	1,98	3,94

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Tabel 4. Bobot Buah Per Plot Cabai Besar (g)

Perlakuan	Panen 1	Panen 2	Panen 3
P0 (kontrol)	48,33 a	61,33 a	59,67 a
P1 (5%)	117,67 d	119,67 bc	120,33 b
P2 (10%)	85,33 b	116,67 b	132,33 c
P3 (15%)	127,33 e	153,67 e	143,00 d
P4 (20%)	106,00 c	123,33 d	138,33 c
BNT 5%	13,16	10,21	13,94

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.



Gambar 4. Hasil panen cabai besar pada perlakuan pestisida nabati buah maja.

Analisis Ekonomi Produksi

Total biaya produksi sebesar Rp2.774.000 per siklus produksi (biaya tetap Rp600.000; biaya variabel Rp1.224.000; biaya pemasaran dan kemasan Rp950.000), dengan total penerimaan Rp3.000.000 sehingga diperoleh pendapatan bersih Rp226.000. Nilai R/C ratio 1,08 (> 1) menunjukkan usaha layak dan menguntungkan. BEP produksi tercapai pada 50 botol (500 mL) dan 71 botol (250 mL) per produksi, sedangkan ROI sebesar 10,81% menunjukkan tingkat pengembalian modal yang positif.

Pembahasan

Potensi Senyawa Bioaktif dan Mekanisme Kerja Pestisida Nabati Buah Maja

Efektivitas pestisida nabati buah maja pada penelitian ini tidak terlepas dari

peran senyawa bioaktif yang dikandungnya. Alkaloid dan turunannya, khususnya limonin, bekerja sebagai insektisida alami yang menghalangi pertumbuhan dan perkembangan serangga serta bersifat toksik terhadap beberapa jenis hama, menghambat proses makan, perkembangan telur, larva, dan pupa, sehingga menekan populasi hama secara langsung maupun tidak langsung (Kumar & Khusna, 2024). Flavonoid berperan sebagai antibakteri, antifungi, dan antioksidan yang melindungi tanaman dari infeksi patogen, sekaligus meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan (Bakri, 2020). Sementara itu, minyak atsiri berfungsi sebagai repelen, asam sitrat menekan aktivitas mikroba patogen, dan terpenoid bertindak sebagai pengusir serta pengendali hama alami (Suryaminarsih et

al., 2018; 2021). Kombinasi mekanisme antijamur, repelen, dan antimikroba ini menjelaskan mengapa aplikasi pestisida nabati buah maja mampu menekan kerusakan tanaman sehingga proses pengisian buah berlangsung optimal dan produksi meningkat.

Sebagai produk biopestisida, karakteristik “ramah lingkungan” dan mudah terurai (Suryaminarsih et al., 2021) menjadikan pestisida nabati buah maja sangat relevan dalam konteks pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan. Selain itu, pemanfaatan buah maja yang selama ini terbuang menjadi bahan baku pestisida memberikan nilai tambah ekonomi dan berkontribusi pada pengurangan limbah pertanian, sehingga aspek potensi produk ini penting untuk diangkat sebagai kontribusi utama penelitian.

Analisis Dosis–Respons dan Konsentrasi Optimum

Pola respons seluruh variabel produksi memperlihatkan kecenderungan meningkatnya hasil seiring kenaikan konsentrasi hingga titik optimum, kemudian menurun atau stagnan pada konsentrasi yang lebih tinggi. Konsentrasi 15% (P3) tampil sebagai perlakuan terbaik pada semua variabel. Pada konsentrasi ini, ketersediaan senyawa aktif dan unsur hara berada pada tingkat yang seimbang, sehingga perlindungan terhadap hama dan penyakit optimal tanpa menimbulkan cekaman pada tanaman. Konsentrasi yang lebih rendah (5–10%) belum mencukupi untuk menekan serangan hama secara efektif, sementara konsentrasi 20% (P4) berpotensi menimbulkan fitotoksisitas ringan yang menurunkan laju fotosintesis dan translokasi asimilat. Hal ini terlihat jelas pada Tabel 2, di mana bobot buah satuan pada P4 cenderung stagnan dan tidak berbeda nyata dengan P2, mengindikasikan ambang optimum telah terlampaui.

Temuan ini sejalan dengan Parwanti (2020; 2021) yang menyatakan bahwa efektivitas ekstrak buah maja bersifat dosis-respons dengan titik optimum pada konsentrasi menengah, dan bahwa konsentrasi 60% memberikan mortalitas tertinggi terhadap *Aphis gossypii*. Meskipun konsentrasi optimum pada studi ini (15%) lebih rendah daripada studi Parwanti, perbedaan tersebut dapat dijelaskan oleh perbedaan metode ekstraksi, bagian dan maturitas buah yang digunakan, serta kondisi aplikasi yang berbeda (kemurnian senyawa aktif versus ekstrak kasar hasil fermentasi). Pola dosis–respons kuadratik yang diperoleh juga memperkuat dugaan bahwa aplikasi pestisida nabati pada dosis berlebihan dapat mengganggu metabolisme tanaman, sebagaimana juga dilaporkan oleh Tarjoko & Mujiono (2021) dan Ramaiah et al. (2020).

Kontribusi Pestisida Nabati terhadap Peningkatan Produksi Cabai Besar

Peningkatan jumlah buah dan bobot buah pada perlakuan P3 dibandingkan dengan kontrol mengindikasikan bahwa perlindungan tanaman dari serangan hama dan penyakit yang diberikan oleh pestisida nabati berlangsung efektif. Kondisi tanaman yang sehat dan minim cekaman memungkinkan proses fotosintesis, laju translokasi asimilat, serta pengisian buah berlangsung maksimal (Taiz et al., 2022; Raza et al., 2021). Pada panen ke-2, sistem perakaran dan tajuk tanaman telah berkembang sempurna sehingga penyerapan unsur hara dan pemanfaatan senyawa aktif berlangsung lebih efisien daripada panen pertama, sehingga puncak produksi terjadi pada panen ke-2. Penurunan produksi ringan pada panen ke-3 dapat dikaitkan dengan berlanjutnya fase generatif dan menurunnya cadangan energi tanaman, sebagaimana lazim terjadi pada tanaman cabai (Zebro et al., 2025).

Nilai koefisien determinasi yang diperoleh dari analisis regresi pada variabel produksi (R^2 berkisar 0,22–0,75) menunjukkan bahwa sebagian besar keragaman produksi dijelaskan oleh perlakuan pestisida nabati, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan genetik. Meskipun nilai R^2 pada jumlah buah tergolong sedang (0,22), tren yang konsisten dan perbedaan yang nyata secara statistik pada uji BNT menegaskan efektivitas produk. Hal ini juga membuktikan bahwa pengaruh pestisida nabati lebih terasa pada bobot dan kualitas buah dibandingkan pada jumlah buah, sejalan dengan mekanisme perlindungan tanaman yang lebih berdampak pada keberhasilan pengisian buah.

Analisis Kelayakan Ekonomi dan Implikasi Pengembangan Produk

Nilai R/C ratio 1,08, BEP yang relatif rendah, dan ROI 10,81% menunjukkan bahwa produksi pestisida nabati buah maja layak secara ekonomi dan menguntungkan. Kelayakan ini menjadi kunci keberlanjutan pengembangan produk biopestisida, karena selain menggantikan sebagian pestisida kimia, produk dengan biaya rendah ini memungkinkan petani menekan biaya pengendalian hama. Nilai BEP menunjukkan bahwa jumlah produksi dan harga jual telah melewati titik impas, sedangkan ROI menunjukkan persentase keuntungan yang cukup terhadap modal yang dikeluarkan. Perbandingan dengan biaya pestisida kimia yang umumnya lebih tinggi memperkuat posisi produk ini sebagai alternatif yang menguntungkan dan ramah lingkungan, sehingga mendukung penerapannya pada budidaya cabai besar yang mengutamakan keamanan pangan dan keberlanjutan lingkungan.

Keterbatasan dan Arah Pengembangan

Pengembangan produk biopestisida secara ilmiah yang lebih kuat

memerlukan analisis laboratorium lanjutan, meliputi: (1) uji fitokimia kualitatif dan kuantifikasi total alkaloid, total flavonoid, dan total fenol; (2) profil senyawa bioaktif berbasis GC-MS atau HPLC; (3) pengukuran pH, total padatan terlarut, dan stabilitas produk selama penyimpanan (shelf-life); serta (4) uji bioassay mortalitas hama sasaran dan penetapan nilai LC50 untuk menetapkan konsentrasi rekomendasi yang baku. Analisis laboratorium tersebut belum dilakukan pada penelitian ini dan direkomendasikan sebagai penelitian lanjutan untuk memperkuat klaim potensi serta memastikan produk siap dikomersialkan pada skala usaha. Selain itu, pengujian produk pada komoditas lain juga disarankan untuk mengoptimalkan pemanfaatan pestisida nabati buah maja.

KESIMPULAN

Produksi pestisida nabati buah maja (*Aegle marmelos*) berhasil dikembangkan melalui fermentasi daging buah maja dengan alkohol 70%, menghasilkan formulasi dengan rentang konsentrasi 5–20%. Produk ini menunjukkan potensi sebagai biopestisida yang ditopang oleh kandungan senyawa bioaktif (alkaloid, limonin, flavonoid, minyak atsiri, asam sitrat, dan terpenoid) serta peluang valorisasi buah maja yang selama ini terbuang.

Berdasarkan kinerja terhadap produksi cabai besar, konsentrasi 15% (P3) merupakan perlakuan terbaik dan berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah buah, bobot buah satuan, bobot buah per tanaman, dan bobot buah per plot. Secara ekonomi, produksi pestisida nabati buah maja layak diusahakan dengan R/C ratio 1,08, BEP 50 botol (500 mL) dan 71 botol (250 mL), serta ROI 10,81%. Hasil ini menegaskan bahwa pestisida nabati buah maja berpotensi besar dikembangkan sebagai produk biopestisida yang menguntungkan secara ekonomi sekaligus

ramah lingkungan. Penelitian lanjutan disarankan mencakup karakterisasi kimia berbasis laboratorium (fitokimia, GC-MS/HPLC, stabilitas) dan uji mortalitas hama (LC50), serta pengujian pada komoditas lain untuk mengoptimalkan pemanfaatan produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, N. T., & Fadlil, A. (2019). Identifikasi jenis cabai (*Capsicum annuum* L.). *Biodiversitas*, 20(8), 1–8.
- Bakri. (2020). Pemanfaatan buah maja (*Aegle marmelos*) sebagai pestisida dan pupuk organik ramah lingkungan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*.
- Khusna. (2021). Kandungan senyawa kimia buah maja (*Aegle marmelos*) sebagai sumber senyawa bioaktif. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*.
- Kumar & Khusna. (2024). Bioactive compounds of *Aegle marmelos* and their insecticidal and antimicrobial potential. *Journal of Natural Pesticides*.
- Majid. (2021). Potensi buah maja (*Aegle marmelos*) sebagai tanaman pagar dan bahan baku pestisida nabati. *Artikel Pengabdian Pertanian*.
- Parwanti, Y. (2020). Efektivitas ekstrak buah maja sebagai insektisida nabati terhadap kutu daun (*Aphis gossypii*) pada tanaman cabai merah besar.
- Parwanti, Y. (2021). Uji efektivitas ekstrak buah maja terhadap mortalitas kutu daun (*Aphis gossypii*) pada tanaman cabai merah besar.
- Ramaiah et al. (2020). Plant-based extracts including *Aegle marmelos* as natural pest control agents in agricultural systems.
- Raza, et al. (2021). Source–sink relationship and assimilate partitioning in fruiting crops. *Field Crops Research*.
- Rosifah, R., et al. (2025). Pengaruh ekstrak buah maja terhadap mortalitas hama dan kerusakan daun cabai merah.
- Sosnowski, et al. (2023). Plant growth regulators and nutrient uptake in vegetable crops. *Scientia Horticulturae*.
- Suryaminarsih et al. (2018). Pemanfaatan pestisida nabati untuk pengendalian hama tanaman. *Jurnal Agroteknologi*.
- Suryaminarsih et al. (2021). Keunggulan pestisida nabati: ramah lingkungan, mudah terurai, dan aman. *Jurnal Pertanian*.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2022). *Plant Physiology and Development* (7th ed.). Oxford University Press.
- Tarjoko & Mujiono. (2021). Pengaruh aplikasi tunggal dan gabungan pestisida nabati buah maja dan umbi gadung serta metabolit sekunder *Beauveria bassiana* terhadap populasi thrips pada cabai rawit.
- Widya Analisa, & Vera Octalia. (2023). Pengaruh biopestisida ekstrak buah maja terhadap hama pada tanaman jagung manis.
- Zebro, M., et al. (2025). Crop physiology and nutrient management in horticultural production. *Agronomy Journal*.