

Efektivitas Biopestisida BIO-P60 Berbasis Bakteri *Pseudomonas fluorescens* P60 Sebagai Agen Pengendali Larva Nyamuk *Aedes aegypti*

The Effectiveness of BIO-P60 Biopesticide Based on Pseudomonas fluorescens P60 Bacteria as a Control Agent for Aedes aegypti Mosquito Larvae

Susanti¹, Dwiana Muflifah Yulianti¹, Ayang Zoelias Somiyati², Fathimah Nurfithri Hashifah², Trisnowati Budi Ambarningrum^{2*}

¹Program studi Biologi program sarjana, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto 53122, Indonesia

²Program studi Biologi Terapan program sarjana, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto 53122, Indonesia

corresponding author, Email: trisnowati.ambarningrum@unsoed.ac.id

Rekam Jejak Artikel:

Diterima : 29/07/2025

Disetujui : 30/06/2026

Abstract

Aedes aegypti mosquito is the primary vector of dengue hemorrhagic fever (DHF), a significant public health concern in Indonesia. Vector control can be achieved by disrupting the mosquito's life cycle at the larval stage using biopesticides. One such biopesticide is BIO-P60, based on the bacterium *Pseudomonas fluorescens* P60. This study aims to evaluate the effectiveness of BIO-P60 on the mortality and developmental duration of *Ae. aegypti* larvae. The research employed an experimental method with a Completely Randomized Design (CRD), testing five concentrations of BIO-P60: 50%, 60%, 70%, 80%, and 90% (v/v), along with a negative control (distilled water) and a positive control (abate). Each treatment used 10 third-instar *Ae. aegypti* larvae and was replicated four times. Data were analyzed using ANOVA at a 5% significance level, followed by Duncan's Multiple Range Test. Results showed that the positive control achieved 100% mortality. BIO-P60 at the highest concentration of 90% only resulted in 60% mortality, which was not significantly different from the 70% and 80% concentration. The bacterial colony density in the BIO-P60 formulation was measured at 1.38×10^5 CFU/mL. BIO-P60 did not significantly delay larval development. This lack of effectiveness is likely due to sub-optimal bacterial concentrations, which may not have maximally triggered the production of toxic secondary metabolites through quorum sensing mechanisms. Further research is required for formulation optimization, increasing bacterial populations, and stimulating active metabolite production via quorum sensing to enhance the potential of this biopesticide.

Key Words : *Aedes aegypti*, BIO-P60, biopesticide, larvae, mortality

Abstrak

Nyamuk *Aedes aegypti* merupakan vektor utama demam berdarah dengue (DBD) yang menjadi masalah kesehatan masyarakat di Indonesia. Pengendalian vektor ini dapat dilakukan dengan memutus siklus hidupnya pada tahap larva menggunakan biopestisida. Salah satu biopestisida yang digunakan adalah BIO-P60 berbasis bakteri *Pseudomonas fluorescens* P60. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biopestisida BIO-P60 terhadap mortalitas larva *Ae. aegypti* dan lama perkembangannya. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang dilakukan menggunakan lima tingkatan konsentrasi yaitu 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% (v/v), kontrol negatif (akuades), dan kontrol positif (abate). Setiap perlakuan menggunakan 10 ekor larva *Ae. aegypti* instar III. Masing-masing perlakuan diulang empat kali. Data dianalisis menggunakan ANOVA dengan taraf signifikansi 5% dilanjutkan dengan uji lanjut Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontrol positif mencapai mortalitas 100%. BIO-P60 pada konsentrasi tertinggi 90% hanya menghasilkan mortalitas 60%, tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 70% dan 80%. Kepadatan koloni bakteri dalam formulasi BIO-P60 terukur $1,38 \times 10^5$ CFU/mL. BIO-P60 tidak secara signifikan memperlambat perkembangan larva. Kurangnya efektivitas ini kemungkinan disebabkan oleh konsentrasi bakteri yang sub-optimal, yang mungkin tidak memicu produksi metabolit sekunder bersifat toksik secara maksimal melalui mekanisme *quorum sensing*. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk optimasi formulasi, peningkatan populasi bakteri, dan stimulasi produksi metabolit aktif melalui *quorum sensing* untuk meningkatkan potensi biopestisida ini.

Kata Kunci: *Aedes aegypti*, BIO-P60, biopestisida, larva, mortalitas

PENDAHULUAN

Nyamuk *Aedes aegypti* merupakan vektor utama penularan penyakit demam berdarah dengue (DBD) yang hingga kini masih menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di Indonesia. Menurut Agustina *et al.* (2019) penyebaran kasus

DBD terus meningkat dari tahun ke tahun. Fitriani *et al.* (2024) menyebutkan bahwa pada tahun 2023 tercatat sebanyak 114.420 kasus DBD dengan 894 kematian. Jumlah ini meningkat menjadi 119.709 kasus hanya dalam 22 pekan pertama tahun 2024

berdasarkan laporan Kementerian Kesehatan RI. Upaya pengendalian vektor *Ae. aegypti* menjadi strategi penting dalam pencegahan penyebaran penyakit tersebut, baik melalui pendekatan 3M (menguras, menutup, mendaur ulang) maupun penggunaan larvasida sintesis. Namun penggunaan insektisida kimia secara terus-menerus menimbulkan dampak negatif, seperti pencemaran lingkungan, gangguan pada organisme *non-target*, dan munculnya resistensi pada nyamuk yang dapat memunculkan strain baru yang lebih sulit dikendalikan (Sumekar & Nurmaulina, 2016). Oleh karena itu perlu pengembangan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Salah satu alternatif yang dapat dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan biopestisida. Biopestisida yang berasal dari organisme hidup seperti bakteri, jamur, virus, atau ekstrak tumbuhan menawarkan solusi menjanjikan sebagai agen pengendali hama yang lebih aman dan spesifik (Haas & Défago, 2005). Salah satu biopestisida yang berpotensi digunakan untuk mengendalikan larva *Ae. aegypti* adalah BIO-P60, yaitu formulasi cair berbasis bakteri *Pseudomonas fluorescens* P60. Bakteri ini bersifat Gram-negatif dan umum ditemukan di tanah, air, serta permukaan tanaman (Okwisana *et al.*, 2023).

Kelebihan utama *P. fluorescens* P60 terletak pada kemampuannya menghasilkan berbagai metabolit sekunder dan enzim ekstraseluler yang berperan sebagai agen biokontrol. Menurut Soesanto *et al.* (2011) bakteri *P. fluorescens* P60 memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim amilase, gelatinase, selulase, kitinase, dan protease. Enzim kitinase dan protease sangat potensial sebagai pengendali serangga. Enzim kitinase bekerja dengan menghidrolisis kutikula pada serangga yang merupakan komponen penting pada eksoskeleton larva nyamuk. Pangemanan *et al.* (2020) melaporkan bahwa bakteri penghasil enzim kitinase terbukti dapat menjadi insektisida potensial. Sementara itu enzim protease merupakan enzim yang dapat merusak protein penting dalam tubuh serangga yang mengakibatkan gangguan fisiologis seperti gangguan pada sistem organ pencernaan larva.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *P. fluorescens* efektif terhadap beberapa jenis serangga hama pertanian. Rostaman *et al.* (2019) melaporkan bahwa konsentrasi 1% *P. fluorescens* mampu menyebabkan mortalitas sebesar 80% pada larva *Helicoverpa armigera* dalam 48 jam. Wulandari (2016) juga menyatakan bahwa konsentrasi 5 mL/100 mL efektif membunuh larva *H. armigera* dengan tingkat kematian sebesar 16,67%. Lebih lanjut, beberapa studi telah mengeksplorasi potensi *P. fluorescens* sebagai larvasida nyamuk, dengan temuan bahwa metabolit ekstraseluler bakteri ini memiliki aktivitas moskitosidal terhadap larva dan pupa nyamuk vektor termasuk *Ae. aegypti* (Brammachary & Paily, 2012; Suganthi *et al.*, 2017;

Brammachary *et al.*, 2023). Meskipun demikian pemanfaatan biopestisida ini masih terbatas pada hama pertanian, sedangkan uji efektivitas terhadap serangga pemukiman seperti nyamuk *Ae. aegypti* belum banyak dilakukan. Hal ini menunjukkan adanya peluang penelitian yang belum dimanfaatkan secara optimal, mengingat karakteristik toksisitas *P. fluorescens* juga relevan untuk pengendalian larva nyamuk.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi efektivitas biopestisida BIO-P60 terhadap mortalitas larva *Ae. aegypti* dan lama perkembangannya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah sebagai dasar dalam pengembangan formulasi biopestisida BIO-P60 yang lebih optimal dan berkelanjutan untuk pengendalian larva nyamuk.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Entomologi dan Parasitologi serta Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Biologi, Universitas Jenderal Soedirman dari bulan Agustus sampai Desember 2024. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah larva *Ae. Aegypti*, biopestisida BIO-P60, bubuk abate, air, pelet ikan, media *Nutrient Agar* (NA), akuades, dan alkohol 70%. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikroskop stereo (Amscope), gelas objek, baki preparat, pipet, labu ukur 100 mL (Pyrex), mikropipet (Dragonlab), timbangan analitik (HWH), wadah uji (Thin wall container 400 ml), autoklaf (Hirayama), cawan Petri (Anumbra), tabung reaksi (Iwaki), labu Erlenmeyer (Pyrex), hotplate, pembakar bunsen, *colony counter*, dan *blue tip*.

Pengujian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan BIO-P60 menggunakan lima tingkat konsentrasi (50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% v/v), kontrol negatif (akuades), dan kontrol positif (abate), sehingga total terdapat 28 unit percobaan. Setiap unit percobaan menggunakan wadah plastik berisi 100 mL larutan uji dan 10 ekor larva *Ae. aegypti* instar III, dengan total larva yang digunakan sebanyak 280 individu.

Pemeliharaan Larva *Aedes aegypti*

Telur *Ae. aegypti* dimasukkan ke dalam wadah berisi air bersih dan dibiarkan hingga menetas menjadi larva. Setiap hari larva diberi pakan berupa pelet ikan. Setiap dua hari sekali larva dipisahkan sesuai dengan tingkat perkembangannya ke dalam wadah dengan air yang baru. Larva yang mencapai stadium instar III dipindahkan ke dalam arena uji untuk digunakan dalam pengujian.

Uji Viabilitas dan Pengukuran Densitas Bakteri

Pengukuran densitas populasi bakteri viabel dalam formulasi BIO-P60 dilakukan menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Sampel BIO-P60 diambil sebanyak 1 mL dan diencerkan secara berseri menggunakan akuades steril hingga 10^{-3} . Sebanyak 1 mL dari masing-masing pengenceran 10^{-2} dan

10^{-3} dituang ke cawan Petri, lalu ditambah media NA yang masih cair. Campuran dihomogenkan dengan gerakan angka delapan, ditutup plastik wrap, lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 24–48 jam. Koloni yang tumbuh dihitung dan dianalisis dengan rumus:

$$\text{Jumlah bakteri (cfu/ml)} = N \times 1/D \times 1/A$$

Keterangan :

N : jumlah koloni

D : faktor pengenceran

A : volume sampel yang ditanam

Standarisasi Inokulum

Berdasarkan hasil pengukuran densitas awal, dilakukan standarisasi inokulum untuk mencapai konsentrasi perlakuan yang diinginkan (konsentrasi 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% v/v). Pengenceran dilakukan menggunakan air sumur untuk mensimulasikan kondisi lingkungan tempat perindukan nyamuk (Lacey, 2017).

Prosedur Penyiapan Larutan Uji

Penyiapan larutan uji dilakukan dengan metode pengenceran untuk mencapai konsentrasi yang diinginkan. Volume total untuk setiap unit percobaan adalah 100 mL. Formulasi cair BIO-P60 diencerkan menggunakan air sumur yang telah dididamkan selama 24 jam. Konsentrasi 50% (v/v) dibuat dengan mencampurkan 50 mL BIO-P60 ke dalam 50 mL air, konsentrasi 60% (v/v) dibuat dengan mencampurkan 60 mL BIO-P60 ke dalam 40 mL air, konsentrasi 70% (v/v) dibuat dengan mencampurkan 70 mL BIO-P60 ke dalam 30 mL air, konsentrasi 80% (v/v) dibuat dengan mencampurkan 80 mL BIO-P60 ke dalam 20 mL air, dan konsentrasi 90% (v/v) dibuat dengan mencampurkan 90 mL BIO-P60 ke dalam 10 mL air. Seluruh larutan diaduk secara perlahan hingga homogen sebelum digunakan. Kontrol positif (Abate 10%) dibuat dengan melarutkan 10 g bubuk temephos 1% (Abate 1G) ke dalam 100 mL air. Larutan diaduk hingga bahan aktif terdispersi secara merata. Kontrol negatif menggunakan 100 mL air sumur tanpa penambahan zat aktif.

Pengamatan Mortalitas Larva *Aedes aegypti*

Sepuluh larva instar III dimasukkan ke dalam masing-masing wadah uji sesuai konsentrasi masing-masing perlakuan. Wadah diisi air sesuai konsentrasi perlakuan dan ditambahkan BIO-P60

atau kontrol sesuai perlakuan. Pengamatan mortalitas dilakukan setiap 24 jam dengan menghitung jumlah larva yang mati. Persentase mortalitas larva dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Mortalitas (\%)} = \frac{\text{Jumlah larva uji yang mati}}{\text{Total larva uji}} \times 100\%$$

Pengamatan Lama Perkembangan Larva *Aedes aegypti* yang Terdedah BIO-P60

Pengamatan lama perkembangan larva yang terdedah BIO-P60 dilakukan setiap 24 jam sekali dengan mencatat waktu yang diperlukan larva untuk mencapai tahap perkembangan dari larva instar III hingga dewasa. Rumus perhitungannya yaitu :

$$\text{Lama perkembangan} = \text{waktu penyelesaian dewasa} - \text{waktu awal instar III}$$

Hasil pengamatan dibandingkan antara lama perkembangan larva yang terdedah BIO-P60 dengan kontrol negatif.

Analisis Data

Data mortalitas dan lama perkembangan dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan taraf signifikansi 5% dilanjutkan dengan uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT). Data jumlah bakteri dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan kepadatan mikroba dalam biopestisida BIO-P60.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mortalitas Larva *Ae. aegypti* yang Terdedah BIO-P60

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemberian biopestisida BIO-P60 memberikan pengaruh nyata terhadap mortalitas larva *Ae. aegypti* instar III ($p < 0,05$). Persentase mortalitas rata-rata disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, kontrol positif (abate 10%) menghasilkan mortalitas 100% yang berbeda nyata dengan seluruh perlakuan lainnya. Pada kelompok perlakuan BIO-P60 terlihat tren peningkatan mortalitas seiring dengan bertambahnya konsentrasi. Mortalitas tertinggi dicapai pada konsentrasi 90% sebesar 60% yang secara statistik tidak berbeda nyata dengan konsentrasi 80% (52,50 %), namun berbeda nyata dengan konsentrasi 70%, 60%, dan 50%.

Tabel 1. Rerata Mortalitas Larva *Ae. Aegypti* yang terdedah BIO-P60

Perlakuan	n	Rerata mortalitas (%)
K0(-)	40	0 ± 0^a
K0(+)	40	100 ± 0^e
BIO-P60 50%	40	20 ± 0.82^{ab}
BIO-P60 60%	40	25 ± 1.30^{bc}
BIO-P60 70%	40	45 ± 1.30^{cd}
BIO-P60 80%	40	52.50 ± 1.71^d
BIO-P60 90%	40	60 ± 2.65^d

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$).

Konsentrasi terendah (50%) memberikan efek mortalitas yang paling kecil (20 %) dan menunjukkan tidak berbeda nyata dengan kontrol negatif. Kontrol positif berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, hal ini membuktikan bahwa insektisida abate 10% mampu menghasilkan persentase tingkat kematian sebesar 100%. Abate bekerja dengan menghambat enzim kolinesterase, menyebabkan akumulasi asetilkolin yang memicu kejang otot terus-menerus dan kelumpuhan (Nugroho, 2011).

Hasil uji pengaplikasian biopestisida BIO-P60 menunjukkan bahwa formulasi ini belum mencapai efektivitas yang memadai sebagai agen pengendali larva *Ae. aegypti*. Konsentrasi tertinggi (90%) menghasilkan mortalitas 60%. Konsentrasi di atas 70% tidak memberikan peningkatan mortalitas yang signifikan secara statistik. Peningkatan mortalitas yang hanya sampai 60% ini dimungkinkan karena beberapa faktor terkait karakteristik biopestisida berbasis mikroorganisme hidup. Pertama karena populasi bakteri dalam formulasi BIO-P60 kemungkinan terlalu rendah. Berdasarkan hasil uji *Total Plate Count* (TPC) sampel BIO-P60 memiliki kepadatan koloni sebesar $1,38 \times 10^5$ CFU/mL. Konsentrasi *Pseudomonas* spp. yang umumnya dibutuhkan untuk mencapai mortalitas larva nyamuk yang signifikan (di atas 90%) berada pada kisaran 10^8 hingga 10^9 CFU/mL (Hamze *et al.*, 2023; Wijesundara *et al.*, 2025). Penelitian Pujiastuti *et al.* (2023) menggunakan bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt) menunjukkan kerapatan koloni sebesar $3,86 \times 10^6$ CFU/g mampu secara signifikan mematikan larva *Oryctes rhinoceros*. Kepadatan 10^5 CFU/mL berada tiga hingga empat orde magnitudo di bawah konsentrasi optimal yang dilaporkan, sehingga mortalitas yang dihasilkan tidak maksimal. Kedua, rendahnya populasi bakteri ini berdampak langsung pada produksi metabolit sekunder yang bersifat toksik. *P. fluorescens* seperti diketahui memproduksi enzim ekstraseluler seperti kitinase dan protease, serta metabolit sekunder lain yang berfungsi sebagai agen moskitosidal (Paul & Mathew, 2023; Brammacharry & Paily (2012). Mekanisme kerja utama dari metabolit ini adalah melalui kerusakan membran peritrofik pada *midgut* (usus tengah) larva. Kitinase menghidrolisis lapisan kitin yang melindungi epitel *midgut*, sementara protease mendegradasi protein struktural. Kerusakan pada membran peritrofik ini

memfasilitasi masuknya toksin atau bakteri ke dalam sel epitel sehingga menyebabkan pembentukan pori, lisis sel osmotik, dan akhirnya kematian larva (Brammacharry *et al.*, 2023). Produksi metabolit sekunder dan enzim lisis ini sangat diregulasi oleh mekanisme *quorum sensing* (QS) (Kaltenyt, 2024; Kim *et al.*, 2023;). Sistem QS bergantung pada kepadatan sel. Bakteri menggunakan molekul sinyal N-asil homoserin lakton (AHL) untuk mendeteksi populasinya. Saat kepadatan sel mencapai ambang batas tertentu (quorum), gen-gen yang menyandikan produksi toksin dan enzim ekstraseluler akan diekspresikan secara masif (Vesga *et al.*, 2020), sehingga dengan kepadatan hanya 10^5 CFU/mL memungkinkan ambang batas QS tidak tercapai, sehingga metabolit sekunder yang bersifat toksik tidak cukup terbentuk dalam media uji untuk membunuh seluruh populasi larva. Ketiga, bakteri *P. fluorescens* P60 dalam formulasi tersebut tidak mampu berkembang biak secara optimal di media uji (air sumur) selama periode pengamatan atau larva *Ae. aegypti* memiliki tingkat toleransi tertentu terhadap konsentrasi metabolit yang rendah tersebut. Larva *Ae. aegypti* memiliki mekanisme pertahanan alami yang dinamis terhadap patogen mikroba. Pada paparan dengan konsentrasi subletal (seperti 10^5 CFU/mL), larva yang memiliki kebugaran (*fitness*) tinggi kemungkinan mampu menetralkan infeksi awal atau melakukan regenerasi membran peritrofik lebih cepat daripada laju degradasinya (Terra, 2001). Selain itu, variasi genetik dalam populasi larva uji dapat menyebabkan sebagian individu memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap eksotoksin bakteri, sehingga 40% populasi yang tersisa mampu bertahan hidup hingga akhir pengamatan (Benelli *et al.*, 2016).

Pengamatan Lama Perkembangan Larva *Ae. aegypti* yang Terdedah BIO-P60

Hasil pengamatan menunjukkan kontrol positif berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya artinya seluruh larva mati sebelum melanjutkan perkembangan ke tahap selanjutnya. Sementara itu, perlakuan biopestisida BIO-P60 dengan konsentrasi 50-90% tidak berbeda nyata satu sama lain dengan lama perkembangan dari instar III ke stadium dewasa berkisar 9-10 hari dan tidak berbeda nyata dengan kontrol negatif (Tabel 2).

Tabel 2. Rerata Lama Perkembangan Larva *Ae. Aegypti* yang terdedah BIO-P60

Perlakuan	n	Rata-rata Lama Perkembangan (hari)			
		Instar III ke Instar IV	Instar IV ke pupa	Pupa ke nyamuk dewasa	Instar III ke nyamuk dewasa
Kontrol (-)	40	2,50±0,57 ^b	3,00±0,81 ^d	1,50±0,57 ^f	7,00±0 ^h
Kontrol (+)	0	0±0 ^a	0±0 ^c	0±0 ^e	0±0 ^g
50%	32	3,75±0,50 ^c	3,25±0,50 ^d	2,25±0,50 ^f	9,25±0,95 ^h
60%	30	3,75±0,50 ^c	3,75±0,50 ^d	2,25±0,95 ^f	9,75±1,25 ^h
70%	22	3,75±0,57 ^c	3,75±0,50 ^d	1,75±0,50 ^f	9,00±0,81 ^h
80%	19	3,75±0,95 ^c	3,75±0,95 ^d	2,50±0,57 ^f	10,0±2,44 ^h
90%	16	3,75±0,50 ^c	2,75±2,06 ^d	1,75±1,25 ^f	7,75±5,31 ^h

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata (p<0,05), n menunjukkan populasi larva yang hidup

Hal ini menunjukkan bahwa biopestisida BIO-P60 pada berbagai konsentrasi (50-90%) belum mampu menghambat perkembangan larva *Ae. aegypti* secara signifikan. Meskipun terdapat sedikit perlambatan pada fase transisi dari instar III ke instar IV dibandingkan kontrol negatif, secara keseluruhan larva yang bertahan hidup tetap mampu menyelesaikan siklus hidupnya menjadi nyamuk dewasa. Ketidakmampuan BIO-P60 dalam menghambat perkembangan ini sejalan dengan rendahnya mortalitas yang diamati. Hal tersebut dimungkinkan karena konsentrasi bakteri dan akumulasi metabolit sekunder dalam perlakuan ini belum mencapai level yang mematikan atau mengganggu fisiologi serangga secara sistemik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa formulasi biopestisida BIO-P60 berbasis *P. fluorescens* P60 pada konsentrasi 50-90% (v/v) dan dengan kepadatan bakteri $1,38 \times 10^5$ CFU/mL, belum menunjukkan efektivitas yang memadai dalam mengendalikan larva *Ae. aegypti*. Mortalitas tertinggi (60%) pada konsentrasi 90% (v/v) serta belum mampu menghambat perkembangan larva secara signifikan. Kurangnya efektivitas ini kemungkinan besar disebabkan oleh kepadatan populasi bakteri yang sub-optimal dalam formulasi yang berada di bawah ambang batas yang diperlukan untuk memicu produksi metabolit sekunder yang bersifat toksik. Oleh karena itu penelitian lanjutan diperlukan dengan fokus pada optimasi formulasi BIO-P60 dan pengukuran kepadatan *P. fluorescens* P-60 secara rutin sebelum *bioassay* untuk memastikan kualitas dan konsistensi produk. Selain itu diperlukan juga investigasi peran *quorum sensing* dalam regulasi produksi metabolit sekunder yang bersifat toksik oleh *P. fluorescens* P60.

DAFTAR REFERENSI

- Agustina, N., Abdullah, A., & Arianto, E., 2019. Hubungan Kondisi Lingkungan dengan Keberadaan Jentik *Aedes aegypti* di Daerah Endemis DBD di Kota Banjarbaru. *Balaba: Jurnal Litbang Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Banjarnegara*, 15(2), pp.171-178.
- Benelli, G., Jeffries, C.L, Walker, T. 2016. Biological control of mosquito vectors: past, present, and future. *Insects*, 7(52),pp. 1-18.
- Brammacharry, U., & Paily, K. 2012. Chitinase like activity of metabolites of *Pseudomonas fluorescens* Migula on immature stages of the mosquito, *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *African Journal of Microbiology Research*, 6(39), pp. 6834-6840.
- Brammachary, U., Venkateswari, R., Suganthi, P., Muthaiah, M., 2023. Midgut Binding Activity of Mosquitocidal Extracellular Protein of *Pseudomonas fluorescens* Strain. *Recent Advances in Microbiology and Biotechnology*, 1(1), pp. 1-8.
- Fitriani, A. R., Manalu, S. R., & Gono, J. N. S., 2024. Hubungan Tingkat Pengetahuan tentang Program Sosialisasi Pemberantasan Jentik Nyamuk dan Sikap tentang Sosialisasi dengan Tindakan Masyarakat untuk Memberantas Nyamuk *Aedes aegypti* dan Penyakit DBD. *Interaksi Online*, 12(4), pp.1046-1057.
- Haas, D. & Défago, G., 2005. Biological Control of Soil-borne Pathogens by Fluorescent *Pseudomonads*. *Nature Reviews Microbiology*, 3(4), pp. 307-319.
- Hamze, R., Foxi, C., Ledda, S., Satta, G., Ruiiu, L., 2023. *Pseudomonas protegens* Affects Mosquito Survival and Development. *Current Microbiology*, 80(5), pp. 172.
- Kaltenyt, A., 2024. Modulation and Control of Secondary Metabolite Production through Microbial Interactions in *Pseudomonas fluorescens*. PhD Thesis. Technical University of Denmark.
- Kim, D., Crippen, T.L., Jordan, H.R., Tomberlin, J.K., 2023. Quorum sensing gene regulation in *Staphylococcus epidermidis* reduces the attraction of *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae). *Frontiers in Microbiology*, 14, 1208241.
- Lacey, L. A., 2017. Microbial Control of Insect and Mite Pests: From Theory to Practice. Academic Press.
- Nugroho, A. D., 2011. Kematian Larva *Aedes aegypti* setelah Pemberian Abate Dibandingkan dengan Pemberian Serbuk Serai. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(1), pp.91-96.
- Okwisian, S., Advinda, L., Handayani, D., Putri, D. H., & Putri, I. L. E., 2023. Potential of *Pseudomonas fluorescens* as Control of Plant Diseases. *Jurnal Serambi Biologi*, 8(1), pp.109-116.
- Pangemanan, F. E., Darmayasa, I. B. G., & Wiryatno, J., 2020. Potensi Enzim Kitinase yang Dihasilkan Bakteri Kitinolitik yang Diisolasi dari Kulit Udang sebagai Kandidat Biokontrol dalam Mengendalikan Hama Tanaman. *Simbiosis*, 8(1), pp.1-8.
- Paul, M. K., & Mathew, J. (2023). Mosquito Larvicidal Activity of Chitinase of *Pseudomonas putida* Mb 12 against the Human Vector *Aedes aegypti*. *J Pure Appl Microbiol*, 17(1), pp. 403-410.

- Pujiastuti, Y., Hakari, I. M., Suparman, S. H. K., Umayah, A., Gunawan, B., & Herlin, W., 2023. Kajian *Bacillus thuringiensis* diperbanyak pada Media Padat Hasil Samping Agroindustri terhadap Mortalitas *Oryctes rhinoceros* di Rumah Bayang. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(4), pp.651-660.
- Rostaman, R., Bait, E. A. N., & Soesanto, L., 2019. Perlakuan Metabolit Sekunder Asal Bakteri *Pseudomonas fluorescens* terhadap Serangga *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). In Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia (PEI) Cabang Palembang, 1(1), pp.372-379.
- Soesanto, L., Mugiastuti, E., & Rahayuniati, R. F., 2011. Biochemical Characteristic of *Pseudomonas fluorescens* P60. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2,(1), pp.19-26.
- Suganthi, M., Senthilkumar, P., Arvinth, S., Chandrashekar, K.N., 2017. Chitinase from *Pseudomonas fluorescens* and its insecticidal activity against *Helopeltis theivora*. *Journal of General and Applied Microbiology*, 62(6), pp. 287-293.
- Sumekar, D. W., & Nurmaulina, W., 2016. Upaya Pengendalian Vektor Demam Berdarah Dengue, *Aedes aegypti* L. Menggunakan Bioinsektisida. *Jurnal Majority*, 5(2), pp.131-135.
- Terra, W. R. (2001). The origin and functions of the peritrophic membrane and peritrophic gel. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 47(2), pp. 47-61.
- Vesga, P., Flury, P., Vacheron, J., Keel, C., Croll, D., Maurhofer, M. 2020. Transcriptome plasticity underlying plant root colonization and insect invasion by *Pseudomonas protegens*. *ISME Journal*, 14, pp. 2766-2782.
- Widiastuti, D., & Marbawati, D., 2016. Efek Larvasida Bakteri Kitinolitik dari Limbah Kulit Udang terhadap Larva *Aedes aegypti*. *Aspirator Journal of Vector-Borne Diseases*, 8(1), pp.47-54.
- Wijesundara, S. H., Piumali, S.R., Weeraratne, T.C., Noordeen, F., de Silva W.A., P.P., 2025. Larvicidal potential of *Pseudomonas mosselii* isolated from *Aedes* (Diptera: Culicidae) egg surfaces against dengue vector mosquitoes and its impact on non-target organisms. *Medical and Veterinary Entomology*, 39(4): pp. 875-888
- Wulandari, D., 2016. Pengaruh Aplikasi Bakteri Antagonis *Pseudomonas fluorescens* Strain P32 dan P60 terhadap Mortalitas Larva dan Pembentukan Pupa *Helicoverpa armigera*. Disertasi Doktor, Universitas Jenderal Soedirman.