

## Tinjauan Pustaka: Mekanisme Ovisida dalam Pengendalian Nyamuk

Miranda Almuntaire<sup>1</sup>, Betta Kurniawan<sup>2</sup>, Nur Ayu Virginia Irawati<sup>3</sup>, Jhons Fartriyadi Suwandi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Lampung

<sup>2</sup>Bagian Parasitologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

<sup>3</sup>Bagian Anatomi, Fakultas Kedokteran, Universitas Lampung

### Abstrak

Nyamuk merupakan vektor utama berbagai penyakit menular seperti demam berdarah dengue, chikungunya, dan malaria. Resistensi terhadap insektisida sintesis mendorong perlunya alternatif pengendalian yang ramah lingkungan melalui penggunaan agen ovisida yang mampu membunuh atau menghambat penetasan telur nyamuk. Cara kerja ovisida yaitu merusak embrio, menghambat penetasan telur, menghancurkan struktur telur, dan diklasifikasikan menjadi tiga tipe berdasarkan tingkat kerusakan morfologis yaitu tipe 1 mempunyai efek fisiologis tanpa kerusakan morfologi, tipe 2 mempunyai efek litik pada korion telur tanpa penetrasi hifa, tipe 3 mempunyai penetrasi hifa dan kolonisasi internal telur. Berdasarkan sumbernya, ovisida dikelompokkan menjadi tiga yaitu *Phytochemical ovisida* yang berasal dari ekstrak tanaman seperti *Leucas stachydiformis* dan *Ricinus communis*, agen biologis berupa jamur entomopatogen seperti *Pochonia* dan *Paecilomyces*, serta agen teknologi seperti nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Ovisida dapat dikombinasikan dengan agen penghambat oviposisi untuk meningkatkan efektivitas pengendalian. Penggunaan ovisida berbasis biopestisida dan teknologi baru menawarkan solusi yang lebih aman, spesifik target, serta berpotensi besar dalam menekan populasi nyamuk dan mencegah penularan penyakit berbasis vektor.

**Kata Kunci:** ovisida, tropis, vektor

## Literature Review: Ovicidal Mechanism in Mosquito Control

### Abstract

Mosquitoes are the main vectors of various infectious diseases such as dengue hemorrhagic fever, chikungunya, and malaria. Resistance to synthetic insecticides has prompted the need for more environmentally friendly control alternatives through the use of ovicidal, which can kill or inhibit the hatching of mosquito egg. Ovicides work by damaging the embryo, inhibiting egg hatching, destroying the egg structure, and are classified into three types based on the level of morphological damage: Type 1 has physiological effects without morphological damage, Type 2 has a lytic effects on the egg chorion without hyphal penetration, and Type 3 has hyphal penetration and internal colonization of the egg. Based on their source, ovicides are grouped into three categories: phytochemical ovicides derived from plant extracts such as *Leucas stachydiformis* and *Ricinus communis*, biological agents in the form of entomopathogenic fungi such as *Pochonia* and *Paecilomyces*, and technological agents such as ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles. Ovicides can be combined with oviposition inhibitors to enhance control effectiveness. The use of ovicides based on biopesticides and emerging technologies offers safer, target specific solution, significant potential to suppress mosquito populations and prevent the transmission of vector borne diseases.

**Keywords:** ovicide, tropical, vector

Korespondensi: Miranda Almuntaire, alamat Jl. Wotler Mongonsidi D2, Gulak-Gulak, Teluk Betung Utara, Bandar Lampung, hp 082281329316, e-mail: [almuntariem@gmail.com](mailto:almuntariem@gmail.com)

### Pendahuluan

Nyamuk berperan penting sebagai vektor penyakit seperti DBD, Chikungunya, dan Malaria. Peran nyamuk sebagai vektor berdampak besar terhadap kesehatan masyarakat di Indonesia.<sup>1</sup> Indonesia merupakan negara beriklim tropis dengan kondisi cuaca yang mendukung perkembangan dan kelangsungan hidup nyamuk. Berdasarkan data dari Direktur Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kementerian Kesehatan RI, pada tahun 2024 terjadinya peningkatan

kasus DBD sebanyak 16.000 kasus yang tersebar di 213 kabupaten/kota dengan angka mortalitas sebanyak 124 jiwa.<sup>2</sup> Kasus malaria masih menjadi penyakit endemis di beberapa wilayah timur terutama di Papua, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Timur, dan Maluku. Sekitar 300 kabupaten/kota (58%) yang memasuki kategori eliminasi atau sekitar 208,1 juta penduduk (77,7%) tinggal di daerah bebas malaria.<sup>2</sup> Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan RI, pada tahun 2025 terjadi peningkatan suspek chikungunya di Jawa Barat sebanyak 9,261

kasus, Jawa Tengah sebanyak 4,832 kasus, Jawa Timur sebanyak 3,186 kasus, Banten sebanyak 1,389 kasus, dan Sumatera Utara sebanyak 1,395 kasus.<sup>23</sup>

Tingginya kasus penyakit berbasis vektor di Indonesia memerlukan upaya pengendalian vektor yang efektif untuk mencegah penularan penyakit. Pengendalian vektor dibagi menjadi 3 yaitu fisik, biologi, dan kimia. Salah satu bentuk pengendalian fisik menggunakan metode 3M Plus. Metode 3M terdiri dari menguras bak mandi, menutup tempat penampungan air, mendaur ulang barang bekas. Kegiatan Plus terdiri dari menaburkan larvasida pembasmi jentik menggunakan abate, menaburkan ikan pemakan jentik seperti ikan guppy dan ikan cupang, mengganti air didalam pot/vas bunga, memperbaiki talang air yang tersumbat, dan menanam tanaman pengusir nyamuk seperti serai wangi dan kemangi.<sup>3</sup>

Pengendalian biologi dilakukan dengan memanfaatkan agen hidup atau teknik bioteknologi, contohnya bakteri *biolarvisida* *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) dan strategi *Wolbachia* atau *Sterile Insect Technique* (SIT) yang dapat menurunkan populasi nyamuk.<sup>4</sup> Pengendalian kimia yaitu penggunaan insektisida untuk nyamuk dewasa (organofosfat, piretrin alami, piretroid sintesis), ovisida dan larvasida (abate atau temephos), sedangkan *Insect growth regulator* seperti pyriproxyfen digunakan sebagai ovisida dan larvasida yang dapat diterapkan melalui stasiun autodisseminasi untuk menjangkau tempat perindukan nyamuk yang tersembunyi.<sup>6</sup> Penggunaan campuran metode ini dan pemantauan resistensi penting untuk efektivitas jangka panjang.<sup>3</sup>

Insektisida sintetis dikembangkan untuk membunuh nyamuk dan mengendalikan penyakit yang ditularkan melalui vektor, dan terbukti sangat efektif. Namun, nyamuk telah beradaptasi dengan resistensi terhadap banyak insektisida ini, dan beberapa di antaranya menunjukkan risiko yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.<sup>7</sup> Pengendalian nyamuk efektif dengan metode 3M Plus untuk memutus siklus hidup nyamuk.<sup>22</sup> Dalam beberapa tahun terakhir, program pengendalian nyamuk menurun karena nyamuk mengembangkan resistensi terhadap insektisida kimia sintetis seperti organoklorida, organofosfat, dan karbamat, serta *Insect*

*growth regulator* seperti methoprene, pyriproxyfen, dan diflubenzuron.<sup>1</sup>

Pengendalian penetasan telur sebelum munculnya larva merupakan pendekatan lain yang efisien untuk pengendalian vektor. Untuk menahan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan seperti kekeringan dan suhu ekstrem, telur nyamuk dienkapsulasi dengan membran korionik yang mengeras seiring waktu selama perkembangan embrio. Oleh karena itu, penggunaan ovisida pada fase awal perkembangan telur merupakan cara terbaik untuk mengurangi pertumbuhan populasi nyamuk.<sup>8</sup> Jika insektisida memiliki aktivitas ovisida, maka aplikasinya dapat menurunkan populasi nyamuk dengan menghambat penetasan telur.<sup>1</sup>

## Isi

Ovisida adalah agen yang dapat membunuh telur. Ovisida termasuk jenis insektisida untuk menargetkan telur nyamuk dengan cara merusak struktur pelindung telur, mengganggu perkembangan embrio, dan menghambat penetasan telur menjadi larva.<sup>10</sup>

Tipe ovisida dapat dibedakan berdasarkan mekanisme dan bahan aktifnya. Pertama, ovisida kimia sintetis seperti organofosfat atau *inscet growth regulator* yang diaplikasikan pada habitat telur. Kedua, ovisida nabati yang berasal dari metabolit sekunder tumbuhan seperti flavonoid, alkaloid, dan minyak atsiri menunjukkan aktivitas insektisida terhadap telur.<sup>12</sup> Penggunaan ovisida menjadi strategi pengendalian vektor terhadap larvasida dan insektisida imago, khususnya menargetkan telur yang berada di tempat perindukan nyamuk yang tersembunyi dan sulit dijangkau.<sup>11</sup> Mekanisme kerjanya bisa termasuk membunuh sel telur secara langsung, merusak embrio di dalam telur, mencegah menetasnya telur, atau menghambat pembentukan embrio. Secara praktis, uji aktivitas “ovisida” sering dilakukan dengan mengamati persen telur yang pecah, rusak, atau gagal berembrio setelah perlakuan, dibandingkan kontrol.<sup>9</sup>

Ovisida dibagi menjadi tiga tipe. Tipe ovisida 1, 2, dan 3 menggambarkan perkembangan kemampuan jamur untuk membunuh telur, berdasarkan tingkat kerusakan pada telur. Tipe 1 memiliki efek fisiologis dan biokimia tanpa kerusakan morfologi yang terlihat pada telur, di mana hifa hanya melekat pada

cangkang. Tipe 2 memiliki efek litik di mana kulit telur dan embrio menunjukkan perubahan morfologi, tetapi hifa tidak menembus kulit telur. Tipe 3 memiliki efek ovisida paling lengkap, melibatkan perubahan morfologi, penetrasi hifa ke dalam cangkang, dan kolonisasi internal serta penghancuran embrio.<sup>9</sup>

Ovisida juga dikelompokkan berdasarkan sumbernya. *Phytochemical ovicida* merupakan senyawa kimia yang berasal dari tumbuhan dan diaplikasikan pada telur untuk menghambat penetasan telur. Telah terbukti secara jelas bahwa ekstrak tumbuhan dan senyawa tumbuhan merupakan pestisida yang ramah lingkungan, spesifik target, lebih murah, dan sangat efektif untuk pengendalian vektor nyamuk.<sup>13</sup> Ekstrak tumbuhan dan minyak atsiri memiliki senyawa bioaktif yang efektif dalam pengendalian hayati terhadap hama dan penyakit tanaman.<sup>22</sup> Keduanya bersifat biodegradable. Penggunaan biopeptisida diproyeksikan segera melampaui pestisida kimia sintesis dengan peningkatan penggunaan biopeptisida rata-rata tahunan sebesar 9%. Ciri khas biopestisida yaitu toksisitasnya yang rendah terhadap organisme non-target dan lingkungan, telah berkontribusi pada peningkatan penggunaannya dalam pengendalian hama.<sup>12</sup> Ekstrak tanaman atau minyak esensial mengandung berbagai fitokimia seperti tanin, minyak esensial, isoflavonoid, dan stimulan, yang dapat membunuh larva nyamuk. Efeknya berkisar dari penghambatan oviposisi, toksin terhadap perkembangan, penghambatan penetasan, adultisida, ovisida, dan penghambat penetasan.<sup>13</sup>

Contoh *Phytochemical ovicida* adalah minyak atsiri yang diekstrak dengan hidrodistilasi dari daun tanaman endemik Ethiopia, *Leuchas stachydiformis* (Hochst. ex Benth) memiliki efek ovisida terhadap *Anopheles arabiensis*.<sup>11</sup> Komponen nonpolardari minyak atsiri kemungkinan bertanggung jawab atas aktivitas ovisida karena komponen tersebut telah dilaporkan menyebabkan neurotoksisitas atau kesulitan bernafas akibat penyumbatan aeropil telur oleh lapisan minyak.<sup>15</sup> Minyak yang lebih pekat diperlukan untuk mencapai 50% penghambatan penetasan daripada membunuh 50% larva. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa telur dibungkus oleh membran korionik yang membuatnya lebih tahan terhadap stres fisik

atau kimia.<sup>6</sup> Penelitian lain menyatakan bahwa ekstrak daun

*L. camara*, *M. azedarach*, *N. oleander*, *R. communis*, dan *W. Somnifera* dapat digunakan sebagai larvasidal dan ovisida bervariasi tergantung faktor seperti metode ekstraksi, konsentrasi ekstrak, spesies nyamuk, dan kondisi lingkungan. Diantara berbagai ekstrak dari lima tanaman yang disaring, ekstrak metanol *Ricinus communis* mencatat aktivitas ovisida tertinggi sebesar 5% pada konsentrasi 800 ppm.<sup>15</sup>

Agen biologis (organisme atau patogen) seperti jamur, bakteri, nematoda yaitu organisme hidup atau patogen yang menyerang telur secara langsung baik secara penetrasi, infeksi embrio, maupun hambatan penetasan. Sebagai contoh adalah jamur nematofagus (NF), sebagai musuh alami parasit cacing gastrointestinal, terbentuk sebagai alternatif kontrol kimia dengan potensi terbesar. Cacing ini dapat digunakan untuk mengendalikan nematoda yang belum dewasa yang ada dalam feses hewan. Jamur ovisidal merupakan saprofit tanah yang umum, dan merupakan isolat oportunistik yang diperoleh dari tahap sedenter (tahap betina dan telur) nematoda. Mayoritas jamur ovisidal yang diisolasi telah ditemukan berasal dari *Humicola*, *Pochonia*, *Martiellera*, *Paecilomyces*, dan *Fusarium*. Selama bertahun-tahun, *Pochonia* telah diperlakukan sebagai genus yang paling representatif, dengan aksi ovisida yang signifikan dilaporkan untuk nematoda gastrointestinal. Tidak seperti jamur predator, kelompok jamur ini tidak dapat membentuk alat perangkap. Penetrasi hifa dan kolonisasi internal telur melalui proses mekanis dan enzimatis, disertai perubahan morfologi pada korion dan embrio.<sup>16</sup>

Agen teknologi seperti nanopartikel ZnO (Seng Oksida) dan TiO<sub>2</sub> (Titanium Dioksida) menunjukkan efek ovisida terhadap telur nyamuk. Insektisida sintetis digunakan untuk mengendalikan nyamuk, tetapi penggunaannya dapat mencemari tanah, air, dan udara. Insektisida sintesis memiliki efek samping terhadap organisme non-target, khususnya manusia. Dalam beberapa tahun terakhir, resistensi terhadap insektisida mengalami peningkatan yang signifikan. Nanopartikel anorganik seperti ZnO dan TiO<sub>2</sub> aman bagi manusia dan hewan. Kombinasi nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub> menunjukkan aktivitas ovisida

yang efektif terhadap *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti*, dan *Culex quinquefasciatus* menunjukkan tingkat penetasan telur yang rendah pada konsentrasi 8 ppm dan 10 ppm. Aktivitas repelan dilakukan pada berbagai konsentrasi yaitu 0,5; 1; dan 1,5 mg/cm<sup>2</sup> dengan interval waktu pengamatan 2, 4, 6, 8, dan 10 jam. Semua konsentrasi menunjukkan aktivitas repelan yang baik hingga 6 jam, tetapi konsentrasi 1,5 mg/cm<sup>2</sup> menunjukkan efek repelan yang optimal. Oleh karena itu, kombinasi nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub> berpotensi sebagai pengendalian vektor nyamuk.<sup>17</sup>

Ovisida dapat dikelompokkan menjadi sintesis dan herbal. Ovisida sintesis biasanya berbasis senyawa kimia atau analog hormon yang dirancang untuk mengganggu perkembangan telur atau menurunkan persentase penetasan telur vektor nyamuk. Misalnya, penelitian mengevaluasi berbagai regulator pertumbuhan serangga (IGR) seperti *Pyriproxyfen*, *Novaluron* dan *Larvicol* terhadap telur *Aedes aegypti* menunjukkan bahwa pemberian IGR-sintesis pada telur berhasil menekan laju penetasan hingga sekitar 80 % untuk telur segar dan 70 % untuk telur yang sudah embrionasi.<sup>21</sup> Beberapa studi mencatat bahwa tidak semua IGR menunjukkan efek ovisida yang kuat, misalnya suatu studi melaporkan bahwa *Pyriproxyfen* tidak menurunkan tingkat penetasan telur yang ditempatkan pada permukaan yang diobati.<sup>21</sup>

Ovisida herbal menggunakan minyak atsiri yang memiliki aktivitas insektisida terhadap telur nyamuk dan ramah lingkungan. Contoh: ekstrak daun lada (*Piper nigrum* L.) pada konsentrasi 1,20 % mampu menunjukkan efek ovisida terhadap telur *Aedes aegypti*.<sup>22</sup> Minyak atsiri dari kayu manis (*Cinnamomum verum*) menunjukkan efektivitas tinggi yaitu 91-93% inhibisi telur setelah 48 jam dengan konsentrasi tinggi (30 000 ppm) terhadap telur *Aedes aegypti*.<sup>11</sup>

Ovisida sintesis dan ovisida herbal memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Ovisida sintesis sering memiliki data efek yang kuat tetapi kekhawatiran terhadap resistensi dan dampak lingkungan; sedangkan ovisida herbal lebih ramah lingkungan tetapi sering memerlukan konsentrasi lebih tinggi atau belum banyak uji lapangan.<sup>11</sup>

Agan penghambat oviposisi dan ovisida

gabungan yaitu agen yang tidak hanya membunuh telur tapi juga mencegah penetasan atau menurunkan jumlah telur yang dihasilkan sehingga menimbulkan efek kombinasi. Bagi nyamuk, pemilihan lokasi oviposisi sangat penting, karena keputusan ini secara langsung mengatur pertumbuhan, perkembangan, dan kelangsungan hidup generasi berikutnya, serta dinamika populasi. Tahap akuatik nyamuk terbatas dalam pergerakannya, dan dengan demikian nasib keturunannya sebagian besar bergantung pada pemilihan lokasi oviposisi induk. Saat mencari lokasi oviposisi, nyamuk gravid harus mencari dan memilih lokasi oviposisi potensial pada berbagai skala spasial untuk memastikan ketersediaan nutrisi untuk perkembangan dan kelangsungan hidup larva, dan untuk mengurangi persaingan dan kematian keturunan. Pemahaman yang lebih baik tentang sinyal yang mengatur pemilihan lokasi oviposisi yang sejenis dapat mengarah pada pengembangan atraktan spesifik spesies atau genus untuk pengendalian vektor.<sup>21</sup>

Mekanisme kerja ovisida beragam dan bergantung pada jenis bahan aktif yang digunakan. Beberapa ovisida kimia seperti analog hormon juvenil, misalnya *pyriproxyfen*, mengganggu keseimbangan hormon pada telur atau embrio dan memicu penetasan prematur atau kematian embrio sehingga telur tidak berkembang normal. Studi menunjukkan bahwa paparan *pyriproxyfen* menyebabkan telur diapause pada *Aedes albopictus* menetas secara tidak normal atau mati. Selain itu, sebagian ovisida herbal bekerja dengan merusak struktur cangkang telur termasuk alterasi morfologi korion atau membran telur membuat embrio sulit mengambil oksigen atau keluar dari telur (contoh: ekstrak tumbuhan yang menyebabkan perubahan cangkang telur pada *Culex quinquefasciatus*). Mekanisme fisik dan kimia dapat menghambat penetasan, sehingga populasi nyamuk dapat ditekan melalui target awal sebelum fase larva dimulai.<sup>11,19,20</sup>

## Simpulan

Ovisida merupakan agen yang dapat membunuh atau menghambat penetasan telur nyamuk. Mekanisme kerja ovisida dapat menghancurkan sel telur, merusak embrio, menghambat penetasan telur. Ovisida dibedakan menjadi tiga tipe berdasarkan interaksi jamur terhadap telur yaitu tipe 1 hanya menempel pada

cangkang tanpa kerusakan morfologi, tipe 2 menimbulkan kerusakan pada kulit telur dan embrio tanpa penetrasi, sedangkan tipe 3 menunjukkan penetrasi hifa dan kolonisasi internal yang menghancurkan embrio sepenuhnya. Berdasarkan sumbernya, ovisida diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok yaitu (1) agen kimia atau fitokimia dari tumbuhan seperti minyak atsiri dan ekstrak tanaman yang ramah lingkungan dan efektif terhadap berbagai spesies nyamuk, (2) agen biologis seperti jamur nematofagus dari genus *Pochonia*, *Paecilomyces*, dan *Fusarium* yang mampu menyerang telur melalui penetrasi hifa, (3) agen teknologi seperti nanopartikel ZnO dan TiO<sub>2</sub> yang lebih aman dan efisien dalam menghambat penetasan telur nyamuk, serta (4) agen kombinasi penghambat oviposisi ovisida yang tidak hanya membunuh telur tetapi juga mencegah proses peneluran. Pendekatan ovisida ini menjadi alternatif penting untuk pengendalian vektor penyakit secara ramah lingkungan dan berkelanjutan.

#### Daftar Pustaka

1. Yamamoto Y, Kaneko S. Ovicidal activity of adulticidal insecticides against the invasive wood borer *Aromia bungii*. *J Pestic Sci*. 2025.
2. Ramadona AL, Wijayanti SPM. *Dinamika Penyakit Tular Vektor Nyamuk di Indonesia*. Jakarta: Penerbit BRIN; 2024.
3. Handiny F, Rahma G, Rizyana NP. *Buku Ajar Pengendalian Vektor*. Malang: Ahlimedipress; 2020.
4. Negri A, Pezzali G, Pitton S, Piazzoni M, Soresinetti L, Naro G, et al. The biolarvicide *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* is effective against *Aedes koreicus*, either dissolved in water or delivered through eco-compatible chitosan-based hydrogels. *Curr Res Parasitol Vector Borne Dis*. 2024
5. Santos DRD, Chaves LL, Pires VC, Rodrigues JS, De Assunção MAS, Faierstein GB, et al. New weapons against the disease vector *Aedes aegypti*: From natural products to nanoparticles. *Int J Pharm*. 2023.
6. Baz MM, Selim AM, Radwan IT, et al. Evaluating larvicidal, ovicidal and growth inhibiting activity of five medicinal plant extracts on *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae), the West Nile virus vector. *Sci Rep*. 2024.
7. Fernandes DA, Rique HL, de Oliveira LHG, Santos WGS, de Souza MFV, Nunes FDC. Ovicidal, pupicidal, adulticidal, and repellent activity of *Helicteres velutina* K. Schum against *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). *Braz J Vet Med*. 2021.
8. Zhang R, Zhang W, Zheng J, et al. Toxic effects of *Perilla frutescens* Britt. essential oil and its main component on *Culex pipiens pallens* (Diptera: Culicidae). *Plants*. 2023.
9. Romero Jola NJ, Cubides Cárdenas JA, Escobar N, Simirgiotis M. *Applied Sciences*. 2023.
10. Abu Bakar A, Lim Sse. The in vitro ovicidal activity of *Cassia alata* methanolic extracts on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* eggs. *Borneo J Res Sci Technol*. 2025.
11. Mounghthipmalai T, Puwanard C, Aungtikun J, Sittichok S, Soonwera M. Ovicidal toxicity of plant essential oils and their major constituents against two mosquito vectors and their non-target aquatic predators. *Sci Rep*. 2023.
12. Reagan AD, Gandhi MR, Paulraj MG, Ignacimuthu S. Ovicidal and oviposition deterrent activities of medicinal plant extracts against *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* Say mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Osong Public Health Res Perspect*. 2015.
13. Baz MM, Selim AM, Radwan IT, Khater HF. Plant oils in the fight against the West Nile vector, *Culex pipiens*. *Int J Trop Insect Sci*. 2022.
14. Fikru S, Tolossa K, Lindemann P, Bucar F, Asres K. Larvicidal, ovicidal, and repellent activities of *Leucas stachydiformis* (Hochst. ex Benth.) Briq essential oil against *Anopheles arabiensis*. *J Trop Med*. 2024.
15. Mahanta S, Sarma R, Khanikar B. The essential oil of *Lippia alba* Mill (Lamiales: Verbenaceae) as mosquitocidal and repellent agent against *Culex quinquefasciatus* Say and *Aedes aegypti* Linn (Diptera: Culicidae). *J Basic Appl Zool*. 2019.
16. Li S, Wang D, Gong J, Zhang Y. Individual and combined application of *nematophagous fungi* as biological control agents against *gastrointestinal nematodes* in domestic animals. *Pathogens*. 2022.
17. Rajasekhar P, Prakash S, Senthilraj M. Adulticidal, ovicidal and repellent activity of

- ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*. J Chem Health Risks. 2025.
18. Agrawal A, Barik TK, Patel AK. Characterization of *Leclercia adecarboxylata* isolated from field collected *Anopheles subpictus* in Berhampur, Odisha, India. J Vector Borne Dis. 2024.
  19. Qurota'ayun SD, Rosa E, Pratami GD, Kanedi M. Potential of pepper leaf (*Piper nigrum L.*) ethanol extract as ovicide for *Aedes aegypti*. J Sains Nat. 2022.
  20. Khan Z, Bohman B, Ignell R, *et al.* Odor mediated oviposition site selection in *Aedes aegypti* depends on turbidity and aquatic density. Parasites Vectors. 2023.
  21. Lahlali R, Hamss HE, Ben Jemaa JM, *et al.* The use of plant extracts and essential oils as biopeptocides. Frontiers in Agronomy. 2022.
  22. Sari E, Bahrina I. Hubungan pemberantasan sarang nyamuk (3M Plus) dengan kejadian demam berdarah dengue (DBD) di wilayah kerja Puskesmas Karang Baru. Jurnal Promotif Preventif. 2025.
  23. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. *Situation Report (SITREP) Penyakit Infeksi Emerging dan Potensial Kejadian Luar Biasa (KLB)*. Direktorat Jenderal Penanggulangan Penyakit Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2025.