

POTENSI DAN PEMANFAATAN MIKROORGANISME DALAM PENGENDALIAN PENYAKIT TULAR NYAMUK

Vivin Mahdalena^{1*}, Tanwirotun Ni'mah¹

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Baturaja
Jl. A.Yani KM.7 Kemelak Baturaja, Ogan Komering Ulu, 32111 Sumatera Selatan, Indonesia

Abstract

Some mosquitoes are vectors of various diseases such as dengue hemorrhagic fever (DHF) and malaria. One way to reduce the number of mosquito-borne diseases is to break the chain of transmission by preventing mosquito bites. The prevention of mosquito bites mostly uses chemical methods, either using mosquito coils, repellents or other insecticides. The negative impact of the use of chemical insecticides encourages the development and use of mosquito control methods as an alternative such as biological control. Biological control can use microorganisms or small organisms. The method used in this article is to use a literature search was conducted through books, journal articles and web pages with period from 2010 to August 2019. Microorganisms of bacteria and fungi can be used as biological control agents for mosquito control, especially for larvicides. These microorganisms consist of Bacillus thuringiensis, Bacillus sphaericus, Bacillus subtilis, Wolbachia pipientis, Bacillus mycoides, Klebsiella ozaenae, Pseudomonas pseudomallei, Beauveria bassiana and Metarhizium anisopliae. Mosquito control using microorganisms has been carried out in the genera of Aedes, Culex, Anopheles and Mansonia.

Keywords: *Potential, control, microorganism, mosquito-borne disease.*

POTENTIAL AND UTILIZATION OF MICROORGANISMS IN MOSQUITO-BORNE DISEASES CONTROL

Abstrak

Beberapa nyamuk adalah vektor berbagai penyakit seperti demam berdarah dengue (DBD) dan malaria. Salah satu cara menurunkan angka penyakit tular nyamuk adalah dengan memutus rantai penularan dengan mencegah gigitan nyamuk. Pencegahan gigitan nyamuk sebagian besar memakai cara kimiawi baik menggunakan obat nyamuk bakar, repelen, maupun insektisida lainnya. Dampak negatif penggunaan insektisida kimia mendorong pengembangan dan penggunaan metode pengendalian nyamuk sebagai alternatif seperti pengendalian biologi. Pengendalian biologi dapat menggunakan mikroorganisme atau organisme yang berukuran kecil. Metode yang digunakan dalam penulisan adalah dengan menggunakan penelusuran literatur melalui buku, jurnal penelitian dan *web page* dengan rentang tahun 2010 sampai dengan bulan Agustus tahun 2019. Mikroorganisme golongan bakteri dan fungi dapat dijadikan sebagai agen pengendali biologi untuk pengendalian nyamuk terutama untuk larvasida. Mikroorganisme ini terdiri dari *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus subtilis*, *Wolbachia pipientis*, *Bacillus mycoides*, *Klebsiella ozaenae*, *Pseudomonas pseudomallei*, *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae*. Pengendalian nyamuk menggunakan mikroorganisme telah dilakukan pada genus *Aedes*, *Culex*, *Anopheles* dan *Mansonia*.

Kata Kunci: Potensi, pengendalian, mikroorganisme, penyakit tular nyamuk.

Naskah masuk: 31 Januari 2019; Review: 9 April 2019; Layak Terbit: 1 Desember 2019

*Alamat korespondensi penulis pertama: e-mail: mahdalenavivin@gmail.com; Telp: (0735) 325303

PENDAHULUAN

Nyamuk adalah vektor berbagai penyakit seperti demam berdarah dengue (DBD) dan malaria. Penyakit-penyakit tersebut masih menjadi masalah kesehatan dunia termasuk Indonesia. Kasus DBD di Indonesia masih terjadi setiap tahun, pada tahun 2016 tercatat 202.314 penderita dan 1.593 kematian.¹ Indonesia mengalami kemajuan dalam pemberantasan malaria, dari 417.819 kasus positif malaria pada tahun 2012 menurun hampir setengahnya pada tahun 2016 menjadi 218.450 kasus, namun masih terdapat 16,5 juta penduduk tinggal di daerah risiko tinggi dan sedang.²

Salah satu cara menurunkan angka penyakit tular nyamuk adalah dengan memutus rantai penularan dengan mencegah gigitan nyamuk. Data Riskesdas 2013 menunjukkan bahwa perilaku masyarakat Indonesia untuk mencegah gigitan nyamuk yaitu sebagian besar dengan memakai cara kimiawi baik menggunakan obat nyamuk bakar, repelen, maupun insektisida lainnya.³ Penggunaan insektisida oleh sebagian besar masyarakat diduga karena banyak tersedia di pasaran, banyak variasi formulasi, dan mudah aplikasinya. Sebagian besar masyarakat menggunakan insektisida hampir setiap hari. Penggunaan insektisida dalam frekuensi tinggi dan dalam jangka waktu lama dapat berdampak negatif bagi masyarakat itu sendiri.⁴

Penggunaan insektisida tidak hanya untuk membunuh, pada perkembangannya banyak insektisida yang cara kerjanya antara lain menarik, mengusir, menghalau ataupun mengganggu pertumbuhan serangga.⁵ Insektisida merupakan kelompok pestisida yang terbesar dan terdiri atas beberapa jenis bahan kimia yang berbeda, antara lain organoklorin, organofosfat, kabamat, piretroid, dan diethyl-meta-toluamide (DEET). Racun insektisida dari berbagai zat aktif tersebut tidak hanya dirasakan oleh serangga sasaran, tetapi bisa berakibat pada hewan peliharaan maupun manusia. Penggunaan yang lama pada suatu insektisida kimia bisa menimbulkan resistensi pada serangga sasaran dan gangguan kesehatan pada manusia. Insektisida kimia dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh yang

nantinya akan menjadi penyakit kronis, kelainan pada bayi yang baru lahir, kanker, keracunan pada hewan peliharaan, tercemarnya air, rusaknya lingkungan, tercemarnya makanan, dan residu di permukaan tanah.⁶

Pengendalian nyamuk secara kimiawi dapat memberikan dampak jangka panjang yang negatif. Selain secara kimiawi, pengendalian nyamuk dapat dilakukan secara biologi. Pengendalian secara biologi merupakan upaya pemanfaatan agen biologi untuk pengendalian nyamuk. Beberapa agen biologi yang sudah digunakan dan terbukti mampu mengendalikan populasi adalah dari kelompok bakteri, predator seperti ikan pemakan jentik dan *Copepoda*. Ikan pemakan jentik tidak harus berupa ikan kecil tetapi dapat berupa ikan yang bernilai ekonomi misalnya ikan mujair, ikan nila, ikan mas dan ikan lele.^{7,8} Pengendalian nyamuk dengan mikroba direkomendasikan sebagai cara alternatif dan larvasida berbasis mikroba digunakan untuk meminimalkan populasi nyamuk yang memberikan cara yang efektif, ramah lingkungan dan pendekatan yang ramah untuk membawa populasi nyamuk ke tingkat level yang terendah. Penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti menunjukkan bakteri *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sphaericus*, jamur *Trichoderma viride*, jamur entomopatogen *Metarhizium*, *Trichophyton*, *Tolypocladium*, *Chrysosporium* dan *Lagenidium* berpotensi sebagai agen bioinsektisida.⁹

Bacillus thuringiensis var. *israelensis* telah lama diteliti dan digunakan secara luas untuk pengendalian nyamuk stadium akuatik.¹⁰ Berdasarkan penelitian di laboratorium, *Beauveria bassiana* dari golongan fungi memperlihatkan kemampuan membunuh larva *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus*, dan *Aedes aegypti*.⁹ Penelitian terbaru menunjukkan bahwa bakteri kitinolitik yang diisolasi dari limbah udang memiliki potensi sebagai larvasida terhadap *Ae. aegypti*.¹¹

Pengendalian nyamuk secara kimiawi bisa berdampak negatif bagi manusia terutama gangguan kesehatan. Selain itu nyamuk yang menjadi sasaran menjadi resisten terhadap insektisida tersebut. Berdasarkan masalah tersebut perlu

adanya pengendalian nyamuk yang aman yaitu dengan cara pengendalian biologi. Penelitian-penelitian mengenai pengendalian nyamuk secara biologi perlu diketahui sebagai informasi yang dapat digunakan dalam penelitian dan pengembangan pengendalian nyamuk. Tulisan ini menyajikan hasil penelitian mengenai mikroorganisme yang memiliki potensi dan digunakan sebagai agen pengendali biologi yang bertujuan memberikan kontribusi informasi sebagai alternatif pengendalian nyamuk. Manfaat dari penulisan ini diharapkan dapat memberikan informasi dan acuan untuk penelitian lebih lanjut tentang agen pengendali biologi terhadap nyamuk yang efektif, efisien, dan aman bagi lingkungan maupun kesehatan.

METODE

Tulisan ini merupakan studi kepustakaan (literatur) mengenai informasi

tentang mikroorganisme yang berpotensi sebagai pengendali biologi khususnya untuk pengendalian nyamuk. Informasi diperoleh dari buku, jurnal penelitian dan *web page* dengan rentang tahun 2010 sampai dengan bulan Agustus tahun 2019. Penelusuran *online* menggunakan *google*, *googlescholar*, dan *researchgate.net*.

HASIL

Berdasarkan hasil penelusuran referensi ditemukan beberapa mikroorganisme yang diteliti dan berpotensi sebagai agen pengendali biologi terhadap nyamuk. Mikroorganisme tersebut dikelompokkan menjadi golongan bakteri dan fungi, menghasilkan senyawa toksik yang dapat menyerang nyamuk target atau nyamuk yang diuji, dan beberapa diantaranya sudah ada dalam bentuk komersil.

Tabel 1. Spesies Mikroorganisme yang Berpotensi Sebagai Agen Pengendali Biologi Terhadap Nyamuk

Golongan	Genus/ Spesies	Spesies Nyamuk Target	Stadium Nyamuk Target
Bakteri	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Anopheles aconitus</i> , <i>Culex quinquefasciatus</i> ^{12,13}	Larva ¹³
	<i>Bacillus sphaericus</i>	<i>Anopheles barbirostris</i> , <i>Anopheles maculatus</i> , <i>An. aconitus</i> , <i>Culex sp</i> , <i>Mansonia</i> ^{14,15}	Larva ^{14,15}
	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Cx. quinquefasciatus</i> , <i>Ae. aegypti</i> , <i>Anopheles stephensi</i> ^{16,17}	Larva, pupa ^{16,17}
	<i>Wolbachia pipientis</i>	<i>Ae. aegypti</i> ¹⁸	Larva, nyamuk dewasa ¹⁹
	<i>Bacillus mycoides</i> <i>Klebsiella ozaenae</i> <i>Pseudomonas pseudomallei</i>	<i>Ae. aegypti</i> ²⁰ <i>Ae. aegypti</i> ²⁰ <i>Ae. aegypti</i> ²⁰	Larva, pupa ²⁰ Larva, pupa ²⁰ Larva, pupa ²⁰
Fungi/jamur	<i>Beauveria bassiana</i>	<i>An. stephensi</i> , <i>Cx. quinquefasciatus</i> , <i>Ae. aegypti</i> ^{9,21} <i>Culex pipiens</i> , <i>Aedes albopictus</i> , <i>Anopheles gambiae</i> , <i>Anopheles coluzzi</i> ²¹	Telur, nyamuk dewasa ²¹ , larva ^{9,21}
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	<i>Ae. aegypti</i> ^{22,23} <i>An. aconitus</i> ²² <i>Cx. quinquefasciatus</i> ²³	Larva ^{22,23}

Tabel 2. Asal Mikroorganisme dan Senyawa Toksin dari Mikroorganisme yang Berpotensi Sebagai Agen Pengendali Biologi Terhadap Nyamuk

Genus/Spesies	Asal Mikroorganisme	Senyawa Toksin	Bentuk Komersil
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Tanah ¹³ , air, tanaman ²⁴	Kristal δ -endotoksin ¹²	Granul ¹³
<i>Bacillus sphaericus</i>	Tanah ¹⁵	Kristal endotoksin ¹⁴	Granul ¹⁰
<i>Bacillus subtilis</i>	Tanah ^{16,17} , air, sisa tanaman yang membusuk ¹⁷	Lipopeptida bioaktif (iturin, surfaktin, fengycin) ¹⁶	-
<i>Wolbachia pipientis</i>	<i>Drosophila melanogaster</i> ²⁵	-	-
<i>Bacillus mycoides</i>	Tanaman ²⁰	Kitinase ²⁰	-
<i>Klebsiella ozaenae</i>	Tanaman ²⁰	Kitinase ²⁰	-
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	Tanaman ²⁰	Kitinase ²⁰	-
<i>Beauveria bassiana</i>	Serangga ^{26, 27}	Beauverin, beauvericine, beauverolide, isorolide, asam oksalat ^{28, 29}	-
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Nyamuk yang sudah mati ³⁰	Cyclopeptida, destruxin A, B, C, D, E, desmethyldestruxin B ²²	-

BAHASAN

Salah satu karakteristik dari *B. thuringiensis* adalah dapat memproduksi kristal protein di dalam sel bersama-sama dengan spora pada waktu sel mengalami sporulasi. Kristal protein tersebut bersifat toksik terhadap anggota Diptera baik larva atau dewasa. Larva nyamuk mempunyai saluran pencernaan yang bersifat alkali (basa) dan menghasilkan mineral serta enzim protease yang dapat menguraikan kristal protein, yang bersifat protoksin menjadi toksin. Toksin masuk ke dalam saluran pencernaan larva nyamuk lalu melewati membran tropik dan kemudian terikat pada reseptor khusus yang terdapat pada mikrovili sel epitel mesenteron. Setelah berikatan, toksin akan membentuk pori-pori kecil. Akibatnya keseimbangan osmotik dari sel menjadi terganggu, sehingga ion-ion dan air mudah masuk ke dalam sel dan menyebabkan sel mengembang kemudian pecah sehingga akhirnya menyebabkan lisis atau hancur. Sel-sel epitel yang telah hancur tersebut akan terpisah dari membran dasar dan terlepas ke dalam lumen. Akibat adanya kerusakan dan kehancuran dari sel-sel epitel menyebabkan membran dasar mudah dirusak oleh *B. thuringiensis*. Toksin juga menghambat pembentukan *Adenosin Trifosfat* (ATP), merusak transportasi ion

dan glukosa dan menghambat gerakan kontraksi otot-otot mesenteron. Kerusakan pada struktur dan fungsi usus menyebabkan zat-zat metabolik seperti ion akan keluar dari lumen dan masuk ke dalam hemolimfa yang menimbulkan paralisis dan akhirnya larva mati.¹²

Hasil penelitian menunjukkan larva *Ae. aegypti* tampak paling peka terhadap kristal endotoksin kultur *B. thuringiensis* H-14 daripada larva *An. aconitus* dan *Cx. quinquefasciatus*. Zona makan larva dan tingkat sedimentasi/pengendapan diduga menyebabkan toksin *B. thuringiensis* H-14 lebih cepat mengendap di dasar yang merupakan zona makan larva *Ae. aegypti* daripada di bawah permukaan air yang merupakan zona makan larva *Cx. quinquefasciatus*, maupun di daerah permukaan yang merupakan zona makan larva *Anopheles*. Perbedaan kepekaan diantara beberapa spesies larva nyamuk selain dipengaruhi oleh perbedaan zona makan juga disebabkan oleh kemampuan mengaktifkan protoksin dan mengikat toksin pada reseptor sel pada rongga pencernaan larva. Larva *Cx. quinquefasciatus* 2-4 kali kurang peka daripada larva *Ae. aegypti* pada instar yang sama. *Bacillus thuringiensis* H-14 berturut-turut menunjukkan daya bunuh tertinggi terhadap larva *Ae. aegypti*, *Cx. quinquefasciatus* dan *An. aconitus*.¹³

Bacillus thuringiensis terdiri atas berbagai strain yang dilaporkan mampu mensintesis lebih dari satu jenis delta endotoksin, namun hanya strain tertentu yang digunakan sebagai insektisida alami yaitu *B.t. israelensis* (Bti), *B.t. kurstaki*, *B.t. berlinier*, dan *B.t. alesti*. Konsentrasi *B. thuringiensis* sangat berpengaruh terhadap toksisitas dan lama residunya di dalam air. Semakin tinggi konsentrasi *B. thuringiensis* yang diinokulasikan semakin banyak peluang untuk termakan oleh larva semakin besar. Konsentrasi *B. thuringiensis* yang diperlukan untuk membunuh larva tergantung pada tempat berkembang biak nyamuk.¹⁵

Infeksi *B. thuringiensis* pada kasus tertentu tidak mematikan larva, tetapi larva masih mampu bertahan hidup dan berhasil menjadi pupa dan imago. Imago yang terbentuk tersebut biasanya berukuran kecil, cacat, lama hidupnya lebih pendek dan kemampuan meletakkan telurnya berkurang atau mandul. Efektivitas strain *B. thuringiensis* dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, yaitu instar larva nyamuk, pakan, periode pemaparan, kualitas air, strain bakteri, suhu air, adanya toksin di zona makan larva dan perilaku makan dari larva nyamuk sasaran.¹² *Bacillus thuringiensis* toksik terhadap nyamuk dan lalat. Bakteri ini memiliki daya bunuh yang tinggi dan tidak berbahaya bagi lingkungan.¹³

Bakteri *B. sphaericus* merupakan bakteri alami yang terdapat di tanah, aerob, membentuk spora, bersifat tentomopatogenik dan efektif membunuh larva nyamuk yang terdapat di air. Matinya larva karena kristal spora *B. sphaericus* yang berada di air tertelan larva dan masuk ke dalam usus, setelah kristal spora dicerna dan dipecahkan di dalam usus larva menjadi kristal endotoksin kemudian terjadi paralisis usus sehingga menyebabkan larva pada akhirnya mati. *Bacillus sphaericus* hanya benar-benar efektif melawan pada fase larva makan, tidak berpengaruh pada pupa dan nyamuk dewasa. *Bacillus sphaericus* dilaporkan kurang efektif terhadap larva *Aedes*. Penelitian yang dilakukan pada tahun 1980 menunjukkan bahwa dalam waktu 15 menit bakteri ini dapat melepaskan toksin melalui membran *peritrophic* yang dapat

membunuh larva *An. aconitus* sehingga tidak dapat berkembang. Suhu dan kelembaban tidak mempengaruhi efektivitas *B. sphaericus* untuk membunuh larva *An. aconitus*. *Bacillus sphaericus* efektif untuk membunuh larva *An. aconitus* di atas maupun di bawah permukaan air dengan dosis yang kecil (5 ml/m² dan 2,5 ml/m²).¹⁴

Bakteri *B. sphaericus* memiliki keuntungan yang lebih yaitu aktivitas larvasidal untuk spesies nyamuk tertentu meningkat, khususnya di habitat larva yang kaya dengan material organik. Selain itu spora dapat berdaur ulang dalam larva nyamuk yang mati pada kondisi tertentu.³¹ *Bacillus sphaericus* memperlihatkan keaktifan melawan sejumlah besar genus nyamuk serta relatif aman terhadap organisme bukan sasaran, invertebrata, atau vertebrata yang lain, aman terhadap manusia, dan mempunyai kemampuan tinggal atau berada dalam kondisi air terpolusi.¹⁴

Bakteri *B. subtilis* menghasilkan metabolit penting dan merupakan biolarvasida untuk vektor nyamuk. *Bioassay* yang dilakukan menggunakan metabolit *B. subtilis* menunjukkan bahwa senyawa ini menyebabkan kematian larva *Ae. aegypti*. Konsentrasi metabolit *B. subtilis* yang tinggi menyebabkan kematian larva lebih cepat selama pemaparan 24 jam. *Bacillus subtilis* menghasilkan surfaktan yang beracun terhadap nyamuk dan menyebabkan hemolisis. Hasil metabolit bakteri ini memiliki berbagai mode aksi, termasuk perubahan enzim esensial, *Acetyl Cholinesterase* (AChE), karboksilesterase, alkali dan asam fosfatase dari larva *Ae. aegypti*.¹⁶

Racun nyamuk yang diproduksi dari *B. subtilis* dihasilkan selama fase pertumbuhan vegetatif. Isolasi *B. subtilis* menunjukkan adanya aktivitas pengendali populasi nyamuk yang cenderung lebih penting karena dapat diawetkan sebagai spora dalam waktu yang lama. *Bacillus subtilis* merupakan spesies yang non patogen, biasanya ditemukan di tanah, menunjukkan berbagai kebutuhan fisiologis dan nutrisi, bakteri ini dapat dibudidayakan dengan mudah dan digunakan untuk pengendalian nyamuk yang aman. *Bacillus subtilis* adalah bakteri yang tersebar di mana-mana yang biasanya ditemukan di air, tanah, udara,

dan sisa tanaman yang membusuk. Bakteri menghasilkan endospora yang memungkinkannya bertahan dalam kondisi lingkungan yang panas dan kekeringan yang ekstrim. Supernatan kultur dari strain *B. subtilis* subsp. *subtilis* yang diisolasi dari hutan bakau dapat membunuh larva dan kepompong nyamuk melalui metabolit sekundernya yaitu surfaktin.¹⁷

Bakteri *Wolbachia* merupakan suatu bakteri gram negatif intraseluler yang mampu hidup didalam tubuh nyamuk *Aedes*. Dampak *Wolbachia* terhadap nyamuk *Ae. aegypti* antara lain mengganggu sistem reproduksi nyamuk dan menyebabkan ketidaknormalan reproduksi, mengurangi kesuburan nyamuk betina, peningkatan jumlah telur, menurunkan titer virus dalam saliva, mengurangi kelangsungan hidup telur, ketidakstabilan frekuensi virus, memperpendek kehidupan nyamuk, membatasi sel untuk replikasi virus dalam tubuh nyamuk, perkembangan larva lebih cepat, mengurangi ukuran tubuh nyamuk, dan nyamuk sulit menghisap darah.^{18,19}

Dampak *Wolbachia* terhadap ekosistem antara lain *Wolbachia* efektif menginvasi ketika lebih sering dipindah, *Wolbachia* menyebar dengan mudah ketika populasi nyamuk sedikit, setelah 2 tahun infeksi menunjukkan ketidakcocokan sitoplasma di siklus gonotropik, invasi nyamuk lokal dengan nyamuk ber-*Wolbachia*, mampu mengeliminasi populasi *Ae. aegypti*, dampak ekologi yang buruk terjadi karena transfer horizontal *Wolbachia* berakibat pada perubahan ekosistem.¹⁹

Filtrat bakteri *B. mycoides*, *K. ozaenae*, dan kombinasi antara *P. pseudomallei* dengan *K. ozaenae* memiliki potensi dalam mengendalikan larva dan pupa *Ae. aegypti*. Filtrat bakteri ini menyebabkan kerusakan morfologi larva dan pupa nyamuk *Ae. aegypti*, serta menghambat keberhasilan larva menjadi nyamuk dewasa atau siklus hidup larva berhenti pada pupa yang abnormal dan akhirnya mati. Kombinasi bakteri *P. pseudomallei* dengan *K. ozaenae* merupakan isolat yang sangat berpotensi digunakan sebagai agen pengendali hayati dibandingkan bakteri tunggal lainnya. Kombinasi kedua bakteri ini menghasilkan

enzim kitinase dalam jumlah yang besar. Enzim ini digunakan oleh bakteri untuk memecah kitin penyusun eksoskeleton nyamuk *Ae. aegypti* menjadi sumber karbon dan nitrogen. Kerusakan struktur eksoskeleton pada larva dapat berakibat pada terganggunya proses pertumbuhan dan proses metabolisme tubuh lainnya. Terganggunya proses metabolisme memungkinkan menyebabkan kematian larva.²⁰

Efektivitas *B. bassiana* dalam bidang pengendalian nyamuk sebagai vektor penyakit telah diketahui terhadap tiga genus nyamuk yaitu *Anopheles*, *Aedes*, dan *Culex*. *Beauveria bassiana* juga mempunyai sifat atraktan bagi nyamuk.²¹ Sistem kerja *B. bassiana* masuk ke tubuh serangga inang melalui kulit, saluran pencernaan, spirakel dan lubang lainnya. Selain itu inokulum jamur yang menempel pada tubuh serangga inang dapat berkecambah dan berkembang membentuk tabung kecambah, kemudian masuk menembus kutikula tubuh serangga. Penembusan dilakukan secara mekanis dan atau kimiawi dengan mengeluarkan enzim atau toksin. Jamur ini selanjutnya mengeluarkan racun beauverin yang membuat kerusakan jaringan tubuh serangga, dalam hitungan hari serangga akan mati dan setelah itu miselia jamur akan tumbuh ke seluruh bagian tubuh serangga. Serangga yang terserang jamur *B. bassiana* akan mati dengan tubuh mengeras dan tertutup oleh benang-benang hifa berwarna putih. Spora jamur yang kontak pada larva nyamuk akan menempel pada *lateral hair* yang ada di tubuh larva. Pada akhirnya spora akan memenuhi seluruh tubuh dan mengganggu gerak larva yang akan menyebabkan kematian.²⁸

Kontak terbuka secara terus menerus *B. bassiana* dengan manusia dapat menimbulkan masalah alergi kulit, terutama pada manusia yang memiliki kasus tersebut. Penelitian di laboratorium dengan metode *intradermal skin testing* menunjukkan *B. bassiana* berpotensi kuat menimbulkan alergi, namun belum diteliti lebih lanjut tentang lingkungan, kegawatan dan rentang alergi. Secara umum dapat dinyatakan bahwa senyawa-senyawa dalam *B. bassiana* tidak memiliki risiko terhadap manusia. Penggunaan *B. bassiana* tidak menghasilkan tingkat racun yang berbahaya

untuk lingkungan. *Beauveria bassiana* mempunyai peluang sebagai bahan hayati dalam pengendalian vektor penyakit terutama nyamuk, jamur ini dapat membunuh nyamuk yang telah resisten terhadap insektisida.²¹ Penggunaan metabolit jamur *B. bassiana* dapat menjadi metode alternatif yang murah dan ramah lingkungan dalam pengendalian larva nyamuk.²⁸

Metarhizium anisopliae merupakan jamur yang bersifat entomopatogen. Beberapa kelebihan pemanfaatan jamur entomopatogen dalam pengendalian adalah mempunyai kapasitas reproduksi yang tinggi, siklus hidupnya pendek, dapat membentuk spora yang tahan lama di alam walaupun dalam kondisi yang tidak menguntungkan, relatif aman, bersifat selektif, relatif mudah diproduksi, dan sangat kecil kemungkinan terjadi resistensi. Penelitian Midiyanti dan Muyadihardja menyatakan bahwa *M. anisopliae* mempunyai daya bunuh terhadap *Ae. aegypti* dan *Cx. quinquefasciatus*. *Metarhizium anisopliae* memiliki aktivitas larvasida karena menghasilkan cyclopeptida, destruxin A, B, C, D, E, dan desmethyldestruxin. Efek destruxin berpengaruh pada organela sel target (mitokondria, retikulum endoplasma dan membran nukleus), menyebabkan paralisis sel dan kelainan fungsi lambung tengah, tubulus malphigi, hemosit dan jaringan otot.²²

Metarhizium anisopliae dapat mematikan larva nyamuk karena reseptor protein membran sel jamur *M. anisopliae* dapat mengenali protein membran sel larva nyamuk sehingga jamur ini akan mudah menempel di tubuh larva nyamuk. Mekanisme infeksi jamur *M. anisopliae* pada larva serangga target dilakukan secara mekanik melalui sistem pernapasan dan sistem pencernaan. Mekanisme infeksi jamur *M. anisopliae* melalui sistem pernapasan yakni konidia jamur yang terlarut pada air masuk ke dalam *siphon* larva nyamuk ketika larva tersebut melakukan proses pernapasan. Konidia berkecambah membentuk hifa, selanjutnya hifa tumbuh menjadi miselium sehingga menyumbat saluran pernapasan larva tersebut. Tersumbatnya saluran pernapasan larva menyebabkan oksigen

tidak dapat masuk dan metabolisme larva nyamuk pun terganggu, sehingga energi berupa ATP yang dihasilkan menurun. Aktivitas hidup larva terganggu karena kekurangan energi dan kemudian larva mengalami kematian. Mekanisme infeksi jamur *M. anisopliae* melalui sistem pencernaan terjadi saat konidia jamur *M. anisopliae* ikut tertelan saat larva makan. Prosesnya hampir sama dengan infeksi yang terjadi pada saluran pernapasan.²³

KESIMPULAN

1. Mikroorganisme golongan bakteri dan fungi dapat dijadikan sebagai agen pengendali biologi untuk pengendalian nyamuk terutama untuk larvasida. Mikroorganisme tersebut terdiri dari *B. thuringiensis*, *B. sphaericus*, *B. subtilis*, *W. pipientis*, *B. mycoides*, *K. ozaenae*, *P. pseudomallei*, *B. bassiana* dan *M. anisopliae*.
2. Mikroorganisme menyerang morfologi tubuh larva atau pupa, organel sel larva atau pupa, sistem pencernaan, sistem pernapasan dan sistem reproduksi larva atau pupa.
3. Pengendalian nyamuk menggunakan mikroorganisme telah dilakukan pada genus *Aedes*, *Culex*, *Anopheles* dan *Mansonia*.

SARAN

Perlu penelitian dan kajian lebih lanjut dan mendalam tentang mikroorganisme yang dapat dijadikan agen pengendali biologi dalam mengendalikan populasi nyamuk.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis pada artikel ini yaitu, kontributor utama adalah VM dan TN.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Balai Litbangkes Baturaja. Tak lupa juga penulis ucapkan terimakasih kepada peneliti Balai Litbangkes Baturaja Santoso, SKM, M. Sc dan Lasbudi P. Ambarita, M. Sc, yang ikut membina pelaksanaan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kemenkes RI. Kemenkes Optimalkan PSN Cegah DBD. [internet] 2017 [Diunduh tanggal 25 Februari 2018]. Tersedia di: www.depkes.go.id.
2. Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Kemenkes RI. Dengan Gerakan Masyarakat Hidup Sehat Kita Wujudkan Indonesia Bebas Malaria. [internet] 2017 [Diunduh tanggal 25 Februari 2018]. Tersedia di: <http://www.malaria.id>.
3. Kementerian Kesehatan RI. Riset Kesehatan Dasar 2013. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
4. Prasetyowati H, Astuti EP, dan Ruliansyah A. Penggunaan Insektisida Rumah Tangga dalam Pengendalian Populasi *Aedes aegypti* di Daerah Endemis Demam Berdarah Dengue (DBD) di Jakarta Timur. *Aspirator*. 2016. 8(1): 29-36.
5. Sunaryo, Astuti P, dan Widiastuti D. Gambaran Pemakaian Insektisida Rumah Tangga di Daerah Endemis DBD Kabupaten Grobogan Tahun 2013. *Balaba*. 2015. 11 (01): 9-14.
6. Kusumastuti NH. Penggunaan Insektisida Rumah Tangga Antinyamuk di Desa Pangandaran, Kabupaten Pangandaran. *Widyariset*. 2014. 17(3): 417-424.
7. Adnyana NWD, Lobo V, Mapada MA, dan Triana E. Predasi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Terhadap Larva *Anopheles* sp di Insektarium Loka Litbang P2B2 Waikabubak Tahun 2014. *Jurnal Penyakit Bersumber Binatang*. 2015. 3(1): 10-17.
8. Ekawasti F dan Martindah E. Pengendalian Vektor dan Penyakit Zoonotik Virus Arbo di Indonesia. *Wartazoa*. 2016. 26(4): 151-162.
9. Ragavendran C, Dubey NK, and Natarajan D. *Beauveria bassiana* (Clavicipitaceae) : a potent fungal agent for controlling mosquito vectors of *Anopheles stephensi*, *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). [internet] 2017 [Diunduh tanggal 27 Februari 2017] Tersedia di: www.rsc.org/advances.
10. Usta C. Microorganisms in Biological Pest Control - A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors). Chapter from the book Current Progress in Biological Research. [internet] 2013 [Diunduh tanggal 26 Februari 2018]. Tersedia di : <https://www.intechopen.com/books/current-progress-in-biological-research/>.
11. Widiastuti D dan Marbawati D. Efek Larvasida Bakteri Kitinolitik dari Limbah Kulit Udang terhadap Larva *Aedes aegypti*. *Aspirator*. 2016. 8(1): 47-54
12. Gama ZP, Yanuwadi P, dan Kurniati TH. Strategi Pemberantasan Nyamuk Aman Lingkungan: Potensi *Bacillus thuringiensis* Isolat Madura Sebagai Musuh Alami Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari*. 2010. 1(1): 1-10.
13. Anggraeni YM, Christina B, dan Wianto R. Uji Daya Bunuh Ekstrak Kristal Endotoksin *Bacillus thuringiensis israelensis* (H-14) Terhadap Jentik *Aedes aegypti*, *Anopheles aconitus* dan *Culex quinquefasciatus*. *Jurnal Sain Veteriner*. 2013. 31(1): 25-42.
14. Perwitasari D, Ariati J, Manalu HSP, dan Munif A. Efikasi *Bacillus sphaericus* Strain 2362 Terhadap Larva *Anopheles aconitus* di Laboratorium. *Buletin Penelitian Kesehatan*. 2016. 44(1): 25-32.
15. Wibowo CI. Efektivitas *Bacillus thuringiensis* dalam Pengendalian Larva Nyamuk *Anopheles* sp. *Biosfera*. 2017. 34(1): 39-46.

16. Revathi K, Chandrasekaran R, Thanigaivel A, Kirubakaran SA, Narayanan SS, and Nathan SS. Effects of *Bacillus subtilis* Metabolites on Larval *Aedes aegypti* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2013. 107: 369-376.
17. Balakrishnan S, Indira K, and Srinivasan M. Mosquitocidal Properties of *Bacillus* Species Isolated From Mangroves of Vellar Estuary, Southeast Coast of India. *Journal of Parasitic Diseases*. 2015. 39(3): 385–392.
18. Lusiyana. *Wolbachia* Sebagai Alternatif Pengendalian Vektor Nyamuk *Aedes* sp. *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*. 2014. 6(3): 1-3.
19. Irfandi A. Kajian Pemanfaatan *Wolbachia* Terhadap Pengendalian DBD (Studi Literatur dan Studi Kasus Pemanfaatan *Wolbachia* di Yogyakarta). *Forum Ilmiah*. 2018. 15(2): 276-289.
20. Sani F. Pemanfaatan Filtrat Bakteri Endofit Kitinolitik Untuk Pengendalian Nyamuk *Aedes aegypti* L. [internet] 2012 [Diunduh tanggal 06 Maret 2018]. Tersedia di : <http://etheses.uin-malang.ac.id/861/12/08620041%20Rin%20gkasan.pdf>.
21. Ikawati B. *Beauveria bassiana* Sebagai Alternatif Hayati dalam Pengendalian Nyamuk. *Jurnal Vektor Penyakit*. 2016. 10(1): 19-24.
22. Windarti PW. Pengaruh Suspensi Jamur *Metarhizium anisopliae* Terhadap Mortalitas Larva Nyamuk *Anopheles aconitus*. [Skripsi]. Surakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret. 2010
23. Prayitno TA dan Wahyuni D. Pemanfaatan Jamur *Metarhizium anisopliae* Sebagai Pengendalian Hayati Larva Nyamuk *Culex* sp. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*. 2015. 1(2): 17-22.
24. Chapa DF, Villalobos JR, and Wong LG. Toxic Potential of *Bacillus thuringiensis*: An Overview. [internet] 2019 [Diunduh tanggal 9 Agustus 2019]. Tersedia di: <https://www.intechopen.com/online-first/toxic-potential-of-bacillus-thuringiensis-an-overview>.
25. Iturbe-Ormaetxe I, Walker T, and O' Neill SL. *Wolbachia* and Biological Control of Mosquito Borne Disease. *Embo Reports*. 2011. 12(6): 508-518.
26. Herlinda S, Darmawan KA, Firmansyah, Adam T, Irsan C, dan Thalib R. Bioesai Bioinsektisida *Beauveria bassiana* dari Sumatera Selatan Terhadap Kutu Putih Pepaya, *Paracoccus marginatus* Williams & Granara De Willink (Hemiptera: Pseudococcidae). *Jurnal Entomologi Indonesia*. 2012. 9(2): 81-87.
27. Valero-Jimenez CA, van Kan JAL, Koenraadt CJM, Zwaan BJ, and Schoustra SE. Experimental Evolution To Increase The Efficacy of The Entomopathogenic Fungus *Beauveria bassiana* Against Malaria Mosquitoes: Effects on Mycelial Growth and Virulence. *Evolutionary Applications*. 2017. 10: 433-443.
28. Widiastuti D dan Kalimah IF. Efek Larvasida Metabolit Sekunder *Beauveria bassiana* terhadap Kematian Larva *Aedes aegypti*. *Spirakel*. 2016. 8(2): 1-8.
29. Putri MHO, Kasmara H, dan Melanie. Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo,1912) Sebagai Agen Pengendali Hayati Nyamuk *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762). *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 2015. 1(6): 1472-1477.
30. Bilal H, Hassan SA, and Khan IA. Isolation and Efficacy of Entomopathogenic Fungus (*Metarhizium anisopliae*) For The Control of *Aedes albopictus* Skuse Larvae: Suspected Dengue Vector in

Pakistan. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2012. 2(4): 298-300.

31. Dien GS, Manueke J dan Salaki Ch.L. Eksplorasi Bakteri *Bacillus sphaericus* Isolat Tanah Vegetasi Tumbuhan Hutan Alam Gunung Masarang di Tomohon Sebagai Agen Pengendali Hayati Larva Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Ilmu Pertanian Eugenia*. 2013. 19(2): 120-127