

Pengendalian Nyamuk Vektor Menggunakan Teknik Serangga Mandul (TSM)

Vector Control using Sterile Insect Technique (SIT)

Lasbudi Pertama Ambarita
Loka Litbang Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang Baturaja
Jl. Jend. A. Yani km. 7 Kemelak, Baturaja-Sumatera Selatan, Indonesia
E_mail : lasbudi@litbang.depkes.go.id

Received date: 23-03-2015, Revised date: 07-09-2015, Accepted date: 13-11-2015

ABSTRAK

Penyakit tular vektor seperti malaria dan demam berdarah dengue masih menjadi masalah kesehatan di dunia dan Indonesia khususnya. Upaya pengendalian vektor telah lama dilakukan untuk memutuskan rantai penularan. Saat ini upaya pengendalian vektor sangat tergantung pada penggunaan insektisida kimia dan berdampak terjadinya resistensi pada nyamuk. Berbagai rintangan tersebut memicu pengembangan metode atau strategi tertentu. Teknologi nyamuk yang dimodifikasi secara genetik (GMM) telah berkembang selama lebih dari 50 tahun. Teknik Serangga Mandul (TSM) adalah salah satu metode dalam GMM. Tulisan ini menyajikan konsep tentang TSM, hasil dari beberapa penelitian sebelumnya dan isu etik. TSM menawarkan keuntungan-keuntungan bila dibandingkan metode yang sekarang tengah digunakan. Kendala dalam pelaksanaannya antara lain kondisi fisik serangga yang diaplikasikan dan sumber daya manusia. Secara umum, konsep TSM adalah pelepasan nyamuk jantan yang sebelumnya telah disterilisasi di laboratorium ke dalam populasi. Metode TSM telah memberikan dampak positif terhadap pengendalian serangga hama pertanian.

Kata kunci: vektor, teknik serangga mandul, nyamuk modifikasi genetik

ABSTRACT

Vector-borne diseases such as malaria and dengue hemorrhagic fever (DHF) is still a health problems in the world especially in Indonesia. Vector control efforts have long been done to break disease transmission. Current vector control efforts is highly depend on the use of chemical insecticides and develop insecticide resistance in mosquitoes. These obstacles create the development of new method or particular strategy to combat the problems. Technology of Genetically Modified Mosquitoes (GMM) have been develop for more than 50 years. Sterile Insect Technique (SIT) is one of method in GMM. This paper provide an overview of the SIT concept, previous studies and ethical issues. The SIT offer advantages compare to current strategies. The obstacles of SIT among others s is the fitness of applied insects and human resourcses. Generally, SIT is to release male insects that have sterilized in the laboratorium into population. The method have a positive impact to many agricultural pest insects.

Keywords: vector, sterile insect technique, genetically modified mosquitoes

PENDAHULUAN

Angka kejadian penyakit tular vektor seperti malaria dan Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia belum menunjukkan penurunan yang signifikan, bahkan di beberapa daerah memperlihatkan kecenderungan peningkatan jumlah kasus. Gerakan berantas kembali malaria (*roll back malaria*) yang dimulai tahun 2000 bertujuan untuk menekan kasus yang terjadi pada tahun 2000 menjadi berkurang hingga setengahnya pada tahun 2010. Hasilnya 43 negara dari 99 negara endemis malaria berhasil menekan kasus hingga lebih dari 50%. Secara global, angka insiden malaria berkurang 17% dan laju mortalitas sebesar 26%, namun tingkat penurunan kasus

dan kematian ini masih lebih rendah dari target yang telah ditetapkan yaitu 50%.¹ Di Indonesia data API (*annual parasite incidence*) tahun 2008-2009 menurun dari 2,47 per 1000 penduduk menjadi 1,85 per 1000 penduduk. Bila dilihat per provinsi tahun 2008-2009 beberapa provinsi dengan API yang tertinggi adalah Papua Barat, Nusa Tenggara Timur dan Papua, serta terdapat 12 provinsi yang di atas angka API nasional. Dalam Rencana Strategis Kementerian Kesehatan tahun 2010-2014 pengendalian malaria merupakan salah satu penyakit yang ditargetkan untuk turun angka kesakitannya dari 2 menjadi 1 per 1000 penduduk. Hasil Riskesdas (Riset

Kesehatan Dasar) 2010 diperoleh *point prevalence* malaria sebesar 0,6%.² Sedangkan penyakit demam berdarah yang terjadi di Indonesia pada tahun 2009 terdapat 158.912 kasus.³ Pengendalian penyakit tular vektor saat ini masih bertumpu pada penggunaan insektisida. Penggunaan insektisida ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya munculnya populasi yang kebal terhadap insektisida, terjadinya kontaminasi lingkungan serta membunuh organisme bukan sasaran.

Resistensi terhadap insektisida adalah salah satu bentuk adaptasi serangga untuk tetap *survive* terhadap berbagai tekanan seleksi, dan merupakan contoh yang paling meyakinkan dari teori evolusi yang dikembangkan oleh Darwin. Menghadapi tekanan yang luar biasa karena penggunaan insektisida, anggota populasi yang lemah (karena tidak mempunyai gen resistensi) akan tereliminasi, sedangkan anggota populasi lainnya yang mempunyai gen resisten, akan bertahan hidup. Pada awalnya dalam suatu populasi normal, jumlah individu yang mempunyai gen pembawa resistensi amat rendah, tetapi dari jumlah yang sedikit ini, setelah melalui beberapa generasi reproduksi dan tetap memperoleh tekanan seleksi insektisida akan membentuk populasi serangga yang resisten. Pergantian frekuensi gen dalam suatu populasi dalam jangka waktu tertentu, seperti yang terjadi dalam proses resistensi terhadap insektisida, disebut *microevolution* (akumulasi variasi dalam waktu tertentu).⁴ Namun peranan insektisida kimiawi memiliki peran yang sangat vital terutama pada saat terjadinya peningkatan kasus ataupun kejadian luar biasa penyakit tular vektor.

Dampak negatif penggunaan insektisida memicu pengembangan metode baru salah satunya adalah metode modifikasi nyamuk secara genetik (GMM/*genetically modified mosquitoes*). Strategi yang saat ini sedang dikembangkan dalam GMM adalah pelepasan serangga jantan mandul yang sudah terpapar radiasi ke dalam populasi serta integrasi gen letal dominan dibawah pengaruh promoter spesifik pada serangga jantan pradewasa. Teknologi GMM ini dapat diterapkan dan disesuaikan dengan metode pengendalian vektor lainnya, selain itu dapat diintegrasikan dalam program pengendalian vektor terpadu.⁵ Teknik lainnya adalah kemosterilisasi, teknik ini

dilakukan dengan cara merendam pupa dalam rentang waktu tertentu pada larutan standar dari senyawa *alkylating aziridinyl* seperti *thiotepa* atau *bisazir*. Penggunaan metode ini telah sangat berkurang karena berhubungan dengan keselamatan pekerja yang terpapar dengan bahan kimia yang sifatnya mutagenik.^{6,7}

Kemosterilisasi efektif meningkatkan level sterilitas dan daya kompetitif serangga dibandingkan dengan paparan radiasi namun memerlukan standar pengamanan tinggi yang sepertinya sulit untuk diaplikasikan pada kondisi lapangan.⁸

Teknik serangga mandul telah digunakan secara luas dan berhasil mengendalikan beberapa jenis spesies hama, diantaranya adalah eradikasi lalat *screwworm* di dunia baru (New World), *Cochliomyia hominivorax* di Amerika Serikat, Meksiko dan seluruh Amerika Tengah, pengendalian lalat buah Mediterania *Ceratitis capitata* dan eradikasi lalat tsetse *Glossina austeni* di Pulau Zanzibar. Afrika Selatan saat ini telah berhasil menggunakan TSM untuk mengendalikan lalat buah Mediterania (*Medfly*) di lembah Hex River.⁹

Tinjauan ini menyajikan konsep TSM, hasil dari berbagai penelitian serta isu etik. Fokus pada tulisan ini adalah upaya pengendalian vektor malaria dan DBD menggunakan teknik serangga mandul.

METODE

Tulisan ini merupakan studi kepustakaan (literatur) dimana dikumpulkan informasi-informasi tentang konsep TSM, hasil dari berbagai penelitian dan isu etik terkait pengendalian vektor malaria dan DBD menggunakan TSM. Informasi ini diperoleh dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, *web page* dan laporan penelitian.

PEMBAHASAN

Konsep Teknik Serangga Mandul

E.F. Knipling adalah orang pertama yang mengemukakan konsep pelepasan serangga yang telah disterilisasi secara massal ke alam untuk mengendalikan populasi hama pertanian.¹⁰ Tujuan jangka panjang dari penelitian TSM adalah untuk

mengembangkan *strain* yang tidak mampu menunjang perkembangan patogen dan kemudian membawa sifat baru ke dalam populasi vektor di alam. Teknik serangga mandul pada organisme nyamuk (khususnya vektor) tahapannya terdiri dari produksi massal, pemisahan jenis kelamin, sterilisasi dan pelepasan nyamuk jantan mandul.⁸ Sukses atau tidaknya TSM sangat bergantung kepada kemampuan nyamuk jantan yang dilepaskan untuk dapat secara efektif kawin dengan nyamuk betina di alam.

Sifat kompetitif nyamuk jantan steril untuk mengawini nyamuk betina di alam menjadi salah satu permasalahan krusial dalam TSM. Banyak faktor yang mempengaruhi perilaku nyamuk steril sehingga sulit bersaing dengan nyamuk jantan liar. Menurut Howell dan Knols faktor-faktor seperti lokasi perkawinan, kematangan seksual, perilaku kawin dan dampak rentang waktu kolonisasi (di laboratorium) secara umum berpengaruh terhadap perilaku nyamuk steril.¹¹ Prinsip dasar TSM sangat sederhana yaitu membunuh serangga dengan serangga itu sendiri (*autocidal technique*). Teknik ini meliputi iradiasi koloni serangga jantan di laboratorium dengan sinar γ , n atau x, kemudian secara periodik dilepas di habitat vektor alami, sehingga tingkat keberhasilan perkawinan antara serangga jantan mandul dan fertil menjadi makin besar dari generasi pertama ke generasi berikutnya. Hal tersebut akan berakibat makin menurunnya persentase fertilitas populasi serangga di habitatnya dan secara teoritis pada generasi ke-4 persentase fertilitas populasi mencapai titik terendah menjadi 0% (generasi ke-5 nihil).¹² Untuk mendapatkan vektor mandul, radiasi dapat dilakukan pada stadium telur, larva, pupa atau dewasa. Tetapi hasil optimum dapat diperoleh apabila radiasi dilakukan pada stadium pupa. Stadium pupa merupakan stadium perkembangan dimana terjadi transformasi atau perkembangan organ muda menjadi organ dewasa. Pada stadium ini umumnya spermatogenesis dan oogenesis sedang berlangsung. Radiasi secara umum dapat menimbulkan berbagai akibat terhadap nyamuk, baik kelainan morfologis maupun kerusakan genetik.

Penghambatan pembentukan sperma pada nyamuk akan menghasilkan nyamuk jantan steril yang tetap berperilaku normal saat kawin dan

dapat memicu sterilitas nyamuk betina seumur hidupnya.¹³ Untuk menentukan kisaran dosis optimal radiasi bergantung kepada tingkat kemandulan yang diberikan serta sifat kompetitif serangga jantan yang diradiasi. Paparan radiasi dengan dosis rendah dapat berakibat tingkat kemandulan yang rendah, sedangkan pada dosis tinggi dapat mengurangi kemampuan serangga jantan untuk berkompetisi dengan serangga jantan liar di alam dan dengan demikian akan mengurangi dampak dari pelepasan seperti yang diharapkan.⁸ Kemandulan disebabkan oleh mutasi letal dominan pada sperma yang dilepaskan oleh serangga yang teradiasi. Mutasi letal dominan merupakan penyebab kematian zigot yang telah berkembang (dibuahi), terlepas dari kontribusi genetik gamet lain. Serangga jantan mandul diharapkan mengawini dan mentransfer sperma disertai cairan penghantar dengan kuantitas dan kualitas yang cukup sehingga “meyakinkan” serangga betina untuk melaksanakan perkawinan. Ini berarti bahwa definisi serangga jantan mandul sangat spesifik, dan tidak termasuk serangga jantan yang aspermik, atau tidak menghasilkan sperma yang aktif, ataupun tidak memperlihatkan respon perilaku normal bagi serangga betina. Bahkan serangga jantan yang telah dimandulkan harus berkeyakinan jika “dirinya” tidak mandul. Sifat mandul diharapkan akan efektif ke generasi berikutnya ketika sperma jantan digunakan oleh betina liar untuk membuahi telurnya.¹⁴

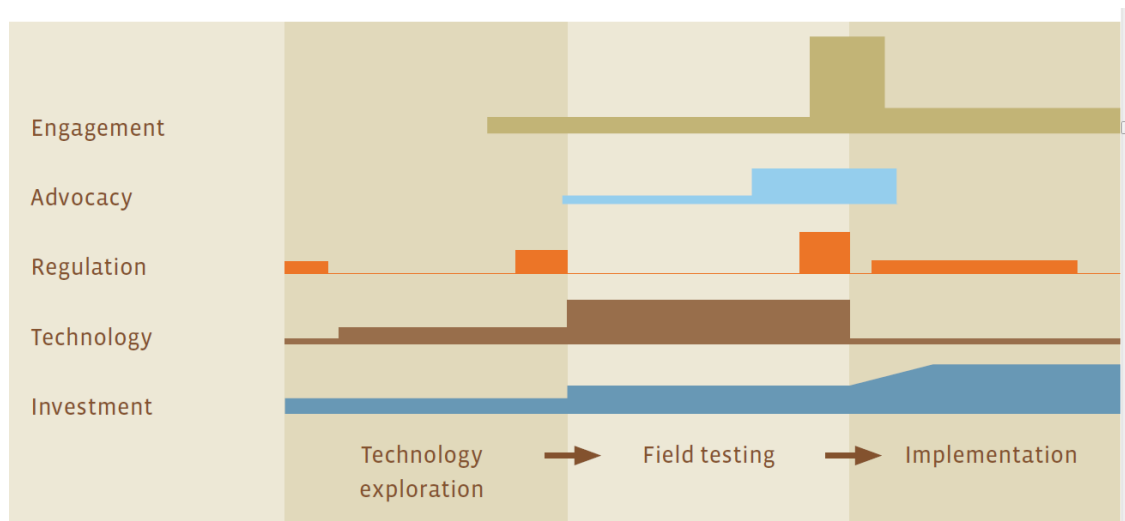
Pada perkembangannya, ilmu bioteknologi moderen dapat dan telah digunakan untuk meningkatkan efektifitas TSM. Metode bioteknologi klasik seperti *breeding and selective mutation*, *mutagen induced dominant lethality*, *sex-ratio distortion* dan *chromosomal translocation*. Metode-motode tersebut meningkatkan efektivitas TSM dengan mendukung kolonisasi masal (*mass rearing*) ataupun menghilangkan kebutuhan akan radiasi.¹⁵ Persyaratan utama bagi kesuksesan aplikasi TSM adalah kemampuan untuk melepaskan serangga ke populasi di alam, pada area yang luas, jumlah serangga yang dilepaskan cukup banyak terutama serangga jantan dengan sifat seksual aktif dan secara genetik telah steril. Karena pelepasan nyamuk betina steril dapat mengurangi efisiensi, efektivitas dan beresiko menularkan penyakit, sehingga proses pemisahan serangga jantan dan

betina sudah harus dilakukan dengan selektif sebelum serangga dilepaskan. Teknologi yang digunakan untuk memelihara, mensterilkan dan mendistribusikan serangga jantan dapat berdampak negatif kepada kondisi fisik (*fitness*) nyamuk sehingga diperlukan serangga dalam jumlah besar untuk dilepaskan.¹⁶ Meskipun telah banyak penelitian mengenai aplikasi nyamuk jantan mandul, sesungguhnya masih diperlukan kajian dan studi yang lebih ekstensif seperti musim kawin, perilaku kawin, jumlah minimal nyamuk yang dilepaskan, proses kolonisasi dan lain sebagainya.

Sangatlah penting untuk dipahami bahwa untuk tidak sangat bergantung kepada teknologi modifikasi genetik, strategi pengendalian genetik harus menjadi bagian dari pengembangan teknologi pengendalian lainnya (seperti vaksin dan obat baru, ataupun penggunaan kelambu berinsektisida). Ini berarti fokus pada pertanyaan tentang efektivitas biaya, kemampuan, aksesibilitas, *equity* dan kesinambungan. Indonesia sebagai salah satu negara endemis penyakit tular vektor perlu mengambil langkah

atau metode yang lebih efektif untuk menekan angka kejadian penyakit maupun kematian yang ditimbulkan. Hingga saat ini penyakit tular vektor seperti DBD belum memperlihatkan penurunan yang signifikan meskipun berbagai metode pengendalian telah diterapkan. Diperlukan kolaborasi antar instansi pemerintah terkait termasuk perguruan tinggi serta *stakeholder* lainnya jika ingin menjadikan TSM sebagai metode pengendalian dalam skala yang lebih luas dan terintegrasi dengan metode lainnya dalam kegiatan pengendalian vektor terpadu. Ketersediaan sumber daya, infrastruktur, keseriusan pemerintah, personel terlatih merupakan isu penting dalam program TSM. Kemampuan tenaga pelaksana dalam teknis pemandulan di laboratorium maupun saat pemilihan dan pemisahan nyamuk yang akan diaplikasikan di lapangan.

Proses pengembangan serangga jantan mandul terdiri dari beberapa tahapan penting. WHO menyatakan tiga fase pengembangan nyamuk modifikasi genetik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Perkembangan Teknologi Modifikasi Vektor secara Genetik

Sumber: WHO. Progress and prospects for the use of genetically modified mosquitoes to inhibit disease transmission

Tinggi dari tiap-tiap batang (*bars*) pada Gambar 1 menunjukkan tingkatan aktivitas relatif. Beberapa aktivitas, seperti regulasi dapat terus berlangsung selama perjalanan ketiga fase, namun memerlukan aktivitas yang cukup tinggi secara periodik untuk menyiapkan standarisasi, persyaratan legal dan lain sebagainya. Aspek teknologi sebaliknya, memainkan peran penting pada dua fase awal tetapi menjadi tidak begitu signifikan aktivitasnya saat fase implementasi dijalankan, meskipun tindakan pengawasan juga diperlukan. Level investasi diperlukan pada fase implementasi dan akan bergantung kepada strategi yang ditetapkan. Seluruh aktivitas harus dikoordinasikan dengan tepat sehingga teknologi dapat berkembang.¹⁷

Hasil dari Beberapa Penelitian

Penelitian sangat diperlukan dalam mendesain, mengembangkan dan menguji metode pengendalian vektor yang baru berikut strateginya. Pada tahun 1971 di Model Basti (India) dilakukan pelepasan nyamuk jantan *Ae. aegypti* sebanyak 30.000 ekor selama 4 minggu yang telah dimodifikasi secara genetik dengan teknik pengaturan translokasi, dan hasil yang diperoleh menunjukkan nyamuk yang dilepaskan memperlihatkan sifat kompetitif dan berhasil diamati translokasi pada populasi liar.¹⁸ Hal yang sama juga diperlihatkan di New Delhi, dimana nyamuk yang dilepaskan ke alam juga kompetitif terhadap nyamuk jantan liar.¹⁶ Penelitian di El Salvador pada tahun 1977 hingga 1979 yang melepaskan 100 juta ekor nyamuk jantan steril *An. albimanus* yang bertujuan untuk mereduksi populasi tetapi hasilnya tidak seperti yang diharapkan karena terjadi migrasi serangga. Penelitian di Amerika terhadap nyamuk *An. quadrimaculatus* steril yang dilepaskan juga tidak memperlihatkan keberhasilan meskipun 80% hingga 90% nyamuk betina yang dikawini menghasilkan telur steril. Kegagalan ini disebabkan nyamuk yang dilepaskan tidak kompetitif terhadap nyamuk jantan liar.¹⁹

Di Indonesia belum banyak publikasi penelitian ataupun aplikasi mengenai TSM. Penelitian skala laboratorium yang dilakukan oleh Widiarti menggunakan spesies yang sama memperoleh dosis radiasi efektif berkisar antara

110 Gray – 130 Gray karena dapat memandulkan *An. maculatus* berkisar antara 97 – 100%. Hasil penelitian ini juga memperlihatkan kemampuan daya saing kawin nyamuk jantan yang teradiasi lebih rendah dari nyamuk jantan yang tidak teradiasi. Namun apabila ratio nyamuk jantan teradiasi lebih besar dari nyamuk jantan normal akan mampu menekan populasi keturunannya.²⁰ Teknologi serangga mandul dengan tahapan pemeliharaan, sterilisasi dan pelepasan nyamuk sedikit banyak berdampak negatif terhadap kebugaran (*fitness*) nyamuk di lapangan, sehingga nyamuk jantan steril yang akan dilepaskan harus dalam jumlah banyak.¹⁸

Penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Nurhayati dkk terhadap nyamuk *Ae. aegypti* dan *An. maculatus*, diketahui sinar gamma dosis 70Gy dapat memandulkan 100% *Ae. aegypti* dengan nilai daya saing kawin 0,31 dan dosis 65 Gy memandulkan 98,53% dengan daya saing kawin 0,45%. Paparan sinar gamma dosis 110 Gy dapat memandulkan 97% nyamuk *An. maculatus* dengan daya saing kawin 0,65 dan 120 Gy memandulkan 99%, namun tidak berhasil diketahui daya saing kawinnya.²¹ Proyek yang dilakukan oleh *The Cayman Mosquito Research and Control Unit* (MRCU) mengevaluasi *strain* nyamuk produksi dari Oxitec Ltd. *Strain* nyamuk yang dilepaskan adalah nyamuk *Ae. aegypti* yang membawa gen *lethal* dominan atau yang disebut dengan RIDL (*Release of Insects carrying a Dominant Lethal*). Uji coba lapangan pertama dilakukan pada bulan November-Desember 2009 di Pulau Cayman untuk menilai sifat kompetitif nyamuk transgenik di lapangan. Dilanjutkan dengan uji dengan skala yang lebih besar (lebih banyak nyamuk yang dilepaskan) pada bulan Mei-Oktober 2010 untuk menguji pengurangan populasi (*population suppression*). Hasilnya memang belum dipublikasikan, namun presentasi oleh Luke Alphey pada pertemuan tahunan ke-59 *the American Society for Tropical Medicine and Hygiene* menyebutkan terjadinya pengurangan populasi lokal *Ae. aegypti* hingga 80% yang diukur 11 minggu setelah pelepasan dan kondisi ini terus berlangsung hingga pengujian berakhir. *Institute for Medical Research* (IMR) di Malaysia juga melakukan uji lapangan pada bulan Desember 2010 hingga Januari 2011 menggunakan *strain* Oxitec Ltd. yang sama. Pengujian dilakukan di

area tak-berpenduduk di Bentong untuk menilai daya jangkauan dan umur nyamuk transgenik.²²

RIDL merupakan lanjutan pengembangan teknologi TSM untuk mengatasi hambatan yang ditemukan selama ini. Tujuan teknologi ini adalah untuk menekan populasi serangga di alam serta mengganti populasi (*population replacement*) di alam menjadi tidak berbahaya.²³ Penelitian skala laboratorium menggunakan nyamuk RIDL memperlihatkan berkurangnya jumlah telur dan larva beberapa bulan setelah aplikasi.²⁴

Meskipun TSM belum sampai pada tahap yang benar-benar aplikatif untuk digunakan sebagai salah satu metode alternatif pengendalian vektor penyakit, namun hasil dari banyak penelitian yang telah dilakukan menunjukkan perkembangan yang berarti. Benedict dan Robinson¹⁷ menyatakan pembelajaran yang bisa dipetik dari sekian banyak riset TSM yang sudah dilakukan perlu memperhatikan hal-hal antara lain: 1) nyamuk jantan diharapkan akan kawin dengan nyamuk betina liar di lokasi pelepasan. Sifat kompetitif nyamuk jantan sewaktu dipelihara di laboratorium tidak menjamin akan dapat mengawini nyamuk betina liar; 2) pemisahan jenis kelamin nyamuk akan meningkatkan efisiensi serta dampak yang diinginkan; 3) metode pelepasan dan lokasi harus adaptif terhadap seluruh kondisi cuaca; 4) sterilitas nyamuk betina di alam merupakan indikator frekuensi kawin, namun kepadatan vektor adalah indikator yang lebih relevan sebagai efek dari pelepasan; 5) seluruh tahapan proses pemandulan harus stabil sebelum pelepasan dimulai; 6) jumlah nyamuk steril yang dilepaskan harus diperhitungkan agar berdampak maksimal terhadap populasi di alam; 7) perlu ditetapkan area pembanding (*control*) dengan jenis pengamatan serupa dengan area perlakuan (pelepasan); 8) jangkauan terbang dan kemampuan kawin adalah indikator penting untuk menilai kebugaran nyamuk steril yang dilepaskan; 9) isolasi area pengujian harus dilakukan dan diupayakan diujikan pada seluruh kondisi cuaca; 10) informasi jarak terbang nyamuk uji dari berbagai literatur hasil penelitian memunculkan pemikiran untuk mendesain penghalang (*barrier*), tetapi pengamatan khusus perlu dilakukan untuk menilai efektivitasnya sebelum pelepasan dimulai; 11) stabilitas politik dan hubungan yang sehat dengan publik sangatlah penting bagi keberlangsungan upaya pengendalian

vektor. Berbagai studi TSM sebelumnya baik pada nyamuk maupun serangga lainnya dapat menjadi bahan kajian untuk diimplementasikan pada studi berikutnya sehingga tingkat keberhasilan metode ini menjadi lebih besar dan dapat diaplikasikan pada skala yang lebih luas sehingga kejadian penyakit tular vektor dapat semakin ditekan.

Isu Etik

Dari aspek teknis, serangga yang akan dilepaskan di alam perlu diperhatikan sedetail mungkin dan penuh kehati-hatian untuk menghindari terjadinya penyebaran transgen yang tidak diinginkan. Untuk itu studi awal di laboratorium hendaknya yang pertama kali menguji stabilitas transgen dan kebugaran (*fitness*) serangga. Serangga yang akan dilepaskan di alam harus memiliki sifat reproduktif steril (*reproductive sterile*) dan tidak membawa sifat alami (sebelum disterilkan) ke populasi liar dan yang tak kalah pentingnya adalah serangga tersebut tidak membawa sifat kebal (*resisten*) terhadap insektisida.²⁵

Dari aspek non teknis, perlu diperhatikan penerimaan masyarakat dalam pengujian di lapangan karena masyarakat adalah komponen penting di wilayah yang akan diuji. Masyarakat sifatnya heterogen baik dari sisi internal maupun eksternal, dengan demikian mereka memiliki pandangan yang beragam terhadap suatu permasalahan khususnya tentang pelepasan serangga mandul di alam. Isu yang berkembang misalnya terdapat kelompok di masyarakat yang mementingkan hak kebinatangan (*animal rights*) yang memiliki pandangan teknologi ini akan berdampak negatif terhadap kehidupan binatang.²⁶

Informasi, komunikasi dan edukasi sangat penting untuk menerapkan metode baru seperti TSM, disamping dapat memfasilitasi masyarakat serta melibatkan mereka. *Individual consent* tidak dapat diartikan sebagai *community consultation*, begitupun sebaliknya. Langkah dan proses komunikasi pada level individu dan masyarakat harus dikembangkan menurut kerangka budaya setempat dan komponen pembuat kebijakan, pemahaman dan kapabilitas. Ini akan memungkinkan berbagai pihak untuk: (1) mengenali keberadaan sebuah paradoks etik dan dilemma; (2) mengidentifikasi perbedaan pendapat di antara berbagai pihak; (3) menilai risiko dan

keuntungan dari setiap pilihan; (4) memahami bagaimana kepercayaan tradisional mempengaruhi penalaran etik; dan (5) memilih solusi yang paling cocok dan memastikan masing-masing pihak yang terlibat benar-benar memahami solusi yang dipilih.²⁷

KESIMPULAN

Upaya pengendalian nyamuk vektor malaria dan DBD telah dilakukan dengan satu atau beberapa metode yang terintegrasi. Meskipun TSM belum sepenuhnya dapat diaplikasikan secara luas namun memiliki prospek yang menjanjikan di masa yang akan datang. Integrasi TSM dalam program pengendalian vektor diharapkan dapat menekan populasi nyamuk vektor yang berdampak menurunnya insiden penyakit yang ditularkan. Konsep TSM (melepaskan nyamuk ke lingkungan masyarakat) rentan menimbulkan penolakan oleh masyarakat, namun melalui sosialisasi dan pemberian informasi yang benar maka aplikasi ini dapat diwujudkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. World malaria report 2011. Geneva; 2011.p.248.
2. Pusat Data dan Informasi Dir. P2B2. Epidemiologi malaria di Indonesia. Buletin Jendela Data dan Informasi Kesehatan; 2011.
3. Anonimus. Demam Berdarah Dengue di Indonesia tahun 1968-2009. Buletin Jendela Epidemiologi. 2010; Vol. 2.
4. Ahmad I. Adaptasi serangga dan dampaknya terhadap kehidupan manusia. Pidato Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung. [Diakses tanggal 1 Agustus 2012]. Diunduh dari: <http://www.sith.itb.ac.id/publikasi-ia/adaptasi%20serangga-dan-dampaknya-terhadap-kehidupan-manusia-intan-ahmad.pdf>.
5. WHO. The guidance framework for testing genetically modified mosquitoes. Geneva; 2014.
6. Becker N, Petric D, Zgomba M, Boase C, Madon M, et al. Mosquitoes and their control. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010.
7. Becker N, Pluskota B, Kaiser A dan Schaffner F. Exotic mosquitoes conquer the world. In: Arthropods as vectors of emerging diseases. Editor: Heinz Mehlhorn. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2012.
8. Helinski MEH, Parker AG dan Knols GJ. Radiation biology of mosquitoes. Malaria Journal: 2009;8:S6.
9. Munhenga G, Brooke BD, Chirwa TF, Hunt RH, Coetzee D dan Koekemoer LL. Evaluating the potential of the sterile insect technique for malaria control: relative fitness and mating compatibility between laboratory colonized and a wild population of *Anopheles arabiensis* from the Kruger National Park, South Africa. Parasites & Vectors. 2011;4:208.
10. Wilke ABB dan Marrelli MT. Genetic control of mosquitoes: population suppression strategies. Rev Inst Med. Trop. Sao Paulo. 2012;54(5):287-92.
11. Howell PI and Knols BGJ. Male mating biology. Malaria Journal. 2009;8(2).
12. Nurhayati S. Pengendalian serangga vektor di lapangan dengan teknik serangga mandul. [Diakses tanggal 13 Agustus 2012]. Diunduh dari: <http://www.batan.go.id/ptkmr/Biomedika/Publikasi%202006/Siti%20Nurhayati-2006.pdf>.
13. Thailayil J, Magnusson K, Godfray HC, Crisanti A dan Catteruccia F. Spermless males elicit large-scale female responses to mating in the malaria mosquito *Anopheles gambiae*. PNAS. 2011;108(33):13677-81.
14. Robinson AS, Knols BGJ, Voigt G dan Hendrichs J. Conceptual framework and rationale. Malaria Journal. 2009;8(Suppl 2):S1.
15. Wilke ABB, Nimmo DD, St John O, Kojin BB, Capurro ML dan Marelli MT. Mini-review: genetic enhancements to the sterile insect technique to control mosquito populations. AsPac J Mol Biol Biotechnol. 2009;17(3).
16. Benedict MQ dan Robinson AS. The first releases of transgenic mosquitoes: an argument for the sterile insect technique. TRENDS in Parasitology. 2003;19(8).
17. WHO. Progress and prospects for the use of genetically modified mosquitoes to inhibit disease transmission. Report on planning meeting 1,

technical consultation on current status and planning for future development of genetically modified mosquitoes for malaria and dengue control. Geneva; 2010.

18. Rai KS, Grover KK dan Suguna SG. 1973. Genetic manipulation of *Aedes aegypti*: incorporation and maintenance of a genetic marker and a chromosomal translocation in natural populations. *Bull World Health Organ.* 1973;48:49–56.
19. Patterson RS, Lofgren CS dan Boston MD. The Sterile-male technique for control of mosquitoes: A field cage study with *Anopheles quadrimaculatus*. *The Florida Entomologist.* 1968;51(2):77-82.
20. Widiarti. Pengembangan teknik serangga mandul dengan radiasi gamma dalam upaya pengendalian vektor malaria di Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. Laporan Akhir Penelitian Ristek. Balai Besar Litbang Vektor dan Reservoir Penyakit; 2010.
21. Nurhayati S, Santoso B, dan Rahayu A. Pengendalian populasi nyamuk *Aedes aegypti* dan *Anopheles* sp sebagai vektor Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Malaria dengan Teknik Serangga Mandul (TSM). Disampaikan pada Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VI. 15-16 Juni 2010; Jakarta; 2010.
22. Marshall JM. Commentary: The cartagena protocol in the context of recent releases of transgenic and wolbachia-infected mosquitoes. *AsPac J Mol Biol Biotechnol.* 2011;19(3): 93-100.
23. Nimmo D. RIDL; What is it? how does it work? Does it work? and what's In the Future? [Cited 2015 Aug 20]. Available from: <http://www.mimosq.org/presentations/2013/1DerricNimmoRIDL.pdf>.
24. Valdez MRW, Nimmo D, Betz J, Gong HF, James AA, et al. Genetic elimination of Dengue vector mosquitoes. *PNAS.* 2011;108(12): 4772-5.
25. Schetelig MF dan Wimmer EA. Insect transgenesis and the sterile insect technique. Dalam: *Insect Biotechnology.* Editor Andreas Vilcinskas. Springer; 2011.
26. Macer DRJ. Ethical aspects in introducing genetically modified organisms for public health purposes. [Cited 2012 Jun 5]. Available from: <http://www.eubios.info/Papers/Vibs186DM.pdf>.
27. Diop S. Introduction to the ethical, legal and social implications of the potential use of genetically modified mosquitoes. Dalam: *Progress and prospects for the use of genetically modified mosquitoes to inhibit disease transmission.* World Health Organization; 2010.