

**Pidato Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**

21 Oktober 2011

Profesor Intan Ahmad

**ADAPTASI SERANGGA DAN DAMPAKNYA
TERHADAP KEHIDUPAN MANUSIA**



Majelis Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

ADAPTASI SERANGGA DAN DAMPAKNYA TERHADAP KEHIDUPAN MANUSIA

If all mankind were to disappear, the world would regenerate back to the rich state of equilibrium that existed ten thousand years ago. If insects were to vanish, the environment would collapse into chaos.

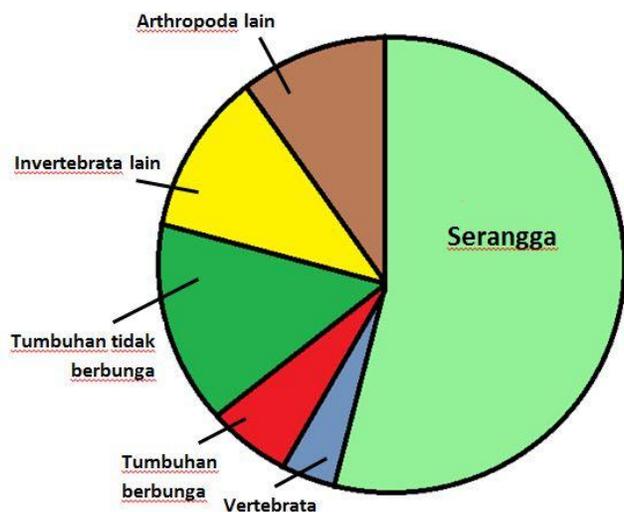
E. O. Wilson (Harvard University)

I. PENDAHULUAN

Serangga ada dimana-mana. Ini adalah suatu pernyataan yang benar, karena dengan cara perhitungan apapun, baik dari segi jenis maupun jumlah, dari semua hewan dan tumbuhan yang ada di bumi ini, lebih dari 60 %-nya adalah kelompok serangga, yaitu hewan berkaki enam (Gambar 1). Sampai saat ini lebih dari satu juta spesies serangga sudah dikenal, tetapi tidak seorang pun tahu atau akan tahu berapa jumlah sebenarnya yang ada di bumi, masih jutaan jenis serangga yang belum dikenal, terutama serangga dari daerah tropis. Berdasarkan data keragaman global pada tahun 1990-an, para peneliti memperkirakan jumlah spesies serangga berkisar antara 5—10 juta (Gaston, 1992).

Sebagai organisme yang paling banyak jumlahnya di bumi, tidaklah mengherankan bahwa serangga dapat ditemukan di hampir semua bagian bumi, bahkan di tempat yang semula diperkirakan tidak ada serangga yaitu salju di benua Antartika, mata air panas di Amerika, di

dalam berbagai sumur minyak, bahkan di dalam usus kuda (Berenbaum 1995). Hanya satu tempat dimana serangga tidak dapat ditemukan yaitu di dalam air laut.



Gambar 1. Persentase keragaman spesies berdasarkan takson utama

(Organisme yang diketahui sekarang berjumlah 1,8 juta, data diambil dari Stork, 1988)

Keberhasilan hidup serangga di bumi ini dapat dilihat dari kurun waktu geologis yang telah dilalui dan kemampuannya untuk beradaptasi terhadap berbagai perubahan lingkungan. Serangga diperkirakan telah muncul di bumi sejak akhir zaman Silurian dan Devonian, kurang lebih 400 juta tahun yang lalu. Sebagai perbandingan, mamalia baru muncul pada kira-kira 230 juta tahun yang lalu dan manusia modern mungkin baru muncul ke bumi ini sekitar 1,8 juta tahun yang lalu.

Mengingat jumlahnya yang amat banyak dan ada di mana-mana,

serangga amat berperan bagi ekosistem dan bagi keberadaan manusia di bumi. May Berenbaum (1995), *entomologist* dari University of Illinois menyatakan peran serangga sebagai berikut: *"like it or not, insects are a part of where we have come from, what we are now, and what we will be"*. Beberapa contoh dapat disampaikan di sini, seperti penyuburan tanah, siklus nutrisi, propagasi tanaman, polinasi dan penyebaran tanaman, termasuk menjaga struktur komunitas hewan melalui rantai dan jaring makanan.

Sebagai kelompok organisme yang amat penting bagi ekosistem, para ahli menyatakan bahwa keberadaan suatu spesies serangga berdampak terhadap keberadaan dan kompleksitas organisme lainnya. Bahkan beberapa serangga dinyatakan sebagai *"keystone species"*, misalnya peran rayap sebagai dekomposer, atau pun serangga yang hidup dalam ekosistem akuatik, yang berperan dalam siklus nutrisi untuk kehidupan organisme di dalam air (Gullan dan Cranston, 2005).

Contoh lainnya adalah nyamuk. Bila jentik nyamuk tidak ditemukan dalam suatu ekosistem perairan, ratusan ikan harus mengubah cara makan mereka agar dapat tetap bertahan hidup. Tetapi masalahnya tidak sesederhana itu karena perilaku makan ikan sudah tercetak secara genetis, sehingga hilangnya jentik nyamuk dapat mengakibatkan matinya ikan yang akhirnya dapat berakibat terganggunya jaring dan rantai makanan (Fang, 2010) .

Bagi manusia, tanpa kita sadari, sebagian besar makanan yang kita

makan, sekitar 50% keberadaannya bergantung kepada serangga. Karena serangga adalah organisme yang membantu penyerbukan hampir 80% dari semua tumbuhan berbunga yang ada di bumi ini. Kebergantungan manusia pada serangga tidak hanya terhadap makanan yang berasal dari tumbuhan tetapi juga makanan yang berasal dari hewan, karena hewan memakan tumbuhan yang keberadaannya banyak dibantu oleh aktivitas serangga.

Berdasarkan fakta tersebut, tantangan yang terbesar bagi ilmuwan adalah menjelaskan peran utama serangga dalam ekosistem kita dan menjelaskan bahwa keberadaan serangga merupakan kepentingan kita juga. Walaupun demikian, adalah suatu fakta yang tidak dapat dipungkiri bahwa sebagian besar manusia menganggap serangga adalah organisme yang merugikan, sebagai hama, sebagai ancaman bagi kehidupan manusia yang harus dibasmi. Para *entomologist* banyak yang sepakat bahwa dari sekitar satu juta spesies serangga yang sudah dikenal, hanya sekitar 2% yang masuk kategori sebagai hama (*pest*), serangga dianggap sebagai hama bila keberadaannya mengganggu manusia, dari berbagai segi, mulai ekonomi, kesehatan, estetika, kenyamanan, dan sebagainya.

Dalam pidato ilmiah ini, saya tidak bertujuan untuk mengupas secara luas literatur tentang serangga karena hal ini akan merupakan pekerjaan yang luar biasa dan tidak tepat untuk suatu pidato ilmiah. Dalam kesempatan ini saya ingin menjelaskan beberapa aspek penting yang berkenaan dengan keberhasilan serangga hidup di bumi,

hubungan serangga dengan manusia, dan komplikasi yang ditimbulkannya.

II. KONSEP SEMINAL BIOLOGI

Entomologi adalah ilmu tentang serangga. Dalam mempelajari keberadaan dan peran serangga di bumi sebagai organisme interaktif, para *entomologist* mengacu kepada 6 (enam) *seminal* konsep dalam biologi. Konsep yang diacu ini diawali dengan konsep klasifikasi yang dikembangkan oleh Carolus Linnaeus pada tahun 1758, kemudian diikuti dengan spesiasi, genetika, ekologi, zoogeografi, dan biologi molekuler. Keenam konsep ini mendasari perkembangan cara berpikir, pemahaman, penelitian, tindakan, serta apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang agar manusia dapat tetap hidup bersama serangga di bumi (Metcalf, 1991). Secara berurutan *seminal* konsep yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1758 Carolus Linnaeus – *Systema Naturae*. Sistem dua nama, atau binomial yang dikembangkan oleh Linnaeus merupakan dasar dari semua sistem klasifikasi yang ada. Sistem ini secara nyata mampu menempatkan serangga sebagai organisme yang paling beragam di bumi.

1859 Charles Darwin – Asal Usul Spesies. Teori Darwin ini dapat menjelaskan diversifikasi serangga, bagaimana serangga melakukan pemilihan inang, serta salah satu yang terpenting adalah teori yang

mendasari kemampuan serangga beradaptasi untuk tetap *survive* terhadap berbagai tekanan faktor lingkungan

1866 Gregor Mendel – Genetika. Ini merupakan dasar ilmu genetika modern. Ilmu genetika (modern) ini mampu memberikan penjelasan lebih lanjut terhadap kelemahan Teori Darwin yang tidak mampu menjelaskan mekanisme terjadinya seleksi alami, bagaimana variasi yang ada dapat diturunkan ke generasi selanjutnya.

1880 Stephen Forbes – Ekologi. Interaksi antarorganisme, rantai makanan, teori ini terbukti amat berguna bagi pengembangan konsep Pengelolaan Hama Terpadu, terutama setelah cara pemberantasan hama dengan menggunakan insektisida banyak mengalami kegagalan.

1912 Alfred Wegener – Lempeng Tektonik. Pemahaman tentang evolusi serangga dan terutama distribusinya di berbagai belahan dunia (zoogeografi) makin dapat dipahami setelah teori ini dapat menjelaskan pemisahan lempeng benua dalam kisaran 200 juta tahun terakhir. Teori ini penting sekali dalam memahami distribusi tanaman dan tumbuhan, dalam arti pembentukan daratan dan lautan, pembentukan pegunungan, termasuk gunung api, yang semuanya memberikan isolasi geografis yang mencegah terjadinya pertukaran materi genetik di antara populasi dan membuat terjadinya spesies baru.

1953 James Watson dan Francis Crick – DNA. Pemahaman tentang struktur DNA merupakan cikal bakal pemahaman baru tentang biologi

serta merupakan salah satu bagian yang paling penting dari ilmu pengetahuan manusia. Pengetahuan ini semakin menambah pengetahuan kita bagaimana serangga memiliki daya adaptasi tinggi terhadap tekanan lingkungan yang diwariskan dari generasi ke generasi melalui materi genetik DNA.

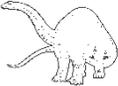
III. HUBUNGAN SERANGGA DENGAN MANUSIA

It is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent. It is the one that is the most adaptable to change.

Charles Darwin

Mengapa serangga dapat mengganggu kehidupan manusia dapat dilihat dari sudut pandang evolusi. Serangga telah berevolusi selama 400 juta tahun dan merupakan salah satu produk evolusi biosfera yang sudah berlangsung sejak lebih dari 4,6 milyar tahun yang lalu (Gambar 2).

Pada mulanya serangga berinteraksi dengan tumbuhan yang dimulai sekitar 280 juta tahun yang lalu. Dalam perjalanannya kemudian serangga mulai berinteraksi dengan hewan dan mampu memanfaatkan sumberdaya hewan. Dalam kurun waktu ratusan juta tahun, serangga tidak berinteraksi dengan manusia, karena manusia modern seperti kita baru muncul di permukaan bumi sekitar 1,8 juta tahun yang lalu. Sejak saat itulah, manusia berinteraksi dan mulai berkompetisi dengan serangga.

Eon	Era	Periode	Epoch	Waktu Geologi (Juta tahun yang lalu)	Bentuk kehidupan		
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary	Holocene	1,8----->	 MANUSIA PERTAMA		
			Pleistocene				
		Tertiary	Neogene			Pliocene	24----->
						Miocene	
		Paleogene	Oligocene			Eocene	
						Paleocene	
	Mesozoic	Cretaceous	Late	144	 Tumbuhan Berbunga		
			Early				
		Jurassic	Late		Mamalia		
			Middle				
			Early				
		Triassic	Late	248	 Dinosaurus		
			Middle				
			Scythian				
		Paleozoic	Permian			SERANGGA PERTAMA 	
	Carboniferous		Pennsylvanian				
			Mississippian				
	Devonian						
	Silurian		438				
Ordovician							
Cambrian							
Proteozoic				Organisme multiseluler pertama			
Archaean				Bakteri pertama			
Hadean			3600-4600	Kehidupan bermula?? Batu tertua Pembentukan bumi			

Gambar 2. Sejarah geologi organisme di Bumi (dimodifikasi dari Mayr, 2001)

Sebagai organisme yang ada di bumi ini 400 juta tahun lebih dahulu dari manusia dan dilengkapi dengan kemampuan adaptasi yang tinggi, serta ketahanannya terhadap berbagai tekanan lingkungan untuk *survive*; serangga dengan mudah memasuki semua sistem kehidupan, termasuk kehidupan manusia (walau dari perspektif evolusi, kita dapat menyatakan bahwa manusialah yang memasuki dunia serangga karena manusia muncul di bumi ini lebih akhir). Mereka ada dimana manusia hidup, menyerang dan merugikan usaha pertanian, peternakan, memasuki tempat dimana manusia bermukim, merusak bangunan dan kesehatan manusia, serta selanjutnya mengganggu ketenangan hidup manusia (*peace of life*), karena pada dasarnya manusia tidak mau berbagi sumberdaya dan ruang dengan serangga.

Walau tidak ada data yang pasti sejak kapan manusia berkompetisi dengan serangga tetapi S.A. Forbes (1915) menyatakan bahwa "*kompetisi atau perjuangan antara manusia dan serangga telah dimulai sejak sebelum ada peradaban dan berlangsung tanpa henti sampai sekarang, dan akan selalu berlangsung terus tanpa henti, selama manusia masih berada di muka bumi ini*".

Hal ini dapat terjadi karena baik manusia, serangga maupun organisme lainnya mempunyai misi yang sama dalam kehidupan, yaitu untuk *survive and reproduce*. Organisme apapun yang tidak melakukan hal ini akan hilang dari bumi. Serangga dan manusia berkompetisi karena keduanya membutuhkan hal yang sama dan pada waktu yang bersamaan.

Betapa seriusnya kompetisi antara serangga dan manusia, dapat dilihat

dari pernyataan yang amat terkenal dari W.C. Allee, seorang ahli zoologi dan ekologi dari Amerika Serikat berikut ini:

"The mortal enemies of man are not his fellows of another continent or race. They are insects that carry germs as well as working notable direct injury. This is not the age of man, however great is superiority in size and intelligence; it is literally the age of insects."

IV. PENGENDALIAN HAMA

Karena serangga berkompetisi dengan manusia untuk berbagai sumberdaya, mengganggu, membahayakan manusia dari segi kesehatan, serta mengganggu kenyamanan hidup manusia, serangga dinyatakan sebagai hama oleh manusia. Hama adalah penamaan yang diberikan oleh manusia dan tidak mempunyai kebenaran ekologis. Suatu atau sekelompok serangga dapat dikatakan sebagai hama pada keadaan dan waktu tertentu tetapi pada keadaan dan waktu yang lain dapat dikatakan sebagai serangga berguna (contoh rayap yang dikatakan sebagai serangga berguna bila rayap melakukan fungsi ekologisnya sebagai pengurai selulosa di hutan, dan menjadi serangga yang amat merugikan karena menyerang dan merusak struktur bangunan permukiman manusia yang terbuat dari kayu).

Umumnya serangga dikatakan sebagai hama bila jumlahnya banyak dan berkompetisi dengan kepentingan manusia. Hal ini

umumnya berlaku untuk hama pertanian yang dapat mengakibatkan gagal panen. Tetapi untuk serangga yang masuk ke permukiman manusia, walau jumlahnya sedikit bahkan sangat sedikit, manusia sudah menganggap serangga sebagai hama dan harus diberantas. Selain itu, sampai saat ini yang menjadi tantangan luar biasa bagi manusia adalah berhadapan dengan peranan serangga yang menjadi vektor dari berbagai penyakit yang mematikan manusia.

Untuk mengurangi jumlah serangga yang merugikan manusia, manusia sudah sejak lama melakukan upaya pengendalian dengan berbagai cara. Cara yang dilakukan untuk mengendalikan hama di lingkungan pertanian (agroekosistem), lingkungan permukiman (*urban ecosystem*), termasuk untuk mengendalikan serangga vektor penyakit, pada awalnya dilakukan dengan teknik yang disebut dengan pemberantasan hama dengan menggunakan insektisida. Namun seiring dengan perjalanan waktu, penggunaan insektisida makin tidak terkendali dan ternyata telah memberikan dampak yang tidak diduga sebelumnya yaitu terjadinya resistensi terhadap insektisida, resurgensi hama, peledakan hama, serta terjadinya kontaminasi lingkungan.

Akibat adanya permasalahan ini timbullah konsep Pengendalian Hama Terpadu (PHT). PHT adalah suatu manipulasi agroekosistem secara komprehensif dengan menggunakan bermacam taktik secara bijaksana sehingga status hama dapat dikurangi ke tingkat yang tidak merugikan secara ekonomi dan dampak negatif dari taktik yang

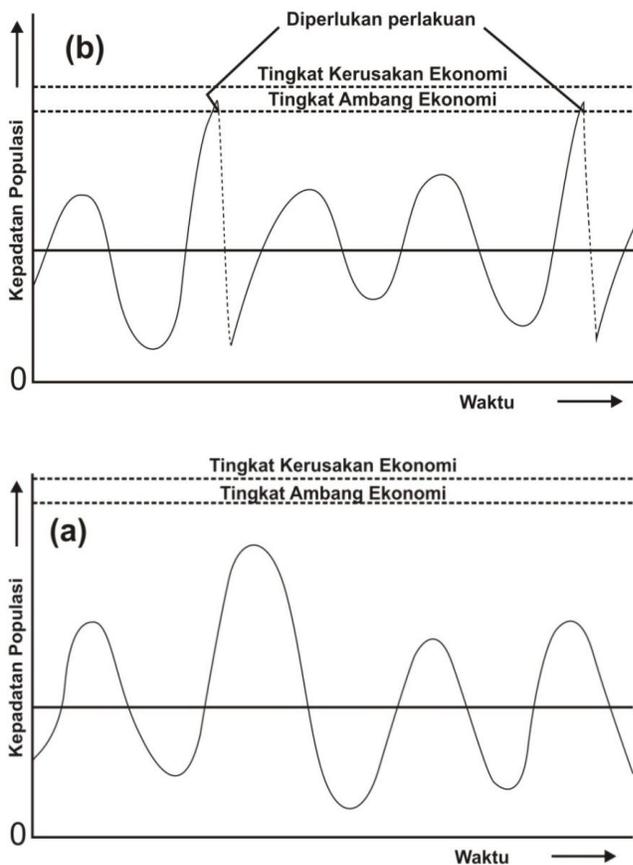
digunakan terhadap lingkungan dapat diperkecil (NAS, 1969). Dalam program PHT tujuannya **bukan memberantas hama**, karena konsep ini mensyaratkan adanya **toleransi terhadap kehadiran serangga untuk jumlah tertentu**. Berbagai taktik dalam PHT dapat digunakan antara lain monitoring pertambahan jumlah hama, penggunaan insektisida secara bijaksana, penggunaan musuh alami, maupun komunikasi yang efektif yang dapat menjelaskan kapan pengambilan tindakan yang perlu dilakukan. Pada awalnya keberhasilan penggunaan konsep PHT pada lingkungan pertanian (agroekosistem) telah memberikan harapan bahwa konsep ini dapat juga digunakan dengan baik untuk ekosistem permukiman (*urban ecosystem*), karena serangga juga telah menginvasi tempat manusia bermukim sehingga perlu dikendalikan.

4.1 Penggunaan Insektisida dan Konsep Nilai Ambang Ekonomi/Eстетika

Setiap tahun rata-rata serangga dapat merugikan antara 10–15% produksi pangan dunia, bahkan untuk komoditas tertentu berdasarkan data dari Indonesia, kerugiannya lebih tinggi, sebagai contoh ulat bawang *Spodoptera exigua* dapat mengakibatkan kehilangan panen sekitar 57% dari daerah sentra produksi bawang di Probolinggo, bila tidak ada usaha pengendalian, kerugian bahkan bisa mencapai 100% (Wibisono *et al.*, 2007).

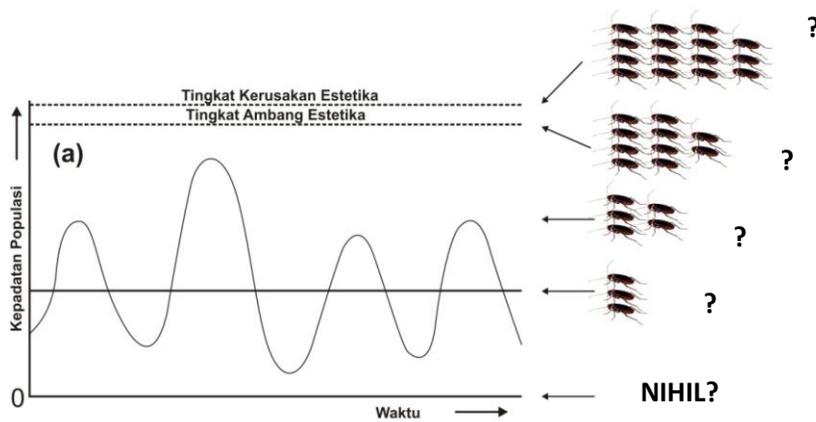
Satu taktik yang umum digunakan untuk mengendalikan hama di lingkungan agroekosistem maupun *urban ecosystem* adalah penggunaan

insektisida. Insektisida digunakan karena insektisida adalah bahan yang paling murah, ampuh untuk digunakan dalam pengendalian hama, dan hasilnya dapat segera dilihat. Penggunaan insektisida di lingkungan pertanian dapat dibantu dengan adanya konsep tingkat ambang ekonomi (*economic threshold level*) dan tingkat kerusakan ekonomi (*economic injury level*) yang dapat menentukan pada keadaan bagaimana insektisida sebagai agen pengendali dapat digunakan (Gambar 3).



Gambar 3. Konsep tingkat ambang ekonomi dan tingkat kerusakan ekonomi dimana (a) kondisi yang belum memerlukan tindakan perlakuan, dan (b) kondisi yang memerlukan tindakan perlakuan (dimodifikasi dari Stern 1965, Ahmad, 1995).

Yang menjadi pertanyaan selanjutnya adalah apakah konsep PHT untuk pertanian dapat dengan serta merta digunakan untuk lingkungan permukiman manusia? Untuk membahas hal ini, perlu melihat lebih lanjut apa yang disebut dengan lingkungan permukiman . Lingkungan permukiman adalah suatu habitat kompleks yang dibuat oleh manusia yang membedakannya dengan lingkungan alami (Robinson, 2005). *Urban environment* adalah lingkungan buatan manusia. Lingkungan permukiman dengan semua kompleksitasnya telah memberikan habitat untuk berbagai serangga dan beberapa di antaranya merupakan hama, seperti kecoa, dan lalat dan juga vektor penyakit manusia seperti nyamuk .



(dimodifikasi dari Stern, 1965, Ahmad, 1995.)

Gambar 4. Konsep tingkat kerusakan estetika

Hama di lingkungan pemukiman umumnya dikendalikan dengan insektisida. Namun berbeda dengan hama pertanian, penentu penggunaan insektisida bukanlah jumlah serangga yang dapat

merugikan secara ekonomi tetapi lebih kepada aspek yang berhubungan erat dengan kualitas hidup manusia, aspek estetika, atau reaksi emosional. Untuk lingkungan permukiman digunakan *aesthetic injury level* (tingkat kerusakan estetika). Tingkat kerusakan estetika didefinisikan sebagai kehadiran (jumlah) hama yang tidak dapat ditolerir. Misalnya terlihatnya satu atau dua ekor kecoak dalam 24 jam di dalam ruangan. Selain itu, toleransi terhadap terlihatnya jumlah kecoak pada umumnya berbeda bagi tiap individu ataupun masyarakat. Hal ini juga berbeda pada masyarakat yang tinggal di kota atau perdesaan; jumlah kecoak yang dapat ditolerir di hotel atau restoran, dan lainnya.

Walau data tentang toleransi terhadap kehadiran serangga di permukiman dari Indonesia tidak ada tetapi data survei dari AS yang pernah dilaporkan pada tahun 1998 (Potter dan Besin) layak untuk dikaji. Hasil survei tersebut menunjukkan bahwa 92% masyarakat merasa khawatir akan kehadiran serangga di dalam rumah mereka. Lebih lanjut, ternyata wanita lebih khawatir dengan kehadiran serangga dibandingkan dengan pria. Hal menarik lain yang diamati, responden dengan tingkat pendidikan lebih rendah dan berpenghasilan bulanan lebih rendah namun tinggal di area *urban* ternyata mempunyai tingkat kekhawatiran yang lebih tinggi dibandingkan dengan masyarakat yang hidup di daerah *rural* dengan tingkat pendidikan dan penghasilan yang lebih tinggi. Walaupun demikian, dari semua data survei yang ada,

hampir semuanya menunjukkan tingkat toleransi yang amat rendah terhadap kehadiran kecoak yaitu 0-1. Data ini adalah kondisi di Amerika Serikat, yang mungkin juga sama dengan negara maju lainnya. Data dari Indonesia tidak ada, tetapi berdasarkan interaksi penulis dengan para praktisi pengendali hama permukiman, secara umum cara pandang masyarakat Indonesia di perkotaan terhadap kehadiran serangga di lingkungannya tidak jauh berbeda dengan yang terjadi di AS. Sedikit sekali manusia yang dapat mentolerir kehadiran serangga di lingkungan permukiman (di dalam rumah), kehadirannya atau bahkan hanya tanda-tanda kehadirannya telah membuat orang melakukan upaya pengendalian dengan insektisida. Pengembangan suatu program pengendalian hama *urban* dengan cara PHT pertanian yang masih mentolerir kehadiran hama tentu tidak akan mendapat dukungan dari masyarakat. Masyarakat menginginkan lingkungan yang bebas hama, apapun caranya. Dengan demikian yang diharapkan oleh masyarakat di lingkungan permukiman bukanlah **pengendalian hama** (yang masih mentolerir kehadiran serangga) **tetapi pemberantasan hama** dengan menggunakan insektisida.

Uraian di atas dapat memperlihatkan bahwa konsep PHT yang selama ini dapat digunakan dengan baik untuk hama pertanian perlu mendapat cara pandang dan konsep yang baru. Konsep yang baru dalam artian bahwa hama perlu dikendalikan tetapi keinginan masyarakat mendapatkan *pest free zone*, walau secara ilmiah tidak

mungkin, perlu memperoleh perhatian. Karena serangga dianggap sebagai hewan pengganggu yang harus diberantas habis di daerah permukiman, insektisida digunakan, baik oleh para pemilik rumah sendiri ataupun melalui bantuan perusahaan pengendalian hama. Perusahaan pengendalian hama diminta untuk mengendalikan hama, tetapi bila program yang ditawarkan oleh perusahaan pengendalian hama tidak bertujuan untuk memberantas hama sampai habis, hal ini kurang mendapat dukungan, bahkan sebagian masyarakat tidak dapat menerimanya.

4.2 Pengendalian Serangga Vektor

Permasalahan pengendalian hama semakin rumit bila hal ini dikaitkan dengan kesehatan manusia dan serangga yang bertindak sebagai vektor penyakit. Misalnya penyakit malaria yang setiap tahunnya menyerang sekitar 300 juta manusia di 106 negara dan mengakibatkan kematian sekitar 1 juta orang, terutama adalah anak-anak di benua Afrika. Atau demam berdarah yang di Indonesia setiap tahun mengakibatkan lebih dari 1.000 kematian (Ahmad *et al.*, 2009).

Pada keadaan ini **konsep nilai ambang ekonomi** yang digunakan untuk hama pertanian tidak dapat digunakan karena walau hanya ada seekor serangga menyerang, misalnya yang dilakukan oleh nyamuk *Aedes aegypti* penyebar demam berdarah, ataupun nyamuk *Anopheles* penyebar malaria, keadaan ini sudah berbahaya karena dapat mengakibatkan kematian manusia (sebenarnya hal ini berlaku juga untuk serangga yang bertindak sebagai vektor penyakit tanaman

ataupun hewan). Dengan demikian untuk serangga vektor penyakit manusia, nilai ambang ekonomi atau estetika harusnya mendekati kepadatan populasi nol.

Selain itu karena menyangkut kesehatan masyarakat yang amat luas, program pengendalian serangga vektor harus dilakukan dengan strategi yang baik dan biasanya dilakukan secara luas mulai tingkat kota, provinsi, negara, atau bahkan secara global dalam koordinasi badan kesehatan dunia. Contoh penggunaan strategi yang tidak baik pernah dilaporkan pada waktu terjadi gagal pengendalian malaria di Srilangka pada tahun 1968–1969 yang telah menyebabkan lebih dari 2,5 juta orang terkena malaria. Hal ini dapat terjadi karena penghentian penggunaan insektisida DDT secara prematur, ditambah dengan permasalahan nyamuk malaria yang ternyata resisten terhadap DDT, dan tidak adanya upaya pengendalian lain selain penggunaan insektisida (Brown *et al.*, 1976).

4.3 Penggunaan Insektisida untuk Pengendalian Hama Permukiman

Filosofi Pengelolaan Hama Terpadu tradisional yang mentolerir kehadiran serangga dalam jumlah tertentu karena tidak merugikan secara ekonomi sulit untuk dilakukan, bahkan dapat tidak diterima di lingkungan permukiman. Pada lingkungan permukiman yang diinginkan adalah menghilangkan hama dari lingkungan manusia. Ini adalah tantangan luar biasa bagi pengembangan program pengendalian

hama permukiman karena masyarakat *urban* makin mempunyai standar kehidupan yang makin tinggi.

Dengan adanya tuntutan lingkungan bebas serangga (*pest free environment*), cara yang dilakukan oleh masyarakat dan terutama perusahaan pengendali hama adalah penggunaan insektisida. Tetapi penggunaan insektisida yang intensif dan tidak terkendali, ditambah dengan minimnya pengetahuan tentang insektisida, menyebabkan resistensi serangga terhadap insektisida lebih cepat terjadi (hal ini diperparah karena insektisida yang dipergunakan untuk lingkungan permukiman pada dasarnya sama dengan insektisida yang digunakan untuk sektor pertanian).

Akibatnya bila serangga telah resisten terhadap insektisida, kegagalan pengendalian akan terjadi. Sebagai contoh survei yang dilakukan di 18 dapur restoran di Kota Bandung, jumlah kecoak Jerman yang ditemukan di setiap dapur berkisar antara 41–243 ekor, walaupun selama itu setiap dapur restoran telah memperoleh penyemprotan insektisida secara rutin setiap dua minggu sekali selama sekitar dua tahun (Ahmad dan Suliyat, 2011).

V. MENGAPA RESISTENSI SERANGGA TERHADAP

INSEKTISIDA DAPAT TERJADI?

Dalam bukunya yang amat terkenal *Silent Spring*, Rachel Carson

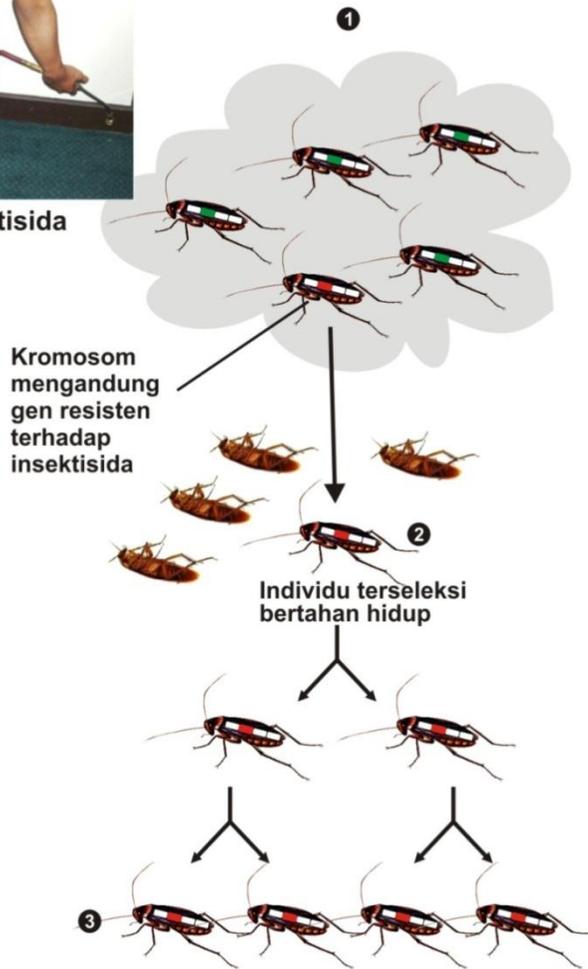
(1962) menulis "*If Darwin were alive today the insect world would delight and astound him with its impressive verification of his theories of survival of the fittest. Under the stress of chemical spraying the weaker members of the insect populations are being weeded out*". Manusia menggunakan insektisida dengan maksud untuk membunuh serangga, tetapi tidak ada insektisida yang 100% efektif. Penggunaan insektisida tidak akan membunuh semua serangga yang terkena insektisida karena selalu akan ada serangga yang tidak mati, yang pada awalnya jumlahnya amat sedikit, tetap akan hidup, memperbanyak diri sekaligus mewariskan kemampuannya untuk resisten terhadap insektisida ke generasi selanjutnya (Gambar 5).

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 resistensi, 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



Aplikasi Insektisida



Gambar 5. Mekanisme terjadinya resistensi terhadap insektisida

(dimodifikasi dari Pearson Education, Inc. 2009)

terhadap insektisida, disebut *microevolution* (akumulasi variasi dalam waktu tertentu). Fenomena resisten terhadap bahan kimia sintetis tidak unik hanya terjadi pada serangga. Bakteri dapat menjadi resisten terhadap antibiotik, protozoa terhadap berbagai obat antimalaria,

demikian pula tikus terhadap berbagai senyawa antikoagulan.

Kecepatan evolusi terjadinya resisten bahkan dapat dilihat dalam waktu yang amat singkat pada pasien manusia pengidap HIV, virus yang ada akan menjadi resisten terhadap obat antivirus hanya dalam waktu 2—3 minggu, mengakibatkan obat antivirus menjadi sama sekali tidak efektif dalam 4 minggu dan seterusnya.

Kemampuan serangga menjadi resisten terhadap insektisida bukanlah kemampuan yang baru diterima pada waktu serangga berinteraksi dengan insektisida buatan manusia. Kemampuan ini sudah berkembang sejak lama, dan merupakan bentuk adaptasi serangga yang dimulai sejak serangga berinteraksi dengan tumbuhan ratusan juta tahun yang lalu, karena serangga membutuhkan tumbuhan sebagai makanannya. Melalui perjalanan evolusi sebagian serangga akan mengembangkan cara berbasis genetik untuk menawarkan atau membuang racun yang masuk ke dalam tubuhnya. Pada waktu yang bersamaan tumbuhan akan mengembangkan suatu zat kimia metabolit sekunder yang tidak disukai atau bahkan dapat membunuh serangga. Tetapi hal ini tidak berlangsung lama karena pada akhirnya serangga juga akan mengembangkan suatu mekanisme untuk menawarkan racun asal tumbuhan tersebut. Hal ini akan berlangsung terus tiada henti sampai sekarang secara resiprokal antara serangga dan tanaman, cara pertahanan yang satu akan dibalas dengan cara pertahanan lainnya. Hal ini disebut sebagai ko-evolusi

serangga dan tanaman atau disebut juga sebagai *coevolutionary armsrace* (Whittaker dan Feeny, 1971).

Fraenkel (1959), dari University of Illinois, adalah penggagas pertama dari konsep ko-evolusi serangga-tanaman. Pada waktu itu ia menyatakannya sebagai "*reciprocal adaptive radiation*" dalam artikel yang amat terkenal dan menjadi paper klasik di majalah *Science* yang berjudul "*The raison d'etre of secondary plant substances*". Paper tersebut menjelaskan tidak saja adanya keragaman yang luar biasa dari metabolit sekunder berbagai tanaman, tetapi juga diversifikasi tanaman dan serangga yang memakan tanaman.

Sebagai hasil ko-evolusi yang berlangsung jutaan tahun, pada masa ini banyak serangga yang sudah resisten (*pre-adapted*) terhadap insektisida. Resistensi terhadap insektisida diperkirakan berkembang dengan cara seleksi alami dari *preadaptive mutant* (mempunyai gen resistensi) yang mempunyai kemampuan detoksifikasi genetik, *target site insensitivity*, ataupun cara *survival* lain, misalnya perubahan perilaku di lingkungan yang ada insektisidanya.

VI. DATA HISTORIS RESISTENSI SERANGGA TERHADAP INSEKTISIDA

Serangga mula-mula diketahui resisten terhadap efek toksik insektisida pada tahun 1908, tetapi baru setelah PD II, resistensi terhadap insektisida memperoleh perhatian secara ilmiah. Hal ini terjadi setelah

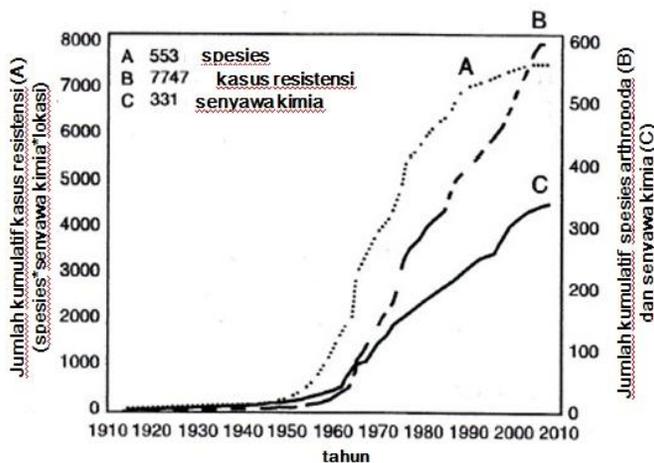
DDT, “ *the newly developed wonder insecticide*” yang ditemukan oleh Paul Muller pada tahun 1939, digunakan di seluruh dunia untuk mengendalikan berbagai serangga vektor penyakit (nyamuk malaria dan kutu manusia penyebar tifus). Pada tahun 1948, Muller memperoleh hadiah Nobel, walau dua tahun sebelumnya DDT gagal mengendalikan *strain* lalat rumah *Musca domestica* di Swedia dan Denmark, nyamuk *Culex pipiens* di Italia, *Aedes sollicitans* di Florida (AS) pada tahun 1947 dan kutu busuk *Cimex lecturarius* di Hawaii (AS) tahun 1947. Pada tahun 1950, kutu manusia di Korea telah resisten terhadap DDT, walau DDT baru digunakan pada musim dingin 1945–1946 (lihat Gambar 6) dengan cara *dusting powder* untuk mengendalikan kutu penyebar penyakit tifus terhadap lebih dari dua juta orang di Korea dan Jepang.



Gambar 6. Tentara pada Perang Dunia II ditaburi bubuk DDT untuk membunuh kutu pembawa tifus (diambil dari US Dept. of Agriculture)

Kecepatan evolusi resisten dipercepat dengan penggunaan DDT secara berlebihan di bidang pertanian. Sebagai contoh pada tahun 1960-an, setiap tahunnya untuk hama pertanian di seluruh dunia digunakan sekitar 400.000 ton DDT. Data tahun 2001, menurut estimasi pestisida (insektisida, herbisida, fungisida, dan sebagainya) yang digunakan seluruh dunia adalah 2,2 miliar ton (Toxipedia, 2011). Volume pestisida yang tinggi menunjukkan ketergantungan kita terhadap bahan kimia ini.

Dengan semakin banyaknya insektisida baru ditemukan serta semakin luasnya penggunaan insektisida, kasus resistensi terhadap insektisida terus berkembang secara *linear*. Sampai tahun 2011 (Gambar 7) diperkirakan lebih dari 553 spesies serangga telah mengalami multiresistensi (*multiple resistance*), yaitu serangga yang resisten terhadap lebih dari satu kelas insektisida.



Gambar 7. Jumlah spesies yang mengalami resistensi dari masa ke masa (data dari Whalon *et al.*, 2008)

Resistensi terhadap insektisida dapat berkembang sedemikian cepat. Hal ini terutama terjadi karena tindakan yang dilakukan oleh orang bila mengetahui bahwa insektisida yang digunakan kurang atau tidak efektif maka cara yang selalu dilakukan adalah dengan menambah dosis dan frekuensi penggunaan, keadaan ini justru mempercepat terjadinya resistensi. Suatu paradoks dan fakta dalam penggunaan insektisida, bahwa insektisida yang pada awalnya dapat memberikan keefektifan yang tinggi, setelah penggunaan berulang, akan menghasilkan populasi yang resisten. Untuk melawan resistensi yang terjadi para praktisi akan menggantinya dengan insektisida lain (apabila tersedia) tetapi hal yang sama akan terjadi. Apalagi bila cara kerja insektisida yang “baru” mempunyai kemiripan dengan insektisida yang sudah resisten.

Cepatnya perkembangan resisten terhadap insektisida membuat industri pestisida tidak sanggup mengembangkan insektisida dalam waktu yang lebih cepat dari terjadinya resistensi terhadap insektisida. Akibatnya pembuatan insektisida dengan cara kerja yang berbeda dengan yang sudah ada membutuhkan biaya yang amat mahal, mulai dari riset dan pengembangan hingga pendaftaran dan dipasarkan. Untuk setiap jenis insektisida baru dibutuhkan dana sebesar US\$ 180 juta yang akan dihabiskan dalam waktu 7–10 tahun; proses yang sama 22 tahun yang lalu membutuhkan dana sekitar US\$ 93 juta (Interagency Pest Management Task Force, 1989).

Secara ekonomi resistensi amat merugikan, sebagai contoh di AS saja, setiap tahun kerugian yang diakibatkan karena insektisida resisten

terhadap hasil pertanian berkisar antara 1–4 miliar dollar (Pimentel *et al.*, 1993), tahun 2001 belanja AS untuk pestisida untuk pertanian adalah \$ 7,4 miliar. Data ini akan makin menarik bila kita dapat memperoleh angka dari seluruh negara maju dan berkembang, termasuk Indonesia.

Dari semua ordo serangga resisten (Tabel 1), kelompok Diptera merupakan kelompok yang paling banyak mempunyai serangga resisten, yaitu 35%. Hampir semua serangga yang resisten dalam kelompok ini adalah serangga penyebar penyakit pada manusia dan hewan, terutama nyamuk.

Tabel 1. Peringkat 20 besar arthropoda resisten

Ranking	Spesies	Famili	Ordo	Jumlah senyawa insektisida
1	<i>Tetranychus urticae</i>	Tetranychidae	Acari	80
2	<i>Plutella xylostella</i>	Plutellidae	Lepidoptera	72
3	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Hemiptera	68
4	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Chrysomelidae	Coleoptera	48
5	<i>Musca domestica</i>	Muscidae	Diptera	44
6	<i>Boophilus microplus</i>	Booidae	Acari	43
7	<i>Blatella germanica</i>	Blatellidae	Dermaptera	42
8	<i>Bermicia tabasi</i>	Aleyrodidae	Homoptera	39
9	<i>Panonychus ulmi</i>	Tetranychidae	Acari	38
10	<i>Aphis gossypii</i>	Aphididae	Hemiptera	37
11	<i>Culex pipiens pipiens</i>	Culicidae	Diptera	34
12	<i>Phorodon humuli</i>	Aphididae	Hemiptera	34
13	<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuidae	Lepidoptera	33
14	<i>Heliothis virescens</i>	Noctuidae	Lepidoptera	33
15	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Culicidae	Diptera	31
16	<i>Spodopoptera littoralis</i>	Noctuidae	Lepidoptera	30
17	<i>Tribolium castaneum</i>	Tenebrionidae	Coleoptera	30
18	<i>Lucilla cuprina</i>	Calliphoridae	Diptera	25
19	<i>Rhizoglyphus robini</i>	Acaridae	Acari	22
20	<i>Anopheles albimanus</i>	Culicidae	Diptera	21

Sumber: APRD, Arthropod Pest Resistance Database

Secara global, dampak terjadinya resistensi serangga terhadap insektisida dirasakan lebih berbahaya bagi kesehatan manusia dibandingkan dengan kerugian di sektor pertanian. Sebagai contoh, setiap tahunnya penyakit malaria menjangkiti sekitar 300 juta orang dan mengakibatkan kematian sekitar 1 juta orang. Kegagalan pengendalian nyamuk malaria disebabkan karena nyamuk semakin resisten terhadap insektisida (Whalon *et al.*, 2008).

Selain itu resistensi serangga terhadap hampir semua insektisida yang digunakan untuk mengendalikan nyamuk malaria diperparah dengan juga terjadinya resistensi protozoa penyebab penyakit malaria terhadap semua obat antimalaria berbasis *chloroquine* (kina). Akibatnya sekarang obat malaria yang masih efektif adalah merupakan kombinasi berbagai obat yang dapat menyerang parasit protozoa dari berbagai cara.

6.1. Laporan Serangga Resisten Insektisida dari Indonesia

Data dari seluruh dunia, untuk hama pertanian, *Plutetella xylostella* adalah serangga yang paling resisten terhadap insektisida (resisten terhadap 72 senyawa insektisida [Tabel 1]) , bahkan sudah dikenal sebagai *monster pest*, karena tidak dapat lagi dikendalikan dengan insektisida (Metcalf, 1991). Data dari Indonesia, walau tidak banyak, menunjukkan bahwa *Plutella xylostella* juga dilaporkan telah resisten terhadap berbagai insektisida, termasuk deltametrin (Listryningrum *et al*, 2003). Untuk hama permukiman, kecoak Jerman *Blattella germanica*, telah mengembangkan resisten terhadap 42 senyawa

insektisida yang berbeda dari semua golongan insektisida yang pernah ada yang pernah dilaporkan dari seluruh dunia (lihat Tabel 1.).

Untuk Laporan dari Indonesia, berdasarkan kepada penelitian yang dilakukan di ITB yang sudah dimulai sejak tahun 2004, menunjukkan bahwa kecoak Jerman ini telah resisten, tidak saja terhadap beberapa insektisida yang umum digunakan untuk mengendalikannya yaitu propoksur dan permetrin, tetapi juga terhadap fipronil, yang merupakan insektisida generasi terbaru untuk mengendalikan kecoak, dan tersedia hanya dalam kemasan umpan (*bait*). Bahkan, tingkat resistensi terhadap permetrin, suatu piretroid, nampaknya adalah tingkat resistensi tertinggi yang pernah dilaporkan di dunia, dengan nilai rasio resistensi (RR_{50}) sebesar 1013 kali [(Rahayu, 2011) (Tabel 2.)]. Sebagai pembandingan laporan sebelumnya tentang tingkat resistensi terhadap permetrin dari Indonesia adalah 95 kali (Ahmad *et al.*, 2007). Penemuan RR_{50} melebihi 1000 kali ini merupakan RR_{50} yang tergolong sangat luar biasa, karena laporan sebelumnya yang pernah dilaporkan paling tinggi adalah untuk kecoak Jerman yang dikoleksi dari Malaysia dengan RR_{50} 280 kali (Lee dan Lee, 2004).

Tabel 2. Toksisitas permetrin secara topikal terhadap kecoa Jerman

Strain	LD ₅₀ (µg/insect)	RR at LD ₅₀	LD ₉₀ (µg/insect)	Slope ± SE
VCRU	0.06	-	0.11	4.917 ± 0.811
GFA-JKT	18.94	315.67	134.46	1.506 ± 0.224
GFB-JKT	0.17	2.83	1.76	1.273 ± 0.369
HHB-JKT	60.79	1013.17	241.69	2.136 ± 0.429
KRSA-BDG	4.27	71.17	49.42	1.205 ± 0.285
KRSB-BDG	0.41	6.83	2.39	1.685 ± 0.368
SBY-SBY	24.33	405.50	73.63	2.665 ± 0.252

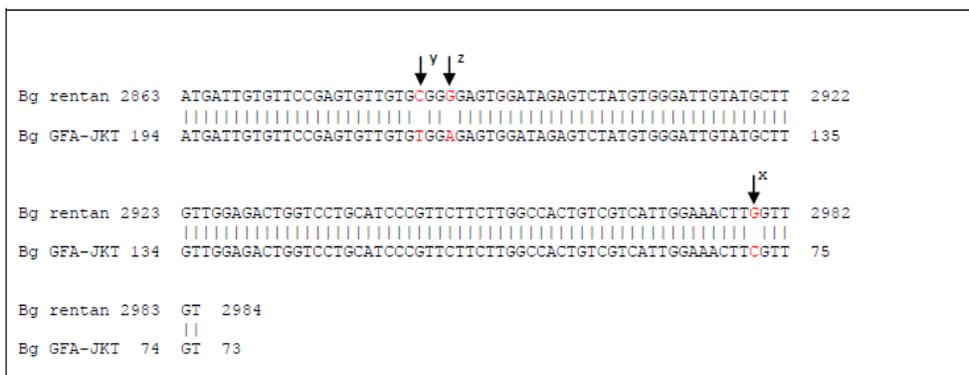
(data dari Rahayu, 2011)

Dengan temuan ini, kami dari ITB mengajukan kriteria baru penentuan tingkat resistensi. Jika sebelumnya tingkat resistensi tertinggi dinyatakan dengan *very high resistance* bila $RR_{50} > 50$ kali, tetapi karena dalam penelitian kami diperoleh hasil > 1000 kali, maka kami mengajukan penggolongan tingkat resistensi baru yang kami sebut dengan *extremely high resistance*. Permasalahan resistensi terhadap kecoak menjadi semakin mengkhawatirkan karena ternyata sebagian *strain* kecoak dari Indonesia, juga telah resisten terhadap generasi terakhir insektisida yang ada yaitu fipronil dengan RR_{50} sebesar 44, 74 pada kecoak strain GFA-JKT.

Tingginya tingkat resistensi kecoak Jerman dari Indonesia, selain disebabkan oleh meningkatnya aktivitas enzim detoksifikasi, juga diduga melibatkan mekanisme lain yaitu terjadinya perubahan sensitivitas target *site* insektisida akibat dari mutasi pada gen pengkode protein *sodium channel* yang merupakan reseptor piretroid. Hasil penelitian Rahayu (2011), menunjukkan adanya mutasi pada nukleotida 2979 (G → C) dari gen pengkode *voltage-gated Na-channel* sel syaraf

(huruf x pada Gambar). Mutasi ini menyebabkan perubahan asam amino leusin menjadi fenilalanin (TTG → TTC) (Gambar 8) .

Lebih lanjut dijelaskan bahwa mutasi yang terjadi pada nukleotida ke 2886 dan 2889 adalah fenomena polimorfisma. Walaupun demikian, bila melihat tingkat resistensi yang amat tinggi terhadap permetrin (> 1000 kali, *extremely high resistance*) diduga ada mutasi (bahkan **super mutasi**) pada nukleotida lain yang tidak teridentifikasi.



Gambar 8. Urutan basa nukleotida hasil sekuensing DNA *Na-channel* dari *Blattella germanica* (Bg) (*GenBank*: BGU73583) dan dari kecoak lapangan GFA-JKT. x: nukleotida ke 2979 (G → C), y: nukleotida ke 2886 (C → T), z: nukleotida 2889 (G → A)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan pada nyamuk *Aedes aegypti* menunjukkan bahwa beberapa strain nyamuk *Aedes aegypti* dari Bandung, telah resisten terhadap permetrin dengan rasio resistensi

sebesar 79 kali (Ahmad *et al.*, 2007). Walaupun demikian, data menarik diperoleh dari hasil uji resistensi yang kami lakukan pada tahun 2006-2007 yang menunjukkan bahwa malation, walau sudah digunakan lebih dari 32 tahun, ternyata masih amat efektif untuk mengendalikan *Aedes aegypti*. Hasil ini menggembirakan, karena menurut literatur, resistensi serangga terhadap insektisida, apapun jenisnya akan muncul ke permukaan setelah 2-20 tahun penggunaan secara terus menerus (Georghio dan Melon, 1983). Bukti bahwa nyamuk *Aedes aegypti* masih rentan terhadap malation nampaknya karena malation sejak beberapa tahun terakhir ini tidak digunakan lagi secara luas untuk mengendalikan nyamuk demam berdarah, karena malation sudah diganti dengan berbagai insektisida golongan piretroid.

VII. PENDEKATAN BARU DAN TANTANGANNYA UNTUK MELAWAN RESISTENSI SERANGGA TERHADAP INSEKTISIDA

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa resistensi adalah suatu respon *microevolution* dari serangga untuk beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dalam upaya mempertahankan eksistensinya di alam. Lebih lanjut, bila dilihat dari perspektif evolusi, pernyataan ini mengandung pengertian bahwa resistensi itu sebenarnya tidak bisa dilawan meskipun ada upaya dilakukan untuk mengeliminasi suatu populasi, karena akan ada yang *survive* dan melanjutkan kehidupannya.

Yang menjadi pertanyaan adalah berapa cepat resistensi dapat terjadi? Dengan demikian, manajemen resistensi hanya dapat dilakukan untuk mengantisipasi kedatangan resistensi serta upaya pengurangan kecepatan terjadinya resistensi.

Hal yang patut dipertimbangkan dalam manajemen resistensi antara lain faktor biologis, semakin banyak jumlah generasi per tahun, kecepatan resistensi akan makin cepat. Faktor lain yang mempengaruhi kecepatan resistensi adalah adanya migrasi dan penyebaran, bila suatu populasi disemprot dengan insektisida, tetapi pada waktu yang bersamaan didatangi imigran serangga yang rentan, evolusi resisten akan terjadi lebih lama. Akhirnya yang paling menentukan terjadinya resistensi adalah faktor operasional, yaitu penggunaan insektisida. Walau ada yang menyatakan bahwa rotasi dan pencampuran insektisida adalah suatu cara untuk memperlambat terjadinya resistensi, tetapi hal ini sebenarnya suatu cara yang tidak baik karena dapat mengakibatkan terjadinya serangga **super resisten**.

Menyadari bahwa penggunaan insektisida "*per se*" mempunyai banyak kelemahan, walau penggunaan insektisida merupakan bagian dari program PHT. Para ahli serangga mulai banyak memberi perhatian kepada metoda rekayasa genetika dalam upaya untuk mengendalikan hama, termasuk serangga penyebar vektor penyakit seperti malaria.

7.1 Tanaman Transgenik

Salah satu yang telah berhasil dikembangkan sejak tahun 1988 adalah pengembangan tanaman transgenik. Pengembangan tanaman transgenik dilakukan untuk mengurangi penggunaan insektisida dengan cara penyemprotan. Hal ini dilakukan dengan memindahkan gen dari bakteri *Bacillus thuringiensis* ke dalam tanaman, antara lain ke tanaman jagung dan kapas. Tanaman yang mengandung gen endotoksin Bt, mampu memproduksi sendiri kristal endotoksin yang sangat beracun terhadap serangga, dengan demikian tanaman yang bersangkutan menjadi resisten terhadap serangga. Tetapi seperti yang sudah diduga sebelumnya, dengan kemampuan adaptasi serangga yang luar biasa, dalam waktu yang tidak lama, efikasi jangka panjang tanaman transgenik mulai menurun dan resistensi muncul.

Data pada tahun 2008 menunjukkan bahwa 3 spesies hama utama kapas dan jagung yaitu *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* dan *Busseola fusca* telah resisten terhadap tanaman dengan gen *Bacillus thuringiensis* (Bt crops) [Tabashnik 2008] (Gambar 9).

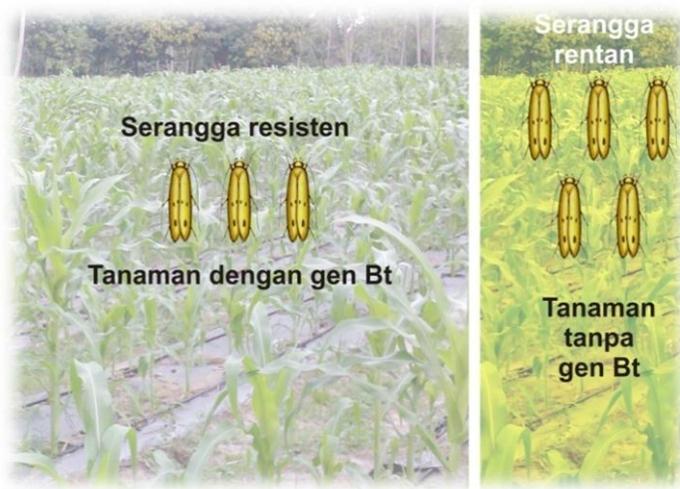


Gambar 9. Penanaman tanaman transgenik dan evolusi serangga resisten (data dari Tabashnik, 2008)

7.2 Strategi Refugia Dosis Tinggi

Dengan timbulnya resisten terhadap tanaman transgenik, para ahli mencari cara agar resisten dapat ditunda, dan untuk tujuan ini digunakan strategi refugia dosis tinggi (*high dose refuge strategy*), dikatakan dosis tinggi karena cara ini akan bekerja dengan baik bila racun yang dimakan oleh serangga dari tanaman transgenik cukup untuk membunuh semua anakan (*hybrid progeny*). Untuk tujuan ini (Gambar 10), disamping tanaman transgenik, juga ditanam tanaman lain yang juga disukai oleh serangga tersebut sebagai inangnya (disebut tanaman refugia). Dengan strategi ini, diharapkan terjadi perkawinan antara serangga resisten dari tanaman transgenik dengan serangga rentan yang ada di tanaman inang lainnya (tanaman refugia) non transgenik. Bila keturunan dari perkawinan ini adalah serangga

dengan alel resesif, serangga ini rentan dan akan mati pada tanaman transgenik, selanjutnya akan memperlambat evolusi resisten. Cara ini sudah merupakan keharusan di beberapa negara maju yang menanam tanaman transgenik (kombinasi antara tanaman transgenik dan tanaman non transgenik sebagai refugia bagi serangga rentan). Walaupun demikian, strategi ini tidak dapat diterapkan pada serangga yang tidak melakukan perkawinan (parthenogenesis) seperti aphid.



Gambar 10. Strategi refugia pada tanaman transgenik (modifikasi dari <http://cls.casa.colostate.edu/transgeniccrops/current.html>)

7.3 Serangga Transgenik, Penggunaan Rekayasa Genetika untuk Mengendalikan Nyamuk Malaria

Salah satu ancaman yang serius terhadap kelangsungan pengendalian malaria di Afrika adalah resistensi terhadap insektisida. Kurang berhasilnya penggunaan insektisida dapat dilihat dari data bahwa setiap tahun ratusan juta orang di Afrika terjangkiti penyakit malaria. 1 juta diantaranya meninggal, terutama anak-anak dan wanita

hamil. Hal ini masih berlangsung terus dan mengakibatkan kerugian yang luar biasa terhadap ekonomi Afrika (Baleta, 2009),

Penelitian untuk melawan resistensi serangga terhadap insektisida kali ini dilakukan dengan melakukan pendekatan baru yaitu melalui rekayasa hayati (*bioengineering*). Ide untuk membuat serangga transgenik ini di inspirasi oleh penelitian Richard Beeman, *Entomologist* dari Kansas State University di AS pada awal tahun 2000 yang melaporkan adanya gen di serangga kumbang tepung (*flour beetle*) yang secara alami mendominasi populasi dengan cara membunuh genotipe pesaing dan bukan dengan membuat turunannya mempunyai keuntungan *fitness*. Beeman berhipotesa bahwa hal ini diakibatkan oleh adanya sepasang gen, satu adalah toksin yang meracuni setiap sel telur yang dihasilkan induk, satunya lagi adalah antidot yang hanya akan menyelamatkan keturunan yang mempunyai *selfish gene*.

Beberapa tahun terakhir ini para peneliti dari AS, Eropa dan Jepang, bekerja bersama untuk menghasilkan nyamuk malaria transgenik, yaitu nyamuk malaria yang tidak mampu menyebarkan penyakit malaria kepada manusia (*bioengineered plasmodium resistant*). Upaya ini dilakukan dengan memasukkan segmen unik DNA ke dalam genom nyamuk malaria. Segmen DNA ini disebut dengan "*selfish gene*" akan menghasilkan enzim yang akan membuat gen tertentu tidak aktif dan akan digantikan oleh *selfish gene* itu sendiri. Nyamuk jantan yang genomnya mengandung *selfish gene* akan kawin

dengan betina, dan keturunannya adalah nyamuk yang tidak mempunyai kemampuan untuk menyebarkan malaria. (Windbichler *et al.*, 2011).

Para peneliti berpendapat bahwa metoda ini pada akhirnya akan dapat digunakan secara luas dengan cara melepaskan sejumlah kecil nyamuk transgenik ke alam, kawin dengan nyamuk liar dan menyebarkan gen resisten ke populasi nyamuk liar. Dengan cara ini, pengendalian nyamuk malaria tidak lagi dilakukan dengan membunuh nyamuk, tetapi dengan membuat nyamuk tidak mampu menularkan penyakit.

Walau cara ini memberikan harapan yang luar biasa untuk pengendalian bahkan eradikasi malaria, tetapi masih banyak tahapan yang harus dilewati sebelum nyamuk malaria transgenik ini dapat dilepas ke alam antara lain hal yang berkaitan dengan etika penyebaran *genetically modified organism (GMO)*, termasuk pertanyaan apakah nyamuk yang sudah direkayasa ini akan melewati seleksi alam (*survive*), dalam arti secara biologis dapat berkompetisi dengan nyamuk liar.

7.4 Serangga dan Obat

Walau sebagian kecil serangga dikenal sebagai organisme yang merugikan bahkan membahayakan kehidupan manusia, dan segala upaya dilakukan oleh manusia untuk mengendalikan serangga; Ternyata serangga dan entomologi dapat juga memberi harapan dan

mungkin dapat berkontribusi terhadap upaya manusia memerangi penyakit menular yang diakibatkan oleh bakteri. Sebagai contoh adalah kecoak, yang dalam tulisan ini dibahas sebagai serangga yang amat merugikan, tetapi hasil penelitian Lee dan beberapa peneliti lainnya dari University of Nottingham, UK yang dilaporkan pada pertemuan Society for General Microbiology tahun 2010 (<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/09/100906202901.htm>) dapat membuat orang berpendapat lain tentang kecoak.

Otak kecoak ternyata mengandung sembilan molekul berbeda yang amat toksik terhadap bakteri. Bahkan dapat membunuh >90% *Staphylococcus aureus* dan *Escheria coli* yang sudah resisten terhadap antibiotika Meticillin tanpa membahayakan sel manusia. Bila molekul tersebut bisa dikembangkan lebih lanjut, hal ini akan merupakan cara dan pendekatan baru untuk memerangi infeksi bakteri yang sudah resisten terhadap berbagai antibiotika. Menjadi hal yang menarik dan menjanjikan karena industri farmasi berupaya terus menemukan antibiotika baru untuk melawan bakteri yang resisten. Lebih lanjut, nampaknya antibiotik yang berasal dari otak kecoak dapat merupakan salah satu antibiotik alternatif, karena banyak antibiotik yang tersedia sekarang efektif terhadap bakteri yang resisten, tetapi mengakibatkan efek samping yang tidak diinginkan.

Dari perspektif evolusi, antibiotik yang ditemukan pada kecoak, merupakan salah satu cara adaptasi yang dilakukan oleh serangga ini agar tetap *survive*. Karena kecoak hidup pada berbagai tempat yang

mengandung banyak bakteri, hampir sama dengan cara yang dilakukan melawan insektisida. Bila kecoak mempunyai molekul yang berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai antibiotika, tentu hal ini tidak unik hanya ada pada kecoak. Masih banyak penemuan yang mungkin diperoleh dari serangga lainnya yang dapat membantu kita meningkatkan tingkat kesehatan.

7.5. *Insect Genome Project*

Dalam suratnya ke majalah *Science* yang terbit beberapa bulan yang lalu, beberapa *Entomologist* yang dipimpin oleh Gene Robinson dari University of Illinois (Robinson *et al.*, 2011) menyampaikan ide proyek raksasa, *insect genome*, yang berpotensi merevolusi cara pandang kita tentang serangga dan bagaimana kita dapat meningkatkan kemampuan dalam mengelola serangga yang menguntungkan sekaligus mengancam kehidupan manusia. Karena tingginya harapan, sebagian *entomologist* menyatakannya sebagai “*the Manhattan Project of Entomology*”. Sebagai pembanding *human genome project* yang membutuhkan dana 3,8 miliar dollar, telah menghasilkan luaran ekonomi sebesar hampir 800 miliar dollar (Battelle, 2011). Untuk serangga, tentu dana awal yang dikeluarkan jauh lebih sedikit, mungkin kurang dari 100 juta dollar, tetapi dengan potensi yang kurang lebih sama.

VIII. PENUTUP

Keluwesannya serangga yang merupakan hasil evolusi sepanjang selama lebih dari 400 juta tahun telah membuat serangga mampu menyesuaikan diri dengan berbagai perubahan lingkungan di bumi. Hal inilah yang membuat serangga mampu berubah dan beradaptasi dengan sistem kehidupan manusia, yang mengakibatkan terjadinya konflik kepentingan antara manusia dan serangga. Konflik terjadi dari hal yang sederhana dimana manusia sama sekali tidak mau berinteraksi dengan serangga, hal yang berhubungan dengan estetika, kerugian ekonomi karena hasil panen kita dirusak oleh serangga, sampai kerugian yang tidak dapat dinilai dengan uang, yaitu hilangnya nyawa manusia, seperti yang terjadi setiap tahun di Afrika.

Tetapi selain hal yang menimbulkan konflik tersebut di atas, kehidupan manusia juga bergantung kepada serangga karena peran besar dalam ekosistem. Manusia dengan segala kemampuannya berupaya memberantas serangga yang merugikan dengan insektisida, tetapi keluwesannya genetik, membuat serangga resisten terhadap insektisida. Cara lainnya yang sedang dilakukan adalah dengan membuat serangga transgenik, yang berpotensi amat efektif, karena spesifik spesies. Tetapi cara inipun, nampaknya akan dilawan oleh serangga dengan kemampuan adaptasinya yang luar biasa. Pada akhirnya, mungkin kita harus berdamai dengan serangga dan dapat bersama-sama hidup di planet bumi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I, Sriwahjuningsih, Astari S, Putra, RE, and Permana AD. 2009. Monitoring Pyrethroid Resistance in Field Collected *Blattella germanica* Linn. (Dictyoptera: Blattellidae) in Indonesia *Entomological Research* 39: 123-127
- Ahmad, I, Astari S, Rahayu R., dan Hariani N. 2009. Status Kerentanan *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Pada Tahun 2006-2007 Terhadap Malation di Bandung, Jakarta, Palembang, Surabaya, Palembang dan Palu. *Jurnal Biosfera* 26 (2): 85-89
- Ahmad I. 1995. *Entomologi dan Teknologi Pengendalian Serangga Hama yang Berwawasan Lingkungan*. Penerbit ITB
- Ahmad I, and Suliyat. 2011. Development of Fipronil Gel Bait Against German Cockroaches, *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blatellidae): Laboratory and Field Performance in Bandung, Indonesia , *Journal of Entomology* 8(3): 288-294
- Ahmad I, Astari S, Tan M., 2007. Resistance of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in 2006 to Pyrethroid Insecticides in Indonesia and its Association with Oxidase and Esterase Levels. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10 (20): 3688-3692
- Baleta A. 2009. Insecticide Resistance Threatens Malaria Control in Africa 2009, *The Lancet*, Volume 374: 1581 – 1582
- Battelle 2011. Economic Impact of the Human Genome Project: How a \$3.8 billion investment drove \$796 billion in economic impact, created 310,000 jobs and launched the genomic revolution.

http://www.battelle.org/publications/human_genomeproject.pdf

Berenbaum MR. 1995. *Bugs in the System: Insects and Their Impact on Human Affairs*.

Brown AW, Haworth AJ and Zahar AR . 1976. Malaria Eradication and Control for a Global Standpoint. *J. Med. Entomol.* 13: 1-25.

Carson R. 1962. *Silent Spring*. Houghton Mifflin, Boston, Mass.

Fang J. 2010. A World without mosquitoes. *Nature*, 466: 432-434

Forbes 1915. *The insect, the farmer, the citizen, and the state*. Illinois State Lab. Natural History

Fraenkel GS. 1959. The raison d'etre of secondary plant substances. *Science*, 129: 1466-147

Gaston KJ. 1991. The Magnitude of Global Insect Species Richness *Conservation Biology*, 5: 283-296

Georghio GP and Melon RB. 1983. Pesticide resistance in time and space. pp. 1-46. In G.P. Georghiou and T. Saito [eds.], *Pest resistance to pesticides*. Plenum Press, New York.

Gullan PJ and Cranston PS. 2005. *The Insects: An Outline of Entomology*. Malden : Blackwell Publishing.

Interagency Pest Management Task Force, 1989. *Second Report to the Congress. USDA, Environmental Protection Agency, and Food and Drug Administration, Washington, D.C*

Lee LC and Lee CY. 2004. Insecticide Resistance Profiles and Possible Underlying Mechanisms in German cockroaches, *Blattella germanica* (Linnaeus) (Dictyoptera: Blattellidae) from Peninsular Malaysia. *Med. Entomol. Zool.* 55: 77-93

Listyaningrum W, Trisyono YA dan Purwantoro, 2003. Pewarisan Sifat Resisten Terhadap Deltamethrin pada *Plutella Xylostella*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia.* 9: 28-34

Mayr E. 2001. *What Evolution Is.* Basic Books.

Metcalf R. 1991. Introduction to the Symposium " Entomology Serving Society: *Emerging Technology and Challenges*: In: S. B. Vinson and R. Metcalf (eds.) Entomological Society of America, Lanham, Maryland, USA.

National Academy of Sciences 1969. *Insect Pest Management and Control.* Publ. 1695. Washington, D.C.

Pimentel D., Krummel J, Gallahan D, Hough J, Merrill A, Schreiner I, Vittum P, Koziol F, Back E, Yen D and Fiance S. 1978. Benefits and Costs of Pesticide use in US Food Production. *BioScience* 28: 772-784

Potter, MF and Bessin RT. 1998. Pest Control, Pesticides, and the Public Attitudes and Implications. *Am. Entomol.* 44:142-147.

- Rahayu R. 2011. Status Mekanisme Resistensi serta *Fitness Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae) Asal Bandung, Jakarta, dan Surabaya Terhadap Propoksur, Permetrin, dan Fipronil. *Disertasi Doktor Program Studi Biologi SITH Institut Teknologi Bandung*: Bandung
- Robinson GE, Hackett KJ, Purcell-Miramontes M, Brown SJ, Evans JD, Goldsmith MR, Lawson D, Okamuro J, Robertson HM and Schneider DJ. 2011. Creating a Buzz About Insect Genomes. *Science*, 331:1386.
- Robinson WH. 2005. *Urban Insects and Arachnids; A Handbook of Urban Entomology*. Cambridge University Press: Cambridge
- Stern VM. 1965. Significance of the economic threshold in integrated pest control. Proc. FAO. *Symp. Integrated Control* 2: 41-56.
- Stork NE. 1988. Insect Diversity: Facts, Fiction, and Speculation. *Biol. J. Linn. Soc.* 35:321-337
- Tabashnik BE. 2008. Delaying Insect Resistance to Transgenik Crops, *PNAS*. 49: 19029-19030
- Toxipedia: <http://toxipedia.org/display/toxipedia/Pesticides>, diakses September 2011
- Whalon ME, David MS and Hollingworth RM. 2008. Analysis of Global Pesticide Resistance in Arthropods. In *Global Pesticide Resistance in Arthropods*, eds. Mark E. Whalon, David Mota-Sanchez, & Robert M. Hollingworth. CABI

Whittaker RH and Feeny P. 1971: Allelochemicals Chemical Interactions Between Species, *Science* 171: 757-770.

Wibisono II, Trisyono YA, Martono A, dan Purwantoro. A. 2007. Evaluasi Resistensi terhadap Metoksifenozida pada *Spodoptera exigua* di Jawa. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, Vol 13 (2): 126-134.

Windbichler N, Menichelli M, Papathanos PA, Thyme SB, Hui Li, Ulge UY, Hovde BT, Baker D, Monnat RJ, Burt A, Crisanti A. 2011. A synthetic Homing Endonuclease-based Gene Drive System in the Human Malaria Mosquito. *Nature*: 473: 212–215