

Patosistem, Strategi, dan Komponen Teknologi Pengendalian Tungro pada Tanaman Padi

Muhammad Muhsin¹ dan I Nyoman Widiarta¹

Ringkasan

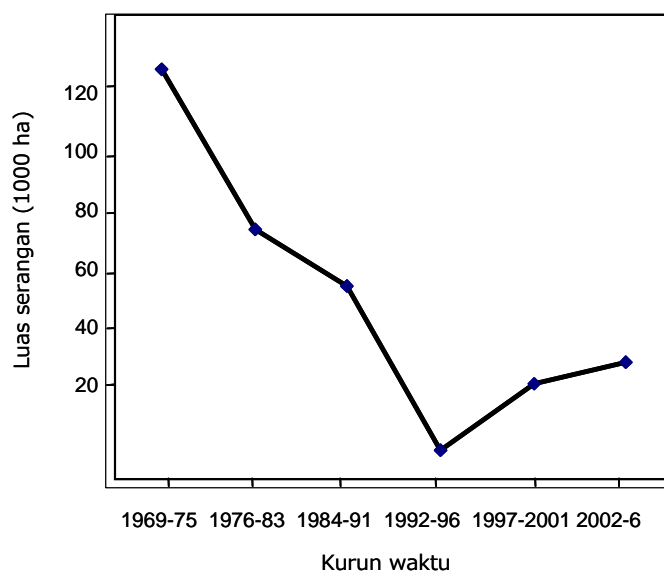
Tungro merupakan penyakit padi yang kompleks ditinjau dari segi virus penyebabnya, hubungan virus-vektor-inang, maupun timbul atau kejadian penularan di lapang. Penyakit ini merupakan hasil interaksi virus batang tungro padi (VBTP) dan virus sferikal tungro padi (VSTP). Sinergi kedua virus itu menghasilkan gejala penyakit tungro yang lebih parah jika dibandingkan dengan infeksi tunggal VBTP yang menginduksi gejala tungro yang lebih ringan atau infeksi VSTP yang tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman inangnya. Penularan VBTP dan VSTP oleh wereng hijau, *Nephotettix virescens*, dengan cara yang semi-persisten memberikan indikasi bahwa keberadaan kedua virus itu hanya menempel pada kutikula dari alat mulut vektornya. Virus-virus tersebut bersifat eksternal dan nonsirkulatif. Interaksi kedua jenis virus berlanjut dalam bentuk bantuan penularan vektor oleh VSTP untuk VBTP, karena VBTP sendiri tidak dapat secara langsung ditularkan oleh vektor. Berdasarkan pemahaman patosistem, dinamika populasi wereng hijau dan epidemiologi dapat disusun strategi pengendalian meliputi: (1) menghindari infeksi berdasarkan periode peka tanaman padi, (2) eliminasi peran virus *helper*, dan (3) menekan pemencaran vektor untuk menekan penyebaran virus. Beberapa teknik pengendalian selain penggunaan varietas tahan virus juga telah dikembangkan, di beberapa daerah telah berhasil diimplementasikan, seperti waktu tanam serempak, tanam sebelum puncak populasi vektor yang dapat dibaca berkaitan dengan puncak curah hujan, dan pergiliran tanam beberapa tipe varietas tahan vektor. Pengembangan teknik pengendalian ke depan perlu lebih memperhatikan dinamika populasi strain virus dan biotipe vektor tungro.

Epidemi penyakit tungro di Indonesia pada akhir 1960an berkaitan erat dengan dimulainya revolusi hijau, di mana petani padi diminta pemerintah untuk mengadopsi teknik budi daya modern melalui program bimbingan massal dan intensifikasi massal, seperti penggunaan varietas unggul yang berpotensi hasil tinggi, pemupukan, dan pemberian pestisida. Semua itu bertujuan untuk meningkatkan hasil padi, sehingga bahaya kelaparan dapat dihindari. Walaupun pada saat itu Indonesia berhasil memproduksi lebih banyak beras, agroekosistem sawah yang terbentuk oleh pola tanam padi yang secara spasial dan temporal berlangsung terus-menerus dengan jarak

¹ Peneliti pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor

tanam yang rapat, telah menciptakan iklim mikro di dalam pertanaman yang sesuai dengan kondisi lingkungan untuk pertumbuhan dan perkembangan hama dan penyakit padi, termasuk penyakit tungro dan vektornya, wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant) (Azzam and Chancellor 2002). Ditambah dengan langkanya sifat tahan terhadap penyakit tungro pada tahap awal pengembangan varietas unggul introduksi, seperti PB5 (IR5) dan turunannya, memperbesar risiko serangan, sehingga mempermudah terjadinya epidemi penyakit ini. Contoh epidemi tungro yang sangat besar terjadi di Sulawesi Selatan dalam periode 1972-1975, di mana luas tanaman padi yang rusak akibat penyakit ini mencapai 97 ribu ha varietas IR5 dan Pelita, dengan kerugian sebesar 162 ribu ton beras atau setara dengan 49 ribu dolar Amerika Serikat (Tantera 1986).

Luas penularan tungro secara nasional terus menurun pascaepidemi besar pada 1975 (Gambar 1), yang mungkin merupakan hasil nyata dari upaya pengendalian berbasis varietas tahan, seperti IR20, IR26, dan IR36. Namun patahnya ketahanan varietas-varietas “tahan tungro” setelah beberapa musim tanam menuntut taktik dan strategi baru pengendalian tungro. Penelitian yang berkaitan dengan pembentukan komponen pengendalian perlu terus dimotivasi dalam rangka mengantisipasi ledakan penyakit tungro di masa yang akan datang. Tungro perlu ditangani dengan baik, karena dapat menimbulkan penularan ulang dan penyebaran ke lokasi yang lain dengan mempertimbangkan potensi kerugian yang akan ditimbulkan.



Gambar 1. Luas penularan tungro dari periode awal revolusi hijau (1969-75) hingga saat ini (Sumber: Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, 1972-2007).

Tulisan ini mengungkapkan gambaran umum penyakit tungro, virus-virus penyebabnya, aspek histopatologis, deteksi dini, hubungan inang-vektor-virus, ketahanan varietas, dan daerah endemik. Juga dibahas dinamika populasi vector, virus, dan strategi dan teknologi pengendaliannya.

Patosistem Tungro

Penyakit Tungro

Kata “tungro” berasal dari bahasa Tagalog di Filipina yang berarti pertumbuhan tanaman yang terhambat. Tanaman padi yang mengidap penyakit tungro menunjukkan gejala kerdil, perubahan warna daun menjadi jingga kemerah-merahan, anakan berkurang, dan malai tidak sempurna (Ling, 1969). Gejala penyakit tungro umumnya bertahan hingga tanaman tua, hanya pada kasus tertentu terjadi pemulihan warna daun menjadi hijau kembali setelah tanaman sakit dipupuk nitrogen. Walaupun demikian, tanaman sakit tetap berbahaya sebagai sumber inokulum, karena virus tungro yang dikandungnya masih tetap ada dan aktif.

Penyakit tungro umum terjadi di negara-negara di Asia Selatan dan Asia Tenggara. Tiap negara bahkan tiap daerah di Indonesia mempunyai sebutan sendiri-sendiri untuk penyakit tungro, seperti: “penyakit merah” di Malaysia, “yellow orange leaf” di Thailand, “accep na pula” dan “cadang-cadang” di Filipina, “penyakit habang” di Kalimantan Selatan, “cella pance” di Sulawesi Selatan, dan “kebebeng” di Bali. Namun tungro merupakan nama yang diadopsi secara resmi dan berlaku hingga kini.

Riwayat tungro di Indonesia tertua di dunia, dimulai dari laporan penularan penyakit “mentek” pada tanaman padi di Jawa (1859) dan sekarang telah dianggap sama dengan penyakit tungro (Ou 1965). Hingga tahun 1953 (Van der Vecht 1953), karakteristik tungro sebagai penyakit yang disebabkan oleh virus belum dapat diuraikan. Penyakit ini diteliti oleh peneliti IRRI di Filipina (Rivera and Ou 1965) dan jika virus menginfeksi tanaman, seperti gejala penyakit kerdil, diskolorasi, sistemik, dan ditemukannya serangga vektor, maka tungro dinyatakan sebagai penyakit padi yang disebabkan oleh virus. Rivera *et al.* (1969) melaporkan penemuan penyakit virus tungro di Indonesia, juga berdasarkan teknik penularan melalui vektor, wereng hijau, dan perkembangan gejala penyakit yang timbul. Di salah satu laboratorium penyakit tanaman Lembaga Pusat Penelitian Pertanian (kini Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan) di Bogor ditemukannya *Rice Tungro Bacilliform Virus* (Hibino *et al.* 1978) atau virus batang tungro padi (VBTP). Hasil penelitian ini melengkapi hasil penelitian sebelumnya di IRRI, yang menyebutkan bahwa penyakit tungro disebabkan oleh tungro virus berbentuk

bulat (Galvez 1968), yang selanjutnya oleh Hibino *et al.* (1978) disebut sebagai *Rice Tungro Spherical Virus* atau virus sferikal tungro padi (VSTP).

Virus-virus Tungro

Penyebab penyakit tungro adalah virus batang tungro padi (VBTP) dan virus sferikal tungro padi (VSTP) (Hibino *et al.* 1991; Jones *et al.* 1991). Karena ukuran tubuh atau partikelnya sangat kecil, disebut submikroskopik dan menggunakan ukuran nanometer ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$), maka untuk dapat melihat virus-virus ini secara jelas dan teliti harus menggunakan mikroskop elektron.

VBTP diketahui mempunyai bentuk batang dengan ukuran panjang 150-350 nm dan lebar 35 nm (Hibino *et al.* 1978; Hibino *et al.* 1991). Kandungan asam nukleat sebagai komponen genetik VBTP adalah asam deoksiribonukleat yang berutas ganda (ADN.u.g.) yang dibungkus oleh selubung yang tersusun dari satu macam protein. Ukuran ADN.u.g.-nya 8,5 kilopasangbasa. Dengan memperhatikan caranya menggandakan diri (replikasi) yang mirip dengan *human immunodeficiency virus* (HIV) yang menginfeksi manusia, dengan cara transkripsi terbalik (Hull 1996), dari ADN \rightarrow ARN \rightarrow ADN, VBTP memiliki kekecualian yang sangat nyata dibanding VSTP dan virus penyebab penyakit padi yang lain.

Partikel VSTP berbentuk bulat dengan garis tengah 30 nm (Hibino *et al.* 1991; Jones *et al.* 1991). Kandungan utama virus ini adalah asam ribonukleat berutas tunggal (ARN.u.t.) dengan selubung yang terbentuk atas tiga jenis protein. Ukuran ARN.u.t.-nya 12 kilobasa. Replikasi virus ini melalui strategi ARN ke ARN. VSTP termasuk ke dalam kelompok besar virus tanamam, yaitu kelompok virus ARN.

Kedua jenis virus tungro di dalam jaringan tanaman ditemukan dalam jumlah sedikit, tetapi cukup untuk membuat perubahan fisiologis tanaman, seperti tanaman kerdil dan diskolorasi. Dalam banyak kasus, titer VSTP relatif lebih banyak dibandingkan dengan titer VBTP.

Aspek Histopatologis

Pengamatan melalui mikroskop elektron menghasilkan gambar-gambar yang menunjukkan bahwa virus-virus tungro ditemukan dalam jaringan pembuluh tapis (floem) maupun pembuluh kayu (silem). Partikel VBTP ditemukan pada kedua jenis jaringan pembuluh tersebut, tetapi partikel VSTP ditemukan terbatas dalam floem (Sta Cruz *et al.* 1993). Pada varietas tahan vektor, kumpulan virus ditemukan di dalam jaringan silem, dan hanya VBTP yang dapat bertahan, sedangkan VSTP tidak. Itulah sebabnya varietas tahan VBTP disebut juga varietas tahan VSTP atau tahan tungro. Tanaman padi yang

tertular VBTP bukan merupakan inokulum yang baik, karena wereng hijau tidak dapat langsung menularkan VBTP. Hal ini berkaitan dengan kemampuan wereng hijau mengisap cairan tanaman dari varietas tahan vektor hanya pada silem, sedikit sekali frekuensi pengisapannya pada floem.

Infeksi tunggal oleh VBTP maupun VSTP dan infeksi ganda mempengaruhi ekspresi gejala penyakit. Infeksi ganda menghasilkan gejala tungro, yaitu terhambatnya pertumbuhan tanaman, sehingga menjadi kerdil dan timbulnya gejala klorosis hingga berwarna jingga-kemerah dan seterusnya. Sebaliknya, infeksi tunggal oleh VBTP menghasilkan gejala tungro yang lebih ringan, yaitu tanaman agak kerdil dan masih terjadi diskolorasi, sedangkan infeksi VSTP tidak menghasilkan gejala penyakit yang jelas, hanya sedikit terhambat.

Deteksi Dini

Untuk menentukan tanaman terinfeksi virus-virus tungro dapat digunakan metode pengamatan gejala penyakit, kemudian diuji di laboratorium dengan metode penularan oleh vektornya (bioassay). Akan tetapi, beberapa kelemahan ditemukan pada sistem ini, seperti pada gejala penyakit yang tidak spesifik, karena ada penyakit lain (umpamanya penyakit kerdil rumput strain 2, Suzuki *et al.* (1988) yang menghasilkan gejala seperti tungro, dan bioassay membutuhkan waktu yang cukup lama (dua minggu), sehingga sangat lemah untuk menentukan (deteksi) penyakit secara dini.

Teknik deteksi virus-virus tungro dapat dilakukan dengan teknik berbasis fisiologi penyakit tanaman (yodium), serologi (lateks dan *enzyme-linked immunosorbent assay*, ELISA), molekuler (berbasis *polymerase chain reaction*, PCR), dan mikroskop elektron (Bajet *et al.* 1985; Hibino 1996; Muhsin 1999a, 1999b; Takahashi *et al.* 1993). Deteksi produk virus pada daun padi sakit dengan yodium akan menghasilkan warna hitam (positif), dan warna coklat muda (negatif) pada daun sehat. Teknik ini termasuk sederhana dengan hasil yang kurang spesifik, tetapi mungkin masih berguna pada kondisi peralatan atau laboratorium minimal.

Teknik ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*) bekerja berdasarkan afinitas antibodi yang spesifik, sehingga hasil uji dapat membedakan tanaman terinfeksi VBTP, VSTP, atau oleh keduanya. Teknik ini tergolong paling banyak digunakan untuk deteksi virus, baik pada studi epidemiologi maupun perakitan varietas tahan, karena sensitivitas, kecepatan (hitungan jam), mudah dilakukan, bahkan jika contoh tanaman yang akan diuji dalam jumlah banyak. Tingkat sensitivitasnya cukup tinggi, sehingga dapat mendeteksi virus pada tingkat pengenceran ekstrak daun sampai 1.000 kali.

Selanjutnya teknik PCR (*polymerase chain reaction*), cara kerjanya dengan mengamplifikasi beberapa saja potongan DNA/RNA target, kemudian

mendeteksi produk PCR dengan cara mengelektroforesis pada gel agarose dan pengecatan etidium bromida. Dengan teknik ini konsentrasi virus yang sangat sedikit sekalipun dapat dideteksi dan tingkat sensitivitasnya 1.000-10.000 kali lebih teliti dari hasil ELISA. Mungkin PCR tergolong teknik yang mahal.

Teknik lain yang sangat bergantung pada mikroskop elektron, seperti dengan metode "leaf dip" (celup) atau metode gabungan dengan serologi, memberikan gambaran yang lebih jelas, karena dapat dilihat langsung partikel virusnya.

Hubungan Kompleks Inang-Vektor-Virus

Dalam patosistem tungro - tanaman padi, VSTP berinteraksi dengan VBTP pada dua aspek: (1) gejala penyakit, dan (2) penularan oleh vektor. Aspek pertama, sinergisme pada penyakit tungro terbentuk akibat kehadiran dan interaksi aditif dari kedua virus tersebut di dalam tanaman padi yang sama. Kasus yang hampir sama juga ditemukan pada interaksi virus kentang X - virus kentang Y pada tanaman kentang yang menghasilkan penyakit mosaik daun kasar dengan intensitas yang lebih parah dibandingkan dengan tanaman yang terinfeksi tunggal. Pada kombinasi virus mosaik tembakau - virus kentang X pada tanaman tomat mengakibatkan daun terkulai, seringkali menyebabkan tanaman mati (Hull 2002). Beberapa spesies padi liar (*Oryza spp.*) yang diinokulasi VBTP dan VSTP mengalami kerusakan sangat parah, bahkan mati. Demikian pula varietas padi yang rentan terhadap tungro, seperti Cisadane, pada percobaan penularan dengan kedua jenis virus tungro, tanaman yang terinfeksi mati atau walaupun hidup tumbuh sangat kerdil, anakan sedikit, diskolorasi daun, malai pendek berisi beberapa butir gabah, dan tidak bernas. Tanaman dari varietas tahan pada umumnya tidak terinfeksi atau terinfeksi dengan persentase rendah sampai sedang.

Aspek kedua berkenaan dengan bantuan penularan dengan vektor oleh VSTP untuk VBTP. Beberapa jenis virus tanaman yang mempunyai vektor wereng daun umumnya mempunyai sifat sirkulatif, mengikuti peredaran darah dan juga ada yang bereplikasi di tubuh vektornya. Akan tetapi, spesies *waikavirus* di mana VSTP termasuk anggotanya, tergolong nonsirkulatif atau bersifat eksternal. Artinya, virus tungro ini hanya menempel pada kutikula dari mulut (*stylet*) wereng hijau (Pirone and Blanc 1996; Hibino and Cabauatan 1987). Pada VSTP, cara penularan yang semi persisten ini sebagai konsekuensi dari hubungan nonsirkulatif.

Pada tanaman yang terinfeksi VSTP dibentuk komponen *helper* yang tergolong jenis protein, suatu spesies protein yang sangat penting dalam penularan virus-virus tungro. VSTP dikenal sebagai *helper* dalam patosistem

penyakit tungro-tanaman padi. Kehadiran protein komponen *helper* sangat diperlukan dalam penularan VBTP oleh wereng hijau (Hibino and Cabauatan 1987). Walaupun demikian berdasarkan analisis sekuens nukleotida genom VSTP, belum ditemukan gen penyandi komponen helper tersebut (Shen *et al.* 1993).

Dalam patosistem tungro, baik penyebab penyakit (VBTP dan VSTP), vektor (wereng hijau, *N. virescens*) maupun inang untuk virus dan vektor (tanaman padi) berinteraksi secara spesifik dan unik (Hibino 1995). Varietas padi yang rentan dapat terinfeksi ganda (VBTP+VSTP), tetapi pada varietas yang agak tahan ditemukan juga tanaman yang terinfeksi tunggal, baik oleh VBTP maupun VSTP saja. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme penggandaan diri kedua virus tidak bergantung antara yang satu dengan lainnya. VSTP dapat ditularkan langsung oleh wereng hijau dari tanaman yang terinfeksi tunggal (VSTP) atau ganda. Penularan VBTP mempunyai pola yang berbeda, karena tidak dapat langsung ditularkan oleh wereng hijau dari tanaman yang terinfeksi VBTP saja. Setelah makan akuisisi pada tanaman terinfeksi VSTP atau pada tanaman terinfeksi ganda, wereng hijau akan menularkan VBTP. Dalam hal ini, VSTP dianggap membantu penularan oleh vektor untuk VBTP. Pola penularan virus-virus tungro, khususnya VBTP, dapat juga berbeda jika dilakukan secara artifisial, seperti dalam sistem penularan dengan teknik (penyuntikan) agroinokulasi, di mana VBTP dapat ditularkan sendiri ke dalam tanaman padi, infeksiif dan VBTP dapat bereplikasi (Sta Cruz *et al.* 1997).

Dari tanaman yang terinfeksi tunggal (VSTP) maupun yang terinfeksi ganda telah diproduksi protein *helper* yang tidak ditemukan pada tanaman yang terinfeksi tunggal VBTP saja (Hibino *et al.* 1978). Hal ini penting untuk diketahui, karena dapat dijadikan dasar dalam merakit komponen pengendalian tungro, di antaranya dengan teknik eliminasi sumber inokulum VSTP. Dengan menghilangkan sumber VSTP, maka penyebaran tungro diharapkan dapat dihambat. Kalaupun terjadi penularan VBTP tidak akan ada penularan lebih jauh, karena sumber VBTP merupakan sumber inokulum yang buruk.

Kompleksitas hubungan wereng hijau, VBTP, VSTP, dan tanaman sebagian dapat diurai lebih jelas, sedangkan sebagian lagi belum terungkap. Pada musim tertentu di daerah endemik tungro mungkin tidak terjadi penularan tungro. Hal ini mungkin disebabkan oleh tidak adanya infeksi virus-virus tungro atau VSTP yang hanya mampu menginfeksi, sehingga gejala tungro tidak tampak (Bajet *et al.* 1986). Beberapa faktor yang menyebabkan tidak adanya penularan virus-virus tungro di daerah endemis tungro pada musim tertentu perlu diteliti lebih lanjut. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan komponen pengendalian tungro, terutama dalam memprediksi serangan virus-virus tungro pada musim-musim berikutnya.

Ketahanan Varietas

Secara garis besar ketahanan tanaman padi terhadap tungro dapat diklasifikasikan dalam ketahanan terhadap vektor, VBTP dan VSTP (Imbe 1991; Tabel 1). Varietas tahan tungro dapat dirakit secara konvensional, konvensional plus marka molekuler, dan teknologi transgenik. Hasil perbaikan varietas tahan tungro pada awalnya diketahui hanya tahan terhadap vektornya (awal 1970-an), tetapi setelah metode ELISA diterapkan (pertengahan 1980an), suatu teknik yang dapat membedakan tanaman terinfeksi VBTP dan VSTP, maka perakitan varietas dapat dilakukan secara lebih tajam. Varietas tahan tungro yang sampai saat ini dilepas ke petani merupakan hasil pemuliaan dengan teknologi tersebut. Dengan makin majunya pengetahuan di bidang biologi molekuler, maka penetapan ketahanan terhadap VSTP, yang selama ini menggunakan metode inokulasi, dapat dilakukan dengan menggunakan marka molekuler. Beberapa marka mikrosatelit seperti RM 10, RM 70, RM 170, RM 190, dan RM 336, merupakan kandidat marka yang dapat digunakan untuk pemuliaan berbantuan marka (Muhsin 2004, *unpublished*).

Teknologi transgenik dilakukan dengan mengintroduksi gen asing ke dalam tanaman padi. Di laboratorium Dr. R. Beachy (Amerika Serikat) gen asing seperti gen yang menyandi selubung protein dan replikasi dari VSTP telah digunakan untuk merakit galur-galur padi tahan VSTP. Dalam uji ketahanan di laboratorium, galur-galur tersebut dilaporkan tahan terhadap VSTP (Huet *et al.* 1999; Sivamani *et al.* 1999). Galur padi transgenik yang dirakit untuk tujuan tahan VBTP, ternyata pada uji penularan belum menunjukkan ketahanan yang diinginkan (Azzam *et al.* 1999). Hal ini berkaitan dengan adanya kendala yang belum sepenuhnya dapat dijelaskan. Dengan

Tabel 1. Sumber ketahanan terhadap virus-virus tungro

Sumber ketahanan	Reaksi terhadap			Gen tahan VSTP pada NIL
	VSTP	VBTP	<i>N. virescens</i>	
ARC 115554	R	T	R	1 dominan
Balimau Putih	S	T	S	Banyak, minor
Utri Merah (16680)	R	T	S	1 resesif
Utri Merah (16682)	R	T	S	1 resesif
Habiganj DW8	R	T	S	1 resesif
Utri Rajapan	R	T	S	1 resesif
<i>Oryza rufipogon</i>	R	T	R	1 resesif
<i>O. longistaminata</i>	R	T	R	1 resesif
<i>O. officinalis</i>	?	T	R	1 resesif

NIL: near isogenic line; R: tahan; S: rentan; T: toleran; Sumber: Choi, 2004

teknologi transgenik pula para peneliti di India telah memanfaatkan gen yang menyandi zat toksik terhadap serangga hemiptera, yaitu lektin sebagai transgen untuk memperoleh tanaman padi tahan tungro (Saha *et al.* 2006). Penelitian tersebut menghasilkan galur padi transgenik yang tidak hanya tahan vektor tungro, tetapi juga mempunyai sifat yang dapat mereduksi titer virus VBTP dan VSTP; namun belum ada laporan yang mengkonfirmasi lebih lanjut tentang keberhasilan penanaman varietas padi dari jenis ini.

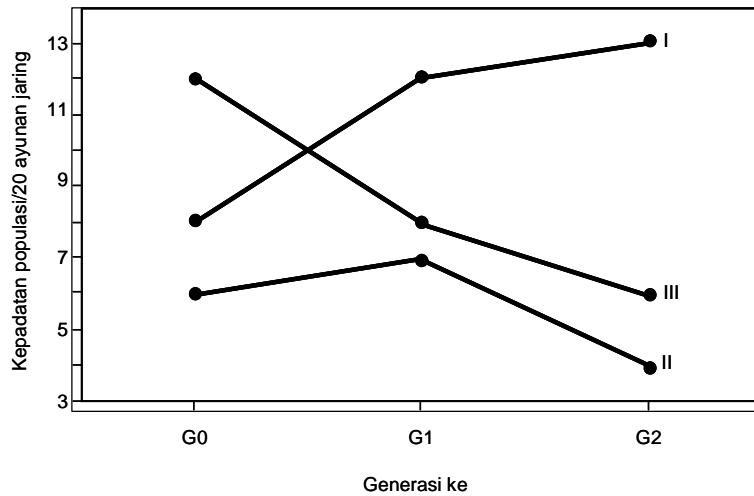
Daerah Endemik

Pascaepidemi, beberapa daerah tertentu masih menjadi tempat tumbuh dan berkembangnya tanaman sakit, atau tanaman padi yang terinfeksi virus-virus tungro. Daerah-daerah tersebut umumnya mempunyai kesamaan ciri dalam menjalankan teknik bercocok tanam padi, yaitu mengikuti pola tanam tumpang tindih: di satu hamparan akan terlihat beraneka ragam kegiatan dan stadia pertumbuhan tanaman, mulai dari pengolahan tanah, pesemaian, pertanaman baru tanam, pertanaman muda, hingga pertanaman menjelang panen. Biasanya di daerah-daerah itu terdapat pengairan pedesaan yang sumber airnya mengalir sepanjang tahun, sehingga menjamin petani untuk melakukan aktivitasnya kapan saja. Di Indonesia, daerah endemik hampir ada di setiap daerah yang tertular tungro, seperti Bogor, Subang, dan Garut (Jawa Barat), Pekalongan dan Klaten (Jawa Tengah), Padang Galak (Bali), dan Pinrang (Sulawesi Selatan).

Dinamika Populasi Vektor dan Epidemiologi

Dinamika Populasi Vektor

Pada saat epidemi terjadi di Sulawesi Selatan, *N. virescens* mendominasi komposisi spesies wereng hijau di Jawa dan Bali (Siwi dan Tantera 1982). *N. nigropictus*, terutama pada musim hujan, kadang-kadang mendominasi komposisi spesies wereng hijau di Kalimantan Selatan. Di beberapa kabupaten di Sulawesi Selatan ada kecenderungan pergeseran dominasi *N. virescens* ke *N. nigropictus*. Dalam satu musim tanam, *N. virescens* umumnya melewati tiga generasi (Gambar 2).



Gambar 2. Pola perkembangan kepadatan populasi wereng hijau.

Pada pola I peningkatan kepadatan populasi terjadi terus-menerus dari G0 sampai G2, pola II dicirikan oleh peningkatan kepadatan populasi hanya sekali dari G0 ke G1. Pada pola III, dari sejak G0 kepadatan populasi tidak meningkat sama sekali. Pada pola tanam padi-padi-padi, pertumbuhan kepadatan populasi sebagian besar (45%) mengikuti pola II, sedangkan pada pola tanam padi-bera-padi/padi-palawija-padi sebagian besar (54,4%) mengikuti pola III. Dengan demikian, pada pola padi-padi-padi sebagian besar wereng hijau dapat berkembang sampai pertengahan pertumbuhan tanaman, sedangkan pada pola tanam padi-bera-padi/padi-palawija-padi sebagian besar wereng hijau tidak berkembang sama sekali.

Hasil analisis Widiarta *et al.* (1999a) dengan menggunakan analisis faktor kunci (*key-factor analysis*) (Podoler and Rogers 1975) diketahui bahwa kematian pada periode nimfa termasuk pemencaran imago menjadi faktor kunci kematian populasi wereng hijau pada pola padi-padi-padi maupun padi-padi-bera/palawija. Berdasarkan analisis tanggap bilangan (*numerical respond analysis*) diketahui bahwa pada pola tanam padi-padi-padi tidak ditemukan adanya tanggap bilangan antara kematian nimfa dengan kepadatan populasi pemangsa, tetapi tanggap bilangan ditemukan pada pola tanam padi-padi-bera/palawija. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan faktor yang mempengaruhi perkembangan populasi wereng hijau antara kedua pola tanam tersebut. Pemencaran imago (*dispersal*) berperan pada pola padi-padi-padi, terutama yang tidak serempak tanam, sedangkan pada pola padi-padi-bera/palawija faktor penyebab kematian (*mortality*) berperan penting.

Implikasi dari pemahaman tersebut terhadap strategi pengendalian tungro adalah pada daerah pola tanam padi-padi-padi dapat dilakukan pengurangan kemampuan dan penularan virus oleh wereng hijau sebagai komponen utama pengendalian. Pola tanam padi-padi-palawija/bera, peran faktor penyebab kematian wereng hijau seperti predator, parasit, dan patogen, khususnya jenis jamur (jamur entomopatogen) penting dan perlu ditingkatkan perannya guna menekan kepadatan populasi wereng hijau sebagai penyebar penyakit tungro.

Epidemiologi

Perkembangan penularan VBTP dan VSTP pada tanaman padi di lapang telah dilaporkan oleh Hasanuddin *et al.* (1999). Tanaman padi terinfeksi VSTP terdeteksi lebih awal dari VBTP. Tanaman sakit ini terdeteksi sejak tanaman berumur dua minggu setelah tanam (MST). Tingkat infeksi pada fase awal hanya 10%, selanjutnya meningkat sampai 80% pada saat tanaman berumur 6 MST. Tanaman terinfeksi VBTP baru terdeteksi saat tanaman umur 4 MST. Gejala visual infeksi tungro jelas terlihat pada saat kedua virus telah terdeteksi. Perkembangan komposisi virus seperti itu juga terjadi di Filipina (Tiongco *et al.* 1988). Wereng hijau yang dapat menularkan VSTP telah terdeteksi di pertanaman berumur 2 MST. Dengan demikian, sejak awal wereng hijau imigran yang membawa VSTP telah mampu membantu penyebaran VBTP.

Komposisi spesies wereng hijau di lapang dapat mempengaruhi intensitas penularan virus tungro. Pergeseran dominasi spesies ke arah spesies yang efisien penularan, wereng hijau *N. virescens*, maka potensi infeksi tungro semakin tinggi (Hibino and Cabunagan 1986).

Selama satu periode pertumbuhan tanaman padi terjadi dua puncak tanaman terinfeksi, yaitu pada umur 4 dan 8 MST (Suzuki *et al.* 1992). Puncak infeksi pertama disebabkan oleh serangga imigran pada 2 MST, sedangkan puncak infeksi kedua disebabkan oleh infeksi yang terjadi pada 6 MST oleh keturunan serangga imigran.

Virus-virus tungro merupakan kumpulan strain-strain yang mempunyai sifat virulensi berbeda. Dominasi strain ke arah yang virulen dapat menyebabkan kerusakan tanaman sangat parah. Sebaliknya, dengan strain kurang virulen pertanaman tidak tertular berat. Lokasi dan musim tanam mempengaruhi komposisi strain VSTP yang dominan (Azzam *et al.* 2000a dan 2000b), sehingga mempengaruhi pula proses penularan dan penyebaran tungro di lapang. Tingkat penyebaran tungro juga dipengaruhi oleh fluktuasi vektor. Dengan demikian, selain dinamika strain virus, dinamika populasi vektor juga perlu dipahami untuk menyusun strategi pengendalian penyakit tungro.

Strategi dan Teknologi Pengendalian

Strategi Pengendalian

Pengendalian tungro sementara ini didasari pada pemikiran bahwa teknik pengendalian yang efektif dan komprehensif sukar dikembangkan dan mungkin belum pernah ada, sehingga yang tersedia hingga saat ini adalah hasil pengembangan secara parsial berdasarkan pemahaman ketahanan tanaman padi, epidemiologi virus, dan dinamika populasi wereng hijau. Umpamanya, pengendalian vektor dengan penanaman varietas tahan atau dengan aplikasi insektisida. Pengendalian yang efektif dan efisien telah direduksi ke dalam komponen utama varietas tahan.

Strategi pengendalian yang telah dikembangkan meliputi: (1) menghindari infeksi berdasarkan periode peka tanaman padi, (2) eliminasi peran virus *helper*, dan (3) menekan pemencaran vektor untuk menekan penyebaran virus.

Strategi menghindari infeksi disusun berdasarkan pengetahuan bahwa tanaman padi peka terhadap infeksi tungro dari saat tanam sampai berumur 45 HST (Anonim 1992). Menghindarkan tanaman dari infeksi (*escaped*) pada saat berumur di bawah 45 HST dapat menjadi strategi untuk menekan kehilangan hasil (Sama *et al.* 1991).

Strategi eliminasi peran virus *helper* dibangun berdasarkan pengetahuan bahwa virus bulat (VSTP) memegang peran penting dalam penularan penyakit tungro. Eliminasi sumber VSTP akan menghambat penularan tungro. Pengendalian tungro dengan strategi eliminasi VSTP diperkirakan dapat diterapkan tanpa memperhatikan pola tanam (Hasanuddin *et al.* 2001).

Strategi menekan pemencaran vektor berdasarkan pengetahuan bahwa penyakit tungro menjadi masalah yang serius pada pola tanam padi tidak serempak. Pada pola tanam tidak serempak, populasi wereng hijau terpelihara rendah oleh kebiasaan pemencaran (*dispersal behavior*) imago (Widiarta *et al.* 1999). Pemencaran imago yang tinggi pada pola tanam tidak serempak memperluas penyebaran tungro. Upaya yang dapat menekan pemencaran wereng hijau akan membatasi penyebaran tungro. Pengendalian terpadu dengan strategi menekan pemencaran imago lebih menekankan pada pengendalian secara alamiah.

Dalam penerapan pengendalian terpadu penyakit tungro, ketiga strategi tersebut dapat diterapkan sebagai gabungan dua atau ketiga strategi, bergantung pada kondisi setempat. Komponen teknologi pengendalian yang telah dirakit dan diterapkan untuk implementasi ketiga strategi tersebut diuraikan berikut ini.

Teknologi Pengendalian

Pergiliran varietas tahan vektor

Varietas padi tahan wereng hijau dikelompokkan berdasarkan sumber gen tetua tahan menjadi T1, T2, T3, dan T4 (Tabel 2). Anjuran penggunaan varietas tahan wereng hijau adalah sebagai berikut: di Jawa Barat dapat ditanam varietas tahan golongan T1, T2, dan T4; di Jawa Tengah semua golongan varietas tahan, di Yogyakarta varietas tahan dari golongan T2 dan T4. Di Jawa Timur dan Bali hanya dianjurkan varietas tahan golongan T4, dan di NTB dianjurkan untuk menanam varietas tahan virus.

Pewilayahan varietas tahan

Ada lima varietas padi tahan tungro yang telah dilepas, yaitu Tukad Petanu, Tukad Unda, Tukad Balian, Kalimas, dan Bondoyudo (Widiarta dan Daradjat 2000) dengan kesesuaian pengembangan seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Tukad Petanu dapat dianjurkan untuk seluruh daerah endemis, sedangkan

Tabel 2. Varietas tahan wereng hijau untuk mengendalikan penyakit tungro.

Golongan	Varietas	Gen tahan
To	IR5, Pelita, Atomita, Cisdane, Cikapundung, dan Lusi	-
T1	IR20, IR30, IR26, IR46, Citarum, dan Serayu	<i>Glh 1</i>
T2	IR32, IR38, IR36, IR47, Semeru, Asahan, Ciliwung, Krueng Aceh dan Bengawan Solo	<i>Glh 6</i>
T3	IR50, IR48, IR54, IR52 dan IR64	<i>Glh 5</i>
T4	IR66, IR70, IR72, IR68, Barumun, dan Klara.	<i>Glh 4</i>

Sumber: Sama *et al.* 1982 dan 1991.

Tabel 3. Pewilayahan kesesuaian varietas tahan virus tungro.

Varietas	Kesesuaian di					
	Jabar	Jateng	Jatim	Bali	Mataram	Sulsel
Tukad Petanu	+	+	+	+	+	+
Tukad Unda	-	-	-	-	+	+
Tukad Balian	-	-	+	+	-	+
Bondoyudo	-	-	+	+	-	+
Kalimas	-	-	+	-	-	-

+ : Sesuai (tungro < 50%) ; -: Tidak sesuai (tungro > 50%)

varietas Tukad Unda dianjurkan untuk ditanam di NTB dan Sulawesi Selatan. Varietas Tukad Balian dianjurkan untuk ditanam di Bali dan di Sulawesi Selatan. Kalimas dan Bondoyudo diketahui tahan di Jawa Timur dan juga dapat ditanam di Bali dan Sulawesi Selatan.

Tanam serempak

Tanam serempak dapat memperpendek waktu keberadaan sumber inokulum atau waktu perkembangbiakan. Tanam serempak mengurangi sumber tanaman sakit dan membatasi waktu berkembang biak vektor penular patogen. Untuk mengurangi serangan penyakit tungro, tanaman serempak dianjurkan minimal dalam luasan 20 ha berdasarkan gradasi penyebaran penyakit (*disease gradient*) dari satu sumber inokulum (Widiarta *et al.* 1997).

Tanam tepat waktu

Tanam tepat waktu bertujuan untuk mengendalikan penyakit tungro (Sama *et al.* 1982 and 1991). Tanaman padi diketahui peka terhadap infeksi virus tungro pada saat berumur kurang dari satu bulan setelah tanam. Dengan mengamati pola fluktuasi populasi wereng hijau dan intensitas penularan tungro sepanjang tahun, akan diketahui saat ancaman paling serius oleh penyakit tungro. Waktu tanam diatur sedemikian rupa sehingga pada saat ancaman tungro serius, tanaman sudah berumur lebih dari 1 bulan setelah tanam. Tanam tepat waktu hanya efektif mengendalikan penyakit tungro di daerah dengan pola tanam serempak. Waktu tanam serempak berhasil mengendalikan tungro di Sulawesi Selatan, namun sulit diterapkan pada daerah yang waktu tanam padinya tidak serempak seperti di Bali. Tanam tepat waktu dapat menghindarkan tanaman dari serangan wereng maupun infeksi virus tungro (Sama *et al.* 1982; Yulianto dan Hasanuddin 1997). Di Maros, Sulawesi Selatan, padi yang ditanam pada awal musim hujan (Desember-Januari) atau musim kemarau (Juni-Juli) terhindar dari serangan wereng dan tungro (Sama *et al.* 1982).

Sanitasi

Gulma, singgang, dan ceceran gabah yang tumbuh (*voluntir*) dapat menjadi inang serangga maupun patogen pada saat tanaman padi tidak ada di areal pertanaman. Wereng coklat hanya dapat berkembang dengan baik pada tanaman padi, singgang, dan voluntir. Wereng hijau spesies *N. virescens* yang paling efisien sebagai vektor tungro juga hanya dapat melengkapi siklus hidupnya dengan baik pada tanaman padi. Wereng hijau spesies lainnya seperti *N. nigropictus* dan *N. malayanus* lebih baik perkembangannya pada gulma. Virus tungro selain dapat menginfeksi tanaman padi, juga bisa ditularkan oleh wereng hijau kepada gulma (Yulianto dan Hasanuddin 1997). Keberadaan ketiga wereng hijau tersebut dan gulma menyebabkan penyakit tungro endemis di lokasi tersebut. Disarankan, petani membuat pesemaian

setelah lahan dibersihkan atau tanam padi dengan cara tabur benih langsung (Tabela). Pada cara sistem Tabela, lahan dibersihkan dan diratakan terlebih dahulu sebelum benih ditabur. Dengan demikian, inokulum tungro telah berkurang pada awal pertumbuhan tanaman. Tabela akan lebih efektif mengurangi penularan tungro bila dilakukan serempak minimal 20 ha. Tabela yang tidak serentak sehamparan akan menjadikan tanaman padi yang ditanam paling lambat mendapat akumulasi vektor maupun inokulum tungro. Beberapa daerah di Sulawesi Selatan telah mempraktekkan Tabela, namun karena waktu tabur yang tidak bersamaan maka tungro tetap meluas.

Tanam jajar legowo

Tanam jajar legowo menyebabkan kondisi iklim mikro dibawah kanopi tanaman kurang mendukung perkembangan patogen. Pada tanaman padi yang ditanam dengan sistem legowo, wereng hijau kurang aktif berpindah antarrumpun, sehingga penyebaran tungro terbatas (Widiarta *et al.* 2003).

Pengairan

Pengeringan sawah dapat meningkatkan kematian nimfa wereng coklat. Akan tetapi, bila tanaman padi tertular penyakit tungro, pengeringan sawah akan mendorong wereng hijau untuk berpindah tempat. Pengeringan sawah yang terkena tungro akan mempercepat penyebaran penyakit.

Patogen serangga

Patogen menginfeksi serangga (*entomopathogen*) sehingga menyebabkan kematian pada serangga. Ada tiga jenis atogen serangga yaitu jamur, bakteri, dan virus. Patogen dari jenis jamur yang telah dikembangkan untuk mengendalikan wereng coklat, wereng hijau, dan lembing batu adalah *Metarhizium* dan *Beuveria*. Jamur entomopatogen menekan penyakit tungro dengan *triple actions* melalui mengurangi kemampuan pemencaran wereng, secara langsung dapat mematikan dan secara tidak langsung mengurangi keperidian betina.

Pestisida

Penyemprotan pestisida dapat menekan populasi wereng hijau yang berarti akan mengurangi kecepatan penyebaran virus. Pestisida yang dapat digunakan untuk mengendalikan wereng hijau berasal dari jenis nabati dan anorganik. Bahan kimia yang dapat membunuh serangga yang diperoleh dari ekstrak tanaman seperti tembakau dan akar tuba merupakan bahan yang sudah dikenal sejak lama sebagai pembunuh serangga. Tanaman yang digunakan untuk mengendalikan wereng hijau (insektisida nabati) antara lain nimba dan sambilata (Mariappan and Saxena 1983; Widiarta *et al.* 1997).

Penggunaan insektisida anorganik sebaiknya berdasarkan pengamatan. Deteksi ancaman penyakit tungro dapat dilakukan pada waktu pesemaian dan saat tanaman berumur 3 minggu setelah tanam. Pemantauan wereng hijau di pesemaian dilakukan dengan jaring serangga sebanyak 10 ayunan untuk mengevaluasi kerapatan populasi wereng hijau. Di samping itu juga perlu dilakukan uji yodium untuk mengetahui intensitas tungro pada 20 daun padi 15 hari setelah sebar. Jika hasil perkalian antara jumlah wereng hijau dan persentase daun terinfeksi sama atau lebih dari 75, maka pertanaman terancam tungro. Di pertanaman, aplikasi insektisida dilakukan apabila terdapat lima gejala penularan tungro dari 10.000 rumpun tanaman pada saat berumur 2 MST atau satu gejala tungro dari 1.000 rumpun tanaman pada saat berumur 3 MST. Insektisida yang dapat digunakan antara lain adalah imidacloprid, tiametoksan etofenproks, dan karbofuran.

Kesimpulan

- (1) Kemajemukan di dalam patosistem penyakit tungro - tanaman padi sebagian telah diurai. Interaksi antara VBTP dan VSTP minimal terjadi di dua aspek, sinergisme gejala penyakit dan bantuan penularan oleh vektor untuk VBTP oleh VSTP.
- (2) Kejadian infeksi VSTP yang tidak menimbulkan gejala pada musim tertentu di daerah endemis tungro masih menyisakan pertanyaan yang perlu dicari jawabannya dengan penelitian lanjutan. Apakah di daerah ini VSTP tidak ada atau bilamana ada tanaman terinfeksi VSTP apakah strainnya ini bersifat nonhelper, sehingga penularan VBTP pun tidak tampak.
- (3) Strategi pengendalian berdasarkan pemahaman parsial dalam patosistem penyakit tungro - tanaman padi perlu memadukan komponen pengendalian secara bertahap, sesuai tahapan budi daya padi dalam pengelolaan tanaman terpadu.

Pustaka

- Anonim. 1992. Tungro dan wereng hijau. Direktorat Bina Perlindungan Tanaman. 194 hal.
- Azzam, O. and T.C.B. Chancellor. 2002. The biology, epidemiology, and management of rice tungro disease in Asia. *Plant Disease* 86: 88-100.

- Azzam, O., A. Kloti, F. Sta Cruz, J. Futterer, E.L. Coloquio, I. Potrykus, and R. Hull. 1999. Genetic engineering of rice for tungro resistance. p. 39-44. *In*: T.C.B. Chancellor, O. Azzam, and K.L. Heong, (Eds.). Proc. Workshop Rice Tungro, Dis. Manag. Los Banos, Philippines, 9-11 November 1998.
- Azzam, O., M. Arboleda, K. Umadhay, J. de Los Reyes, F. Sta. Cruz, A. Mackenzie, and K. McNally. 2000a. Genetic composition and complexity of virus populations at tungro-endemic and outbreak rice sites. *Arch. Virol.* 145: 2643-2657.
- Azzam, O., Ma. L.M. Yambao, M. Muhsin, K. McNally, and K. Umadhay. 2000b. Genetic diversity of rice tungro spherical virus in tungro-endemic provinces of the Philippines and Indonesia. *Arch. Virol.* 145: 1183-1197.
- Bajet, N.B., R.D. Daquiag, and H. Hibino. 1985. Enzyme-linked immunosorbent assay to diagnose rice tungro. *J. Pl. Prot. Tropics* 2: 125-129.
- Bajet, N.B., V.M. Aguiro, R.D. Daquioag, G.B. Jonson, R.C. Cabunagan, E.M. Mesina, and H. Hibino. 1986. Occurrence and spread of rice tungro spherical virus in the Philippines. *Plant Dis.* 70: 971-973.
- Choi, I-L. 2004. Current status of rice tungro disease research and future program. *Dalam*: A. Hasanuddin, I.N. Widiarta, dan Sunihardi (Eds.). Strategi pengendalian penyakit tungro: status dan program. Puslitbangtan, Bogor. p. 3-14.
- Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan. 2008. (<http://www.ditlin.deptan.go.id>., diakses 20 Pebruari 2008).
- Galvez, G.E. 1968. Purification and characterization of rice tungro virus by analytical density gradient centrifugation. *Virology* 35: 418-426.
- Hasanuddin A., D. Kusdianan, dan I.N. Widiarta. 1999. Perkembangan komposisi virus tungro pada tanaman padi dan wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant) di pertanaman. Prosiding Kongres Nasional XV dan Seminar Ilmiah PFI, Purwokerto, 16-19 September 1999.
- Hasanuddin, A., I.N. Widiarta, dan M. Muhsin. 2001. Penelitian teknik eliminasi sumber inokulum RTSV: suatu strategi pengendalian tungro. Laporan Riset Unggulan Terpadu IV. Kementrian Ristek dan DRN.
- Hibino, H. 1995. Rice tungro-associated viruses and their relationships to host plants and vector leafhoppers. *In*. P.R Singh, U.S. Singh, and K. Kohmoto (Eds.). Pathogenesis and host specificity in plant diseases, histopathological, biochemical, genetic and molecular bases. Vol. III, viruses and viroid. p. 393-403. Oxford, Elsevier.

- Hibino, H. 1996. Biology and epidemiology of rice viruses. *Ann. Rev. Phytopathol.* 34: 249-274.
- Hibino, H., M. Roechan, and S. Sudarisman. 1978. Association of two types of virus particles with penyakit habang (tungro disease) of rice in Indonesia. *Phytopathology* 68: 1412-1416
- Hibino, H., T. Usugi, T. Omura, T. Tsuchizaki, K. Shohara, and M. Iwasaki. 1985. Rice grassy stunt virus: a planthopper-borne circular filament. *Phytopathology* 75: 894-899.
- Hibino, H. and R.C. Cabunagan. 1986. Rice tungro associated viruses and their relation to host plants and vector leafhopper. *Trop. Agr. Res. Ser.* 19: 173-182.
- Huet, H., S. Mahendra, J. Wang, E. Sivamani, C.A. Ong, L. Chen, A. de Kochko, R.N. Beachy, and C. Fauquet. 1999. Near immunity to rice tungro spherical virus achieved in rice by a replicase-mediated resistance strategy. *Phytopathology* 89: 1022-1027.
- Hull, R. 1996. Molecular biology of rice tungro viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34: 275-297.
- Hull, R. 2002. *Matthew's plant virology*. Academic Press, New York. 1001 p.
- Imbe, T. 1991. Breeding for resistance to tungro disease of rice. Tropical Agriculture Research Center. 136 p.
- Jones, M.C., K. Gough, I. Dasgupta, B. L. Subba Rao, J. Cliffe, R. Qu, P. Shen, M. Kaniewska, M. Blakebrough, J.W. Davies, R.N. Beachy, and R. Hull. 1991. Rice tungro disease is caused by an RNA and a DNA virus. *J. Gen. Virol.* 72: 757-761.
- Ling, K. C. 1969. Rice virus disease. IRRI, Los Banos, Philippines. 134 p.
- Mariappan, V. and R.C. Saxena. 1983. Effect of custard-apple oil and neem oil on survival of *Nephotettix virescens* (Homoptera: Cicadellidae) and on rice tungro virus transmission. *J. Econ. Entomol.* 76: 573-576.
- Muhsin, M. 1999a. Teknik ELISA untuk mendeteksi virus-virus tungro padi. Prosiding Temu Ilmiah Bioteknologi Pertanian. Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan. Bogor. 4 p.
- Muhsin, M. 1999b. Deteksi virus tungro sferikal dari tanaman padi dengan teknik reverse transcription- polymerase chain reaction (RT-PCR). Prosiding Temu Ilmiah Bioteknologi Pertanian. Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan. Bogor. 3 p.
- Ou, S.H. 1965. Rice disease of obscure nature in tropical Asia with special reference to "mentek" disease in Indonesia. *Int. Rice Res. Comm. Newsl.* 14: 4-10.

- Pirone, T.P. and S. Blanc. 1996. Helper dependent vector transmission of plant viruses. *Annu. Rev. Phytopathol.* 34: 227-247.
- Podoler, H. and D. Rogers. 1975. A new method for the identification of key factors from life-table data. *J. Anim. Ecol.* 44: 85-114.
- Rivera, C.T., S.H. Ou, and D.M. Tantera. 1969. Tungro disease of rice in Indonesia. *Plant Dis. Rep.* 52: 122-124..
- Rivera, C.T. and S.H. Ou. 1965. Leathopper transmission of "tungro" disease of rice. *Plant. Dis. Rep.* 49: 127-131.
- Saha, P. 2006. A novel approach for developing resistance in rice against phloem limited viruses by antagonizing the phloem feeding hemipteran vectors. *Plant Mol. Biol.* 62:735-752.
- Sama, S., I. Manwan, dan A. Hasanuddin. 1982. Pengaruh pergiliran varietas terhadap pengendalian wereng hijau *Nephotett'uc virescens* sebagai penular penyakit tungro pada tanaman padi. Seminar Intern Puslitbang Tanaman Pangan. 20p.
- Sama, S., A. Hasanuddin, I. Manwan, R.C. Cabunagan, and H. Hibino. 1991. Integrated rice tungro disease management in South Sulawesi, Indonesia. *Crop Protection* 10: 34-40.
- Shen, P., M. Kaniewaska, C. Smith, and R.N. Beachy. 1993. Nucleotide sequence and genomic organization of rice tungro spherical virus. *Virology* 193: 621-630.
- Sivamani, E., H. Huet, P. Shen, C.A. Ong, A. de Kochko, C. Fauquet, and R.N. Beachy. 1999. Rice plants (*Oryza sativa* L.) containing *Rice tungro spherical virus* (RTSV) coat protein transgenes are resistant to virus infection. *Mol. Breed.* 5: 177-185.
- Siwi, S.S. dan D.M. Tantera. 1982. Shifting in dominance of green leafhopper species in Indonesia. *J. Penel. dan Pengemb. Pert.* 1: 57-67
- Sta Cruz, F.C., H. Koganezawa, and H. Hibino. 1993. Comparative cytology of rice tungro viruses in selected rice cultivars. *J. Phytopathology* 138: 274-282.
- Sta. Cruz, F.C., M.I. Boulton, R. Hull, and O. Azzam. 1999. Agroinoculation allows the screening of rice for resistance to rice tungro bacilliform virus. *J. Phytopathol.* 147: 653-659.
- Suzuki, Y., I.N. Widiarta, I.N. Raga, S. Nasu, and H. Hibino. 1988. Virulent strain of rice grassy stunt virus (GSV) identified in Indonesia. *IRRN* 13: 24-25

- Suzuki, Y., I K. R. Widrawan, I G. N. Gede, I N. Raga, Yasis, and Soeroto. 1992. Field epidemiology and forecasting technology of rice tungro disease vectored by green leafhopper. *JARQ* 26: 98-104.
- Takahashi, Y., E.R. Tiongco, P.Q. Cabauatan, H. Koganezawa, H. Hibino, and T. Omura. 1993. Detection of rice tungro bacilliform virus by polymerase chain reaction for assessing mild infection of plants and viruliferous vector leafhoppers. *Phytopathology* 83: 655-659.
- Tiongco, E.R., R.C. Cabunagan, Z. Flores, and H. Hibino. 1988. Tungro (RTV) development in rice. *IRRN* 13:10.
- Van der Vecht, J. 1953. The problem of mentek disease of rice in Java. *Contrib. Gen. Agric. Res. Sta. No. 137*, Bogor, Indonesia. 88 p.
- Widiarta, I N., Yulianto, dan M. Muhsin. 1997. Status penyebaran penyakit tungro pada padi di Jawa Barat. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 3:23-31.
- Widiarta, I N., D. Kusdiaman, dan A. Hasanuddin. 1999a. Dinamika populasi *Nephotettix virescens* pada dua pola tanam padi sawah. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 5:42-49.
- Widiarta, I N., D. Kusdiaman, dan A. Hasanuddin. 2003. Pemencaran wereng hijau dan keberadaan tungro pada pertanaman padi dengan beberapa cara tanam. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 22:129-133.
- Yulianto dan A. Hasanuddin. 1997. Identifikasi gulma sebagai inang alternatif virus tungro. *Prosiding Kongres Nasional XIV dan Seminar Ilmiah PFI*, Palembang 27-29 Oktober 1997.