

Epidemiologi dan Strategi Pengendalian Penyakit Tungro

R. Heru Praptana dan M. Yasin¹

Ringkasan

Tungro merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman padi yang menjadi permasalahan dalam usaha peningkatan produksi padi nasional. Penyakit yang disebabkan oleh dua jenis virus (RTSV dan RTBV) yang ditularkan oleh wereng hijau *Nephotettix virescens* telah menyebar dan menyebabkan kehilangan hasil di beberapa sentra produksi padi. Tiga penyebab utama terjadinya penularan tungro adalah ketersediaan sumber inokulum virus, adanya serangga penular, dan tanaman peka. Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh tanaman, virus tungro, wereng hijau sebagai vektor, kondisi lingkungan dan praktik budi daya. Penerapan pengendalian terpadu tungro yang bertujuan untuk menghindarkan pertanaman dari infeksi virus yang meliputi beberapa komponen yaitu waktu tanam tepat, penggunaan varietas tahan, pergiliran varietas, kultur teknis (pemilihan waktu tanam, pemilihan varietas, eradikasi sumber inokulum pada tahap pratanam, pengelolaan persemaian, cara dan pengaturan jarak tanam, penggunaan pupuk N tidak berlebihan, pengaturan ketersediaan air, eradikasi sumber inokulum pada saat pascapanen dan pergiliran varietas), penggunaan pestisida sesuai dengan kondisi tertentu dan pengelolaan penyakit tungro melalui pendekatan bioteknologi telah berhasil mengurangi intensitas penyakit tungro.

Tungro merupakan salah satu penyakit penting tanaman padi yang penyebarannya tidak hanya di Indonesia tetapi juga di beberapa negara Asia lainnya seperti India, Malaysia, Vietnam, Filipina, dan Thailand (Ling 1979; Suranto 2004). Potensi hasil suatu varietas padi tidak akan tercapai apabila tanaman tertular virus tungro, bahkan tidak akan diperoleh hasil apabila infeksi terjadi sejak awal fase vegetatif atau pada tahap persemaian (Hasanuddin 2002). Di Indonesia, tungro menempati urutan ke lima dari hama dan penyakit penting padi setelah wereng cokelat, penggerek batang, blas, dan tikus. Kehilangan hasil padi akibat penyakit tungro dalam kurun waktu 1996-2002 mencapai 12.078 t/tahun atau senilai Rp 12-15 milyar (Soetarto *et al.* 2001).

Tungro pertama kali ditemukan di Filipina pada tahun 1963 sebagai penyakit tanaman padi yang paling endemis dan diidentifikasi sebagai penyakit yang disebabkan oleh virus yang ditularkan oleh *Nephotettix virescens*. Di

¹ Peneliti pada Loka Penelitian Penyakit Tungro

Malaysia, tungro dikenal sebagai *penyakit merah* yang semula diduga sebagai kelainan fisiologis akibat tanaman kekurangan nitrogen. Tungro juga ditemukan di Thailand pada tahun 1964 dan dinamakan penyakit daun kuning oranye (Ou 1985). Di Jepang, tungro dikenal sebagai penyakit *waika* yang disebabkan oleh virus berbentuk sferikel (Matsuo *et al.* 1991). Di Indonesia, tungro pertama kali ditemukan pada tahun 1859, dan kemudian dikenal dengan berbagai nama daerah seperti *mentek* di Jawa, *habang* di Kalimantan, *cella pance* di Sulawesi Selatan, *konjo* di Sulawesi Tengah, dan *kebeng* di Bali (Manwan *et al.* 1987).

Penyebaran tungro di Indonesia awalnya terbatas di beberapa daerah di Sulawesi Selatan, Kalimantan Selatan, Nusa Tenggara Barat, dan Sulawesi Utara, namun kemudian meluas ke Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Yogyakarta (Satomi 1972). Pada tahun 1972/73 telah terjadi penularan tungro di Sulawesi Selatan dan pada tahun 1998/1999 terjadi serangan berat di Lombok Tengah dan Lombok Timur seluas 10.000-15.000 ha (Hasanuddin 1999). Ledakan penyakit tungro juga terjadi pada akhir tahun 1995 di Surakarta yang mengakibatkan 12.340 ha sawah puso atau setara dengan Rp 25 milyar (Puslitbang Tanaman Pangan 1995). Pengamatan pada MH 1996/97 menunjukkan bahwa gejala tungro ditemukan di bagian tengah dan selatan Jawa Barat (Widiarta 1997) dan pada MH 2003/04 terjadi kerusakan tanaman seluas 2.700 ha di Banten. Penularan tungro di Sulawesi Tengah terjadi di Kab. Donggala, Tolitoli, dan Parigi Moutong, dan pada MT 2002 penularan terluas terjadi di Parigi Moutong (Negara *et al.* 2004). Di Sulawesi Tenggara, penularan tungro terjadi di Kab. Konawe, khususnya di Wawotobi dan Pondidaha (Idris *et al.* 2004). Sampai saat ini penularan tungro masih sering terjadi di Sulawesi Selatan, NTB, Bali, Jawa Barat, dan Jawa Tengah.

Tungro disebabkan oleh dua jenis virus yang berbeda, yaitu virus bentuk batang *Rice tungro bacilliform virus* (RTBV) dan virus bentuk bulat *Rice tungro spherical virus* (RTSV). RTBV berdiameter 35 x 150-350 nm dengan panjang 100–300 nm dan RTSV berdiameter 30 nm (Hibino *et al.* 1978; Omura *et al.* 1983). Kedua jenis virus tersebut tidak memiliki kekerabatan serologi dan dapat menginfeksi satu sel tanaman secara bersama-sama tanpa mengakibatkan proteksi silang antara keduanya (Mukhopadhyay 1995). Virus tungro hanya ditularkan oleh wereng hijau secara semipersisten, tidak terjadi multiplikasi virus di dalam tubuh vektor, dan tidak terbawa pada keturunannya (Hibino and Cabunagan 1986). Terdapat lima spesies wereng hijau yang dapat menularkan virus tungro yaitu *Nephotettix virescens*, *N. nigropictus*, *N. malayanus*, *N. parvus*, dan *Recilia dorsalis* (Rivera *et al.* 1968; Dahal *et al.* 1990). Wereng hijau menularkan virus tungro dengan efisiensi yang berbeda-beda dan *N. virescens* merupakan vektor terpenting karena efisiensi penularannya paling tinggi (Sogawa 1976; Siwi and Suzuki 1991).

Penularan virus tungro dapat terjadi apabila vektor memperoleh virus setelah menghisap tanaman yang terinfeksi virus kemudian berpindah dan

menghisap tanaman sehat tanpa melalui periode laten di dalam tubuh vektor. Vektor memerlukan waktu selama 15-30 menit untuk memperoleh virus dari sumber inokulum (*aquisition feeding*) dan melakukan penularan (*inoculation feeding*) selama 10-30 menit. Masa inkubasi pada tanaman berkisar antara 1-3 minggu (Hibino and Cabunagan 1986). Masa retensi virus di dalam tubuh vektor dapat mencapai 4-5 hari (Hibino 1987), namun apabila vektor menghisap kedua jenis virus maka retensi untuk RTBV adalah 7 hari dan 3-4 hari untuk RTSV serta akan kehilangan virus saat ganti kulit (Hibino 1983). Di dalam penularan virus tungro, RTBV merupakan virus dependen, sedangkan RTSV sebagai virus pembantu (*helper virus*). Wereng hijau dapat menularkan RTSV dan RTBV secara bersama-sama dari sumber inokulum yang mengandung kedua jenis virus. Penularan RTBV hanya terjadi apabila vektor telah menghisap RTSV terlebih dahulu, sedangkan penularan RTSV dapat terjadi tanpa bantuan RTBV (Hibino *et al.* 1977).

Secara fisiologis, tanaman padi yang terinfeksi virus tungro mengalami penurunan klorofil dan hormon, penurunan laju fotosintesis, dan peningkatan laju respirasi yang diikuti oleh meningkatnya enzim oksidase. Secara morfologis, tanaman padi yang tertular virus tungro menjadi kerdil, daun berwarna oranye, jumlah anakan sedikit dan kehampaan malai tinggi (Ling 1975). Infeksi virus tungro juga menyebabkan penurunan jumlah malai per rumpun, pemendekan malai, jumlah gabah per malai, dan penurunan kandungan pati (Chuwdhury and Mukhopadhyay 1975). Kompleksitas gejala tungro dipengaruhi oleh tingkat ketahanan varietas, umur tanaman saat terjadi infeksi dan jenis virus yang menginfeksi (Hibino *et al.* 1978). Tanaman padi yang terinfeksi kedua jenis virus tungro menunjukkan gejala yang kompleks. Apabila hanya terinfeksi RTBV maka gejala yang ditimbulkan lebih ringan, sedangkan apabila hanya terinfeksi RTSV maka tanaman tidak menunjukkan gejala (Hibino 1987). Gejala tungro mulai terlihat pada saat tanaman berumur 10-15 hari setelah inokulasi dan di pertanaman gejala muncul pada 21-30 hari setelah tanam (Ling 1976).

Tinggi rendahnya intensitas penyakit tungro ditentukan oleh beberapa faktor, di antaranya ketersediaan sumber inokulum, adanya vektor, adanya tanaman peka, dan kondisi lingkungan yang memungkinkan (Suzuki *et al.* 1992), namun keberadaan vektor yang mengandung virus (*viruliferous vector*) merupakan faktor yang paling penting (Ganapathy *et al.* 1999). Intensitas penyakit tungro juga dipengaruhi oleh tingkat ketahanan varietas dan stadia tanaman. Semakin muda stadia tanaman, tersedia sumber inokulum, dan tingginya populasi vektor infeksi menyebabkan tingginya intensitas penyakit tungro (Rapusas and Heinrich 1987). Tingkat infeksi awal penyakit tungro ditentukan oleh populasi vektor infeksi yang migrasi ke pertanaman, sedangkan perkembangan selanjutnya ditentukan oleh tingkat infeksi awal dan kepadatan vektor generasi pertama. Ledakan tungro umumnya terjadi dari sumber infeksi yang berkembang pada pertanaman yang tidak serempak. Persentase infektivitas vektor migran pada stadia awal pertanaman menyebabkan tingginya

intensitas penyakit tungro yang akan menjadi sumber infeksi bagi pertanaman di sekitarnya (Raga *et al.* 2004).

Epidemiologi Penyakit Tungro

Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu; 1) tanaman (tingkat ketahanan varietas, keseragaman genetik varietas pada suatu wilayah, tipe dan stadia tanaman), 2) virus tungro (ketersediaan sumber inokulum, variasi dan virulensi strain virus tungro), 3) wereng hijau sebagai vektor (fluktuasi populasi wereng hijau, kepadatan populasi vektor infeksi, variasi biotipe, dan efisiensi penularan virus tungro oleh wereng hijau), 4) kondisi lingkungan (iklim, suhu dan kelembaban) dan 5) praktik budi daya. Terjadinya epidemi penyakit tungro di suatu wilayah sangat ditentukan oleh interaksi faktor-faktor tersebut. Pengelolaan penyakit tungro berdasarkan konsep epidemiologi dilakukan dengan pengelolaan faktor-faktor penyebab terjadinya epidemi yang disusun dalam suatu *theoretical and practical framework*, protokol peramalan dan monitoring penyakit tungro, serta strategi pengendalian.

Tanaman

Ketahanan varietas padi terhadap penyakit tungro merupakan kompleksitas ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro. Ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro dikendalikan oleh beberapa gen yang saling independen. Terdapat 15 pasang gen yang mengendalikan sifat ketahanan terhadap wereng hijau yaitu *Glh1*, *Glh2*, *Glh3*, *Glh4*, *Glh5*, *Glh6*, *Glh7* (Gallum and Khush 1980), *Glh8*, *Glh9*, *Glh10* (Khush *et al.* 2004), *Glh10t*, *Glh11t* (Angeles and Khush 2000), *Glh11*, *Glh12*, dan *Glh13* (Azzam and Chancellor 2002). Varietas tahan wereng hijau akan mencegah atau menghambat penularan virus tungro. Semakin rentan suatu varietas terhadap wereng hijau semakin tinggi kemungkinan terjadinya epidemi penyakit tungro. Varietas tahan virus tungro akan terhindar dari infeksi atau mencegah replikasi virus tungro. Varietas ARC 11554, Utri Merah, Habiganj DW8, dan Utri Rajapan merupakan sumber gen ketahanan terhadap RTSV dan RTBV (IRRI 1997). Keberadaan varietas yang tidak mempunyai gen ketahanan terhadap wereng hijau dan virus tungro menyebabkan terjadinya epidemi penyakit tungro.

Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh keseragaman genetik varietas pada suatu hamparan yang sangat luas dengan kondisi lingkungan yang sama. Keberadaan varietas dengan gen ketahanan yang sama akan mempercepat tekanan seleksi wereng hijau dan terjadinya mutasi virus tungro. Epidemi penyakit tungro juga dipengaruhi oleh stadia tanaman, stadia sumber inokulum dan populasi wereng hijau infeksi. Semakin muda tanaman dan sumber inokulum semakin besar peluang terjadinya penularan tungro.

Ketersediaan tanaman muda di lapangan akan mempercepat terjadinya epidemi, misalnya di daerah dengan pola tanam yang tidak serempak akan selalu tersedia pertanaman muda sehingga penularan virus tungro akan terjadi terus-menerus.

Virus Tungro

Keragaman virulensi virus tungro dan tekanan seleksi koloni wereng hijau merupakan kompleksitas penyebab terjadinya epidemi penyakit tungro. Perbedaan geografis dan intensitas interaksi virus tungro dengan tanaman menyebabkan adanya variasi virulensi dan strain virus baru. Strain virus tungro biasanya bersifat spesifik lokasi. Virulensi strain virus tungro di Asia Tenggara (Indonesia dan Filipina) berbeda dengan Asia Selatan (India). Dengan teknik molekuler telah ditemukan beberapa strain RTBV yang diisolasi dari varietas FK 135 dan TN1 di beberapa daerah yang berbeda di Filipina (Cabauatan *et al.* 1995).

Hasil uji multilokasi menunjukkan bahwa varietas Tukad Petanu (varietas tahan tungro) sesuai untuk virus tungro di Bali, Jawa Barat, dan Lombok dengan virulensi yang berbeda (Choi 2004). Berdasarkan adanya variasi virulensi virus tungro, keberadaan varietas padi berdasarkan sifat ketahanan terhadap virus tungro sangat berperan dalam perkembangan epidemi penyakit tungro. Epidemi akan terjadi apabila penanaman suatu varietas tidak sesuai dengan strain virus daerah setempat, artinya suatu varietas tertentu hanya sesuai ditanam di daerah tertentu. Keberadaan virus tungro (sumber inokulum), kepadatan populasi wereng hijau, dan iklim sangat mendukung terjadinya penularan tungro di lapangan. Keberadaan 30-40% sumber inokulum di pertanaman dan peningkatan populasi vektor menyebabkan tingginya intensitas penyakit tungro.

Wereng Hijau

Wereng hijau memegang peranan penting dalam epidemi penyakit tungro. Tinggi rendahnya intensitas penyakit tungro berkorelasi positif dengan fluktuasi populasi wereng hijau apabila tersedia sumber inokulum (Suzuki *et al.* 1992). Kepadatan populasi wereng hijau yang rendah akan tetap efektif menyebarkan virus tungro (Widiarta *et al.* 2001). Survei di Filipina menunjukkan bahwa laju perkembangan penyakit tungro ditentukan oleh populasi wereng hijau infeksi sebagai penular aktif (Azzam and Chancellor 2002). Tingkat infeksi awal penyakit tungro ditentukan oleh populasi vektor infeksi yang migrasi ke pertanaman, sedangkan perkembangan selanjutnya ditentukan oleh tingkat infeksi awal dan kepadatan vektor generasi pertama.

Lingkungan

Faktor lingkungan, khususnya curah hujan dan kelembaban, relatif berpengaruh terhadap dinamika populasi wereng hijau (Siwi *et al.* 1987). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa populasi wereng hijau pada musim kemarau (MK) lebih rendah dari pada musim hujan (MH) (Carino 1980). Pola fluktuasi populasi wereng hijau dan keberadaan tungro di Kebun Percobaan Lokatungro Lanrang, Sulawesi Selatan menunjukkan adanya dua puncak populasi wereng hijau yang terjadi dalam satu tahun dan kepadatan populasi pada MK (akhir Agustus) lebih tinggi daripada MH (April). Faktor iklim terutama suhu berpengaruh terhadap daur hidup wereng hijau, pemerolehan virus dan penularan virus (Hasanuddin 1991). Ketersediaan air di pertanaman mempengaruhi kondisi agroekosistem pertanaman, terutama suhu dan kelembaban. Pemberian air yang cukup (agak tergenang) akan mengurangi aktivitas vektor dewasa sehingga mengurangi penyebaran tungro di pertanaman. Kondisi pertanaman yang kering (di bawah kapasitas lapang) akan merangsang pemencaran vektor yang akan memperluas penyebaran tungro (Widiarta *et al.* 2004).

Praktik Budi Daya

Perkembangan penyakit tungro juga dipengaruhi oleh aktivitas praktik budi daya. Manusia sebagai pengambil keputusan menentukan jenis varietas yang akan ditanam, volume dan kepadatan tanam, keseragaman genetik pertanaman dalam suatu hamparan dan pemilihan waktu tanam. Melalui kultur teknis, aplikasi pengendalian secara biologi dan kimiawi, manusia telah mempengaruhi kualitas dan kuantitas inokulum primer dan sekunder serta kepadatan populasi vektor. Manusia juga memodifikasi lingkungan dalam menghambat perkembangan penyakit tungro melalui pengaturan waktu tanam berdasarkan kondisi iklim, pengaturan jarak tanam, dan pengaturan ketersediaan air. Aktivitas manusia mempengaruhi terjadinya perubahan dan kombinasi agroekosistem yang berpengaruh terhadap perkembangan penyakit tungro. Interaksi aktivitas manusia dengan elemen-elemen penyebab terjadinya penyakit menentukan penurunan atau peningkatan epidemi penyakit tungro.

Pengendalian Penyakit Tungro

Ketersediaan faktor-faktor penyebab terjadinya penularan tungro sangat bervariasi dari musim ke musim, sehingga pemilihan waktu tanam dan varietas sangat erat hubungannya dengan timbulnya penyakit tungro (Muis dan Hasanuddin 1985). Pengendalian tungro harus dilakukan secara komprehensif dengan memperhatikan berbagai aspek, seperti penyebaran virus tungro,

fluktuasi populasi wereng hijau, perubahan kondisi lingkungan, dan sosial-ekonomi petani (Hasanuddin *et al.* 2001). Berbagai usaha pengendalian tungro telah dilakukan, di antaranya dengan penanaman varietas tahan, waktu tanam tepat, tanam serempak, pergiliran varietas, tanam dengan sistem tanam benih langsung, manipulasi faktor lingkungan, dan penggunaan insektisida pada kondisi tertentu (Muis *et al.* 1990). Pengendalian terpadu yang mengintegrasikan berbagai komponen pengendalian secara sistematis dan harmonis dalam satu paket teknologi pengendalian tungro diharapkan dapat diterapkan pada segala kondisi lingkungan dan sosial-ekonomi petani.

Penerapan teknologi pengendalian tungro secara terpadu bertujuan untuk menghindarkan pertanaman dari penyakit tungro (*escape strategy*) dengan komponen utama waktu tanam tepat, penggunaan varietas tahan, dan pergiliran varietas tahan. Namun teknologi ini kurang sesuai untuk daerah dengan pola tanam tidak serempak, sehingga dikembangkan strategi pengendalian tungro dengan eliminasi RTSV. Diketahui bahwa RTSV memegang peranan penting dalam penularan virus tungro, maka eliminasi RTSV akan menghambat atau mencegah penularan tungro, yang diharapkan dapat diterapkan pada daerah dengan segala pola tanam (Widiarta *et al.* 2004). Dengan berkembangnya di bidang biologi molekuler terbuka peluang pemanfaatan kemajuan bioteknologi dalam pengendalian penyakit tungro.

Waktu Tanam Tepat

Pemilihan waktu tanam tepat telah memberikan dampak positif dalam pengendalian penyakit tungro di Sulawesi Selatan (Manwan *et al.* 1987). Waktu tanam tepat diidentifikasi berdasarkan pola fluktuasi populasi wereng hijau, keberadaan virus tungro, dan iklim terutama curah hujan pada kurun waktu tertentu. Pola fluktuasi populasi wereng hijau di suatu tempat akan berbeda dari musim ke musim, bergantung pada kondisi curah hujan sehingga akan terjadi puncak populasi pada waktu atau bulan tertentu (Sogawa 1976). Waktu atau bulan-bulan dengan keberadaan virus tungro dan populasi wereng hijau tinggi merupakan ancaman akan terjadinya epidemi. Oleh sebab itu, usaha pengendalian tungro dilakukan dengan menanam sebelum terjadi kepadatan populasi yang tinggi. Semakin tinggi populasi vektor semakin tinggi intensitas penyakit tungro (Tiongco *et al.* 1983). Pada saat populasi wereng hijau tinggi, pertanaman telah masuk fase generatif sehingga mengurangi tekanan infeksi virus tungro (Hasanuddin 2002), karena semakin muda tanaman terinfeksi semakin besar tingkat kehilangan hasil yang ditimbulkan (Ditjen Perlindungan Tanaman 1992). Pengendalian dengan waktu tanam tepat memerlukan pola tanam yang serempak.

Penggunaan Varietas Tahan

Penggunaan varietas tahan merupakan komponen yang paling efektif dalam pengendalian tungro (Sama 1985; Loebenstein and Gera 1993), bahkan efektif pada berbagai ekosistem di Indonesia (Daradjat *et al.* 1999). Varietas tahan dapat mengurangi peran RTSV sehingga wereng hijau tidak dapat menularkan RTBV (Anonim 2003). Ketahanan varietas terhadap virus tungro akan menekan intensitas penyakit dan ketahanan terhadap vektor akan menekan penularan tungro. Peningkatan proporsi varietas tahan di suatu hamparan berpengaruh nyata dalam mengurangi intensitas penyakit tungro (Holt 1996). Pengalaman di lapangan menunjukkan bahwa penanaman varietas tahan wereng hijau terbukti efektif menurunkan intensitas penyakit tungro (Sama *et al.* 1991).

Namun demikian, varietas tahan tidak boleh ditanam terus-menerus karena dapat meningkatkan tekanan seleksi vektor dan memungkinkan berkembangnya wereng hijau biotipe baru (Daradjat *et al.* 1999). Wereng hijau sangat mudah beradaptasi terhadap varietas tahan apabila berhasil terbentuk hingga enam generasi (Siwi dan Suzuki 1991), bahkan dapat terjadi setelah generasi ke-2 (Heinrich *et al.* 1982) atau setelah generasi ke-3. Pada generasi ke-6, aspek biologi wereng hijau tidak berbeda nyata apabila berada pada varietas peka (Taulu *et al.* 1987). Ketahanan varietas terhadap wereng hijau dapat terpatahkan dan ada indikasi bahwa virulensi virus tungro terhadap varietas tahan sangat bervariasi (Widiarta dan Kusdianan 2002). Oleh karena itu, perakitan varietas berdasarkan sumber gen tahan dan strain virus harus terus-menerus dilakukan (Hasanuddin *et al.* 2001), sehingga pengembangan varietas saat ini lebih ditekankan pada perakitan varietas tahan virus terutama RTSV, karena dapat menghambat penyebaran RTBV oleh wereng hijau (Widiarta *et al.* 2004).

Beberapa varietas tahan telah dilepas untuk mengendalikan tungro seperti Tukad Unda, Tukad Petanu, Tukad Balian, Kalimas, dan Bondoyudo (Daradjat *et al.* 2004). Namun ketahanan beberapa varietas tersebut bersifat spesifik lokasi, yang berarti suatu varietas menunjukkan tahan terhadap strain virus di daerah tertentu tetapi tidak tahan di daerah lain (Baehaki dan Suharto 1985). Kenyataannya tingkat kesukaan petani terhadap suatu varietas sangat bervariasi. Dasar pertimbangannya adalah kualitas rasa dan potensi hasil tinggi walaupun varietas tersebut peka terhadap tungro. Oleh karena itu, perakitan varietas tahan dari sumber tetua tahan virus dengan varietas yang disukai di suatu daerah perlu dilakukan untuk memperoleh varietas tahan spesifik lokasi yang dapat mengurangi penularan tungro dan mendukung pergiliran varietas (Praptana *et al.* 2005).

Pergiliran Varietas

Selain sering terjadi pada daerah dengan pola tanam tidak serempak, penyakit tungro juga terjadi pada daerah dengan pola tanam padi-padi atau padi-padi-padi yang tidak diimbangi dengan pergiliran varietas. Pergiliran varietas akan memperpanjang durasi ketahanan varietas dan mengurangi tekanan seleksi wereng hijau. Penerapan pergiliran varietas memerlukan informasi tingkat adaptasi wereng hijau terhadap varietas tahan. Berdasarkan gen ketahanan yang dimiliki oleh setiap varietas, terdapat empat golongan dalam pergiliran varietas yaitu: 1) T0 (tanpa gen tahan) yang terdiri atas varietas IR5, Pelita, Atomita, Cisadane, Cikapundung, dan Lusi; 2) T1 (*Glh1*) mencakup IR20, IR30, IR26, IR46, Citarum, dan Serayu; 3) T2 (*Glh6*) meliputi IR32, IR38, IR36, IR47, Semeru, Asahan, Ciliwung, Krueng Aceh, dan Bengawan Solo; 4) T3 (*Glh5*) yang terdiri atas IR50, IR48, IR54, IR52, dan IR64; dan 5) T4 (*Glh4*) mencakup IR66, IR70, IR72, IR68, Barumon, dan Klara (Widiarta *et al.* 2004).

Lambatnya proses adopsi varietas tahan tungro maka dalam kondisi aman atau cukup lama tidak ada penularan tungro, maka petani cenderung menanam varietas yang tidak tahan tungro (Daradjat *et al.* 2004). Varietas Ciliwung telah ditanam secara luas dan terus-menerus sejak dilepas tahun 1988 (Fagi *et al.* 2002). Varietas tersebut termasuk tahan wereng hijau golongan T2. Pada tahun 1996, Ciliwung masih tahan terhadap wereng hijau, namun sejak 1999 diketahui sudah tidak tahan lagi (Siwi *et al.* 1999). Petani memilih Ciliwung dan menanamnya terus-menerus karena sesuai dengan keinginan pasar, sedangkan varietas tahan seperti IR66 dan IR74 kurang disenangi. Oleh karena itu, sosialisasi varietas tahan tungro ke seluruh daerah endemis maupun nonendemis perlu dilakukan melalui uji multilokasi atau diseminasi untuk memperoleh varietas tahan tungro spesifik lokasi dan sesuai dengan permintaan pengguna. Umumnya pergiliran varietas dipadukan dengan penggunaan varietas tahan untuk memutus siklus perkembangan vektor dan virus. Pergiliran varietas berdasarkan tetua tahan spesifik lokasi dapat menekan penularan tungro dan menghambat penurunan durabilitas ketahanannya.

Kultur Teknis

Kultur teknis tanaman padi dalam pengendalian tungro mencakup berbagai aspek teknis bercocok tanam sejak pratanam sampai pascapanen dengan tujuan mengelola pertanaman padi sedemikian rupa sehingga tidak terjadi penularan tungro. Beberapa komponen kultur teknis dalam pengendalian tungro meliputi penggunaan varietas tahan, waktu tanam tepat, tabur benih 3-5 hari setelah pengolahan tanah, pola tanam serempak, dan pergiliran tanaman/varietas yang dipadukan dengan komponen pengendalian secara

fisik mekanik, biologi, maupun kimiawi, sehingga menjadi suatu paket teknologi pengendalian terpadu penyakit tungro.

a. Pemilihan varietas

Varietas merupakan komponen utama dalam pengendalian penyakit tungro. Pemilihan varietas harus didasarkan pada kondisi biotik dan abiotik daerah setempat. Diketahui bahwa terdapat variasi virulensi virus tungro dan koloni wereng hijau dari berbagai daerah endemis (Widiarta dan Kusdianan 2002), sehingga ketahanan varietas bersifat spesifik lokasi. Beberapa varietas seperti Tukad Petanu dianjurkan di seluruh daerah endemis tungro, Tukad Unda terbatas untuk Nusa Tenggara Barat dan Sulawesi Selatan, sementara Tukad Balian hanya dapat dikembangkan di Bali dan Sulawesi Selatan (Widiarta *et al.* 2003). Oleh karena itu, pewilayahan dan distribusi varietas tahan sangat diperlukan untuk mengendalikan penyakit tungro sesuai kondisi setempat.

b. Pemilihan waktu tanam

Waktu tanam yang tepat ditujukan untuk menghindari fase peka pertanaman dari infeksi virus tungro berdasarkan waktu terjadinya puncak populasi vektor. Oleh sebab itu, usaha pengendalian tungro dilakukan dengan menanam sebelum terjadi kepadatan populasi vektor yang tinggi. Tingginya intensitas penyakit tungro disebabkan oleh tingginya tekanan vektor. Pengendalian dengan waktu tanam tepat memerlukan pola tanam yang serempak sehingga perlu dipadukan dengan penggunaan varietas tahan dan pergiliran varietas apabila diterapkan pada daerah dengan pola tanam tidak serempak.

c. Pola tanam serempak

Tungro akan selalu ada pada daerah dengan pola tanam tidak serempak dan penanaman sepanjang tahun. Terjadinya epidemi penyakit tungro berawal dari sumber infeksi yang berkembang pada pertanaman yang tidak serempak. Vektor infeksi dari pertanaman tidak serempak akan menjadi sumber penular migran pada pertanaman di sekitarnya. Apabila populasi vektor migran infeksi pada stadia awal (persemaian) tinggi, maka penyakit tungro akan berkembang pada pertanaman di sekitarnya (Raga *et al.* 2004). Pola tanam serempak akan memutus siklus hidup vektor dan keberadaan sumber inokulum. Penularan tungro tidak akan terjadi apabila tidak tersedia sumber inokulum walaupun ditemukan vektor. Sebaliknya, walaupun kepadatan populasi vektor sangat rendah namun apabila tersedia sumber inokulum akan terjadi penularan tungro. Vektor dewasa pada pola tanam tidak serempak lebih aktif memencar dibanding pada pola tanam serempak (Aryawan *et al.* 1993 *dalam* Widiarta *et al.* 2004). Penerapan pola tanam serempak tidak mudah dilakukan pada daerah

yang telah lama melakukan pola tanam tidak serempak karena kondisi lingkungan setempat dan sosio-ekonomi petani.

d. Eradikasi sumber inokulum virus pada tahap pratanam

Ketersediaan sumber inokulum merupakan salah satu dari faktor utama penyebab terjadinya penularan tungro. Eradikasi sumber inokulum pada tahap pratanam penting dilakukan untuk menekan sumber inokulum primer sekecil mungkin dan menghindari infeksi awal virus tungro. Di beberapa daerah endemis, petani umumnya membuat persemaian sebelum pengolahan tanah, sehingga sumber inokulum senantiasa berkembang dan menjadi sumber infeksi di persemaian. Hal ini dijumpai pada daerah dengan pola tanam yang tidak serempak pada suatu hamparan. Diketahui bahwa selain berkembang pada ratun tanaman padi yang sebelumnya tertular tungro, virus tungro juga dapat berkembang pada beberapa gulma seperti *Cyperus rotundus*, *Leptochloa chinensis*, *Jussiaea repens*, *Trianthema portulacastrum*, *Monochoria vaginakis*, dan *Phyllanthus niruri* (Widiarta *et al.* 2004). Eradikasi gulma di sekitar lahan akan mengeliminasi perkembangan virus tungro dan menghilangkan tempat bertahan hidup vektor setelah tidak tersedia pertanaman padi.

e. Pengelolaan persemaian

Di daerah dengan pola tanam serempak, waktu hambur benih yang tepat merupakan strategi awal untuk menghindari infeksi tungro di persemaian. Hambur benih sebelum terjadi peningkatan populasi vektor akan mengurangi terjadinya infeksi virus di persemaian. Apabila gejala tungro telah dijumpai pada saat singgang maka persemaian harus dibuat tiga hari setelah pengolahan tanah pertama dan dipadukan dengan penggunaan varietas tahan serta aplikasi insektisida butiran sehari sebelum semai (Raga *et al.* 2004). Peningkatan intensitas penyakit tungro terjadi sejak tiga minggu pertama yang merupakan hasil penularan dari persemaian. Satu atau dua minggu berikutnya intensitas penularan tungro tetap atau sedikit meningkat setelah terjadi penularan sekunder dari sumber inokulum yang telah ada dan pada minggu-minggu selanjutnya akan terjadi peningkatan lagi (Sumardiyono *et al.* 2004).

f. Cara tanam dan pengaturan jarak tanam

Penanaman dengan cara jajar legowo dua baris atau empat baris dapat menekan pemencaran wereng hijau. Keberadaan tungro pada tanaman padi yang ditanam dengan sistem jajar legowo 4 lebih rendah daripada jajar legowo 2 (Widiarta *et al.* 2004). Pengaturan jarak tanam dengan jajar legowo adalah pengaturan jarak tanam padi dengan pola berselang-seling antara dua baris dengan satu baris kosong. Pengaturan jarak tanam ini dikembangkan berdasarkan pemanfaatan pengaruh barisan pinggir (*border effect*) dan

peningkatan populasi tanaman sampai 30% yang berpeluang bagi peningkatan produksi padi. Dengan sistem jajar legowo, pemencaran vektor akan tertekan oleh adanya baris kosong dan dapat mengurangi penyebaran hama dan penyakit padi yang lain.

g. Eradikasi sumber inokulum di pertanaman (*roguing*)

Tanaman padi yang tertular tungro umumnya akan mengalami kekerdilan, daun berwarna oranye dan sedikit terpelintir, jumlah anakan berkurang, dan nilai kehampaan malai tinggi. Eradikasi tanaman tertular tungro harus dilakukan sejak awal sebelum terjadi penyebaran virus oleh vektor. Eradikasi dilakukan dengan cara pencabutan tanaman yang tertular tungro, kemudian ditanam atau dibakar. Eradikasi dilakukan tanpa memperhatikan keberadaan vektor apabila telah ditemukan sumber inokulum, khususnya pada tanaman stadia muda di bawah umur 6 minggu setelah tanam (MST) (Raga *et al.* 2004). Pada umur 8 MST terjadi puncak infeksi kedua oleh vektor generasi G1 (Suzuki *et al.* 1992), sehingga tindakan eradikasi sumber inokulum di pertanaman umumnya dipadukan dengan pengaturan air dan aplikasi insektisida untuk mengendalikan vektor. Penggunaan insektisida dalam mengendalikan tungro bertujuan untuk eradikasi vektor pada pertanaman yang tertular tungro agar tidak menyebar ke pertanaman lain dan mencegah terjadinya penularan virus pada pertanaman sehat.

h. Pemupukan N tidak berlebihan

Pemupukan N yang berlebihan menyebabkan pertanaman menjadi lemah atau mudah terserang vektor sehingga memungkinkan terjadi infeksi tungro. Penggunaan pupuk N berlebihan juga mempengaruhi kondisi pertanaman menjadi lebih rapat sehingga menyediakan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan vektor dan mempermudah penyebaran virus. Oleh karena itu, aplikasi pupuk N harus berdasarkan pengamatan dengan bagan warna daun (BWD) sehingga diketahui bahwa tanaman telah atau belum membutuhkan pupuk N. Pesatnya perkembangan teknologi pertanian organik berpengaruh terhadap berkurangnya penggunaan pupuk N (kimia). Penggunaan bahan organik dapat mencegah kahat unsur mikro pada tanah marginal atau tanah yang telah diusahakan secara intensif dengan pemberian pupuk yang kurang berimbang.

i. Pengaturan ketersediaan air

Pengaturan ketersediaan air penting bagi pertumbuhan tanaman dan berpengaruh terhadap perkembangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Ketersediaan air di pertanaman mempengaruhi kondisi agroekosistem pertanaman, terutama suhu dan kelembaban. Pengaturan ketersediaan air bertujuan untuk membuat kondisi pertanaman sedemikian rupa sehingga

sesuai untuk pertumbuhan tanaman, namun dapat mengurangi atau menekan populasi vektor sehingga penularan dan penyebaran virus tungro dapat ditekan.

Penerapan beberapa komponen kultur teknis dalam pengendalian penyakit tungro perlu didukung oleh pengamatan secara periodik terhadap populasi vektor dan keberadaan sumber inokulum pada setiap tahap budi daya, sehingga dapat diketahui tindakan pengendalian yang akan dilakukan. Pengamatan dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu singgang, persemaian, tanaman umur 2-4 MST, dan 6-9 MST. Selain itu perlu diketahui data dukung lainnya seperti curah hujan, komposisi varietas, dan sebaran penularan tungro yang telah terjadi pada musim-musim sebelumnya (Raga *et al.* 2004). Analisis hasil pengamatan yang didukung oleh data sekunder digunakan sebagai dasar untuk menentukan langkah pengendalian yang tepat. Keterpaduan antar-komponen kultur teknis yang sesuai dalam pengendalian tungro diharapkan dapat mencegah atau mengurangi penularan dan penyebaran tungro.

Penggunaan Insektisida

Penggunaan insektisida dalam mengendalikan tungro bertujuan untuk eradikasi vektor pada pertanaman yang telah tertular tungro agar tidak menyebar ke pertanaman lain dan mencegah terjadinya infeksi virus pada pertanaman sehat. Insektisida sistemik butiran lebih efektif mencegah infeksi tungro oleh vektor, seperti aminosulfan dan UC54229 (Habibuddin *et al.* 1987). Insektisida imidacloprit atau tiametoksan dapat digunakan pada persemaian untuk menghambat penularan tungro oleh vektor. Penggunaan insektisida hayati dengan jamur entomopatogen diketahui dapat mengurangi dan menekan pemencaran vektor. Jamur *Beauveria bassiana* dan *Metharizium anisopliae* dapat menekan pemencaran dan menyebabkan mortalitas vektor dengan masa inkubasi yang berbeda (Widiarta *et al.* 2004). Aplikasi insektisida pada satu hari setelah tanam (HST) dan 30 HST dapat mengendalikan populasi wereng hijau dan mengurangi intensitas penyakit tungro (Manwan *et al.* 1987).

Namun demikian insektisida mempunyai kemampuan terbatas dalam mengendalikan vektor infeksi. Diketahui bahwa masa inokulasi virus tungro sangat pendek, yaitu 7 menit waktu tercepat dan 30 menit waktu terlambat sehingga virus telah ditularkan sebelum wereng hijau mati karena insektisida (Ling 1968 dalam Widiarta *et al.* 2004). Aplikasi insektisida dengan daya bunuh cepat hanya efektif menekan keberadaan tungro pada pertanaman padi dengan pola tanam serempak karena terbatasnya wereng hijau migran yang infeksi (Widiarta *et al.* 1998 dalam Widiarta *et al.* 2004). Hal yang perlu diperhatikan dalam aplikasi insektisida adalah ketepatan bahan aktif, dosis, waktu aplikasi, dan perhitungan ekonomi.

Bioteknologi

Perkembangan bioteknologi di bidang biologi molekuler sangat membantu dalam pengendalian penyakit tungro berdasarkan konsep epidemiologi. Kemajuan bioteknologi melahirkan teknik-teknik molekuler yang diharapkan dapat dimanfaatkan dalam deteksi dini infeksi virus tungro (mengetahui keberadaan sumber inokulum), identifikasi dan karakterisasi strain virus tungro dan biotipe wereng hijau (keragaman genetik virus tungro dan biotipe wereng hijau), pemantauan terjadinya resistensi wereng hijau terhadap varietas dan munculnya strain virus dan biotipe wereng hijau yang baru, karakterisasi ketahanan varietas terhadap virus tungro dan wereng hijau (keragaman genetik varietas berdasarkan tingkat ketahanannya), perakitan varietas tahan berdasarkan sifat ketahanan, dan perakitan varietas transgenik tahan virus tungro.

Teknik deteksi virus tungro yang berkembang saat ini adalah teknik hibridisasi asam nukleat, yaitu *polymerase chain reaction* (PCR) yang didukung oleh primer spesifik untuk virus tungro, terutama RTBV (Takahashi *et al.* 1993). Saat ini, marka molekuler telah banyak dimanfaatkan dalam analisis keragaman genetik tanaman karena lebih efisien, ketepatannya tinggi, dan lebih terpercaya dibanding marka fenotipe (Hanarida *et al.* 2004). Keragaman strain virus tungro dan wereng hijau dapat teridentifikasi berdasarkan perbedaan sekuen DNA melalui penelusuran marka molekuler. Identifikasi secara molekuler terhadap keragaman genetik wereng hijau akan memberikan informasi tentang keberadaan gen dan hubungan kekerabatan genotipe. Pemantauan perkembangan biotipe wereng hijau dan strain virus tungro dapat dengan cepat dilakukan secara molekuler, sehingga dapat dilakukan pewilayahan distribusi varietas berdasarkan keberadaan biotipe wereng hijau dan strain virus tungro dalam rangka pengendalian penyakit tungro spesifik lokasi.

Di Indonesia, teknik biologi molekuler dapat dimanfaatkan untuk karakterisasi dan perbaikan ketahanan tanaman padi terhadap cekaman biotik termasuk penyakit tungro dan cekaman abiotik seperti toleransi terhadap kekeringan (Puslitbang Tanaman Pangan 2002). Telah dilakukan pemetaan kromosom pada varietas ARC 11554 dengan teknik molekuler *restriction fragment length polymorphism* (RFLP) dan diketahui asosiasi gen tahan terhadap wereng hijau dan RTSV pada segmen kromosom tunggal terletak pada ujung kromosom 4 (Sebastian *et al.* 1996). Pemetaan kromosom dengan teknik RFLP pada galur rekombinan hasil persilangan ARC10313 (tahan terhadap wereng hijau) dengan TN65 (peka terhadap wereng hijau) menunjukkan bahwa *quantitative trait loci* (GTL) sifat antibiosis terhadap wereng hijau terletak pada kromosom 3, 5, 11, dan 12 (Wang *et al.* 2004). Gen ketahanan yang telah teridentifikasi secara molekuler selanjutnya dapat diketahui sekuen nukleotidanya untuk dibuat primer spesifik yang digunakan sebagai marker dalam proses seleksi ketahanan selanjutnya, atau dapat dipindahkan ke genotipe yang lain untuk mempelajari mekanisme ketahanan

pada individu dengan latar belakang genetik yang berbeda. Keragaman genetik varietas akan meningkatkan durabilitas ketahanan varietas, menurunkan tekanan seleksi wereng hijau dan virus tungro, serta mencegah terjadinya epidemi penyakit tungro.

Perakitan varietas tahan wereng hijau dapat dilakukan dengan penumpukan (*pyramiding*) gen ketahanan untuk meningkatkan durasi ketahanan dengan memanfaatkan marka molekuler (Wang *et al.* 2004). Berbagai teknik molekuler dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme patogenisitas virus tungro dan patogenesis penyakit tungro dalam rangka perakitan varietas tahan virus tungro. *Coat protein-mediated resistance* (CP-MR) merupakan pendekatan inovatif dalam pengendalian penyakit tungro melalui perakitan varietas transgenik dengan mentransfer gen coat protein virus (Beachy 1990). Tanaman padi transgenik yang dirakit berdasarkan pendekatan Rep-MR, CP-MR, dan movement protein-mediated resistance (MP-MR) menunjukkan ketahanan yang bersifat *broad spectrum* dan mempunyai durabilitas yang tinggi (Azzam and Chancellor 2002). Pemanfaatan tanaman padi transgenik di Indonesia diharapkan dapat mencegah penyebaran virus tungro dan mengendalikan penyakit tungro dalam skala luas, sehingga sesuai untuk pengendalian penyakit tungro berdasarkan konsep epidemiologi.

Kesimpulan

Epidemi penyakit tungro dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: 1) tanaman (tingkat ketahanan varietas, keseragaman genetik varietas pada suatu wilayah, tipe dan stadia tanaman), 2) virus tungro (ketersediaan sumber inokulum, variasi dan virulensi strain virus tungro), 3) wereng hijau sebagai vektor (fluktuasi populasi vektor, kepadatan populasi vektor infeksi, variasi biotipe dan efisiensi penularan virus tungro), 4) kondisi lingkungan (iklim, suhu dan kelembaban) dan 5) praktik budi daya. Strategi pengendalian penyakit tungro berdasarkan konsep epidemiologi dapat dilakukan dengan waktu tanam yang tepat, penggunaan varietas tahan, pergiliran varietas, kultur teknis (manipulasi lingkungan dengan modifikasi praktik budidaya), penggunaan insektisida pada kondisi tertentu, dan melalui pendekatan bioteknologi.

Pustaka

Angeles, E.R. and G.S. Khush. 2000. Genetic analysis of resistance to green leafhopper, *Nephotettix virescens* (Distant): in three varieties of rice. *Plant Breed.* 119:446-448.

- Azzam, O. and T.C.B. Chancellor. 2002. The biology, epidemiology and management of rice tungro disease in Asia. *Plant Disease* 86:88-100.
- Baehaki, S.E. dan H. Suharto. 1985. Penyakit tungro. Makalah temu lapang pengendalian penyakit tungro di Banyumas, 18-19 September 1985.
- Balitpa Sukamandi. 2003. Uji durasi ketahanan varietas tahan virus tungro. Laporan Tahunan 2003 Balitpa Sukamandi.
- Beachy, R.N. 1990. Coat protein mediated resistance in transgenic plants. *Proc. Simposium on Viral Genes and Plant Pathogenesis*. Lexington, Ky. 1989.
- Cabauatan, P.Q., R.C. Cabunagan, and H. Koganezawa. 1995. Biological variants of rice tungro viruses in the Philippines. *Phytopathology* 85(1): 77-81.
- Carino, F.O. 1980. Role of natural enemies in population suppression and pest management of the green leaf hopper. UPLB. MS. Thesis.
- Choi, R.I. 2004. Current status of rice tungro disease research and future program. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Chuwdhury, A.K. and A.N. Mukhopadhyay. 1975. Effect of virus on yield components. *International Rice Commission. News Letter* 42(2):74-75.
- Dahal, G., H. Hibino, and R.C. Saxena. 1990. Association of leafhopper feeding behavior with transmission of rice tungro to susceptible and resistant rice cultivar. *Phytopathology* 80:371-377.
- Daradjat, A. A., I.N. Widiarta, dan A. Hasanuddin. 1999. Breeding for rice tungro virus resistance in Indonesia. *Rice Tungro Disease Management*. IRRI.
- Daradjat, A.A., I.N. Widiarta, dan Jumanto. 2004. Prospek perbaikan varietas padi tahan virus tungro dan serangga wereng hijau. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Ditjen Perlindungan Tanaman. 1992. Tungro dan wereng hijau. Direktorat Jenderal Perlindungan Tanaman. 194 p.
- Fagi, A.M., I. Las dan M. Syam. 2002. Penelitian padi: menjawab tantangan ketahanan pangan nasional. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. 29p.
- Gallum, R.I. and G.S. Khush. 1980. Genetic factor effecting expression and stability of resistance. *In*. F.G. Maxwell and P.R. Jenning (eds.). *Breeding plant resistant to insect*. John Wiley and Sons, New York.

- Ganapathy, T., N. Subramanian, and M. Surendran. 1999. GLH control for management of rice tungro disease. Rice Tungro Disease Management. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Habibuddin, H., T. Takita, and N.K. Ho. 1987. Research and management of tungro disease in Peninsular Malaysia. Proc. of the Workshop on Rice Tungro Virus. AARD-Maros Research Institute for Food Crops.
- Hanarida, I., H. Kurniawan, and Minantyorini. 2004. The prospect of Indonesian sweetpotato germplasm collection: the application of RAPDs analysis. *Agrobio* 6(2):58-63.
- Hasanuddin, A. 1991. Pengaruh faktor iklim terhadap aktivitas serangga wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant) dan serangan penyakit tungro. Prosiding Simp. Meteorologi Pertanian III. Malang, 20-22 Agustus 1991.
- Hasanuddin, A. 1999. Monitoring dan serangan penyakit tungro di Nusa Tenggara Barat. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi.
- Hasanuddin, A., I.N. Widiarta, dan M. Muhsin. 2001. Penelitian teknik eliminasi sumber inokulum RTSV: suatu strategi pengendalian tungro. Laporan Riset Unggulan Terpadu IV. Kantor Menristek dan DRN. Jakarta.
- Hasanuddin, A. 2002. Pengendalian penyakit tungro terpadu: strategi dan implementasi. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Heinrichs, E.A., F. Madrano, L. Sunio, H. Rapusas, A. Romena, C. Vega, V. Viajante, D. Centina, and T. Domingo. 1982. Resistance of IR varieties to insect. *Int. Rice Res. Newsl.* 7:9-10.
- Hibino, H., N. Saleh, and M. Roechan. 1977. Transmission of two kinds of rice tungro associated viruses by insect vectors. *Phytopathology* 69:1266-8.
- 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* 68:1412-6.
- Hibino, H. 1983. Relation of rice tungro bacilliform and rice tungro spherical virus with their vector *Nephotettix virescens*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 49:545-553.
- 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.
- Hibino, H. And P.Q. Cabautan. 1986. Dependent transmission of rice tungro bacilliform virus on rice tungro spherical virus by vector leafhopper. *In: Z. Hidaka and N. Zako (Eds.). Proc. Int. Symp. on Transmission of Plant and Animal Viruses by Vectors. Fukuoka 1986.*

- Hibino, H. 1987. Rice tungro virus disease: current research and prospects. Proc. of the Workshop on Rice Tungro Virus. AARD-Maros Research Institute for Food Crops. 2-6p.
- Holt, J. 1996. Spatial medelling of rice tungro disease epidemics. *In: Chancellor, Teng and Heong (Eds.). Rice Tungro Disease Epidemiology and Vector Ecology. IRRI and NRI. p. 74-86.*
- Idris, A. Rauf, dan Burhanuddin. 2004. Penampilan beberapa galur harapan padi tahan penyakit tungro di Sulawesi Tenggara. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- IRRI. 1997. The twenty international rice tungro nursery. INGER, Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.
- Ling, K.C. 1975. Experimental epidemiology of rice tungro disease: effect of virus source on disease incidence. *Philipp. Phytopathol. 11: 46-57.*
- Ling, K.C. 1976. Recent stutides on rice tungro disease. IRRI Res. Paper. 11p.
- Ling, K.C. 1979. Rice viruse disease. IRRI, Los Banos, Philippines. 142p.
- Loebenstein, G. and A. Gera. 1993. The local lesion response to viruses possibilities for engineering resistant plants. *Biotechnology in Plant Disease Control. Wiley-liss, Inc. p.105-113.*
- Manwan, I., S. Sama, and S.A. Rizvi. 1987. Management strategy to control rice tungro in Indonesia. Proc. of the Workshop on Rice Tungro Virus. Maros Research Institute for Food Crops. p.92-97.
- Matsuo, T., Y. Futsuhara, F. Kikuchi, and H. Yamaguchi. 1991. Science of the rice plant. Food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo. 1003p.
- Muis, A. dan A. Hasanuddin. 1985. Pengaruh waktu tanam dan tingkat ketahanan varietas padi terhadap penyakit tungro. Hasil penelitian penyakit tanaman 1983/1984. Balai Penelitian Tanaman Pangan Maros. p.40-45.
- Muis, A., M. Yasin, dan A. Hasanuddin. 1990. Epidemiologi penyakit tungro, pergiliran varietas dan waktu tanam. Hasil Penelitian Padi, Balai Penelitian Tanaman Pangan Maros.
- Mukhopadhyay, A.N. 1995. Rice tungro. *In: U.S. Sing, A.N. Mukhopadhyay, J. Kumar, H.S. Chaube (eds.). Plant Disease of International Importance. Vol. 1. Disease of cereals and pulse. Prentice May. New Jersey.*

- Negara, A., A. Ardjanhar, dan F. Depparaba. 2004. Keberadaan penyakit tungro di Sulawesi Tengah dan upaya pengendaliannya. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Omura, T., Y. Saito, T. Usugi, and H. Hibino. 1983. Purification and serology of rice tungro spherical and rice tungro bacilliform viruses. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 49:73-76.
- Ou, S.H. 1985. *Rice Disease*. CAB International. Wallingford, UK. 380p.
- Praptana, R.H., F.T. Ladja, dan A. Muliadi. 2005. Kesesuaian tetua padi tahan virus tungro. Makalah disampaikan pada Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama Angkatan XVII. Depok, 1-21 Desember 2005.
- Puslitbang Tanaman Pangan. 1995. Laporan serangan tungro di Jawa Tengah. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. 15 p.
- Pusat Penelitian Tanaman Pangan. 2002. Deskripsi varietas unggul padi dan palawija 2001-2002. Bogor. p.9-10.
- Raga, I.N., W. Murdita, Tri, M.P.L., Edi, S.W, dan Oman. Sistem surveillanceantisipasi ledakan penyakit tungro di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Rapusas, H.R., and E.A. Heinrich. 1987. Plant age effect on the level of resistance of rice IR36 to the green leafhopper *Nephotettix virescens* (Distant) and rice tungro virus. *Environ. Entomol.* 16:106-110.
- Rivera, C.T., S.H. Ou, and D.M. Tantera. 1968. Tungro disease of rice in Indonesia. *Plant Disease* 52:122-124.
- Sama, S. 1985. Penerapan konsep pergiliran varietas dalam pengelolaan penyakit tungro. Makalah Temu Lapang Pengendalian Penyakit Tungro di Banyumas, 18-19 September 1985.
- 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.
- Satomi, H. 1972. Yellow dwarf disease of rice in Indonesia. Paper presented at SEAR Symposium on Plant Disease in the Tropics. Yogyakarta, 11-15 September, 1972.
- Sebastian, L.S., R. Ikeda, N. Huang, T. Imbe, W.R. Coffman, and S.R. McCouch. 1996. Molecular mapping of resistance to rice tungro spherical virus and green leafhopper. *Phytopathology* 86: 25-30.
- Siwi, S.S., A. Kartohardjono, S. Harnoto, and A. Diratmaja. 1987. The green leafhopper, genus *Nephotettix* Matsumura. Proceeding of the Workshop on Rice Tungro Virus. Maros Research Institute for Food Crops.

- Siwi, S.S. and Y. Zusuki. 1991. The green leafhopper (*Nephotettix* spp.): vector of rice tungro virus disease in Southeast Asia, particularly in Indonesia and its management. Indonesian Agricultural Research & Development. Journal 13(1 & 2):8-15.
- Siwi, S.S., I.N. Widiarta, dan A. Hasanuddin. 1999. Daya hidup dan kemampuan koloni *Nephotettix virescens* (Distant) sebagai penular virus tungro. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 18:6-14.
- Soetarto, A., Jasis, S.W.G. Subroto, M. Siswanto, dan E. Sudiyanto. 2001. Sistem peramalan dan pengendalian OPT dalam mendukung sistem produksi padi berkelanjutan. *Dalam* Irsal Las *et al.* (eds). Implementasi kebijakan strategi untuk peningkatan produksi padi berwawasan agribisnis dan lingkungan. Puslitbang Tanaman Pangan Bogor.
- Sogawa, K. 1976. Rice tungro virus and its vectors in tropical Asia. Rev. Plant Protec. (9):25-46.
- Sumardiyono, Y.B., S. Hartono, dan I. Suswanto. 2004. Interaksi RTV dengan wereng hijau dan daur penyakit tungro pada padi. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Suranto. 2004. Pengelolaan virus tungro melalui pendekatan bioteknologi. Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional. Makassar, 7-8 September 2004.
- Suzuki, Y., I.G.N. Astika, I.K.R. Widrawan, I.G.N. Gede, I.N. Raga, and Soeroto. 1992. Rice tungro disease transmitted by green leafhoppers: its epidemiology and forecasting. JARQ 26:98-104
- Takahashi, Y., F.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(6):655-659.
- Taulu, L.A., S. Sosromarsono, I.N. Oka, and E. Guhardja. 1987. Adaptation of green leafhopper *Nephotettix virescens* (Distant) to several varieties of rice. Proceeding of the Workshop on Rice Tungro Virus. Maros Research Insitute for Food Crops. p:56-62.
- Tiongco, E.R., R.C. Cabunagan, and H. Hibino. 1983. Resistance of five IR varieties to tungro. Int. Rice. Res. Newsl. 8(4): 6
- Wang, C., H. Yasui, A. Yoshimura, H. Zhai, and J. Wan. 2004. Inheritance and QTL mapping of antibiosis to green leafhopper in rice. Crop Sci. 44: 389-393.
- Widiarta, I.N. 1997. Status penyebaran penyakit tungro pada padi di Jawa Barat. Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia 3:23-31.

- Widiarta, I.N., D. Kusdjaman, dan A. Hasanuddin. 2001. Analisis dinamika populasi wereng hijau *Nephotettix virescens* pada padi sawah di musim kemarau dan musim hujan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 20(3):11-16
- Widiarta, I.N. dan D. Kusdjaman. 2002. Identifikasi strain virus tungro. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi.
- Widiarta, I.N., Yulianto, dan A. Hasanuddin. 2003. Pengendalian terpadu penyakit tungro dengan strategi eliminasi peranan virus bulat. *Kebijakan Perberasan dan Inovasi Teknologi Padi*. Balitpa. p.513-527.
- Widiarta, I.N., Burhanuddin, A.A. Daradjat, dan A. Hasanuddin. 2004. Status dan program penelitian pengendalian terpadu penyakit tungro. *Prosiding Seminar Nasional Status Program Penelitian Tungro Mendukung Keberlanjutan Produksi Padi Nasional*. Makassar, 7-8 September 2004.