

PENYAKIT BAKTERI PADI DAN CARA PENGENDALIANNYA

Triny S. Kadir¹, Y. Suryadi², Sudir¹, dan M. Machmud²

¹Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi
dan Sumber Daya Genetik Pertanian

1. PENDAHULUAN

Penyakit padi yang disebabkan oleh bakteri ada sekitar 20 jenis. Berdasarkan wilayah sebar, arti ekonomi, dan banyaknya publikasi ilmiah yang diperoleh, penyakit bakteri terpenting pada padi adalah hawar daun bakteri (HDB) yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (*Xoo*), diikuti oleh penyakit bakteri daun bergores yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas oryzicola* pv. *oryzicola*. Kedua penyakit tersebut menginfeksi daun tanaman padi dan merusak khlorofil yang mengakibatkan kemampuan tanaman untuk melakukan fotosintesis menjadi sangat berkurang (Ou, 1985).

Penyakit-penyakit yang disebabkan bakteri lain seringkali dikelompokkan dengan nama penyakit penyimpangan warna gabah (*grain discoloration*), karena bakteri patogennya mengakibatkan gabah menjadi berubah warna cokelat atau hitam. Beberapa bakteri menjadi penyebab rusaknya biji padi dan dikenal dengan nama penyakit bakteri busuk biji (*grain rot*), busuk hitam (*black rot*), dan palea cokelat (*bacterial palea browning*). Disamping itu sejumlah bakteri patogen benih juga menimbulkan gejala pada bibit tanaman dan pelepah daun, maka penyakitnya sering dinamai busuk bibit (*seedling rot*) atau busuk pelepah (*sheath rot*) (Ou, 1985; Kaku, 1988; Mew, 1989; Bradbury, 1986). Selain itu dikenal pula adanya penyakit *foot rot* (*Erwinia chrysanthemum*) dan *grain rot* (*Burkholderia glumae*) (Anonim, 2008).

Dampak penyakit bakteri terhadap tanaman padi disamping tanaman tumbuh tidak normal, hasil padi dan kualitas gabah juga menurun. Lebih dari itu semua penyakit bakteri padi dapat menginfeksi benih, sehingga benih yang terinfeksi berfungsi sebagai sumber inokulum bagi penyebaran penyakit di lapangan.

Penyakit bakteri padi relatif sulit dikendalikan, karena patogen beragam dan sifat genetiknya mudah mengalami mutasi, terutama virulensinya terhadap varietas padi. Saat ini teknik baku untuk peramalan penyakit bakteri, khususnya untuk daerah tropik, belum tersedia, sehingga penentuan saat pengendalian yang tepat juga belum dapat dilakukan. Pengendalian utama penyakit padi yang disebabkan oleh bakteri adalah dengan menggunakan varietas tahan. Cara atau teknik pengendalian tersebut mempunyai beberapa kelebihan antara lain murah,

mudah, dan aman (Sinaga, 2002). Di samping itu sejumlah bakterisida kimia yang efektif terhadap penyakit bakteri sudah ditemukan, antara lain bakterisida yang berbahan aktif Cu.

Makalah ini membahas beberapa aspek tentang penyakit bakteri padi dan potensi pengendaliannya. Penyakit HDB saat ini menjadi penyakit yang penting pada padi di Indonesia karena penyakit ini luas serangannya menunjukkan kenaikan yang cukup besar bahkan dapat mengakibatkan puso. Sesuai dengan jumlah informasi yang diperoleh, maka bahasan ini lebih diutamakan pada penyakit Hawar Daun Bakteri (HDB). Namun demikian, tidak berarti bahwa penyakit bakteri lainnya tidak penting untuk dikendalikan.

2. KARAKTERISTIK UMUM BAKTERI

Bakteri merupakan organisme kecil yang disebut mikroorganisme selular. Bentuk bakteri dapat bulat (spherical/coccus), silindris atau batang (*bacilli*), spiral atau koma (vibron). Bakteri tersebut dapat terdiri dari sel tunggal, sel ganda, rantai atau berkelompok (Sinaga, 2002).

3. KLASIFIKASI BAKTERI (ABADI, 2003)

Bakteri termasuk dalam kerajaan PROKARYOTEA. Kemudian dibedakan menjadi dua yaitu: Bacteria dan Mollecute.

BACTERIA: Mempunyai membran sel dan dinding sel

MOLLECUTE (MLO, *Mycoplasma Like Organisms*): Hanya mempunyai membran sel dan tidak mempunyai dinding sel.

BACTERIA

Kelas	:	Proteobacteria
Suku	:	Enterobacteriaceae
Marga	:	Erwinia
Suku	:	Pseudomonadaceae
Marga	:	Acidovorax
		Pseudomonas
		Rhizobacter
		Xanthomonas
		Xylophilus
Suku	:	Rhizobiaceae
Marga	:	Agrobacterium
		Rhizobium
Suku	:	Belum diberi nama
DIVISI	:	Firmicutes
Kelas	:	Firmibacteria

Marga : Bacillus
Clostridium
Kelas : Thallobacteria
Marga : Arthrobacter
Clavibacter
Curtobacterium
Rhodococcus
Streptomyces

MOLLICUTES (MLO = *Mycoplasma Like Organisms*)

Hanya mempunyai membrane sel dan tidak mempunyai dinding sel

Divisi : Tenericutes
Kelas : Mollicutes
Suku : Spiroplasmataceae
Marga : Spiroplasma
Suku : Belum diketahui

Bakteri penyebab penyakit pada tumbuhan yang paling umum dan banyak dijumpai hanya ada 7 marga (Abadi, 2003).

3.1 Ciri-ciri Marga Penting Bakteri

Agrobacterium : Bakteri gram negatif, bentuknya seperti tongkat berukuran $0,8 \times 1,53 \mu$.

Clavibacter : (*Corynebacterium*) Bakteri gram positif, bentuknya seperti tongkat yang lurus atau membengkok seperti curva, berukuran $0,5-0,9 \times 1,5-4 \mu$. Kadang kadang mempunyai segmen atau granula yang berwarna dengan bentuk tidak beraturan. Beberapa species bakteri ini menyebabkan penyakit pada manusia dan binatang.

Erwinia : Bakteri gram negatif. Berbentuk seperti tongkat yang lurus berukuran $0,5-1,0 \times 1,0-3 \mu$.

Pseudomonas : Bakteri gram negatif, berbentuk seperti tongkat lurus atau Melengkung, berukuran $0,5-1 \times 1,5-4 \mu$. Bakteri motil dengan flagel polar yang jumlahnya satu atau lebih. Kebanyakan *Pseudomonas* patogenik pada tumbuhan, tetapi ada beberapa spesies yang menyerang binatang dan manusia.

Xanthomonas : Bakteri gram negatif. Bentuknya seperti tongkat yang lurus berukuran $0,4-1 \times 1,5-4 \mu$. Pertumbuhan pada medium agar selalu berwarna kuning. Kebanyakan pertumbuhannya lambat. Semua spesies adalah

patogenik pada tanaman, dan hanya ditemukan berasosiasi dengan tanaman atau material tanaman.

Xylella : Bakteri ini bersifat gram negatif, sel umumnya bentuk tongkat lurus, tidak motil tidak berflagel, berukuran 0,3 x 1,4 um.

4. LINGKUNGAN DAN PERKEMBANGAN PENYAKIT (ABADI, 2003)

4.1 Pengaruh Lingkungan Abiotik

4.1.1 Pengaruh Suhu

Patogen berbeda preferensinya terhadap suhu yang lebih tinggi dan suhu yang lebih rendah dari suhu normal yang dibutuhkannya. Pengaruh suhu terhadap perkembangan penyakit tertentu setelah infeksi, tergantung pada kombinasi spesifik inang-patogen. Perkembangan penyakit yang sangat cepat dalam waktu yang sangat pendek, dibutuhkan untuk penyelesaian siklus infeksi. Kondisi yang demikian biasanya terjadi bila suhu mencapai optimum untuk perkembangan patogen tetapi di atas atau di bawah suhu optimum untuk perkembangan inang.

4.1.2 Pengaruh Kelembaban

Keberadaan penyakit bakteri pada jaringan tanaman yang masih muda, sangat didukung oleh kelembaban udara yang relatif tinggi dan atau relatif rendah. Patogen bakteri ditularkan melalui percikan air hujan, dalam air yang bergerak dan jaringan tanaman yang terinfeksi ke bagian tanaman yang sehat atau ke dalam air bebas di dalam tanah. Bakteri mengadakan penetrasi ke dalam tanaman melalui luka atau lubang-lubang alami dan akan menyebabkan penyakit yang parah bila terjadi akumulasi sel bakteri dalam jumlah yang besar.

4.1.3 Pengaruh Angin

Angin mempengaruhi infeksi penyakit pada tanaman, melalui peningkatan penyebaran patogen tanaman dan peningkatan jumlah luka pada tanaman inang. Angin dapat menyebabkan permukaan tanaman terluka karena hembusan kerasnya atau karena antar tanaman saling bersinggungan, atau pasir yang diterbangkan menyebabkan gesekan. Semua hal tersebut tadi memungkinkan terjadinya infeksi bakteri pada tanaman.

4.1.4 Pengaruh Cahaya

Intensitas dan lamanya cahaya matahari dapat meningkatkan atau menurunkan kerentanan tanaman terhadap infeksi dan juga terhadap keparahan penyakit.

4.1.5 Pengaruh pH dan Struktur Tanah

Keasaman (pH) tanah adalah penting dalam kejadian dan keparahan penyakit tanaman yang disebabkan oleh patogen tanah tertentu. Pada beberapa kasus penyakit tanaman inang akan menjadi lemah karena adanya pengalihan nutrisi yang disebabkan oleh keasaman tanah. Hal tersebut dapat berpengaruh terhadap kejadian dan keparahan penyakit. Faktor tanah selain pH juga dapat berpengaruh terhadap perkembangan penyakit tanaman.

4.1.6 Pengaruh Nutrisi Tanaman Inang

Nutrisi mempengaruhi laju pertumbuhan dan tingkat kesiapan tanaman untuk bertahan melawan serangan patogen. Nitrogen yang berlebihan menghasilkan tanaman yang tumbuh sukulen dengan periode vegetatif yang panjang dan penundaan penuaan tanaman. Pengaruh ini akan menyebabkan tanaman lebih rentan terhadap patogen yang biasanya menyerang jaringan semacam ini dengan periode yang lebih lama. Sebaliknya tanaman yang menderita kekurangan nitrogen, pertumbuhannya lebih lambat dan cepat tua dan rentan terhadap patogen. Akan tetapi pengaruh tersebut nampaknya tidak terkait dengan jumlah nitrogen tetapi lebih mungkin ditentukan oleh bentuk nitrogen (ammonium atau nitrat) yang tersedia bagi inang atau patogen, sehingga mempengaruhi tingkat serangan penyakit atau ketahanan tanaman (Agrios, 1996).

Fosfor meningkatkan ketahanan melalui peningkatan keseimbangan hara pada tumbuhan atau mempercepat kematangan tanaman, sehingga memungkinkan tanaman terhindar dari infeksi patogen yang lebih menyukai jaringan muda (Agrios, 1996)

Kalium secara langsung mempengaruhi berbagai tingkat perkembangan dan keberadaan patogen di dalam inang, dan secara tidak langsung mempengaruhi infeksi dengan mendorong penyembuhan luka. Studi dengan menggunakan elemen unsur hara lain seperti fosfor (P), potasium (K), kalsium (Ca), dan nutrisi mikro memberikan indikasi hubungan yang serupa antara tingkat nutrisi tertentu dengan kerentanan dan ketahanan terhadap penyakit tertentu.

5. PENYAKIT HAWAR DAUN BAKTERI (HDB)

5.1 Gejala Penyakit HDB

Bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* penyebab penyakit hawar daun bakteri dapat menginfeksi tanaman padi dari mulai pembibitan sampai panen. Ada dua macam gejala penyakit HDB, yaitu: gejala yang terjadi pada tanaman muda berumur kurang dari 30 hari setelah tanam disebut kresek, sedangkan gejala yang timbul pada tanaman mencapai stadia anakan sampai pemasakan disebut hawar (*blight*). Kresek merupakan gejala yang paling merusak dari penyakit HDB, sementara gejala yang paling umum dijumpai adalah gejala hawar (IRRI, 2008).

Gejala penyakit HDB pada tanaman di pesemaian, biasanya dicirikan oleh warna menguning pada tepi daun yang tidak mudah diamati. Gejala yang ditemukan pada fase pertumbuhan anakan sampai fase pemasakan adalah gejala hawar (*water soaked*) sampai berupa garis kekuningan pada daun bendera. Gejala mulai tampak pada ujung daun kemudian bertambah lebar, sampai menyebabkan pinggir daun berombak. Selain itu ditemukan juga eksudat bakteri berwarna susu atau berupa tetes embun pada daun muda di pagi hari. Pada stadia perkembangan gejala penyakit lebih lanjut, luka berubah warna menjadi kuning memutih. Selanjutnya pada daun yang terinfeksi parah, warna daun cenderung menjadi abu-abu disertai dengan muncul jamur saprofit (IRRI, 2008).

Menurut Thurston (1978) dalam Mew *et al.* (1989), suatu penyakit digolongkan berbahaya jika dapat berkembang dengan cepat, mengakibatkan kehilangan hasil yang serius, dan sulit dikendalikan. HDB termasuk lima besar penyakit yang berbahaya baik di daerah tropik maupun subtropik. HDB berbahaya tidak hanya karena potensi epidemiknya, tetapi juga karena patogennya dapat ditularkan melalui biji dan dapat bertahan hidup dalam biji selama semusim, bahkan di India sampai 11 bulan (Singh *et al.* 1983 dalam Mew *et al.* 1989). Kaku (1988) dan Xie *et al.* (1999a) menggolongkan HDB sebagai penyakit penting tanaman padi di daerah tropik dan subtropik Asia. Di Indonesia, HDB juga merupakan salah satu penyakit terpenting tanaman padi, terutama pada tanaman padi sawah (Kardin dan Hifni, 1993).

5.2 Penyebaran Penyakit dan Arti Ekonomi

Saat ini HDB dilaporkan terdapat di seluruh daerah pertanaman padi di dunia termasuk di Asia, Australia, Afrika, dan Amerika (Ou, 1985). Di Indonesia, HDB terdapat diseluruh wilayah pertanaman padi, terutama di daerah pertanaman padi sawah. Pada periode 1992–1997 pertanaman padi yang terinfestasi berat oleh HDB mencapai 121.133 ha, dengan kejadian tertinggi pada tahun 1993. Wilayah dengan kejadian penyakit HDB yang berat adalah

Jawa Barat (48%), Jawa Tengah (22%), dan Jawa Timur (11%). Pada umumnya kejadian HDB tertinggi pada musim hujan antara Januari dan Februari. Di Jawa Barat, penyakit ini setiap tahun banyak dijumpai juga pada bulan Mei dan Juni. Selama periode 1996–2002, luas wilayah yang terinfestasi HDB pada musim kemarau 6.466,6 ha dan sekitar 107,8 ha di antaranya puso. Sedangkan pada MH 1996–2002, rata-rata luasan areal pertanaman padi yang terinfestasi HDB mencapai 9.639,5 ha, dan 5,1 ha di antaranya puso (Lanya, 2002).

Pada tahun 2006, puncak serangan penyakit HDB terjadi pada bulan Februari (14.361 ha), dan terendah terjadi pada bulan November (870 ha). Luas serangan penyakit HDB pada tahun 2006 (74.243 ha, dan 61 ha puso) lebih tinggi dibandingkan luas serangan tahun 2005 (33.848 ha) dan dibandingkan dengan rata-rata luas serangan 5 tahun (32.477 ha, yang 19 ha di antaranya puso) (Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, 2007).

Di wilayah Indonesia, HDB dijumpai di 25 provinsi, yang tersebar di 54% dari jumlah kecamatan yang ada. Kejadian dan keparahan penyakit HDB beragam dari musim ke musim dan dari satu wilayah ke wilayah. Lanya (2002) melaporkan bahwa pada musim kemarau (MK), HDB endemik di daerah Tasikmalaya, Indramayu, dan Karawang (Jawa Barat), Grobogan, Pekalongan, dan Pemalang (Jawa tengah). Pada musim hujan (MH), penyakit ini endemik di Tasikmalaya, Kuningan, Cirebon, Indramayu, Subang, Karawang, dan Bekasi (Jawa Barat), Batang, Pekalongan, Pemalang, Tegal, dan Brebes (Jawa Tengah), dan di Pandeglang (Banten) (Tabel 1).

Secara ekonomi, HDB sangat merugikan di negara-negara Asia, terutama di daerah yang sepanjang tahun bertanam padi secara terus menerus (Mew, 1989). Kerusakan akibat infeksi HDB secara kuantitatif ditunjukkan oleh menurunnya hasil panen dan bobot 1.000 biji, sedangkan kerusakan yang bersifat kualitatif ditunjukkan oleh pengisian gabah yang kurang sempurna dan gabah mudah pecah ketika digiling. Kerusakan akibat HDB berkisar antara 10–20% (sedang), kerusakan berat dapat mencapai lebih dari 50% (Mew, 1989), bahkan di India, kerusakan berat dapat mencapai 80–100% (Devadath, 1989; Reddy dan Yin 1989).

Besarnya penurunan hasil bergantung pada keparahan penyakit dan stadia awal infeksi tanaman. Suparyono dkk. (2003) melaporkan bahwa ambang kerusakan penyakit HDB pada tanaman padi stadia dewasa berkisar pada keparahan penyakit 20%, setiap keparahan penyakit naik 10% dari ambang tersebut menyebabkan kehilangan hasil meningkat antara 4–6%. Di Indonesia, kerusakan hasil padi karena HDB bervariasi antara 10–95%, tetapi pada umumnya berkisar antara 15–23% (Triny, 2000).

Tabel 1. Sebaran Penyakit HDB di Indonesia Tahun 1992–2006

Tahun	Luas	Sebaran
1992 – 1997	121.133 ha	Jabar 48% Jateng 22% Jatim 11%
1996 – 2002	9639,5 ha	Puso 5,1 Ha
2005	38,848 ha	
2006	74.243 ha	

5.3 Bioekologi Patogen

Bakteri penyebab HDB termasuk bakteri aerobik gram negatif, berbentuk batang tunggal dan jarang berpasangan, berukuran 0,45–0,75 x 0,65–2,1 mikron, bergerak dengan flagel (Ou, 1985), sedangkan koloninya berwarna kuning.

Disamping biji dan bibit, sumber penular *Xoo* adalah jerami, ratun, dan gulma inang (Wakimoto dan Mizukami 1969 dalam Mew *et al.* 1989). Sel bakteri *Xoo* tumbuh dan berkembangbiak sangat cepat. Pada awal pertumbuhannya (dalam waktu 2–4 hari) baik dalam daun padi varietas tahan maupun rentan, sel bakteri berkembangbiak dari 10^3 - 10^4 menjadi 10^7 - 10^8 sel/ml. Selanjutnya, perkembangbiakan *Xoo* dalam daun varietas tahan lebih lambat daripada dalam daun varietas rentan. Hal ini sebagai dampak ketahanan varietas terhadap perkembangan penyakit di lapangan (Leach *et al.*, 1989).

Berbagai cara telah digunakan untuk mempelajari bioekologi *Xoo* dari berbagai habitatnya seperti tanaman padi, tanah, air irigasi, dan tanaman inang alternatif, di antaranya dengan isolasi langsung pada media agar, menggunakan bakteriofah, eksudasi bakteri pada gelas benda, dan serologi (Quimio, 1989; Reddy dan Yin, 1989).

5.3.1 Variabilitas *Xoo*

Bakteri *Xoo* memiliki keragaman strain yang sangat luas. Dalam upaya untuk mengetahui bioekologi *Xoo*, para peneliti telah mengelompokkan strain *Xoo* pada tingkat di bawah spesies (*infrasubspesies level*) seperti pengelompokan dalam patovar, phagovar, biovar, morphovar, serovar, dan patotipe. Namun demikian, cara pengelompokan ini tidak berkaitan langsung dengan nomenklatur atau taksonomi *Xoo* (Quimio, 1989; Vera Cruz dan Mew, 1989).

Berdasarkan virulensinya terhadap satu set varietas padi diferensial yang mengandung gen ketahanan HDB yang berbeda (varietas diferensial Jepang, Indonesia, dan IRRI) strain *Xoo* Indonesia dikelompokkan dalam ras (patotipe). Yamamoto *et al.* (1977) melaporkan bahwa pada tahun 1976 di Indonesia dijumpai tiga ras, yaitu ras III, IV, dan V. Ras III dijumpai di Sulawesi Selatan,

Jawa, Bali, dan Kalimantan. Ras IV terdapat di Sulawesi Selatan, Jawa, dan Bali, tetapi tidak terdapat di Kalimantan, sedangkan ras V hanya terdapat di Bali. Pada tahun 1980, dilaporkan 6 ras *Xoo*, yaitu ras III, IV, V, VI, dan VIII. Ras IV, walaupun populasi dan wilayah sebarannya terbatas, memiliki tingkat virulensi yang paling tinggi. Pada tahun 1995 dilaporkan bahwa jumlah ras *Xoo* di Indonesia sebanyak 11 ras (Hifni, 1995). Pada MH 1996/1997 dilaporkan bahwa berdasarkan virulensinya terhadap varietas diferensial padi Indonesia (PB5, Jawa 14, Kencana, Tetep, dan Kuntulan) populasi *Xoo* yang dominan di Jawa Barat adalah ras IV, VII, dan X. Di antara ketiga ras tersebut ras IV adalah yang paling dominan (Triny *et al.*, 1998). Tetapi, pada MK 1997 komposisi ras ini berubah, ras VIII menjadi paling dominan, diikuti oleh ras III, IV, dan VII. Pada MH 1997/1998, ras VIII masih tetap dominan, tetapi muncul ras baru, yaitu ras XII (Triny, 2000). Informasi sebaran ras semacam ini penting untuk diketahui dalam kaitannya dalam menentukan varietas padi yang akan ditanam di suatu wilayah.

Pada MK 1998 di Jawa Barat, ras VIII terdapat di daerah Karawang, Sukabumi, Purwakarta, Indramayu, Cirebon, dan Subang. Ras IV hanya dijumpai di daerah Indramayu dan Subang. Ras IX dijumpai di Sukabumi dan Subang, sedangkan ras X hanya dijumpai di Sukabumi. Pada MH 1998/1999, ras VIII dijumpai di Indramayu, Cirebon, Subang, dan Cianjur, ras X hanya di Karawang, dan ras V hanya di Cirebon. Perkembangan populasi ras diduga berkaitan penanaman varietas IR64 yang dilakukan secara terus menerus. Pertanaman IR64 pada MK di Jawa Barat mencapai 55,5–100% dari total pertanaman padi, sedangkan pada MH berkisar antara 0–80%. Ras *Xoo* yang sering dijumpai di daerah yang ditanami IR64 adalah ras III, IV, VI dan VIII (Triny, 2000a).

Pada MH 1999/2000 Suparyono *et al.* (2004) melaporkan hasil survei di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan DIY dengan menggunakan varietas diferensial Indonesia bahwa dari 117 isolat dapat dikelompokkan sebagai *Xoo* ras III, IV, dan VIII dengan proporsi masing-masing 3,4%; 12,8%, dan 83,8%. Hasil survei pada MK 2000 di Jawa Tengah menunjukkan bahwa keparahan HDB berkisar antara 8,8–100%, sedangkan ras *Xoo* yang dominan adalah ras V, VI, VIII, dan X. Berdasarkan varietas diferensial Jepang, sebaran ras *Xoo* di Jawa didominasi oleh ras III (42,7%), ras IV (15,3%), dan ras VIII (42,0%). Waktu atau fase infeksi masing-masing ras berbeda; ras VIII umumnya menginfeksi tanaman antara stadia anakan maksimum dan pembungaan, sedangkan ras III pada saat menjelang panen. Begitu pula Suparyono dkk. (2003) melaporkan hasil penelitiannya bahwa komposisi patotipe bakteri *Xoo* dipengaruhi oleh stadium tanaman padi. Pada stadium anakan sampai pembungaan bakteri *Xoo* yang dominan adalah ras VIII, sedangkan pada tanaman stadium masak ras III dominan pada musim kemarau dan ras VIII dominan pada musim hujan.

Hasil penelitian Sudir dan Suprihanto (2006) menunjukkan bahwa perubahan ras bakteri *Xoo* dapat terjadi dalam jangka waktu dua musim tanaman padi. Hasil inokulasi pertama dan kedua pada MK 2004 menunjukkan adanya perubahan virulensi isolat, yaitu virulensi tinggi (strain IV) dan rendah (III) berubah menjadi sedang (VIII). Pada MH 2004/2005, bakteri *Xoo* virulensi sedang dan rendah berubah menjadi virulensi tinggi. Pemetaan patotipe berguna dalam menentukan rekomendasi varietas yang ditanam dan perakitan varietas tahan (Triny, 2000b).

Pada MK 1994, pada pertanaman galur isogenik HDB (BB-*Near Isogenic Lines*, NILs) yang ditanam di Bekasi dan Karawang dijumpai ras I yang dapat mematahkan gen ketahanan Xa-1, Xa-11, dan Xa-14 (Tabel 2). Di samping itu juga dijumpai ras V yang diduga paling sedikit memiliki 7 gen virulensi yang dapat mematahkan gen Xa-1, Xa-2, Xa-3, Xa-4, Xa-10, Xa-11, dan Xa-14, serta ras XII yang diduga paling sedikit memiliki 10 gen virulensi yang dapat mematahkan gen Xa-1, Xa-2, Xa-3, Xa-4, Xa-5, Xa-7, Xa-10, Xa-11, Xa-14 dan Xa-20 (Tabel 2) (Hifni dan Kardin, 1998).

Tabel 2. Perkembangan Ras HDB di Indonesia

Tahun	Metode	Ras
1977	Yamamoto	3 ras, II, IV, dan V. Ras III Sulsel, Jawa, Bali Kalimantan. Ras IV Sulsel, Jawa Bali. Ras V: Bali
1980	Yamamoto	5 ras, III, IV, V, VI, dan VIII
1995	Yamamoto	11 ras
1996/1997		Di Jabar. Ras IV,VII dan X. Ras IV dominan
MK 1997		Di Jabar Ras III, IV, VII, dan VIII. Ras VIII dominan.
MP 1997/1998		Di Jabar, ras VIII. Ditemukan ras XII
MK 1998		Di Jabar Ras VIII Karawang, Sukabumi, Purwakarta, Indramayu, Cirebon, dan Subang. Ras X di Sukabumi
MH 1998/1999		Di Jabar Ras VIII Indramayu, Cirebon, Subang, dan Cianjur. Ras X Karawang. Ras V Cirebon
MH 1999/2000		Di Jabar, Jateng, dan DIY Ras III 3,4% Ras IV 12,8% Ras VIII 83,8%
MK 2000		Jawa Tengah Ras V, VI, VIII, dan X
2001	Var. diff Jepang	Jawa ras III 42,7%, IV 15,3%, dan VIII 42,0%.

Saat ini untuk monitoring patotipe telah digunakan NILs (*Near Isogenic Lines*) yang sudah diketahui susunan genotipe gen ketahanan terhadap HDB-nya (Tabel 3). Penggunaan galur-galur isogenik sebagai varietas diferensial mempermudah dalam mengidentifikasi gen-gen ketahanan yang efektif untuk suatu wilayah. Dengan berasumsi bahwa interaksi strain *Xoo* dan varietas padi mengikuti teori gen untuk gen, maka kita juga dapat melakukan deduksi gen virulensi yang ada pada suatu strain (Hifni *et al.*, 1996).

Konsep gen-untuk-gen, menjelaskan bahwa setiap gen ketahanan yang terdapat pada inang berhubungan dengan gen yang mengendalikan virulensi pada patogen, dan demikian sebaliknya. Konsep gen-untuk-gen hanya ditemukan pada tumbuhan dengan bentuk ketahanan vertikal (monogenik dan oligogenik) terhadap penyakit tertentu (Agrios, 1996).

Sinaga (2002) menyatakan konsep gen-untuk-gen dapat menerangkan evolusi virulensi patogen dan resistensi inang. Konsep flor mengemukakan bahwa tiap gen dari inang yang mengatur resistensi selalu berkoresponden dengan gen dari patogen yang mengatur virulensi, demikian sebaliknya. Untuk dapat menginfeksi varietas inang dengan gen-gen resisten baru maka patogen akan segera berusaha membentuk gen-gen baru yang berkoresponden dengan gen baru dari inang sehingga ketahanan inang dapat dipatahkan. Oleh karena itu, dapat dipahami mengapa pemulia tanaman tidak pernah berhenti membuat atau mengusahakan varietas resisten atau tanaman inang resisten yang baru.

Hasil penelitian Triny *et al.* (2004), selama 3 tahun di beberapa lokasi memperlihatkan IRBB7 (Xa-7) tidak menunjukkan keparahan HDB yang tinggi, dapat dijadikan sebagai sumber gen tahan terhadap HDB (Tabel 4 dan 5). Tabel 6 menunjukkan gen ketahanan pada galur isogenik sebagai varietas differntial internasional.

Tabel 3. Reaksi Galur Padi Isogenik (*Near Isogenic Lines*, NILs) terhadap Ras *X. oryza* pv. *oryzae* di Bekasi dan Karawang pada MK1994 (Hifni dan Kardin, 1998)

Ras	Reaksi galur isogenik										Jumlah	Persentase
	IRBB1	BB2	BB3	BB4	BB5	BB7	BB10	BB11	BB14	BB21		
I	S	R	R	R	R	R	R	S	S	R	1	0,94
II	R	S	R	S	R	R	S	S	S	R	1	0,94
II	S	S	R	S	R	R	S	S	S	R	6	5,66
IV	S	S	R	S	R	S	S	S	S	R	1	0,94
V	S	S	S	S	R	S	S	S	S	R	49	46,23
VI	S	S	S	S	R	R	S	S	S	S	12	11,32
VII	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	7	6,6
VIII	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	4	3,77
IX	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	4	3,77
X	S	S	S	S	R	R	S	S	S	S	9	8,49
XI	S	S	S	S	S	S	S	S	S	R	7	6,60
XII	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	6	4,72

Keterangan: S = *susceptible* (skor 5-9), R = *resistant* (skor 1-3).

Tabel 4. Reaksi IRBB (MH 1999–2000 dan MK 2001) (Triny *et al.*, 2004)

NILs	MH 1999–2000				MK 2001	
	Sukamandi	Subang	Cianjur	Ngale	Sukamandi	Subang
IRBB1	P	P	P	P	AT	P
IRBB2	P	P	P	P	P	P
IRBB3	P	P	P	P	P	P
IRBB5	P	P	P	P	AT	P
IRBB7	AT	P	AT	P	AT	P
IRBB10	P	AT	P	AT	AT	AT
IRBB11	AT	P	P	P	AT	P
IRBB13	P	P	P	P	AT	P
IRBB14	P	P	P	P	AT	P
IRBB21	AT	P	P	P	AT	P

P: Rentan; AT: Agak tahan; T: Tahan.

Tabel 5. Reaksi IRBB (MH 2001–2002 dan MK 2002) (Triny *et al.*, 2004)

NILs	MH 2001–2002		MK 2002		
	Sukamandi	Batang	Sukamandi	Batang	Subang
IRBB1	P	P	P	P	P
IRBB2	P	P	P	P	P
IRBB3	P	AT	P	P	P
IRBB5	P	P	P	P	P
IRBB7	AT	P	AT	AT	AT
IRBB10	AT	AT	AT	P	P
IRBB11	T	AT	P	T	P
IRBB13	T	T	P	AT	P
IRBB14	AT	P	P	P	P
IRBB21	P	T	P	AT	P

P: Peka; AT: Agak tahan; T: Tahan.

5.3.2 Ras Secara Biomolekuler

Keragaman genetik bakteri HDB diteliti melalui analisis sidik jari DNA dengan marka IS 1113. Dari 551 isolat *Xanthomonas oryzae* yang berasal dari 23 kabupaten di Jawa dan Bali, diperoleh informasi bahwa marka IS 1113 dapat mendeteksi 15 macam pola sidik jari DNA (selanjutnya disebut haplotip). Keragaman genetik *Xoo* di Jawa dan Bali dari analisis DNA ini ternyata tidak banyak beragam dibandingkan dengan yang pernah dilaporkan di Filipina (Ardales *et al.*, 1996), hal ini ditunjukkan oleh rendahnya tingkat keragaman genetik ($HT = 0,5$) populasi yang dianalisis.

Dua tipe sidik jari haplotip yang dominan yaitu A-001 dan A-003 dengan tingkat dominasi 47% dan 50,3% dari total populasi. Populasi terkelompok dalam satu rumpun famili (lineage) A pada analisis klaster data sidik jari DNA dengan UPGMA. Hasil penelitian sidik jari DNA dengan *ligation mediated*–

Tabel 6. Gen Ketahanan Varietas Padi Differensial terhadap Hawar Daun Bakteri (Ogawa, 1993)

Varietas	Gen ketahanan
IRBB1	Xa-1, Xa-12
IRBB2	Xa-2
IRBB3	Xa-3
IRBB4	Xa-4
IRBB5	xa-5
IRBB7	Xa-7
IRBB8	xa-8
IRBB10	Xa-10
IRBB11	Xa-11
IRBB21a	Xa-21
IR24	Xa-16
BJ 1	xa-5, xa-13
Taichung Native	Xa-14
Asominori	Xa-17
Toyonishiki	Xa-18
M41b	Xa-15
XM5c	Xa-19
XM6c	Xa-20

PCR (LLM-PCR) dari isolat HDB yang mewakili haplotipe –IS 11113 menunjukkan bahwa walaupun letak geografis antara Indonesia dan Filipina berbeda tetapi HDB mempunyai kekerabatan yang sangat dekat yang ditunjukkan oleh comigration profil DNA produk LM-PCR dari haploid IS1113A.001 asal Indonesia dan Filipina (Bustaman dkk., 1998).

Hasil penelitian Triny *et al.* (2007a), menunjukkan bahwa galur haploid ganda tersebut tahan terhadap *Xoo* dengan keparahan terhadap ras III 0,63–3,28%, terhadap ras IV 2,41–12,84% dan terhadap ras VIII 1,37–8,64%.

5.4 Teknik Serologi

Teknik serologi dengan menggunakan antibodi polikonal (PAb) maupun antibodi monoklonal (McAb) telah digunakan dalam deteksi dan identifikasi *Xoo* baik dari biakan murni, biji, permukaan biji padi dan gulma, maupun dari air irigasi. Teknik ini juga telah digunakan untuk pengelompokan ras *Xoo* berdasarkan reaksi serologinya menjadi serovar (Quimio, 1989).

Pengelompokan 160 isolat *Xoo* dari beberapa Negara Asia menunjukkan adanya 3 kelompok serovar (Choi *et al.*, 1980 dalam Quimio 1989). Teknik serologi dan antibodi (Ab) yang digunakan para peneliti untuk pengelompokan serovar masih beragam. Beberapa teknik di antaranya adalah aglutinasi, gel agar difusi ganda, imunoelektroforesis, hemaglutinasi pasif, imunoflorescence

dan ELISA (Quimio, 1989). Hasil penelitian Suryadi *et al.* (2006) menunjukkan PAb yang diperoleh dari isolat asal Sukamandi bereaksi positif terhadap semua isolat yang diuji. Titer antibodi tertinggi diperoleh pada nilai 2048 dan memiliki rata-rata kandungan kemurnian protein (OD 250260) berkisar antara $1,23 + 0,14\text{aMPi}$ $1,55 + 0,25$. Pengenceran optimum PAb *Xoo* adalah 1800 Pab *Xoo* yang digunakan menunjukkan reaksi positif terhadap contoh tanaman padi maupun biakan murni *Xoo* yang diekstraksi dari berbagai lokasi di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Lampung. Hasil penelitian mengindikasikan tidak terlihat adanya reaksi silang dengan antigen bakteri lain. Hasil ini sangat potensial digunakan dalam penelitian yang berkaitan dengan pengendalian HDB, seperti uji kesehatan dan sertifikasi benih dan studi populasi *Xoo* dan kaitannya dengan epidemiologi HDB, walaupun pemanfaatannya masih sangat terbatas.

5.5 Daur Hidup *Xoo* dan Epidemiologi HDB

Peramalan penyakit perlu dilakukan sebelum menggunakan senyawa kimia untuk pengendalian (Devadath, 1989), tetapi teknik baku untuk peramalan HDB di daerah tropik belum ada. Namun demikian, informasi tentang aspek yang berkaitan dengan daur hidup *Xoo* dalam hubungannya dengan perkembangan HDB di lapangan telah banyak diperoleh. Sumber inokulum merupakan awal yang penting dalam perkembangan HDB di lapangan. Berbagai cara telah digunakan untuk mempelajari keberadaan, cara bertahan hidup (survival), dan penularan *Xoo*. Bakteri *Xoo* dapat bertahan hidup pada biji (benih), jerami dan serasah tanaman padi, ratun, gulma inang, dan bahkan dalam tanah dan air irigasi (Ou, 1985; Brar dan Thind, 1994).

Benih merupakan sumber inokulum penting bagi penularan *Xoo*. Pendapat peneliti tentang pentingnya peran benih sebagai sumber inokulum *Xoo* beragam, tetapi pada umumnya percaya bahwa benih merupakan sumber utama dan pertama penularan *Xoo* di lapangan. Koloni *Xoo* dijumpai pada endosperm dan gluma. Bakteri dapat bertahan hidup dalam benih selama semusim hingga 11 bulan. Berbagai survei menunjukkan bahwa intensitas infeksi benih oleh *Xoo* berkisar antara 5–100%, bergantung pada saat kejadian HDB muncul di lapangan, keparahan penyakit, dan varietas padi (Reddy dan Yin, 1989). Daya tahan hidup *Xoo* dalam biji padi beragam, tergantung varietas dan suhu lingkungan. Di India, benih padi dapat terinfeksi 90–100% dan setelah sebulan penyimpanan tingkat infeksi tersebut masih 70%, sedangkan setelah dua bulan penyimpanan tingkat infeksi tinggal 40%. Patogen ini dapat bertahan hidup dalam biji hingga 8–11 bulan. Rata-rata, infeksi *Xoo* pada biji di lapangan berkisar 11–21%. Ilyas *et al.* (2007) melaporkan bahwa *Xoo* dapat diisolasi dari benih. Hasil ini menunjang pendapat bahwa *Xoo* adalah tular benih.

Xoo memiliki gulma rumput-rumputan sebagai inang alternatif seperti *Leersia* spp. dan *Echinochloa colonum* (Ou, 1985). Koloni bakteri bahkan dapat hidup untuk sementara waktu pada tanaman non-inang seperti rerumputan dan jagung (Huang dan De Clene, 1989). *Xoo* dapat bertahan hidup lama hingga musim tanam berikutnya dalam bentuk koloni bakteri kering maupun koloni basah *Xoo* pada jerami, serasah tanaman, dan ratun padi (Wakimoto 1956 dalam Ou, 1985).

Pada pertanaman padi di sawah, eksudat bakteri yang keluar pada pagi hari melalui hidatoda daun yang menunjukkan gejala HDB, terkumpul sebagai butiran air keruh di tepi daun, menjadi kering di siang hari, dan seringkali jatuh ke bagian tanaman lain atau ke air irigasi, menjadi sumber inokulum utama penularan HDB (Ou, 1985; Reddy dan Yin, 1989). Keberadaan *Xoo* dalam tanah dan air irigasi juga telah dideteksi baik dengan isolasi, maupun reaksi bakteriofah (Ou, 1985).

Epidemiologi HDB dapat diketahui dengan baik di daerah subtropik (Ou, 1985), tetapi sangat beragam dan belum banyak diketahui di daerah tropik, karena faktor lingkungan dan pola bercocok tanam padi yang sangat beragam. Proses infeksi, *xoo* masuk ke tanaman padi terutama melalui hidatoda dan luka. Selama 24 jam sel bakteri dapat tumbuh dan berkembangbiak di sekitar hidatoda daun padi yang rentan, kemudian masuk ke dalam ruang antarsel dan akhirnya ke jaringan epitem dan berkas pembuluh untuk menyebar secara sistemik. Dalam waktu 48 jam bakteri dapat berkembang biak dari 10^3 menjadi 10^7 – 10^8 sel. Luka pada daun yang terjadi karena kebiasaan petani memotong pucuk daun bibit padi yang akan ditanam juga memberi peluang utama terjadinya infeksi *Xoo* pada tanaman. Mekanisme kerusakan daun yang diawali dari pemotongan ujung daun pada saat tanam yang menimbulkan luka sebagai sumber inokulum yang penting terutama untuk kresek (IRRI, 2008).

5.6 Pengendalian HDB

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengendalikan HDB, tetapi hasilnya belum optimal. Hal ini terbukti bahwa HDB masih menjadi kendala utama produksi padi baik di daerah tropik maupun subtropik. Komponen utama pengendalian HDB di antaranya adalah: (1) penggunaan varietas tahan; (2) uji kesehatan benih; (3) perawatan benih; (4) penggunaan bahan kimia (bakterisida); (5) pengendalian hayati; dan (6) pengendalian penyakit secara terpadu.

5.6.1 Penggunaan Varietas Tahan

Pengendalian HDB melalui ketahanan varietas terbukti efektif di daerah tropik, terutama menggunakan ketahanan gen mayor (*major gene resistance*)

(Kush *et al.*, 1989). Di samping itu ketahanan parsial terhadap HDB juga umum pada padi dan saat ini jenis ketahanan ini telah digabungkan untuk memperoleh varietas padi yang memiliki ketahanan poligenik.

Akhir-akhir ini, IRRI telah mengembangkan berbagai galur-galur elit padi tahan HDB dan sebagian di antaranya telah digunakan di negara lain termasuk di Indonesia. Di negara-negara lain seperti China, Vietnam, Thailand, Bangladesh, India, Malaysia, dan Nepal, program pemuliaan serupa juga telah dilaksanakan dan hasilnya diperoleh varietas padi tahan HDB dengan gen mayor dan penggabungan beberapa gen minor (Kush *et al.*, 1989).

Di Indonesia, saat ini ketahanan terhadap HDB juga telah menjadi syarat utama dalam pemuliaan padi di samping sifat-sifat fisiologis dan agronominya. Pada periode 1996–2003, sebanyak 25 varietas unggul tahan HDB telah dilepas di Indonesia (Tabel 5). Berdasarkan reaksinya terhadap tiga ras utama *Xoo* (III, IV, dan VIII), varietas-varietas tahan HDB dikelompokkan menjadi 5 kelompok, yaitu 9 varietas tahan ras III, dua varietas tahan ras IV, 8 varietas tahan ras III dan IV, dan 3 varietas tahan ras III, IV, dan VIII, dan 4 varietas tahan ras VIII saja. Rekomendasi pengendalian yang utama adalah menanam varietas tahan. Varietas padi tahan HDB yang direkomendasikan untuk ditanam saat ini di Conde dan Angke serta varietas lainnya yang tertera pada Tabel 7.

Hasil penelitian di beberapa lokasi selama tiga tahun menunjukkan hasil bahwa NILs (*Near Isogenic Lines*) IRBB7 (mengandung Xa-7) menunjukkan tahan terhadap HDB. Untuk itu IRBB7 dan IRBB11 dapat sebagai sumber gen tahan pada musim hujan dan IRBB7 dan IRBB10 dapat digunakan sebagai sumber gen tahan pada musim kemarau (Triny *et al.*, 2004).

Hal lainnya yang dapat dilakukan dalam memperluas diversitas genetik ketahanan padi terhadap HDB adalah memanfaatkan spesies padi liar sebagai sumber gen ketahanan. Lebih dari 20 spesies liar menyebar dan meluas ke Asia Tropik, Afrika, Amerika Latin, dan Caribia (IRRI, 2004). Zhang and Tang (2004) menyatakan bahwa spesies padi liar tersebar di 77 negara dengan jumlah total aksesinya sekitar 19.690. Salah satu padi liar yaitu *Oryza rufipogon* (Acc: IRGC # 105491: AA genome) merupakan spesies padi liar yang berkerabat dengan padi budidaya dan diketahui mempunyai gen ketahanan terhadap HDB yaitu Xa-21 (Zhang *et al.*, 2002) dan Xa-23 (Zhang dan Tang, 2004). Hasil penelitian BC2F2 antara IR64 dan *Oryza rufipogon* bersifat tahan terhadap patotipe IV dan VIII. Pembuatan populasi haploid ganda dari turunan populasi tersebut menghasilkan 12 galur haploid ganda yang tahan terhadap HDB patotipe IV dan VIII. Galur-galur tersebut adalah Bio-1, Bio-2, Bio-8, Bio-9, Bio-10, Bio-14, Bio-34, Bio-37, Bio-38, Bio-61, Bio-62, dan Bio-77. Berdasarkan analisis molekuler dengan primer spesifik untuk gen Xa-7 (XaLD), galur-galur haploid ganda tersebut memiliki gen Xa-7 (Hanarida, 2007). Sedangkan berdasarkan analisis dengan primer Xa-7, SNPs, diketahui bahwa galur Bio-1 memiliki tipe

Tabel 7. Varietas Padi Tahan Penyakit Hawar Daun Bakteri (HDB) yang Dilepas Balai Penelitian Tanaman Padi pada Periode 1996–2003 (Las, 2002)

Varietas (gen tahan)	Tahun pelepasan	Ketahanan terhadap HDB	Ras <i>Xoo</i>
Memberamo	1995	R	III
Maros	1996	MR	III
Cilosari	1996	MR	III
Way Apu Buru	1998	R	III, IV
Widas	1999	MR	IV
Ketonggo	2000	MR	III
Ciherang	2000	MR	III
Cisantana	2000	MR	III
Tukad Petani	2000	MR	VIII
Tukad Balian	2000	MR	VIII
Tukad Unda	2000	MR	VIII
Singkil	2001	R	III, IV
Sintanur	2001	R	III
Cimelati	2001	R	III, IV
Code (Xa-7)	2001	R	III, IV, VIII
Angke (xa-5)	2001	R	III, IV, VIII
Konawe	2001	R	III
Ciujung	2001	R	III, IV, VIII
Wera	2001	R	III
Sunggal	2002	R	III, IV
Ketan Hitam	2002	R	III, IV
Intani	2001	MR	III, IV
		S	VIII
Rokan	2002	S	III, IV
Maro	2002	MR	III, IV
Fatmawati	2003	MR	IV

Keterangan: R = *Resistance* (tahan); MR = *Medium resistance* (agak tahan); S = *Susceptible* (rentan).

basa (T) japonica yang berbeda dengan IR64 hal ini merupakan informasi baru yang sangat berharga. Begitu pula Triny *et al.* (2007a) melaporkan bahwa Reaksi galur haploid ganda terhadap ras *Xoo* adalah spesifik. Galur yang menunjukkan tahan pada stadia bibit terhadap ras III *Xoo* adalah Bio-50-AC-Blas/BLB03, Bio-59-AC-BLB05 dan Bio-67-Ac-BLB 05. Galur yang menunjukkan tahan ras IV adalah Bio-69-AC-BLB05. Galur yang menunjukkan tahan terhadap ras VIII adalah Bio-46-AC-Blas/BLB03, Bio-47-AC-BLB05 dan Bio-48-AC-BLB05. Galur Haploid ganda yang menunjukkan agak tahan (MR) terhadap patotipe III, IV, dan patotipe VIII adalah Bio-38-AC-BLB 05 dan Bio-63-AC-Blas/BLB03.

Perubahan iklim global berpengaruh terhadap pembentukan penyakit HDB. Pada saat ini keberadaan penyakit HDB pada pertanaman padi gogo semakin

Tabel 8. Reaksi Galur dan Varietas Padi Gogo terhadap HDB (Indramayu, 2005) (Triny *et al.*, 2007)

Varietas/galur	Keparahan (%)	Reaksi
BP785C	1,93	R
S4899	3,70	R
TB396B	2,20	R
Cirata	10,00	MR
Towuti	7,59	MR
TB47CA	7,03	MR
Bio-511-62-3-1	6,66	MR
Bio-31-1-6-1-2	3,33	R
Situ Patenggang	11,85	MR
Cisantana	7,40	MR
TB36B-TB-60	10,74	MR
TB395B-TB-14	7,03	MR
Bio-151bb-6-61-24	8,50	MR
Bio-606e-18-9-66	5,55	MR
B902f-tb-7	2,59	R
B805 e	7,40	3 MR
TB4366-tn-3-1	8,51	3 MR
C22	8,51	3 MR

Keterangan: R = *Resistance* (Tahan), MR = *Medium resistance* (Agak tahan).

meluas. Hasil pengamatan di sejumlah sentra pertanaman padi gogo menunjukkan keparahan HDB 1,93–11,85%. Galur dan varietas gogo yang menunjukkan reaksi tahan dan agak tahan terhadap HDB dapat dilihat pada Tabel 8 (Triny *et al.*, 2007).

5.6.2 Benih Sehat

Perawatan benih dapat dilakukan secara fisik maupun kimiawi. Beberapa cara perlakuan yang dapat diterapkan menurut Devadath (1989) adalah: (1) perendaman benih dalam air panas 57° C selama 10 menit; (2) perendaman benih dalam campuran 0,05% ethyl-HgCl + 0,02% Agrimycin 10–12 jam diikuti perendaman benih dalam air panas 52–54° C 30 menit, dan (3) penjemuran benih 5 hari diikuti perlakuan air panas 52° C 10 menit. Pengendalian hayati bakteri dengan enkapsulasi benih dapat dilakukan dengan menggunakan bakteri antagonis (*B. subtilis*) (Ou, 1985).

5.6.3 Pengendalian Secara Kimiawi

Berbagai senyawa kimia, termasuk senyawa anorganik, senyawa organik, dan antibiotik telah diteliti efikasinya terhadap HDB. Sebagian di antaranya dinyatakan efektif. Penyemprotan tanaman dengan bakterisida seperti

Kasugamycin, Phenazin, dan Streptomycin dapat menekan intensitas HDB di lapangan. Kendala penggunaan bakterisida tersebut di tingkat petani adalah harganya yang mahal dan hasilnya tidak dapat dirasakan secara langsung (Ou, 1985). Dilaporkan pula bahwa penyemprotan dengan streptomycin sulphat + tetrasiklin kombinasi 300 g + copper occichlorid 1.250 g/ha efektif membasmi perkembangan HDB (Tamil Nadu Agricultural University, 1999).

Triny (2008) melaporkan bahwa tembaga oksida 56% dengan konsentrasi 3 g/l yang diaplikasikan pada saat pemupukan pertama dan penyemprotan pada saat tanaman berbunga serempak memberikan tingkat keparahan penyakit lebih rendah dari kontrol.

5.6.4 Pengendalian Hayati

Upaya pengendalian hayati HDB menggunakan mikroba antagonis telah dilakukan, tetapi efikasinya di lapangan belum terbukti nyata. Gnamamanickam *et al.* (2004) melaporkan bahwa *Bacillus* dapat menekan HDB sampai 50% di rumah kaca. *Bacillus lentus* menghasilkan anti bakteri aminoglycosida yang sama dengan kanosomin. Selain itu perlakuan *Bacillus* dapat meningkatkan jumlah anakan 3 kali lipat, dan dapat menghasilkan 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) mampu menekan keberadaan HDB sampai 64%. Salah satu alternatif pengendalian HDB adalah mengaplikasikan ekstrak daun *prosopis juliflora* 10% 20 kg/ac. Larutan *cow dung* 20%, 40 kg/ac dan minyak nimbi 3%/6 l/ac (Tamil Nadu Agricultural University, 1999).

5.7 Pengendalian Penyakit Secara Terpadu

Pengendalian penyakit tanaman merupakan bagian integral dari usaha pertanian. Jadi usaha pengendalian penyakit haruslah dilakukan secara terpadu dengan usaha lainnya, seperti pemupukan, pengairan, pemanenan dan penyimpanan sehingga dihasilkan produk tanaman yang baik dan dapat dipasarkan dengan nilai yang memadai (Sinaga, 2002).

5.7.1 Pengelolaan Tanaman

Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) merupakan suatu usaha untuk meningkatkan hasil padi dan efisiensi masukan produksi dengan memperhatikan penggunaan sumber daya alam secara bijak. Komponen teknologi pada PTT adalah: (1) penggunaan varietas padi unggul atau varietas padi berdaya hasil tinggi dan atau bernilai ekonomi tinggi, (2) penggunaan benih bersertifikat dengan mutu benih tinggi, (3) penggunaan pupuk berimbang spesifik lokasi, (4) penggunaan kompos bahan organik dan atau pupuk kandang sebagai pupuk

dan pembenah tanah, (5) pengelolaan bibit dan tanaman padi sehat melalui: pengaturan tanam sistem legowo, penggunaan bibit dengan daya tumbuh tinggi melalui pemilahan benih; penanaman bibit muda dengan jumlah bibit 1–3 bibit per lubang; pengaturan pengairan dan pengeringan berselang dan pengendalian gulma, (6) pengendalian hama penyakit dengan pendekatan terpadu, dan (7) penggunaan alat perontok (Badan Litbang Pertanian, 2008).

Perkembangan HDB di lapangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama iklim dan curah hujan, ketahanan varietas dan pola bercocok tanam. Suhu dan kelembaban udara yang tinggi cenderung kondusif untuk perkembangan HDB, oleh karenanya kejadian dan keparahan penyakit pada musim hujan umumnya lebih parah dari pada musim kemarau. Pemupukan N yang berlebihan serta P dan K yang kurang cenderung meningkatkan intensitas HDB. Chang *et al.* (2002) melaporkan bahwa dengan menggunakan Si dapat mengurangi panjang luka dengan kisaran 5–22%. Pengurangan panjang luka mempunyai korelasi positif dengan menurunnya kandungan gula pada tanaman yang diberi silikat. Selanjutnya Krauss (2001) melaporkan bahwa aplikasi pupuk K memiliki efek kuratif terhadap perkembangan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, meskipun pada varietas yang rentan respons terhadap K terlihat nyata terhadap varietas yang agak tahan.

Tabel 9. Jenis Penyakit, Nama Patogen, dan Acuan Sumber Pustaka

Nama penyakit	Nama patogen	Pustaka
Hawar daun bakteri	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	Bradbury (1986)
Bakteri daun bergores	<i>Xanthomonas oryzae</i> o. pv. <i>oryzicola</i>	dan CABI Compendium. (2005)
Kelompok penyakit penyimpangan warna (<i>Grain discoloration</i>):	<i>Acidovorax avenae</i> pv. <i>avenae</i> (<i>Pseudomonas avenae</i>) <i>Erwinia herbicola</i> (Sin.: <i>P. Agglomerans</i>)	Ou, 1985
<i>Backterial sheath rot</i>	<i>Pseudomonas oryzicola</i> synonim <i>P. syringae</i> pv. <i>syringae</i>	
Busuk hitam (<i>Black rot</i>)	<i>Pseudomonas itoana</i>	
Busuk gabah (<i>Grain rot</i>)	<i>Pseudomonas glumae</i>	
<i>Backterial stripe</i>	<i>Pseudomonas setariae</i> identic <i>P. panici</i> <i>P. syringae</i> pv. <i>panici</i>	
<i>Backterial foot rot</i>	<i>Erwinia chrysantemi</i>	
Bakteri yang menginfeksi gabah (<i>Cinnamon speck of rice</i>)	<i>Xanthomonas cinnamona</i>	
Bercak hitam (<i>Black eye spot of rice grain</i>)	<i>Xanthomonas atroviridigenum</i>	
Hawar daun jingga “red stripe”	<i>Microbacterium</i> sp.	Kaku, 2007

6. PENYAKIT LAINNYA

6.1 Penyakit Daun Bergores (*X. campestris* pv. *oryzicola*)

Penyakit ini biasanya hanya terjadi pada helaian daun. Gejala berupa bercak sempit berwarna hijau gelap yang lama kelamaan membesar berwarna kuning dan tembus cahaya diantara pembuluh daun. Kemudian bercak membesar berubah menjadi berwarna cokelat, dan berkembang menyamping melampaui pembuluh daun yang besar. Bakteri memasuki tanaman melalui terbukanya sel secara alami. Penyakit umumnya terjadi pada fase anakan sampai stadia pematangan. Dalam keadaan parah kehilangan hasil dapat mencapai 30%.

Penyakit tersebut dapat dikendalikan dengan cara: (a) buang/hancurkan tunggul-tunggul dan jerami-jerami yang terinfeksi/sakit dan pastikan jerami sudah terdekomposisi sempurna sebelum tanam pindah, (b) gunakan benih atau bibit yang bebas dari penyakit bakteri daun bergaris, (c) gunakan pupuk nitrogen sesuai anjuran, dan (d) atur jarak tanam tidak terlalu rapat, berakan tanah sesudah panen.

6.2 Hawar Daun Jingga (HDJ), *Red Stripe*

Sampai saat ini masih terdapat kontroversi terhadap penyakit hawar daun jingga apakah disebabkan oleh jamur atau bakteri. *Red stripe* pertama kali dilaporkan di Indonesia (Mogi, 1988). Suparyono (1989) menyatakan bahwa gejala umum penyakit ini adalah daun berwarna jingga, infeksi dimulai dari satu titik berwarna jingga berkembang ke arah atas daun sebagai suatu garis yang kemudian berkembang menghasilkan gejala hawar (*blight*) dan akhirnya daun mengering. Selanjutnya Mew *et al.* (2001) melaporkan penyakit ini ditemukan di Filipina (Baroga dan Mew, 1994), Malaysia (Yazid *et al.*, 1996), Thailand (Dhitikiattipong *et al.* 1999), dan Vietnam (Du *et al.*, 1991a).

Kaku dan Ochiai (2000) melaporkan bahwa koloni bakteri transparan yang berwarna putih secara konsisten selalu ditemukan dari luka pada daun yang terinfeksi *red stripe*. Berdasarkan analisa sequence 16 S rDNA menunjukkan bakteri dari *red stripe* ada hubungannya dengan genus *Microbacterium*. Peneliti lainnya melaporkan ditemukannya beberapa jamur yang diisolasi dari jaringan yang terinfeksi, *Curvularia lunata*, *Nigrospora oryzae*, *Cercospora* spp., *Alternaria* spp., *Helminthosporium* spp., *Colletotrichum* spp., dan *Fusarium* spp. Akan tetapi umumnya jamur-jamur tersebut saprophyt yang berasosiasi dengan tanaman padi. Kesimpulannya diperkirakan patogen penyebab *red stripe* termasuk *slow growing*. Du *et al.* (1991) melaporkan bahwa keparahan *red stripe* rendah bila disemprot dengan fungisida, terutama benomyl dan carbendazim. Begitu pula hasil penelitian di IRRI menunjukkan bahwa intensitas *red stripe* sangat nyata lebih rendah pada tanaman yang disemprot benomyl dari pada yang disemprot

bahan kimia lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa penyebab *red stripe* adalah jamur. Sebelumnya Mogi *et al.* dalam Kaku (2007) telah mengisolasi *red stripe* dan memperoleh *Curvularia lunata* dan *Nigrosporia oryzae*, sehingga disimpulkan bahwa *red stripe* disebabkan oleh jamur dan dapat dikendalikan oleh benzimidasol. Hasil pengamatan histologi pada jaringan tanaman contoh yang diambil dari daerah Yogyakarta menunjukkan bahwa massa bakteri terdapat pada jaringan vaskuler. Setelah diisolasi diperoleh banyak bakteri, akan tetapi bakteri berwarna putih yang koloninya transparan lebih banyak ditemukan. Hasil postulat Koch menunjukkan bahwa tanaman yang disemprot larutan bakteri dan ditutup kantong plastik lebih banyak menampakkan gejala dibandingkan dengan yang tidak ditutup kantong plastik.

Kaku (2007) menyatakan bahwa penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium* sp. Gejala awal penyakit berkembang berbentuk bercak sebesar jarum dan pinggirnya memanjang dari bercak mengarah ke atas. Pengamatan secara histologi menunjukkan bahwa bercak bentuk jarum ditemukan setelah 3 hari inokulasi, bakteri masuk melalui stomata kemudian berkembang biak pada ruang intercellulair jaringan parenchim substomata. Gejala bercak berwarna orange muncul setelah 8 hari inokulasi, massa bakteri ditemukan pada jaringan transversal dan longitudinal.

7. HASIL PENELITIAN

7.1 Penyakit Bakteri pada Biji Padi

Menurut Ou (1985) hampir semua bakteri patogen tanaman dapat ditularkan melalui biji atau benih. Pendapat peneliti beragam tentang peran benih dalam penularan penyakit bakteri padi, terutama pada HDB, tetapi pada umumnya percaya bahwa benih merupakan sumber inokulum yang penting dalam penularan penyakit. Oleh karena itu, pengendalian penyakit bakteri pada benih padi merupakan hal yang penting.

Pada tahun 1992 di Vietnam sekitar 100.000 ha pertanaman terinfeksi penyakit dengan kerusakan mencapai 75%. Dari contoh benih yang diambil berhasil diisolasi patogen *Pseudomonas glumae* (Trung *et al.*, 1989). Adanya populasi *P. glumae* pada pelepah dan helai daun bendera dapat dijadikan sebagai indikator epidemi penularan busuk gabah yang terserang berat (Tsushima, 1993). Spikelet merupakan bagian paling rentan dari malai padi terhadap *P. glumae* (Hikichi *et al.*, 1994). *P. glumae* dapat diisolasi dari pelepah bawah, pangkal batang, dan akar pada kecambah hingga anakan maksimal. Peningkatan populasi bakteri pada pelepah daun bendera dan tangkai malai pada saat pembentukan malai berakibat pada intensitas infeksi gabah yang tinggi (Hikichi, 1993).

Kim dan Song (1996) mendeteksi adanya bakteri *Acidovorax avenae* pv. *avenae* (*Burkholderia glumae*), *P. fuscovaginae*, *P. f.* pv. *syringae*, *X. oryzae* pv. *oryzae*, *X.o.* pv. *oryzicola*, dan *Erwinia herbicola* dari berbagai contoh benih padi. Cottyn *et al.* (1999) melaporkan bahwa penyebab penyakit busuk pelepah dan pewarnaan cokelat (busuk gabah) di Filipina adalah *P. avenae*, *P. glumae*, dan *P. fuscovaginae*. Bakteri-bakteri tersebut banyak dijumpai di Filipina dengan intensitas keberadaan sebesar 21%. Xie *et al.* (1999a) mengidentifikasi 11 spesies bakteri dari biji padi yang dikoleksi dari berbagai negara di daerah tropik dan subtropik, yaitu *Acidovorax avenae* pv. *avenae*, *Burkholderia glumae*, *Pantoea agglomerans*, *P. fuscovaginae*, *X. o.* pv. *oryzae*, *X. o.* pv. *oryzicola*, *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. fulva*, *P. putida* (Xie *et al.*, 1999b).

Pseudomonas avenae adalah penyakit *bacterial stripe* atau *brown stripe* tular benih, ditemukan di beberapa negara yang tanam padi (Shakya *et al.*, 1985). Penyakit ini penting pada kesehatan benih. Gejala tampak pada pelepah daun, sebagai *water soaked* berwarna hijau tua, berupa garis memanjang (*stripe longitudinal*), kemudian garis itu berubah warna menjadi cokelat. Mew (1992) menyatakan bahwa gejala penyakit hanya ditemukan pada stadia bibit. Pengendalian patogen ini dapat dilakukan dengan menggunakan kasugamicin, atau dengan pemanasan 65°C selama 6 hari (Zeigler and Alvarez, 1988).

7.2 Deteksi dan Identifikasi Bakteri Patogen Benih Padi

Berbagai teknik telah digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi bakteri patogen benih padi. Mehra dan Thind (1994) mengecambahkan benih pada kertas filter yang dilembabkan dengan larutan 300 ug/ml nitrogen dan menghasilkan kecambah yang menunjukkan eksudat *Xoo*. Teknik serologi ELISA dengan menggunakan antibodi poliklonal (PAb) dan antibodi monoklonal (McAb) telah digunakan secara efektif untuk mendeteksi *Xoo* dan *X.o.* pv. *oryzicola* dari berbagai bagian tanaman padi termasuk dari biji (Gnanamanickam *et al.*, 1994; Lin *et al.*, 1994).

Azegami (1996) dengan menggunakan teknik molekuler dengan gen bioluminesens telah berhasil mendeteksi *Burkholderia glumae* dan *B. plantarii* dan membedakannya dari *Vibrio fischeri*. Hasil optimum dari teknik tersebut diperoleh jika identifikasi dilakukan pada suhu 20–23°C. Selain itu dilaporkan pula bahwa produksi cahaya fluoresen dipengaruhi gliserol dan Fe dalam media. Karakterisasi 204 bakteri patogen dari gabah dan benih padi secara fenotipik dengan menggunakan media selektif, serologi, API20NE, Biolog, dan profil asam lemak diperoleh populasi isolat *P. glumae*, *P. avenae*, dan *P. fuscovaginae* (Cottyn *et al.*, 1996).

Teknik PCR dengan menggunakan pasangan primer R16-1 dan R23-2R dapat digunakan untuk membedakan isolat bakteri *Acidovorax avenae* pv. *avenae*

(*Burkholderia glumae*), *P. fuscovaginae*, *P. s. pv. syringae*, *X. oryzae* pv. *oryzae*, *X.o. pv. oryzicola*, dan *E. herbicola* pada benih padi (Kim dan Song, 1996).

7.3 Daur Hidup Patogen

Menurut Tabei *et al.* (1988), pola infeksi bakteri tular benih adalah bakteri masuk melalui stomata ke ruang interseluler, kemudian ke palea dan lema. Warna cokelat hanya terdapat pada bagian dalam palea dan jaringan parenchyma diduga sebagai upaya defensif palea terhadap *E. herbicola*. Bakteri juga memperbanyak diri di albumen dan embrio, tetapi tidak menyerang (Tabei *et al.*, 1989).

7.4 Pengendalian Penyakit Bakteri pada Benih Padi

Pengendalian penyakit bakteri benih padi bertujuan untuk menekan atau menghilangkan sumber inokulum bakteri yang terdapat dalam biji, sehingga penularan penyakit melalui biji dapat dicegah. Secara garis besar, pengendalian penyakit bakteri pada benih padi dilakukan melalui pengendalian secara fisik dan secara kimiawi. Pengendalian secara fisik pada umumnya dilakukan melalui perawatan benih dengan pemanasan menggunakan teknik pemanasan kering (oven) atau basah (perendaman air panas). Perawatan benih dengan cara pemanasan kering (*dry heat*) dengan suhu 65°C efektif untuk mengendalikan *P. fuscovaginae* pada benih padi.

Pengendalian secara kimiawi dilakukan dengan cara penyemprotan benih, perendaman benih dan enkapsulasi. Hikichi dan Egami (1995) menyatakan bahwa asam oksolinat dapat mengendalikan busuk kecambah dan busuk gabah oleh *P. glumae*. Isogawa *et al.* (1989) melaporkan bahwa asam oksolinat, kasugamisin dan nonil-phenyl-sulfonic copper juga efektif terhadap *P. glumae*, baik melalui perlakuan benih dalam bentuk cair (0,5% WP) maupun tepung. Perlakuan dengan perendaman benih, penyemprotan benih atau pemberian granul kurang efektif. Perlakuan kombinasi asam oksolinat + kasugamisin yang dicampurkan dengan benih dalam bentuk tepung (dust) merupakan perlakuan benih yang paling efektif. Asam oksolinat juga efektif untuk mengendalikan *P. glumae* pada spikelet padi dan mencegah intensitas busuk gabah di lapangan.

Pengendalian hayati juga telah dilakukan dengan menggunakan bakteri antagonis seperti *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas fluorescens*, tetapi efikasinya dalam praktek di lapangan perlu diklarifikasi lebih lanjut.

Untuk HDB diperlukan monitoring adaptasi patogen dan analisis molekuler dari gen avirulen untuk mengetahui gen mana dari gen yang resisten efektif dan tahan lama (*durable*) (Leung *et al.*, 2003).

7.5 Strategi Pengendalian Penyakit Bakteri di Masa Mendatang

Pencanangan sistem PHT pada padi perlu diadopsi dalam pengendalian penyakit padi, termasuk pengendalian HDB. Cara ini belum efektif dilakukan, karena petani belum secara langsung merasakan dampaknya. Komponen pengendalian terpadu HDB perlu diteliti lebih lanjut dan dimantapkan, seperti pengembangan varietas yang memiliki spektrum ketahanan luas terhadap HDB (multigenik), *durable resistant*, piramid gen, pemupukan N berimbang, dan sanitasi.

Teknologi produksi dan uji kesehatan benih yang efektif dan efisien, teknik perawatan benih dan bibit sebelum tanam, penggunaan bahan kimia dan hayati untuk pengendalian penyakit di lapangan, serta pola tanam yang tidak kondusif bagi HDB. PTT (Pengelolaan Tanaman Terpadu) adalah perbaikan dari PHT, dan PTT merupakan konsep teknologi yang spesifik lokasi. Bila diikuti dengan baik konsep ini dapat digunakan untuk mengendalikan HDB. Komponen PTT adalah varietas unggul baru yang sesuai dengan karakteristik lahan, lingkungan, dan keinginan petani; benih bermutu; bibit muda berumur 10–15 hari setelah sebar; jumlah bibit 1–2 batang per lubang; pemupukan N berdasarkan bagan warna daun; pemupukan P dan K berdasarkan status hara tanah; pemberian bahan organik atau kompos; pengairan berselang; pengendalian gulma secara terpadu; pengendalian hama dan penyakit secara terpadu; panen menggunakan alat perontok dan beregu (Badan Litbang Pertanian, 2008).

Bila konsep PTT ini diikuti, penyakit HDB dapat ditekan dan hasil dapat meningkat.

8. KESIMPULAN

Penyakit bakteri merupakan salah satu kendala utama produksi padi di dunia. Pada pertanaman padi di dunia dijumpai sekitar 20 jenis penyakit bakteri. Seluruh bakteri patogen tersebut dapat menginfeksi dan merusak benih. Benih yang terinfeksi bakteri berpotensi menjadi sumber inokulum bagi penularan penyakit di lapangan pada musim berikutnya. Saat ini hawar daun bakteri yang disebabkan oleh *X. oryzae* pv. *oryzae* (*Xoo*) masih merupakan penyakit bakteri terpenting pada padi, tetapi penyakit lain juga potensial merusak tanaman padi.

Xoo merupakan bakteri patogen yang memiliki keragaman yang tinggi dan mudah berubah virulensinya dalam waktu relatif singkat untuk menyesuaikan diri dengan ketahanan varietas padi inangnya. Berdasarkan virulensinya terhadap varietas padi diferensial dengan gen ketahanan berbeda, strain *Xoo* telah dikelompokkan dalam berbagai ras (patotipe) berbeda. Saat ini di Indonesia terdapat 12 ras *Xoo* yang sebaran dan dominansinya mudah berubah, dipengaruhi oleh varietas padi, musim, dan wilayah.

Pengendalian HDB perlu dilakukan dengan teknik pengendalian penyakit terpadu yang dilaksanakan bersamaan dengan penerapan sistem pengelolaan tanaman padi terpadu. Penggunaan varietas tahan HDB dan benih berkualitas bebas *Xoo* perlu menjadi kebijakan utama dalam pengendalian HDB, sedangkan komponen pengendalian lain bersifat melengkapi.

Informasi tentang penyakit bakteri padi lainnya masih terbatas. Seluruh penyakit bakteri pada padi, patogennya ditularkan melalui benih, sehingga produksi benih sehat, uji kesehatan benih, dan perawatan benih merupakan komponen utama pengendalian yang perlu diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, L.A. 2003. *Pertahanan Tumbuhan dalam Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Malang: Bayumedia Publishing dan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Agrios, N.G. 1996. *Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Anonim. 2008. "List of Rice Diseases". Wikipedia, the free encyclopedia. (File: //G:\11-4\List of rice diseases: htm).
- Ardales, Z. Y. *et al.* 1996. "Hierarchical of Rice Bacterial Blight Pathogen a Cross Agroecosystem in the Philipines". *Phytopathogen* 06:241–255.
- Barroga, J.F. and T.W. Mew. 1994. "Red Stripe a New Disease of Rice in the Philipinnes". Paper Presented at the 25th Anniversary and Annual Scientific Convention of the Pest Management Council of the Philipinnes, 3–6 May 1994. Cagayan de Oro City, Philipinnes.
- Badan Litbang Pertanian. 2008. "Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Sawah Irigasi". Departemen Pertanian.
- Bradbury, J.F. 1986. *Guide to Plant Pathogenic Bacteria*. CABI Mycil Inst. Kew. Surrey., England.
- Brar, J.S. and Thind B.S. 1994. "A New Weed Host of *X. oryzae* pv. *oryzae*, the Causal Agent of Bacterial Blight of Rice". *Ann. Plant Prot. Sci.* 2(1):79–80.
- Bustaman, M.dkk. 1998. "Penggunaan Marka Molekuler dalam Perbaikan Ketahanan Varietas Padi terhadap Penyakit HDB di Indonesia". Dalam *Inovasi Teknologi Pertanian*. Seperempat Abad Penelitian Pengembangan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- CABI Compendium. 2005. CD Rom.
- Chang, S.J. *et al.* 2002. Effect on Silicon Nutrient on Bacterial Blight Resistance of Rice (*Oryza sativa*). In T. Matoh (Ed), *Second Silicon in Agriculture Conference*. Pages 31–33.. Kyoto. Japan.

- Cottyn, B. *et al.* 1996. "Bacterial Diseases of Rice. II. Characterization of Pathogenic Bacteria associated with Sheath Rot Complex and Grain Discoloration of Rice in the Philippines". *Plant Disease* 80(4):438-445.
- Devadath, S. 1989. "Chemical Control of Bacterial Blight of Rice". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International. Work. Bact. Blight Rice*. p. 89-98. 14-18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Dhitikiattipong, R. *et al.* 1999 "Study on Rice Red Stripe in Thailand". Paper Presented at the Planning Workshop on Red Stripe, 15-18 March 1999. Ho Chi Minh City. Vietnam.
- Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan. 2007. "Informasi Perkembangan Serangan OPT Padi Tahun 2006, Tahun 2005 dan Rerata 5 Tahun (2000-2004)". Direktorat Jenderal Tanaman Pangan.
- Du, P.V. *et al.* 1991 "A *Red Stripe* a Newly Discovered Disease of Rice in Vietnam". *Int. Rice Rs. Newsl* 16 (3): 25.
- Gnanamanickam, S.S. *et al.* 2004. "Biological Control of Bacterial Blight of Rice in India with Rice-associated Bacteria: Insight into mechanism". Centre for advanced studies in Botany. University of Madras-Guindy Campus. Chennai. India 600035.
- Gnanamanickam, S.S. *et al.* 1994. "Problems in Detection of *Xoo* in Rice Seeds and Its Potential for Improvement using Monoclonal Antibodies". *Plant Disease* 78(2):173-178.
- Hanarida, I. 2007. "Identifikasi Gen Tahan Bakteri Hawar Daun *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* pada Populasi Haploid Ganda Silangan IR64 dan *Oryza rufipogon* I". Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian.
- Hifni, H.R. and M. Kardin. 1998. Pengelompokan Isolat *X. oryzae* pv. *oryzae* dengan Menggunakan Galur Isogenik padi IRRI. *Hayati*.
- Hifni, H.R. *et al.* 1996. "Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Padi Sawah: Masalah dan Pemecahannya". *Buletin Agrobio* 1(1) 18-23. Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan. Badan Litbang Pertanian.
- Hifni, H.R. 1995. "Variasi Patogen Hawar Daun Bakteri di Indonesia". Dalam *Kinerja Penelitian Tanaman Pangan*. Puslitbangtan. Bogor.
- Hikichi, Y. and Egami H. 1995. "Control System for Bacterial Grain Rot of Rice with Oxolinic Acid and Seed Selection with Salt Solution". *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 61(4):405-409.
- Hikichi, Y. *et al.* 1994. "Susceptibility of Rice Spikelets to Infection with *P. glumae* and Its Population Dynamics". *J. Pest. Sci.* 19(1):11-17.
- Hikichi, Y. 1993. "Relationship between Population Dynamics of *P. glumae* on Rice Plants and Disease Severity of Bacterial Grain Rot of Rice". *J. Pets. Sci.* 18(4):319-324.

- Huang, J.S. and M.De Clene. 1989. "How Rice and Infected by *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*". In *Bacterial Blight of Rice*. IRRI, Manila, Philippines.
- IRRI. 2008. "Bacterial Leaf Blight". (<http://www.Knowledgebank.irri.org/Rice/Doctor/fact-Sheets/Diseases>).
- IRRI. 2004. "Sharing the Seed. International Rice Gene Bank". Genetic Resources Center. Preserving and Using Rice Biodiversity. IRRI. Genetic Resources Center Introduction. Htn.
- Ilyas, S. *et al.* 2007. "Hasil Penelitian KKP3T. Teknik Peningkatan Kesehatan dan Mutu Benih Padi". Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor-Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Isogawa, Y. *et al.* 1989. "Studies on Environmental Factors and Control Methods of Bacterial Grain Rot of Rice caused by *P. glumae* Kurita et Tabei. II. Chemical Control Methods". *Res. Bull. Aichi-Ken Agric. Res. Centr.* 21:85–90.
- Kaku, H. 2007. "An Emerging Disease Red Stripe of Rice in Tropical Asia". In Sumardiyono *et al.* (Ed.), *Proceeding 3rd Asian Conference on Plant Pathology*. Yogyakarta. p. 5–6.
- Kaku, H. and H. Ochiai. 2000. "The Causal Bacterium of Red Stripe of Rice". *Plant Pathogenic Bacteria* . p. 249–251.
- Kaku, H. 1988. "Rice Bacterial Diseases". World Distribution and Research Advances. *5th International'l. Congr. Plant Pathol.* Kyoto, Japan. 20–27 August 1988. (Abstract).
- Kardin, M.K. dan H.R. Hifni. 1993. "Penyakit Hawar Daun Bakteri Padi di Indonesia". *Risalah Seminar Puslitbangtan*. Bogor. Hal. 85–89.
- Kim, H.M. and Song W.Y. 1996. "Differentiation of Major Rice Seedborne Bacteria by PCR-Amplified Polymorphism of Spacer Region between 16S and 23S Ribosomal DNA" *Korean J. Plant Pathol.* 12(1):11–20.
- Krauss, A. 2001. "Potassium and Biotic Stress". In *Potassium in Argentina's Agricultural Systems*. At the 1st. Fauba-Fertilizar-IPI Workshop. 20–21 November. 2001. Buenos Aires. Argentina. www.ipipotash.org.
- Kush, G.S. *et al.* 1989 "Breeding Rice for Bacterial Blight Resistance". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 207–217. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Lanya, H. 2002. "Laporan Kegiatan Inventarisasi Data/Pemetaan OP Pangan". Balai Penelitian Padi. Sukamandi, Subang.
- Las, I. 2002. "Deskripsi Varietas Unggul Balitpa Sukamandi 1999–2002". Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Leach, J.E. *et al.* 1989. "Multiplication of Xoo in Rice Leaves". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Workshop. Bacterial Blight of Rice*. p. 43–53. IRRI, Manila, Philippines.

- Leung, H. *et al.* 2003. "Using Genetic Diversity to Achieve Sustainable Rice Disease Management". *American Phytopathological Society*. October. 2003.
- Lin, B.R. *et al.* 1994. "Inspection of *X. oryzae* in Rice Seeds by McAb Technique on Selective Media". *Guangdong Agric. Sci.* 1:38–40.
- Machmud, M. 1988. "Penyakit Baru Padi oleh Bakteri *E. herbicola*". Dalam J. Soejitno *et al.* (Ed), *Seminar Hasil penelitian Tanaman Pangan*. Hal 252–257. Balittan Bogor.
- Mehra, R. and Thind B.S. 1994. "In Improved Technique for Detection of *X. o. pv. oryzae* from Rice Seeds". *Ann. Biol. (Ludhiana)* 10(2):18111–18183.
- Mew, T.W. *et al.* 2001. "The Etiology of Red Stripe of Rice: Current Status and Future Directions". *IRRN*. IRRI. 26.1.
- Mew, T.W. 1992. *Bacterial Diseases of Rice in Rice Diseases Compendium*. APS, St. Paul, Minnesota.
- Mew, TW. 1989. "An Overview of the World Bacterial Blight Situation". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 7–17. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Mew, T.W. *et al.* 1989. "Does Rice Seed Transmit the Bacterial Blight Pathogen". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 55–63. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Mogi, S. 1988. "Detection and Diagnosis of Pathogen for Bacterial Grain Rot (*P. glumae*)". 5th Internat'l. Congr. Plant Pathol. Kyoto, Japan. 20–27 August 1988. (Abstract).
- Ogawa, T. 1993. "Methods and Strategy for Monitoring Rice Distribution and Identifications of Resistance Gene to Bacterial Leaf Blight (*Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*) in rice". *Jarq* 27:71–80.
- Ou, S.H. 1985. *Rice Diseases*. Common. Mycol. Inst., Kew Surrey, England. 379 p.
- Quimio, A.J. 1989. "Serology of *X. c. pv. oryzae*". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 19–30. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Reddy, R. and Yin S.Z. 1989 "Survival of *X. c. pv. oryzae*, the Causal Organism of Bacterial Blight of Rice". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 66–78. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Shakya, D.D. *et al.* 1985. "Worldwide Distribution of a Bacterial Stripe Pathogen of Rice Identified as *P. avenae*". *Phytopathol. Z.* 114:256–259.
- Sinaga, S.M. 2002. *Dasar-Dasar Penyakit Ilmu Tumbuhan*. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Suparyono *et al.* 2004. "Pathotype Profile of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* Isolates from the Rice Ecosystem in Java". *Indonesian Journal of agricultural Science* 5 (2) 2004: 63–69.
- Suparyono dkk. 2003. "Komposisi Patotipe Patogen Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi Stadium Tumbuh Berbeda". *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 22(1):45–50.
- Suparyono. 1989. "Penyakit Hawar Daun Padi: Penyebab dan Distribusinya". *Prosiding Kongres Nasional dan Seminar Ilmiah Perhimpunan Fitopatologi Indonesia*. Hal: 73–74.
- Sudir dan Suprihanto. 2006. "Perubahan Virulensi Strain *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*, Penyebab Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi". *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. Vol. 25 . No 2. 2006
- Suryadi, Y. *et al.* 2006. "Deteksi *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* Penyebab Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi". *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. Vol. 25. No 2. 2006.
- Tabei, H. *et al.* 1989. "Stomatal Infection of Rice Grain with *P. glumae*, the Causal Agent of Bacterial Grain Rot of Rice". *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 55(2):224–228.
- Tabei, H. *et al.* 1988. "Infection Site of Rice Grain with *E. Herbicola*, the Causal Agent of Bacterial Palea Browning". *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 54(5):637–639.
- Tamil Nadu Agricultural University 1999. "Rice Pest in Canvery del Zone in Tamil Nadu, India". Soil and Water Management Research Institut Thanagavin.
- Triny, S.K. 2008. "Laporan Hasil Pengujian Nordox 56 WP terhadap HDB". BB Padi. Sukamandi..
- Triny, S.K. 2007. "Influence of Races III, IV and VIII of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* to Production of Double Haploid Population Crosses IR 64 and Wild Species *Oryza rufipogon*. In *Proceedings the Third Asian Conference on Plant Phatology. The Role of Plant Pathology in Rapidly Globalizing Economies of Asia*. Gajah Mada University. Yogyakarta-Indonesia.
- Triny, S.K. *et al.* 2007a. "Evaluasi Ketahanan Populasi Haploid Ganda Silangan IR64 dan *Oryza rufipogon* terhadap Hawar Daun Bakteri pada Stadia Bibit". Dalam *Identifikasi Gen Tahan Bakteri Hawar Daun Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* pada Populasi Haploid Ganda Silangan 64 dan *Oryza rufipogon*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian. Kementrian Riset dan Teknologi dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

- Triny, S. K. *et al.* 2007b. "Bacterial Blight of Upland Rice". In *Proceedings the Third Asian Conference on Plant Pathology. The Role of Plant Pathology in Rapidly Globalizing Economies of Asia*. Faculty of Agriculture Gajah Mada University.
- Triny, S.K. *et al.* 2004. "Current Status of Bacterial Blight of Rice in Indonesia". *Abstract, the 1st International Conference on Bacterial Blight of Rice*. MEXT, NIAS, Phytopathological Society of Japan. Japanese Society of Breeding.
- Triny, S.K. *et al.* 2004. "Monitoring Source of BB Resistance by Near Isogenic Line (NILS)". *Abstract the 1st International Conference on Bacterial Blight of Rice MEXT, NIAS, and Phytopathological Society of Japan*. Japanese Society of Breeding.
- Triny, S.K. 2000. "Penyakit Hawar Daun Bakteri. Dalam Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan". Puslitbangtan. Badan Litbang Pertanian.
- Triny, SK. 2000a. "Variasi Pathogen *Xoo* Proc". *Kongres PFI XV dan Seminar Ilmiah. Universitas Jenderal Soedirman (Unsoed)*. Purwokerto.
- Triny, S.K. 2000b. "Penyakit Hawar Daun Bakteri. Dalam Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan". *Paket dan Komponen Teknologi Produksi Padi*. Puslitbangtan. Bogor.
- Triny, S.K. *et al.* 1998. "Laporan Analisis Struktur Populasi *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* untuk Menemukan Strategi Pengendalian". Balai Penelitian Tanaman Padi.
- Trung, H.M., *et al.* 1993. "Occurrence of Rice Grain Rot Disease in Vietnam". *IRRN* 18(3):30.
- Tsushima, S. 1993. "Epidemiology of Bacterial Grain Rot of Rice Caused by *P. glumae*". *Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ)* 30(2):85–89.
- Vera Cruz, C.M. and T.W. Mew. 1989. "How Variable is *X. c.* pv. *Oryzae*". In *Anonymous. Bacterial Blight of Rice. Proc. International'l. Work. Bact. Blight Rice*. p. 166. 14–18 March 1988. IRRI, Philippines.
- Xie, G.L. *et al.* 1999a. "Characterization of *Pseudomonas* pp. and Related Bacteria from Rice Seeds in the Subtropics and the Tropics" *China Rice Research Newsletter (CRRN)* 7(4):4–5.
- Xie, G.L. *et al.* 1999b. "Pathogenic Bacteria Associated with Rice Seed in the Subtropic and the Tropic Areas". *Acta Agric. Zhejiang*. 11(3):127–132.
- Yamamoto, T. *et al.* 1977. "Variation in Pathogenicity of *X. oryzae* and Resistance of Rice Varieties to the Pathogen". *Contributions CRIA* No. 28, Bogor. 22 p.

- Yazid, M.E. *et al.*. 1996. "Historical Profile and Current Rice Disease Management Practices in Malaysia". Paper presented at the International Workshop on Rice Diseases Management Technology in the Tropics. 11–13 June 1996. Sungai Petani, Kedah. Malaysia.
- Zeigler, R.S. and E. Alvarez. 1988. "*Pseudomonas* spp. Causing Grain and Sheath Rot of Rice in Latin America". *Proceedings of the 5th. International Congress of Plant Pathology*. Kyoto. Japan, August 20-27 1988. Japan, Poster Section XIII 1–16;41.
- Zhang, Q. *et al.* 2002. Identification and Tagging a New Gene for Resistance to Bacterial Blight (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) from *Oryza rufipogon*. On line edition. www.Gramene.Org/nemesieter/rice, 15. 135.
- Zhang, Q and S. Tang. 2004. "Evaluation and Identification of Resistance Gene to Bacterial Blight in Wild Rice Species". *The 1st International Conference on Bacterial Blight of Rice*. Abstract.