

PEMULIAAN KACANG TANAH UNTUK KETAHANAN TERHADAP LAYU BAKTERI *RALSTONIA* DI INDONESIA

Novita Nugrahaeni¹

ABSTRAK

Penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith adalah kendala biotik penting dalam budidaya kacang tanah di Indonesia. Penyakit tersebut sukar dikendalikan dengan hanya satu cara, sehingga perlu dilakukan pengendalian secara terpadu. Penggunaan varietas tahan merupakan komponen penting dalam pengendalian penyakit layu bakteri pada kacang tanah dan salah satu faktor yang dapat menunjang stabilitas hasil. Arti penting ketahanan terhadap penyakit bakteri telah disadari oleh pemulia kacang tanah di Indonesia, sehingga genotipe tahan layu selalu digunakan sebagai salah satu tetua dalam persilangan buatan. Namun, pada kenyataannya ketahanan pada varietas yang didapatkan belum ada yang melebihi atau menyamai ketahanan tetuanya sehingga area penyebaran varietas unggul yang dihasilkan menjadi terbatas. Untuk memperbaiki tingkat dan stabilitas ketahanan terhadap penyakit layu bakteri pada varietas unggul kacang tanah diperlukan beberapa informasi, diantaranya informasi terinci tentang status distribusi penyakit layu terkini, keragaman strain *R. solanacearum* di lintas sentra produksi, skrining ekstensif plasma nutfah kacang tanah untuk mendapatkan sumber ketahanan yang lebih tinggi dengan karakteristik agronomi yang lebih baik, studi sistematis genetika pewarisan gen pengendali karakter ketahanan untuk memperluas latar belakang genetik ketahanan dan mengetahui hubungan genetik antara ketahanan terhadap penyakit layu bakteri dan penyakit lain, ketahanan terhadap kekeringan, dan penyakit lainnya. Selain itu diperlukan kajian mekanisme dan komponen ketahanan kacang tanah terhadap layu bakteri *R. solanacearum* untuk memperbaiki teknik penilaian ketahanan dan identifikasi genotipe tahan. Studi yang menyeluruh dan sistematis tentang aspek-aspek penyakit layu bakteri tersebut akan meningkatkan efektivitas strategi pengendalian dan pengembangan varietas unggul kacang tanah dengan ketahanan yang lebih tinggi.

ABSTRACT

Groundnut breeding for bacterial wilt disease resistance in Indonesia. Bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* (E.F. Smith) is one biotic stress that affects growing groundnut in Indonesia. Control of the disease should not rely on any single measure. Integrated pest management is needed to control the disease successfully. Planting resistant varieties is an important component in controlling bacterial wilt disease in groundnut and could warrant yield stability. The importance of resistance to the disease has been recognized by groundnut breeders in Indonesia, so that wilt resistant genotype is always used as one of the parents in artificial crosses. However, the resistance level of varieties derived from those crosses could not exceed or equal the resistance levels of their parents which restrict those varieties adoption.

To improve the level and stability resistance to bacterial wilt disease in groundnut varieties some information is needed, including detailed information about the present status of the wilt disease, diversity of *R. solanacearum* strains, extensive resistance screening of groundnut germplasm to obtain higher level resistance with better agronomic characteristics, a systematic study on inheritance of genes controlling resistance to broaden the resistance genetic background and to know the genetic relationship between those resistance genes with other diseases, with drought resistance, and other characters. Research on mechanisms and components of resistance against bacterial wilt of groundnut *R. solanacearum* is required to improve resistance assessment techniques and to identify resistant genotypes. Thorough and systematic study on many aspects of the bacterial wilt disease will increase the effectiveness of control strategies and the development of groundnut varieties with higher resistance level.

PENDAHULUAN

Kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) di Indonesia mempunyai beragam fungsi, baik sebagai sumber pendapatan, sumber protein nabati penting dalam pola menu makanan penduduk, maupun sebagai sumber pakan (Heriyanto dan Subagio 1998). Peningkatan permintaan kacang tanah sebagai akibat pertambahan jumlah penduduk dan peningkatan keragaman produk berbahan baku

¹ Peneliti Pemuliaan Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Kotak Pos 66 Malang 65101, Telp. (0341) 801468, e-mail: balitkabi@litbang.deptan.go.id

kacang tanah belum dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri. Oleh karena itu, terpaksa dilakukan impor yang angkanya telah mencapai 205.275 t pada tahun 2008 dan menempatkan Indonesia sebagai negara pengimpor kacang tanah terbesar di dunia. (FAO 2011). Konsumsi per kapita kacang tanah di Indonesia sebesar 0,99 kg/tahun, dengan jumlah penduduk yang mencapai 237 juta pada tahun 2010 dan laju pertumbuhan penduduk rata-rata 1,49% (BPS 2011) maka senjang produksi dan konsumsi kacang tanah akan semakin tinggi. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas produksi untuk mengurangi jumlah impor kacang tanah akan memberi kontribusi nyata pada perekonomian nasional.

Produktivitas atau rata-rata hasil polong kacang tanah di Indonesia pada periode 2007-2011 tergolong rendah, yaitu 1,23 ton per ha (BPS 2011). Peningkatan produktivitas dapat ditempuh dengan perbaikan potensi genetik melalui peningkatan ketahanannya terhadap kendala biotik, salah satunya dengan perbaikan ketahanan terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

Layu bakteri telah menjadi kendala produksi kacang tanah yang serius di Indonesia selama berpuluh tahun, sejak pertama kali dilaporkan pada tahun 1905 di daerah Cirebon (van Breda de Haan 1906 dalam Mehan dan Liao 1994). Bolhuis (1955) dalam Machmud 1986) melaporkan setelah tahun 1920 seluruh tanah di Jawa telah terkontaminasi oleh bakteri layu *R. solanacearum*. Kerugian yang ditimbulkan oleh penyakit ini adalah penurunan hasil sebagai akibat menurunnya jumlah tanaman dipanen, dan penurunan kualitas biji apabila tanaman mampu bertahan hidup hingga panen. Kehilangan hasil akibat penyakit layu bakteri berkisar antara 15-35% pada varietas tahan, dan mencapai 60-100% pada varietas rentan yang ditanam di lahan dengan infestasi tinggi (Machmud dan Hayward 1992; Nugrahaeni *et al.* 1998).

Pengendalian penyakit layu bakteri *R. solanacearum* secara kultur teknik, kimiawi, biologis serta penggunaan varietas tahan telah dikaji dengan efektivitas dan peluang pemanfaatan dalam skala luas yang beragam (Li-Yuan 1990; Liao *et al.* 1990; Mehan dan Liao 1994; Mehan *et al.* 1986). Persistensi patogen di dalam tanah dan luasnya kisaran tanaman inang seringkali membatasi efektifitas pengendalian kultur teknik dan kimiawi. Rotasi dengan tanaman bukan inang selama 3 tahun meru-

pakan kultur teknik yang dilaporkan efektif menekan tingkat serangan penyakit layu bakteri pada kacang tanah (Machmud 1993a). Bagi petani berlahan sempit, yang merupakan mayoritas petani kacang tanah di Indonesia, teknologi pengendalian melalui rotasi tanaman yang memerlukan jangka waktu lama sulit untuk diterapkan. Sehingga penanaman varietas tahan menjadi cara pengendalian yang paling praktis dan efektif.

Meskipun telah tersedia banyak varietas unggul tahan, penyakit layu bakteri *R. solanacearum* masih menjadi masalah serius di sebagian besar sentra produksi kacang tanah di Indonesia. Penyakit layu *R. solanacearum* semakin sering dilaporkan dari daerah-daerah yang bukan merupakan daerah endemi penyakit layu bakteri. Diduga telah terjadi penurunan ketahanan pada varietas-varietas unggul lama (Machmud 1993b; Sadar *et al.* 1995), sedangkan tingkat ketahanan varietas-varietas unggul baru ternyata lebih rendah dibandingkan varietas lokal setempat (Nugrahaeni *et al.* 2002). Varietas unggul Komodo dan Biawak yang ditanam di Malang mengalami layu karena bakteri ini hingga 80%. Intensitas layu mencapai 60% terjadi pada varietas Domba dan Singa ketika ditanam di Banjarnegara. Ketahanan galur-galur harapan maupun varietas unggul lebih rendah dibandingkan ketahanan varietas lokal apabila ditanam di daerah-daerah endemi penyakit layu bakteri seperti Pati, Jepara, dan Boyolali. Galur-galur introduksi yang ditanam di Pati, Probolinggo, dan Banjarnegara sebagian besar tidak mampu bertahan terhadap serangan penyakit layu ini.

Galur-galur introduksi merupakan sumber gen perbaikan potensi hasil, ketahanan terhadap penyakit daun, *Aspergillus flavus*, kekeringan, dan kualitas biji yang merupakan tujuan program perbaikan kacang tanah di Indonesia. Oleh karena itu, pemanfaatan galur-galur introduksi dalam perbaikan karakter-karakter tersebut perlu memperhatikan faktor kerentanannya terhadap penyakit layu bakteri.

BAKTERI *R. solanacearum*

R. solanacearum berbentuk batang, bersifat gram negatif dan aerobik, berukuran 0,5 x 1,5 μ dan berkembang dengan baik pada suhu 25-35°C pada pH 6,7 (Gitaitis dan Hammons 1984; Mehan *et al.* 1994; Persley 1986). Bakteri ini merupakan satu-satunya bakteri patogen yang penting pada

kacang tanah (Middleton *et al.* 1994). Sel bakteri yang virulen tidak berflagela dan tidak bergerak, sedangkan isolat bakteri avirulen biasanya mempunyai 1-4 flagela polar dan bisa bergerak. Karena sangat mudah bergerak, bakteri avirulen dapat secara cepat mendominasi populasi pada media kultur. Sifat tersebut menyebabkan sifat patogenik kultur bakteri pada kondisi laboratorium sulit dipertahankan (Mehan *et al.* 1994).

Okabe (1934 dalam Denny 2005) adalah orang pertama yang mengamati adanya perbedaan fenotipe koloni virulen dan avirulen. Kedua karakter koloni tersebut kemudian oleh Kelman (1954) dibedakan dengan membiakkannya pada media yang mengandung *triphenyl tetrazolium chloride* (TZC). Dalam media tersebut koloni bakteri avirulen mempunyai permukaan kasar, berbentuk bulat, berwarna merah terang dengan pinggiran putih tipis. Sedangkan koloni bakteri virulen berbentuk tidak beraturan, halus kebasah-basahan, berwarna putih dengan bagian tengah berwarna merah jambu (Kelman 1954).

R. solanacearum, yang semula dikenal sebagai *P. solanacearum*, termasuk ke dalam homologi RNA group II berdasarkan homologi rRNA:DNA, sub-kelas Beta Proteobacteria, genus *Ralstonia* (Genin dan Boucher 2002). Genus *Ralstonia* merupakan revisi dari klasifikasi taksonomi lama, yaitu genus *Pseudomonas*, dan nama spesies *Pseudomonas solanacearum* diganti menjadi *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith (Euzéby 2002; Yabuuchi *et al.* 1995).

R. solanacearum adalah spesies bakteri yang sangat kompleks dan beragam, klasifikasi yang sampai saat ini masih digunakan untuk menggambarkan keragaman dan perbedaan di dalam spesies ini adalah klasifikasi ras dan biovar (Buddenhagen 1986). Ras menunjuk kepada isolat dengan kisaran inang berdasarkan hasil inokulasi (Buddenhagen 1986). Pada awalnya dikenal tiga ras yaitu ras 1 yang mempunyai tanaman inang Solanaceae, pisang diploid, dan Leguminosae termasuk kacang tanah. Ras 2 bersifat patogenik terbatas pada pisang triploid dan *Heliconia* spp. Ras 3 bersifat patogenik pada kentang, tomat dataran tinggi, dan geranium. Anggota klasifikasi ras saat ini telah bertambah dengan ditemukannya ras 4 yang bersifat patogenik pada tanaman jahe dan ras 5 yang bersifat patogenik pada tanaman murbei (Hayward 1991; He *et al.* 1983).

Klasifikasi biovar digunakan untuk isolat yang mempunyai karakteristik biokimia tertentu, yaitu kemampuan mengoksidasi dan/atau memanfaatkan alkohol (dulcitol, manitol, dan sorbitol) dan disakarida (selobiosa, laktosa, dan maltosa) (Hayward 1995). Berdasarkan perbedaan kemampuan tersebut *R. solanacearum* dibedakan menjadi lima biovar (Hayward 1995; He *et al.* 1983).

Menurut Hayward (1994b) tidak ada hubungan atau kesesuaian antara klasifikasi ras dan biovar, kecuali antara ras 3 dan biovar 2. Cook *et al.* (1989 dalam Fegan *et al.* 1998) mengukur diversitas genetik *R. solanacearum* berdasarkan restriction fragment length polymorphism (RFLP) dengan menggunakan probe gen-gen Hrp (Hrp = *hypersensitive response and pathogenicity*). Spesies bakteri tersebut dapat dibedakan ke dalam dua divisi yang mencerminkan perbedaan distribusi geografik; 90% isolat pada Divisi I berasal dari Asia dan Australia, dan 98% anggota Divisi II berasal dari Amerika. Kelompok utama genotipik (divisi) erat berkorelasi dengan kelompok utama fenotipik (biovar). Di dalam divisi I terdapat biovar 3, 4, dan 5; dan di dalam divisi 2 terdapat biovar 1, 2, dan N-2 (Fegan *et al.* 1998). N-2 adalah biovar yang diisolasi dari lembah Amazon yang mempunyai karakteristik fenotipik dan aktivitas metabolik yang berbeda dengan biovar 2 pada umumnya (Hayward 1990).

R. solanacearum yang dapat menyerang tanaman kacang tanah adalah biovar 1, 3, dan 4. Ketiga biovar tersebut tergolong ke dalam ras 1 (Buddenhagen dan Kelman 1964). Biovar 1 yang dapat menyerang kacang tanah hanya terdapat di Amerika Serikat, sedangkan biovar 3 dan 4 dilaporkan dapat menyerang kacang tanah di Asia dan Afrika. Isolat biovar 3 merupakan isolat dominan di Asia (Hayward 1990), dan biovar 3 lebih virulen dibandingkan biovar 1 atau 4 (Mehan *et al.* 1994). Isolat asal kacang tanah di Indonesia dan Cina sebagian besar tergolong ke dalam biovar 3 (Machmud dan Hayward 1992; Mehan *et al.* 1994), biovar 4 hanya ditemui di Manokwari, Papua (Machmud dan Hayward 1992).

Isolat *R. solanacearum* sangat beragam dalam tingkat virulensinya. Tingkat virulensi yang lebih tinggi biasa ditemui di daerah-daerah dekat ekuator atau daerah-daerah endemi penyakit layu bakteri. Daerah tropik seperti Indonesia merupakan lingkungan yang kondusif bagi ekspresi penyakit ini karena (1) suhu dan kelembaban lingkungan

sesuai untuk perkembangan penyakit, (2) adanya sistem penanaman yang terus-menerus, dan (3) inang rentan yang mungkin selalu tersedia (Hayward 1994a). Keragaman tingkat virulensi antar isolat bisa ditemui meskipun isolat-isolat dimaksud mempunyai fenotipe yang sama. Machmud (1992) melaporkan kisaran tingkat virulensi yang cukup lebar pada isolat yang diambil dari kacang tanah di daerah yang berbeda di Indonesia yaitu antara 30,7-86% dengan rata-rata 44,6%.

TANAMAN INANG DAN DISTRIBUSI GEOGRAFIS

R. solanacearum mempunyai kisaran tanaman inang yang cukup luas, meliputi lebih dari 50 famili baik pada tanaman budidaya maupun gulma (Hayward 1994a). Setiap ras *R. solanacearum* dicirikan oleh kisaran tanaman inang yang berbeda. Di antara kelima ras yang telah dikenal, ras 1 mempunyai kisaran tanaman inang yang paling luas (Tabel 1) (Denny dan Hayward 2001 dalam Daughtrey 2003).

Penyakit layu bakteri pada kacang tanah terutama disebabkan oleh bakteri *R. solanacearum* ras 1 biovar 3. Ras 1 adalah kelompok bakteri *R. solanacearum* yang mampu bertahan di alam dalam asosiasi dengan tanaman inang dari tanaman dan gulma dalam spektrum yang luas termasuk tanaman kacang tanah, sehingga pengendalian dengan cara rotasi dan kultur teknik menjadi tidak mudah (Machmud 1992; Mehan dan Liao 1994). Dengan karakteristik demikian, pengembangan varietas tahan berpotensi mendukung cara pengendalian *R. solanacearum* ras 1 yang paling efisien (Hartman dan Elphinstone 1994).

Penyakit layu pada kacang tanah merupakan salah satu anomali dalam distribusi penyakit layu di dunia karena intensitas penyakit yang tinggi

pada area pertanaman yang luas hanya dijumpai di Cina, Indonesia, Vietnam, dan Malaysia. Penyakit layu ini bukan merupakan penyakit penting di negara-negara produsen kacang tanah lainnya, termasuk India, yang merupakan negara dengan luas panen kacang tanah terbesar di dunia (Fletcher *et al.* 1992; Hayward 1991).

Penyakit layu bakteri pada kacang tanah di Indonesia ditemui di sebagian besar sentra produksi dan intensitas tinggi dijumpai di Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, dan Sulawesi Selatan (Gambar 1). Daerah-daerah tersebut menyumbang hampir 70% dari total produksi kacang tanah di Indonesia (Gambar 2). Area penyakit layu bakteri tersebut berpotensi semakin luas karena penyakit ini dapat ditularkan melalui biji, meskipun dalam persentase yang rendah, yaitu 4-8% (Hong *et al.* 1994; Machmud dan Middleton 1990), melalui air pengairan (Janse *et al.* 1998; Pradhanang 1999), dan ditemukannya gejala infeksi laten pada varietas tahan (Liao *et al.* 1998).

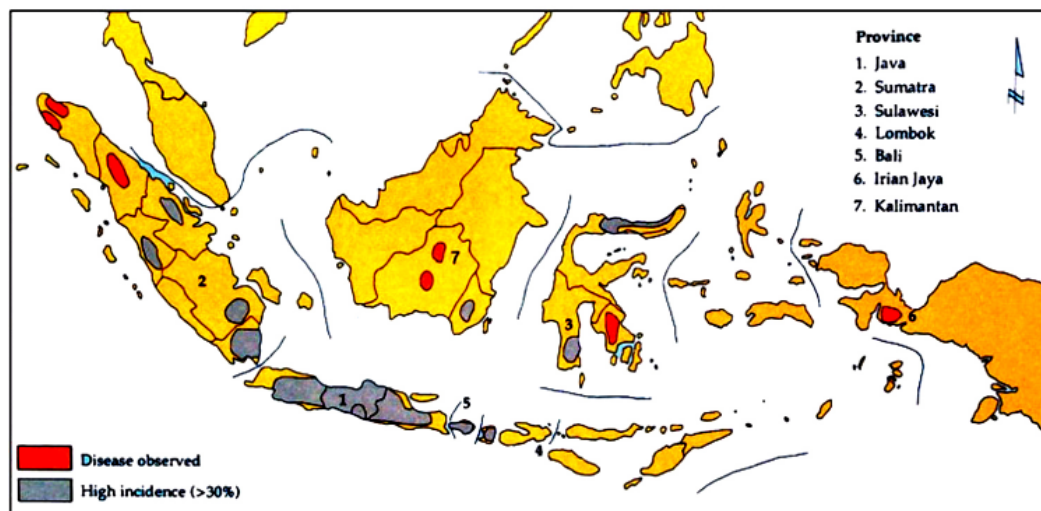
GEJALA DAN DIAGNOSIS

R. solanacearum adalah patogen tular tanah yang menginfeksi tanaman melalui luka atau lubang alami yang terdapat pada akar. Kolonisasi pada jaringan pengangkut menyebabkan muncul gejala internal dan eksternal yang kemudian berkembang menjadi gejala layu total pada tanaman (Kelman 1954). Serangan di lapang paling awal dapat terjadi pada tanaman umur antara satu hingga dua minggu setelah tanam (Machmud dan Hayward 1992; Nugrahaeni *et al.* 1998). Machmud dan Hayward (1992) mendapatkan periode inkubasi dipengaruhi oleh tingkat virulensi patogen. Isolat lebih virulen memunculkan gejala serangan lebih dini.

Tabel 1. Kisaran tanaman inang dan distribusi geografis ras dan biovar *R. solanacearum*

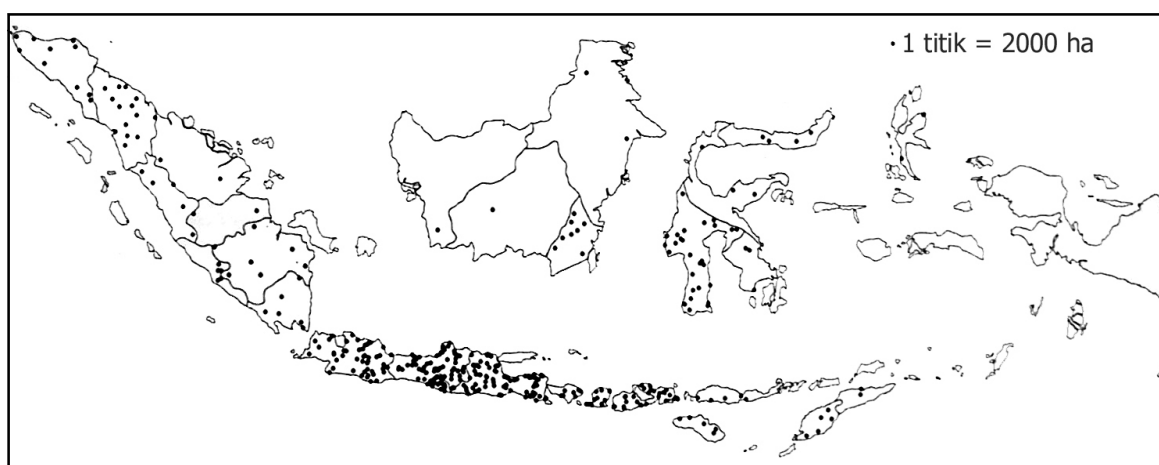
Ras	Kisaran tanaman inang	Distribusi Geografis	Biovar
1	Solanaceae, Leguminoseae	Asia, Australia, Amerika	3,4,1
2	Pisang, Musa spp lain	Karibia, Brasilia, Filipina	1
3	Kentang, beberapa solanaceae lain, Geranium	Seluruh dunia kecuali Amerika dan Kanada	2
4	Jahe	Asia	3,4
5	Murbei	Cina	5

Sumber : Denny dan Hayward (2001 dalam Daughtrey, 2003)



Gambar 1. Distribusi dan arti penting layu bakteri di Indonesia.

Sumber: Mehan *et al.* (1994).



Gambar 2. Areal tanam kacang tanah di Indonesia.

Sumber: Adisarwanto *et al.* (2001).

Penyakit layu bakteri pada tanaman yang masih muda mengakibatkan batang dan daun mendadak layu, dan tanaman mati dalam keadaan daun tetap hijau. Akar tanaman terinfeksi menjadi busuk dan tampak adanya perubahan warna. Jika bagian batang tanaman yang menderita layu dipotong melintang, akan tampak berkas pembuluh pengangkutnya berwarna kecoklatan. Jika potongan batang tersebut dicelupkan ke dalam air jernih akan keluar rembesan lendir berwarna putih menyerupai

kabut yang merupakan massa bakteri (Mehan *et al.* 1994). Adanya bintik-bintik warna coklat tua pada xylem dan adanya aliran massa bakteri dari potongan batang melintang di dalam air merupakan karakteristik diagnostik penyakit ini (Gitaitis dan Hammons 1984). *R. solanacearum* menghasilkan sejumlah produk ekstra selular yang berperan terhadap kemampuannya untuk mengkolonisasi tanaman inang dan menyebabkan gejala penyakit. Salah satu produk yang penting adalah *extra cellular polysaccharide*

(EPS) (Genin dan Boucher 2002). Polisakarida tersebut merupakan faktor utama penyebab gejala layu (Husain dan Kelman 1958), disamping karena pembentukan enzim-enzim pektik yang berperan dalam pergerakan atau perpindahan bakteri melalui perusakan jaringan dinding sel tanaman (Denny 2005).

SUMBER KETAHANAN

Perbedaan reaksi terhadap serangan bakteri *R. solanacearum* antar genotipe kacang tanah dilaporkan oleh sejumlah peneliti dan lebih dari 7000 genotipe kacang tanah telah dievaluasi ketahanannya di Cina, Indonesia, dan Vietnam (Liao *et al.* 1998; Machmud and Hayward 1992; Machmud and Rais 1994; Mehan dan Liao 1994; Nugrahaeni *et al.* 1998; 1999; 2000; Saleh *et al.* 1997). Belum ada satupun genotipe kacang tanah yang dilaporkan imun terhadap *R. solanacearum*. Genotipe tahan sebagian besar berasal dari Cina dan Indonesia, kemungkinan karena seleksi ketahanan merupakan kegiatan utama di kedua negara dengan intensitas cekaman penyakit layu berat tersebut (Hayward 1994a). Namun, terdapat beberapa genotipe tahan yang berasal dari Peru. Hal ini menunjukkan adanya gen ketahanan terhadap bakteri layu *R. solanacearum* di dalam materi yang berkembang di pusat keragaman sekunder (Hayward 1994a). Schwarz 21, yang merupakan varietas kacang tanah tahan penyakit layu bakteri asal Indonesia, bereaksi tahan dalam pengujian di China, Vietnam dan Amerika (Liao *et al.* 1990, 1994; Jenkins *et al.* 1966 dalam Mehan *et al.* 1986; Wei-Lin 1990). Schwarz 21 bertahan di pertanaman petani di Indonesia selama 25 tahun dan kemudian ketahanannya merosot sehingga ditarik dari peredaran pada tahun 1953 (Somaatmadja 1974). Namun demikian, Schwarz 21 menjadi sumber ketahanan utama terhadap penyakit layu *R. solanacearum* dalam pemuliaan kacang tanah di Indonesia. Dua belas dari 18 varietas unggul kacang tanah di Indonesia hasil persilangan buatan mendapatkan gen ketahanan terhadap penyakit layu bakteri dari Schwarz 21, baik secara langsung maupun tidak langsung (Hermanto *et al.* 2009). Hasil pengujian di rumah kaca menunjukkan bahwa di antara varietas-varietas tersebut Gajah, Banteng, Tapir, Kidang, Tupai, Domba, Mahesa, Anoa, dan Tuban tergolong tahan terhadap penyakit layu bakteri (Rahayu, 2009). Nugrahaeni (*data tidak dipublikasikan*) telah melakukan seleksi tanaman

tunggal dan serangkaian pengujian di lahan endemi layu di Pati-Jawa Tengah dan di Dau-Malang selama empat musim, tahun 2002 hingga 2006, dan uji konfirmasi di rumah kaca menggunakan inokulasi buatan mendapatkan tujuh genotipe tahan yaitu Gajah, Bima, Gajah, GH, ICGV 93370, Turangga, dan lokal Pati.

Genetika Ketahanan terhadap Penyakit Layu Bakteri pada Kacang Tanah

Meskipun penyakit layu bakteri *R. solanacearum* pada kacang tanah di Indonesia menjadi masalah penting dalam budidaya tanaman tersebut, namun informasi tentang genetika ketahanannya masih sangat terbatas. Kajian pewarisan ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri di Indonesia baru dilakukan oleh Lagiman *et al.* (2000) dan Nugrahaeni *et al.* (2007b). Deskripsi karakter ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri lebih banyak didapatkan dari Cina (Mehan dan Liao 1994; Shan *et al.* 1998; Wang *et al.* 1985 dalam Liao *et al.* 1994).

Gen pengendali ketahanan terhadap penyakit layu bakteri pada kacang tanah yang dilaporkan beragam, baik dalam jumlah maupun tipe aksi gen yang terlibat. Lagiman *et al.* (2000) mengkaji pewarisan ketahanan pada varietas Gajah dengan mengevaluasi ketahanan zuriat hasil persilangannya dengan Kelinci (agak tahan). Berdasarkan hasil analisis segregasi di generasi F2 Lagiman *et al.* (2000) menyimpulkan ketahanan terhadap layu bakteri pada varietas Gajah merupakan sifat kuantitatif. Hasil ini berbeda dengan kajian yang dilakukan oleh Nugrahaeni *et al.* (2007b) yang mendapatkan bahwa gen-gen ketahanan terhadap penyakit bakteri layu *R. solanacearum* pada Gajah, Bima, GH, Turangga, lokal Pati, dan ICGV 93370 merupakan karakter kualitatif yang diatur oleh gen-gen yang terdapat di dalam inti sel, dengan aksi gen dominan tidak lengkap. Lebih lanjut Nugrahaeni *et al.* (2007a) mendapatkan bahwa Turangga, GH dan Bima mempunyai ketahanan tinggi dan efek daya gabung umum tinggi sehingga pengembangan kombinasi persilangan yang melibatkan genotipe tersebut berpeluang besar menghasilkan progeni dengan ketahanan yang tinggi terhadap penyakit layu bakteri. Kombinasi persilangan Chico (rentan) x GH (tahan) prospektif untuk digunakan sebagai bahan pemuliaan karena daya gabung khusus yang baik. Heritabilitas, baik dalam arti sempit maupun arti luas, pada populasi

yang dikaji tergolong tinggi. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan hasil kajian genetika ketahanan yang dilakukan Liao *et al.* (1986) pada empat kultivar tahan Xiekangqing, Taishan Sanlirao, Taishan Zhengzhu yang disilangkan dengan kultivar rentan Hong Hual.

Liao *et al.* (1986), Shan *et al.* (1998), Lagiman *et al.* (2000), dan Nugrahaeni *et al.* (2007b) mendapatkan hasil yang sejalan bahwa gen pengatur ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri *R. solanacearum* bersifat dominan sebagian, hasil tersebut berlawanan dengan sifat resesif yang didapatkan oleh Wang *et al.* (1985 dalam Liao *et al.* 1994). Sifat resesif yang didapatkan oleh Wang *et al.* (1985 dalam Liao *et al.* 1994) tersebut kemungkinan karena pengujian dilakukan di lapangan pada lahan endemi layu sehingga sulit untuk mengamati perbedaan relatif ketahanan. Shan *et al.* (1998) mendapatkan tingkat dominansi gen ketahanan pada kacang tanah tipe 'Chinese Dragon' (kultivar Lingui Make, Feilongxiang, Nanning Sanjindou, dan Yulin Wadou) lebih tinggi dibandingkan yang terdapat pada tipe Spanish (kultivar Xiangqing) dan Valencia (kultivar Taishan Sanlirou). 'Chinese Dragon' adalah kacang tanah yang telah dibudidayakan di Cina sejak sekitar 600 tahun sebelum kacang tanah tipe Virginia, Spanish, dan Valencia dimasukkan ke Cina pada akhir abad XIX. Morfologi kacang tanah tipe 'Chinese dragon' mirip dengan varietas botani hirsuta subspecies fastigiata.

Pewarisan ketahanan terhadap bakteri layu *R. solanacearum* tidak dipengaruhi oleh tetua betina, baik pada kacang tanah tipe Spanish maupun tipe Valencia (Lagiman *et al.* 2000; Liao *et al.* 1986; Nugrahaeni *et al.* 2007b), berbeda dengan pada tipe 'Chinese dragon' karena Shan *et al.* (1998) mendapatkan adanya pengaruh tetua betina pada penelitian pewarisan ketahanan yang menggunakan kacang tanah tipe tersebut.

Teknik Pemuliaan

Usaha pemuliaan kacang tanah di Indonesia telah dimulai sejak sebelum merdeka oleh peneliti berkebangsaan Belanda, dan kacang Raja adalah varietas kacang tanah pertama yang dihasilkan melalui seleksi galur terhadap varietas daerah. Kacang Raja bertahan selama 10 tahun di per-tanaman petani, yang kemudian ditarik dari per-edaran karena ketahanannya terhadap penyakit

layu bakteri telah menurun. Pada periode 1919–1926 dilakukan seleksi secara ekstensif pada varietas-varietas lokal dan mendapatkan satu galur asal Cirebon yang kemudian dilepas sebagai varietas kacang tanah tahan layu dengan nama Schwarz 21 (Somaatmadja 1974).

Varietas unggul tahan layu bakteri Gajah, Macan, Banteng, dan Kidang adalah hasil seleksi keturunan persilangan dengan Schwarz 21 sebagai salah satu tetua; dari varietas Gajah dikembangkan tiga varietas unggul tahan layu Rusa, Anoa, dan Domba; dan dari varietas Kidang dikembangkan varietas unggul tahan layu Pelanduk, Tapir, Tupai, Mahesa, dan Bison. Kondisi tersebut menunjukkan dasar genetik ketahanan yang sempit pada varietas-varietas unggul kacang tanah di Indonesia, sehingga upaya memperluas dasar genetik ketahanan terhadap penyakit layu bakteri *R. solanacearum* menjadi penting dalam pemuliaan ketahanan terhadap penyakit layu bakteri di Indonesia.

Nilai heritabilitas dugaan yang tinggi yang didapatkan di beberapa kajian pewarisan (Liao *et al.* 1986; Nugrahaeni *et al.* 2007a) menunjukkan bahwa sistem genetik yang mengendalikan ketahanan di dalam kelompok tetua yang dikaji merupakan gen-gen aditif. Jika demikian, maka seleksi untuk mendapatkan genotipe tahan akan efektif dan dapat dimulai pada generasi awal (Briggs dan Knowless 1967).

Aksi gen dominan tidak sempurna didapatkan pada kajian yang dilakukan Liao *et al.* (1986), Shan *et al.* (1998), Lagiman *et al.* (2000), dan Nugrahaeni *et al.* (2007b). Hasil tersebut menunjukkan sulit untuk mendapatkan zuriat yang mempunyai ketahanan yang lebih tinggi dari tetuanya. Kemungkinan aksi gen dominan tidak sempurna ini yang menyebabkan ketahanan varietas unggul kacang tanah yang baru lebih rendah dibandingkan varietas unggul lama yang juga merupakan tetua sumber ketahanan. Akan tetapi dengan adanya sifat aditifitas maka perlu dilakukan pemilihan tetua dengan ketahanan yang sangat tinggi untuk mendapatkan progeni yang mempunyai ketahanan yang tinggi (Sisson dan Wernsman 1990). *Multi directional crossing* juga merupakan metode efektif dalam memanfaatkan materi plasma nutfah yang mempunyai ketahanan sedang tetapi mempunyai karakter agronomik yang lebih baik. Seleksi hasil

dapat dilakukan pada generasi F4-F5 pada saat tingkat ketahanan dari famili terpilih telah stabil (Liao *et al.* 1990).

Metode Pengujian dan Evaluasi Ketahanan

Ekspresi gen-gen ketahanan terjadi apabila tanaman inang berinteraksi dengan patogen di lingkungan yang sesuai bagi perkembangan penyakit. Untuk memisahkan reaksi tanaman terhadap penyakit, genotipe-genotipe yang diuji harus dibandingkan pada kondisi lingkungan yang sama.

Evaluasi ketahanan terhadap bakteri layu pada umumnya dilakukan di lapangan. Pengujian di lapangan pada kondisi intensitas penyakit yang tinggi dan homogen sangat berguna untuk menguji genotipe dalam jumlah besar. Namun seringkali diperlukan penilaian yang lebih teliti pada kondisi lingkungan terkontrol, baik suhu, kelembaban, maupun konsentrasi dan penempatan inokulum. Inokulasi buatan pada pengujian di rumah kaca membantu menciptakan lingkungan yang homogen pada tanaman yang dievaluasi.

Teknik inokulasi buatan yang digunakan dalam evaluasi ketahanan terhadap penyakit layu bakteri di antaranya adalah inokulasi akar, injeksi batang dan hypodermi, perendaman benih dan penyiraman tanah (Mehan *et al.* 1995; Winstead dan Kelman 1952). Beberapa teknik dilaporkan lebih efektif dibandingkan teknik yang lain (Machmud dan Middleton 1990), namun mempunyai beberapa kelemahan seperti biaya lebih mahal atau membutuhkan waktu aplikasi yang lebih lama sehingga sulit untuk digunakan pada evaluasi ketahanan genotipe dalam jumlah besar (Hartman dan Elphinstone 1994).

Penilaian ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri, pada umumnya dinyatakan dalam intensitas penyakit atau persentase tanaman hidup. Suatu genotipe dinyatakan tahan apabila lebih dari 85% tanaman pada genotipe tersebut dapat bertahan hidup, rentan apabila kurang dari 65% tanaman yang hidup (Machmud dan Rais 1994). Indikator ketahanan tersebut penilaiannya berbasis populasi, sehingga tidak dapat digunakan dalam penilaian ketahanan pada individu seperti yang seharusnya dilakukan pada populasi bersegregasi. Beberapa peneliti (Mehan *et al.* 1995; Tamura *et al.* 2002; Wang *et al.* 1985 dalam Balatero *et al.* 2002; Nugrahaeni *et al.* 2007a,b) melakukan penilaian ketahanan berdasar-

kan skor penyakit. Skor tersebut mempunyai skala antara 0–4, 1–5, atau 0–6, dengan skala terendah merujuk pada kondisi tanaman tanpa gejala, sedangkan skala tertinggi diberikan pada tanaman dengan kondisi lebih dari 90% daun layu, atau seluruh tanaman layu, atau tanaman mati.

PENUTUP

Penggunaan varietas tahan merupakan salah satu faktor yang dapat menunjang stabilitas hasil dan merupakan komponen penting dalam pengendalian penyakit layu bakteri pada kacang tanah. Mengingat luasnya distribusi dan tingginya intensitas penyakit layu bakteri di Indonesia, ketahanan terhadap penyakit tersebut perlu untuk digunakan sebagai prasyarat dalam pelepasan varietas unggul.

Arti penting ketahanan terhadap penyakit bakteri telah disadari oleh pemulia kacang tanah di Indonesia, sehingga genotipe tahan layu selalu digunakan sebagai salah satu tetua dalam persilangan buatan. Namun, pada kenyataannya ketahanan pada varietas yang didapatkan belum ada yang melebihi atau menyamai ketahanan tetuanya sehingga area penyebaran varietas unggul yang dihasilkan menjadi terbatas.

Untuk memperbaiki ketahanan dan stabilitas ketahanan terhadap penyakit layu bakteri pada varietas unggul kacang tanah diperlukan beberapa informasi, diantaranya informasi terinci tentang status distribusi penyakit layu, keragaman strain *R. solanacearum*, skrining extensive plasma nutfah kacang tanah untuk mendapatkan sumber ketahanan yang lebih tinggi dengan karakteristik agronomi yang lebih baik, studi sistematis genetika pewarisan gen pengendali karakter ketahanan untuk memperluas latar belakang genetik ketahanan dan mengetahui hubungan genetik antara ketahanan terhadap penyakit layu bakteri dan penyakit lain, ketahanan terhadap kekeringan, dan penyakit lainnya. Diperlukan kajian mekanisme dan komponen ketahanan kacang tanah terhadap layu bakteri *R. solanacearum* untuk memperbaiki teknik penilaian ketahanan dan identifikasi genotipe tahan.

Studi yang menyeluruh dan sistematis aspek-aspek penyakit layu bakteri tersebut akan meningkatkan efektivitas strategi pengendalian dan pengembangan varietas unggul kacang tanah

dengan ketahanan yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Perpustakaan Balitkabi atas bantuannya dalam penyediaan bahan pustaka, kepada Dewan Redaksi/Tim Editor atas kritik dan sarannya terhadap naskah publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adisarwanto, T., H. Kuntiyastuti, and A. Taufiq. 2001. Legumes in Tropical Rice-based Cropping System in Indonesia: Constraint and Opportunity. pp. 26–41. In C.L.L. Gowda, A. Ramakhrisna, O.P. Rupella, and S.T. Wani (eds.). Legumes in Tropical Rice-based Cropping System in Asia: Constraint and Opportunity. ICRISAT, India.
- Balatero, C.H., D.M. Hautea, R.A. Hautea, J.O. Narciso, J.T. Bituin, and R.L. Tiongeo. 2002. Genetics of Resistance to *Ralstonia solanacearum* causing Bacterial Wilt in Tomato. Poster Presented in the 3rd Internat. Bacterial Wilt Symp. February 4-8, 2002.
- BPS. 2011. Luas Panen-Produktivitas-Produksi Tanaman Kacang Tanah Seluruh Provinsi tahun 2009. <http://www.bps.go.id>.
- Briggs, F.N. and P.F. Knowles. 1967. Introduction to Plant Breeding. Reinhold Publ. Co. pp. 52–100.
- Buddenhagen, I.W. 1986. Bacterial Wilt Revisited. pp. 126–143. In G.J. Persley (ed.). Bacterial Wilt Disease in Asia and the South Pacific. Proceedings of an Internat. Workshop held at PCARRD, Los Banos, Philippines, 8-10 October 1985. ACIAR Proc No. 13.
- Buddenhagen, I.W. and A. Kelman. 1964. Biological and Physiological Aspects of Bacterial Wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Annu. Review of Phytopathol., 2, 203–230.
- Daughtrey, M. 2003. Southern Bacterial Wilt, caused by *Ralstonia solanacearum*. "New and Re-emerging Diseases in 2003" at the Society of American Florists' 19th Annual Conf on Insect and Disease Management on Ornamentals on February 23, 2003. 3p.
- Denny, T.P. 2005. A Short History of the Biochemical and Genetic Research on *Ralstonia solanacearum* Pathogenesis. pp. 323–334. In C. Allen, P. Prior, and A.C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt Disease and the *Ralstonia solanacearum* Species Complex. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- Euzéby, J.P. 2002. List of Bacterial Names with Standing in Nomenclature: Names validly published by announcement in a validation lists. <http://www.bacterio.cict.fr>. Tanggal 27 Mei 2003.
- FAO. 2011. Countries by Commodity. <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>.
- Fegan, M., M. Taghavi, L.I. Sly, and A.C. Hayward. 1998. Phylogeny, Diversity and Molecular Diagnostics of *Ralstonia solanacearum*. pp.19–33. In P. Prior, C. Allen, and J. Elphinstone (eds.). Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects. Report of the Second Internat of Wilt Symp held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997. Springer-Verlag, INRA Paris.
- Fletcher, S.M., Ping Zhang, and D.H. Carley. 1992. Groundnuts: Production, Utilization, and Trade in the 1980s. pp. 17–32 In S.N. Nigam (ed.). Groundnut A Global Perspective. Proceedings of Internat. Workshop, 25–29 Nov 1991, ICRISAT Center, India. Patancheru, A.P. 502 324 India.
- Genin, S. and C. Boucher. 2002. *Ralstonia solanacearum*: Secrets of a Major Pathogen Unveiled by Analysis of its Genome. Molecular Plant Pathol, 3,111–118.
- Gitaitis, R.D. and R.O. Hammons. 1984. Bacterial Wilt. pp.36–37 in D.M. Porter, D.H. Smith, and R. Rodriguez-Kabana (eds.). Compendium of Peanut Diseases. Am Phytopath Soc, St. Paul, Minnesota, USA.
- Hartman, G.L. and J.G. Elphinstone. 1994. Advances in The Control of *Pseudomonas solanacearum* Race 1 in Major Food Crops. p 157–178. In A.C. Hayward and G.L. Hartman (eds.). Bacterial Wilt: The Disease and its Causative Agent, *Pseudomonas solanacearum*. CAB Internat, Wallingford, UK.
- Hayward, A.C. 1990. Diagnosis, Distribution, and Status of Groundnut Bacterial Wilt. pp.12–17 In K.J. Middleton and A.C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut. Proc of ACIAR/ICRISAT Collaborative Research Planning Meeting, 18-19 March 1990, Genting Highlands, Malaysia. ACIAR Proc No. 31.
- Hayward, A.C. 1991. Biology and Epidemiology of Bacterial Wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Annu. Rev. Phytopathol., 29, 65–87.
- Hayward, A.C. 1994a. The Hosts of *Pseudomonas solanacearum*. pp. 9–24. In A.C. Hayward and G.L. Hartman (eds.). Bacterial Wilt: The Disease and its Causative Agent, *Pseudomonas solanacearum*. CAB Internat, Wallingford, UK.

- Hayward, A.C. 1994b. Systematic and Phylogeny of *Pseudomonas solanacearum* and Related Bacteria. pp.123–135. In A.C. Hayward and G.L. Hartman (eds.). Bacterial Wilt: The Disease and its Causative Agent, *Pseudomonas solanacearum*. CAB Internat, Wallingford, UK.
- Hayward, A.C. 1995. Phenotypic Methods for The Differentiation of *Pseudomonas solanacearum*: Biovars and Supplementary Observations. pp.27–35. In V.K. Mehan and D. McDonald (eds.). Techniques for Diagnosis of *P. solanacearum* and for Resistance Screening Against Groundnut Bacterial Wilt. ICRISAT Technical Manual No. 1.
- He, Li Yuan. 1990. Control of Bacterial Wilt of Groundnut in China with Emphasis on Cultural and Biological Methods. pp.22–25. In K.J. Middleton and A. C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut. Proc of an ACIAR/ICRISAT Collaborative Research Planning and Meeting held at Genting Highlands, Malaysia on 18-19 March, 1990. ACIAR Proc no. 31.
- He, Li Yuan, L. Sequiera, and A. Kelman. 1983. Characteristic of strains of *Pseudomonas solanacearum* from china. Plant Dis. 67:1357–1361.
- Heriyanto dan H. Subagio. 1998. Prospek Usahatani Kacang Tanah di Indonesia hlm 1–13 dalam A. Harsono, N. Nugrahaeni, A. Taufiq dan A. Winarto (Penyunting). Teknologi untuk Peningkatan Produksi dan Nilai Tambah Kacang Tanah. Edisi Khusus Balitkabi No. 12.
- Hermanto, D. Sadikin S., dan E. Hikmat. 2009. Deskripsi Varietas unggul Palawija 1918–2009. Puslitbangtan.
- Hong, N.X., V.K. Mehan, N.T. Ly, and M.T. Vinh. 1994. Status of Groundnut Bacterial Wilt Research in Vietnam. pp.135–141, 1–13. In V.K. Mehan and D. McDonald (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut in Asia. Proc of the Third Working Group Meeting, 4-5 July 1994, Wuhan, China. ICRISAT, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India.
- Husain, A. and A. Kelman. 1958. Relation of Slime Production to Mechanism of Wilting and Pathogenicity of *Pseudomonas solanacearum*. Phytopath, 48,155–164.
- Janse, J.D., F.A.X. Aruluppan, J. Schans, M. Weneker, W. Westerhuis. 1998. Experiences with Bacterial Brown Rot *Ralstonia solanacearum* Biovar 2, Race 3 in the Netherlands. pp.146–152. In P. Prior, C. Allen, and J. Elphinstone (eds.). Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects. Report of the Second Internat of Wilt Symp held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997. Springer-Verlag, INRA Paris.
- Kelman, A. 1954. The Relationship of Pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to Colony Appearance on a Tetrazolium Medium. Phytopath, 44, 693–695.
- Lagiman, S. Sastrosumarjo, Yudiwanti W.E. Kusumo, dan M. Machmud. 2000. Kajian Genetik Ketahanan Layu Bakteri pada Kacang Tanah Zuriat dari Persilangan Varietas Kelinci dan Gajah. Agrivet, 4, 94–102.
- Liao B.S., W.R. Li, D.R. Sun. 1986. A Study on Inheritance of Resistance to *P. solanacearum* E.F. Smith in *A. hypogaea* L. Oil Crops of China, 3, 1–8.
- Liao B.S., Y.Y. Wang, X.M.Xia, G.Y. Tang, Y.J.Tang, and D.R. Sun. 1990. Genetic and Breeding Aspects of Resistance to Bacterial Wilt in Groundnut. pp. 39–43. In K.J. Middleton and A. C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut. Proc of an ACIAR/ICRISAT collaborative research planning and meeting held at Genting Highlands, Malaysia on 18–19 March, 1990. ACIAR Proc No. 31.
- Liao B.S., N.X. Duan, Y.Y. Wang, D.R. Sun, and V.K. Mehan. 1994. Host-plant Resistance to Groundnut Bacterial Wilt: Genetic Diversity and Enhancement. pp. 91–96. In V. K. Mehan and D. McDonald (eds.). Groundnut Bacterial Wilt in Asia. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India.
- Liao, B.S., Z.H. Shan, N.X. Duan, Y.J. Tan, Y. Lei, D. Li and V.K. Mehan. 1998. Relationship Between Latent Infection and Groundnut Bacterial Wilt Resistance. pp. 294–299 In P. Prior, C. Allen, and J. Elphinstone (eds.). Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects. Report of the Second Internat of Wilt Symp held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997. Springer-Verlag, INRA Paris.
- Machmud, M. 1986. Bacterial Wilt in Indonesia. pp. 30–34. In G.J. Persley (ed.). Bacterial Wilt Disease in Asia and the South Pacific. Proc of an Internat. Workshop held at PCARRD, Los Banos, Philippines, 8-10 October 1985. ACIAR Proceedings No.13.
- Machmud, M. 1992. Pengelolaan Penyakit Bakteri Layu Kacang Tanah. hlm. 7–18 dalam N. Saleh, T. Adisarwanto, dan A. Winarto (Penyunting). Perbaikan Komponen Teknologi Budidaya Kacang Tanah. Balittan, Malang.

- Machmud, M. 1993a. Control of Peanut Bacterial Wilt Through Crop Rotation. pp. 221–224. *In* G.L. Hartman and A.C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt. Proc of an Internat. Conference held at Kaohsiung, Taiwan, 28–31 October 1992. ACIAR Proc No. 45.
- Machmud, M. 1993b. Present Status of Groundnut Bacterial Wilt Research in Indonesia. pp.14–24. *In* V.K. Mehan and A.C. Hayward (eds.). Groundnut Bacterial Wilt. Proc of the Second Working Group Meeting, 2 Nov 1992, AVRDC, Tainan, Taiwan. ICRISAT, Patancheru, A.P. 502 324, India.
- Machmud, M. and A.C. Hayward. 1992. Genetic and Cultural Control of Peanut Bacterial Wilt. pp. 19–25. *In* G.C. Wright and K.J. Middleton (eds.). Peanut Improvement: A Case Study in Indonesia. Proc of an ACIAR/AARD/QDPI Collaborative Review Meeting held at Malang, East Java, 19–23 August 1991. ACIAR Proc No. 40.
- Machmud, M. and K.J. Middleton. 1990. Seed Infection and Transmission of *P. solanacearum* on Groundnut (Abstract). pp. 57. *In* K.J. Middleton and A. C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut. Proc of an ACIAR/ICRISAT collaborative research planning and meeting held at Genting Highlands, Malaysia on 18-19 March, 1990. ACIAR Proc no. 31.
- Machmud, M. and S.A. Rais. 1994. Status of Groundnut Bacterial Wilt Research in Indonesia. pp.115–119. *In* V.K. Mehan and D. McDonald (eds.). Groundnut Bacterial Wilt in Asia. ICRISAT, India.
- Mehan, V.K. and B.S. Liao. 1994. Groundnut Bacterial Wilt: Past, Present, and Future. pp.67–88. *In* V.K. Mehan and D. McDonald (eds.). Groundnut Bacterial Wilt in Asia. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India.
- Mehan, V.K., B.S. Liao, Y.J. Tan, A. Robinson-Smith, D. McDonald, and A.C. Hayward. 1994. Bacterial Wilt of Groundnut. Information Bull No. 35. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India. 23p.
- Mehan, V.K., D.McDonald, and P. Subrahmanyam. 1986. Bacterial Wilt of Groundnut: Control with Emphasis on Host Plant Resistance. pp. 112–119. *In* G.J. Persley (ed.). Bacterial Wilt Disease in Asia and the South Pacific. Proc of an Internat. Workshop held at PCARRD, Los Banos, Philippines, 8-10 October 1985. ACIAR Proc No. 13.
- Mehan, V.K., Y. J. Tan, and B.S. Liao. 1995. Inoculation Techniques to Evaluate Resistance of Groundnut to Bacterial Wilt. pp. 59–62 *In* V.K. Mehan and D. McDonald (eds.). Techniques For Diagnosis of *P. solanacearum* and for Resistance Screening Against Groundnut Bacterial Wilt. ICRISAT Technical Manual no.1.
- Middleton, K.J., S. Pande, S.B. Sharma, and D.H. Smith. 1994. Diseases. pp. 336–394. *In* J. Smartt (ed.). The Groundnut Crop: A Scientific Basis For Improvement. Chapman & Hall, London, UK.
- Nugrahaeni, N., J. Purnomo, A. Kasno. 1998. Evaluasi Ketahanan Galur-galur Kacang Tanah terhadap Penyakit Layu Bakteri. Laporan Penelitian CLAN/RILET. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. 12 hlm.
- Nugrahaeni, N., J. Purnomo, A. Munip, H. Prasetyono, dan A. Kasno. 1999. Pembentukan Varietas Unggul Kacang Tanah Toleran Penyakit Daun. Laporan Teknis Balitkabi Tahun 1998/1999. 21 hlm.
- Nugrahaeni, N., J. Purnomo, H. Prasetyono, A. Munip, dan A. Kasno. 2000. Uji Multilokasi Galur-galur Harapan Kacang Tanah Toleran Penyakit Daun. Laporan Penelitian PAATP. 23 hlm.
- Nugrahaeni, N., M. Rahaju, dan J. Purnomo. 2002. Penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* pada kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) dan strategi pengendaliannya. hlm 154–159 *dalam* R. Mudjisihono, M. Faturachim, Masyhudi, N.K. Wardhani, A. Musofi, A.M. Sudihardjo, G. Supangkat, dan W. Sudana (Penyunting). Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi dalam Mendukung Agribisnis. Yogyakarta 2 November 2002. BPTP Yogyakarta-Fak. Pertanian UMY.
- Nugrahaeni, N., Soemartono, W. Mangoendidjojo, dan M. Machmud. 2007a. Analisis dialel ketahanan kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. Zuriat 18 (1):1–9.
- Nugrahaeni, N., Soemartono, W. Mangoendidjojo, dan M. Machmud. 2007b. Pewarisan ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu *Ralstonia solanacearum*. Agritek 15(3):477–483.
- Persley, G.J. 1986. Ecology of *P. solanacearum*, the Causal Agent of Bacterial Wilt. pp.71–76 *in* G.J. Persley (ed.). Bacterial Wilt Disease in Asia and the South Pacific. Proc of an Internat. Workshop held at PCARRD, Los Banos, Philippines, 8-10 October 1985. ACIAR Proc No. 13.
- Pradhanang, P.M. 1999. Transmission of *Ralstonia solanacearum* Through Drainage Water. Bacterial Wilt Newsletter, 16, 5–7.

- Rahayu, M. 2009. Evaluasi plasma nutfah kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri *Pseudomonas (Ralstonia solanacearum)* dalam Trustinah, A. Kasno, A. Wijanarko, H. Kuswanto, R. Iswanto, dan M. Rahayu. Evaluasi plasma nutfah kacang-kacangan toleran terhadap cekaman biotik dan abiotik. Laporan Akhir Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian Tahun 2008.
- Sadar, Suhartono, dan Irmansyah Rusli. 1995. Reaksi galur/varietas kacang tanah terhadap penyakit layu (Ps). Risalah Seminar Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami 8: 167–170.
- Saleh, N., N. Nugrahaeni, Y. Baliadi, and Trustinah. 1997. Evaluation of Groundnut Genotypes Resistance to Leaf Spot, Rust, and Bacterial Wilt Diseases. pp. 48–62 in M.J. Mejaya, N. Nugrahaeni, T. Adisarwanto, and Suyamto (eds.) Yield Improvement of Legumes and Cereals. Rilet Special Edition No.11-1997.
- Shan, Z.H., N.X. Duan, H.F. Jiang, Y.J. Tan, D. Li, B.S.Liao. 1998. Inheritance of Resistance to Bacterial Wilt in Chinese Dragon Groundnut. pp. 300–305. In P. Prior, C. Allen, and J. Elphinstone (eds.). Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects. Report of the Second International of Wilt Symp held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997. Springer-Verlag, INRA Paris.
- Sisson, V.A. and E.A. Wernsman. 1993. Current U.S. Breeding Efforts for Improving Bacterial Wilt Resistance in Flue-Cured Tobacco. pp. 199–205 in G.L. Hartman and A.C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt. Proc of an Internat. Conf held at Kaohsiung, Taiwan, 28–31 October 1992. ACIAR Proc No. 45.
- Somaatmadja, S. 1974. Pemuliaan Kacang Tanah. Latihan Penelitian Kacang-kacangan, LP3-Bogor. 32 hlm.
- Tamura, N., Y. Murata, and T. Mukaihara. 2002. A Somatic Hybrid between *Solanum integrifolium* and *S. violaceum* that is Resistant to Bacterial Wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. Plant Cell Reporter, 21,353–358.
- Wei-Lin, Y. 1990. A Review of Bacterial Wilt on Groundnut in Guangdong Province, People's Republic of China. pp. 48–51 in K.J. Middleton and A. C. Hayward (eds.). Bacterial Wilt of Groundnut. Proc of an ACIAR/ICRISAT collaborative research planning and meeting held at Genting Highlands, Malaysia on 18-19 March, 1990. ACIAR Proc No. 31.
- Winstead, N.N. and A. Kelman. 1952. Inoculation techniques for evaluating resistance to *Pseudomonas solanacearum*. Plant Disease Reporter, 44, 432–434.
- Yabuuchi, E., Y. Kasako, I. Yano, H. Hotta, and Y. Nishiuchi. 1995. Transfer of two Burkholderia and a Alcaligenes species to Ralstonia Gen. Nov.: Proposal of *Ralstonia pickettii* (Ralston, Palleroni and Doudoroff 1973) comb. nov., *Ralstonia solanacearum* (Smith 1896) comb.nov and *Ralstonia eutropha* (Davis 1969) comb. nov. Microbiol. Immunol 39(11):897–904.