

PEMULIAAN KACANG TANAH UNTUK KETAHANAN TERHADAP CEKAMAN BIOTIK

Novita Nugrahaeni

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi

PENDAHULUAN

Kisaran rata-rata produktivitas kacang tanah di Indonesia cukup lebar dari 0,75 t/ha di Sulawesi Tenggara hingga 1,81 t/ha di Jawa Timur dengan rata-rata nasional 1,35 t/ha (BPS 2013). Rentang kisaran yang lebar dan rata-rata hasil yang relatif rendah tersebut sebagian disebabkan oleh kemampuan tanaman dalam mengatasi cekaman lingkungan fisik (abiotik) dan lingkungan hayati (biotik) terutama terhadap serangan penyakit, yang belum memadai serta tingkat pengelolaan budidaya yang masih sederhana.

Banyak jenis penyakit yang merugikan kacang tanah, di antaranya adalah penyakit layu oleh bakteri *Ralstonia solanacearum*, penyakit bercak daun (*Cercospora arachidicola* dan *Phaeoisariopsis personata*), penyakit karat daun (*Puccinia arachidis*), dan beberapa penyakit yang disebabkan oleh virus, terutama oleh virus yang menimbulkan penyakit bergejala belang (Ganesan dan Sekar 2004). Meskipun tidak secara langsung menurunkan hasil biji, kontaminasi oleh *Aspergillus flavus* pada biji kacang tanah sangat umum ditemui dan sangat merugikan dunia industri. Aflatoksin sangat membahayakan karena bersifat karsinogenik pada manusia, mamalia, dan unggas.

Selain dapat menurunkan hasil, serangga hama seringkali menjadi vektor virus dan merusak polong dan biji sehingga menurunkan mutu polong dan biji secara ekonomi. Hama pada kacang tanah masih relatif terbatas jenisnya, namun akhir-akhir ini hama pengisap daun, kutu kebul (*Bemisia tabaci*) dan *Empoasca* semakin sering ditemui pada pertanaman kacang tanah. Kutu kebul adalah serangga pengisap daun yang menyebabkan tanaman tumbuh kerdil, kering, dan permukaan daun ditutupi oleh cendawan jelaga. Pengaruh merugikan lain dari kutu kebul adalah kemampuannya menularkan *Cowpea mild mottle virus* (Baliadi 2007). Salah satu penyakit yang dahulu merupakan penyakit minor sekarang mulai sering menimbulkan kerugian adalah penyakit busuk batang (*stem and pod rot*) yang disebabkan oleh *Sclerotium rolfsii* Sac. Seperti terjadi pada jenis penyakit lainnya, varietas tahan merupakan upaya terbaik untuk mengendalikan penyakit busuk batang ini.

Pemuliaan kacang tanah di Indonesia untuk ketahanan terhadap penyakit utama dan toleransi terhadap cekaman lingkungan fisik merupakan upaya penting untuk meningkatkan stabilitas hasil dan hasil kacang tanah. Ketahanan terhadap cekaman, baik biotik maupun abiotik dapat berasosiasi dengan stabil tidaknya keragaan suatu genotipe di lintas lingkungan. Baker (1990) menunjukkan bahwa interaksi silang (*crossover interaction*) pada terigu merupakan manifestasi dari perbedaan ketahanan terhadap penyakit atau karakter lain yang mempunyai heritabilitas tinggi. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Nugrahaeni *et al.* (2001), Chaerani *et al.* (2007), serta Padi (2008) bahwa ketahanan atau kerentanan terhadap penyakit merupakan salah satu faktor penyumbang adanya interaksi genotipe dan lingkungan.

Mengingat banyaknya organisme pengganggu yang dapat menurunkan hasil dan berpotensi menurunkan hasil dan mutu hasil, maka ketahanan terhadap hama dan penyakit menjadi salah satu tujuan perbaikan varietas kacang tanah. Penetapan jenis hama/

penyakit yang menjadi tujuan perbaikan varietas tergantung pada tingkat kerugian yang diakibatkannya. Ketahanan terhadap penyakit layu bakteri merupakan prasyarat pelepasan varietas unggul kacang tanah di Indonesia karena 75% area tanam kacang tanah berada di daerah endemik bakteri layu. Penanaman varietas agak tahan layu bakteri berisiko menyebarkan bakteri karena pada varietas demikian dapat terbawa bakteri tanpa menunjukkan gejala sakit (Liao *et al.* 2005). Penanaman varietas tahan hama/penyakit dapat mengurangi penggunaan pestisida sehingga bermanfaat menurunkan biaya produksi, aman bagi penanam, konsumen dan lingkungan, serta sesuai dengan komponen lain dalam pengendalian hama/penyakit terpadu. Langkah pertama program pemuliaan ketahanan terhadap hama/penyakit adalah menghimpun keragaman dan mengidentifikasi sumber gen ketahanan. Langkah berikutnya adalah menginkorporasikan gen ketahanan dari tetua donor dan menetapkan metode pemuliaan yang tepat melalui pemahaman mekanisme ketahanan dan cara pewarisan karakter ketahanan. Keragaman reaksi genotipe terhadap penyakit tidak selalu mencerminkan keragaman genetik (Tshilenge-Lukanda *et al.* 2012), di samping itu patogen dapat berevolusi dan hubungan patogen-inang dapat berubah (Strange dan Scott 2005) sehingga pemuliaan ketahanan terhadap cekaman biotik merupakan kegiatan jangka panjang.

CEKAMAN BIOTIK DAN ARTI EKONOMI

Cekaman biotik adalah cekaman yang menyebabkan perubahan pada satu atau lebih proses fisiologi pada tanaman yang diakibatkan oleh organisme lain, baik berupa patogen, hama, ataupun gulma. Perubahan tersebut berakibat pada kehilangan fungsi energi pada tanaman. Konsep dari penyakit adalah setiap kehilangan dari kemampuan fungsi tanaman untuk mengkoordinasi produksi atau memanfaatkan energi (Middleton *et al.* 1994). Patogen dan serangga hama dapat menyerang seluruh bagian tanaman kacang tanah dan menghambat pertumbuhan tanaman di samping dapat merugikan melalui penurunan hasil dan mutu hasil. Penyakit pada kacang tanah disebabkan oleh organisme parasitik seperti jamur, bakteri, virus, nematoda atau mikoplasma yang menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi kurang baik dan kehilangan kemampuan untuk memproduksi tinggi. Penyebaran dan tingkat serangan penyakit tergantung pada tingkat ketahanan varietas dan kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban udara, tanaman inang serta media penularan (Pensuk *et al.* 2003).

Berikut, disampaikan beberapa penyakit dan hama penting pada kacang tanah.

1. Penyakit karat

Penyakit karat pada kacang tanah disebabkan oleh jamur *P. arachidis*, dengan gejala berupa bercak-bercak berwarna kuning pada permukaan daun bagian bawah. Dalam beberapa hari bercak-bercak akan berubah bentuk menjadi bintil-bintil berwarna coklat menyerupai karat besi. Daun yang terinfeksi berat oleh penyakit tersebut akan mengering. Penyakit karat menyerang kacang tanah pada stadia reproduktif. Intensitas gejala penyakit tertinggi terjadi setelah fase pertumbuhan daun maksimum (Tshilenge-Lakuda *et al.* 2012). Penyakit karat merugikan budidaya tanaman kacang tanah melalui penurunan hasil brangkas, polong, dan mutu biji. Kehilangan hasil karena penyakit karat yang dilaporkan berkisar antara 20 hingga 70% di USA, Mauritius, India, dan China. Gabungan serangan penyakit karat dan bercak daun pada varietas yang peka di Indonesia menimbulkan kehilangan hasil hingga 70% (Hardaningsih dan Neering 1989).

2. Penyakit bercak daun

Penyakit bercak daun terdiri atas bercak daun awal dan bercak daun akhir. Penyakit bercak daun awal disebabkan oleh cendawan *C. arachidicola* Hori, dan penyakit bercak daun akhir disebabkan oleh *P. personata* (Middleton *et al.* 1994). Penyakit bercak daun akhir di Indonesia lebih merugikan daripada penyakit bercak daun awal. Penyakit bercak daun akhir dapat menyebabkan kehilangan hasil hingga 50%. Proses patogenesis *C. personatum* pada daun kacang tanah berlangsung sekitar 20–25 hari, dan gejala awal serangan pada varietas rentan nampak pada umur 10–14 hari. Penyakit bercak daun dapat ditularkan melalui biji yang terinfeksi, dan sporulasi jamur terbanyak terjadi pada suhu 27 °C dan kelembaban relatif 96%, kondisi yang umum ditemui pada musim tanam kacang tanah di Indonesia. Penyakit bercak daun dapat menyerang setiap bagian atas tanaman seperti daun, petiol, batang, ginofor, dan polong. Ginofor adalah struktur awal terbentuknya polong. Luka atau kerusakan akibat serangan bercak daun dapat mempengaruhi integritas tangkai polong dan dapat menyebabkan kehilangan hasil pada saat panen (Sing dan Oswald 1991).

3. Penyakit layu bakteri

Penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh bakteri *Ralstonia solanacearum* merupakan penyakit yang paling merusak pada kacang tanah (Supriadi dalam Elphinstone 2005). Penyakit layu bakteri *Ralstonia* tersebut merupakan kendala biotik penting dalam budidaya kacang tanah di Indonesia. Bakteri *R. solanacearum* adalah patogen tular tanah yang menginfeksi tanaman melalui luka atau lubang alami yang terdapat pada akar. *R. solanacearum* dapat menyebar melalui tanah, air yang telah terkontaminasi, peralatan pertanian, atau manusia (Janse 1998).

Kolonisasi bakteri pada jaringan pengangkut menyebabkan muncul gejala internal dan eksternal yang kemudian berkembang menjadi gejala layu total pada tanaman (Kelman 1954). Gejala layu di lapang paling awal dapat terjadi pada tanaman umur antara satu hingga dua minggu setelah tanam (Machmud dan Hayward 1992; Nugrahaeni *et al.* 1998). Periode inkubasi dipengaruhi oleh tingkat virulensi patogen, isolat lebih virulen memunculkan gejala serangan lebih dini.

Penyakit layu bakteri pada tanaman yang masih muda mengakibatkan batang dan daun mendadak layu, dan tanaman mati dalam keadaan daun tetap hijau. Infeksi pada tanaman yang telah tua menyebabkan tanaman nampak layu, daun menjadi berwarna lebih muda, klorotik, dan melengkung pada ujungnya. Pada akhirnya daun-daun berubah warna menjadi coklat tetapi tetap pada posisi melekat pada tanaman. Pada keadaan tertentu, hanya satu cabang yang layu dan mati. Terdapat sumbatan pada sistem pengangkutan pada akar utama, akar tanaman berubah warna, dan gejala ini meluas hingga batang utama dan cabang-cabang lateral. Perubahan warna tersebut akan tampak pada berkas pembuluh pengangkut jika bagian batang tanaman yang layu dipotong melintang. 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). Sehingga karakteristik diagnostik penyakit layu bakteri pada kacang tanah adalah adanya bintik-bintik warna coklat tua pada xylem dan adanya aliran massa bakteri dari potongan batang melintang di dalam air (Gitaitis dan Hammons 1984). *R. solanacearum* menghasilkan sejumlah produk ekstraselular yang berperan terhadap kemampuannya untuk mengkolonisasi tanaman inang dan menyebabkan gejala penyakit (Genin dan Boucher 2002, Denny 2005).

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). Penyakit layu bakteri pada kacang tanah di Indonesia ditemui di sebagian besar (hampir 70%) sentra produksi dan intensitas tinggi dijumpai di Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, dan Sulawesi Selatan. Area penyakit layu bakteri 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).

Persistensi patogen penyebab penyakit layu bakteri tersebut pada beberapa tipe tanah, tanaman inang yang luas, dan penanaman sepanjang tahun sering menjadi penghambat efektivitas pengendalian secara kultur teknis.

4. *Aspergillus flavus*

A. flavus adalah jamur penghasil aflatoksin, yaitu racun yang bersifat karsinogenik, pada biji kacang tanah. Jamur *A. flavus* dapat menyerang biji kacang tanah, kecambah, dan polong selama fase-fase pengisian biji, fase pemasakan di lapangan, maupun saat pemanenan, prosesing, dan penyimpanan (ICRISAT 2007). Meminimalkan kontaminasi aflatoksin penting dilakukan, karena racun tersebut berpengaruh terhadap kesehatan manusia dan ternak, serta membatasi peluang kacang tanah dan produknya untuk diperdagangkan pada pasar internasional.

5. Penyakit bergejala belang (PStV)

Penyakit bergejala belang pada kacang tanah disebabkan oleh beberapa jenis virus, namun yang paling penting adalah yang disebabkan oleh *Peanut stripe virus* (PStV). Gejala khas dari serangan PStV berupa belang-belang agak bulat pada daun dan warnanya kontras dengan warna daun. Penyakit ini endemik di China dan Asia Tenggara (Demski *et al.* 1984).

Penularan virus PStV dapat dilakukan dengan melalui biji dengan laju transmisi beragam dari 0,5–2,0% (Saleh 1990), 3,8% (Persley *et al.* 2001), dan 8–29% (Middleton *et al.* 1994). Penularan secara buatan dapat mencapai 40% pada tanaman yang diinfeksi pada fase vegetatif awal. Penularan alami dilaporkan mencapai 7% (Demski *et al.* 1993). Penularan terjadi melalui serangga vektor, yaitu *Aphis craccivora* dan *Aphis glycines* secara non-persisten, juga dapat secara mekanis dengan menggosokkan sap daun sakit.

PStV dapat menyebabkan kehilangan hasil yang cukup besar dan bervariasi tergantung waktu infeksi dan varietas yang ditanam. Di China kehilangan hasil diduga mencapai 200.000 ton per tahun (Middleton *et al.* 1994), sedangkan di Indonesia kehilangan hasil 70% berdasarkan individu tanaman diamati pada tanaman kacang tanah di Sulawesi Selatan (Middleton dan Saleh 1988), kehilangan hasil antara 10% hingga 40% pada tanaman yang diinfeksi pada umur 2 minggu hingga 10 minggu (Saleh *et al.* 1989).

6. Stem rot

Di antara penyakit jamur *soil borne* pada kacang tanah, busuk batang yang disebabkan oleh *S. rolfsii* merupakan penyakit yang semakin penting pada kacang tanah. Patogen ini juga menyebabkan busuk polong. *S. rolfsii* mempunyai inang lebih dari 200 spesies, dan dapat hidup baik pada jaringan tanaman hidup maupun mati (Thiessen dan Woodward

2012). Kelembaban yang tinggi, suhu tinggi, adanya serasah di atas tanah merupakan kondisi lingkungan yang optimal untuk perkembangan penyakit ini. Kondisi lingkungan tersebut umum terdapat pada lahan pertanian kacang tanah di Indonesia. Penyakit ini dapat menyebabkan kerusakan pada setiap fase pertumbuhan kacang tanah, dan kehilangan hasil hingga 25% pernah dilaporkan oleh Mayee dan Datar (1988). Bahkan di India, China, Thailand, Vietnam, dan Myanmar penyakit ini telah menjadi penyakit tular tanah penting dengan kehilangan hasil mencapai 75% (Sudini 2013).

7. Sapu setan

Penyakit sapu setan disebabkan oleh fitoplasma, ditularkan oleh serangga vektor *Orosius argentatus*. Gejala awal penyakit sapu setan pada kacang tanah adalah tepi daun klorotik atau daun menguning, daun menjadi kecil-kecil dan ginofor tumbuh mengikuti geotropi negatif (Nugroho *et al.* 2000). Pertumbuhan daun yang sangat banyak membuat tanaman yang terinfeksi nampak seperti sapu setan (*witches' broom*).

8. Kutu kebul

Stadia nimfa dan imago menyebabkan kerusakan secara langsung dengan mengisap cairan daun menggunakan stilet. Pada saat mengisap cairan daun, kedua stadia tersebut menghasilkan ekskresi embun madu, cairan bergula yang cocok sebagai media pertumbuhan embun jelaga. Akibatnya, kerusakan secara tidak langsung pun terjadi. Munculnya embun jelaga dapat menurunkan proses fotosintesis dan berperan pada hilangnya vigor dan kematian dini daun (Hoddler 2003). Selain merugikan secara tidak langsung terhadap proses fisiologis, Bemisia juga merugikan secara tidak langsung melalui perannya sebagai vektor dari banyak virus, beberapa di antaranya merupakan penyakit virus penting pada beberapa negara (Brown dan Czosne 2002).

HUBUNGAN KETAHANAN INANG, PATOGEN, DAN LINGKUNGAN

Ketahanan adalah kemampuan tanaman untuk mengurangi pertumbuhan atau perkembangan parasit setelah terjadi kontak. Penyakit adalah hasil interaksi antara patogen dan inang yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Tingkat kepekaan penyakit pada tanaman inang ditentukan oleh tingkat ketahanan inang terhadap patogen.

Patogen, sebagaimana organisme hidup lainnya, mempunyai keragaman sifat dan pertumbuhan. Patogen bisa terdiri atas strain-strain yang berbeda agresivitas dan/atau virulensinya. Agresivitas mencerminkan vigor atau efektivitas patogenik sedangkan virulensi menunjukkan keadaan relatif hasil interaksi strain-strain patogen dan inang. Suatu strain dikatakan virulen apabila strain tersebut dapat tumbuh dan berkembang di tanaman inang, keadaan sebaliknya disebut avirulen.

Di dalam patogen, seperti halnya tanaman tinggi, juga terjadi evolusi dan rekombinasi genetik sehingga menimbulkan ras-ras baru sebagai akibat dari mutasi, rekombinasi seksual, heterokariosis dan hibridisasi somatik (Sparrow 1979). Akibatnya ketahanan tanaman terhadap penyakit yang ditimbulkannya tidak dapat sempurna dan lestari.

Respons inang dalam menghadapi patogen dapat dibedakan ke dalam rentan, peka, dan tahan. Tanaman dikatakan rentan apabila mudah terinfeksi patogen dan disebut peka apabila setelah terjadi infeksi kemudian berkembang menjadi penyakit yang parah. Sedangkan reaksi tahan terjadi, apabila pertumbuhan patogen di dalam tanaman inang tersebut terhambat.

Terhambatnya pertumbuhan patogen tersebut bisa terjadi melalui: pembatasan infeksi dan penghambatan pertumbuhan patogen. Pembatasan infeksi dapat disebabkan oleh reaksi hipersensitif maupun oleh mekanisme mekanik. Sedangkan penghambatan pertumbuhan patogen, kemungkinan, karena kandungan kimiawi tanaman inang.

Ketahanan dibedakan menjadi tiga kategori yaitu ketahanan khusus/spesifik, ketahanan umum dan toleran. Ketahanan khusus untuk menunjukkan bahwa tanaman inang mempunyai ketahanan hanya terhadap salah satu atau beberapa ras patogen, sering disebut juga sebagai ketahanan vertikal. Ketahanan umum juga disebut ketahanan horizontal atau ketahanan poligenik, untuk menunjukkan tanaman yang mempunyai tingkat ketahanan sedang terhadap berbagai macam ras suatu patogen. Toleran adalah mekanisme ketahanan dimana tanaman mampu mengurangi kerusakan pada tingkat infeksi yang sama, sehingga meskipun terserang penyakit tanaman toleran masih mampu mempertahankan tingkat produksinya. Berbeda dengan sifat tahan dan *avoidance*, toleran tidak mengurangi tingkat infeksi. Tanaman yang secara cepat mampu pulih setelah serangan hama juga merupakan sifat toleran (Niks *et al.* 1993).

GENETIKA KETAHANAN

Interaksi antara inang dan patogen seringkali berdasarkan konsep hubungan *gene-for-gene*. Pada konsep ini ketahanan hanya dapat diekspresikan apabila tanaman inang mengandung alel-alel tahan dan patogen memiliki alel-alel avirulen (Singh 2006). Gen-gen ketahanan dapat berinteraksi secara epistatik ataupun aditif. Nelson (1973) berpendapat bahwa gen-gen untuk ketahanan umum bukan diakibatkan oleh aksi gen-gen yang berlainan, tetapi merupakan ekspresi gen-gen yang sama di dalam latar belakang genetik yang berbeda. Tidak ada gen-gen mayor dan minor, dan disimpulkan bahwa gen-gen ketahanan berfungsi secara vertikal apabila berdiri sendiri dan horizontal apabila bersama-sama. Sebaliknya Keller, Feuilet, dan Messmer (2000) berpendapat bahwa semua gen-gen ketahanan di tanaman inang dan patogen (baik gen mayor maupun minor) berinteraksi berdasarkan interaksi gen atas gen. Jika hanya beberapa gen dengan efek mayor yang berfungsi perbedaan interaksi dapat dilihat dengan jelas, keadaan yang terbentuk disebut ketahanan vertikal. Jika banyak gen masing-masing dengan pengaruh kecil, bersama-sama menentukan pola ketahanan/patogenitas, sulit untuk memisahkan perbedaan interaksi yang terjadi dari galat percobaan karena kecilnya. Bentuk ketahanan seperti itu disebut ketahanan horizontal atau ketahanan nonspesifik.

Ketahanan vertikal dikendalikan dan diturunkan oleh satu/beberapa gen (mono/oligogenik). Pewarisan sifat monogenik/oligogenik mengikuti pola pewarisan sifat gen-gen mayor maka seringkali disebut juga ketahanan gen mayor (Keller *et al.* 2000). Ketahanan penyakit yang dikendalikan oleh banyak gen diwariskan secara kuantitatif, tetapi tidak secara aditif sederhana. Secara ringkas perbedaan dua kategori ketahanan di atas dinyatakan oleh Simmonds (1986) sebagai berikut: (1) Ketahanan yang dikendalikan oleh satu atau beberapa gen mayor, gen-gen tersebut mempunyai efek nyata, seringkali dominan dan hipersensitif, biasanya spesifik patotipe, (2) Ketahanan yang dikendalikan oleh poligen, efek masing-masing gen kecil, pengaruh lingkungan besar, lebih merupakan penghambatan infeksi dan tidak spesifik patotipe.

Selain dua jenis ketahanan di atas terdapat pula ketahanan yang diwariskan oleh sitoplasma (Coffelt dan Porter 1986). Review terakhir menunjukkan bahwa proses ketahanan sangat kompleks dan melibatkan perubahan yang cukup besar pada metabolisme sel maupun ekspresi gen, baik melalui aktivasi gen maupun inaktivasi gen (Nombelo dan

Muniz 2006). Ketahanan tanaman diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu ketahanan alami (*innate resistance*) dan ketahanan induksi (*induced resistance*).

Pada kacang tanah terdapat banyak karakter yang pewarisannya dikendalikan oleh faktor sitoplasma, baik karakter morfologi, agronomi, fisiologi, maupun ketahanan terhadap penyakit (Murthy dan Reddy 1993).

1. Penyakit karat

Ketahanan terhadap penyakit karat pada kacang tanah dilaporkan dikendalikan oleh gen duplikat resesif (Knauff 1987). Tergantung pada tetua tahan yang digunakan, Kishore *dalam* Subrahmanyam *et. al.* (1993) mengamati adanya gen pengendali digenik dan trigenik resesif, gen pengendali lebih dari dua gen resesif juga dilaporkan oleh Zheng (1987). Menurut Knauff (1987) sistem dua gen tidak selalu dapat menerangkan ketahanan/kepekaan tanaman terhadap karat, terutama apabila gejala karat yang ditunjukkan berskala sedang. Meskipun jumlah gen pengendali yang dilaporkan tidak sama, namun semua peneliti melaporkan bahwa ketahanan pada kultivar budidaya bersifat resesif (Sing dan Oswalt 1991).

2. Penyakit bercak daun

Ketahanan terhadap penyakit bercak daun pada kacang tanah kemungkinan dikendalikan oleh faktor sitoplasmik dan efek genetik aditif (Coffelt dan Potter 1986). Sedangkan Walls dan Wynne (1985) dalam mempelajari hasil persilangan dengan menggunakan NC7 sebagai sumber ketahanan terhadap bercak daun mendapatkan bahwa ketahanan parsial yang ada dalam progeni F1 tidak semata-mata dikendalikan oleh gen-gen resesif tetapi juga dipengaruhi oleh gen-gen *modifier* yang terdapat di lokus tempat gen pengendali ketahanan. Janila *et al.* (2013) mempelajari pewarisan interspesifik mendapatkan bahwa ketahanan terhadap bercak daun akhir dikendalikan oleh kombinasi efek gen di dalam inti maupun maternal.

3. Penyakit layu bakteri *Ralstonia*

Informasi tentang genetika ketahanan penyakit layu bakteri *R. solanacearum* pada kacang tanah di Indonesia masih sangat terbatas (Lagiman *et al.* 2000, Nugrahaeni 2007).

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, Nugrahaeni *et al.* 2007), berbeda dengan pada tipe '*Chinese dragon*' (Shan *et al.* 1998). Ditemukan pula adanya pengaruh tetua betina pada pewarisan ketahanan terhadap penyakit layu bakteri.

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) melaporkan gen pengendali ketahanan terhadap layu bakteri pada varietas Gajah merupakan sifat kuantitatif. Hasil berbeda didapatkan oleh Nugrahaeni *et al.* (2007) yang mendapatkan gen pengendali monogenik pada sifat tahan layu varietas Bima dan dua gen epistasis dominan rangkap pada varietas Gajah dan GH 502, sedangkan pada Turangga dan ICGV 93370 ketahanan tersebut dikendalikan secara digenik yang berinteraksi epistatik duplikat resesif.

Liao *et al.* (1986) mengkaji pewarisan ketahanan pada kultivar Xiekangqing, Taishan Sanlirao, Taishan Zhengzhu dengan membuat persilangan masing-masing kultivar tahan tersebut dengan kultivar rentan Hong Hua 1. Berdasarkan reaksi ketahanan pada tetua

yang digunakan diduga ketahanan di keempat tetua dikendalikan oleh tiga gen, dua gen untuk ekspresi ketahanan yang bersifat aditif dan satu gen berperan sebagai gen penghambat ekspresi ketahanan. Banyak peneliti melaporkan hasil yang sejalan bahwa gen pengatur ketahanan kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri *R. solanacearum* bersifat dominan sebagian (Shan *et al.* 1998, Lagiman *et al.* 2000, dan Nugrahaeni *et al.* 2007), namun hasil yang berlawanan, yaitu bersifat resesif, didapatkan oleh Wang *et al.* (dalam Liao *et al.* 1994).

4. *A. flavus*

Ketahanan kacang tanah terhadap *A. flavus* terdiri atas tiga tipe yaitu tahan terhadap infeksi polong (*pre-harvest infection resistance*/PIR), tahan terhadap invasi biji dan kolonisasi (*dry seed resistance*/DSR), dan tahan terhadap produksi aflatoksin (*aflatoxin production resistance*/APR). Ketahanan ke tiga tipe tersebut dikendalikan oleh gen-gen yang berbeda (Utomo *et al.* 1990), sehingga dimungkinkan untuk menggabungkan ketiga tipe ketahanan ke dalam satu varietas. PI 337409 dan PI 337394F tahan terhadap invasi biji dan kolonisasi (Mixon dan Rogers 1973). Tipe ketahanan yang sama didapatkan pada varietas Jerapah, Kancil, Turangga, Bison, Domba, dan Talam 1 (Kasno 2009, Balitbangtan 2012).

5. Penyakit belang (PStV)

Belum ditemukan genotipe kacang tanah tahan PStV pada koleksi plasma nutfah, dan belum ada studi genetika ketahanan terhadap penyakit ini di Indonesia. Beberapa gen ketahanan telah didapatkan pada kerabat liar kacang tanah.

6. Penyakit busuk batang

Evaluasi kegenetikaan penyakit busuk batang masih sangat terbatas. Pujar *et al.* (2011) mengkaji populasi F1, F2, dan F3 hasil persilangan TAG 24 (peka) dan R 9227 (tahan) mendapatkan jumlah segregan tahan yang relatif sedikit.

Pola pewarisan ketahanan terhadap suatu penyakit perlu diketahui sebagai bahan informasi dalam pemuliaan dan seleksi. Aksi gen (resesif, dominan) dapat diketahui dengan mengamati tanaman-tanaman F1 dan susunan genetik dari sifat ketahanan dipelajari dengan menganalisis tanaman-tanaman F2.

Harapan untuk mendapatkan varietas unggul kacang tanah multi resisten muncul dengan diduplikasinya varietas unggul tahan layu bakteri, tahan busuk batang, tahan aflatoksin, dan mempunyai kandungan minyak tinggi (>56%) di China (Liao 2010).

SKRINING UNTUK KETAHANAN

Keberhasilan mengidentifikasi adanya ketahanan tergantung kepada keragaman sumber daya genetik, teknik yang tepat untuk melakukan penilaian ketahanan, dan lingkungan yang sesuai untuk perkembangan patogen (Singh 2006). Pemilihan teknik skrining banyak ditentukan oleh jumlah dan macam bahan yang tersedia, fasilitas, dan informasi tentang biologi patogen dan epidemiologi penyakit. Teknik skrining harus dapat diandalkan dan mudah sehingga dapat diulang dengan hasil yang tidak berbeda.

Teknik seleksi untuk ketahanan terhadap penyakit bercak daun dan karat di lapang dilakukan di tempat yang mempunyai tingkat serangan penyakit yang tinggi, baik secara alami ataupun buatan. Genotipe-genotipe yang diuji dan genotipe yang sangat peka ditanam bersama-sama dalam petak-petak berulang yang diatur secara sistematis. Subrah-

manyam dan McDonald (1983) menggunakan perbandingan 1:4 untuk baris infektor:baris genotipe yang diuji. Namun perbandingan itu bisa berubah tergantung kondisi lokasi pengujian. Untuk meningkatkan perkembangan penyakit dapat dilakukan dengan menginfeksi baris-baris infektor dengan suspensi spora atau menyebarkan daun-daun yang ter-serang penyakit di sepanjang baris infektor (Subrahmanyam 1991, Subrahmanyam dan McDonald 1983). Upaya ini sangat efektif bila dilakukan pada sore hari setelah dilakukan pengairan tanaman. Jika yang diperlukan hanya satu jenis penyakit, baris infektor disemprot dengan fungisida untuk mengendalikan karat dan disemprot dengan carbendazim untuk mengendalikan bercak daun. Untuk mencukupi kelembaban yang dipersyaratkan bagi perkembangan penyakit yang optimum, pengairan diberikan secara berkala sampai dengan saat panen. Pengamatan karat dan bercak daun dilakukan sekitar 10 hari sebelum panen. Seleksi terhadap bercak daun dan karat dapat juga dilakukan di rumah kaca dengan menggunakan tanaman-tanaman di pot atau di laboratorium dengan mengamati salah satu atau beberapa komponen ketahanan pada contoh daun. Seleksi di rumah kaca/laboratorium bermanfaat untuk daerah-daerah yang tidak terdapat epidemi karat/bercak daun atau banyak terdapat penyakit-penyakit daun lain yang akan mengganggu penya-ringan di lapang. Tetapi teknik ini mempunyai keterbatasan untuk mengidentifikasi ketahanan yang moderat (Subrahmanyam 1991).

Untuk patogen yang *immobile*, seperti bakteri layu bakteri, dapat dibuat blok-blok pengujian dengan menanam blok-blok tersebut secara terus-menerus atau memilih blok-blok yang terinfeksi berat oleh bakteri (Liao *et al.* 2005). Untuk skrining dalam jumlah banyak, ditanam satu baris tanpa ulangan. Genotipe dengan persentase tanaman hidup tinggi diuji lagi pada kondisi yang sama, namun berulang. Setiap pengujian ditanam varietas pembanding tahan dan rentan untuk memonitor tingkat cekaman penyakit. Pada penelitian genetika, pengujian ketahanan dengan inokulasi buatan memberikan hasil yang lebih teliti, karena dapat membedakan reaksi agak tahan dan tahan. Terdapat banyak cara inokulasi buatan pada pengujian ketahanan terhadap penyakit layu bakteri, yaitu perendaman akar, perendaman benih, inokulasi batang, injeksi hypodermi, metode tusuk gigi, inokulasi tanah, dan inokulasi siram (ICRISAT 2013). Nugrahaeni *et al.* (2007) membandingkan inokulasi tanah dan inokulasi siram mendapatkan metode inokulasi tanah lebih efektif dan efisien dibandingkan metode inokulasi siram. Inokulasi tanah adalah inokulasi dengan cara menyiram tanah media tumbuh dengan inokulum dosis 100 ml/5 kg tanah, kemudian tanah yang telah disiram tersebut diinkubasi selama tiga hari. Inokulasi siram adalah inokulasi dengan cara menyiramkan inokulum pada tanaman umur 2 minggu dengan dosis 50 ml/tanaman. Pada cara inokulasi tanah, bakteri telah mengalami inkubasi yang memungkinkan terjadi peningkatan populasi bakteri di dalam tanah pada saat tanam, sehingga tanaman pada cara inokulasi ini telah terpapar bakteri sejak masih dalam bentuk biji. Proses perkecambahan dan pertumbuhan tanaman menyebabkan munculnya lubang-lubang alami sebagai pintu masuk bakteri ke dalam tanaman. Sedangkan pada cara siram, pada saat aplikasi bakteri, tanaman telah berumur dua minggu. Kemungkinan konsentrasi bakteri yang diberikan tidak mampu menginfeksi tanaman pada saat itu. Diperlukan konsentrasi bakteri yang tinggi untuk bisa menginfeksi tanaman secara alami.

Metode skrining ketahanan terhadap *A. flavus* tergantung pada tipe ketahanan yang akan diidentifikasi, ketahanan terhadap infeksi polong (*pre-harvest infection resistance*/PIR), ketahanan terhadap invasi biji dan kolonisasi (*dry seed resistance*/DSR), atau ketahanan terhadap produksi aflatoksin (*aflatoxin production resistance*/APR). Kandungan senyawa aflatoksin B1 dapat diamati dengan teknis deteksi cepat aflatoksin B1 (AFB1)

dilakukan secara Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA) dengan format ELISA kompetitif langsung. Dengan metode ini batasan deteksi AFB1 bisa sampai serendah 0,3 ppb (0,3 µg/g) dalam sampel kacang tanah.

Skrining ketahanan terhadap busuk batang dapat dilakukan dengan inokulasi buatan di lapangan maupun di rumah kaca (RK). Terdapat banyak metode skrining yang pernah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan kacang tanah terhadap penyakit ini (ICRISAT 2013). Namun secara umum skrining dapat dilakukan di RK maupun di lapangan, inokulasi dapat diberikan langsung pada tanaman atau tanah. Inokulum patogen diperbanyak melalui biji sorgum atau oat. Penilaian gejala serangan di RK dapat dilakukan 4–5 hari setelah inokulasi dengan 2–3 hari interval. Skala penilaian dapat mengacu pada Sconyers *et al.* (2005), atau Lee *et al.* (2012) dalam (ICRISAT 2013).

Skrining ketahanan terhadap fitoplasma penyebab penyakit sapu setan dilakukan di rumah kaca. Setiap genotipe diinokulasi dengan fitoplasma melalui serangga vektor *O. argentatus*. Serangga vektor *O. argentatus* diberi periode akuisisi satu hari pada tanaman sakit dan periode laten 11 hari pada tanaman kacang tanah sehat. Selanjutnya serangga dipindahkan ke tanaman kacang tanah uji (lima serangga per tanaman) untuk diberi periode inkubasi selama satu hari (Nugroho *et al.* 2000).

CARA PENILAIAN

Cara penilaian gejala penyakit karat dan bercak daun pada kacang tanah yang dikembangkan Subrahmanyam (1991) sering digunakan pada penelitian ketahanan, skrining ketahanan, atau pengendalian kedua penyakit daun tersebut (Pensuk *et al.* 2003, Sumartini dan Trustinah 2013). Bahkan menurut Janila *et al.* (2013) penilaian di lapang menggunakan skor merupakan kriteria seleksi terbaik karena heritabilitas yang tinggi dan kemudahan dalam pengukuran. Cara penilaian Subrahmanyam (1991) gejala serangan diklasifikasikan berdasarkan skala penilaian dari 1 (tidak ada tanda serangan penyakit) sampai dengan 9 (hampir semua helai daun mengering) untuk penyakit karat dan 1 (tidak ada tanda serangan penyakit) sampai dengan 9 (hampir semua daun gugur), untuk penyakit bercak daun. Cara tersebut masih digunakan hingga kini karena mampu memisahkan berbagai macam reaksi genotipik terhadap serangan penyakit dan mudah dilakukan, sehingga metode yang sama dapat digunakan selama periode seleksi. Saat pengamatan yang tepat perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil penilaian yang tepat. Gejala penyakit bercak daun mencapai puncaknya setelah fase pertumbuhan daun maksimum (Tshilenge-Lukanda *et al.* 2012).

Dwivedi *et al.* (2002) dan Yudiwanti *et al.* (2006) menyarankan cara penilaian ketahanan terhadap penyakit karat dan bercak daun yang praktis yaitu persentase daun hijau. Dwivedi *et al.* (2002) mendapatkan bahwa ketahanan terhadap penyakit karat disebabkan oleh periode inkubasi dan laten yang lebih lama, pustul per daun lebih sedikit, diameter pustul lebih kecil, indeks sporulasi lebih rendah, kerusakan daun lebih sedikit, dan skor penyakit. Oleh karena itu bagian daun yang masih hijau dapat digunakan sebagai kriteria seleksi untuk ketahanan terhadap penyakit karat. Intensitas warna hijau memiliki nilai duga heritabilitas arti luas yang tinggi, yaitu mencapai 80,7% (Yudiwanti *et al.* 2006). Intensitas warna hijau daun diklasifikasikan ke dalam biasa, agak hijau, hijau, dan lebih hijau. Pengamatan visual intensitas warna hijau daun dapat dikuantifikasi dengan pengamatan kadar klorofil total daun. Penentuan kadar klorofil total relatif mudah dilakukan dan biayanya cukup murah. Karakter tersebut memiliki nilai duga heritabilitas arti luas yang tinggi (72,9%) (Yudiwanti *et al.* 2007), oleh karena itu potensial digunakan sebagai kriteria

seleksi. Intensitas warna hijau daun yang lebih tinggi tidak berimplikasi dengan daya hasil yang rendah (Yudiwanti *et al.* 1998). Dengan demikian dimungkinkan untuk mendapatkan genotipe tahan sekaligus mempunyai karakter agronomi yang baik.

Beberapa peneliti (Moraes dan Godoy 1985; Walls *et al.* 1985; Jogloy *et al.* 1987; Chiteka *et al.* 1988a; Chiteka *et al.* 1988b) mengevaluasi ketahanan genotipe-genotipe kacang tanah terhadap penyakit bercak daun dengan mengamati komponen-komponen ketahanan. Komponen ketahanan yang dapat digunakan untuk seleksi ketahanan dan merupakan komponen yang paling besar sumbangannya terhadap skoring visual adalah periode laten, ukuran kerusakan dan tingkat sporulasi. Genotipe-genotipe tahan dicirikan dengan ukuran kerusakan lebih kecil, periode laten lebih panjang dan tingkat sporulasi lebih rendah. Nevill (1980) mendapatkan bahwa semua komponen ketahanan diturunkan secara kuantitatif.

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 *dalam* Balatero *et al.* 2002, Nugrahaeni *et al.* 2007) melakukan penilaian ketahanan berdasarkan 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.

Untuk penyakit belang PSTV, Middleton *et al.* (1988) menyarankan bahwa skoring harus memperhatikan: (1) persentase serangan, (2) macam gejala serangan, (3) pengujian serologis untuk seluruh tanaman yang tidak menunjukkan gejala serangan, dan (4) perkiaraan hasil, terutama untuk genotipe-genotipe yang menunjukkan gejala serangan sedang.

Penilaian atau pengamatan gejala stem rot dilakukan pada 4/5 hari setelah inokulasi (HSI) dengan 2–3 hari untuk 6–7 kali pengamatan. Pengamatan dapat menggunakan 5 skala, skala 1 tanaman sehat hingga skala 5 >50% tanaman menunjukkan gejala penyakit. Apabila pengamatan dilakukan per individu, kisaran skala 0 (tanaman tanpa gejala) hingga 4 (tanaman layu dan mati) (ICRISAT 2013).

Penilaian ketahanan terhadap fitoplasma dilakukan dengan mengamati reaksi tanaman inang pada gejala, kejadian penyakit, periode inkubasi, dan pengurangan bobot biji kemudian mengklasifikasikannya menjadi tahan, agak tahan, rentan, dan sangat rentan (Green 1987 *dalam* Nugroho *et al.* 2000).

Penilaian ketahanan terhadap kutu kebul dapat dilakukan berdasarkan kerusakan daun atau jumlah kutu kebul. Penilaian terhadap tingkat ketahanan kutu kebul ditentukan berdasarkan jumlah kutu kebul yang ditemukan pada tanaman berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Gulluoglu *et al.* (2010) sebagai berikut.

- | | | |
|-----|---------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1 = | Sangat tahan | terdapat kurang dari 10 telur+larva+ pupa per 2,85 cm ² daun |
| 2 = | Tahan | terdapat 11–20 telur + larva+pupa per 2,85 cm ² daun |
| 3 = | Agak tahan | terdapat 21–35 telur+larva+pupa per 2,85 cm ² daun |
| 4 = | Rentan | terdapat 36–50 telur+larva+pupa per per 2,85 cm ² daun |
| 5 = | sangat rentan | terdapat lebih dari 51 telur+larva+pupa per 2,85 cm ² daun |

Intensitas kerusakan daun karena serangan kutu kebul berdasarkan skor kerusakan daun, yaitu skor 0= tidak terserang kutu kebul dan tanpa gejala keriting dan atau tidak muncul embun jelaga, skor 1= terserang kutu kebul ditandai dengan gejala daun keriting dan atau muncul embun jelaga pada daun dengan intensitas 0–25%, skor 2= terserang kutu kebul ditandai dengan gejala daun keriting dan atau muncul embun jelaga pada daun dengan intensitas 26–50%, skor 3= terserang kutu kebul ditandai dengan gejala daun keriting dan atau muncul embun jelaga pada daun dengan intensitas 51–75% dan atau polong serta biji tidak berkembang dengan baik (abnormal), skor 4= terserang kutu kebul ditandai dengan gejala daun keriting dan atau muncul embun jelaga pada daun dengan intensitas >76% dan atau polong serta biji tidak berkembang dengan baik (abnormal).

SUMBER KETAHANAN

Sumber genetik ketahanan tanaman terhadap penyakit terutama bercak daun, karat dan layu pada kacang tanah dicari pada populasi yang berkerabat paling dekat dengan varietas unggul, seperti varietas lokal dan varietas introduksi. Apabila tidak didapatkan sumber ketahanan pada populasi berkerabat dekat, sumber gen ketahanan dicari dari varietas liar, spesies atau genera lain. Namun, semakin jauh kerabat antara sumber ketahanan dengan varietas yang diperbaiki, semakin sulit untuk memindahkan gen tahan tanpa terikutnya gen-gen/kompleks gen lain yang tidak dikehendaki.

Sumber ketahanan merupakan dasar dapat dilakukannya pemuliaan ketahanan, kegiatan skrining atau evaluasi ketahanan terhadap penyakit utama pada kacang tanah telah banyak dilakukan. Evaluasi sumber daya genetik kacang tanah berhasil mendapatkan varietas kacang tanah yang dapat digunakan sebagai sumber gen tahan terhadap penyakit utama.

1. Penyakit karat; ICGV 87358, ICGV 92088, dan PI 405132, MLGA 0292, MLGA 0296, MLGA 0300, MLGA 0337, MLGA 0338, dan MLGA 0340, MLGA 0060, MLGA 0102, MLGA 0343 (MLGA 87868), MLGAO4O4 (ICGV 91230), dan MLGA 0414 (ICGV 92004), MLGA 0099 (Sumartini dan Trustinah 2013).
2. Penyakit bercak daun; sangat tahan (MLGA 0060, MLGA 0102, MLGA 0343, MLGAO4O4, MLGA 0414) dan 68 aksesi tahan. Utomo dan Mat Akin (2004) mendapatkan ICGV 88262 mempunyai ketahanan terhadap bercak daun lebih tinggi dibanding varietas Kelinci. N96076L dilaporkan mempunyai ketahanan terhadap beberapa penyakit, di antaranya adalah bercak daun *C. arachidicola* (Isleib *et al.* 2006).
3. Penyakit layu bakteri; Terdapat 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 (Balitbangtan 2012). Hasil pengujian di rumah kaca menunjukkan bahwa di antara varietas-varietas tersebut varietas 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 cara siram mendapatkan tujuh genotipe tahan yaitu Gajah, Bima, GH 502, ICGV 93370, Turangga, dan Lokal Pati. Pada pengujian sumber daya genetika kacang tanah didapatkan 55 aksesi tahan (Trustinah *et al.* 2007), 89 aksesi sangat tahan meliputi varietas unggul seperti Gajah, Banteng,

Tapir, Kidang, Tupai, Domba, Mahesa, Panter, Kancil, Anoa, Tuban (Trustinah *et al.* 2008). Suryadi dan Rais (2009) mendapatkan lima genotipe tahan, yaitu ICGV 88262, lokal Sindangbarang, PI 203395, ICG 10067, dan ICG 3400 pada pengujian ketahanan di rumah kaca menggunakan inokulum asal Cibinong melalui inokulasi siram sebanyak 30 ml inokulum pada kepadatan 107 cfu/ml. Di Cina, ketahanan terhadap penyakit layu bakteri yang tinggi (sangat tahan) didapatkan pada kacang tanah tipe Chinese dragon yang dikoleksi di Cina Selatan dimana layu bakteri telah lama ada. Sebaliknya, kacang tanah tipe yang sama yang dikoleksi di Cina Utara mempunyai ketahanan yang lebih rendah. Hal tersebut menunjukkan adanya evolusi ketahanan sebagai akibat tekanan seleksi alam (Duan *et al.* 1993 dalam Liao 2005).

4. *A. flavus*; Ketahanan terhadap *A. flavus* dibedakan ke dalam tiga tipe, yaitu ketahanan terhadap infeksi kulit polong, ketahanan kolonisasi biji *in vitro*, dan produksi aflatoksin. Genotipe kacang tanah yang dilaporkan tahan terhadap infeksi polong (kulit polong) adalah Shulamit dan Darou IV, PI 337394 F, PI 337409, GFA 1, GFA 2, UF 71513, Ah 7223, J 11, Var 27, U 4-47-7, Faizpur, dan Monir 240-30 untuk ketahanan kolonisasi biji *in vitro* oleh *A. flavus* (IVSCAF); serta U 4-7-5 dan VRR 245 untuk ketahanan terhadap produksi aflatoksin. Arti penting kontaminasi aflatoksin di lapang baru diketahui pada akhir 1980-an, dan beberapa genotipe tahan IVSCAF (PI 337394 F, PI 337409, GFA 1, GFA 2, J 11, UF 71513, dan Ah 7223) dilaporkan mempunyai infeksi biji di lapang rendah (Mehan 1989). Genotipe ICGV 91234, ICGV 90129, ICGV 91015; ICGV 94095, ICGV 87935 teridentifikasi agak tahan *A. flavus* sekaligus tahan/agak tahan penyakit karat dan bercak daun (Trustinah *et al.* 2004).
5. PStV. Genotipe ICG 11558 (*A. cardenasii*) dinyatakan immun, sedangkan genotipe tahan adalah: ICG 4983 (*A. chacoense*), ICG 8973 (*A. paraquariensis*), ICG 8215 dan ICG 11560 (*Erectoidesa* sp.), ICG 11562 dan ICG 12168 (*A. cardenasii*), dapat digunakan sebagai sumber gen tahan sehingga memberi harapan untuk mengembangkan varietas tahan PStV.
6. Stem rot. Beberapa genotipe dilaporkan mempunyai ketahanan parsial di antaranya adalah C-99R (Gorbert dan Shokes 2002), Georgia-02C (Branch 2003) dan R 9227 (Pujar *et al.* 2011). Tanaman kacang tanah dengan tipe tumbuh tegak menunjukkan gejala penyakit lebih ringan dibandingkan dengan tanaman tipe menjalar atau mempunyai lebih banyak daun yang menyentuh tanah (Shew, Wynne, dan Beute (1987) dalam Thiessen dan Woodward (2012).
7. Sapu setan. Hasil penelitian ketahanan kacang tanah terhadap sapu setan masih sangat terbatas, dan belum ada varietas unggul yang dilepas untuk ketahanan terhadap penyakit ini. Namun pada pengujian terhadap beberapa varietas unggul, Nugroho *et al.* (2000) melaporkan varietas unggul Macan, Zebra, dan Simpai bereaksi agak tahan terhadap penyakit tersebut. Ketiga varietas tersebut merupakan varietas unggul lama, dilepas pada tahun 1950 (Macan) dan pada tahun 1992 (Simpai dan Zebra).
8. Kutu kebul. Skrining yang dilakukan terhadap plasma nutfah dan beberapa varietas unggul kacang tanah di Amerika belum mendapatkan genotipe yang tahan terhadap kutu kebul (McAuslane *et al.* 1995). Di Indonesia, terdapat tiga genotipe yang mempunyai indikasi toleran terhadap kutu kebul, yaitu Talam 1, GH 4 dan GH 5 (Kasno *et al.* 2011).

SELEKSI UNTUK KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT

Ketahanan terhadap penyakit hanyalah salah satu dari banyak sifat yang harus diperbaiki. Prosedur seleksinya tidak berbeda dengan sifat-sifat agronomi, kecuali dua hal yakni: (1) ketahanan dapat diukur hanya apabila tanaman terinfeksi oleh patogen, karena itu melibatkan organisme hidup yang beragam, dan (2) ketahanan mungkin sulit dimanfaatkannya dan mungkin berubah. Karenanya, pemilihan varietas tahan dilakukan sejak generasi awal hingga uji multilokasi.

Seleksi dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Seleksi langsung merupakan upaya pemisahan fenotipe rentan dan fenotipe tahan. Pada beberapa penyakit, seleksi langsung mudah dilakukan. Namun pada beberapa penyakit, simptom penyakit tidak mudah diamati atau gejala penyakit baru dapat diidentifikasi pada umur/ fase lanjut. Pada keadaan demikian seleksi tidak langsung dapat membantu mempersingkat siklus atau mempermudah identifikasi galur-galur tahan. Cekaman kekeringan diketahui dapat meningkatkan kontaminasi aflatoxin pada kacang tanah (Girdthai *et al.* 2010; Ayunyanark *et al.* 2010), dan beberapa peneliti mendapatkan bahwa genotipe toleran cekaman kekeringan memiliki toleransi terhadap kontaminasi aflatoxin (Holbrook *et al.* 2000; Girdthai *et al.* 2010). Hasil-hasil penelitian tersebut menyarankan seleksi tidak langsung ketahanan terhadap kontaminasi aflatoxin melalui seleksi ketahanan terhadap cekaman kekeringan. Girdthai *et al.* (2010) mendapatkan bahwa seleksi melalui karakter fisiologis ketahanan terhadap kekeringan, SLA (*specific leaf area*) dan SCMR (*SPAD chlorophyll meter reading*), berpeluang efektif meningkatkan ketahanan terhadap aflatoxin pada kacang tanah. SLA dan SCMR berkorelasi erat dengan karakter aflatoxin (infeksi *A. flavus* dan kontaminasi aflatoxin). Namun Hamidoua *et al.* (2014) mendapatkan bahwa cekaman kekeringan dapat meningkatkan kontaminasi aflatoxin, tetapi tidak ditemukan hubungan langsung antara toleransi terhadap kekeringan dan konsentrasi aflatoxin. Berdasarkan hasil penelitian tersebut Hamidoua *et al.* (2014) menyimpulkan bahwa mekanisme toleransi terhadap kekeringan berbeda dengan mekanisme toleransi terhadap kontaminasi aflatoxin.

Seleksi untuk mendapatkan galur tahan terhadap penyakit dilakukan secara visual, yakni tanaman sehat dipilih dari tanaman yang sakit. Tanaman sehat berhubungan erat dengan gen ketahanan, jika sifat tahan dikendalikan oleh satu atau beberapa gen (monogenik). Namun jika sifat tahan yang dikendalikan oleh banyak gen (poligenik), ekspresi ketahanannya mengikuti sebaran kontinyu. Pada keadaan demikian diperlukan metode penilaian berupa skala yang dapat memisahkan genotipe tahan dari genotipe yang tidak tahan. Seleksi harus dilakukan pada saat yang tepat, yaitu saat segregasi mencapai maksimum, untuk karakter dengan heritabilitas tinggi adalah pada generasi F₂, atau pada saat gen-gen ketahanan telah terfiksasi yaitu pada generasi lanjut untuk karakter-karakter yang dikendalikan oleh gen-gen non-aditif.

PEWARISAN GEN KETAHANAN DAN PROSEDUR SELEKSI

Pemuliaan untuk ketahanan merupakan cara yang paling baik untuk mengendalikan penyakit/hama. Tahap pertama dalam pemuliaan ketahanan adalah mengidentifikasi sumber ketahanan, menginkorporasikan gen ketahanan, dan seleksi atau isolasi galur-galur tahan. Pemahaman mekanisme ketahanan dan cara pewarisan pada penyakit/hama target sangat diperlukan untuk memulai program pemuliaan ketahanan. Informasi cara pewarisan penting sebagai dasar penetapan program seleksi. Pendugaan pengaruh genetik akan

membantu menduga efektivitas seleksi. Apabila sifat tahan dikendalikan oleh secara monogenik dan berada pada genotipe dengan latar belakang karakter agronomi baik, seleksi ketahanan menjadi mudah, dengan catatan metode skrining yang digunakan mampu memisahkan genotipe tahan dari genotipe rentan. Apabila biaya skrining mahal, seleksi dapat ditunda hingga mencapai fase lanjut, karena sekitar 50% galur akan membawa gen ketahanan pada fase homosisgot (Singh 2006). Apabila sifat tahan ditemukan pada genotipe dengan sifat-sifat agronomi yang tidak dikehendaki maka perlu dilakukan persilangan agar gen tahan dapat diwariskan ke dalam varietas unggul yang telah mempunyai sifat-sifat agronomik baik dan adaptif. Metode yang biasa dipergunakan untuk menyisipkan gen tahan ke dalam varietas unggul adalah metode silang-balik. Silang-balik dilakukan pada F1 dengan tetua peka (penerima) yang mewarisi sifat tahan penyakit, dengan tujuan untuk mengembalikan sifat-sifat baik yang dimiliki oleh tetua penerima. Silang-balik dapat dilakukan beberapa kali hingga sebagian besar sifat baik telah dimiliki oleh keturunannya. Pada silang-balik ini perlu diketahui aksi gen yang akan dipindahkan. Prosedur untuk aksi gen dominan berbeda dengan prosedur untuk aksi gen resesif. Apabila aksi gen pengendali ketahanan bersifat dominan tidak sempurna, seperti dilaporkan pada penyakit layu bakteri, maka tidak mudah untuk mendapatkan zuriat yang mempunyai ketahanan yang lebih tinggi dari tetuanya. Akan tetapi dengan adanya sifat aditifitas maka dapat dilakukan pemilihan tetua dengan ketahanan yang lebih tinggi dalam upaya menggabungkan ketahanan beberapa tetua untuk mendapatkan sumber ketahanan yang lebih tinggi atau untuk mendapatkan zuriat dengan ketahanan yang relatif lebih tinggi (Liao 2005).

PENUTUP

Kacang tanah menghadapi banyak serangan hama dan penyakit dalam budidayanya, beberapa di antaranya menyebabkan kehilangan hasil cukup besar. Penanaman varietas tahan mempunyai kontribusi penting dalam manajemen pengendalian hama dan penyakit tanaman. Varietas tahan merupakan metode pengendalian yang paling murah, aman, dan efektif, serta merupakan komponen utama pengendalian hama terpadu. Oleh karena itu, perakitan varietas kacang tanah pada lima tahun terakhir mulai mengarah pada perakitan varietas tahan. Dari kegiatan perakitan tersebut telah dihasilkan varietas-varietas yang memiliki karakteristik tahan cekaman biotik, yaitu Talam 1 (agak tahan karat daun, indikasi tahan kutu kebul, tahan *A.flavus*), Hypoma 1 (tahan penyakit karat dan bercak daun), Hypoma 2 (agak tahan karat dan bercak daun), Takar 1 (tahan karat daun dan berindikasi tahan kutu kebul), Takar 2 (tahan karat daun), dan dalam proses penerbitan SK pelepasan yaitu Tala 1 dan Tala 2 (tahan layu bakteri *Ralstonia*).

Keragaan tanaman merupakan hasil interaksi genotipe dan lingkungan. Lingkungan pertumbuhan tanaman ke depan akan banyak berubah seiring dengan perubahan iklim, demikian juga dengan hama dan penyakit tanaman. Oleh karena itu kegiatan perbaikan ketahanan tanaman terhadap cekaman bersifat dinamis dan memerlukan penyesuaian terus menerus. Pada kondisi demikian keterbatasan sumber daya genetik akan menjadi kendala. Kacang tanah bukan tanaman asli Indonesia sehingga diperlukan upaya peningkatan keragaman sumberdaya genetik, baik melalui koleksi, introduksi, mutasi, maupun piramidisasi ketahanan.

PUSTAKA

- Arunyanark A, S. Jogloya, S. Wongkaew, C. Akkasaenga, N. Vorasoota, T. Kesmalaa, A. Patanothai. 2010. Heritability of aflatoxin resistance traits and correlation with drought tolerance traits in peanut. *Field Crops Res.* 117:258–264.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian [Balitbangtan]. 2012. Deskripsi Varietas Unggul Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.
- Balatero, C.H., D.M. Hautea, R.A. Hautea, J.O. Narciso, J.T. Bituin, and R.L. Tiongco. 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.
- Baliadi, Y., Purwantoro, dan W. Tengkan. 2007. Pengendalian vektor virus, *Aphis glycines* dan *Bemisia tabaci* Genn. dengan insektisida kimia di lahan kering masam Provinsi Lampung.
- BPS. 2014. Luas Panen-Produktivitas-Produksi Tanaman Kacang Tanah Seluruh Provinsi tahun 2009. <http://www.bps.go.id>, tanggal akses 11 Februari 2014.
- Branch, W.D. 2003. Registration of ‘Georgia-02C’ peanut. *Crop Sci.* 43:1883–1884.
- Brown, J.K. and H. Czosnek. 2002. Whitefly transmission of plant viruses. *Advances in Bot. Res.* 36:65–76.
- Chaireni, M.C., S. Sastrosumarjo, A.A. Mattjik, dan Yudiwanti. 2007. Interaksi genotipe-lingkungan untuk ketahanan terhadap penyakit bercak daun pada galur-galur kacang tanah. Pros. Seminar Nasional Hasil Penelitian yang Dibiayai oleh Hibah Kompetitif, Bogor, 1–2 Agustus 2007. 4 hlm.
- Demski J.W., D.V.R. Reddy, G. Sowell Jr., D. Bays. 1984. Peanut stripe virus—a new seed borne potyvirus from China infecting groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Annals of Appl. Biol.* 105:495–501.
- Demski J.W., D.V.R. Reddy, S. Wongkaew, Z.Y. Xu, C.W. Kuhn, B.G. Cassidy, Shukla D.D., N. Saleh, K.J. Middleton, P. Sreenivasulu, R.D.P. Rao, T. Senboku, M. Dollet, D. McDonald. 1993. ‘Peanut Stripe Virus’. Information Bull. No. 38. Peanut Collaborative Support Program, Univ. of Georgia and ICRISAT, India.
- 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.
- Dwivedi S.L., S. Pande, J. N. Rao & S.N. Nigam 2002. Components of resistance to late leaf spot and rust among interspecific derivatives and their significance in a foliar disease resistance breeding in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Euphytica* 125:81–88.
- Elphinstone, J.G. 2005. The current bacterial wilt situation: A global overview. P.9–28. 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.
- Ganesan S., R.G. Kuppasamy, R. Sekar. 2007. Integrated management of stem rot disease (*Sclerotium rolfsii*) of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) using *Rhizobium* and *Trichoderma harzianum* (ITCC-4572). *Turk J Agric.* 31:103–108.
- Girdthai, T., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Wongkaew, S., Holbrook, C.C., Patanothai, A., 2010b. Heritability of and genotypic correlations between, aflatoxin traits and physiological traits for drought tolerance under end of season drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Field Crops Res.* 118, 169–176.
- 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. Phytopathol. Soc. St. Paul, Minnesota, USA.
- Gorbert, D.W. and F.M. Shokes. 2002. Registration of Ç-99R. *Crop Sci.* 42:2207.

- Hamidoua, F., A. Rathored, F. Waliyar, V. Vadez . 2014. Although drought intensity increases aflatoxin contamination, drought tolerance does not lead to less aflatoxin contamination. *Field Crops Res.* 156:103–110.
- Hardaningsih, S. dan K.G. Ncering. 1989. Pengendalian kimiawi penyakit daun *Cercospora* dan karat kacang tanah. Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanaman Pangan, 20-21 Maret 1989. Balittan Malang. hlm. 15–18.
- ICRISAT. 2007. Improved Cultivation Practices for Groundnut. ICRISAT e-book. 20 p. Akses tanggal 22-05-2015.
- ICRISAT. 2013. A training manual on screening techniques for groundnut soilborne diseases. International Training Workshop for Groundnut Soilborne Disease 08–12 June 2013, OCRI, P.R. China. 19p.
- Isleib T.G., P.W. Rice, R.W. Mzingo II, S.C. Copeland, J.B. Graeber, B.B. Shew, D.L. Smith, H.A. Melouk, and H.T. Stalker. 2006. Registration of N96076L, peanut germplasm line. *Crop Sci.* 46:2329–2330.
- Janila P., R. Venuprasad, R. Abishek, A. Reddy, R. Kanaka, F. Waliyar, S.N. Nigam. 2013. Genetics analysis of resistance to late leaf spot in interspecific groundnut. *Euphytica* 193:13–25 (Abstract).
- 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 2nd Internat. of Wilt Symp. held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997.* Springer-Verlag, INRA Paris.
- Kasno, A. 2009. Pengendalian *A. flavus* dan aflatoksin pada kacang tanah. *Iptek Tanaman Pangan* 4:194–201.
- Kasno, A., Suharsono, J.S. Utomo, Trustinah, W. Unjoyo, dan B. Swasono. 2011. Pengelolaan dan Pemberdayaan Plasma Nutfah Tanaman Aneka Kacang dan Ubi. Laporan Akhir tahun 2011. 108 hlm.
- Knauff, D.A. 1987. Inheritance of rust resistance in groundnut. In. *Proc. Internat. Group Discussion Meeting on Rust Disease of Groundnut.* pp. 183–187. ICRISAT, India.
- Kelman, A. 1954. The Relationship of Pathogenicity in *Pseudomonas solanacearum* to Colony Appearance on a Tetrazolium Medium. *Phytopathol.* 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., 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., 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., Lei Yong, Li Dong, Wang Sheng-Yu, Huang Jia-Quan, Ren Xiao-Ping, Jiang Hui-Fang, and Yan Li-Ying. 2010. Novel Germplasm with High Oil Content and Resistance to *Aspergillus flavus* and Bacterial Wilt Developed from Peanut Recombinant Inbred Lines. *Acta Agron Sin*, 2010, 36(8):1296–1301.
- 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 International of Wilt Symp. held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997.* Springer-Verlag, INRA Paris.

- Liao B.S., L. Quanqiang, J. Huifang, L. Young, S.Zhihui, and Z. Inyou. 2005. Progress on genetic enhancement for resistance to groundnut bacterial wilt in China. pp.239–246 In P. Prior, C. Allen, and J. Elphinstone (eds.). *Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects*. Report of the 2nd Internat. of Wilt Symp. held in Gosier, Guadeloupe, France, 22–27 June 1997. Springer-Verlag, INRA Paris.
- 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. 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., B.S. Liao, Y.J. Tan, A. Robinson-Smith, D. McDonald, and A.C. Hayward. 1994. Bacterial Wilt of Groundnut ICRISAT. Information Bull. No. 35. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India. 23p.
- McAuslane, H.J., D.A. Knauff, and F.A. Johnson. 1995. Evaluation of peanut breeding lines for resistance to silverleaf whitefly. *Fla. Entomol.* 24:1135–1143.
- Middleton K.J., S. Pande, S.B. Sharma, D.H. Smith. 1994. Diseases. pp. 336–394 In J. Smartt (ed). *The Groundnut Crop: A Scientific Basis for Crop Improvement*. Chapman & Hall, London, U.K.
- Moraes, S.A. and L.J. Godoy. 1985. Evaluation of resistance to *Cercosporidiurn personatum* in *A. hypogaea* genotypes. *Summa Phytopath.* 1:140–151. Inst. Agron. Campinas, Brazil. (Abstract).
- Murthy T.G.K., P.S. Reddy. 1993. Genetics of groundnut. ICAR, Junagadh, India. 143–303.
- Niks R.E., P.R. Ellis, J.E. Parlevliet. 1993. Resistance to parasites. pp. 422–447 In M.D. Hayward, N.O. Bosermark, I. Romagosa (eds). *Plant Breeding: Principles and Prospects*. Chapman & Hall, London.
- Nombelo, and M. Muniz. 2002. Host plant resistance for the management of *Bemisia tabaci*: a multi-crop survey with emphasis on tomato. pp. 357–384. In P.A. Stansly and S.E. Naranjo (eds.). *Bemisia: Bionomics and Management of a Global Pest*. DOI 10.1007/97-90-481-2460-2_14.
- 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, H. Prasentiono, A. Munip dan A. Kasno. 2001. Pembentukan varietas unggul kacang tanah tahan penyakit karat dan bercak daun. Laporan Teknis Balitkabi Tahun 2000. 25 hlm.
- Nugrahaeni N. 2007. Studi pewarisan ketahanan kacang tanah (*Arachis hypogaea* l.) terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* (E.F.Smith 1896) Yabuuchi *et al.* 1996. Disertasi. 125 hlm.
- Nugrahaeni, N., Soemartono, W. Mangoendidjojo, dan M. Machmud. 2007. Analisis dialel ketahanan kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*. *Zuriat* 18(1):1–9.

- Nugroho, S., R. Suseno, S.H. Hidayat, P. Hidayat. 2000. Evaluasi ketahanan beberapa varietas kacang tanah terhadap fitoplasma. *Buletin Hama dan Penyakit* 12:48–52.
- Padi F.K. 2008. Genotype x environment interaction for yield and reaction to leaf spot infections in groundnut in semiarid West Africa. *Euphytica* 164:143–161.
- Pensuk, V., A. Patanothai, S. Jogloy, S. Wongkaew, C. Akkasaeng, & N. Vorasoot. 2003. Reaction of peanut cultivars to late leafspot and rust. *Songklanakarin J. Sci. Tech.* 25(3):289–295.
- Persley, D.M., L. McMichael, D. Spence. 2001. Detection of peanut stripe virus in post-entry quarantine in Queensland. *Australian Plant Pathol.* 30:377.
- Pujar S.B., P.V. Kenchanagoudar, M.V.C. Gowda, K.G. Parameshwarappa, S.S. Adiver. 2011. Isolation of superior segregants for different quantitative traits and *Sclerotium rolfsii* resistance in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Karnataka J. Agric. Sci.* 24:230–233.
- Rahayu, M. 2009. Evaluasi plasma nutfah kacang tanah tahan penyakit layu bakteri *Ralstonia*. Dalam Trustinah, A. Kasno, A. Wijanarko, Heru Kuswanto, R. Iswanto, dan M. Rahayu. Evaluasi plasma nutfah kacang tanah terhadap cekaman biotik dan abiotik. Laporan akhir Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Tahun 2008.
- Simmonds, N.W. 1986. Principles of Crop Improvement. Longman, Singapore. p. 242–278.
- Singh F. and D.L. Oswalt. 1991. Genetics and Breeding of Groundnut. HRDP, ICRISAT, India. 59 p.
- Singh, R.R.P. 2006. Breeding for resistance to biotic stresses. p. 310–322 in AR Lamkey and M. Lee (Eds.). *Plant Breeding*. Lackwell Publ., Iowa, USA.
- Strange R.N. & P.R. Scott. 2005. Plant disease: a threat to global food security. *Ann. Rev. of Phytopathol.* 43:83–116.
- Subrahmanyam, P., D. McDonald, L.J. Reddy, S.N. Nigam, and D.H. Smith. 1993. Origin and utilization of rust resistance in groundnut. p.147–158. In Th. Jacobs and J.E. Parlevliet (eds.). *Durability of disease resistance*. Kluwer Acad. Publ. The Netherlands.
- Sudini, H.K. 2013. Groundnut soilborne fungi diseases: Occurrence and diagnosis. Paper presented in International Training Workshop for Groundnut Soilborne Diseases, June 8–10th, 2013 Wuhan, China. 21 p.
- Sumartini dan Trustinah. 2013. Pengujian ketahanan aksesori plasma nutfah kacang tanah terhadap penyakit karat. Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI), Bogor 6–7 November 2012. hlm 118–121.
- Suryadi, Y. dan S.A. Rais. 2009. Respon beberapa genotipe kacang tanah terhadap penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) di rumah kaca. *Bul. Plasma Nutfah* 5 (1):20–26.
- Thiessen L.D. and J.E. Woodward. 2012. Disease of peanut caused by soilborne pathogens in the Southwestern United States. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/517905>. Akses tanggal 20 Mei 2015.
- Tshilenge-Lukanda, L., K.K.C. Nkongolo, A. Kalonji-Mbuyi, R.V. Kizungu. 2012. Epidemiology of the Groundnut (*Arachis hypogaea* L.) Leaf Spot Disease: Genetic Analysis and Developmental Cycles. *Am. J. of Plant Sci.* 3, 582–588. <http://www.SciRP.org/journal/ajps>.
- Trustinah. 2009. Plasma nutfah kacang tanah: keragaman dan potensinya untuk perbaikan sifat-sifat kacang tanah. *Bul. Palawija* 18:58–65.
- Trustinah, M. Anwari, A. Kasno, H. Kuswanto, Solihin, M. Yusuf, R. Iswanto, T. S. Wahyuni, Suyanto, Purwanto, A. Krisnawati, dan M Rahayu. 2008. Konservasi, Karakterisasi, Evaluasi, Dan Pengembangan Database Plasma Nutfah Tanaman Kacang-Kacangan Dan Umbi-Umbian. Laporan Teknik Tahun 2007, Proyek/Bagian Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. 95 hlm.
- Utomo S.D. dan H Mat Akin. 2004. Ketahanan tiga spesies *Arachis* terhadap bercak daun akhir (*Cercosporidium personatum* berk. et curt.) pada pemberian dan tanpa pemberian mankozeb. *J. Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 4 (2):75–82.

- Yudiwanti, S. Sastrosumarjo, S. Hadi, A.A. Mattjik, dan S. Astuti Rais. 1998. Perakitan kultivar kacang tanah tahan penyakit bercak daun berdaya hasil tinggi: evaluasi zuriat generasi F5. Makalah disampaikan pada Temu Ilmiah Tahunan Bioteknologi Pertanian 1998, diselenggarakan oleh Balitbio Bogor, 23–24 Maret 1998. 5 hlm.
- Yudiwanti, Basuki Wirawan, Desta Wirnas. 2007. Korelasi antara kandungan klorofil, ketahanan terhadap penyakit bercak daun dan daya hasil pada kacang tanah. Pros. Seminar Nasional Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman, 1–2 Agustus 2006. Departemen Agronomi dan Hortikultura Faperta IPB. Bogor. Hlm. 316–319.
- Yudiwanti, B. Wirawan, D. Wirnas. 2007. Korelasi antara kandungan klorofil, ketahanan terhadap penyakit bercak daun dan daya hasil pada kacang tanah. Prosiding Seminar Nasional Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman, 1–2 Agustus 2006. Departemen Agronomi dan Hortikultura Faperta IPB. Bogor. hlm. 316–319.