

# PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA GENETIK DALAM PENGEMBANGAN VARIETAS KACANG TANAH TOLERAN LAHAN MASAM

Trustinah dan Astanto Kasno<sup>1)</sup>

## ABSTRAK

**Pendayagunaan Sumber Daya Genetik dalam Pengembangan Varietas Kacang Tanah Toleran Lahan Masam.** Kacang tanah (*Arachis hypogaea* (L.) Merr.) merupakan salah satu komoditas kacang-kacangan sumber lemak dan protein yang strategis dalam upaya meningkatkan pendapatan dan perbaikan gizi masyarakat. Luas areal panen kacang tanah 77,7% berada di Pulau Jawa, sisanya 22,3% tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, dan Papua yang merupakan lahan kering masam ataupun rawa. Diantara tanaman kacang-kacangan, kacang tanah paling adaptif dan kompetitif pada lahan masam. Luas panen kacang tanah di luar Jawa 124.806 ha, sangat kecil dibandingkan dengan luas lahan masam yang sesuai untuk tanaman semusim seperti kacang tanah. Pendayagunaan 350 sumber daya genetik (SDG) kacang tanah di lahan masam, berhasil mengidentifikasi genotipe kacang tanah yang toleran pada lahan kering masam. Beberapa genotipe di antaranya telah disilangkan dengan varietas Gajah, dan galur keturunan terpilih telah diuji adaptasi pada delapan lokasi lahan kering masam. Dua galur G/92088//92088-02-B-2-8-1 (GH 3) dan G/92088//92088-02-B-2-8-2 (GH 4) dengan hasil rata-rata masing-masing 2,45 t/ha dan 2,60 t/ha polong kering, lebih tinggi dari varietas Jerapah (1,94 t/ha) dan Talam 1 (2,09 t/ha). Kacang tanah galur GH 3 dan GH 4 dilepas sebagai varietas kacang tanah toleran pada lahan kering masam dengan nama Talam 2 dan Talam 3. Bila 2% (303.590 ha) lahan kering masam di Sumatera, Kalimantan dan Papua dapat ditanami varietas kacang tanah toleran lahan masam, akan terjadi peningkatan hasil yang dapat mencukupi kekurangan produksi kacang tanah dalam negeri.

Kata kunci: kacang tanah, *Arachis hypogaea*, varietas, toleransi, lahan masam

## ABSTRACT

**Utilization of Genetic Resources in the Development of Peanut Varieties Tolerant to Acid Soil.** Peanuts (*Arachis hypogaea* (L.) Merr.) is one of the legume commodity as a sources of fat and protein, and have a strategic effort to increase income and improve nutrition community. The crop harvested area was 72% in Java, and the remaining 22.3% is distributed in Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, and Papua, which are acid dryland and swamp. Among the legumes, peanuts most adaptive and competitive on acid soil. Peanuts harvested area outside Java 124,806 ha, is very small compared to the area of land suitable for annual crops such as peanuts. Peanut improvement through the utilization of 350 genetic resources, successfully identify some peanut genotypes tolerant to acid soil. Some genotypes have been crossed with Gajah variety. The selected derivate of those crosses were tested for their adaptation in eight acid soil locations. Two selected lines G/92088//92088-02-B-2-8-1 (GH 3) and G/92088//92088-02-B-2-8-1 (GH 4) have the average of pod yield of 2.45 t.ha<sup>-1</sup> and 2.60 t.ha<sup>-1</sup>, and higher than variety of Jerapah (1.94 t.ha<sup>-1</sup>) and Talam 1 (2.09 t.ha<sup>-1</sup>). These lines (GH 3 and GH 4) was released as peanut varieties tolerant to acid soil namely Talam 2 and Talam 3. If two percent (303,590 ha) of the land suitable for annual crops in dry acid land in Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, and Papua can be planted with peanuts toleran to acid soil, there will be an increase in peanut production which may be sufficient to cover domestic demand.

Key words: *Arachis hypogaea*, peanut, variety, tolerant, acid soil

## PENDAHULUAN

Kacang tanah merupakan komoditas kacang-kacangan sebagai sumber lemak dan protein yang bernilai ekonomis dan strategis dalam upaya meningkatkan pendapatan dan perbaikan gizi masyarakat. Pentingnya peran kacang tanah tersebut terlihat dengan semakin meningkatnya permintaan di dalam negeri dan semakin beragamnya produk-produk olahan yang berbahan baku kacang tanah yang dihasilkan oleh industri berskala rumah tangga maupun oleh industri sedang dan industri besar.

<sup>1)</sup> Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Kotak Pos 66 Malang Telp. (0341) 801468, Fax: 0342-801496; e-mail: trustinah02@yahoo.com

<sup>2)</sup> Naskah diterima tanggal 3 April 2014; disetujui untuk diterbitkan tanggal 11 Desember 2014.

Untuk mengimbangi permintaan tersebut dipenuhi dengan peningkatan luas tanam, produktivitas, dan impor.

Pada tahun 2012, luas pertanaman kacang tanah di Indonesia mencapai 559.538 ha, dengan produktivitas rata-rata 1,27 t/ha dan total produksi 712.857 ton. Dari luasan tersebut 70% ditanam di pulau Jawa, Sumatera 7,7%, Sulawesi 0,8%, Kalimantan 2,45%, Maluku dan Papua 1,57% dan sisanya di Nusatenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, dan Bali (BPS 2013). Makin terbatasnya lahan subur di Jawa menyebabkan pengembangan pertanian mengarah ke lahan-lahan sub-optimal di luar Jawa, diantaranya lahan masam yang meliputi lahan kering masam maupun lahan rawa, antara lain lahan gambut, pasang surut, dan lebak. Berdasarkan Atlas Sumberdaya Tanah Eksplorasi Indonesia skala 1:1.000.000 yang diterbitkan Puslitbangtanak tahun 2000, dari sekitar 148 juta ha lahan kering di Indonesia, 102,8 juta ha (69,4%) berupa tanah masam terutama pada wilayah beriklim basah seperti Sumatera, Kalimantan, dan Papua (Mulyani *et al.* 2009).

Masalah utama yang sering dijumpai di lahan masam adalah tingkat kemasaman tanah cukup tinggi (pH <4,5), ketersediaan hara makro terutama Ca rendah, kandungan aluminium (kejenuhan Al) tinggi sehingga berpengaruh buruk bagi pertumbuhan dan hasil tanaman. Berbagai usaha dilakukan untuk mengatasi hal tersebut, diantaranya melalui perbaikan tanah (ameliorasi), pemupukan, pemberian bahan organik, pemilihan komoditas yang sesuai, penggunaan varietas toleran atau adaptif pada cekaman lahan masam, dan kombinasi dari keduanya.

Di antara komoditas kacang-kacangan, kacang tanah merupakan salah satu komoditas yang toleran terhadap kemasaman lahan dan memiliki keunggulan komparatif terhadap tanaman pangan lainnya (Rina *et al.* 2002; Kasno 2006; Trustinah *et al.* 2008). Oleh karenanya peningkatan produksi kacang tanah melalui penambahan luas areal tanam merupakan pilihan strategis. Pulau Sumatera dan Kalimantan memiliki potensi lahan kering sangat luas dan prospektif terutama melalui integrasi tanaman sawit, karet dan atau kakao muda.

Tersedianya varietas unggul kacang tanah toleran lahan masam sangat diperlukan sebagai penopang program ekstensifikasi. Peningkatan stabilitas produksi kacang tanah dapat dilakukan melalui perbaikan toleransi terhadap cekaman kemasaman disertai dengan perbaikan

karakter spesifik sesuai dengan preferensi petani dan pasar.

## POTENSI PENGEMBANGAN KACANG TANAH DI LAHAN MASAM

Lahan kering masam adalah lahan yang mempunyai sifat-sifat seperti pH rendah, kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB) dan C-organik rendah, kandungan aluminium (kejenuhan Al) tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik (Prasetyo dan Suriadikarta 2006). Tanah-tanah yang umumnya mempunyai pH masam di lahan kering adalah ordo Entisols, Inceptisols, Ultisols, Oxisols, dan Spodosols terutama yang mempunyai iklim basah dengan curah hujan tinggi. Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang mempunyai sebaran luas, mencapai 45.794.000 ha, tersebar di Kalimantan 21.938.000 ha, Sumatera 9.469.000 ha, Maluku dan Papua 8.859.000 ha, Sulawesi 4.303.000 ha, Jawa 1.172.000 ha, dan Nusa Tenggara 53.000 ha (Subagyo *et al.* 2004 dalam Prasetyo dan Suriadikarta 2006).

Lahan rawa merupakan bagian dari lahan masam, di Indonesia luasnya sekitar 33,4–39,4 juta ha, tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Berdasarkan agro-ekosistem dalam kaitannya dengan sistem hidrologi (sumber air), lahan rawa dibedakan menjadi, (1) lahan rawa pasang surut (dipengaruhi pasang surut air laut), termasuk di dalamnya lahan sulfat masam (6,71 juta ha) dan lahan gambut (10,89 juta ha), dan (2) lahan rawa lebak (hanya dipengaruhi oleh curah hujan) seluas 13,29 juta ha (Widjaja-Adhi *et al.* 2000, Mulyani 2006). Sifat tanah sulfat masam potensial mengandung pirit, pH rendah, H<sup>+</sup>, Al, Fe(III), dan Mn tinggi serta P tersedia dan kejenuhan basa rendah. Tanaman yang dapat diusahakan di lahan sulfat masam antara lain adalah padi, palawija (jagung, kedelai, kacang tanah, dan kacang hijau), sayuran buah-buahan, dan tanaman perkebunan (Suwarno *et al.* 2000 dalam Suriadikarta 2005; Suriadikarta dan Sutriadi 2007). Penanaman kacang tanah di lahan pasang surut terutama diarahkan pada lahan-lahan yang jauh dari pengaruh air pasang, yaitu luapan air tipe C dan B yang telah diperbaiki sistem pengelolaan airnya. Di lahan pasang surut, kacang tanah terutama ditanam pada musim hujan (Oktober–Maret). Pada lahan lebak, kacang tanah ditanam pada musim kemarau (Juni–Oktober) saat kondisi air telah

surut, kemasaman tanahnya relatif kurang (pH 4,5–5), kandungan bahan organik cukup tinggi dan ketersediaan hara relatif lebih tinggi dibanding di lahan pasang surut, sehingga cukup sesuai untuk pertumbuhan kacang tanah (Koesrini *et al.* 2006).

Berdasarkan peta kesesuaian lahan dan analisis citra landsat, lahan yang tersedia untuk perluasan areal pertanian mencapai 30,60 juta ha, meliputi: lahan basah (rawa dan non rawa) 8,27 juta, lahan kering untuk tanaman tahunan 15,30 juta ha, dan lahan kering untuk tanaman semusim 7,08 juta ha yang sebagian besar tersebar di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Sebagian kecil lahan kering yang sesuai untuk tanaman semusim dan tahunan berupa lahan gambut yang telah didrainase (Balitbangtan 2007 dalam Mulyani dan Las 2007). Luas areal pertanaman kacang tanah di Indonesia pada tahun 2012 sebesar 559.538 ha dan 77,7 persen ditanam di Jawa (BPS 2013). Bila 2% dari lahan masam yang sesuai untuk tanaman semusim di luar Jawa dapat ditanami kacang tanah, berarti akan terjadi peningkatan luas tanam sebesar 303.590 ha. Dengan varietas dan produktivitas sama, diperkirakan akan terjadi peningkatan produksi kacang tanah 355.028 ton. Dengan peningkatan tersebut permintaan kacang tanah dalam negeri dapat dicukupi (Tabel 1). Bila varietas unggul kacang tanah toleran lahan masam dapat ditanam, maka dengan penambahan luas tanam yang sama terjadi peningkatan produksi lebih tinggi lagi.

### TOLERANSI KACANG TANAH DI LAHAN MASAM

Toleransi didefinisikan sebagai kemampuan

tanaman untuk tetap tumbuh dan berproduksi pada lingkungan yang tercekam. Tanggapan tanaman terhadap kemasaman tanah beragam. Hede *et al.* (2001) melaporkan bahwa setiap jenis komoditas mempunyai toleransi yang berbeda terhadap kejenuhan Al, berturut-turut dari yang paling toleran hingga peka adalah ubikayu, kacang tunggak, kacang tanah, kacang gude, kentang, padi, dan gandum. Dari beberapa komoditas kacang-kacangan yang diuji di lahan kering masam Jasinga yang memiliki pH 4,4 dan Al-dd 22,4 (me/100g), pertumbuhan tanaman kacang-kacangan (kedelai, kacang tanah, kacang hijau dan kacang tunggak) menunjukkan tanggapan beragam, rentan hingga toleran (Trustinah *et al.* 2008). Pertumbuhan kedelai dan kacang hijau mulai terhambat sejak berumur satu minggu setelah tanam, ditandai oleh ujung daun pertama menggulung, mengering, dan kemudian gugur. Secara umum tanaman kedelai atau kacang hijau tumbuh lebih kurus dan daun tidak sempurna. Kacang tanah dan kacang tunggak menunjukkan pertumbuhan yang baik. Berdasarkan skor pertumbuhan tanaman, kacang tanah menunjukkan paling toleran terhadap kemasaman tanah, diikuti oleh kacang tunggak dan kedelai, sedangkan kacang hijau paling tidak toleran. Hasil rata-rata dari 50 genotipe kedelai, kacang tanah, kacang hijau, dan kacang tunggak masing-masing 0,55 t/ha, 1,27 t/ha, 0,25 t/ha, dan 0,82 t/ha (Tabel 2). Tanaman kacang-kacangan yang tercekam kemasaman tumbuh lebih pendek, ramping, perakaran lebih pendek dan tidak lebat, biji berukuran lebih kecil, hasil lebih sedikit, dan kandungan Al pada tanaman yang peka lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman toleran. Hasil kacang tanah berkisar

**Tabel 1. Luas lahan yang sesuai untuk perluasan areal pertanian dan prakiraan peningkatan luas tanam dan produksi kacang tanah.**

Pulau	Luas lahan basah semusim (ha) <sup>1)</sup>	Luas lahan kering semusim (ha) <sup>1)</sup>	Luas panen kacang tanah 2012 (ha) <sup>2)</sup>	Produk- tivitas (t/ha) <sup>2)</sup>	Target penambahan <sup>3)</sup>	
					Luas 2% (ha)	Produksi (ton)
Sumatera	961.047	1.311.776	43.031	1.162	44.596	51.820
Bali, Nusa Tenggara	48.393	137.659	54.774	1.278	2.626	3.355
Kalimantan	1.395.939	3.639.403	13.711	1.191	100.433	119.615
Sulawesi	422.972	215.452	45.020	1.199	12.678	15.201
Maluku dan Papua	5.432.700	1.738.978	8.788	1.152	143.258	165.033
Total	8.261.051	7.043.268	124.806	1.196	303.590	355.028

Sumber: <sup>1)</sup> Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2007); <sup>2)</sup> Badan Pusat Statistik (2013); <sup>3)</sup> Prakiraan.

**Tabel 2. Kisaran tinggi tanaman, panjang akar, bobot akar, bobot 100 biji, dan hasil kacang-kacangan. Jasinga, MK 2007.**

Komoditas	Kacang hijau	Kedelai	Kacang tanah	Kacang tunggak
Skor pertumbuhan (1–5)	4,37	2,82	1,88	2,05
Tinggi tanaman (cm)	10–44	25,6–74,1	31,5–64,7	34,0–69,5
Panjang akar (cm)	3,9–14,5	11,6–26,5	9,6–18,3	10,4–27,6
Bobot akar (g)	0–0,51	0,80–7,95	3,7–9,55	10,4–27,6
Bobot 100 biji (g)	1,5–6,65	5,55–12,35	30,1–53,65	5,6–15,15
Kisaran hasil (t/ha)	0,04–0,58	0,17–0,95	0,55–2,21	0,33–1,43
Hasil (t/ha)	0,25	0,55	1,27	0,82

Sumber: Trustinah *et al.* (2008).

0,55–2,21 t/ha. Di antara tanaman kacang-kacangan yang diuji, kacang tanah memberikan hasil paling tinggi dan adaptif pada lahan kering masam dengan kandungan Al tinggi.

Penelitian kacang tanah di lahan kering masam dan di lahan rawa menunjukkan bahwa kacang tanah masih dapat tumbuh dengan baik pada kondisi masam. Hasil kacang tanah Jerapah dan Singa di lahan pasang surut di Batola-Kalsel (pH 3,56; Al dd 5,5 me/100 g) masing-masing 1,52 t/da dan 0,80 t/ha, di lahan lebak dangkal di Pandawan (Hulu Sungai Tengah) Kalimantan Selatan (pH 4,8; Al dd 0,55 me/100g) masing-masing mencapai 2,71 t/ha dan 3,21 t/ha (Koesrini *et al.* 2006). Anwar dan Sadeli (2002) mendapatkan bahwa varietas Jerapah mempunyai tingkat adaptasi yang paling baik pada kondisi tanah masam dan drainase jelek pada pengujian di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan, dengan kisaran hasil 1,6–2,4 t/ha.

Di Jasinga (Bogor), hasil rata-rata kacang tanah pada lingkungan pH tanah 4,4 dan kejenuhan Al 91,5% sebesar 1,27 t/ha dengan kisaran 0,55–2,21 t/ha (Trustinah *et al.* 2009). Hasil survei yang dilakukan Taufiq *et al.* (2004) di kabupaten Lampung Tengah dan Tulang Bawang menunjukkan bahwa lahan kering di Lampung Tengah dan Tulang Bawang tergolong masam (pH 5) dengan kejenuhan Al 24,5–30,2%. Masalah utama di lahan kering Lampung Tengah dan Tulang Bawang adalah rendahnya pH, tingginya kejenuhan Al dan Fe tersedia, serta rendahnya P dan K tersedia. Hasil kacang tanah pada lahan kering di Lampung berkisar 1,35–3,57 t/ha (Trustinah *et al.* 2011; Kasno *et al.* 2013a).

### Mekanisme Toleransi

Permasalahan dalam usaha tani di lahan

masam berhubungan dengan tingkat toksisitas Al, Mn dan Fe serta kahat P, Ca, K dan N. Keracunan terhadap Al merupakan penyebab utama bagi buruknya pertumbuhan tanaman di lahan masam. Kerusakan akibat keracunan Al terutama terlihat pada sistem perakaran. Keracunan Al menyebabkan kerusakan secara langsung pada sistem akarnya, perkembangan akar menjadi terhambat dan akar lebih tebal, pendek, kaku dan memperlihatkan bagian-bagian yang mati. Hal ini disebabkan Al yang berada di sekitar akar akan menghalangi pembelahan sel di bagian meristem dan akan menghentikan perpanjangan akar dan penetrasi akar menjadi lebih lemah (Care 1995). Russel (1988) menyatakan bahwa Al yang diserap tanaman cenderung terakumulasi di akar tanaman dan sulit ditranslokasikan ke bagian atas tanaman sehingga banyak Al yang ditahan pada dinding sel. Hal ini dapat menyebabkan perubahan fisiologi dan biokimia terutama penurunan permeabilitas membran akar terhadap ion dan air. Deteksi visual dengan pewarnaan memungkinkan mengukur penetrasi Al ke dalam akar secara cepat dan dapat menentukan tingkat toleransi akar, di antaranya dengan menggunakan pewarna hematoksilin sebagaimana yang dilakukan Giaveno *et al.* (2000) pada jagung, Hede *et al.* (2002) pada gandum, serta Saleh (2004), Trustinah *et al.* (2009) pada kacang tanah, dan Trustinah *et al.* (2011b) pada kacang tunggak.

Tingkat penghambatan pertumbuhan akar merupakan indikator utama perbedaan respon genotipe terhadap keracunan Al (Hede *et al.* 2001). Tanaman yang toleran terhadap keracunan Al memiliki kemampuan untuk menekan pengaruh buruk keracunan Al tersebut. Kriteria tanaman yang toleran antara lain (a) akar sanggup tumbuh terus dan ujung akar tidak

rusak, (b) mengurangi absorpsi Al, (c) memiliki berbagai cara untuk menetralkan pengaruh toksik Al setelah diserap tanaman (d) sanggup menciptakan keadaan yang kurang asam di daerah perakaran, (e) translokasi ion Al ke bagian atas sedikit, karena sebagian besar ditahan di akar (f) karena suatu mekanisme tertentu maka ion Al tidak sanggup menghambat serapan Ca, Mg dan K.

Mekanisme toleransi terhadap cekaman Al dapat dikelompokkan sebagai mekanisme eksternal dan mekanisme internal (Hede *et al.* 2001). Mekanisme eksternal juga disebut mekanisme penghindaran (*avoidance*) adalah sistem toleransi yang dibangun oleh tanaman dengan cara mencegah Al agar tidak masuk ke dalam sistem simplas, yang dapat berupa (1) immobilisasi Al di dinding sel (2) permeabilitas selektif dari membran plasma (3) barrier pH di rizosfer (4) eksudasi ligand pengkelat Al (5) eksudasi P dan (6) efluks Al. Sedangkan mekanisme kedua dapat dalam bentuk (1) kelatisasi Al di sitosol (2) kompartementasi Al di vakuola (3) protein pengikat Al (4) enzim yang tahan Al dan (5) peningkatan aktivitas enzim.

Pengujian mekanisme toleransi Al pada padi, jagung, dan kedelai yang dilakukan Nursyamsi *et al.* (2002) menggunakan larutan hidroponik 0, 5, 10, dan 30 mg/l Al dengan larutan nutrisi lengkap pada pH 4, menunjukkan bahwa rasio berat kering akar/pucuk merupakan parameter penting yang menunjukkan perbedaan toleransi Al pada tanaman jagung. Translokasi Aluminium dari akar ke pucuk lebih rendah pada varietas toleran dibandingkan varietas yang sensitif. Pada kacang tunggak, tanaman yang toleran lahan masam akan memiliki hasil yang tinggi dengan jumlah polong yang banyak, tanaman lebih tinggi, dan skor pertumbuhan yang rendah (tanaman tumbuh normal). Sebaliknya, tanaman yang peka pertumbuhan tanaman pendek, tidak normal, jumlah polong sedikit, dan hasilnya lebih sedikit dengan ukuran biji lebih kecil. Analisis terhadap tanaman yang tergolong peka (tanaman pendek, perakaran sedikit, dan pendek) dan toleran (tinggi tanaman normal dan perakaran normal) menunjukkan bahwa pada tanaman yang peka kandungan Al dalam tanaman lebih tinggi dibandingkan yang ada dalam tanaman toleran (Trustinah 2011a).

### Penilaian Toleransi

Beberapa cara telah digunakan untuk menilai toleransi terhadap cekaman seperti kekeringan atau kemasaman pada berbagai komoditas baik

di laboratorium, rumah kaca, maupun di lapang. Parameter yang digunakan di antaranya: SNPI (*Stress-Non Stress Production Index*), indeks kepekaan terhadap cekaman (*SSI/Stress Susceptibility Index*), indeks hasil rata (*MYI/Mean Yield Index*), atau Indeks toleransi cekaman (*Stress Tolerance Index/STI*) (Moosavi *et al.* 2008; Talebi *et al.* 2009; Akcura *et al.* 2011; Farshadfar *et al.* 2012; Raman *et al.* 2012; Eivazi *et al.* 2013). Kesemuanya menggunakan dua lingkungan tumbuh tercekam/sub-optimal dan lingkungan yang tidak tercekam/optimal.

Salah satu parameter toleransi yang banyak digunakan adalah Indeks Toleransi Cekaman (STI) yang dihitung dengan menggunakan rata-rata geometrik agar terhindar dari nilai ekstrim yang sering timbul dari perhitungan berdasar nilai rata-rata aljabar. Selain itu, nilai STI berkorelasi positif dengan hasil pada kondisi normal, tercekam, dan hasil rata-rata dari kedua lingkungan yang diuji, genotipe dengan nilai STI tinggi juga memiliki hasil yang tinggi pada kondisi tercekam dan normal. Oleh karenanya genotipe dengan nilai STI yang tinggi dapat dipilih sebagai genotipe yang toleran. Penilaian toleransi dengan indeks toleransi terhadap cekaman (STI) dihitung dengan rumus "*Stressed Tolerance Index*" (STI) mengacu pada Fernandez (1993) dengan rumus  $STI = (Y_p)(Y_s)/(Y_{\bar{p}})^2$ . STI,  $Y_p$ ,  $Y_s$  dan  $Y_{\bar{p}}$  masing-masing adalah *Stressed Tolerance Index* (indeks toleransi terhadap cekaman), penampilan karakter tanpa cekaman, penampilan karakter dengan cekaman, dan penampilan karakter tanpa cekaman rata-rata semua genotipe.

Ada kalanya sejumlah karakter penting harus diseleksi sekaligus. Pada kasus demikian digunakan seleksi indeks terbatas, agar banyak galur yang dapat diseleksi. Pemilihan genotipe yang toleran berdasarkan beberapa karakter utama secara serentak dapat dilakukan secara serentak dengan menggunakan seleksi indeks atau dilakukan dengan seleksi tandem untuk suatu sifat secara berurutan terhadap sifat yang akan diseleksi.

## PENGEMBANGAN SUMBERDAYA GENETIK (SDG) DALAM PEMBENTUKAN VARIETAS KACANG TANAH TOLERAN LAHAN MASAM

Penggunaan varietas toleran merupakan strategi yang efektif untuk peningkatan produksi kacang tanah di lahan masam, terutama bila kemasaman terjadi hingga ke lapisan subsoil. Pembentukan varietas kacang tanah

toleran lahan masam dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap penapisan/skrining di laboratorium dan rumah kaca dan diteruskan dengan penapisan lapang. Bila genotipe terpilih hasil skrining memiliki karakteristik yang bernilai ekonomi baik, maka aksesori tersebut diteruskan ke siklus seleksi lebih lanjut (seleksi melalui daya hasil dan uji adaptasi), dan selanjutnya dapat diusulkan untuk dilepas sebagai varietas unggul baru (VUB). Sebaliknya, bila memiliki karakter yang bernilai ekonomi kurang baik, maka aksesori genotipe tersebut digunakan sebagai induk persilangan dengan varietas unggul yang akan diperbaiki.

### Skrining di Laboratorium dan Rumah Kaca

Teknik skrining/penapisan di laboratorium dan rumah kaca banyak dilakukan karena lebih cepat, akurat, dan dapat digunakan pada stadia awal pertumbuhan. Hal ini dilakukan pada kegiatan skrining awal dengan jumlah aksesori yang banyak seperti pada koleksi plasma nutfah. Metode kultur air, pewarnaan, dan uji pertumbuhan pada fase perkecambahan, termasuk dalam metode penapisan cepat. Masing-masing metode mempunyai kekurangan dan kelebihan.

Deteksi visual dengan pewarnaan hematoksilin ataupun lumogallion memungkinkan mengukur penetrasi Al ke dalam akar secara cepat dan dapat menentukan tingkat toleransi akar seperti dilaporkan pada gandum, jagung, kedelai, kacang tanah, dan kacang tunggak (Sopandie *et al.* 2000b; Giaveno dan Filho 2000; Giaveno *et al.* 2002; Hede *et al.* 2002; Koesrini dan Purwantoro 2003; Narasimhamoorthy *et al.* 2007; Trustinah *et al.* 2009). Untuk melihat ketahanan terhadap Al dilakukan pewarnaan akar dengan menggunakan pewarnaan hematoksilin yang akan membentuk kompleks Al-hematoksilin yang berwarna ungu-kebiruan, atau dengan melihat intensitas fluoresens Al-bound lumogallion. Banyaknya Al yang terserap terlihat dari tingkat warna akar setelah diberi pewarna. Intensitas pewarnaan yang lebih gelap menunjukkan banyaknya Al yang terserap.

Pada metode kultur air/larutan nutrisi, setelah berkecambah tanaman diuji pada media larutan, kemudian diukur pertumbuhan relatif masing-masing organ seperti yang dilakukan Nursyamsi *et al.* (2002) pada tanaman padi, jagung, dan kedelai. Metode kultur air sangat baik akurasinya, karena dapat di-

kontrol, namun memerlukan peralatan dan bahan kimia yang mahal (Sopandie *et al.* 2000a).

Skrining juga dapat dilakukan dengan menggabungkan beberapa metode sekaligus dengan menggunakan pewarnaan, larutan nutrisi, ataupun pengujian di pot menggunakan tanah masam (Giaveno dan Filho 2000; Giaveno *et al.* 2002; Hede *et al.* 2002; Narasimhamoorthy *et al.* 2007). Pemilihan toleransi berdasarkan hasil pewarnaan dan pengukuran pertumbuhan akar menggunakan indeks toleransi akar (root tolerance index/RTI) yang diperoleh dari pengukuran pertumbuhan perakaran pada kondisi normal dan tercekam. Dari beberapa pengujian tersebut, metode hematoksilin sangat sesuai untuk menskrining populasi/plasma nutfah yang besar dan membedakan antara kecambah yang toleran dan sensitif. Terdapat korelasi yang negatif ( $r -0,792$ ) antara pertumbuhan akar dan intensitas pewarnaan. Tanaman sensitif ditandai dengan rendahnya pertumbuhan akar dan intensitas pewarnaan yang lebih tinggi (gelap) dibandingkan tanaman toleran. Seleksi di pot dengan tanah masam lebih efisien dibandingkan dengan larutan nutrisi. Hampir seluruh genotipe yang toleran terhadap Al di tanah juga toleran dengan menggunakan metode hidroponik dan pewarnaan akar. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi berdasarkan skrining di tanah dan hidroponik penting untuk mengidentifikasi genotipe toleran Al yang memiliki berbagai mekanisme ketahanan terhadap Al.

Skrining plasma nutfah untuk toleransi terhadap kemasaman pada kacang tanah di laboratorium pada stadia perkecambahan telah dilakukan oleh Trustinah *et al.* (2009) dalam dua tahap. Tahap pertama adalah menentukan konsentrasi Al yang sesuai untuk penyaringan bahan genetik. Pemberian larutan Al 60–70 ppm pada pH 4 direkomendasikan untuk penyaringan genotipe tahan di laboratorium, karena memberikan pengaruh besar terhadap penurunan panjang akar dan berat kering akar pada perkecambahan kacang tanah. Tahap kedua ditujukan untuk menilai toleransi 225 genotipe kacang tanah, pada tiga lingkungan: L1 (0 ppm Al, pH netral), L2 (0 ppm Al, pH 4), L3 (60 ppm Al, pH 4), dan dilakukan pewarnaan akar dengan menggunakan hematoksilin. Skor pewarnaan mengacu pada Koesrini (2001), skor 1 bila warna kecambah >75% berwarna terang, skor 2 bila 50–75% berwarna terang, skor 3 bila 25–50% berwarna terang, skor 4 bila <25% berwarna terang dan skor 5 bila intensitas warna

kecambah 100% berwarna gelap. Hasil skrining di laboratorium menunjukkan terdapat keragaman dan perbedaan toleransi genotipe kacang tanah terhadap cekaman Aluminium pada stadia perkecambahan. Pemberian larutan Al antara 60–70 ppm memberikan pengaruh besar terhadap penurunan panjang akar dan berat kering akar pada perkecambahan kacang tanah, dan tidak terdapat genotipe yang akarnya benar-benar bebas dari penetrasi aluminium dengan skor pewarnaan berkisar antara 3,05–4,45. Pada larutan pH 4 dengan konsentrasi Al 60 ppm, pertumbuhan kecambah mulai terhambat yang ditunjukkan dengan akar menjadi lebih pendek, jumlah akar berkurang, epikotil lebih pendek, dan jumlah daun yang lebih sedikit.

### Pengujian Lapang

Pengujian lapang merupakan kelanjutan dari skrining di laboratorium dan rumah kaca. Jumlah genotipe yang diuji biasanya tidak sebanyak pada pengujian awal di laboratorium. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan genotipe yang toleran dan berdaya hasil tinggi. Pengujian lapang dilakukan untuk mengevaluasi hasil ekonomis seperti hasil pada dua lingkungan yakni lingkungan masam yang sesungguhnya dan lingkungan masam yang telah diperbaiki (Carver dan Ownby 1995; Johnson *et al.* 1997; Giaveno dan Filho 2002; Hede *et al.* 2002; Narasimhamoorthy *et al.* 2007). Lingkungan masam yang diperbaiki dapat dilakukan dengan penambahan kapur atau dolomit yang ditujukan untuk meningkatkan Al-dd atau menurunkan kejenuhan Al. Pemberian dosis kapur dilakukan sebanyak Al yang akan dinetralkan, sehingga setiap lokasi berbeda takarannya. Untuk itu diperlukan pemilihan lokasi yang tepat sesuai dengan tujuan penelitian dan informasi hasil analisis tanah awal untuk menentukan pemberian dolomit yang diperlukan.

Pengujian lapang terhadap sumberdaya genetik kacang tanah pada lahan kering masam Jasinga (Bogor) dengan kandungan Al tinggi (pH tanah 4,4 dan kejenuhan Al 91,5%) telah dilakukan oleh Kasno *et al.* (2011) dengan menggunakan jumlah polong/tanaman sebagai kriteria seleksi. Dari 350 genotipe yang diuji, terpilih sebanyak 250 galur yang memiliki jumlah polong rata-rata di atas 14 polong/tanaman. Selanjutnya Trustinah *et al.* (2011a) melaporkan dari 250 galur kacang tanah yang diuji di Ultisol Lampung Tengah (pH 4,9 dan kejenuhan Al 28,6%), menunjukkan keragaman

untuk hasil dan penyakit daun, hasil rata-rata 2,29 t/ha, berkisar 1,35–3,58 t/ha (Tabel 3). Sebanyak 11 genotipe hasilnya di atas batas seleksi 3,01 t/ha. Genotipe G/92088//92088-02-B-2-8-1 (GH 3), dan G/92088//92088-02-B-2-8 (GH 4) memiliki produktivitas tinggi (3,45 t/ha), agak tahan penyakit daun (skor penyakit karat dan bercak daun 3–4), juga menunjukkan indikasi berumur genjah (85–90 hari).

Selain hasil, beberapa sifat lain juga turut dipertimbangkan di dalam pengujian lapang karena berpengaruh terhadap hasil seperti umur masak dan ketahanan terhadap penyakit daun. Pengelompokan galur kacang tanah sesuai dengan ciri dan keunggulannya memiliki arti penting, terutama dalam menyediakan galur-galur toleran yang selain memiliki hasil tinggi juga tahan terhadap penyakit daun, serta memiliki umur genjah. Pengelompokan banyak galur yang melibatkan banyak karakter dapat dilakukan dengan menggunakan teknik peubah ganda (*multivariate*) seperti analisis faktor, fungsi diskriminan dan sidik gerombol.

Kasno *et al.* (2013a) mengelompokkan galur kacang tanah pada pengujian di lahan masam lampung Tengah dengan menggunakan sidik gerombol. Dari 100 galur yang diuji dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, masing-masing terdiri 27, 24, dan 39 galur. Kelompok pertama bercirikan tanaman tumbuh tinggi, daya hasil rendah dan tahan penyakit bercak daun, kelompok kedua terdiri dari galur-galur yang memiliki hasil rendah dan tahan penyakit bercak daun, dan kelompok ketiga terdiri galur-galur yang tanamannya pendek, hasil tinggi, umur genjah, tetapi agak rentan terhadap penyakit bercak daun. Sebagian besar galur terpilih berasal dari kelompok 3, hasil berkisar 2,5–3,6 t/ha polong kering dengan skor penyakit

**Tabel 3. Distribusi hasil 250 galur kacang tanah. Rumbia, Lampung Tengah, MK 2009.**

Kisaran hasil (t/ha)	Jumlah genotipe
1,35–1,62	9
1,63–1,90	19
1,91–2,18	50
2,19–2,45	88
2,46–2,73	53
2,74–3,01	21
3,02–3,29	5
3,30–3,57	6

Sumber: Trustinah *et al.* (2011a).

daun 4,7–6,0 (agak tahan penyakit daun) (Tabel 4).

Penambahan kapur atau dolomit di tanah masam ditujukan untuk meningkatkan Al-dd atau menurunkan kejenuhan Al. Pengujian lapang terhadap 30 galur-galur terpilih di dua lokasi lahan kering masam (pH 4,5) di Lampung Timur yang memiliki kejenuhan Al lebih tinggi (29,13%) dibanding Lampung Selatan (kejenuhan Al 0,23%) memberikan hasil polong lebih rendah, masing-masing 2,97 t/ha dan 3,03 t/ha polong kering. Bila dikapur dengan dolomit 500 kg/ha, hasil polong meningkat menjadi 3,13 t/ha dan 3,18 t/ha polong kering (Kasno *et al.* 2012).

Penilaian toleransi yang dilakukan Kasno *et al.* (2013c) pada pengujian lapang di Jasinga pada lingkungan masam yang sesungguhnya dan lingkungan masam yang telah diperbaiki dengan penambahan kapur atau dolomit menunjukkan bahwa galur galur G/92088//92088-02-B-2-8-1 (galur no 3) dan G/92088//92088-02-B-2-8-2 (galur no 4) memiliki STI tertinggi, masing-masing 1,45 dan 1,25, atau paling

toleran di antara semua genotipe yang di uji (Gambar 1), dan lebih toleran dari varietas pembandingan Jerapah (galur no 9), dan Talam 1 (galur no 20) masing-masing 0,85 dan 0,70 (Kasno *et al.* 2013c).

### Uji Adaptasi

Lahan kering masam sangat beragam, sehingga besar kemungkinan akan terjadi interaksi genotipe dengan lingkungan. Adanya interaksi genotipe dan lingkungan untuk hasil dapat menimbulkan masalah, terutama pada saat memutuskan galur mana yang akan diusulkan untuk dilepas sebagai varietas baru, dan galur mana yang perlu diteruskan pada pengujian lebih lanjut, serta galur tersebut tidak perlu diteruskan dan dimasukkan ke dalam koleksi plasma nutfah. Oleh karenanya, kekurangcermatan dalam analisis interaksi genotipe dan lingkungan dapat menimbulkan tersingkirnya galur-galur unggul dalam proses seleksi dan mengusulkan galur yang belum tentu unggul sebagai varietas baru. Terhadap permasalahan tersebut, secara umum dilakukan dua strategi

**Tabel 4. Karakter, kelompok galur kacang tanah yang seleksi diseleksi pada uji daya hasil pendahuluan di lahan kering masam. Lampung Selatan, MK 1 (Maret – Juni) 2010.**

Karakter	Kelompok <sup>a)</sup>		
	1	2	3
1. Bercak daun (BD)	–	–	+
2. Indeks panen (IP)	–	–	+
3. Hasil (t/ha)	–	–	+
4. Tinggi tanaman (cm)	+	+	–
5. Σ Polong isi/tanaman	–	+	+
6. Berat biji/tanaman	–	–	+
7. Rendemen	–	+	+
8. Indeks masak (SHMI)	–	+	+
9. % Polong isi/tanaman	–	+	+
Ciri Kelompok	Tinggi tanaman di atas rerata tetapi tahan becak daun	Tahan penyakit bercak daun, jumlah polong isi banyak, rendemen tinggi, tetapi umurnya panjang	Tanaman pendek, hasil tinggi, umur genjah, tetapi agak rentan penyakit becak daun
Jumlah galur	37	24	39
Jumlah galur terpilih	9	1	20

<sup>a)</sup> + = Nilai tengah karakter di atas rerata 100 galur; – = Nilai tengah karakter di bawah rerata 100 galur  
 Sumber: Kasno *et al.* (2013a).

**Tabel 5. Sidik ragam tergabung 8 lokasi untuk hasil polong kacang tanah. MT 2011-2012.**

Sumber keragaman	db	Kuadrat tengah	Kontribusi keragaman (%)	Uji F
Lingkungan (L)	7	18,918	588,788	34,529 **
Genotipe (G)	19	0,746	64,512	6,0461**
Interaksi GxL	133	0,232	13,702	1,8342**
Galat	304	0,126		

KK= 12,62%

Sumber: Kasno *et al.* 2013c.

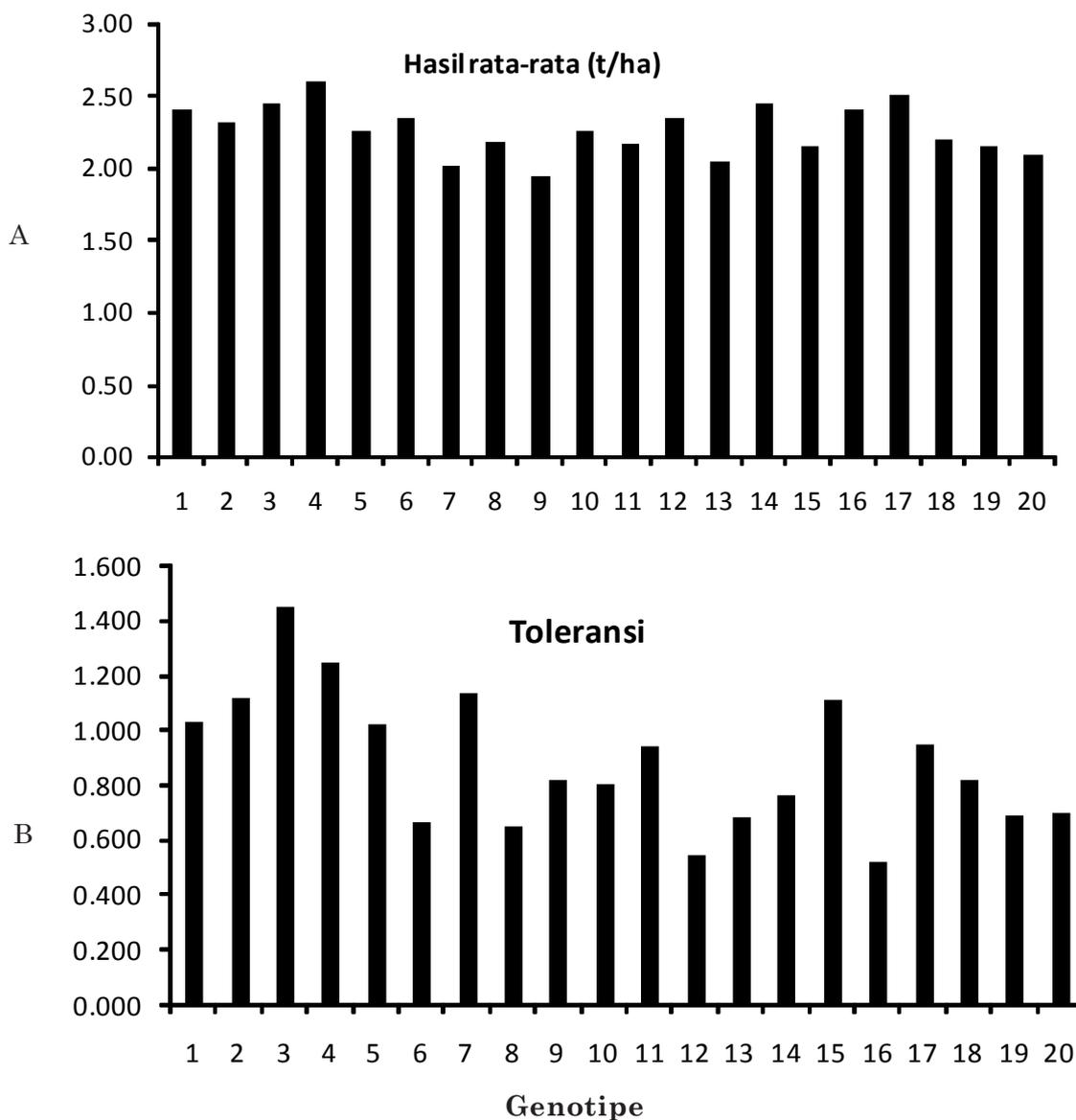
pendekatan dalam pengelolaan interaksi genotipe dan lingkungan, yakni: (1) memperkecil pengaruh interaksi genotipe dan lingkungan, dan (2) memanfaatkan interaksi genotipe dan lingkungan. Cara pertama dilakukan dengan melakukan stratifikasi lingkungan sehingga menjadi kelompok lingkungan yang lebih homogen dan menanam varietas yang sesuai untuk kelompok lingkungan yang bersangkutan (varietas spesifik lokasi). Sedangkan yang kedua dilakukan dengan menanam varietas yang hasilnya stabil.

Berbagai cara telah digunakan untuk menilai interaksi genotipe dan lingkungan dan stabilitas hasil suatu genotipe dalam rentang lingkungan yang luas, di antaranya adalah teknik regresi yang mengacu pada Finlay dan Wilkinson (1963) serta Eberhart Russell (1966) berdasarkan koefisien dan simpangan regresi. Pada metode ini, model regresi adalah deskriptif linier. Penilaian dengan teknik regresi di antaranya dilakukan oleh Acikgoz *et al.* (2009) pada tanaman kapri, Arshad *et al.* (2003) pada kacang arab, Kasno *et al.* (2007) pada kacang tanah, Sholihin (2011) pada ubi kayu, dan Trustinah dan Iswanto (2013) pada kacang hijau.

Hasil analisis tergabung 20 genotipe kacang tanah pada uji adaptasi di delapan lokasi yang dilakukan Kasno *et al.* (2013c) menunjukkan bahwa seluruh pengaruh utama (genotipe dan lingkungan) dan interaksi genotipe dan ling-

kungan untuk hasil polong sangat nyata. Lokasi memberikan sumbangan keragaman terbesar, disusul oleh interaksi genotipe dan lingkungan (Tabel 5). Dengan kata lain galur kacang tanah yang tumbuh baik pada suatu lokasi belum tentu baik bila ditanam pada lokasi lain, atau peringkat keunggulan varietas berubah dari lokasi ke lokasi. Dengan memperhatikan, hasil polong rata-rata galur/genotipe dari delapan lokasi, koefisien regresi, dan simpangan dari regresi, terdapat dua galur yaitu: G/92088//92088-02-B-2-8-1 (No 3) dan G/92088//92088-02-B-2-8-2 (No 4) yang stabil dan memberikan hasil rata-rata masing-masing 2,45 t/ha dan 2,60 t/ha polong kering, lebih tinggi dari hasil rata-rata varietas Jerapah (No 9) dan Talam 1 (No 20), masing-masing 1,94 t/ha dan 2,09 t/ha polong kering (Gambar 1).

Talam 1 sebagai varietas toleran dan adaptif pada lahan lahan kering masam yang memiliki kejenuhan Al tinggi memberikan hasil polong di atas 2,09 t/ha, demikian juga varietas Jerapah 1,94 t/ha. Galur G/92088//92088-02-B-2-8-1 (galur no 3) dan G/92088//92088-02-B-2-8-2 (galur 4), dilepas sebagai varietas unggul baru kacang tanah dengan nama Talam 2 dan Talam 3. Potensi hasil varietas Talam 2 dan Talam 3 pada lokasi yang memiliki pH 4,5 dan kejenuhan Al sedang, masing-masing memberikan hasil 4,05 t/ha dan 3,73 t/ha polong kering. Hasil polong kering rata-rata 8 lokasi di lahan kering masam, masing-masing 2,5 t/ha, dan 2,6 t/ha (Kasno *et al.* 2013b).



Gambar 1. Hasil kacang tanah di 8 lokasi (A), dan toleransi (B).

Genotype:

- |  |                             |                                 |
|--|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. MHS/91278-99-C-180-13-5             | 8. MHS/91278-99-C-174-7-3   | 15. GH 02/G-2000-B-653-54-28    |
| 2. G/92088//92088-02-B-2-9             | 9. Jerapah                  | 16. IC 87123/86680-93-B-75-55-1 |
| 3. G/92088//92088-02-B-2-8-1 (Talam 2) | 10. J/91283-99-C-192-17     | 17. IC 87123/86680-93-B-75-55-2 |
| 4. G/92088//92088-02-B-2-8-2 (Talam 3) | 11. MHS/91278-99-C-180-13-7 | 18. MLGA 0306                   |
| 5. J/J11-99-D-6210                     | 12. M/92088-02-B-1-2        | 19. UNILA 2                     |
| 6. P 9801-25-2                         | 13. MLG 720                 | 20. Talam 1                     |
| 7. G/92088//92088-02-B-8               | 14. MLG 7638                |                                 |

Lokasi:

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Lampung Selatan 2011 (Natar)       | 5. Lampung Utara (Sungkai Utara)      |
| 2. Lampung Tengah 2011 (Rumbia)       | 6. Lampung Selatan 2012 (Natar)       |
| 3. Lampung Timur 2011 (Rejo Binangun) | 7. Lampung Tengah 2012 (Rumbia)       |
| 4. Lampung Timur 2011 (Sukadana)      | 8. Lampung Timur 2012 (Rejo Binangun) |

## KESIMPULAN

Pendayagunaan sumber daya genetik kacang tanah yang menghasilkan kacang tanah varietas Talam-2 dan Talam-3 (Talam=toleran masam), kini masih berupa benih penjenis (BS) yang perlu diperbanyak menjadi benih dasar, benih pokok dan benih tangkar (ES) untuk didistribusikan. Penggunaan varietas toleran dan adaptif pada lahan masam dalam program ekstensifikasi kacang tanah memberikan harapan baik bagi peningkatan produksi yang dapat mencukupi kebutuhan dalam negeri, dan pendapatan petani.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acikgoz, E., A. Ustun, I. Gul, E. Anlarsal, A.S. Tekeli, I. Nizam, R. Avcioglu, H. Geren, S. Cakmakci, B. Aydinoglu, C. Yucel, M. Avci, Z. Acar, I. Ayan, A. Uzun, U. Bilgili, M. Sincik, and M. Yavuz. 2009. Genotype x environment interaction and stability analysis for dry matter and seed yield in pea (*Pisum sativum* L.). Spanish J. of Agric. Res. 7(1):96–106.
- Ackura, M., F. Partigoc, and Y. Kaya. 2011. Evaluation of drought stress tolerance based on selection indices in Turkish bread wheat landraces. The J. of Animal & Plant Sci. 21(9):700–709.
- Anwar, A., dan D.I. Saderi. 2002. Adaptasi varietas unggul kacang tanah pada lahan sulfat masam. Hlm. 458–463 dalam I K. Tastra *et al.* (Eds.). Peningkatan Produktivitas, Kualitas, dan Efisiensi Sistem Produksi Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Menuju Ketahanan Pangan dan Agribisnis. Puslibangtan. Bogor.
- Arshad, M., A. Bakhsh, A.M. Haqqani, and M. Bashir. 2003. Genotype-environment interaction for grain yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pak. J. Bot., 35(2):181–186.
- Badan Pusat Statistik. 2013. Produksi Tanaman Pangan 2012. [http://www.bps.go.id/tnmn\\_pgn.php](http://www.bps.go.id/tnmn_pgn.php). diakses. [23 Maret 2014].
- Badan Litbang Pertanian. 2007. Prospek dan Arah Pengembangan Komoditas Pertanian: Tinjauan Aspek Sumber Daya Lahan. Badan Litbang Pertanian, Jakarta. 30 hlm.
- Care, D.A. 1995. The effect of aluminium concentration on root hairs in white clover (*Trifolium repens* L.). p 325–328. In Date R.A. (eds.) Plant soil interaction at low pH. Kluwer Acad. Publ. The Netherlands.
- Eberhart, S.A., and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36–40.
- Eivazi, A.R., S. Mohammadi, M. Rezaei, S. Ashori, and F. Hossien. 2013. Effective selection criteria for assessing drought tolerance indices in barley (*Hordeum vulgare* L.) accessions. Internat. J. of Agron. and Plant Production. 4(4):813–821.
- Finlay, W.K. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding programme. Aust. J. Agr. Res. 14:742–754.
- Farshadfar, E., Z. Moradi, P. Elyasi, B. Jamshidi, dan R. Chaghakabodi. 2012. Effective selection criteria for screening drought tolerant landraces of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Annals of Biol. Res. 3(5):2507–2516.
- Fernandez, G.C.J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. p. 257–270. In C.G. Kuo (Eds). Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proc. Internat. Symp. Taiwan, 13–18 August 1999. AVRDC.
- Giaveno, C. D., and B. M. Filho. 2000. Rapid screening for aluminium tolerance in maize (*Zea mays* L.). Genet. Mol. Biol. 23(4) Sao Paulo Dec.7p.
- Giaveno, C.D., and B.M. Filho. 2002. Field comparison between selection methods at maize seedling stage in relation to aluminium tolerance. Sci. Agric. 59(4):397–401.
- Hede, A.R., B. Skovmand, J.M. Ribaut, D. Gonzalez-de-leon, and O. Stolen. 2002. Evaluation of aluminium tolerance in a spring rye collection by hydroponic screening. Plant Breeding 121(3):241–248.
- Hede, A.R., I.B. Scovmand, and J. Lopez-Cesati. 2001. Acid soil and Aluminium toxicity. p.172–182 In Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, DF: CIMMYT.
- Kasno, A. 2006. Prospek pengembangan kacang tanah di lahan kering masam dan lahan pasang surut. Buletin Palawija 11:1–6.
- Kasno, A., Trustinah, J. Purnomo, B. Suwarsono. 2007. Interaksi genotipe dengan lingkungan dan implikasinya dalam pemilihan galur harapan kacang tanah. J. Pen. Pert. Tan. Pangan. 26(3): 167–173.
- Kasno, A. dan Trustinah. 2009. Seleksi genotipe kacang tanah toleran kekeringan pada stadia kecambah dan reproduktif. J. Pen. Tan. Pangan. 28(1):50–57.
- Kasno, A. 2010. Talam 1 varietas kacang tanah adaptif lahan kering masam dan toleran *Aspergillus flavus*. Buletin Palawija 19:19–26.
- Kasno, A., Trustinah, dan A.A. Rahmianna. 2013a. Seleksi galur kacang tanah adaptif pada lahan masam. J. Pen. Tan. Pangan 32(1):16–24.
- Kasno, A., A. Taufiq, dan Trustinah. 2013b. Tolerance of peanut genotypes to acid soil condition. Agrivita J. of Agric. Sci. 35(2):145–159.
- Kasno, A., Trustinah, J. Purnomo, N. Nugrahaeni, A. Taufiq, dan Sumartini. 2013c. Kacang tanah Talam 2 [G/902088/90288–02-B-2-8-1 (GH3)] dan

- Talam 3 [G/902088//90288-02-B-2-8-2 (GH4)] hasil tinggi, adaptif dan produktif di lahan kering masam. Proposal Usulan Pelepasan Varietas, diajukan pada Tim Penilai Pelepas Varietas Tanaman Pangan Kementerian Pertanian. Balitkabi.
- Koesrini dan Purwantoro. 2003. Ketahanan 28 genotipe kedelai terhadap cekaman aluminium. *Agroscentia*. 3(10):117–123.
- Koesrini, A. Noor, dan Sumanto. 2006. Keragaan hasil beberapa galur harapan kacang tanah di lahan sulfat masam dan lahan lebak dangkal. *Bul. Agron.* 34(1):11–18.
- Moosavi, S.S., B.Y. Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali, H. Dashti, and A. Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12:165–178.
- Mulyani, A. 2006. Potensi lahan kering masam untuk pengembangan pertanian. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 28(2):16–17.
- Mulyani, A., dan I. Las. 2008. Potensi sumber daya lahan dan optimalisasi pengembangan komoditas penghasil bioenergi di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 27(1):31–41.
- Mulyani, A., A. Rachman, dan A. Dairah. 2009. Penyebaran lahan masam, potensi dan ketersediaannya untuk pengembangan pertanian. Hlm. 25–46 *dalam* Sastramiharja, M., F. Manalu, dan S.E. Aprillani (Eds.) Fosfat Alam: Pemanfaatan Fosfat Alam yang Digunakan Langsung sebagai pupuk sumber P. Balai Penelitian Tanah.
- Narasimhamoorthy, B., E.B. Blancaflor, J.H. Bouton, M.E. Payton, and M.K. Sledge. 2007. A comparison of hydroponics, soil, and root staining method for evaluation of aluminium tolerance in *Medicago truncatula* (Barrel Medic) Germplasm. *Crop Sci.* 47:321–328.
- Nursyamsi, D., M. Osaki, and T. Tadano. 2002. Mechanism of Aluminium toxicity avoidance in tropical rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), and soybean (*Glycine max*). *Indonesi. J. of Agric. Sci.* 3(1) 2002:12–24.
- Phakamas, N., A. Patanothai, K. Pannangpetch, S. Jogloy, and G. Hoogenboom. 2010. Determination of adaptive responses of peanut genotypes and patterns of genotype x location interaction using the CSM-CROPGRO-Peanut Model. *Internat. J. of Plant Production* 4(3):223–234.
- Prasetyo, B.H., dan D.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2):39–46.
- Raman, A., S.B. Verulkar, N.P. Mandal, M. Variar, V.D. Shukla, J.L. Dwivedi, B.N. Singh, O.N. Zingh, P. Swain, A.K. Mall, S. Robin, R. Chandrababu, A. Jain, T. Ram, S. Hittalmani, S. Haefele, Hans-Peter Piepho, and A. Kumar. 2012. Drought yield index to select high yielding rice lines under different drought stress severities. *Rice a Springer Open J.* 5.31:1–12.
- Rina, Y., K. Anwar, dan R. Zuraida. 2002. Keunggulan kompetitif usahatani kacang tanah di lahan pasang surut. Hlm. 283–294 *dalam* I K. Tastra *et al.* (Eds.). Peningkatan Produktivitas, Kualitas, dan Efisiensi Sistem Produksi Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Menuju Ketahanan Pangan dan Agribisnis. Puslibangtan. Bogor.
- Russel, R.S. 1988. *Plant Root System*. Mc Graw Hill Book Company. London. 653 hlm.
- Saleh M. 2004. Respon genotipe kacang tanah terhadap cekaman Aluminium pada metode laboratorium. Hlm.174–179. *dalam* A. Kasno dkk. (Eds.). Dukungan Pemuliaan terhadap Industri Perbenihan pada Era Pertanian Kompetitif. Prosiding Lokakarya Peripi VII, Malang.
- Sholihin. 2011. Stabilitas klon-klon harapan ubikayu berdasarkan hasil pati. *J. Agrivigor.* 10(3):309–318.
- Sopandie, D., M. Yusuf, dan S. Aisah. 2000b. Toleransi terhadap aluminium pada akar kedelai: Deteksi visual penetrasi aluminium dengan metode pewarnaan hematoksilin. *Comm. Ag.* 6(1):25–32.
- Sopandie, D., M. Yusuf, dan T. D. Setyono. 2000a. Adaptasi kedelai (*Glycine max* Merr.) terhadap cekaman pH rendah dan aluminium: Analisis pertumbuhan akar. *Comm. Ag.* 5(2): 61–69.
- Suriadikarta, D. A. 2005. Pengelolaan lahan sulfat masam untuk usaha pertanian. *J Litbang Pertanian* 24(1):36–45.
- Suriadikarta, D.A., dan M.T. Sutriadi. 2007. Jenis-jenis lahan berpotensi untuk pengembangan pertanian di lahan rawa. *Jurnal Litbang Pertanian*, 26(3):115–122.
- Talebi, R., F. Fayaz, and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* DESF.). *General and Appl. Plant Physiol.* 35(1–2):64–74.
- Taufiq, A., H. Kuntastyuti, dan Sudaryono. 2004. Tingkat kesuburan lahan di Lampung Tengah dan Tulang Bawang. Hlm. 418–433 *dalam* A.K. Makarim *et al.* (Eds.), Kinerja Penelitian Mendukung Agribisnis Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Risalah Hasil Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian tahun 2004. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang.
- Trustinah, A. Kasno, A. Wijanarko, R. Iswanto, dan H. Kuswantoro. 2008. Adaptasi genotipe kacang-kacangan pada lahan kering masam. Hlm. 200–207. *dalam* A. Harsono *et al.* (Eds.). Pros. Inovasi Teknologi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Mendukung Kemandirian Pangan dan Kecukupan Energi. Balitkabi, Malang.

- Trustinah, A. Kasno, dan A. Wijanarko. 2009. Toleransi genotipe kacang tanah terhadap lahan masam. *J. Pert. Tan. Pangan.* 8(3): 183–191.
- Trustinah, A. Kasno, J. Purnomo, dan B. Suwasono. 2011a. Daya hasil galur kacang tanah di lahan masam. Hlm. 450–459 *dalam* M. Muchlish Adie *et al.* (Eds.). *Prosiding Inovasi Teknologi untuk Pengembangan Kedelai Menuju Swasembada.*
- Trustinah, A.S. Rejeki, dan A. Kasno. 2011b. Toleransi genotipe kacang tunggak terhadap cekaman Aluminium pada stadia perkecambahan. Hlm. 461–471 *dalam* Adi Widjiono *et al.* (Eds.) *Prosiding Akselerasi Inovasi Teknologi untuk Mendukung Peningkatan Produksi Aneka Kacang dan Umbi.* Puslitbangtan.
- Trustinah dan R. Iswanto. 2013. Pengaruh interaksi genotipe dan lingkungan untuk hasil pada kacang hijau. *J. Pert. Tan. Pangan.* 32(1):36–42.
- Ullah, H., I.H. Khalil, I.A. Khalil, and G.S.H. Khattak. 2011. Performance of mungbean genotypes evaluated in multi-environmental trial using GGE biplot method. *Atlas J. of Biotech.* 1(1): 1–8.
- Voigt, P.W., and T.E. Staley. 2004. Selection for Aluminium and Acid-Soil Resistance in White Clover. *Crop Sci.* 44:38–48.
- Zhang, X., T. Garnett, K. Davies, D. Peck, A. Humphries, and G. Auricht. 2004. Genetic evaluation and improvement of acid stress tolerance in lucerne breeding. New direction for a divers planet: Proc. of the 4th Internat. Crop Science Congress. Brisbane, Australia, 26 Sep–1 Oct 2004. [http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/3/6/4/631\\_zhangxg.htm](http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/3/6/4/631_zhangxg.htm). diakses[22 September 2008].