

# PERBAIKAN TOLERANSI KACANG TANAH TERHADAP CEKAMAN LINGKUNGAN ABIOTIK

**Astanto Kasno dan Didik Harnowo**

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi

## PENDAHULUAN

Lingkungan abiotik yang akan dibahas dibatasi pada lingkungan lahan masam, salin, cekaman kekeringan dan kahat hara. Cekaman kekeringan dan kahat hara telah dibahas pada buku Monograf kacang tanah edisi tahun 1993, sehingga pada buku Monograf edisi revisi ditekankan pada perbaikan toleransi kacang tanah terhadap cekaman kemasaman tanah dan cekaman salinitas. Lingkungan masam saat ini memberikan kontribusi terhadap produksi kacang tanah masih sekitar 5%, dari luas tanah masam sekitar 16,8 juta ha yang tersebar di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Pengembangan kacang tanah pada lahan kering masam berhadapan dengan kemasaman tanah tinggi, pH rata-rata <4,50, kejenuhan Aluminium (Al) tinggi, miskin kandungan hara makro terutama Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg), dan kandungan bahan organik rendah, sedangkan untuk lahan pasang surut selain hal tersebut juga masalah pengendalian air (Makmun *et al.* 1996; Mulyani 2006).

Dengan menggunakan definisi sebagai tanah yang memiliki pH <5,5 pada lapisan permukaan, Von Uexkull dan Mutert (1995) mengemukakan bahwa luas tanah masam sekitar 3.950 juta ha, sekitar 30% dari total tanah bebas es di dunia, atau sekitar 26% dari total tanah bebas es untuk produksi tanaman. Kesuburan tanah masam rendah, disebabkan oleh kombinasi toksisitas mineral Aluminium (Al) dan Mangan (Mn) dan kekurangan fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan molybdenum (Mo). Namun, keracunan Al merupakan faktor yang paling penting, dan menjadi penghambat utama (67%) dari total produksi tanaman pada tanah masam (Eswaran *et al.* 2001; Eswaran *et al.* 2005).

Mulyani (2006) mengemukakan bahwa lahan kering masam jenis tanah Ultisol tersebar luas di hampir 25% dari total daratan Indonesia. Luas lahan kering masam di Sumatera dan Kalimantan mencapai 16,8 juta ha yang dapat digunakan untuk pengembangan areal pertanian. Penampang tanah yang dalam dan kapasitas tukar kation yang tergolong sedang hingga tinggi menjadikan tanah ini memiliki peranan penting dalam pengembangan pertanian tanah kering di Indonesia. Reaksi tanah Ultisol pada umumnya masam hingga sangat masam (pH 5,0–3,1) kecuali tanah Ultisol dari batu gamping yang memiliki reaksi netral hingga agak masam (pH 6,8–6,5).

Peningkatan produktivitas tanah masam Ultisol dapat dilakukan melalui perbaikan (ameliorasi) tanah (pengapuran, pemberian bahan organik), pemupukan, dan penggunaan varietas toleran atau adaptif pada cekaman tanah masam, serta kombinasinya. Ameliorasi tanah masam dengan pengapuran bertujuan untuk meningkatkan pH dan menurunkan Al-dd dalam tanah (Rosolem *et al.* 1999; Sumarno 2005; Chen *et al.* 2009). Namun pengapuran yang berlebih dapat menyebabkan defisiensi beberapa unsur mikro sebagai akibat naiknya pH. Pengapuran sebaiknya hanya dilakukan bila pH tanah <5, pada pH >5,5 respons Al rendah karena sudah mengendap menjadi Al (OH)<sub>3</sub> (Prasetyo dan Suriadikarta 2006). Cara lain untuk mengatasi keracunan Al adalah pemberian bahan organik ke dalam tanah, karena adanya bahan organik dapat larut, terutama asam-asam

fulvik yang biasanya terdapat pada bahan organik, dapat mengurangi keracunan Al (Hairiah *et al.* 2000). Cara tersebut efektif bila cekaman tanah masam hanya terjadi pada lapisan olah. Bila cekaman tanah masam terjadi hingga ke lapisan subsoil, maka penggunaan varietas toleran atau adaptif tanah masam perlu dilakukan.

Hede *et al.* (2001) melaporkan bahwa setiap jenis tanaman memiliki toleransi yang berbeda terhadap kejenuhan Al, dan berturut-turut dari yang paling toleran hingga peka adalah: Ubikayu (*Manihot esculenta* Crantz), kacang tunggak (*Vigna unguiculata* L. Walp), kacang tanah (*Arachis hypogea*), gude (*Cajanus cajan* L. Millsp.), kentang (*Solanum tuberosum*), padi (*Oryza sativa* L.), dan gandum hitam (*Secale cereale* L.). Tampak bahwa secara alamiah kacang tanah memiliki toleransi yang baik terhadap cekaman kemasaman tanah. Koesrini dan Sabran (1994) melaporkan bahwa galur kacang tanah GH 1697, GH LM/ICGV 86021-88-B-16, dan varietas Kelinci memiliki toleransi yang baik di tanah kering masam. Kacang tanah GH 1697 dan GH LM/ICGV 86021-88-B-16 telah dilepas sebagai varietas unggul tahun 1988, masing-masing adalah varietas Singa dan Jerapah. Sumarno *et al.* (1989) melaporkan bahwa pemberian kapur hingga 3 t/ha pada kacang tanah toleran tanah masam memberikan hasil polong yang sama dengan perlakuan tanpa pemberian kapur dan hasil polong mencapai 2–3 t/ha pada kering masam Ultisol di Lampung. Meskipun toksisitas Al dapat diperbaiki dengan aplikasi pengapuran, namun sering tidak ekonomis meskipun secara fisik layak. Oleh karena itu, menggabungkan penggunaan varietas toleran Al dengan pengapuran merupakan strategi yang seringkali paling efektif dalam meningkatkan produksi tanaman pada tanah masam.

Cekaman salinitas pada tanaman umumnya terjadi ketika konsentrasi cairan tanah bermuatan listrik (*electrical conductivity*/EC) 4 mhos/cm (Reddy 1992), dan batas kritis salinitas air irigasi adalah 3 m mhos/cm. Toleransi terhadap garam pada sebagian besar varietas kacang hijau pada tahap perkecambahan adalah sekitar 9–18 m mhos/cm. Toleransi biji kacang hijau terhadap garam adalah 6 m mhos/cm, dan 3 m mhos/cm untuk kacang hitam (black gram). Cekaman garam menyebabkan penurunan klorofil secara bertahap, pigmen karotenoid dan intensitas fluoresensi klorofil, sedangkan superoksida dismutase dan kegiatan peroksidase katekol meningkat karena cekaman garam pada akar dan daun (Sahva *et al.* 2010). Cekaman garam dikombinasikan dengan jenis cekaman lain yang menyertainya, mengakibatkan perubahan organ spesifik dalam biosintesis dan kandungan *polyamine* pada tanaman kacang hijau. Belum didapatkan informasi toleransi tanaman kacang tanah terhadap cekaman salinitas.

Makalah ini bertujuan untuk menghimpun informasi pengaruh cekaman lingkungan abiotik pada tanaman kacang tanah, terutama cekaman kemasaman lahan, naungan, kekeringan dan salinitas, yang dapat digunakan dalam perbaikan toleransi kacang tanah terhadap cekaman lingkungan abiotik.

## **RESPONS KACANG TANAH TERHADAP CEKAMAN LINGKUNGAN ABIOTIK**

Cekaman lingkungan abiotik terutama salinitas, naungan, dan kemasaman terhadap tanaman kacang tanah pada priode kritis digunakan sebagai landasan untuk menilai toleransinya terhadap cekaman lingkungan abiotik tersebut. Perbaikan toleransi varietas kacang tanah terhadap cekaman lingkungan terus dilakukan dengan berbagai cara, baik secara konvensional maupun inkonvensional (varietas transgenik). Foncéka *et al.* (2009) membuat peta genetik kacang tanah varietas liar yang kemudian diintegrasikan pada

varietas budidaya. Sedangkan Govind *et al.* (2009) melakukan identifikasi dan validasi fungsional gen-gen toleransi terhadap kekeringan pada kacang tanah. Guo *et al.* (2006), melakukan identifikasi dan karakterisasi fosfolipase D dan hubungannya dengan kepekaan (sensitivitas) kacang tanah terhadap cekaman kekeringan. Selanjutnya, Krishna *et al.* (2004) melakukan analisis keragaman genetik kacang tanah tipe Valencia menggunakan penanda Mikrosatelit.

### **Respons terhadap Cekaman Kemasaman Lahan**

Keracunan tanaman (*phytotoxicity*) pada tanah masam disebabkan oleh gangguan nutrisi, kekurangan atau defisiensi hara esensial (utama) seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), molibdenum (Mo), dan fosfor (P), dan keracunan (toksisitas) aluminium (Al), mangan (Mn), dan aktivitas hidrogen. Keracunan Al (toksisitas Al) dianggap sebagai faktor pembatas pertumbuhan tanaman yang paling penting di tanah masam (Jayasundara *et al.* 1998). Cekaman Al menyebabkan akar menjadi bengkak dan rapuh. Ujung akar dan akar lateral menebal dan berubah wana menjadi coklat, sehingga sistem akar secara keseluruhan akan terpengaruh, yang ditandai oleh banyak akar lateral yang pendek dan bercabang. Akar tersebut tidak efisien dalam menyerap hara dan air. Beberapa mekanisme perlambatan pertumbuhan akar, antara lain: interaksi Al dalam dinding sel, membran plasma, atau simplasma akar, ujung akar (*apex*) merupakan tempat yang rentan terhadap keracunan Al. Ternyata akar tidak lebih rentan terhadap penghambatan pertumbuhan oleh Al. Disimpulkan bahwa tudung akar tidak memberikan perlindungan dari kerusakan oleh Al melalui keterlibatannya dalam persepsi dan distribusi hormon (Ryan *et al.* 1993). Toleransi terhadap Al berupa mekanisme yang memfasilitasi eksklusi Al dari ujung akar (mekanisme toleransi eksternal) dan mekanisme yang memberikan kemampuan untuk menenggang (toleransi) Al di simplasma tanaman (mekanisme toleransi internal) (Kochian *et al.* 2004). Asumsi umum bahwa kebanyakan Al dalam akar adalah apoplasmik dan penetrasi Al ke simplasma pada umumnya sangat rendah. Penelitian mengenai mekanisme toleransi internal masih terbatas dibandingkan dengan penelitian tentang mekanisme eksternal. Namun demikian, telah ditunjukkan bahwa 50–70% dari total Al mungkin masuk ke dalam simplasma dan Al dapat masuk ke dalam simplasma 30 menit setelah dicelupkan ke dalam larutan yang mengandung Al (Lazof *et al.* 1994).

Beberapa mekanisme toleransi yang paling penting adalah:

- 1) eksudasi asam organik,
- 2) imobilisasi/di dinding sel,
- 3) eksudasi fosfat,
- 4) Al aktif melintasi membran plasma,
- 5) produksi lendir akar,
- 6) penetrasi Al melalui perubahan pH rizosfer, dan
- 7) permeabilitas selektif membran plasma.

Mekanisme toleransi melalui pengikatan protein Al, khelasi dalam sitosol, pemblokiran (*compartmentation*) di vakuola, evolusi enzim toleran Al, dan aktivitas enzim tinggi. Penelitian membuktikan terjadinya sintesis pengikatan protein-Al (Basu *et al.* 1997).

Trustinah *et al.* (2009), melakukan identifikasi plasma nutfah kacang tanah terhadap cekaman kemasaman pada stadia kecambah dan reproduktif. Penelitian stadia kecambah dilakukan di laboratorium dengan berbagai takaran Al pada pH 4 dan dilanjutkan dengan

pewarnaan akar menggunakan hematoksin. Penelitian lapang dilakukan pada lahan masam Jasinga berkeandungan Al tinggi (kejenuhan Al 91,5%). Genotipe kacang tanah MLGA 0297, MLGA 0112, MLGA 0301, MLGA 0292, MLGA 0190, MLGA 0004, MLGA 0001, dan MLGA 306 teridentifikasi toleran terhadap kemasaman lahan (Trustinah *et al.* 2009). Kasno (2010) mendapatkan varietas Talam-1 yang memiliki toleransi terhadap cekaman kemasaman lahan dan jamur *Aspergillus flavus*.

### **Respons terhadap Cekaman Naungan**

Fase pembungaan hingga pembentukan polong dan fase pengisian biji merupakan fase yang peka terhadap naungan. Laju pertumbuhan vegetatif selama fase pengisian polong sangat rendah sebagai akibat dari peningkatan naungan pada fase tersebut. Nodulasi pada tanaman ternaungi berkurang, dan terjadi pengurangan kandungan klorofil. Kandungan minyak pada biji tidak terpengaruh oleh naungan. Naungan menyebabkan penurunan jumlah polong, bobot biji, dan hasil polong. Sebaliknya, peningkatan naungan pada fase pemasakan tidak menyebabkan penurunan hasil polong. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil polong sekitar 90% dapat dilakukan dengan menghindari naungan saat berbunga dan fase pembentukan polong umur pada 45 hari.

Etiolasi karena naungan memberikan kontribusi terhadap penurunan jumlah polong. Bobot bahan kering dan hasil biji turun masing-masing sebesar 35% di bawah naungan jagung varietas TZEWE dan 55% di bawah jagung varietas DMR-ESRW. Hubungan antara penurunan hasil dan tingkat naungan mencerminkan tahap-tahap adaptasi kacang tanah terhadap cekaman cahaya (Adjahossou *et al.* 2008).

### **Respons terhadap Cekaman Salinitas**

Salinitas dikenal menghambat pertumbuhan tanaman melalui pengaruhnya terhadap beberapa aspek metabolisme tanaman seperti penyesuaian tekanan osmotik, serapan ion, protein dan sintesis asam nukleat, fotosintesis, aktivitas enzim dan keseimbangan hormon. NaCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menyebabkan akumulasi Na, P, Fe dan Mn pada akar, batang, daun dan ginofor. Perlakuan NaCl menyebabkan akumulasi Cl pada organ tersebut. Penyerapan K terhambat oleh kedua garam sedangkan serapan Ca terhambat terutama oleh Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada kacang tanah varietas TMV-10. Salinitas karena rembesan air laut ke dalam tanah dan pencampuran dengan air tanah, meningkatkan konduktivitas listrik (*Electrical Conductivity*) air tanah sehingga tidak cocok untuk irigasi. Di India, salinitas menjadi masalah di Andhra Pradesh, Gujarat, Tamil Nadu, Karnakata, Maharastra dan Rajasthan, di mana kacang tanah merupakan tanaman utama dan disukai oleh petani karena sebagai pakan ternak utama (Rukam *et al.* 2007). Genotipe ICGS 76, MA 16, S 206, TG 17, GG 20, JL 24, Punjab 1, TMV 12, MH 2, M 522, Tirupati 3, Dh 3-30, TMV 2 dan GG 2 memiliki mortalitas rendah dan dapat dianggap sebagai varietas toleran terhadap salinitas secara *in Vitro*. Konsentrasi 100–125 mM NaCl sesuai untuk pentapisan/skrining toleransi terhadap salinitas (Vadez *et al.* 2005; Alpa *et al.* 2008).

Di Mesir, Sahva *et al.* (2010) melaporkan bahwa kacang tanah varietas Gregory lebih toleran terhadap cekaman salinitas dibandingkan dengan varietas Giza 6. Dilaporkan pula bahwa meningkatkan salinitas menyebabkan penurunan hasil biji, kandungan minyak dan protein pada biji, penurunan kandungan N, P dan K pada brangkasan, dan penurunan tersebut pada varietas Gregory lebih rendah dibandingkan dengan varietas Giza 6.

## Respons terhadap Cekaman Air

Cekaman air berhubungan dengan kekeringan, fotosintesis, nutrisi mineral, metabolisme, pertumbuhan dan hasil kacang tanah (Bartels dan Sunkar 2005; Bernardo 2002; Devaiah *et al.* 2007). Selain itu, kondisi kekeringan mempengaruhi pertumbuhan gulma, manajemen agronomi dan, sifat dan intensitas serangga, hama dan penyakit (Weightman dan Rangga 1994; Luo *et al.* 2005). Parameter seperti kadar air relatif daun (RWC), potensial air daun, resistensi stomata, laju transpirasi, suhu daun, dan suhu kanopi mempengaruhi hubungan air pada kacang tanah selama kekurangan air.

Tanaman tercekam air memiliki kandungan air relatif lebih rendah dibandingkan tanaman yang cukup air. Misalnya, kadar air relatif tanaman tidak tercekam kekeringan berkisar dari 83–90%, sedangkan tanaman tercekam air, mungkin  $\leq 30\%$  (Babu dan Rao 1983). Daun kacang tanah menunjukkan variasi harian yang besar dengan nilai yang tinggi di pagi hari, diikuti nilai yang rendah sekitar tengah hari dan meningkat secara bertahap setelah tengah hari (Erickson dan Ketring 1985).

Potensi osmotik mengikuti pola yang sama tetapi kisarannya lebih sempit daripada potensial air daun. Laju transpirasi umumnya berkorelasi dengan insiden radiasi matahari di bawah ketersediaan air yang cukup. Namun, tanaman yang mengalami cekaman kekeringan transpirasinya lebih rendah dari tanaman yang tidak tercekam air.

Laju transpirasi potensial air daun dan laju fotosintesis menurun secara progresif dengan meningkatnya lama cekaman air menunjukkan bahwa tanaman di bawah cekaman ringan yang menunda dehidrasi jaringan. Konduktansi stomata terus menurun hampir selama periode cekaman menunjukkan bahwa konduktansi stomata lebih sensitif daripada transpirasi selama periode cekaman awal. Penyesuaian osmotik terjadi pada kuncup daun, yang memungkinkan daun dapat mempertahankan turgor yang lebih tinggi selama periode cekaman berat. Penyesuaian ini dengan cepat hilang ketika bebas dari cekaman air (Ahmad dan Basha 1998; Basha *et al.* 2007).

Pengamatan umum bahwa pada kondisi cekaman kelembaban berat, polong muda kehilangan turgor dan mengkerut. Resistensi stomata pada daun tua lebih besar dari daun muda. Daun juga menjadi lebih tebal di bawah cekaman air moderat. Pengembangan daun kacang tanah memiliki lapisan sel yang tebal tidak seperti biasanya tanpa kloroplas dengan epidermis lebih rendah di bawah jaringan parenkim. Sel-sel pada lapisan parenkim dianggap sebagai sel-sel penyimpanan air. Selama tercekaman kelembaban, daun trifoliolate sejajar dengan radiasi matahari, dalam upaya untuk mengurangi beban radiasi matahari.

Ekspansi daun lebih sensitif terhadap defisit air tanah daripada penutupan stomata. Cekaman air mengurangi luas daun dengan memperlambat perluasan/ekspansi daun dan mengurangi pasokan karbohidrat. Cekaman air berat menurunkan kadar klorofil a, b, dan jumlah klorofil. Penurunan klorofil mendorong penghambatan sintesis klorofil dan mempercepat ketersediaan klorofil. Cekaman air secara periodik menyebabkan perubahan anatomi seperti penurunan ukuran sel dan ruang antar sel, dinding sel lebih tebal dan pengembangan jaringan epidermis yang lebih besar. Fiksasi nitrogen pada tanaman aneka kacang berkurang karena cekaman kelembaban akibat penurunan leg hemoglobin dalam nodula, aktivitas nodula spesifik dan jumlah daerah kering juga berkurang. Selain itu, bobot kering nodula juga nyata berkurang pada tanaman tercekam air. Akumulasi senyawa larut dalam sel meningkatkan potensi osmotik dan mengurangi kehilangan air sel. Prolin dan asam amino terakumulasi setiap kali terjadi cekaman kelembaban. Akumulasi

prolin lebih besar pada cekaman air stadia lanjut dan konsentrasinya dianggap sebagai indikator yang baik dari cekaman kelembaban. Kebocoran zat terlarut sebagai konsekuensi dari kerusakan membran merupakan respon umum jaringan kacang tanah terhadap cekaman air. Proses metabolisme dipengaruhi oleh defisit air. Defisit air yang parah menyebabkan penurunan aktivitas enzimatik. Kompleks karbohidrat dan protein dipecah oleh enzim, masing-masing menjadi gula sederhana dan asam amino (Pandey *et al.* 2012; Reddi dan Redely 1995).

Terdapat bukti bahwa serapan hara N, P dan K pada kacang tanah berkurang karena cekaman air (Kulkaini *et al.* 1988). Awal/saat berbunga tidak tertunda karena cekaman air, jumlah bunga per tanaman dan laju produksi bunga meningkat karena cekaman air. Ketika terjadi cekaman air periode 30–45 hari setelah tanam, penyiraman pertama sejak bunga diproduksi hingga 45 hari, maka bunga tidak membentuk ginofor selama waktu itu, dan bunga yang dihasilkan setelah penyiraman tidak menggantikan untuk kerugian tersebut. Tanaman kacang tanah yang mengalami cekaman air selama pembentukan dan pengembangan polong dan kemudian mengalami kecukupan air, mengakibatkan penurunan hasil panen yang nyata, dan besar penurunan hasil tergantung pada varietas kacang tanah (Rucker *et al.* 1995; Jogloy *et al.* 1996; Reddy *et al.* 2003).

Perpanjangan ginofor tergantung tekanan turgor, dan tertunda karena cekaman air. Ginofor gagal untuk menembus ke dalam tanah kering, terutama pada lapisan tanah keras, dan ginofor dapat tertahan selama empat hari bila permukaan tanah terlalu kering untuk penetrasi polong. Setelah ginofor berada di dalam tanah, perlu kelembaban dan kegelapan yang memadai untuk pengembangan polong.

Kelembaban tanah merupakan faktor kritis untuk pengembangan ginofor pada pembentukan polong, dan air tanah yang memadai di zona akar tidak dapat mengkompensasi kekurangan air pada zona polong untuk 30 hari pertama pengembangan polong. Pengembangan polong dan biji tertunda bila terjadi kekeringan di zona akar. Defisit air tanah pada zona akar akan menurunkan tingkat pertumbuhan polong dan biji sekitar 30% dan penurunan bobot per biji 563–428 mg. Pertumbuhan awal ginofor tertunda selama tercekam air dan mulai kembali setelah bebas dari cekaman air. Tanggapan pengembangan ginofor dan biji pada varietas kacang tanah secara substansial beragam, dan menyebabkan penurunan besar hasil polong dengan persentase bervariasi antarvarietas kacang tanah (Nageswara Rao *et al.* 1989; Jain *et al.* 2001).

### **Kriteria Seleksi Toleransi terhadap Cekaman Lingkungan Abiotik**

Tanggap kacang tanah terhadap cekaman lingkungan abiotik, terutama, kemasaman, naungan, salinitas dan cekaman air, pada periode kritis tanaman menunjukkan waktu dan kriteria seleksinya. Seleksi kacang tanah langsung pada lingkungan yang bersangkutan lebih menguntungkan, dan hasil polong dapat digunakan sebagai kriteria seleksi. Keuntungan utama penggunaan hasil polong sebagai kriteria seleksi adalah untuk mengintegrasikan semua efek aditif dari berbagai mekanisme yang mendasari toleransi terhadap cekaman lingkungan abiotik. Cekaman lingkungan abiotik dapat menurunkan hasil polong sekitar 10%, atau hasil polong sekitar 90% dapat digunakan sebagai patokan dalam melakukan seleksi. Cekaman lingkungan abiotik (cekaman air, kemasaman, naungan dan Salinitas) secara buatan dapat dilakukan pada periode berbunga dan fase pembentukan polong umur 45 hari.

## SUMBERDAYA GENETIK KACANG TANAH

Sumberdaya genetik (SDG) dapat dianggap sebagai populasi dasar, dan harus memiliki keragaman genetik yang luas, terutama untuk karakter yang bernilai ekonomi seperti hasil, toleransi terhadap cekaman lingkungan biotik dan abiotik. SDG terdiri dari varietas: liar, introduksi, lokal, varietas unggul lama dan baru, mutan, galur-galur homosigot hasil persilangan, dan genus-genus yang sama. SDG kacang tanah di Balitkabi hanya terdiri dari varietas (introduksi, lokal), dan galur-galur homosigot hasil persilangan, yang semuanya berjumlah 550 (Tabel 1). Kacang tanah tergolong tanaman menyerbuk sendiri dan persarian terjadi sebelum bunga mekar (kleistogami). Oleh karena itu, peluang terjadinya silang luar (*out crossing*) sangat kecil.

Tabel 1. Sumber Daya Genetik kacang tanah di Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi tahun 2014.

Tipe genotipe	Jumlah	%
Varietas Introduksi	240	43,6
Varietas Lokal	104	19,0
Varietas Unggul	36	6,5
Galur Homosigot	170	30,9
Jumlah	550	100,0

Program pemuliaan pada periode tahun 1986 hingga sekarang mulai memperhatikan faktor lingkungan abiotik, terutama cekaman air, cekaman kemasaman lahan, pencahayaan dan kahat hara terutama hara besi di tanah Alfisol alkalis. Varietas kacang tanah toleran cekaman lingkungan abiotik tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Varietas kacang tanah toleran cekaman lingkungan abiotik. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi tahun 2014.

No	Nama varietas	Tipe kacang tanah	Toleransi terhadap lingkungan abiotik	Tahun pelepasan
1	Badak	Valencia	Toleran lahan masam (TLH)	1991
2	Panter	Valencia	Toleran kekeringan (TK)	1998
3	Singa	Valencia	Toleran cekaman air	1998
4	Jerapah	Spanish	TK dan TLH	1998
5	Sima	Valencia	TK dan TLH	2001
6	Turangga	Valencia	TK dan naungan	2001
7	Kancil	Spanish	Toleran kahat Fe	2001
8	Tuban	Spanish	TK dan kahat Fe	2001
9	Bison	Spanish	Toleran naungan dan kahat Fe	2004
10	Domba	Valencia	Toleran kahat Fe	2004
11	Talam 1	Spanish	Toleran lahan masam	2012
12	Talam 2	Spanish	Toleran lahan masam	2014
13	Talam 3	Spanish	Toleran lahan masam	2014

## LANDASAN GENETIK

Pemilihan dan pengembangan genotipe kacang tanah yang memiliki toleransi terhadap cekaman lingkungan abiotik, terutama cekaman air, kemasaman tanah/keracunan dari Al, naungan dan salinitas merupakan solusi yang rasional untuk masalah lingkungan sub-optimal.

### **Skrining Toleransi Kacang Tanah terhadap Kemasaman/Aluminium**

Metode skrining toleransi kacang tanah terhadap Al dengan menggunakan sel dan kultur jaringan, budidaya dengan larutan hara (Baier *et al.* 1995), bioassay tanah (Ring *et al.* 1993), dan skrining di lapang (Johnson *et al.* 1997). Skrining di laboratorium dan rumah kaca merupakan teknik skrining toleransi kacang tanah terhadap Al yang banyak digunakan karena cepat, sangat akurat, non-destruktif, dan dapat diterapkan pada awal perkembangan tanaman. Teknik skrining di lapang lebih mahal dan padat karya (Carver dan Ownby 1995).

Kajian genetik menunjukkan bahwa toleransi kacang tanah terhadap Al pada varietas Atlas 66 ditentukan oleh mekanisme genetik kompleks yang melibatkan setidaknya dua gen dominan dan mungkin beberapa gen minor. Berzonsky (1992) menyimpulkan bahwa toleransi kacang tanah varietas Atlas 66 terhadap Al ditentukan oleh gen dominan yang terletak pada genom D dan gen pada genom A dan/atau B. Rajaram *et al.* (1991) menemukan adanya dua gen dominan saling melengkapi dalam satu tetua dan satu gen resesif.

Informasi tentang mekanisme toleransi kacang tanah terhadap cekaman Al, kontrol genetik dan lokasi gen toleransi menarik bagi berbagai spesies tanaman. Genotipe yang diidentifikasi penanda molekuler yang terkait erat dengan gen toleransi terhadap cekaman Al dan seleksi berbantuan marka (*marker assisted selection/MAS*) dapat dilakukan persilangan dengan varietas lain yang diinginkan agar mendapatkan keturunan yang memiliki toleransi terhadap Al.

### **1. Metode Larutan Nutrisi**

Penggunaan teknik larutan nutrisi terbukti sangat relevan dengan kondisi masam. Genotipe yang toleran terhadap cekaman Al berdasarkan larutan nutrisi menunjukkan peningkatan penampilan agronomi pada tanah masam dan cekaman Al (Rengel dan Yurkic 1993; Baier *et al.* 1995).

### **2. Metode Pewarnaan Hematoksilin**

Metode pewarnaan hematoksilin merupakan alat yang sangat ampuh untuk menilai toleransi tanaman terhadap Al tanpa pengukuran kuantitatif. Pewarna hematoksilin membentuk kompleks dengan jaringan Al berupa  $AlPO_4$  di bawah permukaan akar (Ownby 1993).

Terdapat variasi metode dalam melakukan skrining, menggunakan hematoksilin dengan pewarnaan ujung akar sebagai indikator toleransi terhadap Al. Intensitas pewarnaan yang semakin meningkat, mencerminkan tingkat serapan Al yang lebih tinggi, terjadi penurunan tingkat toleransi terhadap Al. Prosedur lain dalam menggunakan hematoksilin yaitu, metode modifikasi-pulsa, dalam mengevaluasi toleransi terhadap Al berdasarkan kemampuan kecambah untuk melanjutkan pertumbuhan akar setelah dicelupkan pada larutan hematoksilin dengan konsentrasi Al tinggi. Kecambah tanaman yang sensitif ter-



hadap Al tidak menunjukkan pertumbuhan akar karena meristem apikalnya telah rusak. Metode ini dapat diterapkan untuk menentukan toleransi terhadap Al melalui pengukuran pertumbuhan akar (Gallego dan Benito 1997) atau mengevaluasi kecambah pada skala 1 sampai 3 (toleran, agak toleran, dan rentan) berdasarkan kemampuan tanaman untuk menumbuhkan kembali akar (Riede dan Anderson 1996).

Prosedur kerja metode Hematoksilin di laboratorium.

- 1) Mensterilkan benih dengan menempatkan dalam larutan natrium hypochloride 3% selama 5 menit dan pembilasan dengan air.
- 2) Menempatkan benih pada kertas saring (filter) lembab dalam cawan petri selama 84 jam pada suhu 7 °C dan biarkan berkecambah pada suhu kamar (18–20 °C) selama kurang lebih 24 jam.
- 3) Menempatkan kecambah dengan panjang akar yang sama (5–10 mm) dan ukuran endosperm pada jaring polietilen pada bingkai tetap kerangka Lucite, lampirkan blok styrofoam ke rangka Lucite dengan karet gelang sehingga hal tersebut terapung.
- 4) Tempatkan dalam wadah plastik berisi larutan nutrisi (4 mM CaCl<sub>2</sub>, 6,5 mM KNO<sub>3</sub>, 2,5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,1 mM (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan 0,4 mM NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) dengan pH 7. Tempatkan wadah plastik dalam bak air pada suhu 25 °C. Tumbuhkan kecambah pada larutan nutrisi selama 32 jam. Teruskan dengan aliran udara pada larutan nutrisi selama proses berlangsung.
- 5) Pindahkan kerangka berisi kecambah ke larutan nutrisi yang mengandung Al (pH 4,0) dan biarkan dalam larutan selama 17 jam. Cuci akar dengan air dengan larutan hematoksilin 0,2% selama 15 menit, dan cuci kelebihan pewarna hematoksilin.
- 6) Setelah dicuci, kembalikan kecambah ke larutan nutrisi dan biarkan selama 24 jam.
- 7) Ambil kecambah, kemudian ukur pertumbuhan akar atau nilai toleransinya; toleran (T), rentan (S), atau cukup toleran (MT). Kecambah dengan semua akar yang menunjukkan pertumbuhan dinilai T, sedangkan kecambah yang tidak menunjukkan pertumbuhan akar dinilai S. Kecambah yang beberapa akarnya menunjukkan pertumbuhan dinilai MT.

### **3. Metode Pertumbuhan Akar (Root Growth/RG)**

Metode pertumbuhan akar menganggap dua parameter toleransi terhadap Al: pertumbuhan akar (Root Growth/RG) dan indeks toleransi akar (Root Tolerance Index/RTI). Parameter RG dan RTI diukur pada kondisi cekaman Al, dibandingkan RG dan RTI pada kondisi tanpa cekaman Al. Larutan nutrisi berkekuatan ion rendah dipadu (combined) dengan konsentrasi Al rendah digunakan sebagai bukti yang menunjukkan bahwa studi toleransi terhadap Al harus dilakukan dengan menggunakan larutan yang mengandung kekuatan ion dan aktivitas Al mendekati komposisi tanah. Penilaian toleransi terhadap Al berdasarkan RG dan RTI telah digunakan secara luas dalam studi genetik dan molekuler (Baier *et al.* 1996).

Prosedur kerja metode RG:

1. Sterilkan benih/biji dengan larutan natrium hypochloridee 3% selama 5 menit dan membilasnya dengan air menyeluruh.

2. Tempatkan Benih pada kertas saring lembab dalam cawan petri selama 84 jam pada suhu 7 °C dan biarkan agar berkecambah pada suhu kamar (18–20 °C) selama kurang lebih 24 jam.
3. Tempatkan kecambah dengan panjang akar yang sama (5–10 mm) dan ukuran endosperm pada jaring polietilen pada bingkai tetap kerangka Lucite, lampirkan blok *styrofoam* ke rangka Lucite dengan karet gelang sehingga hal tersebut terapung.
4. Tempatkan kecambah dalam wadah plastik yang berisi larutan nutrisi berkekuatan rendah (400 µM CaCl<sub>2</sub>, 650 µM KNO<sub>3</sub>, 250 µM MgCl<sub>2</sub>, 10 µM (KH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 40 µM (NH<sub>4</sub>)NO<sub>3</sub>) yang mengandung Al dan dipertahankan pada pH 4,0. Sebagai kontrol, eksperimen serupa tetapi tanpa Al dalam medium dan dilakukan pada waktu yang sama. Ganti larutan setiap hari untuk meminimalkan perubahan pH dan konsentrasi aluminium. Tempatkan wadah tadi selama empat hari di ruang perkecambahan (*growth chamber*) (diutamakan ruang perkecambahan dengan suhu dipertahankan pada 25 °C/16 jam siang hari/8 jam malam hari, dan kelembaban relatif 70%).
5. Ambil kecambah dan ukur akar primer terpanjang masing-masing kecambah dan kemudian dihitung rata-ratanya, lalu gabungkan data dari setiap genotipe. Pertumbuhan akar (*Root Growth/RG*) adalah kecambah setelah empat hari dalam larutan yang mengandung Al, sedangkan RTI dihitung sebagai nisbah antara RG dan pertumbuhan akar rata-rata kecambah setelah tumbuh empat hari dalam larutan tanpa Al (kontrol).

Hede *et al.* (2001) menyimpulkan bahwa cara untuk memisahkan efek vigor akar dan toleransi terhadap cekaman Al, dengan menyertakan kontrol tanpa cekaman (non-stres) dalam penelitian. Metode *hematoksilin* masih merupakan cara yang sangat efisien untuk mengevaluasi sejumlah besar kecambah pada pengelompokkan populasi elit plasma nutfah. Metode pertumbuhan akar, di mana panjang akar setiap tanaman tunggal harus diukur sebelum dan sesudah perlakuan Al, lebih padat karya (*laborious*) daripada metode *hematoksilin*. Biaya tambahan metode pertumbuhan akar dibenarkan bila yang diskринing adalah plasma nutfah baru atau eksotis, seperti aksesori-aksesori bank gen. Parameter RTI (*root tolerance index*) akan mengidentifikasi genotipe yang mungkin memiliki alel unggul (*superior*) untuk toleransi terhadap Al, mungkin juga memiliki latar belakang genetik untuk karakter agronomi tanaman dan vigor akar kurang diinginkan.

#### 4. Sel dan Kultur Jaringan

Aplikasi sel dan kultur jaringan mungkin merupakan alternatif cara skrining untuk toleransi tanaman terhadap cekaman Al, karena resistensi terhadap cekaman Al dapat diekspresikan tanaman pada tingkat sel (Taylor 1995; Ferguson *et al.* 2004).

#### Bioassay tanah

Bioassay tanah tidak selalu dilakukan pada tanah dari area produksi yang ditargetkan, namun skrining dilakukan pada tanah yang mewakili wilayah yang ditargetkan bisa jadi langkah kritis yang penting, setelah skrining dalam larutan nutrisi tapi sebelum dievaluasi di lapang yang lebih luas dan mahal (Carver dan Ownby 1995). Bioassay Tanah memiliki keuntungan dibandingkan dengan budidaya larutan nutrisi bila toleransi terhadap cekaman Al dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal tanah yang pada media larutan kurang mendapat perhatian dalam evaluasi toleransi terhadap cekaman Al, beberapa contohnya penggunaan dapat ditemukan dalam literatur (Ring *et al.* 1993).

## Evaluasi lapang

Metode paling mutakhir dan langsung mengevaluasi toleransi terhadap cekaman Al adalah dengan mengukur nilai ekonomi hasil (hijauan atau biji-bijian) pada kondisi lapangan. Evaluasi lapangan biasanya dilakukan dalam dua duplikat uji: pada plot tanam yang belum mendapat perlakuan masam (diamendemen), dan plot lainnya diberi perlakuan dengan kapur. Data dilaporkan sebagai rasio hasil polong di plot belum diamendemen dengan yang diplot yang dikapur untuk mengetahui potensi hasil tanpa cekaman kemasaman tanah (Johnson *et al.* 1997).

Masalah yang paling penting dalam mengevaluasi toleransi tanaman terhadap cekaman Al di lapang adalah adanya jamur patogen tanah, dan pengapuran pada tanah masam untuk menaikkan pH tanah (Johnson *et al.* 1997). Evaluasi toleransi terhadap cekaman Al di lapangan, adalah pekerjaan yang melelahkan dan berbiaya lebih mahal (Johnson *et al.* 1997).

## Cekaman Salinitas

Tanah salin membatasi budidaya kacang tanah, terutama varietas yang sensitif terhadap kadar natrium tanah, dan tanah salin dapat ditanami dengan pengairan yang memiliki konduktivitas listrik (EC) hingga 3,0 dS/m. Terdapat keragaman genotipik toleransi kacang tanah terhadap salinitas (Singh *et al.* 2004; Singh *et al.* 2007), namun tidak tersedia manajemen praktis dan varietas kacang tanah toleran salinitas. Pengembangan varietas toleran dan manajemen praktis yang dapat mengurangi cekaman salinitas, sehingga wilayah yang dapat ditanami dapat diperluas sehingga produksi kacang tanah meningkat. Salinitas menurunkan perkecambahan, pertumbuhan tanaman dan produksi bahan kering, dan menginduksi Ca, K dan kekurangan Fe dalam tanah (Singh *et al.* 2004) menyebabkan kehilangan hasil (Hunshal *et al.* 1997).

Galur kacang tanah yang memiliki toleransi terhadap klorosis karena kahat besi pada tanah berkapur dan basa telah diidentifikasi, telah teridentifikasi pula toleransi pula toleran terhadap keasaman tanah (Singh *et al.* 2004). Namun sedikit informasi mengenai toleransi kacang tanah terhadap cekaman salinitas.

Beberapa upaya yang telah dilakukan untuk menyaring genotipe kacang tanah dengan menggunakan perkecambahan dan pertumbuhan tanaman sampai fase vegetatif dan di lapang dengan menggunakan jumlah genotipe terbatas yang tidak memiliki banyak variasi (Nautiyal *et al.* 2000; Mensah *et al.* 2009; Burow *et al.* 2001).

Kajian apapun dalam penyaringan genotipe kacang tanah toleran salinitas hingga panen di lapang sangat sulit mendapatkan genotipe yang toleran salinitas.

Usaha pembakuan protokol/cara pentapisan/skrining genotipe kacang tanah toleran salinitas dengan hasil yang dapat diterima, sangat strategis. Telah pula dilakukan kajian sistematik di lapang dengan pentapisan genotipe generasi lanjut, akses plasma nutfah, dan genotipe yang efisien nutrisi (Vadez *et al.* 2005).

Peningkatan konsentrasi prolin dan glycinebetaine juga diamati dengan penambahan 5 mM CaCl 200 mM NaCl (cekaman maksimum salinitas). Ion kalsium memainkan peran penting dalam osmoproteksi (*osmoprotection*). Pengaruh Na<sup>+</sup> dan Ca<sup>+</sup>: bersifat aditif yang menyebabkan akumulasi prolin dan glycinebetaine. Reduktase Pyrroline-5-karboksilat (P-5-CR) dan  $\gamma$ -glutamil kinase memainkan peran penting dalam sintesis prolin, sementara enzim oksidase prolin lain mengkatalisis prolin menjadi glutamat, sehingga mengurangi tingkat prolin.

Cekaman salinitas, dengan tidak adanya kalsium, peningkatan prolin karena penurunan aktivitas enzim oksidase prolin dan peningkatan akumulasi P-5-CR dan kegiatan kinase  $\gamma$ -glutamil pada akar dan tajuk/tunas. Dengan demikian, ion kalsium meningkatkan produksi prolin dan glycinebetaine pada kecambah kacang hijau yang tercekam NaCl (Misra dan Gupta 2005).

Indeks panen menunjukkan keragaman/variasi besar terutama karena variasi jumlah polong. Hasil biji per satuan luas berkisar 3,8–136 g/m<sup>2</sup> dengan rata-rata 35 g/m<sup>2</sup>. Bila genotipe yang disusun menurut hasil biji maka terdapat 28 genotipe bobot biji lebih dari 35 g/m<sup>2</sup> dan 16 lebih dari 50 g/m<sup>2</sup>.

Persentase kematian tanaman dan bobot polong tergantung pada tingkat salinitas, musim, dan besarnya variasi genotipe. Salinitas tinggi selama musim kemarau menyebabkan banyak tanaman mati, dan genotipe kacang tanah tidak dapat membentuk biji. Pada kondisi demikian, jumlah tanaman tumbuh dapat digunakan sebagai kriteria seleksi genotipe kacang tanah toleran terhadap salinitas. Toleransi adalah istilah relatif terutama tergantung pada intensitas salinitas dan penampilan relatif suatu genotipe. Genotipe kacang tanah dengan daya tumbuh yang tinggi diikuti dengan tanaman dipanen dan mortalitas yang rendah di bawah kondisi salin dapat dianggap sebagai toleran terhadap cekaman salinitas.

Jadi cekaman salinitas pada kacang tanah di musim kemarau di tanah salin lebih berat daripada di musim hujan. Persentase rata-rata tanaman mati saat panen pada musim kemarau jauh lebih tinggi dari musim hujan, demikian pula hasil biji per satuan luas pada musim hujan lebih tinggi. Demikian budidaya kacang tanah toleran terhadap salinitas pada musim kemarau di tanah salin tidak ekonomis.

### **Perbaikan Toleransi Kacang Tanah terhadap Naungan**

Toleransi tanaman terhadap naungan diperlukan pada budidaya tanaman secara tumpangsari dengan sesama tanaman pangan atau tumpangsari tanaman pangan dengan tanaman keras.

Sistem tanam tumpangsari diketahui meningkatkan efisiensi penggunaan lahan yang dinilai dengan Nisbah Kesetaraan Lahan (*Land Efficiency Ratio/LER*) menambah variasi hasil, dan meningkatkan pendapatan. Langat *et al.* (2006) membuktikan bahwa tumpangsari kacang tanah dengan sorgum, meningkatkan LER menjadi 2,10-2,12. Pada musim kemarau, kombinasi terbaik terjadi bila dua baris kacang tanah diselingi dengan dua baris sorghum, namun bila tanaman sorgum yang diutamakan kombinasinya adalah satu baris kacang tanah dan dua baris sorghum. Sebaliknya, bila kacang tanah yang diutamakan kombinasinya adalah dua baris kacang tanah dan satu baris sorgum. Penanaman 46% pada periode berbunga hingga pembentukan ginofor hanya meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman, tetapi laju perkembangan daun maksimum pada batang utama, perluasan daun dan hasil polong sama pada semua tanaman (kacang tanah dan tanaman sereal). Naungan mengurangi laju pertumbuhan linear karena berkurangnya intersepsi cahaya dan tidak sepenuhnya diimbangi oleh peningkatan efisiensi penggunaan cahaya. Penanaman dini pada tanaman kacang tanah ternaungi bertepatan dengan berhentinya pembentukan polong. Bila tanaman kacang tanah dinaungi dari periode berbunga hingga pembentukan ginofor menghasilkan proporsi polong isi yang lebih besar pada saat panen daripada perlakuan lainnya. Wu *et al.* (2011) mengemukakan bahwa varietas kacang tanah yang memiliki ukuran polong besar bila ditanam secara tumpangsari dengan gandum memiliki

periode simbiosis selama 30 hari. Penaungan lebih dari 30 hari setelah tanaman tumbuh dapat mengurangi jumlah polong per tanaman, bobot polong dan hasil polong. Semua pelakuan naungan (selama 45 atau 60 hari setelah kecambah) menurunkan hasil polong yang nyata pada varietas Baisha 1016. Lebih lanjut dikemukakan bahwa kandungan protein biji menurun pada sembarang lama penaungan 30, 45 dan 60 hari, setelah kecambah kacang tanah muncul dari permukaan tanah. Sebaliknya, kandungan lemak meningkat sedikit meskipun tidak berbeda dengan pembanding. Fase berbunga, pembentukan ginofor dan pengisian biji peka terhadap naungan. Peningkatan naungan pada fase pemasakan biji tidak menurunkan hasil, dan hasil polong 90% dapat dicapai bila kacang tanah terhindar dari penaungan pada periode berbunga dan pembentukan ginofor atau selama 45 hari setelah tanam (Rao dan Mitra 2008). Zhang *et al.* (2009) mengemukakan bahwa penaungan pada fase kecambah meningkatkan kemampuan kacang tanah dalam menggunakan cahaya intensitas rendah, tetapi kemampuan menggunakan cahaya tinggi berkurang.

## **Perbaikan Toleransi Kacang Tanah terhadap Cekaman Air**

### **Skrining toleransi kacang tanah pada stadia kecambah dengan PEG**

Riadi (2005) menyarankan bahwa skrining cepat toleransi kacang tanah terhadap cekaman air dapat dilakukan di laboratorium dengan menggunakan simulasi cekaman osmotik dengan osmotikum larutan PEG 6000, tekanan 3 bar atau  $-0,3$  MPa dengan menggunakan panjang hipokotil sebagai kriteria seleksi. Polyethylene Glycol (PEG) 6000 memiliki bobot molekul yang besar sehingga tidak dapat diserap oleh benih dalam proses perkecambahan. PEG adalah polimer yang diproduksi dalam berbagai bobot molekul yang dapat digunakan untuk modifikasi potensial osmotik suatu kultur larutan hara (hidroponik) dan mempengaruhi defisit air tanaman yang relatif terkendali sehingga sesuai untuk panduan suatu percobaan. Dengan asumsi bahwa PEG dengan bobot molekul yang besar dan tidak menetrasi tanaman, dan karenanya dinilai sebagai osmotikum yang ideal sebagai media hidroponik akar. Michel (1971) melaporkan bahwa PEG 6000 tidak terserap masuk ke dalam dinding sel hipokotil kecambah benih mentimun. Dan menurutnya, pengaruh cekaman kekurangan air pada media tanah dapat didekati dengan menggunakan larutan PEG 6000. Bila menggunakan media tanah di pot disarankan pada kandungan air tanah 25% atau setara dengan potensial air tanah yakni pF 3,8.

### **Skrining toleransi kacang tanah terhadap cekaman air di lapang**

Riadi (2005) mengemukakan bahwa toleransi kacang tanah pada stadia kecambah tetap konsisten hingga stadia reproduktif dan kacang tanah varietas Jerapah dan Singa sebagai pembanding toleran cekaman air. Jumlah polong dan hasil polong dengan indeks toleransi terhadap cekaman air digunakan sebagai kriteria seleksinya.

Seleksi di lapang, terutama tanah Alfisol dapat dilakukan pada musim kemarau dengan cekaman air 25% dari kapasitas lapang yang dicapai dengan penyiraman dengan volume air  $91 \text{ m}^{-2}$  setiap tiga hari sekali dari saat tanam hingga menjelang panen. Dengan cara tersebut, kandungan air massa tanah yang dapat dipertahankan hingga ke dalaman 30 cm, antara 15,4–21,03% setara dengan  $-4,58$  MPa– $-0,91$  MPa atau pF 4,6–3,9 (Riadi 2005). Seleksi genotipe kacang tanah di lapang merupakan lanjutan seleksi di laboratorium (Bartels dan Sunkar 2005).

## **Prosedur Pemuliaan**

Prosedur pemuliaan toleransi kacang tanah terhadap cekaman lingkungan abiotik (kekeringan, kemasaman lahan, naungan, dan salinitas) sama dengan prosedur pemuliaan toleransi terhadap cekaman lingkungan biotik, yaitu: prosedur jangka pendek dan jangka panjang. Prosedur jangka pendek, tanpa melalui persilangan, dan jangka panjang, melalui persilangan atau mutasi buatan.

### **Prosedur Pemuliaan Jangka Pendek**

Introduksi varietas dari manca negara, setelah melalui uji karantina, serangkaian uji toleransi cekaman lingkungan abiotik, dan uji adaptasi di lingkungan abiotik yang relevan sehingga diperoleh genotipe unggul. Selanjutnya genotipe unggul dievaluasi sifat-sifat agronominya, diuji daya hasilnya yang meliputi uji daya hasil pendahuluan (UDHP), dan uji daya hasil lanjut (UDHL), dan uji adaptasi di berbagai lingkungan. Setelah itu, diajukan untuk dilepas sebagai varietas unggul adaptif di lingkungan abiotik.

### **Prosedur Pemuliaan Jangka Panjang**

#### **1. Mutasi buatan**

Teknik alterasi gen dengan mutasi buatan terutama secara fisika menggunakan radiasi sinar gama Co60 sudah lama digunakan dalam pemuliaan tanaman, terutama kedelai dan kacang hijau oleh Badan Tenaga Atom Nasional (Batan). Pemuliaan kacang tanah dengan teknik mutasi buatan juga telah dilakukan oleh Batan bekerja sama dengan Balittan Sukamandi, namun belum berhasil melepas varietas. Mutan SHM1 dan SHM2 adalah mutan varietas Gajah yang dihasilkan dengan teknik ini. Kedua galur tersebut berumur genjah, dapat dipanen pada umur 80–85 hari. Mutasi buatan pada kacang tanah di India telah berhasil melepas beberapa varietas, dua varietas diantaranya adalah TGI dan TG2. Penerapan teknik alterasi gen dengan mutasi dalam perbaikan varietas unggul kacang-kacangan barulah merupakan tahap pertama, yakni tahap pembentukan populasi dasar yang beragam, yang masih perlu diikuti dengan tahap seleksi dan pengujian daya hasil, adaptasi serta stabilitasi sifat. Dengan demikian secara keseluruhan program pemuliaan tanaman dengan teknik ini memerlukan waktu yang lama pula.

#### **2. Persilangan dan seleksi**

Persilangan merupakan tahanan kedua setelah skrining toleransi genotipe terhadap cekaman lingkungan abiotik, namun jika genotipe toleran memiliki karakter yang bernilai ekonomi kurang diterima, maka genotipe toleran tersebut perlu disilangkan dengan varietas unggul yang diinginkan. Hasil persilangan berupa populasi bersegregasi harus diikuti dengan tahap seleksi dan pengujian daya hasil, adaptasi serta stabilitasi karakter.

Cara persilangan dan seleksinya adalah cara-cara baku untuk populasi bersegregasi. Setelah diperoleh galur unggul yang toleran terhadap cekaman lingkungan abiotik dilakukan seleksi melalui uji daya hasil (Uji Daya Hasil Pendahuluan dan UDHL Lanjut). Pada UDHP yang ditangani banyak genotipe, namun benihnya masih terbatas, sehingga pengujiannya hanya di 1–2 lokasi pada 1–2 musim dalam petak berupa barisan tunggal. Genotipe/genotipe unggul pada UDHP ini diseleksi lagi pada UDHL dalam beberapa lokasi dan musim. Tahap akhir pengujian daya hasil adalah uji adaptasi di lingkungan abiotik yang relevan (8 lokasi). Galur yang diuji biasanya sebanyak 10–15 galur (termasuk kontrol), dan

galur paling unggul diusulkan untuk dilepas sebagai varietas unggul baru yang adaptif terhadap lingkungan abiotik (cekaman air, lahan masam, naungan, atau salinitas).

## PROSPEK PERBAIKAN VARIETAS KACANG TANAH

Perbaikan toleransi kacang tanah terhadap cekaman lingkungan abiotik baru dilaksanakan secara intensif sejak tahun 1986, dan beberapa varietas telah dihasilkan (Tabel 2) yang dilakukan dengan menggunakan teknik pemuliaan konvensional. Teknik pemuliaan tanaman secara konvensional sampai beberapa tahun mendatang masih akan mendominasi program pemuliaan tanaman kacang tanah di Indonesia. Teknik pemuliaan tanaman secara konvensional pada kacang tanah saat ini menggunakan persilangan tunggal pada pembentukan populasi dasar yang bersegregasi. Sementara ini, teknik persilangan ganda belum dilakukan, dan ke depan teknik silang ganda banyak dilakukan dalam membentuk populasi bersegregasi. Teknik persilangan ganda bertujuan memaksimalkan ragam genetik aditif dan kemajuan seleksi seperti yang disarankan (Sumarno 1991).

Rekayasa genetika atau bioteknologi yang memanfaatkan teknik manipulasi dan rekombinasi khromosom dan gen pada tingkat sel dengan bantuan vektor, peralatan fisik mikro dan media tumbuh pada organisme multisel baru pada tahap penelitian dasar. Teknik ini kini dikembangkan untuk menghasilkan varietas transgenik toleran cekaman air (Bhatnagar *et al.* 2004; Bhatnagar *et al.* 2007; Cuc *et al.* 2008; Chenault *et al.* 2005; Varshney *et al.* 2009). Dengan teknik ini dimungkinkan untuk mengkombinasikan gen yang diisolasi dari spesies atau genus lain, yang tidak mungkin dilakukan dengan cara-cara konvensional. Agar teknik ini efektif, diperlukan penguasaan teknik dalam tahap-tahap aplikasinya yang meliputi: identifikasi gen yang diinginkan, isolasi gen, pembuatan klon gen, transformasi dan rekombinasi gen ke dalam sel penerima dengan bantuan vektor, regenerasi sel menjadi tanaman transgenik, dan penelusuran keragaan serta stabilitas gen pada tanaman dalam proses perbanyak benihnya. Apabila teknik pada masing-masing tahap tersebut sudah dapat dilaksanakan secara rutin, penerapan rekayasa genetika memberikan prospek yang sangat besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adjahossou, S.B., F.D. Adjahossou, B. Sinsin, M. Boko, and J. Viera da Silva. 2008. Ecophysiological responses of peanut (*Arachis hypogea*) to shading due to maize (*Zea mays*) in intercropping systems. *Cameroon J. of Exp. Biol.* 4(1):29–38.
- Ali Ahmad, M; and S.M. Basha. 1998. Effect of Water Stress on Composition of Peanut Leaves, *Peanut Science*, 25(1):31–34.
- Alpa. J. Munggala, T. Radhakrishnan and J. R. Dobarra. 2008. *In vitro* Screening of 123 Indian Peanut Cultivars for Sodium Chloride Induced Salinity Tolerance. *World J of Agric. Sci.* 4(5):574–582.
- Babu, V.R. and Rao, D.V.M. 1983. Water stress adaptation in the groundnut (*Arachis hypogaea* L) foliar characteristics and adaptation to moisture stress. *Plant Physiol. and Biochem.* 10:64–80.
- Baier, A.C., D.J. Somers, and J.P. Gustafson 1996. Aluminum tolerance in triticale, wheat and rye. pp. 437–444 in Guedes-Pinto, H. *et al.* (eds). *Triticale Today and Tomorrow*, Kluwer. Acad. Publ.
- Baier, A.C., D.J. Somers, and J.P. Gustafson. 1995. Aluminum tolerance in wheat: Correlating hydroponic evaluation with field and soil performance. *Plant Breeding* 114:291–196.

- Bartels, D. and R.Sunkar. 2005. Drought and salt tolerance in plants, *Critical Rev in Plant Sci.* 24:23–58.
- Basha, S.M., Katam, R. and K.S.S. Naik. 2007. Differential Response of Peanut Genotypes to Water Stress. *Peanut Sci.* 34:96–104.
- Basu, U., J.L. McDonald, D.J. Archambault, A.G. Good, K.G. Briggs, T. Aung, and G.J. Taylor. 1997. Genetic and physiological analysis of doubled-haploid, aluminium-resistant lines of wheat provide evidence for the involvement of a 23 kD, root exudate polypeptide in mediating resistance. *Plant and Soil.* 196:283–288.
- Bernardo, R. 2002. *Breeding for Quantitative Traits in Plants.* Stemma Press. Woodbury, Minnesota. p.269–272.
- Berzonsky, W.A. 1992. The genomic inheritance of aluminum tolerance in 'Atlas 66' wheat. *Genome* 35:689–693.
- Bhatnagar-Mathur, P., M.J. Devi, D. Reddy, M. Lavanya, V. Vadez, R. Serrej, K. Yamaguchi-Shinozaki and K. Sharma. 2007. Stress-inducible expression of *atDREB1A* in transgenic peanut (*Arachis hypogaea* L.) increases transpiration efficiency under water limiting conditions. *Plant Cell Reports.* 26:2071–2082.
- Bhatnagar-Mathur, P.; M.J. Devi, R. Serraj, K. Yamaguchi-Shinozaki, V. Vadez, and K.K. Sharma. 2004. Evaluation of transgenic groundnut lines under water limited conditions. *Internat. Arachis Newsletter* 24:33–34.
- Burow, M.D., C.E. Simpson, J.L. Starr, and A.H. Paterson. 2001. Transmission Genetics of Chromatin from A Synthetic Amphidiploid to Cultivated Peanut (*Arachis hypogaea* L.): Broadening the Gene Pool of a Monophyletic Polyploid Species, *Genetics.* 159:823-837.
- Carver, B.F., and J.D. Ownby. 1995. Acid Soil Tolerance in Wheat. *Advances in gromony.* 54:117–173.
- Chen, G., G. D. Li, M. K. Conyers, and B. R. Cullis. 2009. Longterm liming regime increases prime lamb production on acid soils. *Exp. Agric.* 45(2):221–234.
- Chenault, K.D., H.A. Melouk, and M.E. Payton. 2005. Field reaction to *Sclerotinia blight* among transgenic peanut lines containing antifungal genes. *Crop Sci.* 45:511–515.
- Cuc, L.M. E.S. Mace, J.H. Crouch, V.D. Quang, T.D. Long, and R.K. Varshney. 2008. Isolation and Characterization of Novel Microsatellite Markers and Their Application for Diversity Assessment in Cultivated Groundnut (*Arachis hypogaea*). *BMC Plant Biol.* 8:55.
- Devaiah, K.M.; G. Bali, T.N. Athmaram, and S.M. Basha. 2007. Identification of Two New Genes from Drought Tolerant Peanut Up-Regulated in Response to Drought. *Plant Growth Regulation.* 52:249–258.
- Erickson, P.I. and D.L. Ketring. 1985. Evaluation of Genotypes for Resistance to Water Stress In Situ. *Crop Sci.* 25:870–876.
- Eswaran, H., R. Almaraz, E. van den Berg, and P. Reich. 2005. *An Assessment of the Soil Resources of Africa in Relation to Productivity.* World Soil Resources, Soil Survey Division, USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington D.C
- Eswaran, H., R. Lal, and P.F. Reich. 2001. *Land degradation. An overview conference on land degradation and desertification.* Khon Kaen. Thailand: Oxford Press, New Delhi, India.
- Ferguson, M.E.; M.D. Burow, S.R. Schulze, P.J. Bramel, A.H. Paterson, S. Kresovich, and S. Mitchell. 2004. Microsatellite Identification and Characterization in Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Theoretical and Appl. Genetics.* 108(6):1064–1070.
- Foncéka, D., T. Hodo-Abalo, R. Rivallan, I. Faye, M.N. Sall, O. Ndoye, A.P. Fávero, D.J. Bertioli, J.C. Glaszmann, B. Courtois, and J.F. Rami. 2009. Genetic Mapping of Wild Introgressions into Cultivated Peanut: A Way toward Enlarging the Genetic Basis of A Recent Allotetraploid. *BMC Plant Biol.* Vol. 9, pp.103.
- Gallego, F.G., and C. Benito. 1997. Genetic control of aluminum tolerance in rye (*Secale cereale* L.). *Theor. Appl. Genet.* 95:393–399.



- Giaveno, C.D., and B. Miranda Filho. 2000. Rapid screening for aluminium tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Genet. Mol. Biol. Sao Paulo Dec.* 23(4):7p.
- Govind, G., V.T. Harshavardhan, J.K. Patricia, R. Dhanalakshmi, K.M. Senthil, N. Sreenivasulu, and M. Udayakumar. 2009. Identification and Functional Validation Of A Unique Set of Drought Induced Genes Preferentially Expressed In Responce to Gradual Water Stress In Peanut. *Molecular Gen & Genomics.* 281(6):591–605.
- Guo, B.Z., G. Xu, Y.G Cao, C.C. Holbrook, and R.E. Lynch. 2006. Identification and Characterization of Phospholipase D and Its Association with Drought Susceptibilities in Peanut (*Arachis hypogaea*). *Planta.* 223:512–520.
- Hairiah K, Widiyanto, S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M.V. Noordwijk, and G. Cadisch. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. SMT Grafika Desa Putera, Jakarta. 187 hlm.
- Hede, A.R., I.B. Scovmand, and J. Lopez-Cesati. 2001. Acid Soil and Aluminium Toxicity. pp. 172–182 in Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). 2001. Application of Physiology in Wheat Breeding. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Hunshal, C.S., S.R. Salakinkop, and R.M. Brook. 1997. Sewage irrigation vegetable production system orounf Dubli-Dharward. Kamantakan, India. *Natural Sci.* 32(5):1–8.
- Jain, A.K., Basha, S.M. and Ho lbrook, C.C. (2001). Identification of Drought-Responsive Transcripts in Peanut (*Arachis hypogaea* L.), *Electronic J of Biotech.* 4(2):59–67.
- Jayasundara, H.P.S., B.D. Thomson, and C. Tang. 1998. Responsses of cool season grain legumes to soil abiotic stresses. *Adv. in Agron.* 63:77–151.
- Jogloy, S., A. Patanothai, S. Toomsan, and T.G. Isleib. 1996. Breeding peanut to fit into Thai cropping systems. *Proc. of the Peanut Collaborative Research Support Program International Res. Symp. and Workshop, Two Jima Quality Inn, Arlington, Virginia, USA, 25–31 March.* pp 353–362.
- Johnson, J.P., B.F. Carver, and V.C. Baligar. 1997. Productivity in Great Plains acid soils of wheat genotypes selected for aluminium tolerance. *Plant and Soil.* 188:101–106.
- Kasno, A. 2010. Talam 1 varietas kacang tanah unggul baru adaptif lahan masam dan toleran *Aspergillus flavus*. *Bul. Palawija* 19:19–26.
- Kasno, A. 2006. Prospek pengembangan kacang tanah di lahan kering masam dan lahan pasang surut. *Bul. Palawija* 11:1–6.
- Kochian, L.V., O.A. Hoekenga, and M.A. Pieros. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Ann. Rev. of Plant Biol.* 55:459–493.
- Koesrini dan Purwantoro. 2003. Ketahanan 28 genotipe kedelai terhadap cekaman aluminium. *Agrosoci* 3(10):117–123.
- Koesrini, dan Sabran M. 1994. Toleransi beberapa genotipe kacang tanah terhadap masam podsolik merah kuning. *Kindai* 5(1):1–6. Balittan Banjarbaru, Banjarmasin.
- Krishna, G.K.; J. Zhang, M. Burow, R.N. Pittman, S.G. Delikostadinov, Y. Lu, and N. Puppala. 2004. Genetic Diversity Analysis in Valencia Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Using Microsatellite Markers. *Cellular and Molecular Biol Letters.* 9(4):685–697.
- Kulkarni, J.H.; V. Ravindra, V.K. Sojitra, and , D.M. Bhatt. 1988. Growth, nodulation and N uptake of groundnut (*Arachis hypogaea*L.) as influenced by water deficits stress at different phenophase. *Oleagineus.* 43:415–419.
- Langat M. C., M. A. Okiror, J. P. Ouma and R. M. Gesimba. 2006. The effect of intercropping groundnut (*Arachis hypogea* L.) with sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) on yield and cash income. *Agric. Tropica et Subtropica.* 39(2):87–90.
- Lazof, D.B., J.G. Goldsmith, T.W. Ruffy, and R.W. Linton. 1994. Rapid uptake of aluminum into cells of intact soybean root tips. *Plant Physiol.* 106:1107–1114.

- Luo, M., X.Q. Liang, D. Dang, C.C. Holbrook, M.G. Bausher, R.D. Lee, and B.Z. Guo. 2005. Microarray-Based Screening of differentially Expressed Genes In Peanut In Responce To *Aspergillus parasiticus* Infection and Drought Stress. *Plant Sci.* 169:695–703.
- Makmun, M.Y., M. Gamanik, and M. Wilis. 1996. Sistim produksi dan pengembangan kacang tanah di Kalimantan. hlm. 195–206 *dalam* Saleh. N, K.H. Hendroatmojo. A. Kasno, A.G. Manshuri, dan A. Winarto (Peny.). *Risalah Seminar Prospek Agribisnis Kacang Tanah di Indonesia.* Edisi Khusus Balitkabi No. 7.
- Mensah, J.K. and J. Ihenyen. 2009. Effects of salinity on germination, seedling establishment and yield of three genotypes of mungbean (*Vigna mungo* L. Hepper) in Edo State, Nigeria. *Nigerian Annals of Natural Sci.* 8(2):17–24.
- Michel, B.E. 1971. Further comparasion between carbowax 6000 and mannitol as a suppressant of cucumbar hypocotyl elongation. *Plant Physiol.* 48:513–516.
- Misra, N and A.K. Gupta. 2005. Effect of salt stress on praline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Sci.* 169:331–339.
- Mulyani, A. 2006. Potensi tanah kering masam untuk pengembangan pertanian. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 28(2):16–17.
- Nageswara Rao, R.C.; J.H. Williams, M.V.K. Sivakumar, and K.R.D. Wadia. 1989. Effect of Water Deficit At Different Growth Phases of Peanut. In. *Responce to Drought during Pre-Flowering Phase.* *Agron. J.* 80:431–438.
- Nautiyal, P.C., A. Bandyopadhyay, V.G. Koradia, and M. Makad. 2000 Performance of groundnut germplasm and cultivars under saline water irrigation in the soils of Mundra in Gujarat, India. *Internat. Arachis Newsletter* 20:80–82.
- Ownby, J.D. 1993. Mechanisms of reaction of hematoxylin with aluminium treated wheat roots. *Physiol. Plant.* 87:371–380.
- Pandey MK, E. Monyo, P. Ozias-Akins, X. Liang, P. Guimarães. 2012. Advances in Arachis genomics for peanut improvement. *Biotechnol Adv.* 30:639–651
- Prasetyo, B. H., and D.A. Suriadikarta. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian tanah kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 25(2):39–46.
- Rajaram, S, M.M. Kohli, and J. Lopez-Cesati. 1991. Breeding for tolerance to aluminum toxicity in wheat. pp. 1019–1028 in Wright, R.J. *et al.* (eds.). *Plant-Soil Interactions at Low pH.* Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Acad. Publ.
- Rao, L.J and B.N. Mitra. 2008. Growth and yield of peanut as influenced by degree and duration af shading. *J. of Agron. and Crop Sci.* 160(4):260–265.
- Reddi, G.H.S. and T.Y. Reddy. 1995. *Efficient Use of Irrigation Water.* Kalyani Publ. New Delhi.
- Reddy, T.Y., V.R. Reddy, and V. Anbumozhi. 2003. Physiological Responsses of Groundnut (*Arachis hypogea* L.) to Drought Stress and Its Amelioration: A Critical Review. *Plant Growth Regulation* 41:75–88.
- Rengel, Z., and V. Jurkic. 1993. Evaluation of Triticum aestivum germplasm from Croatia and Yugoslavia for aluminum tolerance. *Euphytica.* 66:111–116.
- Riadi, M. 2005. Kajian karakter kuantitatif sebagai kriteria seleksi toleransi kacang tanah terhadap cekaman kekeringan. (Ringkasan Disertasi). Program Studi Ilmu Pertanian Minat Pemuliaan Tanaman. Program Pascasarjana Univ. Brawijaya. 25 hlm.
- Riede, C.R., and J.A. Anderson. 1996. Linkage of RFLP markers to an aluminum tolerance gene in wheat. *Crop Sci.* 36:905–909.
- Ring, S.M., R.P. Fisher, G.J. Poile, K.R. Helyar, M.K. Konyers, and S.G. Morris. 1993. Screening species and cultivars for their tolerance to acidic soil conditions. *Plant Soil.* 155/156:521–524

- Rosolem, C.A., J.P.T. Witacker, S. Vanzolini, and V.J. Ramos. 1999. The significance of root growth on cotton nutrition in an acidic low-P soil. *Plant and Soil* 212 :185–190.
- Rucker, K.S., C.K. Kevin, C.C. Holbrook, and J.E. Hook. 1995. Identification of Peanut Genotypes with Improved Drought Avoidance Traits. *Peanut Sci.* 22(1):14–18.
- Ryan, P.R., J.M. Ditomaso, and L.V. Kochian. 1993. Aluminum toxicity in roots: An investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. *J. Exp. Bot.* 44:437–446.
- Sahva, A.R., Kh. Hammad, A. Shaban and Manal. F. Tantawy. 2010. Studies on Salinity Tolerance of Two Peanut Cultivars in Relation to Growth, Leaf Water Content. Some Chemical Aspects and Yield. *J. of Appl. Sci. Res.* 6(10):1517–1526.
- Singh, A.L., M.S. Basu, and N.B. Singh. 2004. Mineral Disorders of Groundnut. National Research Center for Groundnut (ICAR). Junagadh, India. p 85.
- Singh, R., D. Issar, P.V. Zala and P.C. Nautiyal. 2007. Variation in sensitivity to salinity in groundnut cultivars during seed germination and early seedling growth. *SAT ejournal* 5(1):1–7.
- Sopandie, D., M. Yusuf; dan S. Aisah. 2000. Toleransi terhadap aluminium pada akar kedelai: Deteksi visual penetrasi aluminium dengan metode pewarnaan hematosilin. *Comm. Ag.* 6(1):25–32.
- Sumarno, Sutarnan, T., and Soegito. 1989. Grain legume breeding for wetland and for acid soil adaptation. CRIFC, Bogor. pp.63.
- Sumarno. 1991. Pemanfaatan teknologi genetika untuk peningkatan produksi kedelai. Puslitbangtan, Bogor.
- Taylor, G.J. 1995. Overcoming barriers to understanding the cellular basis of aluminum resistance. *Plant Soil.* 171:89–103.
- Trustinah, A. Kasno, dan A. Wijanarko. 2009. Toleransi genotipe kacang tanah terhadap tanah kering masam. *Bul. Palawija* 28(3):183–191.
- Vadez, V., N. Srivastava, L. Krishnamurthy, R. Aruna, and S.N. Nigam. 2005. Standardization of a protocol to screen for salinity tolerance in groundnut. *Internat. Arachis Newsletter.* 25:42–47.
- Varshney, R.K., D.J. Bertioli, M.C. Moretzsohn, V. Vadez, L. Krishnamurthy, R. Aruna, S.N. Nigam, B.J. Moss, K. Seetha, K. Ravi, G. He, S.J. Knapp, and D.A. Hoisington. 2009. The first SSR-based genetic map for cultivated groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Theoretical Appl. Gen.* 118:729–739.
- Von Uexkull, H.R., and E. Mutert. 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant and Soil.* 171:1–15.
- Weightman, J.A. and G.V. Ranga. 1994. Groundnut pest. *The Groundnut Crop.* pp. 355–479.
- Wu Zheng-feng, Liu Jun-hua, Wan Shu-bo, Sun Kui-xiang, Sun Xue-wu, Feng Hao, and Wang Cai-bin. 2011. Effect of shading duration on pod yield and quality of Peanut. *Shandong Agric. Sci. (Abstract).*
- Zhang, X., Garnett, T., Davies, K., Peck D., Humphries, A., and Auricht, G. 2004. Genetic evaluation and improvement of acid stress tolerance in lucerne breeding. New direction for a diverse planet: Proc. of the 4th Internat. Crop Sci. Congress. Barisbane, Australia, 26 Sep – 1 Oct 2004.