

Pengelolaan Kesuburan Lahan Kering Masam Untuk Tanaman Kedelai

Andy Wijanarko dan Abdullah Taufiq¹

ABSTRAK

Lahan kering masam memiliki potensi untuk pengembangan kedelai, karena luasan lahan ini hampir 29% dari total luas Indonesia. Kendala utama yang terdapat di lahan ini adalah tingkat kesuburan yang rendah, meliputi pH rendah, bahan organik rendah, kahat P, K, Ca dan Mg serta Al-dd, Fe dan Mn yang tinggi yang berpotensi meracuni tanaman. Peningkatan produktivitas lahan kering masam dapat dilakukan dengan (1) mencukupi kebutuhan hara yang berada pada status kahat dengan cara menambahkan masukan pupuk, (2) mengurangi pengaruh negatif dari sifat fisik dan kimia tanah dengan cara menambahkan bahan amelioran atau agen hayati, (3) mengembangkan varietas yang adaptif pada lingkungan masam, dan (4) kombinasi pendekatan 1, 2 dan 3 tersebut di atas.

Kata kunci: lahan kering masam, pengelolaan tanah, kedelai, *Glycine max*

ABSTRACT

Acid soil fertility management for soybean. Acid dryland has high potency for soybean development, about 29% of total land area of Indonesia consist of acid dryland. The major problem of acid dryland are low soil fertility (low pH, low organic matter, deficiency of P, K, Ca and Mg, toxicity of Al, Fe and Mn). Improvement of acid dryland Productivity can be done with (1) increasing soil fertility with fertilizer addition (2) decreasing the negatif effect of soil chemical and physical properties with amelioration or bio agent addition (3) developing varieties which are tolerant to acid dryland (3) combination of (1), (2) and (3).

Keywords: acid dryland, soil management, soybean , *Glycine max*

PENDAHULUAN

Secara umum, peningkatan produksi pertanian dapat dicapai melalui dua cara, yaitu: (1) memperluas areal pertanian (ekstensifikasi), dengan membuka daerah-daerah baru dan mengusahakan sebagai daerah pertanian, dan (2) meningkatkan produktivitas lahan (intensifikasi) melalui penerapan teknologi inovatif.

Dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan nasional, khususnya komoditas kedelai, upaya peningkatan produksi di dalam negeri melalui perluasan areal tanam ke lahan-lahan kering yang belum dimanfaatkan secara optimal di pulau Sumatera dan Kalimantan perlu ditempuh di masa mendatang. Hal ini karena budidaya kedelai di Indonesia saat ini masih banyak diusahakan di lahan sawah (65%).

Sebagian besar lahan di Sumatera dan Kalimantan adalah lahan masam. Potensi sumberdaya lahan masam di lokasi tersebut sangat luas, yaitu sekitar 16,8 juta hektar (Muljadi 1977). Bahkan van der Heide *et al.* (1992) melaporkan bahwa terdapat sekitar 22 juta hektar di Sumatera dan 15,5 juta hektar di Kalimantan, yang berpotensi untuk pengembangan palawija dan padi gogo hanya sebesar 5,1 juta hektar, termasuk di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara (Abdurrachman *et al.* 1999a). Permasalahan dalam usaha tani kedelai di lahan masam berhubungan dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah dan tingkat kemasaman tanah yang tinggi sehingga perlu identifikasi kendala-kendala dan cara pemecahannya.

Makalah ini mengupas kendala budidaya kedelai di lahan kering masam dan cara mengatasi kendala tersebut, yang lebih ditekankan pada masalah kesuburan tanah.

¹ Peneliti Ekofisiologi Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Kotak Pos 66 Malang 65101, Telp. (0341) 801468, e-mail:blitkabi@telkom.net

KEHARAAN UNTUK TANAMAN KEDELAI

Permasalahan yang dihadapi dalam usaha tani kedelai di lahan masam berhubungan dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah dan tingkat kemasaman tanah yang tinggi. Tanah masam umumnya berkembang dari bahan induk tua, dengan pH kurang dari 5,5 dan aluminium yang dapat ditukar (Al-dd) dalam tanah yang tinggi (Hairiah *et al.* 2000). Tingkat kemasaman (pH) tanah, selain mempunyai pengaruh langsung terhadap tanaman, juga berpengaruh terhadap pola ketersediaan unsur hara. Hubungan antara pH tanah dengan tingkat ketersediaan unsur hara disajikan dalam Tabel 1.

Pertumbuhan kedelai yang optimal dicapai jika pH tanah adalah 6,8, namun pH tanah 5,5–6,0 sudah dianggap cukup baik untuk bertanam kedelai di Indonesia (Ismail dan Effendi 1985). Nilai kritis pH tanah untuk tanaman kedelai berkisar antara 4 hingga 5,5 (Follet *et al.* 1981). Tanaman kedelai merupakan tanaman yang tidak tahan terhadap kejenuhan aluminium tinggi dengan nilai kritis kejenuhan aluminium 30% (Hartatik dan Adiningsih 1987). Batas kritis terhadap Al dengan menggunakan larutan hara adalah 4 ppm atau setara 0,44 me tanah untuk varietas Argomulyo dan Tidar sedangkan untuk varietas Wilis adalah 8 ppm atau setara 0,88 me (Manshuri 2003) dan 5 ppm atau setara 0,55 me untuk varietas Slamet (Wijanarko 2004). Batas nilai kritis P untuk tanaman kedelai adalah 7 ppm P (Tandon dan Kimmo 1993), sedangkan menurut Franzen (2003) adalah 6–10 ppm P.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pada kandungan K tersedia (K-dd) antara 0,2 hingga 0,3 me K/100 g, tanaman kedelai tidak respon terhadap pemupukan K. Tanaman kedelai

juga tidak respon terhadap pemberian Mg jika kandungan Mg tersedia 50 ppm (0,42 me Mg/100 g). Matheson *et al.* (1975) melaporkan bahwa selama pertumbuhan, kedelai menyerap 288 kg N, 23,5 kg P dan 174 kg K tiap hektar. Berdasarkan analisis daun kedelai batas kritis unsur hara yang cukup untuk pertumbuhannya adalah: 4,51–5,50% N; 0,26–0,50% P; 1,71–2,50% K; 0,36–2,00% Ca; 0,26–1,0% Mg; 21–100 ppm Mn; 51–100 ppm Fe; 21–55 ppm B; 10–30 ppm Cu; 21–50 ppm Zn dan 1–5 ppm Mo.

Abdurachman *et al.* (1999a) mengemukakan bahwa usaha tani kedelai harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (1) pH tanah 5,5–6,9 dan tidak keracunan Al, Fe dan Mn, (2) kandungan unsur hara makro dan mikro sedang hingga tinggi, (3) kandungan bahan organik tanah cukup, (4) fraksi pasir dalam tanah tidak dominan, (5) kedalaman lapisan olah tanah sedang sampai dalam, > 25 cm, (6) kelembaban tanah cukup, (7) bebas gulma, (8) bebas naungan, atau naungan maksimal 25%, dan (9) pengendalian erosi terjamin. Dengan demikian, usaha tani kedelai di lahan kering masam memerlukan pengelolaan tanah dan tanaman yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang ada pada lahan tersebut, sehingga persyaratan usaha tani kedelai terpenuhi.

KENDALA POTENSIAL PADA LAHAN KERING MASAM

Kemasaman tanah terjadi karena proses pelapukan mineral dan batuan serta pencucian yang sangat cepat. Proses pelapukan yang intensif akan melepaskan unsur-unsur hara yang akhirnya hilang tercuci dan hanya menyisakan produk akhir pelapukan dan mineral-mineral tahan lapuk, yang pada umumnya kurang menyumbangkan unsur hara bagi tanaman. Sumber kemasaman tanah dapat berasal dari Al dan Fe oksida, Al-dd, liat alumino silikat dan dekomposisi bahan organik. Al, Fe oksida serta Al-dd akan melepaskan ion H⁺ ke larutan tanah apabila unsur-unsur tersebut mengalami hidrolisis. Makin banyak unsur-unsur tersebut dalam tanah maka H⁺ yang dilepaskan ke larutan tanah juga makin banyak sehingga tanah akan menjadi lebih masam. Dekomposisi bahan organik akan menghasilkan gugus-gugus karboksil dan fenolik yang apabila terdisosiasi akan melepaskan H⁺ ke larutan tanah (Tisdale *et al.* 1987). Kemasaman

Tabel 1. Unsur hara tanaman yang mungkin kahat dalam hubungannya dengan pH tanah.

Kisaran pH tanah	Unsur hara yang mungkin kahat
4 – 5	Mo, Cu, Mg, B, Mn, S, N, P, K
5 – 6	Mo, Mg, S, N, P, K, Ca
6 – 7	Mg
8 – 9	Cu, B, Fe, Mn, N, Zn
9 – 10	Cu, Fe, Mn, Mg, Ca, Zn

Sumber: Tan (2000).

tanah juga dapat terjadi melalui penggunaan pupuk anorganik dalam dosis tinggi secara terus menerus (Hairiah *et al.* 2000).

Tanah masam umumnya berkembang dari bahan induk tua dan mempunyai kendala kemasaman tanah yang berhubungan dengan pH tanah kurang dari 5,5, tingginya aluminium yang dapat ditukar (Al-dd) dalam tanah, terjadinya kekahatan unsur fosfor dan kalsium, serta keracunan mangan (Erfandi dan Nursyamsi, 1996). Tanah masam (Ultisol dan Oxisols) merupakan tanah yang didominasi mineral-mineral kaolinit, oksida besi dan aluminium, serta kandungan Al yang semakin meningkat pada lapisan tanah bawah (Hairiah *et al.* 2000). Bentuk Al yang beracun bagi akar tanaman adalah Al-monomerik, yaitu Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$, $Al(OH)_3$ dan $Al(SO_4)^+$. Aktivitas Al-monomerik semakin meningkat pada pH lebih rendah dari 5,5 dan keracunan Al ini akan semakin meningkat dengan meningkatnya kandungan mineral liat silikat 2:1.

Hasil kajian di lahan kering masam di Lampung Tengah dan Tulangbawang menunjukkan bahwa kendala utama peningkatan produktivitas kedelai di lahan tersebut adalah rendahnya pH, tingginya kejenuhan Al, tingginya Fe dan Mn tersedia, serta kekahatan unsur P dan K (Taufiq *et al.* 2004). Terdapat sekitar 48,3 juta ha lahan masam atau sekitar 29,7% dari luas daratan

Indonesia dengan kendala kahat P, dan sekitar 20,7 juta ha di antaranya dengan tingkat kemiringan <15% yang potensial untuk pertanian (Adiningsih *et al.* 1998). Pada tanah masam, kandungan hara P berkorelasi negatif dengan Al dan Fe, di mana semakin tinggi kandungan Al atau Fe dalam tanah maka semakin rendah kandungan P tersedia (Nasution dan Al-Jabri 1999).

Hasil survei tanah di beberapa lokasi di Lampung Tengah dan Tulangbawang menunjukkan rendahnya kandungan K dan Ca tersedia. Taufiq *et al.* (2004) melaporkan bahwa kandungan K tersedia pada *topsoil* 0,06–0,10 me/100g dan pada *subsoil* 0,03–0,06 me/100g, sedangkan kandungan Ca tersedia pada *topsoil* 1,45–4,29 me/100 g dan pada *subsoil* 1,36–5,43 me/100 g. Pada lahan kering masam Lampung juga terjadi kekahatan Mg, dimana pada lapisan *topsoil* kandungan Mg adalah 0,45 me/100 g dan pada *subsoil* sekitar 0,30 me/100 g (Hairiah *et al.* 2000).

Hasil pengamatan sifat-sifat kimia dan fisika tanah masam pada beberapa lokasi di Jawa dan Sumatera disajikan pada Tabel 2. Tanah masam di Sumatera lebih didominasi oleh fraksi pasir, dengan kandungan Al-dd kurang dari 2 me/100 g bahkan di Indralaya, Sumatera Selatan, hanya 0,11 me/100 g. Sedangkan di Jawa lebih didominasi oleh fraksi liat dengan kandungan Al-dd lebih tinggi yaitu mencapai 23,64 me/100 g,

Tabel 2. Karakteristik beberapa sifat kimia tanah dan fisika di beberapa wilayah di Propinsi Lampung, Sumsel dan Banten.

Tekstur	Lampung	Lampung Tengah	Tulang Bawang	Lampung Utara	Indralaya (Sumsel)	Gajrug (Banten)
Pasir (%)	64	–	–	55,34	65,25	12,30
Debu (%)	13	–	–	10,10	18,93	30,64
Liat (%)	22	–	–	34,50	15,82	57,06
P Bray (ppm P)	–	47,5	42,4	2,37	14,52	3,94
pH-H ₂ O	5,31	4,70	4,90	4,43	5,31	4,56
Al-dd (me/100 g)	0,33	1,90	2,00	0,69	0,11	23,64
H-dd (me/100 g)	0,53	0,70	0,70	0,58	0,10	0,75
KTK (me/100 g)	8,24	8,30	6,70	26,71	10,85	–
K-dd (me/100 g)	0,34	0,10	0,06	0,60	0,26	0,10
Ca-dd (me/100 g)	5,9	4,29	1,45	1,29	2,28	0,75
Mg-dd (me/100 g)	0,62	1,34	2,52	0,90	0,47	0,35
Analisis dilakukan oleh :	FP. Unibraw Malang	Balitkabi** Malang	Balitkabi** Malang	Balitbio** Bogor	FP. Unsri*** Palembang	Andy**** Wijanarko

Sumber: * Hairiah *et al.* (1996); ** Taufiq *et al.* (2004); *** Taufiq dan Kuntastuti (2004); Wijanarko (2004).

pada lokasi yang sama bisa ditemukan Al-dd mencapai 29,68 me/100 g (Setijono 1996). Kandungan kation basa pada kedua daerah ini hampir sama dengan status sangat rendah hingga rendah. Berbedanya Al-dd pada kedua daerah ini berimplikasi terhadap pengelolaannya. Pada lahan masam di Jawa kebutuhan kapur untuk menetralkan Al lebih besar dibandingkan pada lahan masam di Sumatera apabila penetralannya didasarkan pada Al-dd. Demikian juga dengan pemupukannya, pada lahan masam di Lampung harus lebih hati-hati mengingat pada tanah ini bertekstur pasir yang akan mempercepat unsur hara tercuci ke lapisan yang lebih dalam.

STRATEGI PENGELOLAAN LAHAN KERING MASAM

Strategi pengelolaan tanah untuk meningkatkan hasil kedelai pada lahan masam dapat ditempuh dengan pendekatan: (1) mencukupi kebutuhan hara yang berada pada status kahat dengan cara menambahkan masukan pupuk, (2) mengurangi pengaruh negatif dari sifat fisik dan kimia tanah dengan cara menambahkan bahan amelioran atau agen hayati, (3) mengembangkan varietas yang adaptif pada lingkungan masam, (4) kombinasi pendekatan 1, 2 dan 3 tersebut di atas.

Pengelolaan Pupuk

Pemupukan merupakan jalan termudah dan tercepat dalam menangani masalah kekahatan hara. Hasil penelitian Sutono *et al.* (1995) menunjukkan bahwa pemupukan TSP sebesar 200 kg/ha, memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kedelai dan

memberikan hasil biji yang tertinggi pada tanah Podsolik Merah Kuning (Ultisol) Jambi. Takaran optimum pupuk fosfat untuk tanah Podsolik Merah Kuning Kuamang Kuning di Muara Bungo, Jambi adalah 40 kg P/ha. Pemberian pupuk NPK pada lahan ini dapat meningkatkan P-tersedia, N-total, K-dd, kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa (Nasution dan Al-Jabri 1999). P tersedia pada lahan masam Lampung meningkat dengan makin meningkatnya dosis pupuk P yang diberikan (Taufiq *et al.* 2004). Peningkatan P tersedia ini berdampak positif terhadap perbaikan pertumbuhan dan produktivitas tanaman kedelai. Demikian juga pada K. Dengan meningkatnya dosis pupuk K, ketersediaan K tanah juga meningkat yang berakibat pada peningkatan kandungan K tanaman (Tabel 3).

Penambahan pupuk P hingga dosis 72 kg P₂O₅/ha tidak berpengaruh terhadap kandungan K tanaman, akan tetapi pada dosis pupuk P sebesar 144 kg P₂O₅/ha menurunkan kandungan K tanaman relatif lebih tinggi dibandingkan pada dosis pupuk P yang lebih rendah. Pemupukan K dosis 45 kg K₂O/ha tanpa disertai pemupukan P berpeluang untuk meningkatkan kandungan P tanaman. Pemupukan P hingga dosis 72 kg P₂O₅ yang disertai pemupukan 45 kg K₂O/ha meningkatkan kandungan P tanaman, akan tetapi peningkatan dosis pupuk P menjadi 144 kg P₂O₅/ha tidak meningkatkan kandungan P tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa pemupukan P dosis lebih dari 72 kg P₂O₅/ha tidak efisien.

Pemberian K sebesar 80 kg K/ha yang bersumber dari KCl pada tanah Podsolik asal

Tabel 3. Pengaruh penambahan pupuk P dan K pada tanah asal Lampung Tengah dan Tulang Bawang terhadap kandungan K dan P tanaman kedelai fase berbunga, Rumah kaca Balitkabi. 2003.

Dosis pupuk K (kg K ₂ O/ha)	Dosis pupuk P (kg P ₂ O ₅ /ha)	Kandungan K (%)		Kandungan P (%)	
		Lampung Tengah	Tulang Bawang	Lampung Tengah	Tulang Bawang
0	0	0,62	0,79	0,17	0,16
45	0	0,78	0,88	0,20	0,16
45	36	0,66	0,84	0,22	0,19
45	72	0,73	0,82	0,23	0,20
45	144	0,63	0,81	0,17	0,20

Sumber: Taufiq *et al.* (2004).

Sitiung dengan pH 4,7 dan A-dd + H-dd sebesar 3,66 me/100 ml nyata meningkatkan hasil kedelai jika jerami sisa tanaman padi tidak dibakar (Gill dan Adiningsih 1986). Peningkatan dosis pemupukan dari 50 kg Urea + 75 kg SP36 + 75 kg KCl/ha dan tanpa kapur menjadi 75 kg Urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl + 1 t kapur/ha pada lahan kering masam Lampung Tengah dan Sumatera Utara dengan pH 4,6 dan Al-dd 0,19 me/100 g mampu meningkatkan hasil kedelai dari 1,25 dan 1,42 menjadi 1,52 dan 1,58 t/ha, masing-masing di Sumatera Utara dan Lampung Tengah (Arsyad *et al.* 2001).

Pada lahan kering masam Kec. Kalirejo, Kab. Lampung Tengah, budidaya kedelai varietas Tanggamus dan Sibayak dengan populasi tanaman berkisar 121.000–216.000/ha, rata-rata 180.000 tanaman/hektar, yang ditanam secara tugal dengan jarak tanam 40 cm x 10 cm dan dipupuk 75 kg Urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha + 500 kg CaO/ha dari dolomit menghasilkan biji kedelai antara 0,81–2,35 t/ha, rata-rata 1,45 t/ha (Rumbaina *et al.* 2004). Sedangkan di lahan kering masam Kalimantan, hasil biji kering kedelai tertinggi diperoleh pada populasi 500.000 tanaman/ha dan dipupuk 25 kg N + 60 kg P₂O₅ + 50 kg K₂O + 500 kg kapur/ha, pengolahan tanah minimum serta pengendalian hama/penyakit (Maamun *et al.* 1994).

Kombinasi dosis pupuk NPK juga berpengaruh terhadap jumlah polong dan bobot biji kedelai per 9 m². Jumlah polong tertinggi dicapai pada perlakuan 50 kg Urea + 150 kg SP36 + 50 kg KCl dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan 75 kg Urea + 150 kg SP36 + 100 kg KCl + 50 kg ZA. Bobot biji per 9 m² yang tertinggi terdapat pada perlakuan 75 kg Urea + 150 kg SP36 + 100 kg KCl

+ 50 kg ZA dan tidak berbeda nyata dengan 50 kg Urea + 150 kg SP36 + 50 kg KCl namun nyata lebih tinggi dari perlakuan 25 kg Urea + 150 kg SP36 + 75 kg KCl (Tabel 4) (Rumbaina *et al.* 2000).

Penggunaan pupuk P-alam yang dapat digunakan secara langsung merupakan salah satu alternatif sumber pupuk P yang baik untuk tanah masam. Adiningsih *et al.* (1998) mengemukakan bahwa pemberian pupuk P-alam dari North Carolina (NCRP) dan P-alam Maroko (MPR) yang dibandingkan dengan TSP + kapur masing-masing dengan takaran 1 t/ha untuk P-alam dan 400 kg TSP/ha + 1 t kapur/ha pada tanaman kedelai pada musim tanam pertama, efektivitas pupuk P-alam terlihat sudah lebih tinggi dari TSP + kapur. Pada musim tanam berikutnya pupuk P-alam memberikan residu yang lebih baik dibandingkan dengan TSP + kapur. Dengan meningkatnya nilai Relative Agronomic Effectiveness (RAE) menunjukkan bahwa efektivitas pupuk P-alam lebih tinggi daripada TSP + kapur (Tabel 5). Pada tahun pertama hasil kedelai tertinggi dicapai pada perlakuan fosfat alam dari Maroko, tetapi pada tahun kelima hasil tertinggi dicapai pada perlakuan fosfat alam dari North Carolina. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan fosfat alam mempunyai potensi untuk dikembangkan di lahan kering masam.

Hairiah *et al.* (2000) menyarankan bahwa pemupukan di lahan masam harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut (a) waktu pemberian pupuk harus diperhitungkan supaya pada saat pupuk diberikan bertepatan dengan saat tanaman membutuhkan, yang dikenal dengan istilah *sinkronisasi*. Hal ini dimaksudkan agar tidak banyak unsur hara yang hilang tercuci oleh aliran air, mengingat intensitas curah hujan di

Tabel 4. Pengaruh dosis pupuk terhadap jumlah polong, berat biji dan bobot 100 biji di Lampung Tengah, 1998.

Perlakuan	Jumlah polong	Berat biji/9 m ² (kg)	Bobot 100 biji (g)
P1 (25 kg Urea + 150 kg SP36 + 75 kg KCl)	26,97 b	0,69 b	8,31 a
P2 (75 kg Urea + 150 kg SP36 + 100 kg KCl + 50 kg ZA)	34,38 ab	1,07 a	8,38 a
P3 (50 kg Urea + 150 kg SP36 + 50 kg KCl)	42,31 a	1,01 a	8,13 a
KK (%)	21,79	16,31	5,67

Sumber : Rumbaina *et al.* (2000).

Tabel 5. Hasil kedelai serta nilai RAE pupuk P-alam pada Ultisol di Terbanggi, Lampung pada tahun 1 dan 5.

Sumber P	Tahun ke-1		Tahun ke-5	
	Biji (t/ha)	RAE (%)	Biji (t/ha)	RAE (%)
Tanpa P	0,21	–	0,05	–
TSP + kapur	1,25	100	0,34	100
PA-North Carolina	1,27	102	0,56	176
PA-Maroko	1,33	108	0,49	152

RAE= Relative Agronomic Effectiveness.
Sumber: Adiningsih *et al.* (1998).

lahan ini biasanya sangat tinggi, (b) penempatan pupuk harus diusahakan berada dalam daerah aktivitas perakaran, agar pupuk dapat diserap oleh tanaman secara efektif (*sinlokalisasi*), dan (c) jumlah atau takaran pupuk yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman, supaya pupuk yang diberikan tidak banyak hilang percuma sehingga dapat menekan biaya produksi serta menghindari terjadinya polusi dan keracunan bagi tanaman.

Pemupukan pada lahan kering masam sangat diperlukan mengingat lahan ini termasuk lahan marginal, dimana status hara makro (N, P, K, Ca dan Mg) dan bahan organik rendah. Pemupukan dengan dosis 75 kg urea + 100 kg SP-36 + 100 kg KCl + 1 t kapur/ha atau 500 kg CaO/ha yang bersumber dari dolomit dapat digunakan sebagai dosis anjuran untuk budidaya kedelai di Lampung dan Sumatera Utara. Penggunaan fosfat alam pada lahan kering masam juga harus dipertimbangkan karena memberikan efek residu yang lebih baik dibandingkan dengan SP-36.

Pengapuran

Salah satu tujuan pengapuran pada tanah masam adalah untuk meningkatkan pH tanah. Selain dapat meningkatkan pH tanah, pengapuran juga dapat meningkatkan ketersediaan kalsium dan fosfor, mengurangi keracunan Al serta meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK).

Pada umumnya bahan kapur untuk pertanian adalah kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium magnesium karbonat atau dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) dan hanya sedikit yang berupa CaO atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Reaksi peningkatan pH melalui pengapuran adalah sebagai berikut :

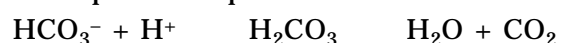
1. Dengan CaCO_3



Ca bikarbonat menyebabkan pH tanah naik



Ca dapat diserap oleh tanaman



2. Dengan CaO atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Ca bikarbonat menyebabkan pH tanah naik.

Telah banyak dilaporkan bahwa pengapuran dapat meningkatkan produksi tanaman kedelai. Kamprath (1974) mengemukakan bahwa tanggap tanaman kedelai terhadap pengapuran karena (a) dinetralkannya Al, (b) tersedianya Ca dan Mg yang cukup, (c) peningkatan ketersediaan Mo, (d) penurunan Mn yang larut, (e) ketersediaan P meningkat, dan (f) peningkatan pH lingkungan yang sesuai untuk pembentukan bintil dan aktivitas *Rhizobium japonicum*.

Penambahan kapur setara dengan 0,5 x Al-dd (aluminium dapat dipertukarkan) meningkatkan bobot kering biji kedelai dari 3,62 g menjadi 4,05 g/tanaman (Sitorus 1972). Pengapuran sebanyak 1–2 x Al-dd pada tanah Podsolik Sitiung yang mempunyai pH 4,3, KTK 9,1 me/100 g dan kejenuhan Al 85,2% sudah mampu menurunkan kejenuhan Al hingga di bawah batas toleransi kedelai yaitu < 29% (Hartatik dan Adiningsih 1987).

Wade *et al.* (1986) mengemukakan bahwa kedelai sangat respon terhadap pemberian kapur pada tanah Oxisol dan Ultisol yang telah dibuka lebih dari 5 tahun dan mempunyai pH 4,4–4,7. Kejenuhan kemasaman (Al-dd + H-dd) antara

2,6–4,3 me/100 g dan bahan organik 3,3–4,6%, tetapi tidak respon pada Ultisol yang baru dibuka meskipun mempunyai pH 4,2, Al-dd + H-dd sebesar 1,9 me/100 g serta bahan organik 5,2%. Padahal pemberian kapur akan lebih efisien jika kejenuhan kemasaman (Al-dd + H-dd) >10% dan pH < 5 sehingga tidak responnya pengapuran pada Ultisol mungkin karena tingginya bahan organik (5,2%).

Hasil penelitian Taufiq *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penambahan kapur setara 0,25 x Al-dd atau 259 kg CaO/ha meningkatkan hasil kedelai sebesar 75% dari 0,8 menjadi 1,4 t/ha di lahan kering Tulang Bawang, Lampung dan meningkatkan hasil sebesar 42,8% dari 1,4 t/ha menjadi 2,0 t/ha di lahan kering Lampung Tengah, Lampung. Peningkatan hasil ini disebabkan oleh pertumbuhan tanaman yang lebih baik yang dicerminkan oleh peningkatan tinggi tanaman dan berat brangkasan tanaman, juga disebabkan oleh peningkatan jumlah polong isi sebesar 16,1% dari 31 menjadi 36 polong/tanaman dan 30,4% dari 23 menjadi 30 polong/tanaman, serta peningkatan ukuran biji sebesar 5,6% dari 9 menjadi 9,5 g/100 biji dan 15,7% dari 8,3 menjadi 9,6 g/100 biji, masing-masing untuk lokasi Lampung Tengah dan Tulang Bawang (Tabel 6).

Di samping berpengaruh positif terhadap keragaan tanaman, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pengapuran menyebabkan perubahan sifat kimia yang lebih baik di antaranya adalah pH H₂O dan pH KCl mengalami peningkatan dan menyebabkan Δ pH turun yang berarti kation-kation penyebab kemasaman pada kompleks jerapan tanah mengalami penurunan, Ca-dd, Mg-dd meningkat dan diikuti peningkatan Kapasitas Tukar Kation Efektif (KTKE), penurunan Fe tersedia yang berarti mengurangi terjadinya keracunan Fe pada tanaman.

Pengapuran 0,25 x Al-dd berpotensi untuk menurunkan P tersedia, berarti bahwa pengapuran pada tanah masam harus diikuti dengan pemupukan P. Hairiah *et al.* (2000) juga mengemukakan bahwa pemberian kapur memerlukan pertimbangan yang seksama mengingat pemberian Ca dan Mg akan mengganggu keseimbangan unsur hara yang lain. Tanaman dapat tumbuh baik, jika nisbah Ca/Mg/K dalam tanah tepat. Penambahan Ca atau Mg seringkali mengakibatkan tanaman menunjukkan gejala kekurangan K, walaupun jumlah K sebenarnya sudah cukup dalam tanah.

Pengapuran pada lahan kering masam sangat diperlukan untuk meningkatkan pH tanah dan

Tabel 6. Pengaruh penambahan kapur pada lahan kering masam Tulang Bawang dan Lampung Tengah terhadap keragaan tanaman kedelai pada MH 2003.

Dosis kapur	Berat 100 biji (g)	Hasil biji (t/ha)	Brangkasan kering saat berbunga (g/tanaman)	Polong hampa/ tanaman	Polong isi/ tanaman	Tinggi tanaman saat panen (cm)
Lokasi Tulang Bawang						
0 x Al-dd	8,3 a	0,8 a	8,7 a	2	23 a	42,0 a
¼ x Al-dd	9,6 b	1,4 b	9,7 ab	2	30 b	45,3 ab
½ x Al-dd	9,7 b	1,4 b	9,7 ab	2	32 bc	45,2 ab
¾ x Al-dd	9,3 b	1,5 b	10,6 b	2	36 c	45,9 b
Lokasi Lampung Tengah						
0 x Al-dd	9,0 a	1,4 a	13,8	2	31 a	44,3 a
¼ x Al-dd	9,5 b	2,0 b	14,7	2	36 b	46,6 ab
½ x Al-dd	9,6 b	2,1 b	16,6	2	42 c	50,9 b
¾ x Al-dd	9,6 b	2,1 b	15,1	2	42 c	50,6 b

angka sekolom yang didampingi huruf sama tidak berbeda menurut uji BNT 5%.
Sumber: Taufiq *et al.* (2004).

Tabel 7. Rata-rata tinggi tanaman dan hasil kedelai pada penelitian penggunaan pupuk kandang di Desa Batin, Jambi.

Takaran Pupuk (t/ha)	Pupuk kandang Sapi		Pupuk kandang Kambing		Pupuk kandang Ayam	
	Tinggi tanaman (cm)	Hasil (t/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Hasil (t/ha)	Tinggi tanaman (cm)	Hasil (t/ha)
0	50,20	0,87	51,07	0,93	51,03	0,86
5	61,20	1,31	63,80	1,26	64,60	1,26
10	63,17	1,37	66,13	1,23	62,60	1,32
20	64,40	1,43	64,73	1,47	65,73	1,47
Rerata	59,74	1,24	61,43	1,24	61,24	1,23

Sumber : Abdurachman *et al.* (1999b).

mengurangi pengaruh buruk Al-dd terhadap tanaman. Pengapuran dengan dosis 0,25 x Al-dd di lahan kering masam Lampung memberikan hasil biji kedelai yang cukup tinggi. Pengapuran dengan dosis yang lebih tinggi tidak mampu lagi meningkatkan hasil biji kedelai, di samping itu pengapuran yang lebih tinggi bila disertai dengan pemupukan P dapat menurunkan P tersedia. Hal ini menunjukkan bahwa pengapuran dengan dosis 0,25 x Al-dd merupakan dosis yang tepat untuk pengelolaan hara di lahan kering masam Lampung.

Pemberian Bahan Organik

Telah diketahui bahwa bahan organik yang berupa sisa panen maupun pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah. Ditinjau dari kesuburan tanah, pemberian bahan organik mempunyai manfaat ganda yaitu selain memperbaiki sifat fisik tanah, hasil pelapukan bahan organik juga merupakan sumber hara yang cukup potensial. Peranan bahan organik yang sangat dibutuhkan adalah untuk menambah unsur hara dan meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Peningkatan kapasitas tukar kation ini dapat mengurangi kehilangan unsur hara yang ditambahkan melalui pemupukan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan (Hairiah *et al.* 2000).

Penambahan bahan organik kotoran sapi, jerami padi dan daun *Flemingia* meningkatkan KTK, C-organik, dan NO₃, serta serapan P dan Mg pada tanah Ultisol (Nursyamsi *et al.* 1997). Penambahan bahan organik juga meningkatkan

ketersediaan P, menekan fiksasi P dan menekan kelarutan Al³⁺ (Purwanto dan Sutanto 1997).

Hasil penelitian Sutono *et al.* (1995) yang dilakukan di Podsolik Merah Kuning Batanghari, Jambi menunjukkan bahwa pemberian bahan organik berupa pupuk kandang dan kompos mampu meningkatkan pH tanah, P tersedia, Ca-dd, kejenuhan basa dan menurunkan Al-dd. Adanya perbaikan sifat kimia tanah ini berakibat pada peningkatan tinggi tanaman dan hasil kedelai. Di samping itu pemberian bahan organik berupa pupuk kandang dan kompos mempunyai efek residu yang ditunjukkan dengan tinggi tanaman dan bobot kering akar yang cukup tinggi sampai musim tanam ke-3.

Abdurachman *et al.* (1999b) mengemukakan bahwa pemberian pupuk kandang berpengaruh nyata terhadap peningkatan tinggi tanaman dan hasil biji kedelai. Pemberian pupuk kandang dari 5 t/ha sampai 20 t/ha meningkatkan tinggi tanaman dan hasil biji kedelai dibandingkan dengan tanpa pemberian pupuk kandang (Tabel 7). Lebih lanjut dapat dilaporkan bahwa pemberian bahan organik berupa pupuk kandang sapi, kambing atau ayam pada tanah Ultisol Batin, Jambi cukup sebanyak 5 t/ha. Dosis tersebut lebih besar dibandingkan hasil penelitian Taufiq *et al.* (2003) yang menunjukkan bahwa pemberian pupuk kandang 2,5 t/ha pada lahan masam di Tulang Bawang mampu meningkatkan hasil kedelai sebesar 8,3% dari 1,2 t/ha menjadi 1,3 t/ha, dan meningkatkan hasil sebesar 11,1% dari 1,8 t/ha menjadi 2,0 t/ha di lahan masam Lampung Tengah.

Penanaman Varietas Tahan atau Toleran

Varietas toleran diperoleh dengan mencari, memodifikasi atau mengubah suatu tanaman agar dapat beradaptasi atau toleran terhadap keadaan lingkungan tertentu. Biasanya tanaman hanya toleran terhadap salah satu penyebab penurunan hasil, dari berbagai macam penyebab, misal keracunan Al, keracunan Mn, defisiensi Ca atau defisiensi P. Marschner (1991, dalam Myers dan De Pauw 1995) mengemukakan terdapat mekanisme tertentu yang dibutuhkan agar suatu jenis tanaman dapat toleran. Mekanisme yang dimaksud adalah toleran terhadap rendahnya kandungan unsur hara dalam tanah, toleran terhadap unsur-unsur yang beracun, kemampuan akar tanaman dalam mengurangi keracunan dan meningkatkan serapan unsur-unsur yang menjadi faktor pembatas.

Program pembentukan varietas unggul kedelai adaptif pada lahan kering masam telah dilakukan sejak tahun 1995. Pada tahun 2001 telah dilepas varietas kedelai yang lebih adaptif di lahan kering masam, yaitu varietas Tanggamus. Pengujian di lahan sawah Lampung dan Jawa Timur menunjukkan bahwa varietas Tanggamus memberikan hasil yang cukup baik (Arsyad 2004).

Manshuri (2003) telah mempelajari mekanisme detoksifikasi Al melalui serapan Al Simplastik dan Apoplastik, dan secara fisiologis dapat diartikan bahwa varietas/galur yang memiliki serapan Al Simplastik rendah mempunyai mekanisme detoksifikasi Al yang lebih baik dibandingkan galur/varietas yang memiliki serapan Al Simplastik

tinggi, sebab aluminium yang masuk ke dalam sel dapat dicegah seminimal mungkin agar tidak mengganggu metabolisme tanaman. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa Varietas Merabu, Lompobatang, Kawi, Galunggung, dan galur D3577-27 memiliki serapan Al simplastik rendah dibandingkan Varietas Burangrang dan Tampomas. Hal ini berarti varietas tersebut memiliki kemampuan detoksifikasi Al yang baik.

Hasil penelitian Taufiq *et al.* (2003) menunjukkan bahwa perbedaan varietas kedelai yang diuji (varietas Tanggamus, Sibayak dan Wilis) pada lahan masam Tulang Bawang menyebabkan perbedaan keragaan tinggi tanaman saat berbunga dan jumlah polong isi, tinggi tanaman saat panen, berat akar, berat 100 biji, hasil biji, berat brangkasan dan tidak berpengaruh terhadap jumlah polong hampa. Namun demikian, perbedaan jumlah polong isi tidak menyebabkan perbedaan hasil. Rata-rata hasil varietas Tanggamus, Sibayak dan Wilis masing-masing adalah 1,1, 1,0 dan 0,9 t/ha. Pada lahan masam Lampung Tengah, perbedaan varietas kedelai yang diuji menyebabkan perbedaan keragaan tinggi tanaman saat berbunga dan jumlah polong isi, dan tidak berpengaruh terhadap tinggi tanaman saat panen, berat akar, berat 100 biji, hasil biji, berat brangkasan dan jumlah polong hampa. Secara umum keragaan varietas Sibayak lebih baik dibandingkan varietas Tanggamus dan Wilis. Rata-rata hasil varietas Sibayak adalah 1,3 t/ha (potensi hasil 1,4 t/ha), sedangkan varietas Tanggamus dan Wilis kurang dari 1 t/ha (Tabel 8).

Tabel 8. Penampilan kedelai varietas Tanggamus, Sibayak dan Wilis di lahan masam Tulang Bawang dan Lampung Tengah MH 2003.

Varietas	Berat akar saat berbunga (g/tanaman)	Berat 100 biji (g)	Hasil biji (t/ha)	Brangkasan kering saat berbunga (g/tanaman)	Polong hampa/ tana-man	Polong isi/ tana-man	Tinggi tanaman saat berbunga (cm)	Tinggi tanaman saat panen (cm)
Tulang Bawang								
Tanggamus	2,1	8,6	1,1	9,8	1	29 a	26,4 a	36,6
Sibayak	2,3	8,7	1,0	10,7	2	24 b	30,2 b	52,2
Wilis	2,4	8,9	0,9	10,5	2	23 b	32,4 b	39,7
Lampung Tengah								
Tanggamus	1,1 a	8,5 a	0,8 a	6,4 a	3	29 a	19,9 a	30,6 a
Sibayak	1,8 c	9,1 b	1,3 b	11,6 b	3	31 a	28,2 c	49,9 b
Wilis	1,4 b	9,4 b	0,8 a	7,6 a	3	22 b	22,6 b	30,3 a

Angka sekolom yang didampingi huruf sama tidak berbeda menurut uji BNT 5%.
Sumber: Taufiq *et al.* (2003).

Arsyad (2004) mengemukakan bahwa di lahan kering masam Sumatera (Lampung, Sumatera Selatan dan Sumatera Utara) varietas Tanggamus memberikan hasil rata-rata 1,9 t/ha dan daya hasil tertinggi sebesar 2,8 t/ha diperoleh di KP Kayu Agung, Ogan Komering Ilir dan Sumatera Selatan. Lebih lanjut Hilman (2004) mengemukakan bahwa hasil pengujian 3 varietas (Tanggamus, Sibayak dan Nanti) dari 22 lokasi menunjukkan bahwa varietas Tanggamus memberikan rata-rata hasil 44% lebih tinggi dibandingkan dengan varietas Slamet. Rata-rata hasil varietas Sibayak 23% lebih tinggi dan varietas Nanti 7% lebih tinggi dibandingkan dengan varietas Slamet. Varietas Tanggamus beradaptasi cukup luas, yaitu di Lampung, Sumatera Utara dan Sumatera Selatan. Varietas Sibayak lebih adaptif di wilayah Sumatera Utara dan varietas Nanti lebih adaptif di wilayah Sumatera Selatan.

Pengelolaan Kedelai di Lahan Masam Secara Terpadu

Pengelolaan tanah masam tidak dapat dilakukan secara sendiri-sendiri akan tetapi harus dilakukan secara terpadu artinya bahwa pengelolaan tanah masam tidak hanya dilakukan dengan pengapuran, pemupukan, pemberian bahan organik atau penggunaan varietas toleran saja akan tetapi perpaduan dari keempat teknologi tersebut.

Rumbaina *et al.* (2004) mengemukakan beberapa teknologi budidaya yang perlu diperhatikan dalam pengembangan kedelai di lahan kering masam, yaitu:

1. Tanah diolah hingga gembur.
2. Penggunaan varietas unggul nasional toleran masam (Tanggamus, Nanti atau Sibayak).
3. Sistem tanam baris dengan jarak tanam 40 cm x 10 cm, dua biji/lubang.
4. Pemupukan dasar 75 kg Urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha.
5. Ameliorasi lahan dengan 500 kg CaO (bersumber dari dolomit)/ha.
6. Pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) dilakukan berdasarkan pemantauan.
7. Penyiangan dilakukan pada umur 15 dan 30 hari.
8. Panen dilakukan pada saat tanaman masak fisiologis.

Hasil penelitian Rumbaina *et al.* (2004) menggunakan ke-8 teknologi tersebut di atas melalui gelar teknologi kedelai di lahan kering masam menunjukkan bahwa keragaan tanaman kedelai di lahan kering masam Desa Watuagung, Kec. Kalirejo, Kab. Lampung Tengah pada MK 2004 cukup baik, hasil kedelai berkisar 0,81–2,35 t/ha, dengan rata-rata 1,45 t/ha. Pada kondisi tersebut, frekuensi tingkat hasil yang lebih rendah dari nilai rata-rata sebanyak 5 petani (25%), yaitu antara 0,81–1,19 t/ha, sedangkan yang lebih tinggi dari nilai rata-rata sebanyak 4 petani (20%), yaitu antara 1,63–2,35 t/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa paket teknologi budidaya kedelai yang dievaluasi berpeluang untuk dapat diterapkan.

KESIMPULAN

1. Pemanfaatan lahan kering masam untuk keperluan pertanian (kedelai) memerlukan pengelolaan yang tepat, hal ini berhubungan dengan tingkat kesuburannya yang rendah (kahat P, Ca, Mg, K dan Bahan organik serta tingginya Al-dd, Fe dan Mn tersedia).
2. Pengelolaan tanah untuk meningkatkan hasil kedelai pada tanah masam dapat ditempuh dengan cara (1) mencukupi kebutuhan hara yang berada pada status kahat dengan cara menambahkan masukan pupuk (75 kg Urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha), (2) mengurangi pengaruh negatif dari sifat fisik dan kimia tanah dengan cara menambahkan bahan amelioran (kapur 500 kg CaO bersumber dari dolomit/ha dan bahan organik setara 2,5 t/ha), (3) mengembangkan varietas yang adaptif lingkungan masam (Tanggamus, Nanti atau Sibayak), (4) kombinasi pendekatan 1, 2 dan 3 tersebut di atas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., K. Nugroho dan Sumarno. 1999a. Pengembangan lahan kering untuk menunjang ketahanan pangan nasional. Pros. Seminar Sumber Daya Lahan. Puslitanak. Hal. 21–32.
- Abdurachman, A., I. Juarsah dan U. Kurnia. 1999b. Pengaruh penggunaan berbagai jenis dan takaran pupuk kandang terhadap produktivitas tanah Ultisol di Desa Batin, Jambi. Pros. Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim dan Pupuk. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal 303–320.

- Adiningsih, JS., U. Kurnia dan S. Rochayati. 1998. Prospek dan kendala penggunaan P-alam untuk meningkatkan produksi tanaman pangan pada lahan masam marginal. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal. 51–76.
- Arsyad, DM. 2004. Varietas kedelai toleran lahan kering masam. Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu. BPTP Lampung. Hal. 41–47.
- Arsyad, DM., A. Yusuf, Kamsiyono dan Purwantoro. 2001. Evaluasi adaptasi galur-galur kedelai di lahan kering masam. *Dalam* Arsyad, DM. *et al.* (eds). Kinerja Teknologi untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Puslitbang. Hal. 27–34.
- Erfandi, D. dan D. Nursyamsi. 1996. Rehabilitasi tanah masam pada areal transmigrasi Sitiung dengan cara pembuatan teras gulud dan pengelolaan pupuk. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal. 1–13.
- Follet, RH., LS. Murphy, and RL. Donahue. 1981. Fertilizers and Soil Amendments. Prentice Hall, Inc., London. P. 393–422.
- Franzen, DW. Soybean Soil Fertility. <http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/soilfert/sf1164w.htm>. tanggal 24 Maret 2003.
- Gill, DW. and JS. Adiningsih. 1986. Response of upland rice and soybean to potassium fertilization, residue management and green manuring in Sitiung, West Sumatra. *Pemb. Pen. Tanah dan Pupuk.* 6 : 26–32.
- Hairiah, K., R. Islawiyah and Y. Widyaningsih. 1996. Amelioration of Al toxicity with organic matter: Selection of organic matter based on its total cation concentration. *Agrivita* 19 (4):158–164.
- Hairiah, K., Widiyanto, SR. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, SM. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, MV. Noordwijk dan G. Cadisch. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi ; Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. SMT Grafika Desa Putera, Jakarta. 187 hlm.
- Hartatik, W. dan JS. Adiningsih. 1987. Pengaruh pengapuran dan pupuk hijau terhadap hasil kedelai pada tanah Podsolik Sitiung di Rumah Kaca. *Pemb. Pen. Tanah dan Pupuk.* 7:1–4.
- Hilman, Y. 2004. Inovasi teknologi pengembangan kedelai di lahan kering masam. Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu. BPTP Lampung. Hal. 9–20.
- Ismail, IG. dan S. Effendi. 1985. Pertanaman kedelai pada lahan kering. Dalam Somaatmadja dkk (eds) Kedelai. Puslitbangtan. Hal. 103–120.
- Kamprath, E. J. 1974. Nutrition in relationship to soybean fertilization. *In* Soybean Production, Marketing and Use. Tennessee. p. 28–32
- Maamun, MY., B. Prayudi dan M. Sabran. 1994. Hasil Penelitian Utama Balittan Banjarbaru. 94 hlm.
- Manshuri, AG. 2003. Karakterisasi sifat-sifat agro-morfologi kedelai toleran terhadap keracunan aluminium di lahan Podsolik Merah Kuning. Laporan Teknis Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Tahun Anggaran 2001. Hal. C4–C12.
- Matheson, EM., JV. Lovelt, GJ. Blair and RJ. Lawn. 1975. A Course Manual in Annual Crops Production (Maize, Sorghum and Soybean). Australian Vice-Chancellors Comm. 139p.
- Muljadi. 1977. Sumber tanah kering, penyebaran dan potensinya untuk kemungkinan budidaya pertanian. Makalah Kongres Agronomi. Perhimpunan Agronomi Indonesia. 24 hal.
- Myers, RJK. and E. De Pauw. 1995. Strategies for the management of soil acidity. *In* Date, RA. (eds) Plant Soil Interaction at Low pH. Kluwer Akademik Publishers. Netherlands. p 729–741.
- Nasution, I. dan M. Al-Jabri. 1999. Hubungan hasil tanaman kedelai dengan pemupukan P pada beberapa status P tanah yang berbeda berdasarkan jerapan P tanah pada tanah Ultisol Lampung. Pros. Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim dan Pupuk. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal 177–190.
- Nursyamsi, D., JS. Adiningsih, Sholeh dan A. Adi. 1997. Penggunaan bahan organik untuk meningkatkan efisiensi pupuk N pada Ultisol Sitiung, Sumatera Barat. Pros. Seminar Suberdaya Lahan (Buku I). Puslitanak, Bogor. Hal. 319–330.
- Purwanto, BH. dan R. Sutanto, 1997. Pencirian gugus fungsional hasil dekomposisi bahan organik dan peranannya terhadap ketersediaan P pada Ultisol. Pros. Seminar Suberdaya Lahan (Buku I). Puslitanak, Bogor. Hal. 505–517.
- Rumbaina, D., Hasanah, Hayani dan Y. Barus. 2000. Kajian dosis pupuk terhadap hasil galur dan varietas kedelai. Pros. Kongres Nasional VII HITI. Bandung. Hal. 945–950.
- Rumbaina, D., N. Amrizal, Widiyantoro, Marwoto, A. Taufiq, H. Kuntastyuti, DM. Arsyad dan Heryanto. 2004. Pengembangan kedelai melalui pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di lahan masam. Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu. BPTP Lampung. Hal. 61–72.

- Setijono, S. 1996. Effect on crop residues and lime materials on soil aluminium and phosphorus availability on a High Activity Clay (HAC) acid mineral soil. *Agrivita* 19:153-157.
- Sitorus, SRP. 1972. Pengaruh pengapuran, pemupukan P dan K terhadap P tersedia dan hasil tanaman kedelai pada Latosol Coklat Kemerahan. Tesis, IPB. Bogor. 192 hlm.
- Sutono, S., A. Abdurachman dan I. Juarsah. 1995. Perbaikan tanah Podsolik Merah Kuning menggunakan bahan organik dan anorganik: suatu percobaan rumah kaca. Pros. Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal.17-38.
- Tan, KH. 2000. *Environmental Soil Science*. Marcel Dikker Inc. New York. 360 p.
- Tandon, HLS., and IJ. Kimmo. 1993. Balance fertilizer use, its practical importance and guidelines for agricultural in the Asia-Pasific Region. ESCAP/FAO/UNIDO, New York. 49 p.
- Tisdale, SL., WL. Nelson and JD. Beaton. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. New York. p. 751.
- Taufiq, A., H. Kuntastyuti, Sudaryono, A.G. Manshuri, Suryantini, Tri Wardani dan Cipto P. 2003. Perbaikan dan peningkatan efisiensi teknik produksi kedelai di lahan kering masam. Laporan Teknik Balitkabi Tahun 2003.
- Taufiq, A. dan H. Kuntastyuti. 2004. Upaya peningkatan produktivitas kedelai di lahan masam Sumatera Selatan. Pros. Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui PTT di Lahan Kering Masam Palembang 9 Desember 2004. BPTP Sumatera Selatan. Hal. 23-33.
- Taufiq, A., H. Kuntastyuti dan A.G. Mansuri. 2004. Pemupukan dan ameliorasi lahan kering masam untuk peningkatan produktivitas kedelai. Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu. BPTP Lampung. Hal. 21-40.
- van der Heide, J., S. Setijono, MS. Syekhfani, EN. Flach, K. Hairiah, SM. Sitompul, and M. van Moordwijk. 1992. Can low external input cropping system on acid upland soils in the humid tropics be sustainable? *Agrivita* 15:1-10.
- Wade, MK., M. Al-Jabri dan M. Sudjadi, 1986. The effect of liming on soybean yield and soil acidity parameters of three Red-Yellow Podsollic soils of West Sumatera. *Pemberitaan Pen. Tanah dan Pupuk* (6):1-8.
- Wijanarko, A. 2004. Penggunaan Asam Sitrat, Kapur dan Fosfat Dikaitkan dengan Keracunan Aluminium, Serapan Hara dan Pertumbuhan Tanaman Kedelai. Tesis. IPB, Bogor, 79 hlm. (tidak diterbitkan).