

Efektivitas Multi-isolat *Rhizobium* dalam Pengembangan Kedelai di Lahan Kering Masam

A. Harsono, Prihastuti, dan Subandi¹

Ringkasan

Pengembangan areal kedelai di lingkungan suboptimal lahan masam akan semakin penting seiring dengan makin sempitnya lahan optimal yang dapat ditanami kedelai. Pengembangan kedelai pada lahan masam menghadapi banyak masalah, di antaranya keracunan Al, kahat hara N, P, K dan Ca, sehingga produktivitasnya sangat rendah (<0,5 t/ha) jika tidak ada perbaikan kesuburan lahan melalui ameliorasi dan pemupukan. Pada tanah masam Ultisol Lampung (pH $\pm$ 4,2 berkejuhan Al>50%) yang terus menerus ditanami ubikayu, apabila tidak dikapur meskipun dipupuk 300 kg phonska/ha (setara 100 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha), kedelai hanya memberikan hasil 0,35 t/ha. Pada tanah yang telah dikelola intensif dengan polatanam bervariasi, pH-nya di bawah 5,0, kejenuhan Al <30% dengan pemupukan 75 kg urea + 100 kg SP36 + 75 kg KCl + 500 kg dolomit/ha, hasil kedelai dapat mencapai 2,3 t/ha. Kondisi tersebut memberi gambaran bahwa lahan masam mempunyai prospek yang baik untuk pengembangan kedelai. Untuk mencapai hasil optimal tanaman kedelai memerlukan pemupukan spesifik lokasi. Kebutuhan pupuk di tanah masam dapat ditekan dengan aplikasi multi-isolat *rhizobium* Iletriso-1, 2, 3, dan 4 yang mampu membentuk bintil akar 45-66 bintil/tanaman dan meningkatkan hasil biji hingga 21,2%. Di tanah Ultisol yang belum pernah ditanami kedelai (pH 4,2 dan kejenuhan Al diturunkan hingga 20%), aplikasi Iletriso-2 yang dikemas dalam bentuk pelet dapat merangsang pembentukan bintil akar dan meningkatkan hasil dari 0,50-0,90 t/ha (tanpa inokulasi) menjadi 1,10-1,51 t/ha serta menekan kebutuhan pupuk N setara 50-75 kg urea/ha. Multi-isolat *rhizobium* Iletriso-2 dan Iletriso-4 yang dikemas dalam bahan pembawa utama gambut dapat meningkatkan pembentukan bintil akar hingga 40 bintil akar efektif/tanaman bila kejenuhan Al diturunkan menjadi 10-20%. Pada kejenuhan Al 20%, aplikasi Iletriso-2 dan iletriso-4 masing-masing meningkatkan hasil dari 1,43 t/ha menjadi 1,73 t/ha (21%) dan 1,71 t/ha (20%). Pada kejenuhan Al 10% Iletriso-2 dan Iletriso-4 meningkatkan hasil dari 1,10 t/ha menjadi 2,14 t/ha (94%) dan 1,82 t/ha (56%), lebih tinggi dibanding jika tanaman hanya dipupuk urea 100-200 kg/ha. Penggunaan inokulasi *rhizobium* yang efektif merupakan faktor penting untuk budi daya kedelai pada lahan masam.

Di Indonesia, kedelai menjadi komoditas yang mendapat perhatian karena (1) kebutuhan dalam negeri cukup tinggi, mencapai 2,02 juta ton/tahun, (2) luas panen kedelai terus menurun (3) produksi dalam

¹ Peneliti pada Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Malang

negeri tidak mencukupi dan impor terus meningkat, dan (4) usahatani kedelai kurang kompetitif dibanding jagung. Oleh karena itu, upaya peningkatan produksi kedelai ke depan memerlukan perluasan areal panen, dan yang sangat potensial untuk program tersebut adalah lahan kering masam (Sumarno dan Manshuri 2007).

Lahan kering masam di Indonesia mempunyai potensi besar untuk pertanian, namun produktivitasnya rendah. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain adanya unsur Al, Fe dan Mn yang bersifat racun dan defisiensi hara N, P, Ca, dan Mg (Ritchie 1989; Taufiq *et al.* 2004). Lahan kering masam juga miskin mikroba, dengan populasi yang hanya berkisar antara 57×10^3 - 29×10^4 cfu/g tanah (Prihastuti *et al.* 2006). Rendahnya populasi mikroba tanah di lahan kering masam, maka pengelolaannya secara biologis mutlak diperlukan, antara lain dengan masukan kultur mikroba (Prihastuti dan Harsono 2007). Mikroba dapat memperbaiki kesuburan lahan di perakaran tanaman, sehingga dapat meningkatkan kapasitas akar dalam menyerap nutrisi (Kloepper *et al.* 1989 dan Hasanudin 2003).

Rhizobium merupakan salah satu mikroba yang juga terdapat di lahan masam yang kehidupannya erat dengan akar tanaman kacang-kacangan termasuk kedelai. Bentuk asosiasi bakteri rhizobium dan akar tanaman kedelai terwujud dalam pembentukan bintil akar yang dapat menambat N. Pertumbuhan bakteri rhizobium di lahan masam menghadapi banyak kendala, di antaranya pH rendah, kejenuhan Al tinggi, kandungan Fe dan Mn tinggi, sehingga lingkungan tumbuhnya memerlukan perbaikan dengan pemberian amelioran berupa kapur maupun bahan organik. Apabila rhizobium di lahan masam dapat dirakit sebagai pupuk hayati yang efektif, maka kebutuhan pupuk N pada kedelai sebagian akan dapat dipenuhi dari penggunaan pupuk ini. Nambiar dan Dart (1980) melaporkan bahwa apabila tanaman kedelai mampu membentuk bintil akar secara optimal, maka kebutuhan nitrogen tanaman sebanyak 60% dapat dipenuhi melalui fiksasi N.

Potensi Lahan Masam untuk Pengembangan Kedelai

Lahan kering masam merupakan lahan yang tidak pernah tergenang dan umumnya tergolong ordo Ultisol, Oxisol, Inceptisol, Entisol, dan Spodosol. Luas lahan masam di Indonesia mencapai 102,8 juta ha yang didominasi oleh Ultisol dan Inceptisol (Tabel 1). Dari luasan tersebut menurut Mulyani (2006), yang sesuai untuk pengembangan tanaman pangan 18,5 juta ha, sebagian besar tersebar di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Namun tidak semua lahan yang sesuai untuk tanaman pangan tersebut dalam kondisi siap pakai, karena sebagian berada dalam bentuk hutan areal perkebunan, ditempati komoditas lain, misalnya ubikayu, atau berupa tanah terlantar. Apabila 5% saja dari lahan masam tersebut dapat dimanfaatkan untuk kedelai,

Tabel 1. Luas lahan kering masam berdasarkan jenis tanah di Indonesia.

Wilayah	Luas ('000 ha)					Total
	Entisol	Inceptisol	Oxisol	Spodosol	Ultisol	
Sumatera	955,1	13.412,4	5.929,0	16,4	9.391,5	29.334,5
Jawa dan Madura	238,9	2.284,7	271,7	-	1.171,7	3.807,0
Bali dan Nusa Tenggara	37,8	38,8	-	-	25,5	102,2
Kalimantan	1.447,2	10.968,1	4.875,7	2.062,4	20.089,1	39.242,5
Sulawesi	213,7	4.407,3	656,2	-	4.244,4	9.521,6
Papua dan Maluku	1.272,1	9.928,4	2.601,8	-	6.996,9	20.799,2
Indonesia	3.804,8	40.879,6	14.134,5	2.078,8	41.919,3	102.817,1

Sumber: Mulyani (2006)

maka akan ada tambahan luas panen sekitar 9 ribu ha. Luas panen kedelai di Indonesia saat ini baru mencapai 661 ribu ha (BPS 2011). Sementara itu, untuk mencapai swasembada kedelai, paling tidak diperlukan luas panen 1,6 juta ha (Harsono 2008).

Kendala teknis yang dihadapi dalam pengembangan kedelai di lahan masam adalah pH tanah rendah ($< 5,0$) yang berkaitan dengan kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa dapat ditukar dan KTK rendah, kandungan besi dan mangan mencapai batas meracuni (Tabel 2) dan miskin elemen biotik. Kondisi ini kurang sesuai untuk pengembangan kedelai, sehingga untuk tumbuh optimal dan memberikan hasil maksimal diperlukan input amelioran berupa kapur dan bahan organik serta pupuk anorganik NPK relatif tinggi. Menurut Sumarno dan Manshuri (2007), batas toleransi tanaman kedelai terhadap kejenuhan Al adalah 20%, sehingga di banyak tempat diperlukan amelioran cukup tinggi agar lahan dapat ditanami kedelai dengan hasil yang baik.

Rendahnya pH tanah mengakibatkan terjerapnya unsur P dalam tanah. Sekitar 90-95 % unsur P di dalam tanah terdapat dalam bentuk P tidak larut, sehingga tidak dapat digunakan oleh tanaman (Vassileva *et al.* 2001). Pada tanah masam, faktor penting pembatas perkembangan akar tanaman adalah defisiensi Ca dan keracunan Al (Adam dan Moore 1983), yang menyebabkan buruknya perkembangan akar tanaman (Foy 1984; McKenzie dan Nyborg 1984). Kemasaman tanah pada lapisan permukaan mudah diperbaiki dengan pemberian amelioran seperti kapur, namun apabila kemasaman tanah terjadi pada subsoil, tidak mudah untuk diperbaiki.

Perbaikan teknik budi daya tanaman kedelai di lahan kering masam telah banyak dilakukan, antara lain dengan penggunaan bahan organik dan kapur pertanian dalam bentuk CaCO_3 atau dolomit untuk meningkatkan produktivitas tanah (Kamprath 1972; Mengel *et al.* 1987 dan Stoato *et al.* 2001). Pengapuran akan efektif jika kejenuhan kemasaman ($\text{Al}^+ \text{H}$) $> 10\%$ dan

Tabel 2. Sifat kimia tanah masam Ultisol di beberapa daerah di Propinsi Lampung.

Sifat tanah	Kab. Lampung Tengah		Kab. Lampung Timur	Kab. Tanggamus	
	Rumbia ¹	Bumi Nabung ²	Sukadana ³	Wonosobo ³	Gedong ³ Meneng
pH H ₂ O	4,00	4,40	4,40	4,80	4,10
pH KCl	3,65	4,10	3,90	4,00	3,90
C-organik (%)	1,53	1,58	0,25	1,44	1,19
N (%)	0,09	0,05	0,02	0,12	0,10
P ₂ O ₅ (ppm)	40,10	26,10	6,50	-	6,30
SO ₄ (ppm)	36,20	-	-	-	-
K (me/100 g)	0,12	0,08	-	0,33	0,50
Na (me/100 g)	0,26	-	0,10	0,72	0,14
Ca (me/100 g)	1,90	0,87	0,88	5,63	1,39
Mg (me/100 g)	0,55	0,41	0,49	6,33	0,50
Al dd (me/100 g)	1,09	0,91	2,05	0,48	1,62
Kejenuhan Al (%)	27,80	34,90	56,00	3,53	43,43
KTK (me/100 g)	6,10	8,70	5,86	60,91	16,63

- = tidak diukur

Sumber: ¹Harsono *et al.* 2007, ² Adisarwanto *et al.* 2007, ³ Subandi *et al.* 2009.

pH tanah <5 (Wade *et al.* 1986). Rakitan paket teknologi yang terdiri atas beberapa komponen teknologi, baik fisis, khemis, maupun biologis telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas kedelai di lahan kering masam (Arsyad 2004; Marwoto dan Hardaningsih 2004; Rumbaina *et al.* 2004; Taufiq *et al.* 2004). Kenyataan di lapang, rakitan paket teknologi ini tidak selalu menunjukkan sinergisme positif dan bersifat linier dengan peningkatan hasil (Sudaryono *et al.* 2007).

Salah satu upaya untuk mengatasi tanah masam adalah dengan memodifikasi lingkungan tumbuh tanaman, yang dapat dilakukan secara khemis, fisis maupun biologis. Pemberian dolomit 1,5 t/ha pada tanah Ultisol Lampung Tengah dapat meningkatkan pH dari 4,6 menjadi 5,6 dan menurunkan kejenuhan Al dari 23,3% menjadi 6,1%. Pemberian bokasi 2,0 t/ha menurunkan sedikit pH menjadi 5,5 dan menjadikan kandungan Al-dd sangat kecil dan tidak terukur. Hara Fe dan Mn yang bersifat racun dengan tambahan dolomit 1,5 t/ha menjadi berkurang masing-masing dari 283,0 ppm dan 1,86 ppm menjadi 154,9 ppm dan 2,23 ppm (Tabel 3). Tambahan dolomit dan bokasi meskipun belum mampu mengubah sifat kimia tanah menjadi ideal untuk pertumbuhan tanaman kedelai, tetapi sudah dapat memperbaiki sifat kimia tanah yang dapat mendukung pertumbuhan kedelai. Seiring dengan perjalanan waktu, keadaan ini akan menuju proses alami dalam lingkungan tanah, di mana perbaikan sifat khemis akan diikuti oleh perbaikan sifat fisis dan biologis tanah.

Tabel 3. Pengaruh pemberian dolomit dan bokasi terhadap sifat kimia tanah masam Ultisol Lampung Tengah.

Sifat tanah	Sebelum diberi amelioran	Tanah + dolomit	Tanah + dolomit + bokasi	Tanah + dolomit + bokasi + Mo	Standar normal
pH H ₂ O	4,60	5,60	5,50	5,50	6,60-7,50
pH KCl	4,40	4,80	4,60	4,60	-
N Total (%)	0,08	0,10	0,11	0,11	0,21-0,50
Corganik (%)	1,39	1,11	1,14	1,14	2,01-3,00
C/N rasio	17,38	11,00	11,00	11,00	0,21-0,50
Bahan organik (%)	-	1,92	1,98	1,98	-
P ₂ O ₅ (ppm)	62,70	-	-	-	21,00-40,00
SO ₄ (ppm)	72,30	-	-	-	100
K (me/100 g)	0,06	0,10	0,14	0,14	0,40-0,50
Ca (me/100 g)	1,85	1,25	1,43	1,43	10-Jun
Na (me/100 g)	-	0,30	0,29	0,29	0,4-0,7
Mg (me/100 g)	0,51	0,52	0,20	0,20	1,1-2,0
TKK (me/100 g)	11,50	-	-	-	17-24
Al-dd (me/100 g)	0,80	0,18	tu	tu	-
Kejenuhan Al	23,39	6,12	-	-	-
H-dd (me/100 g)	0,20	0,59	0,59	0,59	-
Fe (ppm)	283,00	96,30	154,90	154,90	0,5-1,0
Zn (ppm)	-	16,20	16,70	16,70	0,5-1,0
Mn (ppm)	1,86	1,33	2,23	2,23	-
Mo (ppm)	-	0,18	2,58	3,47	-
Populasi bakteri rhizobium/g tanah	5-65	-	-	-	>5000

Dolomit = 1,5 t/ha dan bokasi 2,0 t/ha, tu = tidak terukur.

Sumber: Harsono *et al.* 2008.

Keragaan Kedelai di Lahan Masam

Lahan masam sebenarnya kurang sesuai untuk pengembangan kedelai, karena pada pH rendah akar kedelai tidak dapat berkembang dan bintil akar tidak terbentuk dengan baik (Ritchie 1989), sehingga serapan hara dan penambatan nitrogen tidak optimal. Pada tanah masam Ultisol Lampung dengan pH 3,9-4,9; kejenuhan Al 38,7-65,5%; C-organik rendah-sedang; P-tersedia (Bray-1) 2,1-11,8 ppm; K-dd 0,01-0,05 me; Ca-dd 0,37-1,86 me; dan Mg-dd 0,35-0,66 me/100 g tanah, pertumbuhan kedelai varietas Wilis sangat kurus bila tanah tidak dikapur (Subandi *et al.* 2009). Tanaman tumbuh mendekati normal apabila kejenuhan Al diturunkan hingga sekitar 20%. Kedelai yang ditanam di tanah yang belum pernah ditanami kedelai tidak membentuk bintil akar, sehingga pemupukan N setara 100 kg urea/ha pada awal pertumbuhan belum mencukupi. Pada umur sekitar 50 hari, daun tanaman mulai menguning karena kekurangan N dan pada umur sekitar 70 hari daun sudah mulai rontok. Menurut Subandi *et al.* (2009), hal ini juga diperberat

oleh kahat P akibat rendahnya ketersediaan P dalam tanah. Kondisi ini menyebabkan tanaman tidak dapat memberikan hasil maksimal meskipun pertumbuhan vegetatifnya mendekati optimal. Penggunaan inokulan rhizobium toleran masam berperan penting karena kedelai mampu membentuk bintil akar sehingga kebutuhan pupuk N dapat ditekan. Subandi *et al.* (2009) melaporkan bahwa di lahan tersebut hasil kedelai yang tidak dikapur meskipun sudah dipupuk phonska 300 kg/ha (setara 100 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha) sangat rendah, berkisar antara 0,20-0,45 t/ha pada kedalaman pemberian kapur 15 cm dan 0,27-0,38 t/ha pada kedalaman pemberian kapur 30 cm. Apabila tanah dikapur hingga kejenuhan Al turun menjadi sekitar 20%, hasil kedelai meningkat menjadi 0,62-0,69 t/ha pada kedalaman pengapuran 15 cm dan menjadi 0,69-0,77 t/ha pada kedalaman pengapuran 30 cm. Apabila pengapuran ditambah pupuk kandang 3 t/ha, hasil kedelai dapat mencapai 1,23 t/ha (Harsono *et al.* 2009).

Tidak di semua lahan masam produktivitas kedelai rendah, di daerah di mana petani sudah mengelola lahan dengan intensif seperti di Buminabung dan Rumbia, Lampung Tengah, hasil kedelai lebih dari 2,0 t/ha. Di daerah tersebut meskipun pH tanah masih relatif rendah 4,0-4,4 tetapi kejenuhan Al cukup rendah (<35%) dan ketersediaan hara P cukup tinggi (>26 ppm) karena lahan dimanfaatkan untuk pertanian yang beragam dengan tambahan pupuk organik, NPK, dan kapur secara intensif. Di lahan tersebut pengembangan kedelai mempunyai prospek cukup baik, hal yang perlu mendapat perhatian adalah pengelolaan yang dapat mengefisienkan penggunaan input (pupuk) dengan tetap menjaga kelestarian sumber daya lahan.

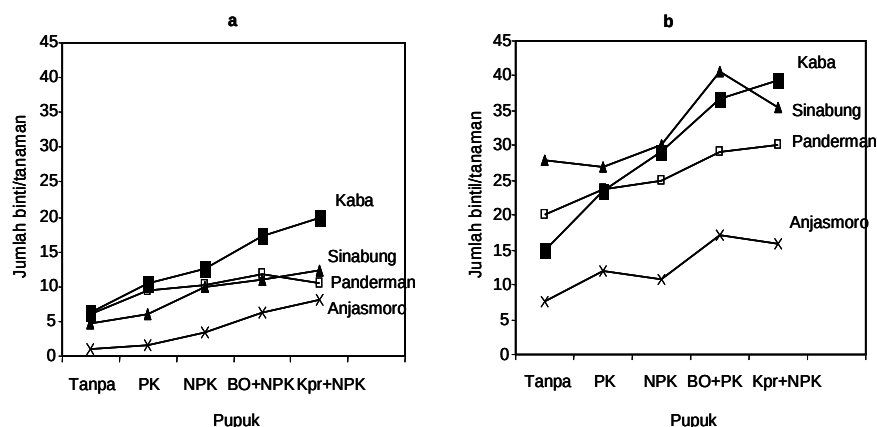
Aplikasi Rhizobium untuk Kedelai di Lahan Masam

Rhizobium relatif unik di antara mikroba tanah dalam bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan. Untuk dapat bersimbiosis, rhizobium harus dapat hidup saprofit dan dapat mengalahkan rhizobium lainnya dalam upaya mendapatkan tempat infeksi akar tanaman kacang-kacangan (Vincent 1970). Rhizobium akan menambat N_2 tidak jauh dari tanaman kacang-kacangan yang bertindak sebagai inangnya. Kelompok ini dapat tumbuh dengan baik pada suhu optimum 25-30° C dan pH 6-7, tetapi strain rhizobium asal tanah masam yang telah berhasil dikulturkan di Balitkabi dapat bersimbiose dengan tanaman kedelai dan membentuk bintil akar sangat baik.

Kajian pemanfaatan rhizobium asal tanah masam Lampung telah dimulai di Balitkabi sejak tahun 2006 dengan beberapa tahapan, mulai dari eksplorasi, isolasi dan uji ketahanan bakteri rhizobium terhadap kemasaman, keracunan Al, Mn dan Fe, hingga uji efektivitas. Mikroba terpilih selanjutnya diperbanyak dan diuji efektivitasnya pada tanaman kedelai baik dalam bentuk *single isolat*

maupun multi-isolat. Mikroba unggul terpilih selanjutnya dirakit sebagai pupuk hayati dan diuji efektivitasnya. Soedarjo *et al.* (2007) melaporkan, pada tanah masam Ultisol Lampung Tengah terdapat populasi bakteri rhizobium cukup tinggi (sekitar $1,7 \times 10^6$ cfu/g tanah) pada tanah bekas ditanami kedelai, sementara pada tanah bukan bekas kedelai hanya sekitar $5,8 \times 10^4$ cfu/g tanah, tetapi di Ultisol Lampung Timur yang belum pernah ditanami kedelai hanya sekitar $6,5 \times 10^1$ cfu/g tanah (Harsono *et al.* 2009). Keadaan ini menunjukkan bahwa jumlah populasi bakteri rhizobium di daerah perakaran tanaman dipengaruhi oleh adanya tanaman kacang-kacangan sebagai inangnya.

Rhizobium endogen di tanah Ultisol Lampung cukup infeksi (mampu membentuk bintil) untuk tanaman kedelai. Di tanah bekas kedelai infeksiabilitasnya lebih tinggi dengan jumlah 8-40 bintil/tanaman dibanding tanah bekas nonkedelai yang hanya 1-20 bintil/tanaman (Gambar 1). Perbedaan jumlah bintil akar yang terbentuk antara varietas yang diuji (Kaba, Sinabung, Anjasmoro, dan Panderman) menunjukkan adanya perbedaan kompatibilitas antara varietas-varietas kedelai tersebut dengan rhizobium endogen dari tanah Ultisol Lampung. Dibanding ketiga varietas lain, Anjasmoro membentuk bintil paling rendah, diduga karena kurang toleran terhadap lingkungan masam, sehingga menyebabkan pertumbuhan akar kurang baik dan kurang tanggap terhadap infeksi akar oleh rhizobium. Pada varietas Anjasmoro yang ditanam pada lahan yang pernah dan belum pernah ditanami kedelai, baik pada perlakuan kontrol maupun yang diberi pupuk, kapur ataupun bahan organik menunjukkan respon yang sama, yaitu tidak membentuk bintil akar di sekitar perakarannya. Sementara untuk varietas Kaba, Sinabung, dan Panderman menunjukkan tanggap positif terhadap pembentukan akar, dan jumlah bintil akar semakin meningkat dengan pemberian pupuk, kapur dan bahan organik. Soedarjo *et al.* (2007) melaporkan dari lebih 200 isolat rhizobium yang dikoleksi



Gambar 1. Jumlah bintil akar kedelai di tanah masam Lampung Tengah yang tidak pernah ditanami kedelai (a) dan pernah ditanami kedelai (b) (Sudarjo *et al.* 2007).

asal tanah masam Lampung, terdapat 38 isolat toleran masam pada pH 4,0. Beberapa isolat tersebut telah diuji efektivitasnya di tanah masam asal Lampung (pH 4,3 dan kejenuhan Al >50%) dikapur 1,5 t/ha. Empat multi-isolat terpilih yang selanjutnya diberi kode Iletrisoy-1 (No 92 + 176 + 182 + 196), Iletrisoy-2 (No 92 + 176 + 182), Iletrisoy-3 (No 92 + 182 + 196), Iletrisoy-4 (No 176 + 182 + 196) telah dikaji lebih lanjut pada berbagai kombinasi pemberian amelioran dan pemupukan di tanah masam. Pemberian dolomit dan bahan organik mampu meningkatkan pembentukan bintil akar. Hal ini disebabkan oleh adanya perbaikan pH tanah dan ketersediaan hara yang dibutuhkan oleh tanaman serta rhizobium (Brockwell *et al.* 1991). Pada kondisi tanah tidak diberi amelioran (dolomit dan bokasi), inokulasi Iletrisoy-1, Iletrisoy-2, Iletrisoy-3, dan Iletrisoy-4 mampu meningkatkan pembentukan bintil akar kedelai varietas Sinabung dari 1-2 bintil/tanaman menjadi 27-37 bintil/tanaman dan lebih banyak dibanding diinokulasi dengan Legine yang membentuk bintil 23 bintil/tanaman. Apabila tanah ditambah dolomit 1,5 t/ha, jumlah bintil akar yang terbentuk semakin banyak.

Peningkatan lebih nyata terjadi pada inokulasi dengan Iletrisoy-3, bahkan pada pemberian dolomit dan bokasi, bintil akar yang terbentuk dapat mencapai 66 bintil/tanaman. Sementara itu, benih yang tidak diinokulasi hanya membentuk bintil sekitar satu bintil/tanaman dan yang diinokulasi dengan Legine membentuk bintil 30 bintil/tanaman (Tabel 4). Keadaan ini menunjukkan pemberian bahan amelioran pada lahan kering masam mempunyai produktivitas tinggi dalam membantu penyediaan nutrisi dengan cukup. Menurut Nambiar dan Dart (1980), kedelai yang mampu membentuk bintil akar optimal dapat memenuhi kebutuhan N tanaman melalui fiksasi nitrogen hingga 60%, sehingga dapat menghemat penggunaan pupuk N. Terbentuknya bintil akar lebih banyak dengan ukuran yang lebih besar pada tanaman kedelai yang diinokulasi Iletrisoy juga dapat meningkatkan klorofil daun.

Tabel 4. Jumlah bintil akar efektif kedelai pada berbagai pemupukan dan inokulasi rhizobium.

Inokulasi	Jumlah bintil efektif/tanaman umur 45 hari			
	Tanpa amelioran	1,5 t/ha dolomit	1,5 t/ha dolomit + 2 t/ha Bokasi	1,5 t/ha dolomit + 2 t/ha Bokasi + 2 kg amonium hepta molibdat
I-0 (tanpa inokulasi)	2 a	2 a	1 a	2 a
I-0 + 50 kg urea/ha	2 a	1 a	1 a	2 a
Iletrisoy-1	38 efgh	38 fgh	32 cdef	50 i
Iletrisoy-2	33 defghh	36 efgh	39 fgh	42 ghi
Iletrisoy-3	35 efgh	40 fghi	66 j	43 hi
Iletrisoy-4	28 bcde	32 cdefg	34 efgh	43 hi
Legin	24 bcd	21 b	30 bcdef	23 bc

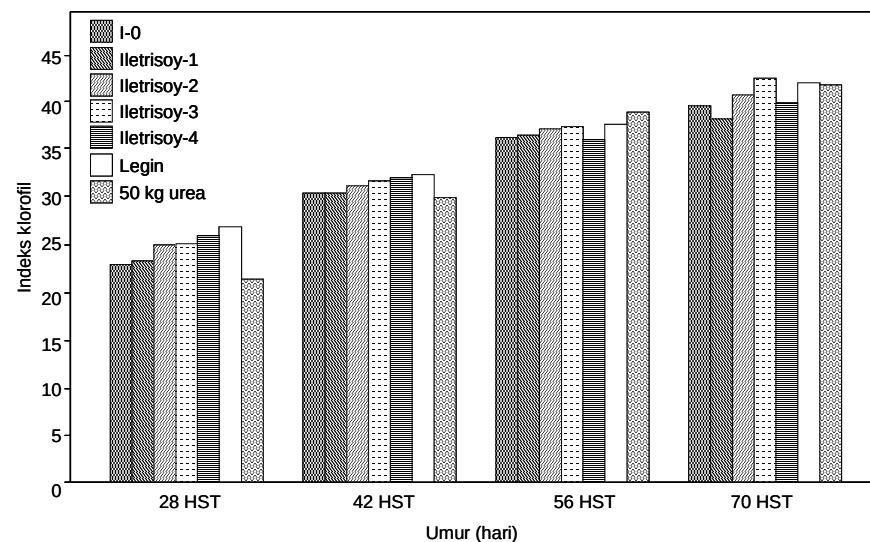
Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2008.

Indeks klorofil daun tanaman asal benih yang diinokulasi Iletrisoy-2, Iletrisoy-3, dan Iletrisoy-4 lebih tinggi dibanding tanpa inokulasi dan tidak berbeda dibanding diinokulasi legin (Gambar 2). Peningkatan jumlah bintil akar dan klorofil daun akibat inokulasi rhizobium Iletrisoy-2 dan Iletrisoy-3 juga meningkatkan kandungan N daun. Inokulasi dengan kedua inokulan tersebut mampu meningkatkan kadar N daun dibanding tanpa inokulasi, bahkan inokulasi Iletrisoy-2 pada pemberian amelioran 1,5 t/ha dolomit + 2 t/ha Bokasi mampu pula meningkatkan kadar N daun dibanding tanaman yang hanya dipupuk 50 kg urea/ha (Tabel 5).

Tabel 5. Kadar N daun kedelai pada beberapa pemberian amelioran dan inokulasi rhizobium.

Inokulasi	Kadar N daun umur 45 hari (%)			
	Kontrol	Dolomit	Dolomit + Bokasi	Dolomit + Bokasi + 2 kg Mo
I-0(tanpa inokulasi)	2,27 c	2,96 m	2,41 e	3,03 o
I-0 + 50 kg urea/ha	2,72 j	2,43 f	2,34 d	2,57 h
Iletrisoy-1	2,41 e	2,63 i	2,35 d	2,73 j
Iletrisoy-2	2,34 d	3,00 n	3,18 p	2,57 h
Iletrisoy-3	2,50 g	1,81 a	2,26 b	2,95 m
Iletrisoy-4	2,42 ef	2,80 l	2,78 k	3,47 r
Legin	3,62 t	3,24 q	3,18 p	3,61 s

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Dosis dolomit 1,5 t/ha, Bokasi 2,0 t/ha.
Sumber: Harsono *et al.* 2008



Gambar 6. Indeks klorofil daun kedelai pada beberapa macam inokulasi.

Tabel 6. Jumlah polong dan hasil biji kedelai per tanaman pada berbagai pemupukan dan inokulasi rhizobium.

Perlakuan	Kontrol	1,5 t/ha dolomit	1,5 t/ha dolomit + 2 t/ha Bokasi	1,5 t/ha dolomit + 2 t/ha Bokasi + 2 kg Mo	Rata- rata
Jumlah polong tanaman					
I-0 (tanpa inokulasi)	15,66	27,66	25,00	25,00	23,33 a
I-0 + 50 kg urea/ha	21,33	21,33	28,66	29,00	25,08 a
ILetrisoy-1	21,00	31,66	33,00	35,66	25,66 a
ILetrisoy-2	23,66	32,33	33,33	32,66	30,16 b
ILetrisoy-3	23,66	32,66	33,66	33,66	30,33 b
ILetrisoy-4	23,00	30,33	33,33	34,00	30,50 b
Legin	16,33	30,66	28,66	27,00	30,19 b
Rata-rata	20,66 a	29,52 b	30,80 b	31,00 b	
Hasil biji (g/tanaman)					
I-0 (tanpa inokulasi)	2,61	3,80	5,58	4,41	3,85 a
I-0 + 50 kg urea/ha	3,86	3,99	4,88	4,68	4,35b
ILetrisoy-1	3,54	4,55	5,08	5,33	4,38 b
ILetrisoy-2	3,25	5,14	5,07	5,10	4,43 bc
ILetrisoy-3	3,13	4,72	5,19	4,48	4,63 bc
ILetrisoy-4	3,52	4,97	5,65	5,63	4,64 bc
Legin	2,27	4,99	5,36	5,10	4,94 c
Rata-rata	3,17 a	4,59 b	4,96 bc	5,11 c	

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2008.

Membaiknya pembentukan bintil akar yang disertai oleh meningkatnya indeks klorofil dan kadar N daun akibat inokulasi Iletrisoy memacu pembentukan polong isi dan hasil biji, terutama bila benih diinokulasi Iletrisoy-3 dan Iletrisoy-4 (Tabel 6). Tambahan amelioran 1,5 t/ha dolomit meningkatkan pembentukan polong dan hasil biji, namun tambahan 2 t/ha Bokasi pada tanaman yang telah diberi 1,5 t/ha dolomit tidak meningkatkan jumlah polong dan hasil biji.

Efektivitas Kemasan Rhizobium

Untuk memudahkan aplikasi di lapangan, rhizobium harus diformulasi. Inokulasi rhizobium Iletrisoy-2 dan Iletrisoy-4 dalam bentuk formula cair dapat merangsang terbentuknya bintil akar lebih banyak dibanding tanpa inokulasi, diinokulasi dengan legin atau tidak inokulasi tetapi dipupuk 75 kg urea/ha. Hal ini juga diikuti oleh bobot bintil akar yang lebih berat. Namun apabila isolat rhizobium tersebut dikemas dalam bentuk formula pelet biji, efektivitasnya relatif menurun meskipun masih lebih baik dibanding tanpa inokulasi maupun diinokulasi legin (Tabel 7). Selama proses pembentukan

pelet, kemungkinan dapat terjadi penurunan populasi atau disebabkan oleh adanya masa dorman rhizobium dalam bentuk pelet. Benih kedelai yang diinokulasi Iletrisoy-2 dan Iletrisoy-4 bentuk cair mampu membentuk bintil akar 16 dan 19 bintil/tanaman dengan bobot kering bintil 0,061 g dan 0,045 g, sedangkan yang tidak diinokulasi dan diinokulasi dengan legin membentuk bintil akar rata-rata 2 dan 5 dengan bobot kering bintil 0,019 dan 0,020 g/tanaman (Tabel 7).

Perlakuan inokulasi Iletrisoy-2 dan Iletrisoy-4 yang disertai pemberian pupuk 50 kg SP36 + 100 kg KCl/ha juga mampu meningkatkan jumlah polong isi dan hasil biji dibanding tanpa inokulasi tetapi dipupuk 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha dan menghasilkan jumlah polong dan hasil biji yang sama dengan tanaman yang dipupuk 75 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl/ha (Tabel 8). Hal ini menunjukkan terdapat efisiensi penggunaan pupuk, terutama N, hingga setara dengan 75 kg urea/ha. Efektivitas rhizobium pada percobaan ini dalam membentuk bintil akar lebih rendah dibanding penelitian sebelumnya yang mampu membentuk bintil akar hingga lebih dari 40 bintil/tanaman, karena tanah yang digunakan dalam penelitian ini lebih masam (pH 4,0) dengan kejenuhan Al 27%.

Memperhatikan jumlah bintil akar yang terbentuk, maka penggunaan pupuk hayati ini tidak efektif dengan jumlah bintil akar < 50 bintil/tanaman (Pasaribu *et al.* 1989). Nilai pH yang rendah merupakan salah satu pembatas bagi pertumbuhan dan perkembangan rhizobium. Pertumbuhan optimal bakteri Rhizobium terjadi pada suhu 25-30°C dan pH 6-7 (Zuberer 1990; Arimurti *et al.* 2000).

Tabel 7. Pengaruh beberapa formula pupuk hayati rizobium terhadap jumlah bintil akar dan bobot bintil akar tanaman kedelai.

Perlakuan	Jumlah bintil akar/tanaman	Bobot kering bintil akar/tanaman (g)
Iletrisoy-2 (cair)	16,33 b	0,061 a
Iletrisoy-4 (cair)	18,67 a	0,046 ab
Iletrisoy-2 + P + dolomit + Mo (pelet)	14,33 c	0,046 ab
Iletrisoy-4 + P + dolomit + Mo (pelet)	6,66 e	0,022 cd
Iletrisoy-2 + P + dolomit + Mo (pelet) + 50 kg SP36 + 100 kg KCl	12,33 c	0,047 ab
Iletrisoy-4 + P + dolomit + Mo (pelet) + 50 kg SP36 + 100 kg KCl	13,00 c	0,044 ab
Iletrisoy-2 P + dolomit + Mo (nonpelet)	12,67 c	0,038 bc
Iletrisoy-4 P + dolomit + Mo (nonpelet)	10,33 d	0,045 ab
Iletrisoy-2 (nonpelet) + 50 kg SP36 + 100kg KC	17,00 ab	0,051 ab
Iletrisoy-4 (nonpelet) + 50 kg SP36 + 100kg KCl	14,33 c	0,058 a
I-0 + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	2,33 g	0,019 d
Legin + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	4,66 f	0,020 cd
75 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	1,66 g	0,009 d

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2008.

Tabel 8. Pengaruh beberapa formula pupuk hayati rizobium terhadap jumlah polong dan hasil biji kedelai.

Perlakuan	Jumlah polong isi/tanaman	Hasil biji/ tanaman (g)
Iletriso-2 (cair)	34,00 abc	7,13 ab
Iletriso-4 (cair)	40,00 a	7,47 ab
Iletriso-2 + P + dolomit + Mo (pelet)	33,33 abc	6,42 bcd
Iletriso-4 + P + dolomit + Mo (pelet)	33,33 abc	5,31 d
Iletriso-2 + P + dolomit + Mo (pelet) + 50 kg SP36 +100 kg KCl	34,00 abc	6,31 bcd
Iletriso-4 + P + dolomit + Mo (pelet) + 50 kg SP36 +100 kg KCl	30,00 c	6,37 bcd
Iletriso-2 + P + dolomit + Mo (nonpelet)	38,00 ab	6,77 abcd
Iletriso-4 + P + dolomit + Mo (nonpelet)	39,33 a	6,40 bcd
Iletriso-2 (nonpelet) + 50 kg SP36 + 100 kg KCl	37,00 ab	6,95 abc
Iletriso-4 (nonpelet) + 50 kg SP36 + 100 kg KCl	38,00 ab	6,90 abcd
I-0 + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	32,33 bc	5,39 cd
Legin + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	36,67 abc	8,06 a
75 kg urea + 100 kg SP36 + 100 kg KCl	35,33 abc	6,68abcd

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2008.

Pada penelitian di rumah kaca dengan menggunakan tanah Ultisol Lampung Timur dengan pH 4,4 dan kejenuhan Al 56%, inokulasi dengan multi-isolat Iletriso-2 bentuk pelet + P + Ca tanpa pupuk urea, tanaman menghasilkan bintil akar efektif paling banyak, yaitu 44 bintil/tanaman. Jumlah bintil akar lebih sedikit daripada perlakuan multi-isolat yang diberikan dalam bentuk cair atau bentuk pelet tetapi hanya diberi pupuk P. Jumlah bintil akar juga lebih sedikit pada tanaman kedelai yang diberi pupuk urea (Tabel 9). Benih yang diinokulasi dengan nodulin hanya mampu membentuk bintil akar hingga 4 bintil/tanaman, sedangkan yang tidak diinokulasi hanya membentuk 1 bintil akar/tanaman. Berkurangnya pembentukan bintil akar akibat pemupukan N sama dengan hasil penelitian sebelumnya. Penelitian di lapangan juga menunjukkan tren yang sama, dan jumlah bintil akar yang terbentuk lebih sedikit. Hal ini diduga disebabkan oleh cekaman di lapangan lebih berat dibanding di rumah kaca yang kondisinya lebih terkontrol.

Di rumah kaca pada kondisi tanpa pemupukan N (urea), inokulasi Iletriso-2 + P + Ca dalam bentuk pelet mampu membentuk bintil sebanyak 44 bintil akar/tanaman, jauh lebih tinggi daripada kontrol atau yang diinokulasi nodulin yang hanya mampu membentuk bintil akar rata-rata 0,7 bintil/tanaman (Tabel 9). Berbeda dengan yang terjadi di lapangan, pembentukan bintil akar pada perlakuan Iletriso-2 + P + Ca lebih rendah hanya 10 bintil/tanaman, namun tetap lebih baik daripada yang diinokulasi nodulin yang tidak dapat membentuk bintil akar dan tanpa inokulasi yang hanya membentuk 3 bintil akar/tanaman. Keadaan ini menunjukkan bahwa Iletriso-2 lebih toleran terhadap pemberian Ca daripada nodulin. Perlakuan tanpa inokulasi yang mampu membentuk bintil akar menunjukkan adanya aktivitas rhizobium

Tabel 9. Pengaruh pemupukan dan macam formula isolat terhadap pembentukan bintil akar kedelai umur 45 hari.

Formula isolat	Jumlah bintil akar efektif			
	0 kg urea/ha	50 kg urea/ha	100 kg urea/ha	150 kg urea/ha
Di rumah kaca				
Iletrisoy-2 cair	34,33 ab	16,00 cd	11,00 cd	22,33 bc
Pelet Iletrisoy-2 + P	21,00 bc	11,00 cd	10,00 cd	12,67 cd
Pelet Iletrisoy-2 + P + Ca	44,00 a	9,00 cd	9,00 cd	7,66 cd
Nodulin	0,66 d	4,00 cd	1,00 d	0,66 d
Tanpa inokulasi	0,66 d	0,00 d	0,66 d	1,00 d
Di lapangan				
Iletrisoy-2 cair	17,00 a	13,66 b	14,00 b	11,33 cd
Pelet Iletrisoy-2 + P	12,83 bc	7,83 f	2,33 gh	1,50 ghi
Pelet Iletrisoy-2 + P + Ca	9,54d ef	10,00 de	9,83 de	9,00 ef
Nodulin	0,00 i	0,00 i	0,02 i	0,00 i
Tanpa inokulasi	3,33 g	1,00 hi	2,33 gh	2,00 gh

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT Sumber: Harsono *et al.* (2009).

endogen yang sudah ada di tanah secara alami yang ternyata juga mampu menginfeksi akar.

Di rumah kaca pada kondisi tanpa pemupukan N (Urea), inokulasi Iletrisoy-2+ P + Ca dalam bentuk pelet mampu meningkatkan hasil 43% yaitu dari 2,9 g menjadi 4,16 g/tanaman dan meningkatkan hasil 19% dibanding diinokulasi dengan nodulin (Tabel 10). Tren yang sama juga terjadi di lapangan, bahkan peningkatan hasil akibat inokulasi dengan Iletrisoy-2 + P + Ca lebih besar, dari 0,22 t menjadi 0,96 t/ha.

Efektivitas inokulan ini tampak berkurang bila tanaman dipupuk N dosis tinggi (≥ 100 kg urea/ha). Perlakuan pemupukan tersebut di rumah kaca tidak meningkatkan hasil, sedangkan di lapangan masih terjadi peningkatan hasil meskipun sedikit (Tabel 10). Hasil kedelai di lapangan tergolong rendah, hal ini disebabkan oleh tingkat kesuburan tanah (di Sukadana) sangat rendah (Tabel 2). Hasil penelitian pengapuran untuk menurunkan kejenuhan Al hingga sekitar 20% dan dipupuk phonska 300 kg/ha hanya mencapai 0,7 t/ha (Subandi *et al.* 2009) dan apabila ditambah pupuk kandang dari kotoran ayam 3,0 t/ha dengan pemupukan yang sama hasil kedelai hanya mencapai 1,2 t/ha Harsono *et al.* (2009) .

Di samping dikemas dalam bentuk pelet, multi-isolat rhizobium Iletrisoy-2 dan Iletrisoy-4 juga dicoba dikemas dalam bahan pembawa utama gambut. Hasil penelitian di tanah masam Ultisol Lampung Timur pada tanah pH 3,65 kejenuhan Al 44,5% dan kandungan bahan organik sangat rendah, inokulasi

Tabel 10. Pengaruh pemupukan dan macam formula isolat terhadap hasil biji kedelai.

Formula isolat	Pemupukan			
	0 kg urea/ha	50 kg urea/ha	100 kg urea/ha	150 kg urea/ha
Di rumah kaca				
Iletriso-2 cair	3,30 ab	4,30 a	4,00 ab	3,70 ab
Pelet Iletriso-2 + P	3,43 ab	3,16a b	4,10 ab	4,20 a
Pelet Iletriso-2 + P + Ca	4,16 ab	3,80 ab	3,80 ab	3,60 ab
Nodulin	3,50 ab	3,26 ab	3,96 ab	3,70 ab
Tanpa inokulasi	2,90 b	3,33 ab	3,86 ab	3,96 ab
Di lapangan				
Iletriso-2 cair	0,55 hij	1,10 a	1,07 ab	0,56 hij
Pelet Iletriso-2 + P	0,93 cd	0,82 de	0,72 efg	0,98 abc
Pelet Iletriso-2 + P + Ca	0,96 bc	0,62 hij	0,65 fgh	0,77 ef
Nodulin	0,47 j	0,47 j	0,71 efg	0,68 fg
Tanpa inokulasi	0,22 k	0,46 j	0,55 hij	0,51 hij

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* (2009).

Iletriso-2 maupun Iletriso-4 dapat memacu pembentukan bintil akar tanaman kedelai varietas Anjasmoro baik pada kondisi tanpa urea maupun dengan pemupukan urea 100-200 kg/ha, setelah kejenuhan AI diturunkan hingga menjadi 10-20% dan ditambah pupuk kandang ayam 5 t/ha. Pada perlakuan tanpa inokulasi rhizobium, jumlah bintil akar yang terbentuk berkisar antara 1-3 bintil/tanaman. Dengan inokulasi Iletriso-2 atau Iletriso-4, jumlah bintil akar efektif yang terbentuk pada perlakuan tanpa pemupukan urea, dipupuk urea 100 kg/ha dan dipupuk urea 200 kg/ha masing-masing berkisar antara 16-42 bintil/tanaman, 23-26 bintil/tanaman dan 21-40 bintil. Jumlah bintil akar yang terbentuk pada perlakuan inokulan komersial toleran masam tanpa pemupukan, pemupukan urea 100 kg/ha, dan 200 kg/ha masing-masing berkisar antara 18-25 bintil, 30-40 bintil, dan 20-28 bintil/tanaman (Tabel 11).

Pada kejenuhan AI tanah sekitar 20%, tanpa pemupukan urea, inokulasi dengan rhizobium Iletriso-2 dan Iletriso-4 masing-masing meningkatkan hasil dari 1,43 t/ha menjadi 1,73 t/ha dan 1,71 t/ha, atau masing masing meningkat 21% dan 20% dibanding tanpa inokulasi. Pada kejenuhan AI lebih rendah (10%), inokulasi dengan Iletriso-2 dan Iletriso-4 tanpa pemupukan urea meningkatkan hasil dari 1,10 t/ha menjadi 2,14 t/ha dan 1,82 t/ha atau masing-masing meningkat 94% dan 56%. Inokulasi dengan inokulan Iletriso-2 dan Iletriso-4 mampu memberikan hasil lebih tinggi dibanding dipupuk urea 100-200 kg/ha tanpa diinokulasi rhizobium (Tabel 12).

Tabe 11. Jumlah bintil akar efektif kedelai varietas Anjasmoro umur 45 hari pada pemupukan urea, kejenuhan AI, dan inokulasi rhizobium berbeda. Lampung Timur, MH 2010.

Pemupukan urea (kg/ha)	Macam inokulasi	Jumlah bintil akar efektif/tanaman pada kejenuhan AI berbeda	
		20%	10%
0	Tanpa inokulasi	3,33 h	1,00 h
0	Iletrisoy-2	21,66 fgh	42,33 a
0	Iletrisoy-4	32,33 b	16,66 g
0	Inokulan komersial	25,66 cde	18,33 fg
100	Tanpa inokulasi	1,66 h	3,00 h
100	Iletrisoy-2	23,33 def	25,00 cde
100	Iletrisoy-4	25,16 cde	26,33 cde
100	Inokulan komersial	30,00 b	40,00 a
200	Tanpa inokulasi	2,66 h	0,00 h
200	Iletrisoy-2	29,66 bc	25,33 cde
200	Iletrisoy-4	21,00 efg	40,00 a
200	Inokulan komersial	28,33 bcd	20,00 efg

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2010.

Tabel 12. Hasil kedelai varietas Anjasmoro pada pemupukan urea, kejenuhan AI, dan inokulasi rhizobium berbeda. Lampung Timur, MH 2010.

Pemupukan urea (kg/ha)	Macam inokulasi	Hasil biji (t/ha) pada kejenuhan AI	
		20%	10%
0	Tanpa inokulasi	1,43 hi	1,10 k
0	Iletrisoy-2	1,73 cdef	2,14 a
0	Iletrisoy-4	1,71 def	1,82 bcd
0	Inokulan komersial	1,76 bcdef	1,94 b
100	Tanpa inokulasi	1,28 ij	1,51 gh
100	Iletrisoy-2	2,10 a	1,90 bc
100	Iletrisoy-4	1,81 bcde	1,37 hij
100	Inokulan komersial	1,50 gh	1,35 hij
200	Tanpa inokulasi	1,35 hij	1,23 jk
200	Iletrisoy-2	1,62 fg	1,80 bcdef
200	Iletrisoy-4	1,64 efg	1,90 bc
200	Inokulan komersial	1,71def	1,49 gh

Angka selajur dan sebaris yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda menurut 0,05 DMRT
Sumber: Harsono *et al.* 2010.

Kesimpulan

1. Lahan kering masam mempunyai potensi besar untuk pengembangan kedelai apabila disertai dengan perbaikan sifat fisik dan kimia tanah. Pemberian kapur hingga kedalaman 30 cm menaikkan pH tanah dari 4,6 menjadi 5,6, menurunkan kejenuhan Al hingga 20%, dan meningkatkan hasil kedelai hingga 11,6%, dan pemberian 3 t/ha pupuk kandang mampu memberikan hasil kedelai hingga 1,23 t/ha.
2. Multi-isolat rhizobium Iletriso-1, 2, 3, dan 4 mampu membentuk bintil akar 45-66 bintil/tanaman dan meningkatkan hasil biji hingga 21%. Pada tanah Ultisol yang belum pernah ditanami kedelai, aplikasi Iletriso-2 dapat memacu pembentukan bintil akar dan meningkatkan hasil kedelai dari 0,5-0,9 t/ha (tanpa inokulasi) menjadi 1,10-1,50 t/ha. Penggunaan multi-isolat ini dapat mensubstitusi kebutuhan pupuk N setara dengan 50-75 kg urea/ha.
3. Multi-isolat rhizobium Iletriso-2 dan Iletriso-4 yang dikemas dalam bahan pembawa utama gambut efektif meningkatkan pembentukan bintil akar hingga mencapai 40 bintil akar efektif/tanaman. Pada tanah berkejenuhan Al 20%, inokulasi rhizobium Iletriso-2 dan Iletriso-4 masing-masing meningkatkan hasil kedelai dari 1,43 t/ha menjadi 1,73 t/ha (21%) dan 1,71 t/ha (20%).

Pustaka

- Adam, F. and B. L. Moore. 1983. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:99-102.
- Adisarwanto, T., Marwoto, D.M Arsyad, A. Taufiq, D. Harnowo, Riwanodja, H. Kuntastuti, Suhartina, Heryanto, dan M. Rachmad 2007. Verifikasi efektivitas dan efisiensi paket teknologi PTT kedelai di lahan sawah dan lahan kering. Lap. akhir tahun 2005. Balitkabi.
- Arimurti, S. Sutoyo, dan R. Winarsa. 2000. Isolasi dan karakterisasi rhizobia asal pertanaman kedelai di sekitar Jember. *Jurnal Ilmu Dasar* 1(2):39-47.
- Arsyad, D. M. 2004. Varietas kedelai toleran lahan kering masam. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004. p. 41-47.
- BPS. 2011. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta. WWW.BPS.go.id. (online 28 April 2011).

- Brockwell, J., P.J. Bottomley, and J.E. Thies. 1991. Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility: a critical assessment. *Plant and Soil* 174:143-180.
- Foy, C.D. 1984. Physiological effects of hydrogen, allumunium and manganese toxicities in acid soil. *In* F. Adam (Ed.). *Soil Acidity and Liming*. p. 57-97. ASSA, CSSA, SSSA, Inc. Madison, WI.
- Harsono, A., Sudaryono, Budi Santoso, R., dan Subandi 2007. Kajian pemanfaatan ruang tumbuh dan produktifitas lahan kering masam berbasis ubikayu dengan tanaman sela kedelai dan kacang tanah. *Laporan Teknis* 2007. Balitkabi. 13 p.
- Harsono, A., D. Sucahyono, Suryantini, Prihastuti, dan M. Sudarjo. 2008. Teknologi perakitan pupuk hayati pada tanaman kacang-kacangan di lahan kering masam. *Laporan Hasil Penelitian* 2007. Balitkabi. 37 p.
- Harsono, A. 2008. Perembangan dan upaya mencapai kemandirian produksi kedelai di Indonesia. *Dalam* A. Suryanto *et al.* (Eds.). *Pemberdayaan Agribisnis Kedelai menuju Swasembada Nasional*. Prosiding Lokakarya Kedelai Nasional. Himpunan Agronomi Indonesia. p. 122-127.
- Harsono, A. Suryantini, Prihastuti, dan D. Sucahyono 2009. Teknologi perakitan pupuk hayati pada tanaman kacang-kacangan di lahan kering masam. *Laporan Tengah Tahun*. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang.
- Harsono, A., Subandi, dan Suryantini. 2010. Formulasi pupuk hayati dan organik untuk meningkatkan produktivitas aneka kacang 20%, ubi 40% menghemat pupuk kimia 50%. *Laporan Tengah Tahun*. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang.
- Hasanudin. 2003. Peningkatan ketersediaan dan serapan N dan P serta hasil tanaman jagung melalui inokulasi mikoriza, Azotobacter, dan bahan organik pada Ultisol. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 5 (2):83-89.
- Kamprath, E.J. 1972. Exchangeable Al as a criterion for liming leached mineral soil. *Soil Science and Amer. Proc.* 34:252-254.
- Kloepper, J.W., R. Lifshitz, and R.M. Zablotowicz. 1989. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* 7: 39-43.
- McKenzie, R. C. and M. Nyborg. 1984. Influence of subsoil acidity on root development and crop growth in soil of Alberta and Northeastern British Columbia. *Ca. J. Soil Sci.* 64: 681-697.
- Marwoto dan S. Hardaningsih. 2004. Identifikasi hama penyakit kedelai serta cara pengendaliannya. *Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam*. BPTP Lampung, 30 September 2004. p. 48-60.

- Mengel, D.B., W. Segars, and G.W. Rehn. 1987. Soil fertility and liming. p. 461-496. *In*. J.B. Wilcox (Ed.). Soybean, improvement, and uses. Second Ed. Madison. USA.
- Mulyani, A. 2006. Potensi lahan kering masam untuk pengembangan pertanian. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 28 (2):16-17.
- Nambiar, P.T.C. and P.J. Dart. 1980. Studies on nitrogen fixation by groundnut in INCRISAT. Proceedings of the International workshop on groundnuts, p. 110-124. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropicals. India
- Pasaribu, D., N. Sunarlim, Sumarno, Y. Supriati, R. Saraswati, Sutjipto dan S. Karama. 1989. Penelitian inokulasi rizobium di Indonesia. Hlm. 3-29 *In*. M. Syam., Ruhendi dan A. Widjono (Eds.). Risalah Lokakarya Penelitian Penambatan Nitrogen Secara Hayati pada Kacang-Kacangan. Bogor, 30-31 Agustus 1988.
- Prihastuti, Sudaryono, dan Tri Wardani. 2006. Kajian mikrobiologis pada lahan kering masam, Lampung. *Agritek* 14(5):1110-25.
- Prihastuti dan A. Harsono. 2007. Potensi pengembangan mikoriza alami di lahan kering masam Lampung Tengah sebagai penambang hara. *Agritek* 15 (6):1318-1325.
- Ritchie, G.S.P. 1989. The chemical behaviour of aluminium, hydrogen and manganese in acid soils. p.1-49. *In* A.D. Robson (Ed.). Soil acidity and plant growth. Acad. Press. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers.
- Rumbaina, D., N. Amrizal, Widiyantoro, Marwoto, A. Taufiq, H. Kuntastuti, D.M. Arsyad, dan Heriyanto. 2004. Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di lahan masam. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung, 30 September 2004.p. 61-72.
- Soedarjo, M., Prihastuti, Suryantini, Didik Sucahyono, dan Arief 2007. Teknologi perakitan pupuk hayati pada tanaman kacang-kacangan di lahan kering masam. Laporan Akhir 2007. Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian. Malang.
- Stoato, C, N.D. Boatman, R.J. Borralho, C.R. Carvalho, G.R. de Snoo, and P. Eden. 2001, Ecological impacts of arable intensification in Europe, *J. Environ Manage* 63(4):337-65.
- Subandi, J. Pitoyo, A. Wijanarko, S.A.F. Gatot, dan F. Rozi. 2009. Pengaruh ameliorasi sampai tanah subsoil dan alat tanam pada lahan kering masam terhadap produktivitas dan pendapatan usahatani kedelai. *Dalam* Subandi *et al.* (Eds.). Percepatan pelepasan varietas dan perakitan teknologi kedelai. Laporan Tengah Tahun. Balitkabi. 70 p.

- Sudaryono, A. Wijanarko, Prihastuti, dan Sutarno. 2007. Analisis faktor pembatas pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai di lahan kering masam. *Agritek* 15 (4):783-789.
- Sumarno dan A.G. Manshuri. 2007. Persyaratan tumbuh dan wilayah produksi kedelai di Indonesia. p. 74-103. *Dalam* Sumarno *et al.* (Eds.). Kedelai: teknik produksi dan pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Taufiq, A., H. Kuntastuti, dan A.G. Manshuri. 2004. Pemupukan dan ameliorasi lahan kering masam untuk peningkatan produktivitas kedelai. Makalah Lokakarya Pengembangan Kedelai Melalui Pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu di Lahan Masam. BPTP Lampung. p. 21-40.
- Vassileva, M., N. Vassilev, M. Venice, and F. Federici. 2001. Immobilized cell technology applied in solubilization of insoluble inorganic (rock) phosphate and P plant acquisition. *Bioresource Technol.* 79:263-271.
- Vincent, J.M. 1970. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. International Biological Programme Handbook 15. Blackwell Scientific Publications. Oxford. p.73-97.
- Wade, M.K., M. Al-Jabri, and M. Sudjadi. 1986. The effect of liming on soybean yield and acidity parameters of three Red-Yellow Podsolc soils of West Sumatera. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 6:1-8.
- Zuberer, N.D. 1990. Soil and rhizosphere aspect of N₂ fixing microbe associations. p. 317-353. *In*. J. M. Linch (Ed.) . The Rhizosphere. John Wiley and Sons.