

4. TEKNOLOGI PENGELOLAAN HARA LAHAN SAWAH BUKAAN BARU

Didi Ardi Suriadikarta dan Wiwik Hartatik

Yang dimaksud dengan sawah bukaan baru adalah lahan kering yang dikonversi menjadi lahan sawah dengan lapisan tapak bajak belum terbentuk. Lapisan tapak bajak menurut Kawaguchi dan Kyuma (1977) di Jepang akan terbentuk antara 10-40 tahun.

Dalam rangka mempertahankan swasembada beras dan memantapkan ketahanan pangan nasional pemerintah telah melaksanakan program intensifikasi pertanian padi dan ekstensifikasi lahan sawah. Dalam program ekstensifikasi areal pertanian keluar Jawa, pemerintah telah membuka areal persawahan baru di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi. Sementara ekstensifikasi berlangsung, konversi lahan sawah untuk nonpertanian juga terus terjadi. Dalam kurun waktu 20 tahunan lahan sawah yang dikonversi sekitar 1,6 juta ha, sedang lahan sawah bukaan baru sekitar 3,2 juta ha, jadi secara agregat luas lahan sawah bertambah sekitar 1,6 juta ha. Pada tahun 1994 lahan sawah bukaan baru di Sumatera terletak di Provinsi Riau, Bengkulu, Sumatera Selatan (Sumsel) dan Lampung yang meliputi luas 9.927 ha, sedangkan di Kalimantan dilaksanakan pada tiga provinsi Kalimantan Barat (Kalbar), Kalimantan Tengah (Kalteng), dan Kalimantan Selatan (Kalsel) seluas 7.201 ha, sedangkan di Sulawesi Tengah (Sulteng) seluas 1.630 ha. Area bukaan baru itu umumnya marjinal seperti: Histosol, Entisol, Inceptisol, Ultisol, Oxisol, dan Spodosol. Sebaran jenis tanah sawah bukaan baru ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Sebaran luas area lahan sawah bukaan baru (%) pada provinsi di Sumatera dan Kalimantan + Sulawesi

No	Jenis tanah	Sumatera %	Kalimantan + Sulawesi %
1.	Inceptisol	17,7	55,4
2.	Entisol	1,5	4,1
3.	Ultisol	62,8	15,8
4.	Histosol (gambut)	12,9	16,3
5.	Oxisol	5,0	8,1
6.	Spodosol	0,1	0,3
7.	Total (%)	100	100

Sumber: Suharta dan Sukardi, 1994.

Berdasarkan sifat-sifat tanah tersebut maka tanah sawah bukaan baru perlu perlakuan khusus untuk memperbaiki sifat kimia melalui ameliorasi dan pemupukan, penggunaan varietas unggul, serta jaminan ketersediaan air irigasi.

PERUBAHAN SIFAT-SIFAT KIMIA SAWAH BUKAAN BARU

Peningkatan kelarutan besi fero

Pembukaan sawah bukaan baru akan menghadapi beberapa masalah antara lain: (a) kebutuhan air untuk pelumpuran cukup banyak; (b) produktivitas tanah yang masih rendah; dan (c) proses perubahan fisikokimia sedang berlangsung akibat penggenangan dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, seperti keracunan besi atau mangan (Nursyamsi *et al.*, 1996). Produktivitas tanah yang rendah berkaitan dengan kemasaman tanah antara lain: (a) konsentrasi toksik Al dan Mn; (b) kekahatan Ca dan Mg; (c) kemudahan K tercuci; (d) jerapan P, S dan Mo; (e) pengaruh buruk dari H⁺; serta (f) hubungan tata air dan udara. Kondisi reduksi akan meningkatkan ketersediaan besi fero dalam tanah yang dalam konsentrasi tertentu bersifat racun terhadap tanaman padi.

Namun kondisi reduktif dapat berpengaruh positif dalam peningkatan pH tanah dan ketersediaan hara P. Penggenangan pada tanah mineral masam bukaan baru menyebabkan terjadinya reduksi besi feri menjadi besi fero. Konsentrasi besi fero setelah sekitar 3–4 minggu penggenangan meningkat sampai 600 ppm (Ponnamperuma, 1977). Pada kondisi ini kadar Fe²⁺ pada tanaman padi bisa lebih 300 ppm yang merupakan batas kritis keracunan besi pada tanaman padi.

Pada sawah bukaan baru di Lampung, Sumsel, Jambi, Riau, Sumatera Barat (Sumbar), dan Bengkulu umumnya tanaman padi mengalami keracunan besi (Zaini *et al.*, 1987). Keracunan besi dijumpai pula pada tanah sulfat masam di lahan sawah pasang surut, dan tanah mineral masam yang disawahkan yaitu yang jenis tanahnya tergolong dari ordo Oxisol dan Ultisol dan tanah Aluvial yang berdrainase jelek (van Bremen and Moorman, 1978).

Keracunan besi pada lahan sawah bukaan baru mengakibatkan produksinya rendah atau bahkan tanaman tidak berproduksi. Pada tanah Oxisol di Sitiung Sumbar penggenangan menyebabkan konsentrasi Fe dan Mn yang larut dalam air meningkat, dan terserap oleh tanaman padi yang menyebabkan keracunan. Daun padi menunjukkan klorosis. Tanaman padi akan keracunan besi apabila kadar besi dalam tanaman melebihi 300 ppm (Yusuf *et al.*, 1990). Tanaman padi fase vegetatif dapat mengalami keracunan besi, kalau kadar Fe dalam tanah >2.000 ppm Fe (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 1993). Gejala keracunan besi pada tanaman padi diindikasikan adanya bintik-bintik coklat pada daun, mulai dari pucuk kemudian menyebar ke helai daun, pertumbuhan tanaman kerdil, anakan terbatas dan daun menyempit, perakaran jarang, pendek, kasar dan terselaput warna coklat atau kemerahan. Pada keracunan besi yang parah daun bagian bawah mengering dan bagian atas berwarna kuning kemerahan (Ismunadji dan Roechan, 1988). Selain itu serapan

hara terhambat akibat perakaran tidak berkembang karena diselimuti besi oksida. Keracunan besi dapat menurunkan hasil padi 52-75% (Ismunadji dan Sabe, 1988).

Keracunan besi terlihat bila kadar besi dalam tanah 20–40 mg l⁻¹ (van Breemen and Moorman, 1978). Menurut Van Mensvoort *et al.*, (1985) bila kadar hara lain sangat rendah atau dalam keadaan hara tidak seimbang, keracunan besi akan nampak bila kadar besi dalam tanah 30 mg l⁻¹ (Gambar 1).

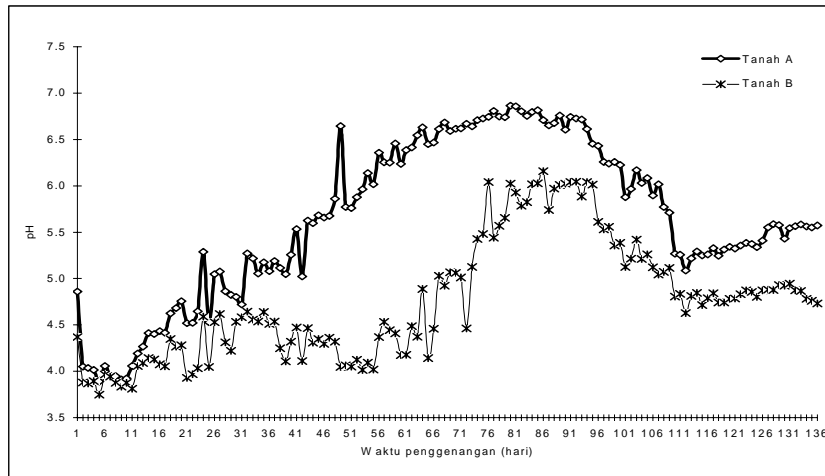


Gambar 1. Keracunan besi (*iron toxicity*) pada tanaman padi (Van Breemen and Moorman, 1978)

Pada tanah sawah bukaan baru yang keracunan besi umumnya juga menunjukkan kahat unsur hara yang lain. Menurut Ottow *et al.* (1982) keracunan besi pada tanaman padi di Asia Tenggara dan Afrika terjadi karena kahat beberapa hara, dimana pH berkisar antara 3-7,2; kadar besi 290-1.000 ppm, kadar Mn tinggi dan kadar P, K, Ca, Mg dan Zn rendah. Kahat beberapa hara ini pada tanaman disebabkan rendahnya kemampuan akar menyerap hara, sehingga besi fero secara langsung diserap lebih banyak oleh tanaman. Kahat P, K, Ca dan Mg lebih mempengaruhi terjadinya keracunan besi daripada adanya kadar besi fero yang tinggi. Status kesuburan tanah yang rendah pada lahan sawah bukaan baru pada jenis tanah Ultisol di Tugumulyo, Sumsel, menyebabkan tanaman padi keracunan besi. Pemupukan 767 kg SP-36 ha⁻¹ nyata meningkatkan hasil padi (Kasno *et al.*, 2000).

Peningkatan pH dan ketersediaan hara

Hasil penelitian Hartatik (1998), waktu penggenangan pada tanah bukaan baru (tanah A dan B) sangat berpengaruh terhadap nilai pH tanah. pH tanah meningkat dari 4,5 pada tanah A dan 4,6 pada tanah B menjadi 6,8 dan 6,2 (Gambar 2). Tanah A adalah tanah sawah bukaan baru 5 tahun, dan tanah B sawah bukaan baru 1 tahun.



Gambar 2. Pola nilai pH tanah selama penggenangan 4 bulan

Penggenangan, selain meningkatkan pH, P-tersedia, Fe dan Mn, juga meningkatkan kadar N, K dan Ca dapat ditukar, Si dan Mo serta menurunkan ketersediaan Cu dan Zn (Ponnamperuna, 1976).

Lahan untuk sawah irigasi bukaan baru umumnya mempunyai status kesuburan tanah yang rendah dan sangat rendah. Tanah-tanah di daerah Sumatera walaupun bahan induknya volkan tetapi umumnya volkan tua dengan perkembangan lanjut, oleh sebab itu miskin hara, dengan kejenuhan basa rendah bahkan sangat rendah. Kandungan bahan organik, hara N, P, K dan kapasitas tukar kation (KTK) umumnya rendah. Kecuali di Sulteng (Lambunu) sawah irigasi disini mempunyai kesuburan tanah yang lebih baik, karena tanahnya berkembang dari bahan aluvium yang kaya mika (Suharta dan Sukardi, 1994).

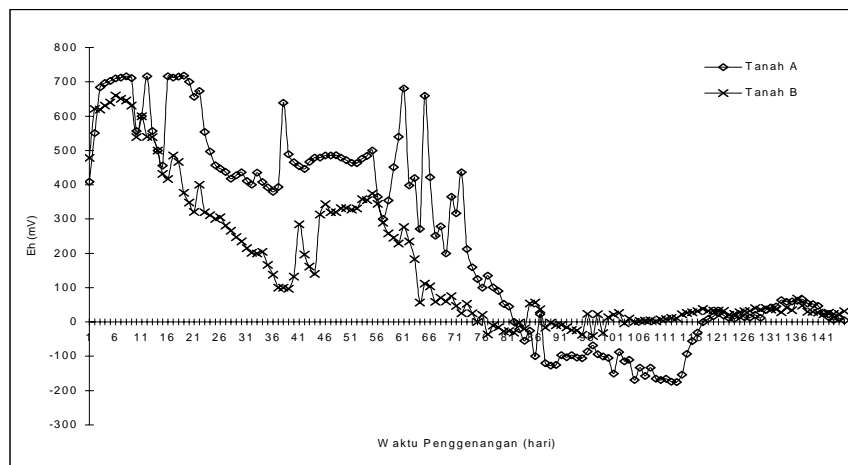
Penggenangan pada sawah bukaan baru berpengaruh positif terhadap kesuburan tanah, karena sebagian unsur-unsur hara lebih tersedia (De Datta, 1981; Ponnamperuma, 1972 dan 1976). Penggenangan pada tanah Podsolik di Sitiung meningkatkan pH dari 5-6,8 setelah tiga minggu penggenangan, dan stabil pada minggu berikutnya. Fosfor tersedia meningkat dari 2,9 menjadi 4,75 ppm pada minggu pertama penggenangan dan mencapai maksimum 7,4 ppm pada

minggu keenam, dan cenderung menurun pada minggu berikutnya. Tanpa penggenangan, P-tersedia berkisar pada kadar 2-2,5 ppm. Adiningsih dan Sudjadi (1983) mengemukakan bahwa peningkatan P-tersedia oleh penggenangan sangat kecil dibandingkan unsur hara lainnya, karena umumnya tanah mineral masam yang disawahkan P tersedianya sangat rendah. Hal ini diduga adanya fiksasi Al dan Fe oksida yang cukup tinggi.

Penurunan potensial redoks

Potensial redoks (reduksi-oksidasi) adalah suatu ukuran yang dipergunakan untuk mengukur adanya perpindahan elektron (e^-). Dengan demikian, potensial redoks erat hubungannya dengan proses reduksi dan oksidasi (redoks). Perubahan potensial redoks merupakan parameter yang paling penting untuk menentukan sifat elektro kimia suatu tanah sawah yang tergenang. Pada sawah bukan baru perubahan potensial redoks ini menjadi sangat penting karena mempunyai karakter tersendiri berbeda dengan sawah yang sudah dibuka lama yang dicirikan oleh nilai potensial redoks sangat rendah atau negatif.

Pada tanah sawah bukaan baru perubahan Eh ini terjadi sangat drastis dari positif ke negatif sesuai dengan lamanya penggenangan seperti disajikan pada Gambar 3. Terjadi penurunan Eh dari 646 dan 716 mV menjadi -100 mV.



Gambar 3. Pola nilai potensi redoks tanah selama penggenangan 4 bulan

Pengaruh perubahan potensial redoks atau Eh dan pH terhadap erapan P, kelarutan besi dan hara lain diteliti di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan Eh akan berpengaruh terhadap daya sangga P tanah dengan nilai berkisar 200-6.000 mg P kg^{-1} tanah. Besi sudah mulai tereduksi pada Eh 400

mV dan memberikan kadar besi terlarut tertinggi sebesar 59 ppm dan pada Eh terendah (-300 mV), kadar Fe yang dapat tereduksi masih tergolong rendah. Perubahan Eh berpengaruh terhadap kelarutan Mn, Cu, Zn, NO_3^- , NH_4^+ dan SO_4^{2-} . Tanah sawah bukaan baru Hapludox di Lampung tidak menunjukkan potensi keracunan Fe dan Mn, hal ini disebabkan rendahnya kadar Fe dan Mn yang dapat direduksi, namun rendahnya kadar unsur hara lain dapat menyebabkan tanaman peka terhadap keracunan besi (Sulaeman *et al.*, 1997).

Penggenangan pada tanah Ultisol di Tugumulyo, Sumsel, yang baru dibuka 5 tahun dan 1 tahun, meningkatkan kadar Fe terlarut berturut-turut dari 0,33 menjadi 74,13 ppm dan dari 0,07 menjadi 62,07 ppm. Mangan, seng, dan tembaga terlarut berkurang dengan penurunan Eh, demikian juga kadar nitrat, amonium, kalium dan magnesium menurun dengan semakin rendahnya nilai potensial redoks. Tetapi kadar sulfat meningkat sampai Eh 115 mV, kemudian menurun kembali sampai Eh -72 mV pada tanah yang baru dibuka 1 tahun. Pemberian Fe 200 ppm pada tanaman padi sudah menunjukkan gejala *bronzing*, meningkatkan kadar Fe tanaman dan menurunkan serapan hara P, K, Ca, Mg dan meningkatkan nisbah Fe/P, Fe/K dan Fe/Ca tanaman (Hartatik, 1998).



Gambar 4. Kekurangan unsur kalium (*Potassium deficiency*) pada tanaman padi (van Breemen and Moorman, 1978)

Selanjutnya Hartatik (1998) mengemukakan Eh tanah menurunkan daya sangga P tanah kemudian meningkat kembali pada Eh 100 dan 300 mV. Penurunan Eh meningkatkan kapasitas erap P. Pada tanah yang baru dibuka 5 tahun kapasitas erap P tertinggi terjadi pada Eh -100 mV dan tanah yang baru dibuka 1 tahun pada Eh 300 mV. Perbedaan nilai Eh disebabkan kandungan besi oksida kedua tanah berbeda. Kebutuhan pupuk P untuk mencapai 0,02 ppm

terlarut pada tanah yang baru dibuka 5 tahun yaitu: 394 kg SP-36 ha⁻¹ dan pada tanah yang baru dibuka 1 tahun yaitu: 280 kg SP-36 ha⁻¹, kebutuhan pupuk P yang sedikit lebih rendah ini diduga pada tanah yang baru dibuka 5 tahun lebih banyak besi dalam bentuk amorf yang mengfiksasi P (Gambar 4).

Tanah kahat hara N umum terjadi, dan pada tanah Latosol sering kandungan hara N, P dan K rendah. Walaupun mempunyai KTK yang cukup tinggi, dan cukup basa-basa, kadar Mn cukup (Tabel 2), tetapi mempunyai koefisien absorpsi P yang tinggi. Hal ini sangat erat hubungannya dengan kahat P dalam tanaman.

Tabel 2. Hasil analisis tanah pada dua lokasi di Jawa Barat.

Jenis analisis	Lokasi contoh tanah	
	Nagrak	Kosambi
pH	5,4	4,6
KTK (me 100 g ⁻¹)	33,4	13,8
Kation dapat ditukar (me 100 g ⁻¹):		
Ca	12,0	6,5
Mg	10,5	5,0
K	0,79	0,28
Na	0,57	0,41
C-organik (%)	6,0	1,7
P Koefisien absorpsi	1.397	756
Fe aktif (%)	1,20	0,92
Mn (%)	292	357

Sumber: Tanaka, A. dan S. Yoshida (1970).

Kekahatan hara dapat pula terjadi pada tanah alluvial pantai yang disawahkan. Pada tanah alluvial pantai yang bertekstur berat menunjukkan kekahatan hara, seperti di Lohbener dan Jubleng, Jabar, yang ditandai oleh daun bagian bawah berwarna coklat kegelapan yang akhirnya mati, daun bagian atas hijau gelap dan menggulung. Kadang-kadang gagal untuk membuat pembibitan. Warna daun akan menjadi kuning kecoklatan atau mempunyai bintik coklat pada daun yang menyempit. Dalam tanaman kandungan P dan K rendah, tetapi kadar besi sangat tinggi. Kadang-kadang kadar Na tinggi, kemungkinan karena dipengaruhi oleh air laut yang masuk.

Mentek atau Omo merah, atau "Prakeke" itu merupakan penyakit padi pada lahan sawah kahat hara N dan P. Tetapi ada yang berpendapat penyakit "Mentek" itu disebabkan adalah virus. Baru-baru ini ditemukan juga penyakit tungro yang juga terdapat di Indonesia yang gejalanya sama dengan Mentek. Keduanya disebut penyakit merah yang disebabkan oleh virus. Telah

diketemukan varietas yang tahan terhadap penyakit merah ini baik Mentek maupun Tungro adalah padi varietas: Peta, Bengawan, Intan, dan Mas.

Perubahan sifat-sifat kimia tanah pada sawah bukaan baru pada tanah marjinal menjadi lahan sawah yang potensial di Indonesia memerlukan sekitar waktu 5-30 tahun, hal ini sangat tergantung pada tingkat irigasi, kandungan besi tanah seperti kelarutan besi fero yang tinggi akan menurun jika didrain, dan pengelolaan lahan oleh petani.

TEKNOLOGI PENGENDALIAN KERACUNAN BESI DAN KAHAT HARA PADA SAWAH BUKAAN BARU

Berdasarkan hasil penelitian seperti diuraikan pada bab sebelumnya, keracunan besi disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: meningkatnya kelarutan besi fero, pH tanah masam, kahat hara P, K, Ca, Mg dan Zn atau kombinasi beberapa faktor di atas. Untuk mengendalikan keracunan besi tersebut diperlukan perbaikan: a) lingkungan tumbuh seperti; (1) penggenangan awal untuk menghindari peningkatan Fe^{2+} sampai puncak; (2) peningkatan penyediaan O_2 di permukaan tanah dengan memutuskan aliran air rembesan; dan (3) ameliorasi dan pemupukan untuk meningkatkan keseimbangan hara; dan (b) penanaman varietas tanaman yang sesuai (*adaptif*).

Perbaikan lingkungan tumbuh

Pengendalian drainase dan pencucian

Pengairan terputus dapat menanggulangi keracunan besi pada lahan sawah bukaan baru. Perlakuan pengairan terputus dapat mengurangi laju reduksi Fe^{+2} dan Mn^{+2} yang meracuni tanaman. Namun demikian penerapan pengairan terputus di lapangan harus hati-hati, karena selain Fe dan Mn yang tercuci, kation basa-basa seperti Ca, Mg, K, dan N juga ikut tercuci (Hartatik *et al.*, 1997; Widowati *et al.*, 1997). Pengairan terputus pada sawah bukaan baru Inceptisols di Muarabeliti menurunkan kadar Ca-dd, K-dd pada kondisi tanah diolah, sedangkan pada Ultisol di Tatakarya selain kedua unsur di atas juga menurunkan Mg-dd dan kejenuhan basa baik pada kondisi tanah diolah maupun tidak (Nursyamsi *et al.*, 2000).

Zaini *et al.* (1987) melaporkan bahwa drainase terputus, pengeringan selama satu minggu dan penggenangan 1-2 minggu, mulai saat tanam sampai 30 hari sebelum panen, meningkatkan hasil 37 dan 51% dibandingkan penggenangan terus-menerus (Tabel 3).

Perlakuan drainase terputus berpengaruh positif karena pengeringan akan menurunkan kelarutan Fe^{2+} , sehingga serapan Fe berkurang, di sisi lain serapan hara P, K, Ca dan Mg tanaman meningkat (Tabel 4).

Tabel 3. Pengaruh drainase terputus terhadap hasil padi sawah bukaak baru di pot dan kebun percobaan (KP). Bandar Buat musim tanam (MT) 1985/86

Perlakuan	Hasil	
	Pot	Lapang
	g pot ⁻¹	t ha ⁻¹
Tergenang terus-menerus	33,41	2,32
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu	25,63	3,40
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu	45,35	3,28
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu ¹	34,00	3,50
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu ²	45,86	3,28
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu ¹	42,21	3,33
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu ²	45,83	3,37

Keterangan: ¹pada fase vegetatif, ²pada fase generatif
 Sumber: Zaini *et al.* (1987) dan Balittan Sukarami (1986)

Tabel 4. Pengaruh drainase terputus terhadap kadar hara padi sawah bukaak baru di kebun percobaan (KP) Bandar Buat, musim tanam (MK) 1986

Perlakuan	Kadar hara tanaman				
	P	K	Ca	Mg	Fe
	%				ppm
Tergenang terus-menerus	0,08	0,78	0,24	0,20	387
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu	0,10	0,80	0,33	0,23	229
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu	0,09	0,86	0,34	0,23	265
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu ¹	0,09	0,80	0,29	0,22	288
Pengeringan 1 minggu, interval 1 minggu ²	0,10	0,98	0,37	0,26	140
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu ¹	0,09	0,78	0,25	0,22	293
Pengeringan 1 minggu, interval 2 minggu ²	0,12	0,93	0,40	0,24	167

Keterangan: ¹pada fase vegetatif, ²pada fase generatif.
 Sumber: Zaini *et al.* (1987)

Pengeringan selama 6 dan 9 hari pada 30 hari setelah tanam dapat meningkatkan hasil sebesar dua dan tiga kali lipat dibandingkan tanpa pengeringan. Pencucian lahan dapat mengurangi pengaruh keracunan besi. Pada tanah Podsolik di Setianegara dan Banjit, Lampung Tengah serta Sitiung I, Sumbar, menunjukkan pencucian dapat meningkatkan hasil padi 5, 9 dan 2 kali dibandingkan tanpa pencucian dan tanpa pemupukan, hal ini disebabkan bahwa pencucian dapat menurunkan kelarutan besi fero dan memperbaiki aerasi tanah, sehingga ketersediaan beberapa unsur hara meningkat dan perkembangan perakaran menjadi lebih baik, namun demikian pencucian juga akan mencuci beberapa unsur hara yang dibutuhkan tanaman (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh pencucian lahan terhadap produksi gabah pada tanah Podsolik Setianegara dan Banjit, Lampung Tengah serta Sitiung 1, Sumbar

Perlakuan	Berat kering gabah							
	Setianegara ¹⁾			Banjit ¹⁾			Sitiung ²⁾	
	0	NPK	Rataan	0	NPK	Rataan	0	NPK
	g/pot							
Tanpa pencucian	0,6	24,5	13,5	0,4	21,9	10,3	1,3	-
Dengan pencucian	2,9	20,1	13,6	3,4	23,0	15,7	2,2	69,2

Keterangan: rata-rata = rata-rata dari beberapa perlakuan.

Sumber: ¹⁾Adiningsih dan Sudjadi (1983); ²⁾Taher dan Misran (1983)

Berdasarkan Tabel 5, pada perlakuan pemupukan NPK, pengaruh pencucian tidak menunjukkan pengaruh yang berbeda pada lokasi Setianegara dibandingkan Banjit, hal ini disebabkan rendahnya kadar besi fero yang terlarut yaitu sebesar 24 ppm setelah 5 minggu penggenangan dan kadar K yang tinggi. Menurut Tanaka dan Tadano (1972) keracunan besi pada padi sawah berhubungan erat dengan kalium, semakin tinggi kadar K tanaman, semakin baik pertumbuhan tanaman.

Hasil percobaan di rumah kaca menunjukkan bahwa penggenangan kontinyu dan terputus tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH dan potensial redoks, pertumbuhan dan hasil tanaman padi pada tanah dari Indramayu dan Lampung (Hartatik *et al.*, 1997). Demikian juga Kasno *et al.* (1999) dan Nursyamsi *et al.* (1996) melaporkan pengairan secara terputus cenderung menurunkan hasil padi, hal ini diduga pengairan terputus justru meningkatkan besi amorf sehingga meracuni tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama penggenangan, pH tanah meningkat dan Eh menurun. Setiap penurunan Eh sebesar 282 mV meningkatkan satu unit pH. Pemupukan fosfat alam meningkatkan pH tanah, sedangkan pengairan terputus menurunkan pH. Penurunan Eh meningkatkan kadar Fe tersedia dalam tanah dan kadar Fe dalam tanaman (Kasno *et al.*, 1999).

Ameliorasi dan pemupukan

Ameliorasi pada sawah bukaan baru dengan pemberian kapur dan bahan organik seperti pupuk kandang dapat meningkatkan hasil padi dan menurunkan keracunan besi. Pemberian kapur 1 t dan pupuk kandang 5 t ha⁻¹ serta pemupukan NPK meningkatkan hasil padi 1- 2 t dibandingkan kontrol (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh pemupukan NPK, kapur dan pupuk kandang terhadap hasil padi di lahan sawah bukaan baru, Bangkinang, Riau

Perlakuan	Berat kering gabah			
	Uwai ¹⁾	Air Tiris ²⁾	Air Tiris ³⁾	Air Tiris ⁴⁾
	t ha ⁻¹			
Kontrol	1,68	3,03	3,04	3,03
NPK	3,23	3,95	4,90	4,79
NPK + 1 t CaCO ₃ ha ⁻¹	4,10	4,91	5,80	5,84
NPK + 5 t pupuk kandang ha ⁻¹	3,93	4,92	5,40	5,54

Keterangan: ¹⁾ Pemupukan 45 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O ha⁻¹, ²⁾ Rata-rata dari pemupukan 1/2 dan optimal (90 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O ha⁻¹), ³⁾ Rata-rata dari beberapa varietas dengan pemupukan 90 kg N dan P₂O₅ serta 60 kg K₂O/ha ⁴⁾ Pemupukan 90 kg N, 45 kg P₂O₅, dan 45 kg K₂O ha⁻¹.

Sumber: Jalid dan Hirwan (1987); Burbey dan Yusril (1989).

Ameliorasi pada lahan sawah bukaan baru Harapan Masa Tapin, Kalsel menunjukkan bahwa pemberian kapur meningkatkan hasil gabah kering walaupun tidak berbeda nyata dibandingkan dolomit, kapur super fosfat dan kaptan fosfatan (Tabel 7). Takaran 500 kg ha⁻¹ meningkatkan hasil gabah kering, tetapi peningkatan takaran dari 500-1.500 kg ha⁻¹ tidak meningkatkan hasil gabah secara nyata (Widowati *et al.*, 1999). Pada tanah Oxisol kebutuhan kapur cukup tinggi karena kadar besi dan Al tinggi maka dibutuhkan kaptan atau dolomit >2 t ha⁻¹, sehingga takaran dibawah angka itu tidak akan berpengaruh nyata.

Ismunadji dan Sabe (1988) melaporkan bahwa pemupukan P dan K pada tanah Ultisol. Lampung yang mengalami keracunan besi dan kahat hara meningkatkan hasil empat kali lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian N saja.

Pemupukan N, P dan K pada tanah Ultisol, di Air Tiris, Bangkinang, Riau yang kahat hara dan keracunan besi meningkatkan hasil padi 1,6 t ha⁻¹ dibanding pemupukan N saja. Bila diikuti pemupukan Cu dan Zn dapat meningkatkan hasil padi dua kali lipat dibanding pemupukan N dan P saja di Uwai (Tabel 8).

Tabel 7. Pengaruh bahan amelioran terhadap hasil gabah kering (t ha⁻¹) di lahan sawah bukaan baru Oxisol di Harapan Masa-Tapin Kalsel

Perlakuan Jenis amelioran	Takaran amelioran								Rataan	
	0		500		1000		1500		MH 97/98	MK 98
	MH 97/98	MK 98	MH 97/98	MK 98	MH 97/98	MK 98	MH 97/98	MK 98		
Kaptan	3,88	3,47	3,94	3,73	4,17	3,55	4,54	3,52	4,13	3,57 A
Dolomit	3,59	2,71	4,06	3,47	4,67	3,57	4,51	3,84	4,21	3,39 A
KSP	4,24	3,03	4,38	3,59	4,68	3,27	4,91	3,30	4,56	3,29 A
Kapur- fosfatan	3,35	3,05	3,58	3,52	4,04	3,57	4,56	3,54	3,88	3,42 A
Rataan	3,77	3,06 a	3,99	3,58 b	4,39	3,48 b	4,63	3,55 b	4,19	3,42

Sumber: Widowati *et al.* (1999)

Tabel 8. Pengaruh pemupukan terhadap hasil gabah padi pada lahan sawah bukaan baru tanah mineral masam Ultisol di Bangkinang, Riau

Perlakuan	Bobot kering gabah	
	Uwaj ¹⁾	Air Tiris ²⁾
	t ha ⁻¹	
Tanpa pupuk	1,68	3,03
N	-	3,19
NP	2,21	4,38
NPK	3,23	4,79
NPK + Cu dan Zn	4,28	-

Keterangan: ¹⁾ Pemupukan 45 kg N, P₂O₅, 60 kg K₂O, dan 5 kg Cu dan Zn ha⁻¹.

²⁾ Pemupukan 90 kg N, 45 kg P₂O₅, dan 45 kg K₂O ha⁻¹.

Sumber: ¹⁾ Jalid dan Erwan (1988) dan ²⁾ Burbey dan Yusril (1989)

Hasil penelitian Abbas *et al.* (1990) di sawah bukaan baru Podsolik Merah Kuning (Ultisol) di Sitiung pada MK 1990 menunjukkan bahwa perlakuan dua kali drainase pada waktu pengolahan tanah meningkatkan jumlah anakan dan bobot kering tanaman, masing-masing 32 dan 29% dibandingkan tanpa drainase. Pemberian 5 t pupuk kandang dan 2 t kapur ha⁻¹ dengan sekali drainase cenderung meningkatkan jumlah anakan dan bobot kering tanaman dibandingkan tanpa drainase, hal ini menunjukkan drainase cukup efektif dalam pengelolaan sawah bukaan baru (Tabel 9).

Tabel 9. Pengaruh pemupukan dan ameliorasi kaptan dan pupuk kandang terhadap rata-rata jumlah anakan dan berat kering tanaman pada tanah Ultisol di Sitiung MK 1990

Perlakuan	Jumlah anakan	Berat kering/m ²
	batang	gr
1. NPK	20,7 b*	291 c
2. Pukan + kapur + NPK	22,3 ab	304 bc
3. Drainase 2 kali + NPK	27,5 a	374 a
4. Drainase 1 kali + pukan + kapur + NPK	25,8 ab	341 ab

* Angka-angka pada kolom yang sama tidak diikuti huruf kecil yang sama, berbeda nyata pada taraf 5% menurut DNMR. Sumber: Abbas *et al.*, 1990

Lebih lanjut Abbas menunjukkan bahwa serapan Fe²⁺ dan Mn²⁺ tanaman padi umur 80 hari meningkat akibat perlakuan ameliorasi, pemupukan dan draenase dua kali (Tabel 10).

Tabel 10. Analisis serapan hara tanaman umur 80 hari pada tanah Ultisol di Sitiung MK 1990

Perlakuan	N	P	K	Fe	Mn
	%			-- ppm --	
1. NPK	0,68	0,39	2,24	137	3130
2. Pukan + kapur + NPK	1,26	0,39	2,52	250	3592
3. Drainase 2 kali + NPK	0,94	0,40	2,44	420	2868
4. Drainase 1 kali + pukan + kapur + NPK	1,23	0,38	2,38	175	3470

Patrick dan Mahapatra (1968) mengemukakan bahwa konsentrasi Fe yang tinggi dapat menggantikan NH_4^+ dari kompleks pertukaran dalam larutan tanah. Tingginya serapan kedua hara tersebut karena meningkatnya ketersediaan Fe dan Mn dalam tanah. Menurut Sanchez (1976) ketersediaan Mn^{+2} dan Fe^{2+} terjadi pada bulan pertama penggenangan. Kandungan Mn^{+2} diperkirakan mencapai 3.000 ppm pada waktu 40-50 hari penggenangan, sedangkan Fe^{2+} puncak ketersediaannya pada beberapa minggu setelah penggenangan.

Hasil analisis tanah setelah perlakuan menunjukkan bahwa pemberian pukan dan kapur meningkatkan pH tanah dan P-tersedia serta drainase menurunkan Fe tanah (Tabel 11) (Abbas *et al.*, 1990).

Tabel 11. Hasil analisis tanah setelah diberi perlakuan pada tanah Ultisol di Sitiung MK 1990

Perlakuan	pH	P Bray II	K	Fe
		ppm	Me/100 g	ppm
NPK	5,09	14,00	0,23	686
Pukan + kapur +NPK	5,13	39,37	0,25	962
Pukan + kapur + NPK + drainase 1 kali	5,22	27,01	0,24	617

Sumber: Abbas *et al.*, 1990

Tanggap tanaman padi terhadap pemupukan P dan K serta keterkaitan dengan besi terlarut dan sifat-sifat kimia tanah sawah bukaan baru, Sungkai Selatan, Lampung Utara telah diteliti di laboratorium dan rumah kaca. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat hubungan antara ketersediaan P dan K-dd terhadap Fe_2O_3 juga antara ketersediaan P terhadap Al-dd. Jumlah anakan produktif dan bobot gabah bernas berkorelasi negatif nyata terhadap nisbah Fe/P dan Fe/Ca. Batas kritis Fe/P dan Ca/P larutan tanah berturut-turut 50 dan 30 pada saat tanaman berumur 100 hari. Jumlah anakan produktif dan bobot gabah bernas tidak berkorelasi dengan nisbah Fe/K. Meskipun terjadi peningkatan aktivitas Fe dengan adanya peningkatan nisbah Fe/K, tetapi bahaya

keracunan besi tidak berpengaruh terhadap bobot gabah bernas (Al-Jabri *et al.*, 1996). Penelitian serupa dilakukan di sawah bukaan baru Ultisol Tugumulyo, Sumsel. Hasilnya menunjukkan bahwa tanaman padi harus dipupuk P untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil padi sawah. Pemupukan 200 ppm P dan 100 ppm K nyata meningkatkan bobot gabah kering. Semakin tinggi takaran pupuk P semakin tinggi serapan hara tanaman. Jumlah anakan produktif dengan nisbah Fe/P, Fe/Ca, Fe/Mg dan Fe/Ca+Mg tidak berkorelasi (Hartatik dan Al-Jabri, 2000).

Kasno *et al.* (1997) melaporkan bahwa pada lahan sawah yang baru dibuka 2 tahun yaitu di lokasi Dorowati, Lampung, tanaman padi sangat tanggap terhadap pemupukan P, dengan takaran optimum adalah 45 kg P₂O₅ ha⁻¹, sedangkan pada lahan sawah yang dibuka 5 tahun yang lalu di Bandar Abung, Lampung, tanaman padi tidak tanggap terhadap pemupukan P. Hal ini diduga pemupukan P pada tanaman padi di daerah ini telah intensif dilakukan sehingga meningkatkan kadar P tanah. Sejalan dengan hasil penelitian tersebut di atas, pada sawah bukaan baru dari Harapan Masa Tapin, Kalsel, menunjukkan tanggap tanaman padi terhadap pemupukan P baik berupa SP-36 maupun fosfat alam dengan takaran P optimum 180 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Widowati *et al.*, 1999).

Penelitian rumah kaca pada lahan sawah bukaan baru dari Lampung menunjukkan bahwa tanaman padi IR-64 tanggap terhadap pemupukan NPK. Pemupukan 200 ppm N, 100 ppm K dan 150 ppm P disertai pemberian Zn dengan perlakuan penggenangan terputus nyata meningkatkan hasil padi (Hartatik *et al.*, 1997).

Pada lahan sawah bukaan baru Inceptisol di Muarabeliti dan Ultisol di Tatakarya, pemberian jerami 5 t ha⁻¹ meningkatkan C-organik, K-dd, K-HCl dan KTK tanah, serapan K tanaman, hasil jerami dan gabah kering. Pemberian pupuk KCl 150 kg ha⁻¹ disertai dolomit 50 kg ha⁻¹ pada Inceptisol Muarabeliti meningkatkan kadar K-HCl dan K-dd tanah serta hasil gabah kering (Nursyamsi *et al.*, 2000).

Kasno *et al.* (1999) melaporkan pengaruh pemupukan dan pengairan terhadap Eh, pH, ketersediaan P dan Fe, serta hasil padi pada tanah sawah bukaan baru Ultisol Tugumulyo Sumsel. Tanaman padi sangat tanggap terhadap pemupukan P, untuk mencapai hasil padi maksimum dibutuhkan pemupukan 388 kg SP-36 dan 5 t jerami ha⁻¹.

Hasil penelitian rumah kaca menggunakan tanah sawah bukaan baru Ultisol dari Tatakarya Lampung menunjukkan bahwa hara N, P dan K merupakan pembatas pertumbuhan tanaman, sedangkan pada Inceptisol di Muarabeliti kahat hara N, P, K dan S. Pemberian pupuk N dan P disertai pupuk kandang dan jerami padi nyata meningkatkan pertumbuhan tanaman padi (Nursyamsi *et al.*, 1996). Rendahnya kalium pada sawah bukaan baru akan mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap penyakit, sehingga tanaman padi mudah terserang bercak coklat.

Pengujian efektivitas fosfat alam pada lahan sawah bukaan baru menunjukkan bahwa pemupukan P baik fosfat alam (North Carolina, Ciamis, dan *Christmas*) maupun SP-36 meningkatkan ketersediaan hara P dalam tanah dan tanaman di Dorowati Lampung, namun tidak mampu meningkatkan pH, Ca dan tidak menurunkan kandungan Al dan Fe. Pemupukan fosfat alam memberikan efektivitas yang sama dengan SP-36 (Kasno *et al.*, 1997). Pemberian fosfat alam yang mempunyai reaktivitas tinggi, pupuk kandang dan pencucian besi dapat meningkatkan produktivitas tanah Ultisol di Air Gegas, Sumsel, yang baru disawahkan. Pemberian fosfat alam dua minggu sebelum penggenangan meningkatkan P-tersedia tanah enam kali lebih tinggi dibandingkan SP-36. Pemberian pupuk kandang 20 t ha⁻¹ yang diberikan pada saat penggenangan meningkatkan P-tersedia lebih tinggi dibandingkan jerami, peningkatan P terjadi melalui ikatan kompleks dengan besi, sehingga mengurangi aktivitas besi dalam menyerap P. Perlakuan pupuk kandang dan pencucian besi meningkatkan efektivitas fosfat alam. Selanjutnya tanggap tanaman padi terhadap kombinasi perlakuan fosfat alam dan pencucian serta residunya lebih baik dibandingkan kombinasi fosfat alam dan pupuk kandang (Hanum, 2004).

Penelitian peningkatan produktivitas lahan sawah bukaan baru Ultisol, Bangun Rejo, Lampung menunjukkan bahwa kendala utama peningkatan produktivitas yaitu rendahnya bahan organik, kawat Ca, Mg dan S. Oleh karena itu sangat disarankan pemberian bahan organik baik dengan pengembalian jerami atau pupuk kandang serta pemupukan. Pemberian pupuk kandang meningkatkan hasil gabah kering 22,5% yaitu sebesar 5,7 t ha⁻¹. Hasil ini sejalan dengan penelitian penjajagan hara di rumah kaca pada lahan sawah yang sama menunjukkan bahwa tanaman padi tanggap terhadap unsur hara P, K, Mg, Zn serta bahan organik (pupuk kandang) (Suriadikarta *et al.*, 2003). Penelitian serupa pada lahan sawah bukaan baru dari Kandangan Kalsel menunjukkan bahwa tanaman padi memerlukan pemupukan N, P, K dan Zn (Widowati *et al.*, 1999).

Perbaikan sifat fisik

Selain usaha perbaikan kesuburan tanah, sifat fisik pada sawah bukaan baru juga yang perlu diperhatikan adalah laju infiltrasi. Di lapangan laju infiltrasi bervariasi antara agak lambat sampai sangat cepat tergantung jenis tanahnya. Tanah-tanah yang tergolong tua seperti Oxisol dan Ultisol tergolong porus, dan juga pada tanah berpasir tinggi seperti di Lambunu Sulawesi Selatan. Menurut Suharta dan Sukardi (1994), kehilangan air rata-rata pada sebagian besar tanah mineral tergolong tinggi yaitu sebesar 0,9 l detik⁻¹ ha⁻¹. Namun dengan cara dua kali dicangkul dan dua kali dilumpurkan mampu mengurangi laju infiltrasi hingga >90%.

Perbaikan varietas tanaman

Pengendalian keracunan besi juga dapat melalui perbaikan varietas tanaman. Varietas IR-42 merupakan varietas yang cukup toleran terhadap keracunan besi, dianjurkan pada daerah yang tidak terserang hama wereng. Uji daya hasil lanjutan galur/varietas yang toleran terhadap keracunan besi menunjukkan bahwa beberapa varietas cukup potensial dikembangkan pada lahan sawah yang keracunan besi, yaitu varietas Tondano, Klara dan Batang Ombilin, galur B 5584c-4-st-4-14-32 dan B 5848-5-Sr-104 (Tabel 12 dan Tabel 13).

Tabel 12. Uji daya hasil lanjutan padi sawah bukaak baru di Sitiung, musim hujan (MH) 1986/1987

Galur/varietas	Hasil
	t ha ⁻¹
B 5848d-5-Sr-104	4,80
B 5592c-7-st-3-5-48	3,34
B 5828d-19-sr-37	3,09
RP 1899-1689-48	2,82
IR 388-10	2,75
IR 5785-188-2-1	2,70
B 5569c-5-st-78-2-1d	2,61
GH 324	2,61
BR 51-4b-5	2,48
IR 5741-73-2-3	2,26
B-58-4c-106-2	2,25
Batang ombilin ¹⁾	2,24

Keterangan: ¹⁾Kontrol

Sumber: Burbey *et al.* (1989).

Penggunaan varietas yang tahan merupakan cara pengendalian keracunan besi yang baik dan ekonomis, oleh karena itu dibutuhkan beberapa varietas padi yang tahan, namun demikian diperlukan waktu yang agak lama.

Tabel 13. Uji daya hasil lanjutan varietas yang tahan keracunan besi, Bangkinang Riau, MH 1987/88

Galur/varietas	Hasil
	t ha ⁻¹
Tondano	4,11
B 5584-4-st-4-14-32	4,02
B 3913f-16-20-st-12-14	3,96
Klara	3,83
IR-64	3,62
Danau bawah	3,23
Batang ombilin ¹⁾	3,78

Keterangan: ¹⁾Kontrol

Sumber: Jalid dan Hirwan (1987).

Pemupukan empat varietas padi di sawah bukaan baru dataran Lalundu, Kecamatan Dolo, Kabupaten Donggala menunjukkan bahwa hasil yang berbeda-beda walaupun diberikan takaran pupuk yang sama yaitu: Urea 200 kg ha⁻¹, SP-36 100 kg ha⁻¹, dan KCl 100 kg ha⁻¹. Hasil tertinggi diperoleh pada varietas Cisanggarung sebesar 6,5 t ha⁻¹ (Tabel 14).

Tabel 14. Produksi rata-rata beberapa varietas padi di dataran Lalundu Kecamatan Dolo, Kabupaten Donggala MT 2000

No	Nama varietas	Hasil GKG t ha ⁻¹
1.	Kapuas	5,1
2.	Lematang	4,7
3.	Lalan	3,5
4.	Cisanggarung	6,5

PENUTUP

Peluang pengembangan lahan sawah ke luar Pulau Jawa cukup tinggi, karena potensi sumber daya lahan yang ada saat ini masih besar, walaupun kendala-kendala sawah bukaan baru cukup besar. Penerapan pengelolaan hara terpadu dengan penggunaan pupuk anorganik dan organik serta pupuk hayati merupakan jawaban teknologi untuk meningkatkan produktivitas lahan sawah mineral masam bukaan baru. Takaran pupuk yang digunakan dapat berdasarkan kepada hasil uji tanah spesifik lokasi.

Adanya sawah bukaan baru diluar Jawa diharapkan dapat menyediakan lapangan kerja bagi masyarakat di desa. Dengan dibukanya lahan kering menjadi lahan sawah, maka lahan sawah dapat berperan multifungsi. Fungsi-fungsi itu adalah: pengendali banjir, pencegah erosi, penyedia sumber daya air, dan pendaur ulang sampah bahan organik. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem sawah menjadi pertanian yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pada umumnya pembukaan lahan sawah bukaan baru menggunakan tanah mineral masam yang berbahan induk tufa masam yang miskin akan unsur hara dan mengandung besi tinggi yang bisa berpotensi memicu keracunan besi bagi tanaman padi. Untuk meningkatkan lahan sawah bukaan baru diperlukan masukan tinggi, seperti: pupuk, bahan ameliorasi (kaptan/dolomit), pupuk hayati, dan pupuk kandang, serta kompos jerami. Sehingga petani memerlukan modal kerja yang cukup besar. Untuk mengatasi itu mestinya pemerintah dapat menyediakan kredit usaha tani yang dapat dilunasi pada saat panen.

Selain modal kerja untuk meningkatkan produktivitas lahan diperlukan adanya sarana irigasi untuk menyediakan air secara penuh pada saat musim tanam berlangsung. Pemerintah perlu mengeluarkan dana cukup besar dalam pembangunan jaringan irigasi.

Petani tidak mudah untuk menerima teknologi anjuran, tetapi secara bertahap teknologi itu akan diterima dan dipertimbangkan jika *output* yang dihasilkan dapat meningkatkan pendapatannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H., E. Mawardi dan A. Taher. 1990. Dampak pemeliharaan lkan dan ameliorasi pada lahan sawah bukaan baru. hlm. *dalam* Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaak Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi. Padang, 17-18 September 1990.
- Adiningsih, J. S. dan M. Sudjadi. 1983. Pengaruh penggenangan dan pemupukan terhadap tanah Podsolik Lampung Tengah. Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk 2: 1-7.
- _____, dan M. Soekardi. 1994. Potensi Sumberdaya Lahan Untuk Pencetakan Sawah Irigasi Di Lokasi PIADP Sumatera. Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan Untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Sumatera.
- _____, Sulaeman, dan Mulyadi. 1999. Pengaruh pemupukan dan pengairan terhadap Eh, pH, ketersediaan P dan Fe, serta hasil padi pada tanah sawah bukaan baru. Hal: 72-81. Jurnal. tanah dan iklim. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Breemen, Van and F. R. Moorman. 1978. Iron-toxic soils. *In* Soil and Rice. IRRI, Los Banos, Philippines. p 781-797.
- Burbey dan Yusrial, 1989. Pemupukan NPK, kapur, dan hara mikro serta bahan organik pada padi sawah keracunan besi. Laporan hasil penelitian Balittan Sukarami, MT 1988/89.
- Burbey dan Yusrial. 1989. Pemupukan N, P, K, kapur dan hara mikro serta bahan organik pada padi sawah keracunan besi. Laporan Hasil Penelitian Balittan Sukarami, MT 1988/1989.
- De Datta, S.K. 1981. Principles and practices of rice production. The International Rice Research Institute Los Banos. The Philippines. John Wiley & Sons 618 p.
- Hanum, H. 2004. Peningkatan produktivitas tanah Ultisol yang baru disawahkan berkaitan dengan P tersedia melalui pemberian bahan organik, fosfat alam dan pencucian besi. Disertasi. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Hartatik, W, L. Retno Widowati dan Sulaeman. 1997. Pengaruh potensial redoks terhadap ketersediaan hara pada tanaman padi sawah. Hal: 19-33. Proseding Pertemuan. Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal: 1-18. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997.
- Jalid, N., and Hirwan. 1987. Pengaruh pemupukan NPK, kapur, bahan organik dan hara mikro terhadap padi sawah bukaan baru. Laporan hasil penelitian tahun 1987/1988.
- _____, Sulaeman, dan Sutisni Dwiningsih. 2000. Penentuan ketersediaan P tanah menggunakan kurva erapan pada sawah bukaan baru. Hal: 23-28. Jurnal tanah dan iklim. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- _____, A. Soepartini dan J. Sri Adiningsih. 1996. Tanggap padi sawah terhadap pemupukan P dan K serta ketersediaan Fe terlarut dengan sifat-sifat kimia tanah sawah bukaan baru. Proseding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal: 63-73. Bogor 26-28 September 1995.
- Kasno. A., Sulaeman dan B. Hendro Prasetyo. 1997. Efektivitas penggunaan pupuk P-alam pada lahan sawah bukaan baru. Hal: 39-53. Proseding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal: 1-18. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997.
- Kawaguchi, K and K. Kyuma. 1977. Paddy Soils In Tropical Asia. Their Material Nature And Fertility. Monograph of The Center For Southeast Studies Kyoto University. The University Press of Hawaii. Honolulu, USA.
- _____, dan M. Al-Jabri. 2000. Pengaruh pemupukan P dan K terhadap sifat kimia dan hasil padi sawah bukaan baru Ultisols Tugumulyo Sumatera Selatan. Proseding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Cisarua, Bogor 9-11 Pebruari 1999. Hal: 201-213. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Nursyamsi, D., D. Setyorini dan J. Sri Adiningsih. 1996. Pengelolaan hara dan pengaturan drainase untuk menanggulangi kendala produktivitas sawah baru. Hal: 113-127. Proseding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Hal: 1-18. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997.
- Ottow, J. C. G., G. Benckiser, and I. Watanabe. 1982. Iron J toxicity of rice as a multiple nutritional soil stres. Trop. Agric. Res. Ser. No. 15.
- Patrick, W. H dan I. C. Mahapatra. 1968. Transformations and availability to rice of nitrogen and phosphorus in water logged soils, Adv. Agron 20 : 323 - 359.
- Ponnamperuma, F. M. 1972. The chemistry of submerged V/soils. IRRI. Los Banos, Philippines. p.51-55.

- Ponnamperuna, F.M. 1996. Specific Soil Chemical Characteristic for Rice Production in Asia. IRRI Research Paper Series Nanta. Phillipines.
- Ponnamperuna, F.M. 1997. The Chemistry of Submerged Soils. Adv. Arpen. On: 29-96.
- Puslittanak. 1993. Survei dan Penelitian Tanah Merowi I. Kalimantan Barat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Tidak dipublikasikan).
- _____, L.R. Widowati., D. Setyorini dan J. Sri Adiningsih. 2000. Pengaruh pengelolaan tanah, pengairan terpadu dan pemupukan terhadap produktivitas lahan sawah baru pada Inceptisols dan Ultisols. Muara Beliti dan Tatakarya. Hal: 29-38. Jurnal tanah dan iklim. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- _____, 1998. Erapan fosfat, kelarutan hara makro dan mikro serta pengerauh besi terhadap padi sawah. Tesis Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soil in the tropical. John Willey and Sons. p 421-470.
- Suharta, N dan M. Soekardi. 1994. Potensi Sumberdaya Lahan Untuk Pencetakan Sawah Irigasi Di Lokasi PIADP Kalimantan dan Sulawesi. Risalah Hasil Penelitian Potensi Sumberdaya Lahan Untuk Pengembangan Sawah Irigasi di Kalimantan dan Sulawesi.
- Sulaeman, Eviati, dan J. Sri Adiningsih. 1997. Pengaruh Eh dan pH terhadap sifat erapan fosfat, kelarutan besi dan hara lain pada tanah Hapludox Lampung. Proseding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan. Agroklimat. Hal: 1-18. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997.
- Suriadikarta, D.A, W. Hartatik dan G. Syamsidi. 2003. Penelitian peningkatan produktivitas lahan sawah di luar Jawa untuk mendukung ketahanan pangan. Laporan Akhir Balai Penelitian Tanah.
- _____, dan S. Roechan. 1988. Hara Mineral Tanaman Padi *dalam* Ismunadji. M., S. Partohardjom, M. Syam, A. Widjono. 1988. Padi. Badan Penelitian Tanaman Pangan, 231-270.
- _____, dan W. Sabe. 1988. Pengaruh fosfat dan hara lain terhadap keracunan besi pada padi sawah. Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor.
- Taher, A, dan Misran, 1984. Pengendalian keracunan Besi V/pada sawah bukaan baru. Pemberitaan Penelitian Sukarami, No. 4, hal 3-6.
- Tanaka, A. and S.Yoshida. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Tech. Bul. 10. The International Rice Research Institute, Los Banos, Phillipines.

- Tanaka, A. and T. Tadano, 1972. Potassium in relation to L/iron toxicity of the rice plant. *Potash Rev.* 21:1-12.
- Van Mensvoort, M.I., R.S. Jantin, R. Brinkman and M. Van Breemen. 1985. Tasisities of Wetland Soil. In *Wetland Soil: Characterization, Classification and Utilization*. The International Rice Research Institute Los Banos Jaguna, Phillippines. p. 123-138.
- Widowati, L.R. S. Rochayati, S. Abdullah dan J. Sri Adiningsih. 1999. Pengaruh unsur hara Ca, Mg, S dan hara mikro terhadap produktivitas lahan sawah bukaan baru. Laporan Akhir Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Widowati, L.R., D. Nursyamsi, dan J. Sri Adiningsih. 1979. Perubahan sifat kimia tanah dan pertumbuhan padi pada lahan sawah bukaan baru di rumah kaca. *Jurnal Tanah dan Iklim.* 50-60. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Yusuf, A., S. Djakamihardja, G. Satari dan S. Djakasutami. 1990. Pengaruh pH dan Eh terhadap kelarutan, Fe, Al dan Mn pada lahan sawah bukaan baru jenis Oxisol Sitiung. hlm. dalam *Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Tranmigrasi*. Padang, 17-18 September 1990. Fakultas Pertanian Universitas Ekasaksi dan Balai Penelitian Tanaman Pangan, Sukarami.
- Zaini, Z., Burbey, N. Jalid, dan A. Kaher. 1987. Teknologi pengendalian keracunan besi pada sawah bukaan baru. Dalam *Risalah Ahli Teknologi*. Balittan Sukarami 14-15 September 1987. Hal 16-21.