

PELESTARIAN SUMBER DAYA LAHAN TANAMAN PADI

Fahmuddin Agus, Diah Setyorini, dan Ai Dariah
Balai Penelitian Tanah

1. PENDAHULUAN

Dua bentuk utama pelestarian lahan sawah adalah pelestarian kesuburan tanah, dan pelestarian kawasan lahan sawah untuk pertanaman padi. Kesuburan tanah relatif mudah dilestarikan karena sudah tersedia teknologi untuk itu. Ketersediaan modal, nilai jual beras, dan kelembagaan pendukung (penyedia sarana produksi) menentukan penerapan anjuran teknologi tersebut. Pelestarian kawasan pertanaman padi jauh lebih sulit karena menyangkut berbagai faktor internal petani dan faktor eksternal lintas sektoral.

Pelestarian kelestarian kesuburan tanah untuk pertanaman padi dibedakan menjadi pelestarian kesuburan tanah sawah dan tanah tegalan. Kesuburan tanah sawah lebih mudah dilestarikan dibandingkan dengan pelestarian kesuburan tanah tegalan karena adanya berbagai faktor intrinsik pada lahan sawah. Kesuburan tanah tegalan lebih sulit dilestarikan, apalagi insentif untuk bertanam padi di tegalan sangat kecil. Hanya karena dorongan untuk memenuhi ketahanan pangan keluarga sehingga sebagian petani di lahan kering menanam tegalan dengan tanaman padi.

Tulisan ini membahas status dan konsep keseimbangan hara pada lahan sawah dan lahan kering. Diskusi tentang perubahan sifat kimia tanah dan ketersediaan hara sesudah penggenangan, ketersediaan hara, dan kemungkinan keracunan beberapa unsur mikro pada lahan kering dibahas secara intensif. Selain itu, dibahas pula konsep neraca hara dan pemupukan berimbang. Diskusi tentang kecenderungan percepatan konversi lahan sawah merupakan bagian yang memberikan peringatan tentang eksistensi lahan sawah ke depan.

2. PELESTARIAN KESUBURAN TANAH SAWAH

2.1 Sifat Intrinsik Tanah Sawah dalam Mempertahankan Kesuburan

Di Indonesia lahan sawah sudah diusahakan sejak ribuan tahun yang lalu dan mampu memenuhi $\geq 95\%$ kebutuhan beras nasional (Agus dan Mulyani, 2006). Prestasi tertinggi dari intensifikasi padi pada lahan sawah adalah

tercapainya swasembada beras pada tahun 1984. Hal ini hanya dimungkinkan oleh produktivitas dan stabilitas lahan sawah yang tinggi. Perilaku dan ketersediaan unsur hara pada lahan sawah memungkinkan produktivitas lahan sawah tetap tinggi, sedangkan stabilitas lahan sawah didukung oleh karakteristik alaminya berupa sifat-sifat intrinsik lingkungan sebagaimana dikemukakan oleh Kyuma (2004).

2.1.1 Pemasok Unsur Hara Secara Alami

Unsur hara terutama basa-basa K, Ca, dan Mg, dan silika larut secara alami dalam air irigasi. Jumlah unsur yang dibawa melalui air irigasi untuk Ca dan Mg seringkali melebihi jumlah yang dibutuhkan tanaman, dan untuk K dan Si memenuhi sebagian besar kebutuhan tanaman.

Lahan sawah juga mampu memasok unsur nitrogen melalui dekomposisi bahan organik tanah dan fiksasi melalui proses biologi tanah. Jumlah N yang dapat diserap melalui fiksasi mencapai 30–40 kg/ha/musim tanam. Jumlah ini memenuhi sekitar sepertiga kebutuhan N dari varietas padi unggul untuk mendukung produktivitas padi sebanyak 5 t/ha.

Unsur P dalam tanah sawah lebih mudah tersedia karena proses reduksi dari senyawa aluminium fosfat (Al-P) dan besi fosfat (Fe P) sehingga P terlepas ke dalam larutan tanah. Fosfat yang semula tidak tersedia pada tanah dengan pH masam dan alkalin, melalui proses penggenangan akan tersedia bagi tanaman.

2.1.2 Toleran terhadap Pengaruh Budi Daya Tanaman Monokultur

Pada daerah dengan curah hujan dan irigasi yang cukup, padi sawah ditanam secara monokultur, dua sampai tiga kali/tahun. Jarang terlihat pengaruh negatif seperti ketidakseimbangan hara, kekeringan serta serangan hama dan penyakit.

Pergantian keadaan aerobik dan anaerobik pada lahan sawah merupakan salah satu kontrol alami yang efektif mengendalikan keseimbangan biologi dan nonbiologi sehingga proses adsorpsi dan desorpsi berlangsung serasi. Pengalaman praktis di Jepang adalah mengonversikan usaha tani lahan kering menjadi lahan sawah secara berkala sebagai usaha untuk menanggulangi masalah hama penyakit dan penyediaan hara.

2.1.3 Penanganan Gulma

Pengelolaan gulma pada lahan sawah relatif lebih mudah dibandingkan dengan di lahan kering. Pada lahan sawah yang tergenang pertumbuhan gulma terhambat dan biomas gulma hanya sekitar sepertiga sampai seperenam dari

gulma pada lahan kering. Kalaupun ada beberapa gulma air, pengendaliannya akan lebih mudah pada lahan sawah yang tergenang dan berlumpur.

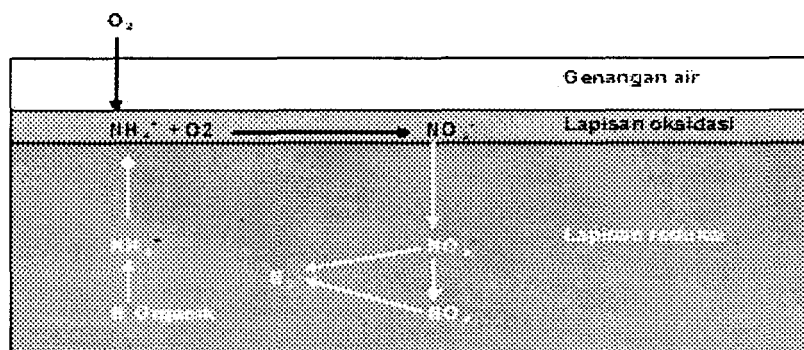
Penggenangan dapat memberantas gulma jenis C_4 , seperti alang-alang (*Imperata cylindrica*), *Setaria viridis*, dan *Digitaria adscendence* yang dalam keadaan tidak tergenang dapat mengalahkan tanaman padi yang merupakan tanaman jenis C_3 .

2.2 Status Hara dan Pelestarian Kesuburan Tanah Sawah

2.2.1 Hara Makro

Nitrogen. Sebagian besar N tanah berupa N organik, baik yang terdapat dalam bahan organik tanah maupun fiksasi N oleh mikroba tanah dan hanya sebagian kecil (2%–5%) berupa N anorganik, dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^- serta sedikit NO_2^- . Pada tanah tergenang, N merupakan hara yang tidak stabil karena adanya proses mineralisasi bahan organik (amonifikasi nitrifikasi dan denitrifikasi) oleh mikroba tanah tertentu (Prasetyo dkk., 2004). Di lapisan reduksi, N yang sudah termineralisasi kebanyakan berada dalam bentuk NH_4^+ . Sebagian NH_4^+ terdifusi ke dalam lapisan oksidasi dan sebagian lagi diserap oleh tanaman atau terfiksasi oleh liat. Dalam lapisan oksidasi NH_4^+ akan berubah menjadi NO_3^- (nitrat). Selain tersedia untuk tanaman, nitrat mudah terbawa air dan tercuci ke lapisan reduksi, dan selanjutnya mengalami denitrifikasi membentuk gas oksida nitrat (*nitrous oxides*) (Gambar 1).

Kehilangan N terjadi terutama melalui proses denitrifikasi NO_3^- dan volatilisasi NH_3 pada pH tinggi. Kehilangan N melalui kedua proses tersebut dapat mencapai 70%. Untuk mengurangi kehilangan N disarankan agar pupuk N diberikan ke dalam lapisan reduksi, dua sampai tiga kali pemberian untuk satu musim tanam.



Gambar 1. Proses dekomposisi N organik menjadi N termineralisasi pada sawah yang tergenang (dimodifikasi dari Patrick dan Reddy, 1978)

Kandungan nitrogen di tanah umumnya rendah sehingga harus selalu ditambahkan dalam bentuk pupuk atau sumber lainnya pada setiap awal tanam. Tanggapan tanaman umumnya sangat cepat apabila diberi pupuk N. Dengan demikian, petani cenderung menggunakan N secara berlebihan. Di beberapa wilayah, penggunaan pupuk urea mencapai 148% dari yang direkomendasikan. Sebaliknya penggunaan pupuk P dan K yang relatif lebih rendah sehingga sering tidak seimbang dengan N. Beberapa kasus menunjukkan penurunan penggunaan pupuk SP36 sampai 50% dan pupuk KCl sampai 84% dari kebutuhan tanaman. Bahkan cukup banyak petani yang hanya menggunakan pupuk N. Kelebihan takaran pupuk N tidak berdampak meningkatkan status N dalam tanah, namun berpotensi menimbulkan polusi di badan air. Konsentrasi nitrat-N yang melebihi 10 mg/L pada air minum berbahaya bagi kesehatan manusia (CAST, 1985).

Fosfor. Ketersediaan fosfor (P) lebih besar pada kondisi anaerob dan tergenang dibandingkan dengan kondisi aerob disebabkan oleh perubahan redoks dalam tanah dan resultan perubahan status Al dan Fe dengan mekanisme sebagai berikut:

- (1) Penyelimutan P oleh ferioksida yang berada dalam liat dan zarah liat membentuk *occluded* P dalam keadaan aerob (Sanchez, 1976). Sesudah penggenangan, pelepasan *occluded* P terjadi akibat reduksi ferioksida yang menyelimuti P menjadi ferooksida yang lebih larut. Pelepasan P yang berasal dari senyawa feri terjadi setelah reduksi mangan oksida (Willet, 1989).
- (2) Peningkatan pH tanah masam akibat penggenangan meningkatkan kelarutan *strengit* dan *variscit*, selanjutnya terjadi peningkatan ketersediaan P. Sebaliknya, ketika pH pada tanah alkalin menurun dengan adanya penggenangan, stabilitas mineral kalsium fosfat akan menurun, akibatnya senyawa kalsium fosfat menjadi larut (Willet, 1985).
- (3) Asam organik yang dilepaskan selama dekomposisi anaerob dari bahan organik pada kondisi tanah tergenang dapat meningkatkan kelarutan senyawa Ca-P maupun Fe-P dan Al-P melalui proses khelasi.
- (4) Meningkatnya difusi ion $H_2PO_4^-$ ke larutan tanah melalui pertukaran dengan anion organik (Sanchez, 1976).

Status hara tanah sawah terbagi menjadi tiga kelas, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Setiap kelas status hara memberikan informasi khusus tentang tanggapan tanaman padi terhadap hasil yang diharapkan, yaitu:

- (1) Kelas status hara rendah mengindikasikan tingginya kebutuhan pupuk. Tanggapan tanaman terhadap pemupukan P atau K tinggi. Tanpa pupuk, gejala kahat pasti muncul dan pertumbuhan tanaman tidak normal.
- (2) Kelas status hara sedang menunjukkan kebutuhan hara sedang, tanggapan pemupukan P atau K sedang, tanpa pupuk pertumbuhan tanaman kurang normal, gejala kahat tidak muncul, dan hasil rendah.

Tabel 1. Kelas status hara dan rekomendasi pemupukan SP36 untuk mencapai target hasil padi sawah 5 dan 6 t/ha GKG

Kelas status hara	Kadar P_2O_5 (ekstrak HCl 25%)	Rekomendasi SP36 (kg/ha) untuk mencapai target hasil	
	mg/100g	5 t GKG/ha	6 t GKG/ha
Rendah	<20	100	125
Sedang	20 – 40	75	100
Tinggi	>40	50	75

- (3) Kelas status hara tinggi tidak memerlukan pupuk, tanggapan pemupukan rendah, kebutuhan pupuk hanya untuk pemeliharaan kandungan hara tanah agar tidak merosot.

Survei kesuburan tanah oleh Pusat Penelitian Tanah di 18 provinsi (Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Lampung, Sumatera Selatan, Sumatera Barat, Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Bali, NTB (P. Lombok), Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Jambi, Riau, Bengkulu, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, dan Sulawesi Tenggara) menunjukkan bahwa dari 7,5 juta ha lahan sawah intensifikasi, sekitar 3 juta ha di antaranya mempunyai status hara P tinggi (dengan konsentrasi P_2O_5 terekstrak HCl 25% >40 mg/100 g); 3,24 juta ha mempunyai status hara P sedang (konsentrasi P_2O_5 antara 20–40 mg/100 g); dan 1,3 juta ha mempunyai status hara P rendah (P_2O_5 terekstrak HCl 25% <20 mg/100 g) (Sofyan dkk., 2004). Hal ini menyebabkan sebagian besar tanaman padi sawah tidak tanggap terhadap pemupukan P (Setyorini dkk., 1994 dan 2003) karena status haranya tinggi. Rekomendasi pemupukan SP36 berdasarkan kelas status hara P diberikan pada Tabel 1.

Daerah dengan status hara tinggi disebabkan oleh adanya akumulasi P akibat pemupukan dengan takaran tinggi. Kelebihan P yang tidak diserap tanaman akan terjerap oleh mineral liat serta oksida Al dan Fe membentuk ikatan Al-P, Fe-P pada tanah bereaksi masam dan oleh Ca dalam bentuk Ca-P pada tanah alkalin. Senyawa P ini dapat tersedia kembali untuk tanaman setelah mengalami proses transformasi akibat perubahan pH dan redoks dalam tanah (Patrick dan Reddy, 1978).

Kalium. Kalium (K) diserap oleh tanaman dalam bentuk ion K^+ dari larutan tanah. K dalam larutan tanah berada dalam keseimbangan dengan K yang teradsorpsi di permukaan liat. Sumber utama K adalah mineral tanah (feldspar, mika, vermikulit, biotit, dll), dan bahan organik sisa tanaman. K dalam tanah mempunyai sifat yang *mobile* (mudah bergerak) sehingga mudah hilang melalui proses pencucian atau terbawa arus pergerakan air. Karena itu efisiensi pupuk K biasanya rendah, namun dapat ditingkatkan dengan cara membagi pemupukan menjadi 2–3 kali dalam satu musim tanam.

Tabel 2. Kelas status hara dan rekomendasi pemupukan KCl untuk mencapai target hasil padi sawah 5 dan 6 t/ha GKG

Kelas status hara K	Kadar K ₂ O (ekstrak HCl 25%) mg/100g	Rekomendasi KCl (kg/ha) untuk mencapai target hasil			
		5 t GKG/ha		6 t GKG/ha	
		- jerami	+ jerami	-jerami	+jerami
Rendah	<10	100	50	150	100
Sedang	10–20	50	0	100	50
Tinggi	>20	50	0	100	50

Catatan: Pupuk KCl diberikan 2 kali (pada waktu tanam dan 5–7 minggu sesudah tanam)

- Jerami = jerami diangkut ke luar sawah

+ Jerami = jerami dilapukkan (dikomposkan) dan didaur-ulang pada petakan sawah.

Sumber: Soepartini dkk., 1995

Penurunan Eh karena penggenangan akan menghasilkan Fe²⁺ dan Mn²⁺ yang dalam jumlah besar dapat menggantikan K teradsorpsi sehingga K dilepaskan ke dalam larutan dan tersedia bagi tanaman. Tanggapan tanaman padi sawah terhadap pemupukan K umumnya rendah karena kebutuhan K pada umumnya dapat dicukupi dari cadangan mineral K, air irigasi, dan dekomposisi bahan organik. Namun kalau drainase sangat jelek yang menyebabkan terjadinya akumulasi asam organik, berakibat pada terhambatnya serapan K oleh akar tanaman (Yoshida, 1981).

Pada tahun 2000 telah dibuat Peta Status Hara K Tanah Sawah skala 1:250.000 untuk 18 provinsi di Indonesia (Sofyan dkk., 2004) yang selanjutnya disesuaikan menjadi 21 provinsi sejalan dengan adanya pemekaran (Tim Pupuk 2007). Peta ini membedakan status K tanah dalam tiga kelompok berdasarkan kadar K₂O terekstrak HCl 25%, yaitu tanah berstatus K tinggi (>20 mg K₂O/100 g), sedang (10–20 mg K₂O/100 g), dan rendah (<10 mg K₂O/100 g) (Tabel 2).

Dari total lahan sawah seluas 7,5 juta ha, sekitar 3,8 juta ha (51%) di antaranya mempunyai status hara K tinggi; 2,8 juta ha (37%) mempunyai status K sedang, dan hanya 0,88 juta ha (12%) mempunyai status K rendah (Sofyan dkk., 2004).

Pengembalian jerami ke dalam tanah dapat mempertahankan status K dan Si tanah karena tingginya kandungan K dalam jerami padi (Tabel 3). Untuk tanah yang berstatus K sedang dan tinggi, pemupukan K tidak diperlukan apabila jerami dikembalikan ke tanah. Dengan membenamkan jerami pada lahan sawah sebanyak 5 t/ha/musim selama empat musim berturut-turut pada tanah kahat K maka kebutuhan K akan terpenuhi dan kadar C organik, K dapat ditukar, Mg dapat ditukar, kapasitas tukar kation (KTK) tanah, Si tersedia dan stabilitas agregat tanah meningkat. Sumbangan hara dari jerami dengan takaran tersebut setara dengan 170 kg K, 160 kg Mg, 200 kg Si, dan 1,7 t C organik/ha (Sri Adiningsih, 1984).

Tabel 3. Kandungan beberapa unsur hara pada biji dan jerami padi untuk setiap 1 t/ha hasil GKG

Komponen tanaman	Kandungan hara kg/t GKG					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Gabah	15,0	2,75	3,75	0,25	1,0	0,75
Jerami	7,5	0,50	23,25	2,50	1,5	0,25

Sumber: diolah dari Dierolf *et al.*, 2001

C-organik. Kandungan C-organik merupakan salah satu indikator kesuburan tanah, namun C diambil tanaman dari udara dalam bentuk CO₂. Tanah yang kandungan C-organiknya menurun menandakan kesuburan tanah tersebut mengalami degradasi. Bahan organik penting sebagai sumber energi jasad renik yang berperan dalam penyediaan hara tanaman. Bahan organik menentukan kapasitas tukar kation tanah, walaupun sifat ini bergantung pada pH (*pH dependent*). Tanah miskin bahan organik dan didominasi mineral liat 1:1 mempunyai kapasitas tukar kation yang rendah sehingga efisiensi pemupukan akan berkurang karena sebagian besar hara mudah hilang dari lingkungan perakaran. Bahan organik juga berperan dalam memperbaiki struktur tanah sehingga tanah mudah diolah dan dilumpurkan. Mengingat pentingnya peranan bahan organik bagi kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah maka pemberian atau daur-ulang bahan organik merupakan bagian penting dari pelestarian kesuburan tanah.

Ada korelasi positif antara kadar bahan organik dan produktivitas padi sawah, makin rendah kadar bahan organik makin rendah produktivitas lahan (Sri Adiningsih dkk., 1988; Karama dkk., 1990). Intensitas tanam yang tinggi dan kebiasaan mengangkut sisa tanaman ke luar sawah dapat menyebabkan penurunan kandungan C-organik.

Jerami adalah sumber bahan organik yang mudah tersedia untuk tanaman padi, namun jerami sering digunakan untuk keperluan lain seperti pakan ternak dan bahan anyaman. Kandungan hara dalam jerami cukup tinggi (Tabel 3). Dengan demikian, pengangkutan jerami ke luar sawah menyebabkan terjadinya pengurasan hara.

Kalsium dan Magnesium. Status hara kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dibedakan menjadi dua kelas berdasarkan ekstraksi NH₄OAc 1N pada pH 7. Batas kritis Ca dan Mg masing-masing 5 dan 1 cmol₍₊₎/kg.

Hasil penelitian pengelolaan hara di lahan sawah intensifikasi di Jawa, Sulawesi Selatan, Nusa Tenggara Barat, dan Lampung menunjukkan bahwa defisiensi Ca lebih berkorelasi dengan jenis bahan induk tanah dibandingkan dengan tingkat pengelolaan lahan (Widowati dkk., 1999). Tanah dengan bahan

induk yang bersifat basa (seperti di Jawa Timur) pada dasarnya kaya dengan basa sehingga tidak memerlukan pemupukan Ca dan Mg. Padi yang ditanami pada sawah berlahan induk masam juga jarang mengalami kahat hara Ca dan Mg karena adanya pasokan kedua unsur tersebut dari air irigasi (Kyuma, 2004) dan sisa tanaman.

Sulfur. Penggenangan tanah sawah akan mengakibatkan reduksi sulfat (H_2SO_4) menjadi sulfida (H_2S) yang bersifat racun terhadap mikroba tanah dan tanaman padi. Besi Fe^{3+} tereduksi terlebih dahulu menjadi Fe^{2+} menyusul kemudian SO_4^{2-} menjadi S^{2-} . Oleh sebab itu, dalam larutan tanah selalu terdapat Fe^{2+} yang akan bereaksi dengan H_2S yang membentuk FeS yang mengendap. Proses ini akan melindungi mikroba tanah dan tanaman padi dari efek racun H_2S (Patrick dan Reddy, 1978). Namun, pada tanah gambut yang disawahkan, produksi H_2S sangat berlebihan dan apabila kadar Fe^{2+} rendah maka akan terjadi keracunan H_2S . Pada tanah yang mengalami reduksi berlebihan atau pada tanah-tanah alkalin dengan kadar besi rendah yang disawahkan sering terjadi kekahatan SO_4^{2-} karena perubahannya menjadi S^{2-} (Ponnamperuma, 1972). Reduksi sulfat SO_4^{2-} menjadi sulfida S^{2-} dapat pula mengakibatkan terjadinya kekahatan unsur mikro Cu dan Zn karena terjadinya endapan CuS dan ZnS .

Ketersediaan sulfur (S) biasanya diuji dengan ekstraksi $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 500 mg/kg dan batas kritis S adalah 10 mg/kg. Sebaran hara S di tanah sawah telah diteliti di Jawa pada tahun 1992. Hasilnya menunjukkan bahwa makin ke Timur makin sedikit tanah yang mempunyai kandungan S sedang atau tinggi, karena semakin ke Timur jenis tanahnya netral sampai alkalin (seperti Vertisol) yang berasal dari bahan induk basaltik dengan kandungan S rendah. Sebaliknya, contoh tanah yang berasal dari Jawa Barat hanya sedikit yang berkadar S rendah karena tanah lebih masam dan umumnya mengandung S tinggi.

Tanggapan tanaman padi sawah terhadap pemupukan belerang di Jawa tidak konsisten. Pada tanah-tanah yang berkadar belerang rendah tanaman padi tidak selalu tanggap terhadap pemupukan S. Hal ini disebabkan oleh tingginya pasokan S dari air irigasi. Hasil survei terhadap kualitas air pengairan di Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur menunjukkan bahwa makin ke Timur kadar S di dalam air pengairan makin tinggi (Santoso dkk., 1990). Hal ini disebabkan oleh tingginya penggunaan pupuk ammonium sulfat (ZA) di Jawa Tengah dan Jawa Timur karena penggunaan pupuk ZA direkomendasikan untuk tanah bereaksi netral dan alkalin.

2.2.2 Hara Mikro

Unsur mikro dibutuhkan oleh tanaman padi dalam jumlah sedikit yang umumnya tercukupi karena adanya penambahan bahan organik atau bersumber

dari pelapukan bahan mineral tanah. Gejala kekahatan unsur mikro di lahan sawah intensifikasi bersifat sporadis, bergantung pada tingkat pengelolaan.

Besi. Reduksi besi (Fe) adalah reaksi yang paling penting di dalam tanah masam yang digenangi karena dapat menaikkan pH dan ketersediaan fosfor serta digantikannya kation lain seperti K^+ oleh Fe^{2+} dari tempat pertukaran. Peningkatan Fe^{2+} pada tanah masam dapat menyebabkan keracunan besi pada tanaman padi apabila kadarnya dalam larutan tanah >300 mg/L. Keadaan ini dapat dihindari dengan cara pencucian tanah atau menanggguhkan waktu tanam sampai melewati puncak reduksi. Puncak konsentrasi Fe^{2+} dalam larutan tanah biasanya terjadi pada bulan pertama setelah penggenangan dan diikuti penurunan secara berangsur-angsur. Konsentrasi Fe dalam larutan tanah diatur oleh pH tanah, kandungan bahan organik, kandungan Fe itu sendiri, dan lama penggenangan (Ponnamperuma, 1985).

Batas kritis defisiensi besi dalam tanah adalah $<4-5$ mg/kg tanah (ekstrak DTPA- $CaCl_2$, pH 7,3). Keadaan demikian umumnya terdapat pada tanah-tanah dengan pH tinggi atau alkalin, serta tanah yang mempunyai rasio Fe:P rendah (Doberman dan Fairhurst, 2000). Hasil survei di tanah sawah intensifikasi di Jawa, Nusa Tenggara Barat, dan Sulawesi Selatan menunjukkan tanah-tanah tersebut mengandung Fe yang cukup (Widowati dan Sri Rochayati, 2003). Sebaliknya, di beberapa lahan sawah intensifikasi di Kalimantan Selatan dan Lampung kadar Fe mendekati dan bahkan melampaui batas kritis (batas beracun), yaitu >300 mg/kg.

Keracunan Fe terutama terjadi pada sawah yang baru dibuka yang mengandung Fe tinggi dan berada dalam keadaan tereduksi serta mempunyai sistem drainase yang jelek. Drainase pada lahan sawah, terutama sawah yang baru dibuka pada tanah masam, penting untuk pencucian Fe^{2+} yang berlebihan. Pemberian bahan organik pada sawah yang mempunyai masalah Fe akan menurunkan redoks potensial (tanahnya makin tereduksi) dan akan memperparah keracunan Fe.

Rekomendasi pemupukan Fe pada tanah sawah intensifikasi adalah mengembalikan jerami sisa panen atau memupuk dengan bahan organik lainnya setiap musim tanam. Serapan Fe per musim tanam sekitar 500 g/6 t gabah serta jerami dan sekitar 50% dari Fe yang diserap tanaman terdapat dalam jerami.

Seng. Seng (Zn) pada umumnya berasal dari pelapukan mineral tanah. Ketersediaan Zn dan Cu bergantung pada kandungannya dalam bahan induk, pH tanah, drainase, kadar bahan organik, dan keadaan redoks tanah. Penurunan kadar Zn dalam larutan tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain (1) terbentuknya endapat $Zn(OH)_2$ karena meningkatnya pH setelah penggenangan (Lindsay, 1979); (2) terbentuknya endapan $ZnCO_3$ karena adanya akumulasi CO_2 dari hasil dekomposisi bahan organik; dan (3) terjadinya endapan ZnS karena adanya H_2S akibat reduksi sulfat berlebihan atau terbentuknya

endapan $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ karena fosfat berlebihan. Dengan demikian, gejala kekahatan Zn yang terjadi belum tentu disebabkan oleh rendahnya kandungan unsur tersebut dalam tanah dan solusinya tidak harus melalui pemupukan.

Batas kritis Zn dalam tanah adalah $<0,8 \text{ mg Zn/kg}$ (ekstrak DTPA) (Doberman and Fairhurst, 2000). Hasil identifikasi kadar Zn tanah pada beberapa lokasi sawah intensifikasi pada tahun 1991 menunjukkan bahwa sekitar 70% lahan sawah di Jawa Barat, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur, dan Lombok mempunyai konsentrasi Zn tergolong tinggi ($>1 \text{ mg/kg}$) dan sisanya tergolong rendah ($<1 \text{ mg/kg}$). Survei pada tahun 1999 di 30 lokasi di Pulau Jawa, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara Barat juga menunjukkan sebagian besar lahan sawah mempunyai kadar Zn tinggi.

Untuk tanah yang mengalami kekahatan hara Zn direkomendasikan pemupukan Zn sebanyak $5\text{--}10 \text{ kg Zn/ha}$ dalam bentuk ZnO , ZnCl , atau ZnSO_4 , sekali dalam 5 tahun (Doberman dan Fairhurst, 2000). Total serapan Zn oleh tanaman padi adalah 300 g/6 t gabah dan jerami. Sekitar 60% dari Zn berada pada jerami sehingga pengembalian jerami menjadi penting untuk mempertahankan ketersediaan Zn. Pemberian Zn yang paling efektif adalah dengan mencelupkan akar bibit padi ke dalam larutan $0,05\% \text{ ZnSO}_4$ selama 5 menit (Al-Jabri dkk., 1991).

Tembaga. Sebagaimana hal Zn, tembaga (Cu) di dalam tanah berasal dari pelapukan mineral. Hasil identifikasi lahan sawah intensifikasi di Jawa, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara Barat pada tahun 1999 menunjukkan bahwa sebagian besar tanah sawah intensifikasi tersebut mempunyai kadar Cu $>1 \text{ mg/kg}$ sehingga Cu pada umumnya cukup tersedia. Penurunan kadar Cu dalam larutan tanah hanya terjadi pada tanah yang sangat tereduksi yang disebabkan oleh terbentuknya endapan CuS atau kelasi (*chelate*) Cu oleh asam-asam organik pada tanah-tanah tereduksi dengan bahan organik tinggi seperti pada tanah gambut yang disawahkan. Untuk tanah yang kahat Cu disarankan pemupukan $5\text{--}10 \text{ kg Cu/ha}$, sekali dalam lima tahun, atau dengan merendam akar bibit padi dalam larutan $1\% \text{ CuSO}_4$ selama satu jam sebelum tanam. Serapan Cu oleh tanaman padi adalah sekitar $72 \text{ g Cu/ha/6 t gabah}$ dan jerami. Cu paling banyak terdapat dalam jerami. Pembakaran jerami tidak menyebabkan Cu ter volatilisasi, namun akan menyebabkan unsur ini mudah hilang terbawa aliran permukaan.

Mangan. Kahat Mangan (Mn) tampak pada tanah sawah yang telah mengalami pelapukan lanjut, atau pada tanah-tanah yang banyak mengandung Fe. Batas kritis Mn dalam tanah adalah 1 mg Mn/kg (ekstrak DTPA+ CaCl_2 , pH 7,3) (Doberman dan Fairhurst, 2000).

Tanah sawah intensifikasi dari Jawa, Nusa Tenggara Barat, dan Sulawesi Selatan umumnya tidak kahat Mn. Untuk tanah-tanah yang kahat Mn, saran rekomendasi pemupukan adalah $5\text{--}20 \text{ kg MnSO}_4$ atau MnO/ha , diberikan secara

disebar pada larikan. Serapan Mn setiap kali panen adalah 3 kg Mn/6 t gabah dan jerami.

Silikon. Silikon (Si) tidak terlibat langsung dalam proses oksidasi reduksi sebagaimana halnya Fe dan Mn, namun sifat dan ketersediaannya sangat dipengaruhi oleh potensial redoks. Penggenangan pada tanah sawah umumnya akan meningkatkan ketersediaan Si. Hal ini diduga karena terlepasnya ion Si dari Fe dan Al amorf yang mengalami reduksi, dan karena kenaikan pH tanah amorf akibat penggenangan (Patrick dan Reddy, 1978). Kadar silikon juga akan meningkat pada tanah dengan kadar bahan organik tinggi dan pada tanah yang berasal dari abu vulkan (Ponnamperuma, 1995). Kadar Si yang tinggi dalam daun meningkatkan ketahanan tanaman padi terhadap penyakit, terutama bercak cokelat yang disebabkan oleh jamur *Helminthosporium*.

3. PELESTARIAN LAHAN SAWAH

Pesatnya pembangunan dan pertambahan jumlah penduduk menyebabkan terjadinya alih guna (konversi) lahan sawah secara cepat. Dari berbagai bentuk penggunaan lahan pertanian, lahan sawah merupakan penggunaan lahan yang banyak mengalami konversi, terutama di sekitar pusat pembangunan perkotaan dan permukiman. Pada umumnya, konversi lahan sawah bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) karena berubah menjadi lahan perumahan, perkotaan, dan kawasan industri. Kecenderungan ini dapat membawa kemerosotan kualitas lingkungan (Agus dkk., 2006) dan mengancam ketahanan dan kedaulatan pangan (Agus dan Irawan, 2006).

Antara tahun 1981 dan 1999, sekitar 1,6 juta ha atau rata-rata 90.417 ha/tahun lahan sawah di seluruh Indonesia mengalami konversi. Namun, pada waktu yang bersamaan terjadi pula pencetakan sawah seluas 3,2 juta ha atau rata-rata 178.954 ha/tahun. Dengan demikian, lahan sawah bertambah rata-rata seluas 88.536 ha/tahun. Antara tahun 1999 dan 2002, tingkat konversi meningkat tajam menjadi 187.720 ha/tahun, sedangkan penambahan hanya 46.434 ha/tahun (Tabel 4).

Luas lahan sawah pada tahun 2006 adalah 7,8 juta ha (catatan kaki Tabel 4) dan tahun 1999 adalah 8,6 juta ha. Dengan demikian, pengurangan luas lahan sawah adalah 0,8 juta ha dalam waktu 7 tahun tersebut atau rata-rata 111.000 ha/tahun. Dengan asumsi indeks panen 1,5 dan hasil padi 5 t/ha/th, maka dengan pengurangan sawah seluas 111.000 tersebut akan mengurangi produksi gabah nasional sebanyak 832.500 t atau setara dengan 500.000 t beras (asumsi rendemen 60%). Konversi ini jelas merupakan salah satu penyebab meningkatnya ketergantungan terhadap beras impor. Jika tingkat konversi tidak dapat dikendalikan, dalam jangka panjang hal ini berpotensi menyebabkan krisis pangan nasional (Agus dan Irawan, 2006).

Tabel 4. Konversi, penambahan dan neraca lahan sawah antara tahun 1981 dan 1999 serta antara tahun 1999 dan 2002

Pulau/wilayah	Konversi	Penambahan	Neraca
Periode 1981–1999			
Jawa (ha)	1.002.055	518.224	-483.831
Luar Jawa (ha)	625.459	2.702.939	+2.077.480
Indonesia (ha)	1.627.514	3.221.163	+1.593.649
Indonesia (ha/th)	90.417	178.954	+88.536
Periode 1999–2002 (diolah dari Sutom, 2004)			
Jawa (ha)	167.150	18.024	-107.482
Luar Jawa (ha)	396.009	121.278	-274.732
Indonesia (ha)	563.159	139.302	-423.857
Indonesia (ha/th)	187.720	46.434	-141.286

Catatan: Pada tahun 1981, 1999, dan 2002 luas lahan sawah berturut-turut 7.059.000, 8.652.649, dan 8.228.782 ha (BPS, 2003) pada tahun 2006 luas lahan sawah 7,8 juta ha

Sumber: BPS, 2007

Tantangan terbesar dalam pelestarian lahan sawah adalah (1) bagaimana menyusun dan menerapkan peraturan perundang-undangan untuk pengendalian konversi lahan sawah secara konsekuen, (2) bagaimana menjadikan usaha tani sawah menjadi usaha yang menguntungkan bagi petani, namun sejalan dengan itu, harga beras tetap terjangkau oleh konsumen.

Agus dan Irawan (2006) menguraikan langkah-langkah yang berkaitan dengan pentingnya peningkatan insentif bagi petani. Selama ini perhatian lebih banyak diberikan kepada konsumen, sedangkan kesejahteraan petani sering terabaikan. Jika harga pangan melonjak maka harus diupayakan untuk menurunkannya, namun bila harga hasil pertanian merosot, selama ini tidak banyak yang dapat diusahakan untuk membantu petani.

4. PELESTARIAN KESUBURAN LAHAN KERING

Lahan kering (tegalan) sering digunakan untuk penanaman padi gogo yang pada umumnya ditumpang sarikan atau ditumpanggilirkan dengan tanaman jagung, kacang tanah atau ubi kayu. Sekitar 5% dari seluruh produksi padi di Indonesia disumbangkan oleh lahan tegalan (BPS, 2006).

4.1 Status Hara dan Pelestarian Kesuburan Lahan Kering

Lahan kering yang digunakan untuk padi gogo umumnya mempunyai kesuburan yang relatif rendah. Lahan yang relatif subur digunakan untuk tanaman sayur-sayuran. Rendahnya kesuburan tanah disebabkan karena tanahnya berasal dari bahan induk yang miskin unsur hara, misalnya batuan beku masam atau batuan vulkanik masam yang miskin hara tanaman. Di samping itu, unsur-unsur

hara dalam tanah telah hilang karena pelapukan lanjut di bawah pengaruh curah hujan dan suhu yang tinggi di daerah hujan tropis. Kandungan unsur hara dalam tanah juga dapat terkuras akibat kegiatan pertanian yang eksploitatif, yaitu penanaman secara terus-menerus tanpa menggunakan pupuk atau pemberian pupuk tidak seimbang (Santoso dan Sofyan, 2005).

4.1.1 Hara Makro

Nitrogen. Nitrogen (N) merupakan unsur hara makro yang sangat menentukan keberhasilan usaha tani tanaman. Agar dapat tumbuh dengan baik, tanaman memerlukan N dalam jumlah yang besar. Untuk menghasilkan 1 t gabah, misalnya N yang diserap tanaman padi sekitar 22,5 kg; 15 kg di antaranya terdapat dalam gabah dan 7,5 kg dalam jerami padi (Tabel 3). Oleh karena itu, program pengelolaan hara yang baik diperlukan untuk memenuhi kebutuhan N.

Nitrogen tanah tegalan pada umumnya rendah, kecuali pada tanah dengan kandungan bahan organik tinggi seperti *Andisols*. Makin tinggi jumlah bahan organik, makin banyak N yang dapat disediakan. Kandungan N dalam bahan organik tanah berkisar antara 5%–10%, bergantung pada kualitas bahan organik tersebut.

Selain dari tanaman padi, mikroorganisme tanah juga memerlukan N. Jika N dalam tanah terlalu rendah (rasio C/N >30), maka mikroba tanah bersaing dengan tanaman untuk mendapatkan N. Hal ini terjadi pada tanah yang diberi bahan organik dengan lignin tinggi, seperti jerami padi yang belum dikomposkan atau pembentukan kompos belum sempurna. Sumber N dapat berupa tanaman legum, sisa tanaman, pupuk kandang, bahan organik tanah, dan pupuk N buatan pabrik seperti urea atau ZA.

Berbagai bakteri di dalam tanah dapat memfiksasi N_2 dari udara secara biologis (*biological nitrogen fixation*, BNF) melalui hubungan simbiotik antara bakteri rhizobium dengan tanaman legum atau tanpa hubungan simbiosis. Bakteri yang berada di dalam bintil akar (nodul) tanaman inang memfiksasi N_2 dari udara dan menggunakan energi yang disediakan oleh tanaman inang (legum). Tanaman inang diuntungkan dari N yang dihasilkan dalam nodul. Tanaman padi akan mendapat manfaat dari nitrogen hasil fiksasi apabila padi ditumpang sarikan atau ditumpanggilirkan dengan tanaman legum. Hasil dekomposisi dan mineralisasi tanaman legum yang kaya N akan dapat diserap tanaman padi.

Beberapa jenis bakteri seperti *Azotobacter*, *Azotomonas*, *Beijerinckia*, *Derxia*, dan *Pseudomonas* mampu memfiksasi N_2 tanpa simbiosis. *Azotobacter paspali* dan *Beijerinckia* spp. adalah bakteri aerobik yang membentuk koloni di permukaan akar tanaman (Baldani *et al.*, 1997). *Azotobacter* merupakan bakteri yang selain penambat N_2 juga menghasilkan zat pemacu tumbuh giberelin,

sitokinin, dan asam indol asetat sehingga dapat memacu pertumbuhan akar (Alexander, 1977).

Fosfor. Kandungan fosfor (P) dalam tanah tegalan pada umumnya rendah karena adanya fiksasi dan karena rendahnya kandungan mineral tanah yang dapat melapuk (*weatherable minerals*). Fiksasi P merupakan masalah, terutama pada tanah-tanah vulkanik (*Andisols*) karena fiksasi oleh mineral alofan, tanah kering masam dengan tekstur liat yang mengandung banyak oksida Al dan Fe (*Oxisols* dan *Ultisols*) dan tanah alkalin karena fiksasi oleh Ca. Untuk tanah dengan tingkat fiksasi tinggi diperlukan pemberian P dalam jumlah besar sehingga tanah menjadi jenuh P dan sebagian unsur tersebut berada dalam bentuk tersedia.

Bentuk utama pupuk P adalah super fosfat (SP36, TSP) dan fosfat alam (flour apatit; P-alam). Fosfat alam merupakan bentuk pupuk P yang lebih sesuai untuk tanah kering masam dengan pH <5,5 karena tanah masam membantu melarutkan P-alam. P dalam P-alam tersedia secara lambat, oleh karena itu dapat diberikan sekaligus dengan jumlah cukup banyak (1 t/ha). Jumlah ini akan bertahan sampai enam musim tanam sebelum pemberian P berikutnya sehingga menghemat biaya tenaga kerja untuk pemupukan P.

Kalium. Bentuk K dalam tanah ada dua macam, yaitu K “tersedia” dan K “cadangan”. Kalium dalam bentuk tersedia adalah K yang dapat segera diserap tanaman dari tanah, sedangkan K cadangan tidak langsung tersedia bagi tanaman. Kedua bentuk K tersebut berada dalam keseimbangan. K cadangan akan berangsur-angsur diubah menjadi bentuk K tersedia jika jumlah K tersedia berkurang. Sebaliknya, jika di dalam tanah terlalu banyak K tersedia maka akan diubah menjadi bentuk cadangan. Cadangan K lebih rendah pada tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut dan tanah berpasir dibandingkan dengan tanah yang belum mengalami pelapukan lanjut dan mempunyai tekstur halus.

K sangat mudah larut sehingga bila diletakkan dekat biji/benih pada waktu tanam dapat merusak kecambah tanaman. Oleh karena itu, pemberian pupuk K sebaiknya berjarak sekitar 10 cm dari lubang tanam. K sering kali kurang pada tanah yang telah ditanami selama beberapa musim tanpa menggunakan pupuk K. Namun, jika ketersediaan hara K berlebihan bagi tanaman yang mampu menyerap lebih banyak K daripada jumlah yang diperlukan (*luxurious consumption*). Pada tanaman padi sebagian besar K yang diserap disimpan dalam jerami sehingga kemungkinan terjadinya kekurangan K akan lebih besar bila jerami diangkut atau dibuang dari lahan.

Hal yang perlu diperhatikan dalam melestarikan unsur hara K adalah mengurangi kehilangan K karena pencucian, mengembalikan sisa panen ke tanah, memberikan pupuk kandang, dan menambahkan pupuk K ke tanah yang kandungan kaliumnya rendah.

Kalsium dan Magnesium. Ca dan Mg tersedia dalam jumlah sedang sampai tinggi pada tanah dengan pH sedang sampai tinggi. Tanah dengan pH rendah (<5,5) mempunyai kandungan Ca dan Mg yang rendah pula.

Untuk tanaman padi gogo yang toleran kejenuhan Al relatif tinggi, pemberian kapur kalsit atau dolomit dalam jumlah rendah (sekitar 500 kg/ha), di antara baris tanaman, sekali dalam 3–4 tahun, akan membantu memperbaiki produktivitas padi gogo. Ketersediaan Ca dan Mg juga dapat dipertahankan dengan mengembalikan sisa-sisa tanaman dan pemberian pupuk kandang ke lahan.

4.1.2 Hara Mikro

Ketersediaan unsur mikro pada tanah tegalan sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Unsur mikro seperti Fe, Mn, Zn, dan Cu lebih tersedia pada tanah bereaksi masam. Pada pH di bawah 5,0 ketersediaan unsur-unsur hara tersebut sangat tinggi, sedangkan pada pH lebih tinggi dari 5,0 ketersediaannya menurun dan pada pH di atas 7,5 sangat rendah. Sebaliknya Mo, pada pH di bawah 6,5 kurang tersedia dan di atas 6,5 ketersediaannya sangat tinggi. Ketersediaan boron (B) tinggi pada pH 5,0–7,0 dan di luar selang pH tersebut ketersediaannya menurun (Buckman dan Brady, 1969).

Besi. Kekahatan Fe umumnya terjadi pada lahan kering yang tanahnya mempunyai pH tinggi seperti tanah berkapur, tanah alkalin, dan tanah bertekstur kasar yang berasal dari batuan induk granit. Kahat Fe dapat diatasi antara lain dengan: (1) pemberian bahan organik (pupuk kandang, sisa-sisa tanaman, dan pupuk hijau) dan bahan sisa atau limbah pertambangan/industri yang mengandung Fe; (2) pemberian pupuk yang bereaksi masam seperti amonium sulfat pada tanah ber-pH tinggi; dan (3) pemberian pupuk yang mengandung Fe seperti fero sulfat (FeSO_4).

Seperti pada lahan sawah, keracunan Fe pada lahan kering terjadi apabila konsentrasi Fe dalam larutan tanah mencapai >300 ppm, dan konsentrasi ini biasanya dijumpai pada tanah dengan pH <5,0 yang mengandung Ca, Mg, P, dan K rendah. Keracunan Fe dapat diatasi antara lain dengan menggunakan varietas toleran keracunan besi, pemberian pupuk P, K, dan Mg yang lebih banyak, dan pemberian kapur atau dolomit untuk meningkatkan pH dan mengurangi ketersediaan Fe.

Seng. Kahat Zn umumnya terjadi pada (1) tanah yang ber-pH netral dan tanah berkapur yang mengandung bikarbonat dalam jumlah banyak, pada tanah-tanah seperti ini kahat Zn sering terjadi bersamaan dengan kahat sulfur; (2) tanah yang diusahakan secara intensif dengan pemberian pupuk N, P, dan K dalam jumlah banyak tanpa penambahan Zn; (3) tanah sodic dan salin; (4) tanah gambut; (5) tanah berpasir; (6) tanah masam bertekstur kasar yang telah

melapuk lanjut seperti tanah yang berasal dari serpentin dan laterit; dan (7) tanah sulfat masam yang telah tercuci dengan konsentrasi Ca, Mg, dan K rendah. Kahat Zn dapat ditanggulangi dengan pemberian pupuk kandang dan pupuk Zn seperti ZnSO_4 dan ZnO .

Mangan. Kahat Mn sering terjadi pada padi yang ditanam di lahan kering yang bersifat alkalin dan kadar bahan organik rendah, tanah berpasir yang mengalami pencucian, tanah sulfat masam, dan tanah yang telah melapuk lanjut. Kahat Mn dapat diatasi melalui pemberian pupuk kandang dan sisa-sisa tanaman seperti jerami, pemberian pupuk yang bersifat masam seperti amonium sulfat; dan pemberian pupuk Mn seperti MnSO_4 atau MnO .

Tanaman padi tergolong toleran terhadap Mn dengan konsentrasi tinggi. Keracunan Mn mungkin terjadi pada tanah-tanah sangat masam ($\text{pH} < 5,0$), tanah sulfat masam, tanah yang diberi sampah kota atau limbah industri dengan kadar Mn tinggi. Keracunan Mn dapat diatasi dengan pemupukan N, P, K, dan pengapuran untuk mengurangi kemasaman tanah dan menurunkan konsentrasi Mn, dan pemberian silika (Si) baik yang berasal dari jerami, abu hasil pembakaran, atau terak baja.

Tembaga. Tanah gambut, tanah abu volkan dengan kandungan bahan organik tinggi, tanah-tanah yang telah mengalami pelapukan lanjut seperti *Ultisols* dan *Oxisol*, tanah-tanah yang berasal dari sedimen laut, tanah berkapur dan tanah-tanah bertekstur kasar sering mengalami kahat Cu. Masalah ini dapat diatasi dengan pemberian terusi (CuSO_4) dalam bentuk padatan atau cairan. Pemberian 1–5 kg CuSO_4 /ha sudah mencukupi. Pemupukan Cu harus hati-hati, jangan sampai berlebihan karena batas kahat dan keracunan Cu sangat dekat/sempit (Dobermann dan Fairhurst, 2000).

Boron. Kahat B dapat terjadi pada tanah yang telah melapuk lanjut seperti *Ultisol* dan *Oxisol* serta tanah-tanah masam yang berasal dari batuan beku. Kahat B di Indonesia dilaporkan terjadi pada tanaman kelapa sawit yang ditanam pada tanah di *Ultisol* dan *Oxisol*. Kahat B pada tanaman padi dapat diatasi dengan pupuk B ($\text{Mn}_2\text{B}_4\text{O}_{10} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) dengan takaran 0,5–3,0 kg B/ha, disebar dan dicampur dengan tanah sebelum tanam, disebar setelah tanam, atau disemprotkan melalui daun.

Keracunan B dapat terjadi pada tanah di daerah beriklim kering (arid dan semiarid) yang berbatuan induk kaya dengan kandungan B seperti tanah yang berbatuan induk endapan laut (marin), batuan plutonik, dan tufa vulkanik. Keracunan B juga bisa terjadi pada tanah salin atau tanah yang dipupuk borax berlebihan. Kompos dari sampah kota juga bisa mengandung B tinggi dan berpotensi menyebabkan keracunan B. Penanggulangan keracunan B dapat dilakukan dengan cara pencucian dengan air irigasi yang mengandung B sangat rendah atau penggunaan varietas toleran seperti IR42, IR46, IR48, dan IR54 (Dobermann dan Fairhurst, 2000).

4.2 Konservasi Tanah Tegalan

Erosi merupakan penyebab utama penurunan produktivitas lahan kering (Abdurachman dkk., 2005; Kurnia dkk., 2004a; 2004b; dan 2005), terutama yang ditanami tanaman semusim seperti padi gogo. Berbeda dengan tanah sawah yang dapat berfungsi sebagai filter sedimen, lahan tegalan justru sering kali menjadi penghasil sedimen. Hasil pengukuran di berbagai tempat menunjukkan bahwa pada budi daya tanaman pangan semusim tanpa disertai konservasi tanah, kehilangan tanah berkisar antara 46–351 t/ha/tahun (Sukmana, 1994; dan 1995). Dalam proses erosi bukan hanya lapisan tanah yang terangkut, melainkan juga hara dan bahan organik yang terkandung di dalamnya.

Kerusakan sifat fisik tanah, baik yang diakibatkan oleh erosi maupun oleh pengolahan tanah secara intensif, sering kali menjadi penyebab penurunan produktivitas lahan tegalan. Oleh karena itu, berbagai tindakan yang dapat menekan erosi, mempertahankan/meningkatkan kadar bahan organik tanah, dan mengurangi dampak negatif dari pengolahan tanah merupakan usaha yang diperlukan dalam pelestarian lahan tegalan sebagai salah satu sumber daya lahan pertanian padi.

Padi gogo sebaiknya ditanam pada lahan dengan lereng $<8\%$. Lahan dengan lereng 8–15% hanya layak ditanami padi gogo bila kondisi tanahnya cukup baik, misalnya solumnya dalam sehingga dapat dilakukan tindakan konservasi intensif seperti teras bangku dan strip rumput.

Perlu disadari bahwa sangat sulit menekan erosi dari suatu lahan budi daya sampai ke tingkat nol (tanpa erosi). Target yang harus dicapai adalah menekan erosi sampai di bawah erosi yang dapat dibiarkan (*tolerable soil loss/TSL*). Kisaran ambang batas erosi yang dapat ditoleransi adalah 1,1–13,5 t/ha/tahun, bergantung pada sifat tanah dan substratnya (Thompson dalam Arsyad, 2000). Untuk menekan erosi sampai di bawah ambang batas TSL, beberapa teknik konservasi dapat diterapkan pada lahan tegalan. Untuk mendapatkan hasil optimum, berbagai persyaratan untuk penerapan teknik konservasi harus diperhatikan (Puslitbangtanak, 2004; Agus dan Widiyanto, 2004).

Secara garis besar teknik konservasi dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu teknik konservasi vegetatif dan mekanik (sipil teknis). Untuk mencapai hasil yang optimum dalam mengendalikan erosi dan aliran permukaan sering kali diperlukan kombinasi dari kedua metode ini (Agus dan Widiyanto, 2004; Dariah dkk., 2004; Santoso dkk., 2004). Sebagai contoh, teras (bangku atau gulud) yang tergolong tindakan mekanis dapat berfungsi secara optimal bila dilengkapi dengan tanaman penguat teras.

4.2.1 Metode Vegetatif

Konservasi tanah vegetatif merupakan semua tindakan konservasi yang menggunakan tumbuh-tumbuhan (vegetasi), seperti pemilihan dan pengaturan pola tanam, wanatani (*agroforestry*) yang termasuk di dalamnya sistem budi daya lorong (*alley cropping, hedgerow system*), penanaman tanaman penutup tanah, penggunaan sisa tanaman sebagai mulsa, dan strip rumput. Manfaat lain dari metode konservasi vegetatif adalah dapat mendukung pengelolaan bahan organik, karena semua tindakan konservasi vegetatif dapat berperan sebagai penghasil bahan organik. Kalaupun tanaman konservasi digunakan sebagai pakan ternak, tidak berarti mengubah fungsinya sebagai penghasil bahan organik bila pupuk kandang dikembalikan ke lahan, bahkan perpanjangan rantai ini akan memperbaiki kualitas bahan organik yang dihasilkan.

Penanaman penutup tanah/pupuk hijau seperti *Cyanus cayan* (gude), *Mucuna* sp. (benguk), kacang tunggak, atau komak sesudah tanaman padi gogo, merupakan pengaturan pola tanam yang berdampak positif terhadap perbaikan kesuburan dan perbaikan sifat fisik tanah.

Hijauan yang dihasilkan tanaman penutup atau tanaman konservasi lainnya seperti tanaman pagar atau strip, serta sisa tanaman dapat dimanfaatkan sebagai mulsa. Penggunaan mulsa mempunyai beberapa keuntungan, yaitu (i) melindungi tanah dari pukulan air hujan; (ii) mengurangi penguapan sehingga dapat mempertahankan kelembapan udara dan suhu tanah; (iii) menciptakan kondisi lingkungan yang baik bagi aktivitas mikroorganisme tanah; (iv) meningkatkan kandungan bahan organik tanah; dan (v) memperlambat aliran permukaan yang berdampak pada penurunan erosi (Kurnia dkk., 2004a; Rachman dkk., 2004). Dalam hal penanggulangan erosi, penggunaan mulsa harus dikombinasikan dengan teknik konservasi lainnya (Sukmana, 1995).

Budi daya lorong (*alley cropping*) dan strip rumput merupakan teknik konservasi vegetatif yang efektif dalam menekan erosi dan aliran permukaan (Tabel 5). Prinsip dari kedua teknik konservasi ini adalah sama, yaitu membentuk barisan tanaman mengikuti kontur yang berfungsi sebagai penyaring agregat dan butir tanah yang terbawa air aliran permukaan. Jarak antarbarisan tanaman konservasi ditentukan oleh kemiringan lahan; makin miring jaraknya makin rapat. Pada sistem *alley cropping*, jenis tanaman yang digunakan sebagai tanaman konservasi tanaman legume pohon atau perdu, sedangkan pada sistem strip adalah tanaman rumput seperti rumput pakan ternak atau akar wangi (*Vetiveria zizanioides*).

Tabel 5. Peranan sistem *alley cropping* dan strip rumput dalam menekan erosi pada tanah Haplorthox Citayam

Tanaman pagar/strip	Tanaman pangan	Erosi (t/ha)	Sumber
<i>Flemingia congesta</i> jarak 4 m, 1 baris	Jagung	14,3	Dariah dkk., 1988
<i>Flemingia congesta</i> jarak 4 m, 2 baris		6,2	
<i>Flemingia congesta</i> jarak 6 m 2 baris		8,1	
Vetiver grass jarak 4 m, 1 baris		14,3	
Vetiver grass jarak 4 m, 1 baris		5,1	
<i>Flemingia congesta</i> jarak 4 m, 1 baris	Jagung/	4,85	Erfandi dkk., 1992
<i>Flemingia congesta</i> jarak 4 m, 2 baris	kacang tanah	1,31	
<i>Flemingia congesta</i> jarak 6 m 2 baris		0,45	

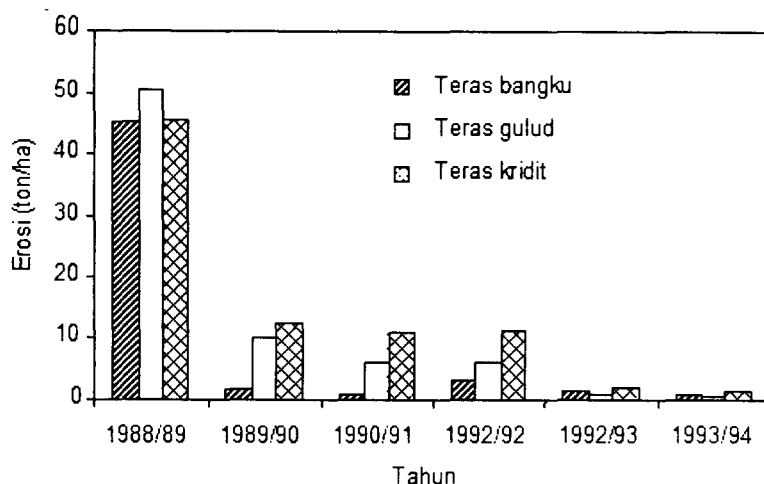
4.2.2 Metode Sipil Teknis

Semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah dan pembuatan bangunan yang ditujukan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi serta meningkatkan kelas kemampuan tanah, disebut sebagai metode konservasi secara sipil teknis/mekanik. Beberapa contoh metode konservasi mekanik adalah berbagai macam teras (teras bangku, gulud, kebun, individu), rorak, saluran pembuangan air dan saluran drainase lainnya.

Teras bangku merupakan metode konservasi mekanik yang telah banyak diaplikasikan petani di Indonesia, terutama di Jawa. Metode ini sangat efektif mencegah erosi dan aliran permukaan, namun tidak cocok pada tanah bersolum dangkal. Teknik konservasi ini juga tergolong mahal sehingga sulit diterapkan pada daerah yang ketersediaan tenaga kerjanya rendah. Jenis teras yang pembuatannya relatif murah adalah teras gulud, dan efektivitasnya dalam menahan erosi hampir sama dengan teras bangku bila diperkuat dengan tanaman konservasi dalam strip. Penanaman tanaman konservasi, baik tanaman legum pohon/semak atau rumput dengan mengikuti kontur, juga dapat membentuk teras secara bertahap, yang dikenal sebagai teras kredit. Gambar 3 menunjukkan efektivitas dari ketiga jenis teras dalam mencegah erosi. Ketiga jenis teras sangat efektif mengurangi erosi mulai tahun kedua sesudah pembuatan, sesudah teras tersebut stabil.

4.2.3 Olah Tanah Konservasi

Setiap upaya pengolahan tanah akan menyebabkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah. Tingkat perubahan yang terjadi ditentukan oleh cara atau metode pengolahan tanah. Perubahan sifat tanah akibat pengolahan tanah juga berhubungan dengan seringnya tanah dalam keadaan terbuka, terutama antara dua musim tanam sehingga menjadi lebih riskan terhadap dispersi agregat (yang



Gambar 3. Erosi pada berbagai jenis teras pada tanah Eutropept di Ungaran, Jawa Tengah selama 6 tahun (Haryati dkk., 1995)

selanjutnya dapat memadatkan tanah), erosi, dan proses iluviasi (Pankhurst dan Lynch, 1993).

Olah tanah konservasi (OTK) menjadi alternatif penyiapan lahan yang dilaporkan dapat mempertahankan produktivitas tanah agar tetap tinggi (Wagger dan Deton, 1991, Suwardjo dkk., 1989). Namun, terdapat beberapa hasil penelitian yang melaporkan terjadinya penurunan hasil tanaman akibat OTK (Swan *et al.*, 1991, Rachman dkk., 2004) atau tidak memengaruhi hasil tanaman (Rao dan Dao *dalam* Rachman dkk., 2004). Hal yang menentukan keberhasilan olah tanah konservasi adalah pemberian bahan organik dalam bentuk mulsa yang cukup (Rachman dkk., 2004). Mulsa dapat menekan pertumbuhan gulma dan mengurangi laju pemadatan tanah.

Beberapa cara pengolahan tanah yang memenuhi kriteria OTK di antaranya adalah tanpa olah tanah (*zero tillage*), olah tanah seperlunya (*reduced tillage*), dan olah tanah strip (*strip tillage*). Aplikasi dari ketiga jenis OTK tersebut harus selalu disertai dengan penggunaan mulsa. Selain berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah seperti kandungan bahan organik, struktur tanah (kegemburan dan porositas), penerapan OTK juga dapat menghemat tenaga kerja untuk penyiangan.

Pengaruh positif dari sistem OTK terhadap sifat-sifat tanah berdampak juga terhadap erosi. Hasil penelitian Suwardjo dkk. (1989) pada tanah Ultisol Lampung dan Oxisol Citayam menunjukkan pengaruh beberapa cara pengolahan tanah terhadap erosi (Tabel 6).

Tabel 6. Pengaruh pemberian mulsa terhadap erosi

Jenis tanah dan perlakuan	Erosi pada tahun (ton/ha)		
	1979	1980	1982
Tropudult Pekalongan (Lampung), lereng 3,5%			
Bera (tanpa tanaman)	97,8	144,5	102,8
Tanpa mulsa, diolah, ditanami	2,4	7,1	39,7
Dengan mulsa, olah tanah minimum, ditanami	0,3	0,3	0
Haplorthox Citayam (Bogor), lereng 14%			
Bera (tanpa tanaman)	482,8	440,7	Td
Tanpa mulsa, diolah, ditanami	218,8	227,2	108,6
Dengan mulsa, olah tanah minimum, ditanami	24,5	3,8	2,9

Keterangan: Td = tidak ada data,

Sumber: Suwardjo dkk., 1989

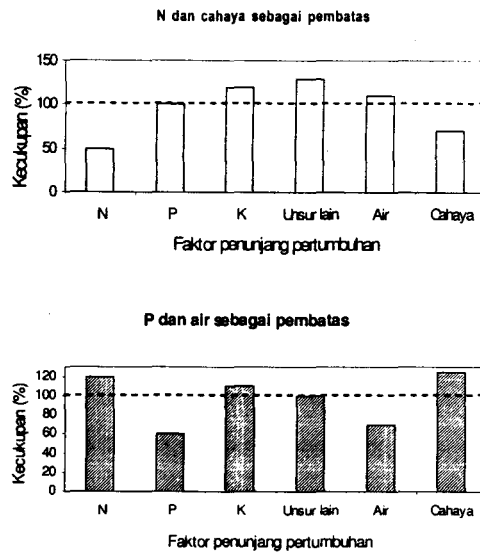
5. KONSEP KESEIMBANGAN HARA

Neraca atau keseimbangan hara adalah perimbangan jumlah unsur hara yang dimasukkan ke dalam sistem produksi (*input*) dibandingkan dengan jumlah unsur hara yang keluar dari sistem (*output*). Jika neraca ini seimbang maka sistem pertanian akan stabil (berkelanjutan), tetapi jika *output* lebih besar dari *input* maka akan terjadi degradasi dan ketidakseimbangan unsur hara tertentu.

Pemupukan lengkap, misalnya memberikan N, P_2O_5 , dan K_2O dengan perbandingan 12:12:12 bukan merupakan pemupukan berimbang dan tidak menjamin tercapainya keseimbangan antara pemberian hara dan kebutuhan tanaman. Pemupukan dengan perbandingan tersebut cenderung menyebabkan kekurangan N dan kelebihan fosfor dan kalium, bergantung pada jumlah pupuk yang diberikan.

Selain terangkut bersama panen, unsur hara juga dapat hilang melalui pencucian, penguapan (untuk N), terikat pada liat tanah (untuk K dan amonium, NH_4^+), terfiksasi oleh Al, Fe, Ca (untuk P) atau tererosi. Oleh sebab itu, untuk menjaga kelestarian hara di dalam tanah tidak cukup hanya menggantikan unsur hara yang hilang bersama panen, tetapi juga perlu diperhitungkan kehilangan hara melalui proses lain.

Baik tidaknya pertumbuhan dan produksi tanaman ditentukan oleh banyak faktor. Bila salah satu atau beberapa faktor dalam keadaan kurang, maka produksi tanaman menurun. Faktor-faktor yang kurang itu dinamakan faktor pembatas pertumbuhan dan pembatas produksi (*limiting factor*). Gambar 4 atas mengilustrasikan N dan cahaya sebagai pembatas dan Gambar 4 bawah menunjukkan P dan kekurangan air sebagai faktor pembatas. Jika N dan cahaya yang menjadi pembatas utama, maka kenaikan hasil hanya bisa terjadi bila kedua masalah tersebut diatasi terlebih dahulu. Demikian juga halnya kalau kecukupan air dan P yang menjadi masalah maka kedua faktor ini harus ditanggulangi.

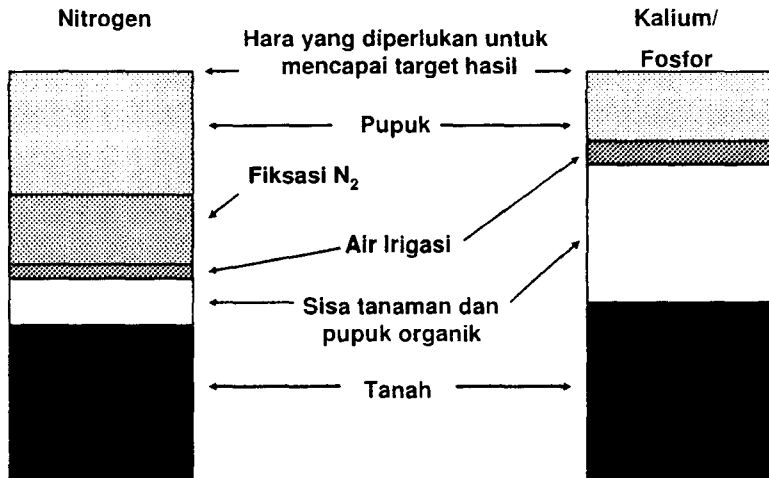


Gambar 4. Faktor pembatas pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan melalui kecukupan relatif faktor penunjang pertumbuhan. Pada gambar atas kekurangan N dan cahaya menjadi pembatas dan pada gambar bawah kekurangan P dan air menjadi faktor pembatas (dimodifikasi dari Agus dan Widiyanto, 2004)

Faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan hara tanaman adalah kebutuhan tanaman terhadap tingkat hara tertentu dan berbagai sumber untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Gambar 5 memberikan secara skematis berbagai sumber hara untuk tanaman. Salah satu sumber yang penting adalah kandungan hara tanah. Tanah yang subur mempunyai kandungan hara tanah (*indigenous nutrient*) relatif tinggi. Sebaliknya, tanah yang tidak subur atau terdegradasi mempunyai kandungan hara yang rendah. Kandungan hara tanah akan berubah karena pengaruh pengelolaan tanah.

Sumber hara yang kedua adalah sisa tanaman dan bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Kontribusi sisa tanaman, terutama jerami tanaman biji-bijian, sangat besar untuk unsur kalium dan relatif rendah untuk unsur P. Untuk sistem pertanian beririgasi, sebagian unsur hara juga dikandung oleh air irigasi. Sebagian hara N dapat tersedia melalui fiksasi N_2 dari udara bebas, misalnya melalui simbiosis bakteri rizobium dengan tanaman kacang-kacangan. Pemberian pupuk ditujukan untuk mencukupi kebutuhan hara bagi tanaman sesudah memperhitungkan hara yang tersedia di dalam tanah, tambahan hara dari berbagai sumber (irigasi, fiksasi, dan sebagainya), dan kehilangan hara karena erosi, pencucian, fiksasi, dan seterusnya.

Produksi suatu tanaman merupakan hasil akhir dari interaksi berbagai faktor tumbuh (kondisi biofisik lahan), lingkungan, dan potensi genetik tanaman. Faktor



Gambar 5. Jumlah relatif hara yang diperlukan tanaman dan berbagai sumber (Dr. Roland Buresh, komunikasi pribadi)

tumbuh yang berpengaruh antara lain adalah keseimbangan hara di dalam tanah, kelembapan tanah, pH tanah, suhu, curah hujan, dan cahaya matahari. Selain itu, hasil padi ditentukan pula oleh varietas dan keadaan hama penyakit tanaman.

Faktor iklim menyumbang hasil sebesar 10% dari hasil maksimum padi varietas unggul di Asia Selatan dan Asia Tenggara. Pada musim kemarau hasil gabah 10 t/ha (pasokan air irigasi memenuhi kebutuhan tanaman), sedangkan pada musim hujan hasil padi 7–8 t/ha. Hal ini disebabkan karena pada musim hujan radiasi matahari lebih rendah sehingga mengurangi fotosintesis dan kelembapan lebih tinggi sehingga perkembangan penyakit tanaman meningkat (Dobermann dan Fairhurst, 2000).

Meskipun pengelolaan hara dan pengelolaan tanaman telah dilaksanakan dengan baik, capaian hasil gabah aktual di lahan petani hanya 80% dari potensi hasil padi atau terjadi kehilangan hasil (*yield gap*) sebesar 20%. Pengelolaan hara yang tidak berimbang akan menurunkan hasil padi hingga 40%, dan apabila disertai dengan pengelolaan tanaman yang tidak baik maka kehilangan hasil padi dapat mencapai 60% dari potensinya (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Oleh karena itu, tanah dan tanaman harus dikelola secara simultan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., dkk. 2005. "Teknologi Pengendalian Erosi Lahan Berlereng". Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor. p. 101–140.

- Agus, F. dan A. Mulyani. 2006. "Judicious Use of Land Resources for Sustaining Indonesian Rice Self Sufficiency". *Proceedings International Rice Conference*, 12–14 Sept. Denpasar, Bali. Indonesian Institute of Rice Research, Sukamandi.
- Agus, F. dan Widiyanto. 2004. *Petunjuk Praktis Konservasi Tanah Lahan Kering*. World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor. 102 p.
- Agus, F. and Irawan. 2006. "Agricultural Land Conversion as a Threat to Food Security and Environmental Quality". *Indonesian Journal of Agricultural Research and Development*, 3(25):90–98.
- Alexander, M. 1977. "Introduction to Soil Microbiology". John Wiley and Sons. New York.
- Al-Jabri, M., dkk. 1991. "Status Hara Zn pada Lahan Sawah". Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk. Cisarua, 12–13 Nopember 1990. Puslittanak-Badan Litbang Pertanian. Hal. 427–64.
- Arsyad, S. 2000. "Pengawetan Tanah dan Air". Departemen Ilmu-Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Baldani J.I., et al. 1997. "Recent Advance in BNF with Non-Legume Plants". *Soil Biology and Biochemistry* 29(5/6): 911–922.
- BPS. 2003. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- BPS. 2006. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- BPS. 2007. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Buckman, H.O. dan N.C. Brady. 1969. "The Nature and Properties of Soils". McMillan. New York, USA.
- CAST (Council for Agricultural Sciences and Technology). 1985. "Agricultural and Groundwater Quality". Report 103, CAST, Ames, IA, USA.
- Dariah, A., dkk. 1988. "Tingkat Efisiensi dan Efektivitas Tindakan Konservasi Secara Vegetatif dengan Strip Vetiver dan Tanaman Pagar *Flemingia Congesta* pada Usaha tani Tanaman Jagung". Dalam *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat Bidang Konservasi Tanah & Air dan Agroklimat*. Hlm. 83–92. Bogor, 18–21 Februari 1988. Puslittanak, Bogor.
- Dariah, A., dkk. 2004. "Teknologi Konservasi Mekanik". Dalam *Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng*. Hlm. 109–132. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Dierolf, T., et al. 2001. "Soil Fertility Kit: A Toolkit for Acid, Upland Soil Fertility Management in Southeast Asia". Potash and Phosphate Institute/Potash and Phosphate Institute of Canada (PPI/PPIC) (www.esep.org).
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice: Nutrient disorder and nutrient management*. International Rice Research Institute – Potash & Phosphate Institute (PPI) - Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC).

- Erfandi, D., dkk. 1992. "Pengaruh Alley Cropping terhadap Erosi dan Produktivitas Tanah Haplorthox Citayam". Dalam *Prociding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah Bidang Konservasi Tanah dan Air*, Hlm. 53-62. Bogor 22-24 Agustus 1989. Puslitbangtanak, Bogor.
- Haryati, U., dkk. 1995. "Pengendalian Erosi dan Aliran Permukaan serta Produksi Tanaman Pangan dengan Berbagai Teknik Konservasi pada Tanah Typic Eutropepts di Ungaran, Jawa Tengah". *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 13: 40-50.
- Karama, S.A., dkk. 1990. "Penggunaan Pupuk Organik pada Tanaman Pangan". *Pros. Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V*, hal. 395-425. Cisarua, 12-13 November 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kurnia, U., dkk. 2004a. "Teknologi Rehabilitasi dan Reklamasi Lahan". Hlm. 147-182 Dalam *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kurnia, U., dkk. (Ed.). 2004b. *Teknologi Konservasi Tanah pada Lahan Kering*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Kurnia, U., dkk. 2005. *Teknologi Rehabilitasi dan Reklamasi Lahan Terdegradasi*. Dalam *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*, Hal 141-168. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Kyuma, K. 2004. "Paddy Soil Science". Kyoto University Press and Trans Pacific Press. 280 p.
- Lindsay, L.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons. New York.
- Pankhurst, C.E., and J.M. Lynch. 1993. The Role of Soil Biota in Sustainable Agriculture. In Pankhurst, C.E., *et al.* (Ed.), *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, p. 3-9. CSIRO Press, Melbourne, Australia.
- Patrick, W.H. and C.N. Reddy. 1978. "Chemical Changes in Rice Soil". In *Soils and Rice*, p. 361-379. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. 1985. "Chemical Kinetics of Wetland Rice Soil Relative to Soil Fertility". In *Wetland Soils, Characterization, Classification and Utilization*. The International Rice Research Institute, Manila, Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. "The Chemistry of Submerged Soils". *Adv. Agron.* 24:29-96.

- Prasetyo, B.H., dkk. 2004. Mineralogi, Kimia, Fisika, dan Biologi Tanah Sawah. 2004. Dalam Agus, F., dkk. (Ed.), Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya, hal 29–82. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Puslitbangtanak. 2004. “Teknologi Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng”. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen pertanian.
- Rachman, A., A. Dariah, dan E. Husen. 2004. “Olah Tanah Konservasi”. Dalam Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Hlm. 189–210. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties And Management Of Soil In The Tropic*. John Wiley and Sons, New York.
- Santoso, D. dan A. Sofyan. 2005. “Pengelolaan Hara Tanaman pada Lahan Kering”. Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Hlm. 73–100. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Santoso, D., dkk. 1990. “Pemupukan Belerang di Lahan Sawah”. Prosiding: Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V. Hal 241–252. Cisarua, 12–13 Nopember 1990. Puslittanak, Badan Litbang Pertanian.
- Santoso, D., dkk. 2004. “Teknologi Konservasi Vegetatif. Olah Tanah Konservasi”. Dalam Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Hlm. 77–108. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Setyorini, D., dkk. 1994. “Evaluasi Status P dan K Tanah Sawah Iintensifikasi Sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan P dan K di Sumatera Barat, Sumatera Selatan, dan Kalimantan Selatan”. Pembahasan Laporan Paket Teknologi Hasil Penelitian Agriculture Research Management Project Phase-I, Cisarua.
- Setyorini, D., dkk. 2003. “Uji Tanah Sebagai Dasar Penyusunan Rekomendasi Pemupukan”. Sumber Daya Tanah. Seri Monograf No. 2. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Soepartini, M. 1995. “Status Kalium Tanah Sawah dan Tanggap Padi terhadap Pemupukan KCl di Jawa Barat”. Pemberitaan Penelitian Tanah No. 13: 27–40.
- Sofyan, A. Nurjaya, dan A. Kasno. 2004. Status Hara Tanah Sawah untuk Rekomendasi Pemupukan. Dalam Agus, F. dkk. (Ed.), Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Hal. 83–114. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.

- Sri Adiningsih, J., dkk. 1988. "Organic Matter Management to Increase Fertilizer Efficiency and Soil Productivity". *Proceedings of the ESCAP/FAO-TCDC Regional Seminar on the Use of Recycled Organic Matter*, Chengdu-China.
- Sri Adiningsih, J. 1984. "Pengaruh Beberapa Faktor terhadap Penyediaan Kalium Tanah di Daerah Sukabumi dan Bogor". Disertasi Doktor pada Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sukmana, S. 1994. "Budidaya Lahan Kering Ditinjau dari Konservasi Tanah". Dalam Prosiding Penanganan Lahan Kering Marginal Melalui Pola Usaha tani Terpadu. Hlm. 25–39. Jambi, 2 Juli 1994. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sukmana, S. 1995. "Teknik Konservasi Tanah dalam Penanggulangan Degradasi Tanah". Dalam Prosiding Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Buku I. Hlm. 43–54. Cisarua 26–28 September 1995. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.
- Suwardjo, H., dkk. 1989. "The Use of Crop Residue Mulch to Minimize Tillage Frequency". *Pembrit. Penel. Tanah dan Pupuk* 8: 31–37.
- Swan, J.B., *et al.* 1991. "Tillage-Redisue Management Effetcs on Seedbed Physical Conditions Corn Growth and Yield". In *Agronomy Abstract*. p. 343. Annual Meetings, ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct. 27–Nov. 1, 1991.
- Wagger, M.G. and H.P. Denton. 1991. "Consequences of Continuous and Alternating Tillage Regimes on Residue Cover and Grain Yield in a Corn-Soybean Rotation. In *Agronomy Abstracts*. p. 344. Annual Meetings ASA, CSSA, and SSSA, Denver Colorado, Oct 27–Nov 1, 1991.
- Widowati, L. R., dan Sri Rochayati. 2003. "Identifikasi kahat hara S, Ca, Mg, Cu, Zn dan Mn pada tanah sawah intensifikasi". Makalah diseminarkan pada Kongres HITI di Padang, 21–24 Juli 2003.
- Widowati, L.R., dkk. 1999. "Peranan Hara S, Ca, dan Mg, dan Hara Mikro dalam Penanggulangan Pelandaian Produktivitas Lahan Sawah Intensifikasi. Laporan Penelitian : Bagian Proyek Penelitian Sumber daya Lahan dan Agroklimat. Proyek Penelitian Sumber daya Lahan dan Agroklimat.
- Willet, I.R. 1985. "The Reduction Dissolution of Phosphate Ferrihydrite and Strengite". *Aust. J. Soil Res.* 23: 237–244.
- Willet, I.R. 1989. "Causes and Prediction of Changes in Extractable Phosphorus During Flooding". *Aust. J. Soil Res.* 27: 45–54.
- Yoshida, S. 1981. "Fundamentals of Rice Crop Science". The International Rice Research Institute, Manila, Philippines.