



**Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III
Jakarta/Bogor 23-25 Agustus 1993**

Kinerja Penelitian Tanaman Pangan

Buku 3

**Padi – Pemupukan, Sistem Usahatani, Mekanisasi,
Pascapanen, dan Sosial-ekonomi**

**Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian**



**Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III
Jakarta/Bogor 23-25 Agustus 1993**

Kinerja Penelitian Tanaman Pangan

Buku 3

**Padi – Pemupukan, Sistem Usahatani, Mekanisasi,
Pascapanen, dan Sosial-ekonomi**

Penyunting:

Mahyuddin Syam
Hermanto
Arif Musaddad
Sunihardi

**Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
1995**

633.1/4

KIN Kinerja Penelitian Tanaman Pangan, Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III, Buku 3. – Mahyuddin Syam; Hermanto; Arif Musaddad; Sunihardi (*Eds.*). – Bogor; Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, 1995.
vi, hal 675–1022; ill: 2,0 cm.

I. Syam, M.

II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

ISBN : 979-8161-51-3

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan

Jl. Merdeka 147 Bogor 16111 Telp. (0251) 334089, 331718

Fax. (0251) 312755

Pengantar

Kegiatan penelitian tanaman pangan telah memberi kontribusi yang cukup besar dalam pembangunan pertanian. Hal itu, antara lain tercermin dari berkembang dan diterapkannya teknologi yang dihasilkan yang mampu meningkatkan produksi dan pendapatan petani. Teknologi varietas unggul, misalnya, telah dikenal dan diadopsi oleh petani secara luas. Berbagai teknologi lainnya pun, seperti pengendalian hama/penyakit, sistem usahatani, dan penanganan pra- dan pascapanen tanaman pangan telah diterapkan pula oleh sebagian petani di pedesaan.

Sejalan dengan perkembangan pembangunan di segala bidang, akhir-akhir ini muncul berbagai isu yang menuntut perubahan orientasi penelitian. Isu sistem produksi terlanjutkan, misalnya, perlu dijadikan acuan dalam menentukan arah penelitian dalam PJP II mengingat isu ini berkaitan erat dengan pelestarian lingkungan yang telah menjadi komitmen internasional. Isu ini perlu pula dipadukan dengan upaya pencapaian dan pelestarian swasembada pangan, peningkatan pendapatan petani dan pengembangan agribisnis untuk mengentaskan kemiskinan.

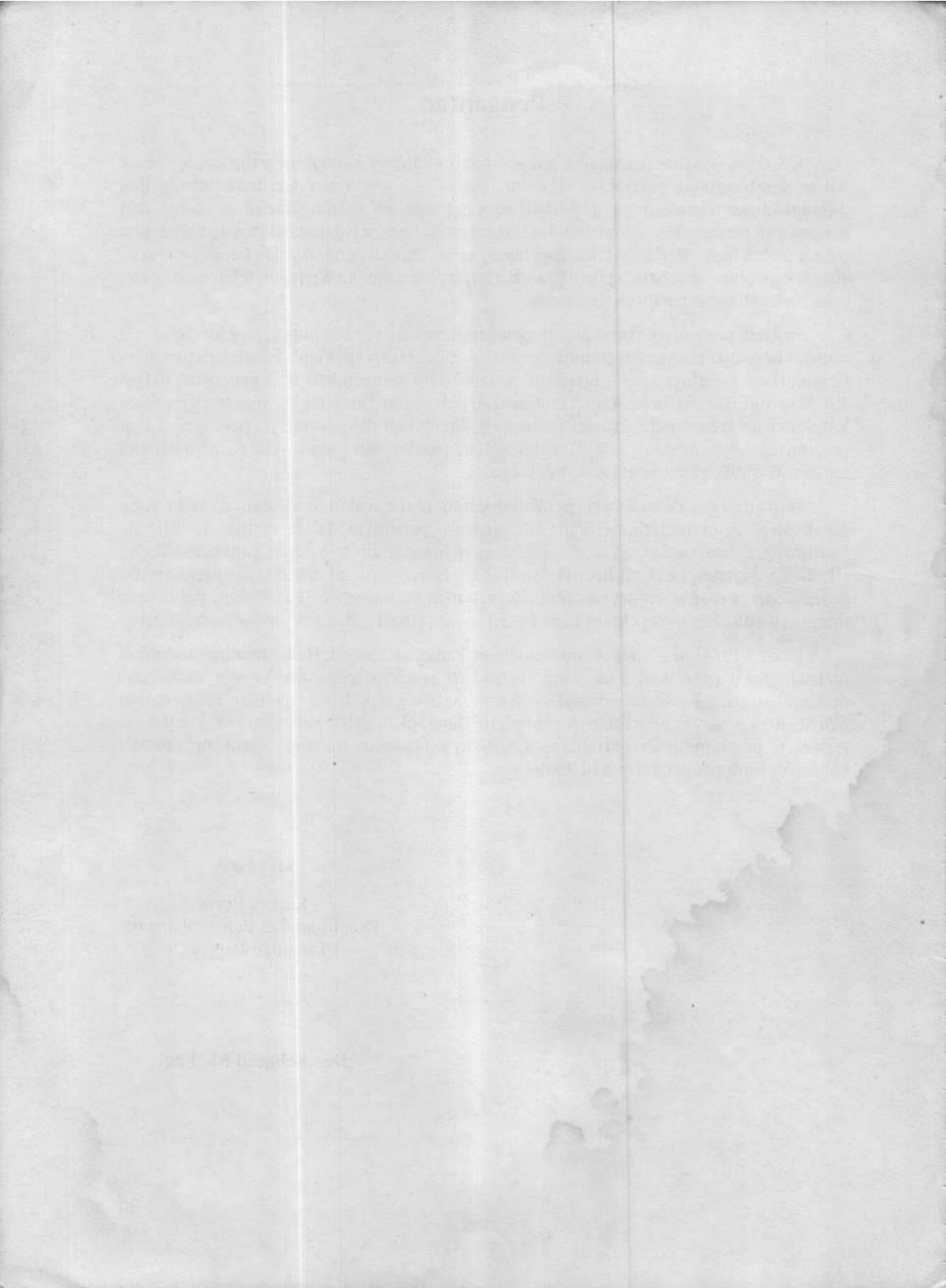
Guna mengevaluasi kinerja penelitian dalam kurun waktu lima tahun terakhir yang dikaitkan dengan reorientasi arah dan program penelitian dalam memasuki PJP II, Puslitbang Tanaman Pangan menyelenggarakan Simposium Penelitian Tanaman Pangan III, 23-25 Agustus 1993, di Jakarta dan Bogor. Simposium ini dihadiri oleh sekitar 400 peserta dari berbagai institusi lingkup Departemen Pertanian, BPPT, Bulog, perguruan tinggi, swasta, Pusat Penelitian Padi Internasional (IRRI), dan institusi terkait lainnya.

Buku 3 Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III ini memuat sejumlah makalah hasil penelitian padi yang mencakup aspek pemupukan, sistem usahatani, mekanisasi, pascapanen, dan sosial-ekonomi. Selain untuk dapat dijadikan acuan dalam penyusunan program penelitian, prosiding ini diharapkan dapat pula memberi kontribusi terhadap pembangunan pertanian, khususnya tanaman pangan, serta menambah khazanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

Mei 1995

Kepala Pusat
Penelitian dan Pengembangan
Tanaman Pangan,

Dr. Achmad M. Fagi



Daftar Isi

Pengantar	iii
Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas Pemupukan N pada Padi Sawah Berdasarkan Analisis Sistem	
..... <i>A.K. Makarim, Ponimin Pw., Sismiati R., Sutoro, Otjim S., dan A. Hidayat</i>	675
Kebutuhan Hara N Tanaman Padi di Lahan Sawah Irigasi	
..... <i>Aan A. Daradjat dan Pudji K. Utami</i>	682
Efisiensi Penggunaan Pupuk N dan P dalam Budi Daya Padi Sawah	
..... <i>Rahayu Tejasarwana</i>	690
Pemanfaatan Timbunan Fosfat di Lahan Sawah	
..... <i>Agusli Taher</i>	700
Pemupukan Kalium di Tanah Vertisol	
..... <i>Suyanto H.</i>	714
Kalium: Penyangga Produksi Padi di Lahan Sawah Tadah Hujan	
..... <i>Sarlan Abdulrachman</i>	727
Peningkatan Produksi Padi melalui Pemupukan di Kawasan Timur Indonesia .	
..... <i>Djamaluddin, M. Rauf, A. Buntan, R. le Cerff, dan E.O. Momuat</i>	734
Efisiensi Pemupukan dalam Pola Tanam Padi - Kedelai di Lahan Tadah Hujan	
..... <i>Iswandi H. Basri, Nussyirwan Hasan, Burlis Han dan Nasrul Hosen</i>	743
Penggunaan Bahan Amelioran pada Tanaman Pangan di Lahan Kering Beriklim Basah	
..... <i>Achmadi Jumberi dan Aidi Noor</i>	755
Kelayakan Agronomis Teknologi Budi Daya Padi Sebar Langsung di Lahan Sawah Irigasi	
..... <i>Herman Supriadi dan A. Husni Malian</i>	766
Sistem Usahatani di Lahan Sawah Tadah Hujan	
..... <i>H.S. Raihan, N. Fauziati, M. Thamrin, Hidayat Dj. Noor dan M. Djamhuri</i>	782
Pengelolaan Padi Sawah Dataran Tinggi	
..... <i>Syahrul Zen, A. Kaher, Z. Hamzah dan Helmidar Bahar</i>	790
Pengelolaan Lahan Sawah Bukaian Baru untuk Budi Daya Padi	
..... <i>Burbey dan Agusli Taher</i>	799
Budi Daya Tanaman Pangan dalam Sistem Usahatani Konservasi di DAS Jratunseluna Bagian Hulu	
..... <i>Husin M. Toha dan Achmad M. Fagi</i>	810
Perkembangan dan Dampak Mekanisasi Pertanian ...	
..... <i>Masdjidin Siregar dan Soentoro.</i>	825
Kebijakan Sistem Jasa Sewa Alat dan Mesin Pertanian dalam Pengembangan Mekanisasi Pertanian Tanaman Pangan	
..... <i>E. Eko Ananto, Trip Alihamsyah dan Astanto</i>	836
Traktor Kura-kura: Alat Pengolah Tanah Alternatif di Lahan Sawah dan Rawa Pasang Surut	
..... <i>E. Eko Ananto, Astanto, Trip Alihamsyah dan Inu G. Ismail</i>	850
Prospek Pengembangan Alat Tanam Padi Gogorancan ..	
..... <i>Astanto dan E. Eko Ananto</i>	855

Perbaikan Sistem Panen dalam Usaha Menekan Kehilangan Hasil Padi	<i>Sigit Nugraha, Agus Setyono, dan Ridwan Thahir</i>	863
Usaha Perbaikan Pengeringan Padi di Tingkat Petani	<i>Ridwan Thahir, Soeharmadi dan Agus Setyono</i>	873
Pengembangan Tepung Beras Kaya Protein Mendukung Agroindustri	<i>Djoko S. Damardjati dan E.Y. Purwani</i>	883
Perberasan di Indonesia Pascaswasembada	<i>Soekartawi</i>	893
Sumber Pertumbuhan Produksi Padi	<i>Maesti M., Made Oka A., Irsal Las dan Adimesra Djulin</i>	907
Intensifikasi Padi Sawah di Pedesaan antara Modernisasi dan Pembangunan ..	<i>Tri Pranadji</i>	925
Prospek dan Perkembangan Produksi Padi Sawah di Jawa Barat	<i>Tri Bastuti Purwantini dan Rita Nur Suhaeti</i>	942
Prospek dan Kendala Pengembangan Teknologi Budi Daya Sebar Langsung Padi Sawah di Lahan Irigasi	<i>A. Husni Maltan dan Herman Supriadi</i>	953
Elastisitas Produksi Padi Sawah Dataran Tinggi di Sumatera (Studi Kasus di Takengon, Solok, dan Kerinci)	<i>Iswandi H. Basri, Marak Ali, dan Nasrul Hosen</i>	963
Pemanfaatan dan Dampak Embung terhadap Sistem Usahatani di Lahan Tadah Hujan: Kasus di Kabupaten Rembang	<i>Iis Syamsiah, I. P. Wardana dan A. M. Fagi</i>	970
Perspektif Historis Kelembagaan dan Organisasi Peningkatan Produksi Padi di Indonesia	<i>Andin H. Taryoto dan Tri Pranadji</i>	980
Penerapan Pengendalian Hama Terpadu: Keterkaitan Faktor Sosial dan Kelembagaan	<i>S. Kartaatmadja dan S.S. Sabri</i>	998
Efisiensi Biaya Pestisida pada Tanaman Padi dengan Program Pengendalian Hama Terpadu	<i>Delima Darmawan dan Yusmichad Yusdja</i>	1007

Pemanfaatan Timbunan Fosfat di Lahan Sawah

Agusli Taher

Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami

ABSTRAK

Para pakar menyebutkan bahwa unsur fosfat merupakan kunci kehidupan, karena terlibat pada hampir semua proses metabolik. Bagi petani, pupuk fosfat identik dengan "pupuk buah". Makin banyak P diberikan, akan makin tinggi hasil yang dicapai. Persepsi tersebut, diduga menjadi salah satu penyebab tidak logis dan tidak efisiennya penggunaan P di beberapa daerah di Indonesia, terutama di lahan sawah intensifikasi. Selama periode 1972-86, penggunaan pupuk TSP di Indonesia sebesar 29%/tahun. Pada tanaman pangan bahkan mencapai 31,4%/tahun. Angka ini merupakan yang tertinggi di dunia. Situasi tersebut diduga menjadi faktor utama yang mendorong makin membengkaknya sawah-sawah yang berkadar P tinggi di Indonesia. Di Jawa, luas sawah berkadar P tinggi, sedang, dan rendah masing-masing mencapai 1,45; 1,66 dan 0,54 juta hektar. Hal yang sama juga dilaporkan di Sumatera Barat, Kalimantan Barat, Sulawesi Selatan, dan Sulawesi Tengah. Rekayasa teknis makin perlu disiapkan dalam rangka pemanfaatan timbunan P. Inovasi "penambangan P" ini akan berdampak ganda. Pertama, mampu meningkatkan efisiensi pemupukan P dan sekaligus pendapatan petani pada sawah-sawah berkadar P tinggi. Kedua, bila teknologi tersebut dapat diimplementasikan, maka sawah-sawah baru dan komoditas strategis pada agroekosistem marginal akan mempunyai peluang yang lebih besar untuk mendapatkan masukan pupuk P sesuai dengan kebutuhan. Kondisi ini akan mendorong makin kompetitifnya sistem usahatani antar agroekosistem.

PENDAHULUAN

Secara teknis hara fosfat (P) merupakan kunci kehidupan karena hampir terlibat pada semua proses metabolisme. Secara ekonomis, penggunaan P oleh petani mencerminkan dua ekstrim yang saling tidak menguntungkan. Pada sosio-agroekosistem yang optimal, seperti pada areal sawah-sawah intensif, petani memupuk secara tidak efisien, sehingga "keuntungan komparatif" usahatannya menjadi lebih rendah. Di beberapa lokasi, petani menggunakan pupuk jauh lebih tinggi dari rekomendasi pemupukan. Pada sosio-agroekosistem marginal, terutama pada wilayah potensial sumber pertumbuhan baru, petani tidak mampu memupuk padi sesuai dengan kebutuhan tanaman sehingga "pendapatan komparatif" usahatannya lebih rendah dari yang semestinya dapat dicapai.

Secara politis, pupuk P juga menduduki posisi yang sangat strategis dan mempunyai relevansi langsung dengan berbagai kebijakan dan isu-isu nasional, seperti: (1) pelestarian swasembada beras dan keterjaminan pangan (*food security*), (2) perluasan

sumber pertumbuhan baru padi dan kedelai, (3) optimasi usahatani pada areal sawah intensif, (4) percepatan ameliorasi dan maksimasi produksi di lahan sawah ekstensif, (5) pengembangan komoditas pertanian strategis, (6) peningkatan peran sektor transmigrasi dalam pemantapan swasembada pangan, (7) penghematan devisa, dan (8) penanggulangan kantong-kantong kemiskinan di Indonesia. Hal ini berkaitan dengan peranan teknis unsur P sebagai faktor kunci dalam peningkatan produktivitas dan optimasi usahatani komoditas pertanian.

Peranan penentu unsur P makin besar pada kondisi agroekosistem marginal. Selama konsep pemupukan P yang efisien tidak mampu diadopsi secara efektif pada sosio-agroekosistem optimal, maka perwujudan isu-isu sentral tersebut tetap akan jauh dari kenyataan.

Indonesia merupakan negara yang paling tinggi laju peningkatan konsumsi pupuk TSP-nya di dunia. Selama periode 1972-86, konsumsi pupuk P meningkat secara luar biasa, mencapai 28,7% per tahun (Hedley and Tabor 1989). Pada periode 1983-87, laju kenaikan konsumsi pupuk P masih cukup besar, yaitu sekitar 9% per tahun. Dari total penggunaan pupuk P tersebut, 80% dikonsumsi di Pulau Jawa yang sekitar 72% digunakan untuk padi sawah dan palawija (Kasryno 1986).

Pola "padat pupuk" di Pulau Jawa dan beberapa areal intensif lainnya di luar Jawa mendorong meningkatnya areal sawah yang berstatus P tinggi di Indonesia. Sekitar dua juta hektar sawah di Jawa diketahui mempunyai kadar P-tanah yang tinggi (Adiningsih *et al.* 1989).

Dalam pengelolaan P selama ini, perhatian lebih banyak terfokus kepada upaya peningkatan efisiensi yang bertumpu kepada aspek "pupuk dan pemupukan". Objek utamanya adalah pupuk P itu sendiri, sehingga pendekatan masih bersifat parsial. Dengan demikian, penyiapan alternatif teknologi pengelolaan P yang holistik perlu diupayakan agar penerapan efisiensi pupuk dapat terlaksana pada setiap agroekosistem.

Upaya untuk memanfaatkan timbunan P-tanah yang cukup besar potensinya kurang terpicirkan selama ini. Sekiranya konsumsi pupuk P pada dua juta hektar sawah dengan timbunan P tinggi dapat dikurangi tanpa mengganggu tingkat produksi padi, baik dalam skala makro maupun mikro, serta mekanisme pola "distribusi dan subsidi pupuk berimbang" yang efektif dapat diimplementasikan, maka pengelolaan pupuk P nasional akan lebih mampu mewujudkanantisipasi isu-isu sentral tersebut.

Tulisan ini menghimpun berbagai hasil penelitian, baik dalam maupun luar negeri yang berkaitan dengan peluang untuk memanfaatkan timbunan P di lahan sawah.

STATUS FOSFAT DI LAHAN SAWAH

Peluang hilangnya P dari tanah diketahui sangat kecil. Jumlah P yang hilang bersama panen relatif kecil, dan fosfat yang diserap tanaman padi hanya sekitar 10% dari takaran pupuk yang diberikan. Kondisi ini menyebabkan terjadinya penimbunan P yang sangat tinggi pada tanah yang dipupuk P berat setiap musim tanam. Sekitar 85% dari areal sawah di Jawa mempunyai kadar P-tanah yang tinggi (Adiningsih *et al.* 1989).

Tingginya kadar P-tanah, juga ditemukan di beberapa propinsi lainnya di Indonesia, seperti di Sulawesi Selatan, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Tengah (Adiningsih *et al.* 1990). Hal yang sama juga ditemukan di Sumatera Barat. Dari 232 contoh tanah sawah yang dianalisis di Sumatera Barat ditemukan hanya sekitar 32,8% areal persawahan yang mempunyai kadar P-tanah di bawah 10 ppm. Sebagian besar, kadar P-tanah sawah di Sumatera Barat berkisar antara 10-60 ppm, 10% di antaranya mempunyai kadar P-tersedia antara 60 hingga lebih dari 100 ppm (Tabel 2).

Di beberapa lokasi di Sumatera Barat, petani memberikan pupuk P pada padi sawah secara berlebihan. Di Padang, jumlah P yang diberikan petani berkisar antara 125-280 kg TSP/ha (Taher *et al.* 1993). Di Sumatera Utara, rata-rata penggunaan TSP pada tanaman pangan dilaporkan 250 kg/ha.

Tabel 1. Luas sawah (ha) di Jawa berdasarkan status P tanah dengan ekstraksi 25% HCl dan P-Olsen.

Propinsi	P-rendah	P-sedang	P-tinggi	Total
Jawa Barat	523.348	454.396	235.621	1.213.365
Jawa Tengah	387.120	611.804	107.676	1.116.600
DI Yogyakarta	-	46.981	15.763	62.744
Jawa Timur	531.475	544.945	183.500	1.259.920
Total	1.451.943	1.658.126	542.560	3.652.629

Sumber: Adiningsih *et al.* 1990.

Tabel 2. Areal sawah (%) berdasarkan status kadar P-tanah dan rata-rata hasil padi sawah di Sumatera Barat, 1990.

Kabupaten	Kadar P-tersedia di tanah (ppm)							Kisaran (ppm)	Hasil* (t/ha)
	< 10	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100	> 100		
Padang Pariaman	12,5	42,5	22,5	5,0	12,5	2,5	2,5	< 10 - 160	4,86
Pasaman	51,7	20,7	6,9	1,7	-	-	-	< 10 - 56	4,16
Solok	20,0	31,0	28,0	8,0	-	-	8,0	< 10-123	4,31
50 Kota	9,5	14,3	28,6	28,6	9,5	9,5	-	< 10 - 100	4,44
Swl/Sijunjung	78,1	3,1	12,5	3,1	3,1	-	-	< 10 - 63	4,25
Agam	16,2	24,3	35,1	8,1	2,7	2,7	10,8	< 10 - 196	4,44
Tanah Datar	15,8	15,8	42,1	15,8	5,3	5,3	-	< 10 - 97	4,85
Rata-rata (%)	32,8	23,3	22,0	7,8	4,3	2,2	3,0	< 10 - 196	

* Rata-rata 3 tahun, 1986-88 (Diperta Sumatera Barat 1989).

Sumber: Syafei 1990 (belum dipublikasikan).

Analisis P-tanah sawah pada beberapa lokasi di Sumatera Barat juga memperlihatkan bahwa akumulasi P cukup tinggi di lapisan olah, bahkan telah mencapai kedalaman 40 cm. Meskipun tingginya akumulasi P pada lapisan sekitar perakaran tanaman, akan tetapi ketersediaannya masih rendah hingga sangat rendah (Syafei 1989, belum dipublikasikan).

PEMUPUKAN FOSFAT DI TANAH SAWAH

Anjuran umum penggunaan P pada padi sawah adalah 100 kg TSP/ha. Dalam rangka meningkatkan efisiensi penggunaan P, maka pada sawah-sawah yang telah menerapkan intensifikasi padi lebih dari 10 tahun dianjurkan untuk tidak memberikan pupuk P setiap musim tanam, cukup diberikan 50 kg TSP/ha dengan selang satu musim. Meskipun demikian sebagian besar hasil penelitian menunjukkan, walaupun tanggap tanaman padi tidak nyata dengan pemberian P pada sawah-sawah berkadar P tinggi, tetapi hasilnya tetap berkurang antara 200-600 kg gabah/ha bila P tidak diberikan (Burbey *et al.* 1990; Suyamto *et al.* 1990; Hidayat *et al.* 1990). Dalam skala regional dan nasional, angka penurunan tersebut cukup besar pengaruhnya terhadap pengadaaan pangan.

Serangkaian penelitian efisiensi P telah dilaksanakan pada musim tanam 1989/90 di beberapa tempat di Sumatera. Pengaruh pemupukan P terhadap hasil gabah kering (kadar air 14%) disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh pemberian P terhadap hasil padi sawah (t/ha) di beberapa lokasi di Sumatera, MT 1989/90.

Lokasi	Takaran TSP (kg/ha)					P-tersedia (ppm)	Tanggapan tanaman (kg TSP/ha)
	0	50	100	150	200		
Trikoyo, Sumsel	6,1	6,7	6,4	6,6	6,3	49,1	R 50-100
Curup, Bengkulu	6,0	6,5	6,4	6,3	6,0	61,2	R 50-100
Samalanga, Aceh	5,1	5,5	5,4	5,2	5,1	34,9	R 50-100
Peudada, Sumsel	6,0	6,2	6,5	7,2	6,4	14,3	R100-150
Srikaton, Sumbar	6,0	5,8	6,2	5,8	5,6	38,6	NR
Sicincin, Sumbar	7,6	7,7	7,6	7,5	7,0	30,1	NR
Sumani, Sumbar	4,5	4,3	4,6	4,4	4,2	49,9	NR
Kerinci, Jambi	4,4	5,7	4,9	5,1	5,0	32,4	R 50
Talaok, Sumbar	4,1	5,3	5,6	4,8	4,8	23,2	R 50-100
Buayan, Sumbar	3,8	3,9	5,0	5,6	4,6	17,8	R100-150
T. Kiambang, Riau	3,4	3,9	3,8	4,1	4,4	9,1	R > 200

R = tanggapan tanaman padi terhadap pemupukan

NR = tidak tanggap

Secara umum tampak bahwa hasil yang dicapai beragam untuk setiap lokasi. Secara sederhana terlihat dua tipe tanggap tanaman terhadap pemberian P untuk semua lokasi percobaan, yaitu:

1. **Hasil rendah bila P tidak diberikan.** Kasus ini ditemukan pada lokasi-lokasi yang berkadar P-tersedia kurang dari 30 ppm P-Olsen. Tanaman tanggap terhadap pemberian P antara 50-200 kg TSP/ha. Penambahan P antara 100-150 kg TSP/ha mampu meningkatkan hasil antara 0,7-1,8 ton gabah/ha.
2. **Tidak tanggap terhadap pemberian P.** Lokasi dicirikan oleh kadar P-tersedia lebih dari 30 ppm dan hasil padi sudah cukup tinggi tanpa pemberian P, yaitu sama atau lebih dari 6,0 t/ha, kecuali di Sumani, Sumatera Barat. Hal ini disebabkan karena lahan sawah Sumani dicemari oleh air panas yang mengandung belerang (S) dan boron.

Analisis matriks korelasi (Tabel 4) untuk melihat keterkaitan sifat dan ciri tanah menunjukkan pula bahwa hasil yang dicapai tidak ditentukan oleh kadar P-tanah, tetapi dipengaruhi oleh kadar N-total, C-organik, dan Mg-tanah. Kadar N-total erat hubungannya dengan kadar C-organik dan KTK tanah. Ada kecenderungan bahwa tanah yang KTK-nya tinggi juga berkadar Ca, Mg, K, bahan organik, dan pH yang tinggi.

Selanjutnya hasil penelitian di Buayan, Sicincin, dan Talaok (Sumatera Barat) menunjukkan bahwa peningkatan takaran pemberian P sampai 200 kg TSP/ha diikuti oleh peningkatan kadar P-tersedia, P-tanaman, dan P-gabah. Hasil maksimum di ketiga lokasi masing-masing dicapai pada takaran 150, 50, dan 100 kg TSP/ha (Tabel 5, 6, dan 7). Bila P diberikan melebihi takaran tersebut terjadi penurunan hasil. Hal ini diduga akibat ketidakseimbangan hara. Peningkatan pemberian P cenderung menekan serapan Zn.

Tabel 4. Matriks korelasi sifat dan ciri tanah awal dengan hasil padi sawah pada percobaan efisiensi P di beberapa lokasi di Sumatera, 1989/90.

Parameter	pH	N-tot	C-org	P-ter	Ca-dd	Mg-dd	K-dd	KTK	H	Al
pH	1,00									
N-total	0,56	1,00								
C-organik	0,45	0,88	1,00							
P-tersedia	0,16	0,05	0,39	1,00						
Ca-dd	0,97	0,49	0,40	0,20	1,00					
Mg-dd	0,85	0,40	0,34	0,01	0,88	1,00				
K-dd	0,71	0,32	0,47	0,61	0,89	0,75	1,00			
KTK	0,96	0,46	0,40	0,18	0,99	0,92	0,78	1,00		
H	0,31	-0,11	-0,08	-0,17	0,25	0,50	0,07	0,34	1,00	
Al	0,20	-0,20	-0,31	-0,45	0,15	0,14	-0,07	0,23	0,54	1,00
0 kg TSP/ha*	0,13	0,51	0,49	0,04	0,18	0,40	0,16	0,19	0,09	-0,54
50 kg TSP/ha*	0,09	0,39	0,44	0,03	0,15	0,45	0,21	0,21	0,27	-0,38
100 kg TSP/ha*	0,11	0,48	0,42	-0,16	0,17	0,43	0,15	0,22	0,20	-0,29
150 kg TSP/ha*	0,14	0,54	0,39	-0,24	0,21	0,44	0,10	0,24	0,03	-0,30
200 kg TSP/ha*	0,09	0,45	0,39	-0,11	0,17	0,45	0,15	0,21	0,14	-0,37

* Data hasil gabah kering per hektar pada takaran TSP yang bersangkutan.

Tabel 5. Pengaruh pemberian TSP terhadap sifat kimia tanah, kadar P-tanaman, dan hasil padi sawah. Buayan, Sumatera Barat, MT 1989/90.

Perlakuan (kg TSP/ha)	pHH ₂ O	C-org (%)	P (ppm)	Kadar P-tanaman (ppm)			Hasil (t/ha)
				30 hst	panen	gabah	
0	5,0	3,01	18,1	0,16	0,06	0,10	3,8
50	5,0	3,28	20,6	0,21	0,10	0,14	3,9
100	5,1	3,26	22,3	0,25	0,09	0,20	5,0
150	5,0	3,23	24,8	0,23	0,11	0,23	5,6
200	5,2	3,25	23,2	0,32	0,11	0,23	4,6

Tabel 6. Pengaruh pemberian TSP terhadap kadar hara tanaman dan hasil padi sawah. Sicincin, Sumatera Barat, MT 1989/90.

Perlakuan (kg TSP/ha)	K-jerami (%)	P-jerami (%)	P-gabah (%)	Hasil (t/ha)
0	3,36	0,10	0,08	7,6
50	3,52	0,11	0,09	7,7
100	3,10	0,09	0,10	7,6
150	3,22	0,07	0,08	7,5
200	3,00	0,10	0,06	7,0

Tabel 7. Pengaruh pemberian P terhadap pH, C-organik, P-tanah dan hasil padi sawah. Talaok, Sumatera Barat, MT 1989/90.

Perlakuan (kg TSP/ha)	pH H ₂ O	C-org (%)	P (ppm)	Hasil (t/ha)
0	5,4	1,53	22,0	4,1
50	5,4	1,62	25,7	5,3
100	5,4	1,64	38,5	5,6
150	5,5	1,53	43,7	4,8
200	5,6	1,64	45,7	4,8

Ramainas (1991, belum dipublikasikan) menemukan bahwa peningkatan takaran P lebih dari 50 kg TSP/ha menurunkan hasil bila pupuk K hanya diberikan 25 kg KCl/ha. Akan tetapi, hasil masih terlihat meningkat jika peningkatan takaran TSP diimbangi dengan peningkatan pemberian KCl (Tabel 8). Hal ini makin memperkuat pendapat bahwa pemupukan berimbang makin diperlukan dalam meningkatkan produktivitas lahan sawah.

Tabel 8. Pengaruh pemberian pupuk P dan K terhadap hasil padi sawah. KP. Bandar Buat, MT 1990.

Perlakuan	Takaran KCl (t/ha)		
	25	50	75
50 kg TSP/ha	4,91	4,45	4,43
75 kg TSP/ha	4,43	5,14	4,45
100 kg TSP/ha	4,45	4,32	5,09

Sumber: Ramainas (1991, belum dipublikasikan).

Dalam upaya peningkatan efisiensi P, maka pengkajian yang lebih mendalam tentang dinamika P di lahan sawah perlu dilakukan. Hasil penelitian Syafei (1989, belum dipublikasikan) tentang retensi P di beberapa lokasi di Sumatera Barat menyimpulkan bahwa:

- 1) pada lokasi berkadar P tinggi, makin tinggi jumlah P yang diberikan, P yang teretensi makin cepat menurun dibandingkan P yang terjerap, tetapi P-tersedia meningkat dengan cepat;
- 2) pada lokasi berkadar P sedang, meskipun jerapan dan retensi P cukup besar, akan tetapi ketersediaan P masih cukup tinggi; dan
- 3) pada lokasi berkadar P rendah, makin besar jumlah P yang diberikan, makin besar jerapan dan retensi P, sedangkan P-tersedia masih tetap rendah.

ASPEK TEKNIS DALAM PEMANFAATAN TIMBUNAN P

Kajian terhadap penyiapan paket pengelolaan P dapat dipilah dalam tiga aspek penting, yaitu: (1) pendekatan biologis, (2) perbaikan produktivitas lahan, dan (3) pendekatan metabolik tanaman.

Pendekatan biologis diarahkan kepada pemanfaatan potensi dan rekayasa genetik. Varietas dan galur yang mempunyai toleransi spesifik cukup banyak tersedia. Di antara varietas dan galur tersebut toleran terhadap suhu dingin, keracunan besi, keracunan Al di lahan kering, dan beradaptasi baik pada kondisi P-tanah rendah. Secara fisiologis, semua potensi ketahanan spesifik ini berkaitan dengan kemampuan tanaman menyerap P-tanah dan metabolisme P-tanaman.

Suhu dingin, terutama di dataran tinggi dicirikan oleh: (1) rendahnya ketersediaan P-tanah dan serapan P, karena proses difusi dan lambatnya aliran massa (Barber 1976), dan (2) proses *active absorption* P lambat (Devlin dan Withan 1983, Noggle dan Fritz 1983, Bidwell 1983). Di dataran tinggi juga dicirikan oleh tingginya mineral alofan yang mempunyai kekuatan fiksasi P sangat tinggi.

Keracunan besi pada tanaman padi seringkali terjadi pada lahan sawah mineral bukaan baru dan daerah-daerah depresi. Saat ini, sawah yang mengalami keracunan besi diperkirakan mencapai 1,0 juta ha (Ismunadji dan Ardjasa 1988). Fiksasi P dalam

bentuk Fe- P sangat besar pada lahan keracunan besi, sehingga jumlah P yang tersedia bagi tanaman menjadi sangat berkurang. Meskipun demikian, varietas/galur yang toleran mempunyai kemampuan untuk menyerap P lebih tinggi, di antaranya melalui aktivitas enzim peroksidase yang lebih besar di akar tanaman (Tanaka and Tadano 1972).

Di lahan kering masam, padi gogo seringkali mengalami keracunan Al. Di samping itu, unsur P di lahan kering masam sebagian besar terikat dalam bentuk Al-P, dan adakalanya dalam bentuk Fe-P yang tidak tersedia bagi tanaman. Rendahnya serapan P tanaman juga disebabkan oleh tidak memadainya kadar air tanah, sehingga proses difusi P kurang lancar. Kemampuan tanaman dalam mengantisipasi rendahnya ketersediaan P, merupakan salah satu mekanisme toleransi tanaman di lahan kering bermasalah. Sebagian varietas yang dimuliakan di lahan kering juga mampu berproduksi tinggi di lahan sawah, seperti varietas padi gogo Laut Tawar dan Sentani. Di Bengkulu, sebagian petani menanam varietas Sentani di lahan sawah.

Kajian penelitian terhadap penciptaan varietas yang adaptif di lahan sawah dengan kadar P rendah dan/atau varietas yang mampu memanfaatkan timbunan P secara optimal belum banyak dilakukan. IRRI lebih banyak terlibat dalam penciptaan padi gogo yang toleran dengan P-tanah rendah. Dalam aspek ini, prioritas penelitian ke lahan sawah lebih relevan mengingat luasnya lahan sawah berkadar P tinggi dan lahan sawah bukaan baru di Indonesia, serta aktivitas pencetakan sawah di lahan marginal. Penelitian sudah harus mengarah kepada pemanfaatan potensi genetik dalam kaitannya dengan peningkatan kemampuan tanaman menyerap P (Tabel 9). Penelitian tersebut secara tak langsung berkaitan dengan aspek penambangan P. Pada Tabel 9 tampak bahwa varietas IR50 dan MTU 2099 memberikan hasil yang tinggi dalam keadaan tanpa pemberian P.

Peluang pemanfaatan keragaman dan potensi genetik varietas/galur yang berasal dari berbagai agroekosistem ini, cukup besar dalam peningkatan efisiensi dan penambangan P di lahan sawah. Kemampuan varietas tertentu untuk beradaptasi pada agroekosistem yang berbeda dengan agroekosistem asalnya cukup besar pula.

Pada Tabel 3 dan 4 terlihat bahwa tanggap padi terhadap pemupukan P kurang berkorelasi dengan kadar P-total tanah. Keragaman hasil lebih dipengaruhi oleh kadar C-organik, Mg, KTK, dan jenis tanah. Bila P tidak diberikan, hasil yang dicapai hampir selalu lebih rendah dibandingkan kalau P diberikan 50 atau 100 kg TSP/ha. Hal yang sama juga ditemukan oleh Moersidi *et al.* (1989) pada 18 lokasi di Jawa dengan tingkat penurunan hasil berkisar antara 250 - 238 kg gabah/ha, kecuali di empat lokasi.

Informasi tersebut mengisyaratkan perlunya sikap hati-hati dalam pengurangan pemakaian P. Dalam kaitan ini, aspek teknologi yang perlu ditelaah adalah bagaimana kebutuhan P dapat ditekan sedemikian rupa tanpa mengurangi hasil riil.

Beberapa hasil penelitian memberikan indikasi bahwa pemberian bahan organik, kapur, limbah pabrik semen (klinker, mengandung Si dan Ca), unsur S dan Zn, serta gilir air (drainase) dan P-starter mampu meningkatkan efisiensi pemupukan P (Tabel 10).

Dalam kaitannya dengan efisiensi penggunaan P pada tanaman padi di lahan sawah, teknik P-starter diperkirakan dapat diaplikasikan di tingkat petani. Teknik ini dilakukan dengan cara merendam benih padi ke dalam larutan TSP setelah digiling terlebih dahulu, atau dengan mencampur TSP dengan lumpur.

Tabel 9. Hasil (t/ha) enam varietas/galur padi sawah berdasarkan takaran pemberian P.

Varietas	Takaran pupuk P (kg P/ha)					Rata-rata
	0	17,5	26,2	35,0	43,7	
IR50	5,2	5,2	5,2	5,6	5,2	5,3
BPT 1235	4,1	4,8	4,9	4,6	4,7	4,6
MTU 6783	4,4	4,6	4,6	5,0	5,0	4,7
MTU 6910	3,8	3,4	4,1	3,9	4,6	3,9
MTU 8922	4,4	4,7	5,1	4,8	5,1	4,8
MTU 2099	4,7	4,7	4,9	5,2	4,8	4,9

Sumber: Reddy *et al.* 1984.

Tabel 10. Pengaruh ameliorasi lahan terhadap hasil (t/ha) padi sawah, MT 1990/91.

Perlakuan	Lokasi		
	Padang	50 Kota	Tugumulyo
100 kg TSP/ha	6,9a	3,8b	5,8a
P-starter (10 kg TSP/ha)	6,7a	3,8b	6,2a
50 kg TSP + 2,5 t/ha pukan	7,0a	4,0ab	6,0a
50 kg TSP + 1,0 t/ha dolomit	6,9a	3,6b	6,3a
50 kg TSP + 1,0 t/ha klinker	6,6a	3,8b	6,2a
50 kg TSP + gilir air 30,50,80 HST	6,7a	5,6a	6,3a
50 kg TSP + 25 kg S + 5 kg ZnSO ₄	6,8a	3,7b	7,0a

Teknik P-starter telah diuji keampuhannya selama empat tahun di Madagaskar pada padi sawah. Cara yang digunakan adalah mencampur TSP dengan tanah dan air dengan perbandingan 1:4:6 atau 1:2:5. Fixen (1993) juga menemukan bahwa teknik P-starter cukup andal di lahan kering, terutama pada lahan yang mempunyai kandungan P tinggi akibat budi daya yang intensif. Teknik P-starter memberi peluang kontak yang lebih baik antara pupuk P dan akar di awal pertumbuhan tanaman.

Di Sumatera Barat, sebagian petani telah melakukan teknik tersebut yang dinamakan sistem *cacah*. Penelitian di daerah Limau Manis, Padang, menunjukkan bahwa teknik P-starter memberikan prospek yang cukup menggembirakan, di mana jumlah pemakaian P dapat ditekan seminimal mungkin tanpa berkurangnya hasil (Tabel 11). Hasil penelitian lainnya menunjukkan, untuk meningkatkan efektivitas P-starter diperlukan perendaman benih selama waktu tertentu (Tabel 12).

Pendekatan metabolik tanaman termasuk aspek yang sering terlupakan dalam pengelolaan agrohara, terutama dalam upaya peningkatan efisiensi P. Fenomena tingginya konsentrasi ion dalam jaringan tanaman dibandingkan dengan di media tumbuh, di mana proses serapan dan pergerakan hara dalam tanaman melawan *gradient*

concentration tergantung kepada metabolisme enersi. Dalam kaitan ini dikenal istilah *active absorption* yang menyelenggarakan serapan anion, seperti P, Cl, dan lainnya secara metabolik (Blair 1979, Noggle dan Fritz 1983, Bidwell 1983).

Tanaman padi mempunyai keuntungan anatomis dengan adanya saluran aerenkima yang menyelenggarakan suplai O₂ dari udara ke akar tanaman. Meskipun demikian, beberapa pakar meragukan kemampuan mekanisme ini dalam penyediaan O₂ yang optimal, terutama pada stadia tumbuh yang memerlukan energi tinggi.

Menurut Tolley *et al.* (1986), meskipun tanaman padi memiliki aerenkima untuk melewati oksigen dari daun dan batang ke akar, tetapi kemampuannya untuk mensuplai oksigen dalam jumlah yang cukup masih dipertanyakan. Hasil penelitiannya membuktikan bahwa aktivitas alkohol dehidrogenase (ADH) makin meningkat 9 dan 10 minggu setelah tanam. Hal ini merupakan refleksi dari terjadinya stres di awal tanaman memasuki stadia generatif. Selama periode ini, kebutuhan hara dan ATP lebih tinggi. Dalam kaitan ini, pengeringan sawah akan mendorong aktivitas respirasi aerobik makin tinggi, sehingga serapan aktif dan perkembangan tanaman akan lebih baik. Aplikasi kondisi aerobik ini makin penting pada stadia-stadia yang memerlukan energi tinggi seperti anakan aktif, inisiasi malai, dan *heading*.

Tabel 11. Pengaruh P-starter terhadap jumlah anakan, jumlah malai/rumpun, dan hasil padi sawah.

Aplikasi TSP (ha)	Anakan 30 hst	Malai/ rumpun	Hasil (t/ha)
Tanpa TSP	23,0	15,4	5,92
50 kg TSP	22,3	14,7	6,03
P-starter (10 kg TSP, larutan)	25,0	15,5	6,05
P-starter (25 kg TSP, larutan)	24,7	16,7	6,26
P-starter (10 kg TSP + lumpur)	24,7	16,1	5,94
P-starter (25 kg TSP + lumpur)	24,6	16,5	6,43

Tabel 12. Pengaruh lama perendaman benih dengan larutan TSP terhadap kadar P tanaman dan hasil padi sawah.

Aplikasi TSP (ha)	Kadar P-tan (%)	Jumlah malai (bt/rp)	Gabah/ malai (btr)	Gabah bernas (%)	Hasil (t/ha)
Tanpa TSP	0,58	21,4	104	75,0	5,9
100 kg TSP	0,59	23,1	107	84,7	6,0
P-starter (10 kg TSP ~ 1 menit)	0,59	21,4	110	81,3	6,1
P-starter (10 kg TSP ~ 10 menit)	0,60	23,1	112	82,1	6,2
P-starter (10 kg TSP ~ 20 menit)	0,62	23,1	128	86,0	6,3
P-starter (10 kg TSP ~ semalam)	0,57	20,0	123	79,0	5,8

Kondisi reduksi-oksidasi di atas sangat berhasil dalam peningkatan produktivitas sawah keracunan besi (Burbey *et al.* 1990, Satari *et al.* 1990, Taher dan Misran 1984). Taher dan Zaini (1991) juga melaporkan, pengeringan sawah selama tujuh hari pada stadia penting tersebut mampu meningkatkan efisiensi pemupukan P pada sawah yang sudah menerapkan sistem intensifikasi lebih dari 10 tahun.

Seperti tampak pada Tabel 10, introduksi gilir air (*intermittent drainage*) juga perlu mendapat perhatian. Pengaruh gilir air tampaknya lebih efektif bila P tidak diberikan (Tabel 13). Teknik gilir air akan lebih efektif bila kondisi kering dapat mendekati kondisi kapasitas lapang. Hasil penelitian Balittan Sukamandi dalam studi pengaturan selang pemberian air, secara tak langsung juga mengarah kepada pembuktian bahwa gilir air cukup prospektif diimplementasikan dalam peningkatan efisiensi P di lahan sawah (Tabel 14).

Pendekatan melalui perbaikan fisika tanah kurang diminati selama ini. Meskipun demikian, sebagian pakar berpendapat bahwa pelumpuran sempurna dan pemadatan lahan (*soil compaction*) mampu meningkatkan efisiensi pemupukan. Hal ini berkaitan dengan lebih tercapainya kondisi optimal untuk proses difusi dan aliran massa, kerapatan lindak (*bulk density*), dan daya hantar listrik tanah (Ghidhyal 1978). Kondisi seperti itu lebih memungkinkan terjadinya kontak yang lebih sempurna antara perakaran dengan partikel tanah dan hara. Situasi ini sangat penting artinya untuk ion yang sangat rendah laju difusinya, seperti $H_2PO_4^-$ (Blair 1979).

Tabel 13. Pengaruh pengeringan (gilir air) dalam peningkatan efisiensi P pada padi sawah.

Perlakuan	Takaran P (kg TSP/ha)		Hasil (t/ha)
	0	50	
Sawah biasa	5,4	5,5	5,45
Pengeringan 30, 45 hst	5,7	5,5	5,65
Pengeringan 30, 45, 60 hst	5,8	5,7	5,75

Sumber: Balittan Sukarami (1990)

Tabel 14. Pengaruh *stress day* terhadap hasil rata-rata padi GH105, IR36, dan Cipunegara, MH 1981/82.

Selang pemberian air (<i>stress day</i>)		Rata-rata hasil (t/ha)
Kontrol	(0 <i>stress day</i>)	5,05
5 hari sekali	(1 <i>stress day</i>)	5,20
9 hari sekali	(5 <i>stress day</i>)	5,10
13 hari sekali	(9 <i>stress day</i>)	5,41
17 hari sekali	(13 <i>stress day</i>)	5,32
21 hari sekali	(17 <i>stress day</i>)	5,38

Sumber: Balittan Sukamandi (1982).

Tabel 15. Pengaruh mina padi terhadap hasil gabah, jerami, dan ikan (t/ha) selama 3 musim tanam di Pandun India.

Parameter	Pre Kharif		Kharif		Boro	
	padi	minapadi	padi	minapadi	padi	minapadi
Gabah	3,2	3,8	3,0	3,7	5,9	6,4
Jerami	8,1	8,1	8,9	9,7	5,0	5,8
Ikan	-	0,4	-	0,4	-	0,5

Sumber: De Datta *et al.* (1985)

Beberapa jasad mikro tanah seperti *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium* dan *Aspergillus* dapat melarutkan P dari bentuk terfiksasi. Jasad mikro tersebut dapat tumbuh dengan media $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, apatit atau bentuk P terfiksasi lainnya sebagai sumber P-nya. Kelebihan dari P yang dipakai dapat dilepas dalam larutan yang segera dapat diambil oleh tanaman (Alexander 1977).

Aspek lain yang perlu mendapat perhatian dalam upaya pemanfaatan timbunan P adalah penerapan pola padi-ikan dan minapadi. Pada beberapa daerah seperti Muara Aman, Bengkulu, Tugumulyo, Sumatera Selatan; dan beberapa daerah lainnya di Sumatera, petani mempraktekkan pola padi-ikan di lahan sawah. Saat ini mina padi sudah berkembang dalam program intensifikasi padi di beberapa daerah di Indonesia. De Datta *et al.* (1985) menemukan bahwa hasil jerami dan gabah padi lebih tinggi pada pola minapadi dibandingkan dengan padi monokultur (Tabel 15). Balittan Sukamandi bahkan mendapatkan hasil padi yang tinggi pada sistem minapadi-tanpa P dibandingkan dengan padi monokultur + 100 kg TSP/ha.

KESIMPULAN

Unsur P menduduki posisi yang sangat strategis dalam pelestarian swasembada pangan, peningkatan pendapatan petani, dan pengembangan komoditas strategis lainnya. Peranan P, terutama yang berkaitan dengan fungsi P dalam hampir semua proses metabolik.

Sifat P tidak mudah hilang dari tanah. Pemakaian P yang cenderung berlebihan pada sebagian besar lahan sawah intensifikasi menyebabkan makin membengkaknya sawah-sawah berkadar P tinggi di Indonesia. Dalam konteks ini, secara sederhana sawah-sawah Indonesia dapat dibagi dua: (1) sawah dengan timbunan P tinggi, tetapi petani masih tetap memberikan P dalam jumlah yang seringkali melebihi takaran anjuran; situasi ini memberi dampak: mendorong terjadinya ketidakseimbangan hara, pendapatan lebih rendah, serta menghambat pengembangan sumber pertumbuhan produksi padi dan komoditas pertanian lainnya. (2) sawah berproduktivitas rendah, karena berasal dari lahan marginal yang kebutuhan P-nya seringkali lebih tinggi, akan tetapi petani tidak mampu memupuk sesuai dengan kebutuhan tanaman.

Dalam rangka memanfaatkan timbunan P, rekayasa teknis perlu mulai disiapkan secara berkesinambungan. Konsep-konsep pengelolaan pupuk dan tanaman perlu dievaluasi dan dimantapkan. Untuk sementara, jumlah pemakaian pupuk P dapat ditekan seminimal mungkin tanpa mengurangi perolehan hasil riil melalui beberapa pendekatan, yaitu: perbaikan varietas, P-starter, gilir air, minapadi, dan pemberian amelioran lainnya. Meskipun demikian, banyak aspek yang masih perlu dikaji agar teknologi pemanfaatan timbunan P ini lebih efektif, efisien, dan aplikatif. Di masa datang, perlu dilakukan secara tepat pengkajian peranan bakteri pelarut P, perbaikan fisik lahan, serta untuk waktu beberapa lama teknik "penambangan P" bisa diaplikasikan, sehingga P-tanah masih mampu mensuplai kebutuhan P tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J. S., D. Santoso dan M. Sudjadi. 1989. The status of N, P, K and S of lowland rice soils in Java. CSR. AARD.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons. New York, Santa Barbara, London, Sidney, Toronto. 487 p.
- Balittan Sukamandi 1982. Laporan Tahunan 1980/81. Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi.
- Balittan Sukarami 1990. Laporan Tahunan 1988/89. Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukarami.
- Barber, S.A. 1976. Efficient fertilizer use. Agron. Res. for Food, ASA, spec. Publ. Bull. rb.
- Bidwell, R.G.S. 1983. Plant physiology. Mac Millan Publ. Co. Inc., New York.
- Blair, G. J. 1979. Plant nutrition. Short course in plant growth and nutrition. Australian-Asian universities Cooperation Scheme. Unhas.
- Burbey, H. Subakti, A. Gani, Y. Yanuar dan Z. Kari. 1990. Efisiensi pemupukan nitrogen pada padi sawah. Seminar Hasil Penelitian Swasembada Beras dan Pengembangan Lahan PMK. Bogor 6-7 Agustus 1990.
- Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. Plant physiology . 4rd ed. Golden Art. Print. Co.
- Diperta Sumbar. 1989. Laporan Tahunan. Diperta Tingkat I Sumbar.
- Fixen, P.E. 1993. Starter fertilizer and high residue: a profit-building combination. Better crops with plant food vol. LXXVII (77) No 2.
- Ghildhyal, BP. 1978. Effect of compaction and puddling on soil physical properties and rice growth. In: Soil and Rice. IRRI. Los Banos Philippines.
- Hedley, D.D., and S.R. Tabor. 1989. Fertilizer in Indonesian agriculture: the subsidy issue. Agric. Econ. 3:49-68.

- Hidayat, A., I. Nasoetion, R. Marzuki, dan A.K. Makarim. 1990. Pengaruh pupuk fosfor terhadap pertumbuhan, hasil, dan serapan hara padi sawah di Jabar dan Lampung. Puslitbangtan Bogor.
- Ismunadji, M. dan W. S. Ardjasa. 1988. Pengaruh fosfat dan hara lain terhadap keracunan besi pada padi sawah. Balittan Bogor.
- Moersidi, D., D. Santoso, M. Soepartini, M. Al-Jabri, J.S. Adiningsih, dan M. Sudjadi. 1989. Peta keperluan fosfat tanah sawah di Jawa dan Madura. Pemberitaan Penel. Tanah dan Pupuk. No 8 dan 13. Puslit Tanah Bogor.
- Kasryno, F. 1986. Supply of rice and demand for fertilizer for rice farming in Indonesia. J. Agro Econ. 5 (2).
- Noggle, G.R., and G.J. Fritz. 1983. Introductory plant physiology. 2nd ed. Prentise Hall-Iric.
- Reddy, SS., P. N. Rao, and G.V. Reddy. 1984. Response of rice cultivars to phosphorus. IRRN 9 (2):25-26.
- Satari, G. 1962. Pengaruh pemeliharaan ikan terhadap pertumbuhan dan hasil padi dan hasil ikan. Disertasi. IPB Bogor.
- Satari, G., Nurpilihan, dan Y. Sumarni. 1990. Masalah keracunan besi dan keragaan tanaman padi pada berbagai agro ekosistem. *Dalam* Pengelolaan sawah bukaan baru. Prospek dan masalah. Taher, Abbas, dan Yurnalis (Ed). Unes-Balittan Sukarami.
- Suyamto, H., Sudaryono, H. Kuntyyastuti, H. Subagio, B. Santoso, R. Isgianto, J. Purnomo, dan Sutrisno. 1990. Penelitian efisiensi pemupukan P pada padi sawah. Makalah disampaikan pada Seminar Hasil-hasil penelitian menunjang swasembada beras, Bogor.
- Tanaka, A. and T. Tadano. 1972. Potassium in relation to iron toxicity of rice plant. Potash Rev. 21:1-12.
- Taher, A. dan Misran. 1984. Pengendalian keracunan besi pada sawah bukaan baru. Pemberitaan Penel. Sukarami 4:3-6.
- Taher, A. dan Z. Zaini. 1991. Prospek penambangan P tanah sawah dalam upaya peningkatan efisiensi pemupukan P dan optimasi usahatani. Makalah disampaikan dalam penyiapan Review TSP di Puslitbangtan Bogor.
- Taher, A., E. Mawardi, A. Sahar, dan S. Abdullah. 1993. Penelitian pengembangan pemanfaatan timbunan fosfat pada lahan sawah irigasi. Risalah Seminar Balittan Sukarami.
- Tolley, M.D., R.D. Delaune, and W.H. Patrick, Jr. 1986. The effect of sediment redox potential and soil acidity on nitrogen uptake, anaerobic root respiration, and growth of rice (*Oryza sativa*). Plant and soil (93): 323-331.

- Makarim et al. Efektivitas Pemupukan N pada Padi Sawah
- Daradjat dan Utami Kebutuhan N Padi Sawah Irigasi
- Tejasarwana Efisiensi Pupuk N dan P pada Padi Sawah
- Taher Pemanfaatan Timbunan Fosfat di Lahan Sawah
- Suyanto Pemupukan Kalium di Tanah Vertisol
- Abdulrachman Kalium : Penyangga Produksi Padi Sawah Tadah Hujan
- Djamaluddin et al. Peningkatan Produksi Padi melalui Pemupukan
- Basri et al. Efisiensi Pemupukan dalam Pola Tanam Padi-Kedelai
- Jumberi dan Noor Penggunaan Amelioran pada Tanaman Pangan
- Supriadi dan Malian Kelayakan Agronomis Budi Daya Padi Sebar Langsung
- Raihan et al. Sistem Usahatani di Lahan Sawah Tadah Hujan
- Zen et al. Pengelolaan Padi Sawah Dataran Tinggi
- Burbey dan Taher Pengelolaan Lahan Sawah Bukaas Baru
- Toha et al. Tanaman Pangan dalam Usahatani Konservasi di DAS
- Siregar dan Soentoro Dampak Mekanisasi Pertanian
- Ananto et al. Sistem Jasa Sewa Alat dan Mesin Pertanian
- Ananto et al. Traktor Kura-kura, Pengolah Tanah Alternatif
- Astanto dan Ananto Pengembangan Alat Tanam Padi Gogorancan
- Nugraha et al. Sistem Panen untuk Menekan Kehilangan Hasil
- Thahir et al. Usaha Perbaikan Pengeringan Padi di Tingkat Petani
- Damardjati dan Purwani Pengembangan Tepung Beras Kaya Protein
- Soekartawi Perberasan di Indonesia Pascaswasembada
- Maesti et al. Sumber Pertumbuhan Produksi Padi
- Pranadji Intensifikasi Padi Sawah di Pedesaan
- Purwantini dan Suhaeti Prospek dan Perkembangan Produksi Padi
- Malian dan Supriadi Prospek Budi Daya Sebar Langsung Padi Sawah
- Basri et al. Elastisitas Produksi Padi Sawah Dataran Tinggi
- Syamsiah et al. Pemanfaatan dan Dampak Embung
- Taryoto dan Pranadji Perspektif Historis Organisasi Produksi Padi
- Kartaatmadja dan Sabri Faktor Sosial dan Kelembagaan PHT
- Darmawan dan Yusdja Efisiensi Biaya Pestisida dalam PHT

ISBN : 979-8161-51-3