

INOVASI TEKNOLOGI PENYEHAT TANAH BIO ENERGI UNTUK PERBAIKAN SIFAT FISIK, KIMIA, DAN BIOLOGI TANAH SAWAH MINERAL MASAM DAN PERTUMBUHAN TANAMAN PADI

M. Al-Jabri¹ dan S. Abdulrachman²

¹ Balai Penelitian Tanah

E-mail: muhammad_aljabri46@yahoo.co.id

² Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

ABSTRAK

Technology Innovation on Bio Energy Soil Conditioner to Improve Soil Physic, Chemical, and Biology of Acid Mineral Soil and the Rice Growth. The application of inorganic fertilizer, such as urea, TSP/SP36, and KCl, into the paddy soil since the year of 1960's until the present time, has given prosperity to most of the rice producing countries. Unfortunately, after the long period this practice has brought the soil became sickness and environment pollution. Through the application of bio energy soil conditioner or so called PTBE (*penyehat tanah bio energi*) with its active material contents of 26% CaO and 7% MgO, the soil physic, chemical, and biology, were improved. Depended on the soil texture and soil acidity, the optimum dosage of PTBE was within the range of 15–40 l/ha. Based on the relative agronomy effectiveness (RAE) value, PTBE dosage for acid mineral soil applied in this experiment under the greenhouse condition was 15 l/ha which was related to the highest RAE of 109%. Under field condition, the dosage of PTBE at 30 l/ha yielded 7.20 t/ha of dried rice grain. Technically, bio energy soil conditioner should be applied at the time during the second soil plow and it should be incorporated well into 10–15 cm of the soil depth. Prior to its application, PTBE should be diluted with water at the ratio of 1 : 15 (v : v). This Bio energy soil conditioner is applicable also for the sick acid mineral soil planted with either food crops or horticultural crops.

Key words: *Bio energy soil conditioner (PTBE), acid mineral soil, lowland rice.*

ABSTRAK

Penggunaan pupuk anorganik, seperti urea, TSP/SP36, dan KCl yang terus menerus sejak tahun 1960-an sampai sekarang di samping telah meningkatkan ketersediaan beras di berbagai negara penghasil padi di dunia, khususnya Indonesia, ternyata telah menimbulkan kerusakan tanah dan pencemaran lingkungan. Penyehat tanah bio energi (PTBE) dengan bahan aktif 26% CaO dan 7% MgO terbukti mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dosis optimum PTBE yang diperlukan berkisar pada 15–40 l/ha. Berdasarkan pada nilai *relative agronomy effectiveness* (RAE), maka untuk tanah sawah mineral masam pada kondisi di rumah kaca, dosis PTBE adalah 15 l/ha menghasilkan nilai RAE tertinggi 109%. Dosis PTBE pada kondisi lapangan adalah 30 l/ha dengan hasil gabah kering 7,20 t/ha. Secara teknis, penyehat tanah sebaiknya diberikan saat pengolahan tanah kedua, dicampur rata dengan tanah, dan pada kedalaman 10–15 cm. Sebelum disemprotkan, PTBE harus diencerkan dengan air dengan nisbah 1 : 15 (v : v). PTBE dapat juga digunakan untuk tanah mineral masam yang telah terdegradasi, baik yang ditanami dengan tanaman pangan maupun tanaman hortikultura.

Kata kunci: *Penyehat tanah bio energi (PTBE), tanah mineral masam, padi sawah.*

PENDAHULUAN

Inovasi teknologi penyehat tanah bio energi (PTBE) sebagai bahan pembenah tanah cair dapat digunakan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas tanah dan dikombinasikan dengan pemupukan berimbang spesifik lokasi sesuai dengan kebutuhan tanaman berdasarkan konsep uji tanah. Serapan hara menjadi optimum serta tanah yang telah terdegradasi dapat diperbaiki dengan pembenah tanah dan pemupukan berimbang (Sanchez 1976; Westerman 1990; Al-Jabri 2006).

Konsep pembenah tanah adalah (1) menstabilkan agregat tanah untuk pencegahan erosi tanah dan pencemaran lingkungan, (2) merubah sifat *hydrophobic* menjadi *hydrophilic* dengan bahan organik, sehingga kapasitas tanah menahan air dapat dipertahankan setinggi mungkin untuk padi sawah, atau kandungan air untuk *upland crop* pada kapasitas lapang, (3) meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), dan (4) memelihara ketersediaan hara dalam jumlah optimum sebab proses pencucian hara ditekan serendah mungkin, dan meningkatkan serapan hara (Arsyad 2000).

Tanah mineral masam yang telah terdegradasi dan didominasi tipe mineralogi liat 1 : 1 (kaolinitik) dari ordo tanah Ultisols dan Inceptisols

yang dicirikan dengan derajat kemasaman tanah tinggi dengan kisaran pH $\geq 3,5$ sampai 5,0, C-organik rendah, KTK tanah rendah, kandungan Ca rendah sehingga ikatan di antara partikel-partikel liat tidak terlalu kuat dan mengakibatkan partikel-partikel liat mudah terfragmentasi dan terdispersi ke dalam ukuran agregat yang lebih kecil. Di samping itu, nisbah kation-kation dapat ditukar (Ca/K, Ca/Mg, dan Mg/K) menjadi tidak proporsional, dan akhirnya produktivitas tanaman cenderung menurun. PTBE sangat beralasan untuk diberikan agar sifat fisik, kimia, dan biologi tanah dari tanah sawah yang terdegradasi dapat diperbaiki.

Lapisan tanah atas yang dangkal kurang dari 8 cm karena penggunaan mesin pertanian, dan kandungan C-organik lebih rendah 1% mengakibatkan sifat fisik tanah yang buruk seperti BD tanah meningkat karena pemadatan tanah, sehingga serapan hara tidak optimal. Oleh karena itu, lahan pertanian yang tanahnya didominasi tipe mineralogi liat 1 : 1 (kaolinitik) dan telah terdegradasi dapat menjadi lebih baik jika inovasi teknologi PTBE diaplikasikan untuk peningkatan produktivitas tanah dan tanaman.

Stabilitas agregat tanah dapat dipelihara dengan inovasi PTBE, sehingga praktek pengolahan tanah sedalam 20 cm sampai 30 cm dapat dikerjakan lebih mudah dengan mesin pertanian. Pada saat tanah sawah dibajak (pengolahan tanah pertama dan kedua) sampai keadaannya berlumpur, maka struktur tanah menjadi rusak, kemudian regenerasi struktur dapat terbentuk lagi dan tergantung pada kelas tekstur tanah. Jika regenerasi struktur terbentuk dalam waktu yang relatif cepat, kemudian dapat dihasilkan stabilitas agregat tanah, maka sifat fisik tanah akan lebih baik, sebagaimana ditunjukkan dengan tingginya persen volume porositas tanah, sehingga air dalam tanah dapat ditahan dalam jangka waktu lebih lama dibandingkan dengan agregat tanah yang tidak stabil sebagaimana ditunjukkan dengan rendahnya persen porositas tanah, sehingga air dalam tanah tidak dapat ditahan lebih lama. Kondisi tanah dengan persen volume porositas yang tinggi mengakibatkan ketahanan terhadap erosi dapat ditingkatkan (Kemper dan Rosenau 1986; El-Swaify dan Dangler 1976).

Bahan yang digolongkan sebagai pembenah tanah padat berdasarkan Permentan Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 antara lain: zeolit, kapur pertanian (CaCO_3 -calcite dan CaCO_3 . MgCO_3 -dolomite), pupuk organik dengan kandungan C-organik 7–12%, sedangkan pupuk organik dengan kandungan C-organik lebih tinggi dari 12% (nisbah C/N 10-25) tidak dikelompokkan ke dalam pembenah tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengkaji kualitas PTBE dan pengaruhnya untuk perbaikan sifat-sifat tanah, (2) mengkaji pengaruh PTBE untuk penetapan dosis optimum terhadap pertumbuhan tanaman padi pada kondisi rumah kaca, nilai RAE, dan serapan hara, (3) mengkaji pengaruh PTBE dan PTS terhadap populasi bakteri pelarut P asli dan introduksi, dan (4) mengkaji pengaruh PTBE terhadap hasil padi di lapangan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan 1: Kualitas PTBE dan Pengaruhnya untuk Perbaikan Sifat-sifat Tanah

Parameter utama dari contoh PTBE yang diukur adalah pH, total CaO, total MgO, logam berat (As, Hg, Pb, Cd). Dua puluh empat botol kecil volume 200 cc diisi 50 g tanah dan 125 cc H₂O (nisbah 1 : 2½). Kemudian ke dalam botol dimasukkan PTBE setara masing-masing dengan 0; 7,5; 15; 30; 60; 120; dan 600 l/ha, dan satu tingkat pembenah tanah standar (PTS) terdiri atas campuran setara 5 ton dolomit + 5 ton kompos/ha. Kemasaman tanah (pH) diukur satu minggu sekali selama lima minggu. Dua puluh empat ember volume 50 liter diisi 30 kg tanah dan 15 liter H₂O (nisbah 1 : 2), kemudian dilumpurkan dan diinkubasi selama enam minggu, dimana tinggi air di permukaan tanah dipertahankan setebal 2 cm. Setelah tanah dalam ember besar diinkubasikan selama enam minggu, kemudian tidak ada penambahan air lagi. Pada saat kandungan air dalam tanah sudah mencapai kapasitas lapang, kemudian tanah dari *undisturb ring sample* diambil untuk kajian perubahan sifat fisik tanahnya, dan diambil contoh tanah komposit untuk kajian perubahan sifat kimia tanahnya. Parameter sifat fisik tanah dari *undisturb ring sample* dari lapangan ditetapkan berdasarkan pada metode analisis tanah yang digunakan di laboratorium fisika tanah (Kurnia *et al.* 2006). Parameter sifat kimia tanah dari contoh tanah komposit dari lapangan ditetapkan berdasarkan pada metode analisis tanah yang digunakan di laboratorium kimia tanah (Sulaeman *et al.* 2005).

Percobaan 2: Pengaruh PTBE untuk Penetapan Dosis Optimum terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi pada Kondisi Rumah Kaca, Nilai RAE, dan Serapan Hara

Dua puluh tujuh pot kecil volume 3 liter diisi dengan 2 kg tanah, kemudian digenangi dengan air selama 2 minggu sampai berlumpur. Uji efektivitas PTBE dilakukan di rumah kaca dengan menggunakan rancangan percobaan acak lengkap terdiri atas 9 perlakuan yang diulang 3 kali. Perlakuan adalah: (1) kontrol lengkap; (2) pupuk NPK; (3) 7,5 l/ha PTBE; (4) 15 l/ha PTBE; (5) 30 l/ha PTBE; (6) 60 l/ha PTBE; (7) 120 l/ha PTBE; (8) 600 l/ha PTBE; (9) 5 t/ha Dolomit + 5 t/ha kompos sebagai pembenah tanah standar. Bibit tanaman padi varietas Ciherang umur 12 hari ditanam sebagai tanaman uji dan dipanen pada saat tanaman berumur 5 minggu. Kemudian tinggi tanaman diukur, jumlah anakan dihitung, bobot kering jerami ditimbang, dan serapan hara (N, P, K, Ca, Mg, Zn) diukur.

Efektivitas PTBE ditetapkan melalui pendekatan *relative agronomic effectiveness* (RAE) (Machay *et al.* 1984) dengan formulasi sebagai berikut:

$$RAE = \frac{\text{obot kering biomas kering dari PTBE yang diuji} - \text{kontrol lengkap}}{\text{Bobot kering biomas pupuk N, P, K standar} - \text{kontrol lengkap}} \quad (1)$$

$$RAE = \frac{\text{Bobot kering biomas dari PTBE yang diuji} - \text{kontrol lengkap}}{\text{Bobot kering biomas dari PTS} - \text{kontrol lengkap}} \quad (2)$$

Percobaan 3: Pengaruh PTBE dan PTS Terhadap Populasi Bakteri Pelarut P Asli dan Introduksi

Contoh tanah kering diambil dari ember besar setelah diinkubasi enam minggu untuk mengkaji populasi dua jenis bakteri pelarut P, masing-masing adalah: (1) populasi bakteri pelarut P asli pada contoh tanah yang telah diberi perlakuan (0, 15, 30, 60, 120 l/ha PTBE, dan pembenah tanah standar yang telah diberi perlakuan (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos), dan (2) populasi bakteri pelarut P introduksi pada contoh tanah yang telah diberi perlakuan (0, 15, 30, 60, 120 l/ha PTBE, dan pembenah tanah standar yang telah diberi perlakuan (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos). Parameter sifat biologi tanah (populasi bakteri asli dan introduksi pelarut P) dari contoh tanah komposit dari pot ditetapkan berdasarkan pada metode analisis tanah yang digunakan di laboratorium biologi tanah (Saraswati *et al.* 2007).

Percobaan 4: Pengaruh PTBE terhadap Hasil Padi di Lapangan

Pengaruh PTBE terhadap pertumbuhan tanaman padi diselenggarakan di Desa Dukuh, Kecamatan Cibungbulang, Bogor. Rancangan percobaan yang digunakan adalah acak kelompok dengan perlakuan: (1) kontrol lengkap; (2) NPK standar (300 kg/ha urea, 150 kg/ha SP36, 100 kg/ha KCl); (3) NPK standar (300 kg/ha urea, 150 kg/ha SP36, 100 kg/ha KCl) + 15 l/ha PTBE; (4) NPK standar (300 kg/ha urea, 150 kg/ha SP36, 100 kg/ha KCl) + 30 l/ha PTBE, masing-masing diulang tiga kali. Bibit padi varietas Ciherang umur tiga minggu ditanam pada petakan berukuran 4 m x 5 m dengan jarak tanam 25 cm x 25 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Mutu PTBE

Uji mutu PTBE dan Permentan Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 tentang pembenah tanah disajikan pada Tabel 1.

Hasil analisis PTBE menunjukkan bahwa, PTBE mengandung C-organik total 0,13%; pH 10,4; CaO total 26%; MgO total 7%; logam berat Pb dan As

tidak terdeteksi, sedangkan Cd 0,16 ppm dan Hg 0,27 ppm. Berdasarkan pertimbangan bahwa bahan aktif Ca dan Mg dari PTBE belum diakomodir dalam Permentan tersebut, di samping itu pH PTBE adalah 10,4 di luar kisaran pH Permentan (pH 4–8), sehingga Permentan Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 sangat beralasan untuk diperbaiki dan disempurnakan. Dengan demikian, revisi Permentan tersebut dapat mengakomodir parameter-parameter baru atau merubah nilai parameter lama yang memang seharusnya dirubah. Nilai pH PTBE 10,4 berada di luar kisaran pH berdasarkan Permentan Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 (pH 4–8) tidak mengakibatkan pH tanah naik sampai nilai 10. Fakta ini membuktikan bahwa pH pembenah tanah mesti diperlebar pada kisaran 4–12.

Tabel 1. Uji mutu PTBE dan Permentan Nomor: 02/Pert/HK.060/2/2006 tentang pembenah tanah

Parameter	Uji mutu PTBE	Permentan Nomor: 02/Pert/ HK.060/2/2006
C-organik C (%)	0,13	
pH	10,40	4,0–8,0
NH ₄ (%)	0,02	-
NO ₃ (%)	0,00	-
N total (%)	0,15	-
P ₂ O ₅ total (%)	0,01	-
K ₂ O total (%)	0,02	-
CaO total (%)	26	-
MgO total (%)	7	-
Logam berat:		
As (ppm)	Td*	≤10
Hg (ppm)	0,27	≤1
Pb (ppm)	Td	≤50
Cd (ppm)	0,16	≤10

Keterangan: * = Td (tidak terdeteksi).

Sifat Fisik Tanah sebelum Perlakuan PTBE

Pembenah tanah harus diberikan pada tanah mineral terdegradasi, sebab sifat fisik tanah yang buruk adalah merupakan faktor pembatas pertumbuhan tanaman. Sifat fisik tanah yang diukur sebelum perlakuan PTBE disajikan pada Tabel 2.

Tanah mineral tanah sawah yang digunakan dalam penelitian ini bertekstur liat, dicirikan dengan kandungan pasir 16%, debu 29%, dan liat 55% (Tabel 2). Tekstur berperan penting dalam retensi air mengikuti *soil disturbance*. Tekstur tanah dan pengolahan tanah berpengaruh terhadap retensi air dan pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan tanaman padi akan lebih baik lagi, jika terjadi pencampuran partikel dari horizon tanah yang berbeda dalam hubungannya terhadap distribusi dari pasir, debu, dan liat untuk tanah yang diolah 30–40 cm (Bhagat 2003). Kadar air lapangan hasil analisis fisik tanah adalah 55,39% volume dinilai cukup tinggi, dimana contoh tanah diambil dalam keadaan basah (Tabel 2). BD tanah $1,09 \text{ g/cm}^3$ dinilai sedang dengan kisaran $0,8 \text{ g/cm}^3$ sampai $1,4 \text{ g/cm}^3$ (Tabel 2). Retensi air atau kadar air dari contoh tanah yang digunakan pada tekanan pF 2,54 sebanyak 47,14% volume setara dengan kadar air pada keadaan kapasitas lapang (KL), sedangkan pada tekanan pF 4,2 sebanyak 28,92% volume setara dengan titik layu permanen (TLP) (Tabel 2). Hubungan ruang pori total: pada nilai pF 1,0; pF 2,0; pF 2,54; pF 4,20 dengan kandungan kadar air digunakan untuk menghitung pori drainase (PD) yang terdiri atas pori drainase cepat (PDC) dan pori drainase lambat (PDL). PDC sebagai pori makro berukuran $>30 \mu$ dan PDL sebagai pori mikro berukuran $10\text{--}30 \mu$, dimana analisis air ini sangat berguna dalam pengaturan air irigasi yang lebih efisien, terutama hubungannya terhadap kebutuhan air untuk tanaman dan pengolahan tanah yang berpedoman pada kondisi air tersedia, kapasitas lapang, dan titik layu permanen (De Boodt 1972). Besar kecilnya nilai retensi air sangat dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel tanah, tekstur tanah, kandungan bahan organik tanah yang bersifat hidropilik dan berfungsi memperbaiki struktur tanah. Total PDC cepat 6,93% volume dinilai rendah, dan PDL 3,89% volume dinilai sangat rendah (Tabel 2), artinya tanah itu sesuai digunakan untuk sawah. Sedangkan nilai pori air tersedia 18,22% volume dinilai tinggi dengan kisaran 15–20% volume (Tabel 2), sehingga mampu menyimpan air dalam jumlah tinggi (Uhlund dan O'Neil dalam Lembaga Penelitian Tanah 1979). Nilai rata-rata laju permeabilitas adalah $0,64 \text{ cm/jam}$ (Tabel 2) dinilai lambat.

Indeks kemantapan agregat, plastisitas batas cair, plastisitas batas plastis, indeks plastisitas, perkolasi I x, perkolasi 6 jam, perkolasi 24 jam disajikan pada Tabel 3.

Kemantapan agregat tanah 215,50% dinilai sangat mantap (Tabel 3). Indeks plastisitas 23,47 dinilai tinggi (Tabel 3). Perkolasi I x nilai rata-rata 0,18 (cm/jam), perkolasi 6 jam dengan nilai rata-rata 0,87 (cm/jam). Sedangkan perkolasi 24 jam F (u) dengan nilai rata-rata 0,90 (cm/jam) agak lambat (Tabel 3). Perkolasi I x (cm/jam) Perkolasi I x sebesar 0,18 menunjukkan tanah tergolong stabil (Engineering Consultant Inc. 1972).

Tabel 2. Sifat fisik tanah sebelum perlakuan PTBE

Parameter sifat fisik tanah	Nilai	Kriteria
Pasir (%)	16,00	Tanah bertekstur liat
Debu (%)	29,00	
Liat (%)	55,00	
Kandungan air lapang (% volume)	55,39	Tinggi
BD (g/cm ³)	1,09	Sedang
PD (g/cm ³)	2,59	Tanah mineral baik
Ruang pori total (% volume)	57,96	Sangat tinggi
Retensi air pada pF 1 (% volume)	57,21	-
Retensi air pada pF pF 2 (% volume)	51,03	-
Retensi air pada pF 2,54 (% volume)	47,14	Sama pada KL*
Retensi air pada pF 4,2 (% voumel)	28,92	Sama pada TLP**
Pori drainase cepat (% volume)	6,93	Rendah
Pori drainase lambat (% volume)	3,89	Sangat rendah
Pori air tersedia (% volume)	18,22	Tinggi
Permeabilitas (cm/jam)	0,64	Agak lambat

Keterangan: * KL = Kapasitas lapang; TLP = Titik layu permanen.

Tabel 3. Indeks kemantapan agregat, plastisitas batas cair, plastisitas batas plastis, indeks plastisitas, perkolasi I x, perkolasi 6 jam, perkolasi 24 jam

Jenis analisis	Nilai	Kriteria
Kemantapan agregat (%)	215,50	Sangat mantap
Plastisitas batas cair	58,73	-
Plastisitas batas plastis	35,26	-
Indeks plastisitas	23,47	Tinggi
Perkolasi I x (cm/jam)	0,18	-
Perkolasi 6 jam (cm/jam)	0,87	-
Perkolasi 24 jam (cm/jam)	0,90	Agak lambat

Sifat Fisik Tanah setelah Perlakuan PTBE

Sifat-sifat fisik tanah yang diukur antara lain: BD, ruang pori total, kadar air (pF 1, pF 2, pF 2,54, pF 4,20), pori drainase cepat (% volume), pori drainase lambat (% volume), air tersedia (% volume), laju permeabilitas (cm/jam), laju

Tabel 4. Hasil analisis sifat-sifat fisik tanah pada kedalaman tanah 0–20 cm setelah diberi perlakuan PTBE

Hasil analisis sifat fisik tanah	PTBE				Pb.T std*
	Kontrol	(30 l/ha)	(120 l/ha)	(600 l/ha)	
BD (g/cc)	1,17	1,17	1,16	1,08	0,95
Ruang pori total (% vol)	50,46	50,60	51,11	54,33	61,38
Kadar air (pF 1) (% vol)	49,47	48,09	49,05	52,46	57,24
Kadar air (pF 2) (% vol)	43,19	44,45	44,03	44,95	51,39
Kadar air (pF 2,54) (% vol)	38,91	39,72	39,32	40,32	46,81
Kadar air (pF 4,20) (% vol)	27,35	27,70	28,30	24,95	25,31
Pori drainase cepat (% vol)	7,27	6,15	7,08	9,38	9,99
Pori drainase lambat (% vol)	4,28	4,73	4,71	4,63	4,58
Air tersedia (% vol)	11,56	12,02	11,02	15,37	21,50
Laju perkolasi (cm/jam 1 x)	2,97	-0,37	-1,55	-1,29	9,46
Laju perkolasi (F6) cm/jam	1,33	0,76	0,87	0,64	0,33
Laju perkolasi (cm/jam) (FU)	1,41	0,80	0,89	0,65	0,30

Keterangan: * Pb.T std = pembenah tanah standar (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos).

perkolasi (cm/jam 1 x), laju perkolasi (cm/jam) (F6), laju perkolasi (cm/jam) (FU) disajikan pada Tabel 4.

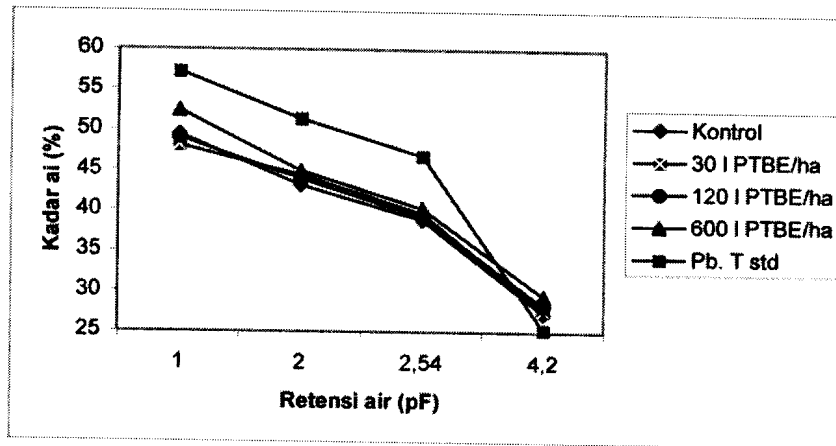
Nilai I_x pada perlakuan PTBE (30, 120, dan 600 l/ha) adalah negatif. Hal ini disebabkan pada saat air perkolasi menetes dari tanah, kondisi agregat tanah sudah stabil, sehingga agregat-agregat tanah tersebut tidak mengalami pemecahan di antara partikel-partikel tanahnya (*dispersion*). Parameter I_x (*instability index*) di bawah nilai 5 berarti agregat tanah tersebut sangat stabil, sebab sudah satu tahun tanah sawah dalam keadaan bera dengan vegetasi tanaman rumput.

Berat Jenis (BD) Tanah

Pengaruh pemberian PTBE cair (0, 30, 120, 600 l/ha) terhadap BD cenderung menurun dengan kisaran BD = 1,17–1,08 g/cc), sedangkan dengan pemberian Pb.T std (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos) terhadap BD cenderung menurun secara signifikan dengan BD 0,95 g/cc (Tabel 4).

Distribusi Pori-pori Tanah

Penambahan PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) dan Pb.T std ternyata dapat meningkatkan retensi air (pF), semakin tinggi dosis PTBE yang diberikan semakin tinggi air yang diretensi (Gambar 1).



Gambar 1. Hubungan pF dan kadar air pada beberapa dosis pemberian PTBE dan Pembenh tanah standar.

Ruang Pori Total

Pengaruh peningkatan pemberian PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) Pb.T cair (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos) meningkatkan ruang pori total masing-masing: 50,46%; 50,60%, 51,11%; 54,33%; dan 61,38% (Tabel 4).

Pori Drainase

Peningkatan pemberian PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) dan Pb.T sebagai pembenh tanah standar cenderung meningkatkan pori drianase cepat (PDC), masing-masing: 7,27%; 6,15%; 7,08%; 9,38%; dan 9,99% (Tabel 4). Konsekuensi peningkatan PDC tanah sawah, antara lain: peningkatan aerasi saat pengelantangan (*uitzuring*) dan pengolahan tanah, dan peningkatan penguapan gas-gas beracun (CH_4 , CO_2). Sebaliknya, peningkatan pemberian PTBE cair (0, 30, 120, 600 l/ha) dan Pb.T standar menurunkan pori drianase lambat (PDL) masing-masing: 4,28%; 4,73%; 4,71%; 4,63%; dan 4,58% (Tabel 4). Konsekuensi penurunan PDL tanah sawah antara lain: jumlah air untuk penjenuhan meningkat tetapi tidak mengubah nilai permeabilitas akhir (Abdullah Abas Idjudin (2009); *personal communication*).

Pori Air Tersedia

Peningkatan pemberian PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) Pb.T cair (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos) cenderung meningkatkan pori air tersedia (% volume) masing-masing: 11,56%; 12,02%; 11,02%; 15,37%; dan 21,50% (Tabel 4).

Pengolahan tanah basah berpengaruh nyata terhadap sifat konduktivitas hidraulik tanah dalam keadaan jenuh dan tidak jenuh, kandungan air tanah, retensi air tanah, dan difusi air tanah. Sifat-sifat tersebut berpengaruh terhadap proses hidraulik, seperti infiltrasi aliran air melalui tanah, drainase, dan evaporasi. Konduktivitas hidraulik tanah dalam keadaan jenuh yang dikenal dengan permeabilitas tanah (Bhagat 2003).

Laju Perkolasi

Permeabilitas tanah dalam hubungannya dengan infiltrasi air dan konduktivitas hidraulik tanah dalam keadaan jenuh setelah tanah diberi PTBE tidak diukur, tetapi laju perkolasi diukur. Infiltrasi air yang menjenuhi tanah, kemudian jika tanah sudah jenuh, maka air bergerak secara vertikal melalui gaya gravitasi ke lapisan tanah yang lebih dalam sebagai air perkolasi, atau cadangan air bawah tanah.

Pengaruh peningkatan pemberian PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) dan Pb.T std terhadap laju perkolasi yang berlangsung secara gravitasi rata-rata 6 jam F(6) cenderung menurun (1,33; 0,76; 0,87; 0,64; 0,33; 0,64 cm/jam) dinilai lambat (Tabel 4), dan juga laju perkolasi rata-rata 24 jam F(U) cenderung menurun (1,41; 0,80; 0,89; 0,65; 0,30 cm/jam) dinilai lambat (Tabel 4). Penurunan laju perkolasi setelah 6 jam, F(6), dan setelah 24 jam, F(U) menunjukkan bahwa lengas tanah meningkat sebagai indikator kemantapan agregat. Laju perkolasi tanah yang dinilai lambat dapat mengurangi risiko hara pupuk yang tercuci ke lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga hara pupuk banyak diserap akar tanaman jika pupuk diberikan dengan cara yang benar. Jika pengolahan tanah basah dapat menciptakan kualitas pelumpuran yang merata sampai kedalaman 30–40 cm, dipastikan air yang tersimpan di tanah lebih banyak, dan risiko kekeringan di MK atau banjir di MH dapat dikurangi.

Indikator Kemantapan Agregat

Indikator kemantapan agregat tanah dicirikan dengan regenerasi struktur tanah. Beberapa peneliti melaporkan regenerasi struktur setelah kondisi tanah dilumpurkan (*puddled*) cepat terjadi (Prihar *et al.* 1985). Sebaliknya, Tsuitsui (1972) melaporkan bahwa regenerasi struktur tanah yang dilumpurkan adalah tidak balik (*irreversible*). Namun, harus diingat bahwa pengaruh *puddling* pada regenerasi struktur tanah lapisan tanah atas tergantung pada tekstur tanah dan stabilitas agregat. Stabilitas agregat ditentukan oleh jumlah dan tipe fraksi liat, bahan organik, dan *hydrous oxide* yang dapat membentuk *interparticle bond*, dan konsentrasi elektrolit dalam larutan tanah. Meskipun demikian, PTBE cair dapat membuktikan bahwa kemantapan agregat yang diindikasikan dengan kecenderungan penurunan BD tanah, pori drianase lambat (% volume), laju perkolasi tanah adalah fakta yang membuktikan bahwa regenerasi struktur tanah yang dilumpurkan adalah cenderung dapat balik (*reversible*).

Sifat Kimia Tanah sebelum Perlakuan PTBE

Sebelum PTBE diberikan ke tanah, maka dilakukan pengambilan contoh tanah komposit dan hasil analisis contoh tanah komposit disajikan pada Tabel 5.

Kemasaman tanah yang digunakan dalam kajian inovasi teknologi pertanian PTBE cair dinilai tinggi dengan pH H_2O 4,8, C-organik (1,06%) rendah, N (0,09%) rendah, P-HCl 25% (99 mg/100 g) sangat tinggi, Bray No. 1 (3,1 ppm P_2O_5) rendah, S-Ca (H_2PO_4)₂ 500 ppm P (102 ppm S) sangat tinggi, Ca-dd (7,22 cmol₍₊₎/kg) rendah, Mg-dd (1,65 cmol₍₊₎/kg) sedang, K-dd (0,03 cmol₍₊₎/kg) sangat rendah, Na-dd (0,33 cmol₍₊₎/kg) rendah, KTK (10,52 cmol₍₊₎/kg) sedang, KB 88% tinggi, Al-dd (cmol₍₊₎/kg) 0,26 rendah, H-dd (cmol₍₊₎/kg) 0,22 rendah, Fe_2O_3 bebas 0,43% (4.300 ppm Fe_2O_3) dinilai tinggi (Tabel 5).

Nisbah Ca/K = $7,22/0,03 = 241/1$ sangat lebar (Tabel 5) dari yang seharusnya (13,5/1), sehingga pupuk KCl harus diberikan. Nisbah Ca/Mg = $7,22/1,65 = 4,4/1$ lebih sempit (Tabel 5) dari yang seharusnya (6,5/1), sehingga hara Ca sangat dianjurkan untuk diberikan agar Mg-dd dan Ca-dd dalam tanah menjadi proporsional, sehingga tidak terjadi antagonisme antara Ca dan Mg dalam hal ketersediaannya bagi pertumbuhan tanaman. Nisbah Mg/K = $1,65/0,03 = 55/1$, lebih lebar (Tabel 5) dari yang seharusnya (2/1), sehingga pupuk K sangat dianjurkan untuk diberikan agar Mg-dd dan K-dd dalam tanah menjadi proporsional, sehingga tidak terjadi antagonisme antara K dan Mg dalam hal ketersediaannya bagi pertumbuhan tanaman. Mengingat nisbah Ca/Mg = $7,22/1,65 = 4/1$ lebih sempit (Tabel 5) dari yang seharusnya (6,5/1), sehingga PTBE cair yang mengandung Ca mutlak harus diberikan.

Sifat Kimia Tanah setelah Perlakuan PTBE

Pemberian PTBE cair berepengaruh terhadap perbaikan sifat kimia tanah seperti kemasaman tanah (pH) menjadi semakin netral. Setelah PTBE cair diberikan dan tanah digenangi sampai berlumpur, maka pH tanah sejak minggu I s.d. V meningkat, masing-masing ditunjukkan pada perlakuan: (1) kontrol (pH 4,88–6,05); (2) 7,5 l/ha PTBE (pH 5,42–6,07); (2) 15 l/ha PTBE (pH 5,44–6,12); (3) 30 l/ha PTBE (pH 5,46–6,14); (4) 60 l/ha PTBE (pH 5,48–6,17); (5) 120 l/ha PTBE (pH 5,51–6,25); (6) 600 l/ha PTBE (pH 5,77–6,29); (7) 5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos sebagai pembenah standar (Pb.T std) (pH 6,03–6,57). Sedangkan pada perlakuan kontrol, pH tanah awal berkisar pH 4,88–4,97 (Tabel 6).

Sebagaimana telah diketahui bahwa pH PTBE dengan nilai 10,4 adalah di luar kisaran kriteria pH pembenah tanah padat yang sudah diatur dalam Permentan No. 02/Pert/HK.060/2/2006, yaitu pH 4–8, tetapi berdasarkan kajian ini maka penggunaan PTBE cair dengan pH 10,4 masih dapat ditoleransi, sebab pemberian PTBE 7,5–600 l/ha tidak meningkatkan pH tanah sampai di atas 8,0.

Tabel 5. Hasil analisis contoh tanah komposit sebelum diberi PTBE

Jenis analisis*	Nilai	Kriteria
pH H ₂ O (1 : 5)	4,8	Masam
pH KCl (1 : 5)	4,4	Masam
C-organik (%) (Walkley dan Black)	1,06	Rendah
N-organik (%) (Walkley dan Black)	0,09	Rendah
C/N	12	Rendah
P-HCl 25% (mg/100 g)	99	Sangat tinggi
K-HCl 25% (mg/100 g)	7	Rendah
P-Bray No. 1 (ppm P ₂ O ₅)	3,1	Rendah
S-Ca(H ₂ PO ₄) ₂ . 500 ppm P (ppm S)	102	Sangat tinggi
Ca-dd (cmol ₍₊₎ /kg); NH ₄ OAc pH 7,0	7,22	Rendah
Mg-dd (cmol ₍₊₎ /kg) NH ₄ OAc pH 7,0	1,65	Sedang
K-dd (cmol ₍₊₎ /kg) NH ₄ OAc pH 7,0	0,03	Sangat rendah
Na-dd (cmol ₍₊₎ /kg) NH ₄ OAc pH 7,0	0,33	Rendah
Jumlah kation (cmol ₍₊₎ /kg)	9,23	Rendah-
KTK (cmol ₍₊₎ /kg) NH ₄ OAc pH 7,0	10,52	Sedang
88	Tinggi	
Al-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,26	Rendah
H-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,22	Rendah
Fe ₂ O ₃ (%) Dithionite	0,43	Sedang

Keterangan: * Contoh tanah dianalisis di Laboratorium Kimia Tanah, Balai Penelitian Tanah dengan No. 08.8469 Seri 44.

Tabel 6. Pengaruh PTBE cair terhadap pH tanah

Perlakuan PTBE cair (l/ha)	pH tanah Minggu 0 ^a 28-11-2008	pH tanah Minggu I ^b 5-12-2008	pH tanah Minggu II ^c 12-12-2008	pH tanah Minggu III ^d 19-12-2008	pH tanah Minggu IV ^e 26-12-2008	pH tanah Minggu V ^f 2-1-2009
Kontrol	4,88	5,26	5,40	5,79	6,03	6,05
7,5	4,91	5,42	5,53	5,83	6,06	6,07
15	4,93	5,44	5,58	5,86	6,08	6,12
30	4,94	5,46	5,68	5,87	6,10	6,14
60	4,96	5,48	5,73	5,88	6,14	6,17
120	4,97	5,51	5,77	5,91	6,22	6,25
600	4,91	5,77	5,93	6,02	6,25	6,29
Pb.T std ^g	4,93	6,03	6,18	6,25	6,51	6,57

Keterangan: *a* = pH minggu ke 0 (satu hari sesudah digenangi tanpa perlakuan); *b* = pH minggu pertama sesudah digenangi + PTBE; *c* = pH minggu II sesudah digenangi + PTBE; *d* = pH minggu III sesudah digenangi + PTBE; *e* = pH minggu IV sesudah digenangi + PTBE; *f* = pH minggu V sesudah digenangi + PTBE; *g* = Pb.T std adalah pembenah tanah standar (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos).

Meskipun demikian, kenaikan pH tanah sawah mineral masam ini bukan upaya terakhir yang dapat memecahkan masalah dalam hubungannya dengan perbaikan lahan sawah yang telah terdegradasi karena: (1) kualitas *puddling* yang tidak sempurna, (2) pemadatan tanah yang diakibatkan penggunaan alsintan, (3) pembentukan lapisan padat di kedalaman 40–50 cm memerlukan waktu puluhan tahun, (4) kation-kation basa (Ca, Mg, K) yang tidak proporsional, (5) besi bebas yang tinggi di lahan sawah bukaan baru berordo Ultisols, (6) kejenuhan Al yang tinggi terutama pada tanah Sulfat Masam Aktual di daerah pasang surut, (7) status hara P yang ekstrim sangat tinggi karena pemupukan hara P selama empat dekade yang mengakibatkan gejala kahat unsur mikro (Zn), (8) penggunaan insektisida yang berlebihan, sehingga populasi organisme tanah (bakteri, cacing) yang sangat bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman padi nyaris dipunahkan (Sharma dan De Datta 1985). Meskipun kondisi kesehatan tanah sawah ini telah terganggu, tetapi secara bertahap dapat dipulihkan kembali dengan pemberian PTBE cair sebagai pembenah tanah yang sudah lolos uji mutu (LUM) dan lolos uji efektivitas (LUE).

Berdasarkan fakta, membuktikan bahwa penggenangan tanah sawah mineral masam yang diberi PTBE dapat meningkatkan pH tanah lebih tinggi lagi, sehingga pemberian PTBE ini adalah upaya pertama dalam perbaikan tanah sawah mineral masam terdegradasi, hal ini disebabkan PTBE meningkatkan fungsi organisme tanah selama pupuk diberikan secara

Tabel 7. Pengukuran pH tanah di pot, pada saat tanaman berumur 5 MST

Perlakuan PTBE cair	Rata-rata pH tanah**
Complete control	5,61
<i>Partial control</i> + NPK	5,80
7,5 l/ha + NPK	5,86
15 l/ha + NPK	5,92
30 l/ha + NPK	6,00
60 l/ha + NPK	6,04
120 l/ha + NPK	6,07
600 l/ha + NPK	6,18
Pembenah tanah standar (Pb.T std)*	6,21

Keterangan: * = 5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos + NPK; ** = Setelah tanaman dipanen, maka tanah dilumpurkan kembali, kemudian pH tanah diukur.

seimbang, dan jenis insektisida yang digunakan harus ramah lingkungan. Meskipun pemberian Pb.T std dalam bentuk dolomit dan kompos masing-masing dengan takaran 5 t/ha meningkatkan pH tanah sedikit lebih tinggi dari pada PTBE, bukan berarti Pb.T std lebih baik dari PTBE. Pelaksanaan pemberian dolomit dan kompos masing-masing dengan takaran 5 t/ha akan memberikan kesulitan dalam aplikasinya, di samping itu membutuhkan biaya produksi yang sangat mahal. Kemasaman tanah juga diukur pada saat tanaman dalam pot berumur 5 MST (Tabel 7).

Kemasaman tanah cenderung semakin turun, artinya pH tanah meningkat berkisar 5,61–6,21 pada masing-masing perlakuan-perlakuan: (1) *complete control* (5,61); (2) *partial control* (5,80); (3) 7,5 l/ha PTBE (5,86); (4) 15 l/ha PTBE (5,92); (5) 30 l/ha PTBE (6,00); (6) 60 l/ha PTBE (6,04); (7) 120 l/ha PTBE (6,07); (8) 600 l/ha PTBE (6,18); (9) 5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos (6,21) (Tabel 7).

Dampak dari hasil penelitian ini diharapkan PTBE dapat meningkatkan kualitas tanah, sehingga produktivitas tanah dan tanaman dapat ditingkatkan. Pemberian PTBE sampai 600 l/ha hanya bertujuan untuk mengetahui ada/tidak adanya dampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman yang diuji, hal ini dibuktikan dengan semakin menurunnya bobot kering jerami padi pada takaran ≥ 30 l/ha PTBE (Tabel 11).

Sifat-sifat kimia tanah dari perlakuan 0, 30, 120, 600 l/ha PTBE dan Pb.T std disajikan pada Tabel 8. Pengaruh PTBE terhadap sifat kimia tanah yang diukur adalah pH, C-organik, kation-kation dapat ditukar (Ca, Mg, K,

Tabel 8. Sifat-sifat kimia tanah setelah diberi PTBE

Sifat kimia tanah setelah diberi PTBE cair	Perlakuan				
	Kontrol	PTBE 30 l/ha	PTBE 120 l/ha	PTBE 600 l/ha	Dolomit + kompos, masing-masing 5 t/ha
pH-H ₂ O	5,20	5,30	5,40	5,50	5,80
pH-KCl	4,40	4,40	4,40	4,60	5,60
C-organik (%)	1,42	1,44	1,37	1,42	1,76
Ca-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	7,70	7,66	6,90	7,66	10,53
Mg-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	1,63	1,69	1,62	1,78	3,28
K-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,24	0,24	0,21	0,21	0,30
Na-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,25	0,25	0,23	0,28	0,28
Jumlah kation (cmol ₍₊₎ /kg)	9,82	9,84	8,96	9,93	14,39
KTK (cmol ₍₊₎ /kg)	11,05	11,24	7,80	10,42	9,46
KB (%)	89	88	>100	95	>100
Al-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,08	0,08	0,06	0,01	0,00
H-dd (cmol ₍₊₎ /kg)	0,08	0,17	0,11	0,11	0,04

Na, Al, H) dan kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB). Sifat-sifat kimia yang diukur hanya perlakuan kontrol, serta 3 tingkat pemberian PTBE masing-masing dengan takaran 30, 120, 600 l/ha, dan di samping itu, satu tingkat Pb.T std (5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos sebagai pembanding). Tanah yang digunakan adalah tanah sawah mineral masam dengan pH-H₂O dan pH-KCl pada perlakuan kontrol (tanpa PTBE) masing-masing adalah 5,2 (pH-H₂O) dan 4,4 (pH-KCl). Pengaruh 4 tingkat PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) terhadap peningkatan pH tanah berkisar 5,2–5,5 (Tabel 9), tetapi peningkatan pH tanah yang diberi Pb.T std sebagai pembanding sampai nilai 5,8 (Tabel 8).

Pengaruh 4 tingkat pemberian PTBE (0, 30, 120, 600 l/ha) terhadap peningkatan pH tanah dengan kisaran sempit, yaitu: 5,2–5,5 (Tabel 8), hal ini disebabkan contoh tanah yang digunakan adalah contoh tanah komposit yang diambil dari ember besar, yang dikeringkan lebih dahulu, ditumbuk, dan diayak, kemudian pH ditetapkan setelah tanah diekstrak dengan air melalui pengocokan selama setengah jam. Pada kondisi seperti itu, maka nilai pH tanah lebih rendah jika dibandingkan dengan pengukuran pH yang kondisi tanahnya tetap berlumpur dan selalu tergenang (Tabel 6), dan pH tanah dalam pot setelah tanaman berumur 5 minggu (Tabel 7).

Kation-kation Dapat Ditukar (Ca, Mg, K, Al, dan H)

Pemberian PTBE cair terhadap nisbah di antara kation-kation dapat ditukar (Ca/K, Ca/Mg, Mg/K) menjadi lebih proporsional, dengan syarat hara dari pupuk KCl mutlak harus diberikan, sebab status awal K-dd tanah sawah sangat rendah (Tabel 5), hal ini sangat erat berhubungan dengan persentase kejenuhan yang ideal, masing-masing Ca = 65%, Mg = 10%, dan K = 2% (Westerman 1990). Pemberian PTBE cair terbukti dapat memperbaiki nisbah Ca/K, Ca/Mg, Mg/K yang proporsional, sehingga ketersediaan hara yang diserap akar tanaman lebih optimal (Tabel 9).

Pengaruh 3 tingkat pemberian PTBE (30, 120, 600 l/ha) terhadap proporsionalitas kation-kation dapat ditukar dapat dijelaskan dengan cara menghitung nisbah Ca/K, Ca/Mg, dan Mg/K (Tabel 9). Nisbah kation-kation dapat ditukar terutama Mg/K = 7/1 terlalu lebar pada perlakuan 30 l/ha PTBE belum proporsional (Tabel 9), sehingga nisbahnya harus dipersempit dengan memasukkan hara K dari pupuk KCl dengan takaran maksimum 543 kg/ha, namun dosis pupuk KCl itu jangan diberikan sekaligus dengan takaran tinggi, sebab tanah akan menjadi rusak. Oleh karena itu, dosis pupuk KCl minimal yang diberikan adalah 50–100 kg/ha pada setiap kali akan tanam padi bersama-sama dengan pemberian kompos jerami padi sebagai sumber hara K ke tanah sawah. Kemudian paling cepat tiga tahun sekali, contoh tanah komposit diambil lagi, untuk mengevaluasi kembali keseimbangan hara Mg dan K.

Nisbah kation-kation dapat ditukar terutama Ca/K = 32/1 terlalu lebar pada perlakuan 30 l/ha PTBE belum proporsional (Tabel 9), sehingga nisbahnya harus dipersempit dengan memasukkan hara K dari pupuk KCl dengan takaran maksimum 485 kg/ha, namun dosis pupuk KCl itu jangan diberikan sekaligus, sebab tanah akan menjadi rusak. Oleh karena itu, dosis pupuk KCl minimal yang diberikan 100 kg KCl/ha setiap kali akan tanam padi bersama-sama dengan pemberian kompos jerami padi sebagai sumber hara K ke tanah sawah. Kemudian paling cepat tiga tahun sekali, contoh tanah komposit diambil lagi untuk mengevaluasi kembali keseimbangan hara Mg dan K.

Tabel 9. Nisbah kation-kation dapat ditukar

No. perlakuan	PTBE cair (l/ha)	Ca/K	Ca/Mg	Mg/K	Keterangan
1.	Kontrol	29/1	5/1	7/1	Nisbah Ca/K, Ca/Mg, Mg/K belum proporsional, sebab hara K dari pupuk KCl yang diberikan relatif masih rendah.
4.	32/1	5/1	7/1		
6.	120	33/1	4/1	8/1	
7.	600	36/1	4/1	8/1	
8.	Dolomit + kompos	35/1	3/1	11/1	

Nisbah kation-kation dapat ditukar terutama $\text{Ca/Mg} = 5/1$ pada perlakuan 30 l/ha PTBE relatif proporsional (Tabel 9), sehingga kandungan Ca dan Mg dalam PTBE (25,99% CaO dan 7,34% MgO) (Tabel 1) sudah ideal untuk tanaman padi, dan jika kandungan Mg dalam PTBE dinaikkan lagi dapat berdampak negatif terhadap ketersediaan K yang akan diserap akar tanaman. Oleh karena itu, dapat dibuat kesimpulan sementara, bahwa dosis optimal PTBE adalah 15 liter PTBE cair/ha dan dosis maksimal adalah 40 l/ha PTBE.

Pengaruh PTBE cair terhadap populasi BPF asli di dalam tanah dan populasi bakteri yang diintroduksi disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengaruh PTBE terhadap populasi BPF asli di tanah dan populasi bakteri yang diinokulasi

Populasi BPF (cfu/g tanah)	Populasi BPF (cfu/g tanah)	
	BPF asli	BPF introduksi
Kontrol	$1,85 \times 10^6$	$2,6 \times 10^6$
15 l/ha	$1,40 \times 10^6$	$3,7 \times 10^6$
30 l/ha	$7,30 \times 10^7$	$2,3 \times 10^8$
60 l/ha	$4,00 \times 10^3$	$5,2 \times 10^6$
120 l/ha	$1,85 \times 10^4$	$4,6 \times 10^5$
Pb.T std	$1,50 \times 10^7$	$4,7 \times 10^7$

Populasi BPF asli pada perlakuan kontrol dan 15 l/ha PTBE relatif hampir sama yaitu berkisar antara $1,40 \times 10^6$ sampai $1,85 \times 10^6$ cfu/g tanah (Tabel 10). Demikian juga, populasi BPF introduksi pada perlakuan kontrol dan 15 l/ha PTBE relatif hampir sama, yaitu berkisar antara $2,6 \times 10^6$ sampai $3,7 \times 10^6$ cfu/g tanah. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 15 l/ha PTBE belum mampu meningkatkan aktivitas BPF. Populasi BPF asli dan introduksi tertinggi dicapai pada dosis 30 l/ha PTBE, masing-masing $7,30 \times 10^7$ dan $2,3 \times 10^8$ cfu/g tanah. Peningkatan pemakaian dosis PTBE 60 l dan 120 l/ha cenderung menurunkan populasi BPF asli dan BPF introduksi (Tabel 10), hal ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan pH tanah sampai $\text{pH} > 6,0$ (Tabel 7) yang menghambat perkembangan populasi BPF. Meskipun populasi BPF asli dan BPF introduksi dengan pemakaian Pb.T std (campuran 5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos) meningkatkan populasi BPF asli dan BPF introduksi masing-masing $1,50 \times 10^7$ dan $4,7 \times 10^7$ cfu/g tanah, tetapi relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan pemakaian 30 l/ha PTBE. Pemakaian Pb.T sebanyak itu secara ekonomis tidak menguntungkan.

Tabel 11. Pengaruh PTBE cair jumlah anakan dan bobot jerami kering tanaman padi varietas Ciherang umur 5 MST

PTBE cair (l/ha)	Pertumbuhan tanaman	
	Jumlah anakan (rumpun)	Bobot kering jerami (g/pot)
CC*	7 d	1,90 c
PC** + NPK	23 bc	9,27 ab
7,5 + NPK	19 c	9,29 ab
15 + NPK	26 ab	9,90 ab
30 + NPK	27 ab	9,86 ab
60 + NPK	24 bc	9,61 ab
120 + NPK	22 bc	7,69 b
600 + NPK	21 bc	7,92 b
Pb.T std***	31 a	10,44 a

Keterangan: * CC = *Complete control*; ** PC = *Partial control*; *** Pb.T std = Pembenah tanah padat campuran 5 t/ha dolomit + 5 t/ha kompos.

Berdasarkan turunan pertama dari persamaan kuadrat ($y = -0,0003x^2 + 0,0245x + 9,4057$) hubungan 5 tingkat pemberian PTBE (0, 15, 30, 60, 120 l/ha) terhadap bobot kering jerami (g/pot), maka dosis PTBE yang direkomendasikan adalah 40 l/ha.

Serapan Hara

Pengaruh PTBE terhadap serapan hara (N, P, K, Ca, Mg, Zn) disajikan pada Tabel 12. Serapan hara N, P, K, Ca, Mg, Zn untuk tanaman padi sawah umur 5 MST pada perlakuan 15 l/ha PTBE sudah optimal.

Relative Agronomy Effectiveness (RAE)

Pengaruh PTBE terhadap nilai RAE disajikan pada Tabel 13. Berdasarkan perhitungan *Relative Agronomic Effectiveness* (RAE), maka nilai RAE terhadap perlakuan PC (pupuk NPK standar sebagai perlakuan standar 1), maka nilai RAE dengan peningkatan PTBE 7,5 l sampai 600 l/ha berkisar 100% sampai 79%, dengan nilai tertinggi 109% pada perlakuan 15 l/ha PTBE.

Demikian juga, berdasarkan perhitungan RAE, maka nilai RAE terhadap perlakuan Pb.T (pupuk NPK std + Pb.T std sebagai perlakuan standar 2), maka nilai RAE dengan peningkatan PTBE 7,5 l sampai 600 l/ha berkisar 86% sampai 68%, dengan nilai tertinggi 94% pada perlakuan 15 l/ha PTBE. Semakin meningkat dosis PTBE, maka nilai RAE terhadap perlakuan standar 1 (PC) dan perlakuan standar 2 (Pb.T), maka nilai RAE-nya menurun drastis.

Tabel 12. Pengaruh PTBE terhadap serapan hara (N, P, K, Ca, Mg, Zn)

Perlakuan PTBE (l/ha)	Hara diserap akar tanaman (mg/tanaman/pot)					
	N	P	K	Ca	Mg	Zn
CC*	23	5	29	8	4	0,10
PC**	320	15	203	22	14	0,57
7,5	307	15	155	25	13	0,51
15	294	15	171	27	16	0,56
30	283	13	167	23	14	0,53
60	328	15	188	25	15	0,59
120	243	10	139	16	10	0,34
600	254	11	150	19	13	0,45
Pb.T***	243	18	213	26	20	0,50

Keterangan: * CC = *Complete control*; ** PC = *Partial control*; *** = Pembenh tanah standar (Pb.T std) padat.

Tabel 13. Pengaruh PTBE terhadap nilai RAE

Perlakuan	BK jerami (g/pot) dari PTBE yang diuji	RAE	
		PC	Pb.T
<i>Complete control</i> *	1,90 c	-	-
Perlakuan standar 1**	9,27 ab	-	-
Perlakuan standar 2***	10,44 a	-	-
7,5 + NPK	9,29 ab	100	86
15 + NPK	9,90 ab	109	94
30 + NPK	9,86 ab	108	93
60 + NPK	9,61 ab	105	90
120 + NPK	7,69 b	79	68
600 + NPK	7,92 b	82	70

Keterangan: * *Complete control* (tanpa pupuk); ** = Perlakuan standar 1 = hanya pupuk NPK standar (*Partial control*); *** = Perlakuan standar 2 = pupuk NPK std + Pb.T std (dolomit + pupuk kandang).

Tabel 14. Pengaruh PTBE terhadap hasil gabah kering giling gabah

Perlakuan	Hasil gabah kering (t/ha)			Rata-rata (t/ha)
	Ullangan I	Ullangan II	Ullangan III	
Kontrol lengkap	2,86	3,11	3,28	3,08 e
NPK std	5,56	5,47	4,35	5,13 cd
NPK std + 15 l/ha PTBE	5,79	5,58	5,74	5,70 bc
NPK std + 30 l/ha PTBE	6,52	7,28	7,79	7,20 a

Keterangan: Angka dalam kolom sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% DMRT.

Bobot Gabah Kering

Pengaruh PTBE terhadap hasil gabah kering giling disajikan pada Tabel 14. Peningkatan hasil gabah pada perlakuan 30 l/ha PTBE terhadap pupuk NPK standar (300 kg/ha urea + 100 kg/ha SP36 + 100 kg/ha KCl) sangat signifikan dibanding terhadap perlakuan 15 l/ha PTBE, pupuk NPK standar, dan kontrol lengkap masing-masing dengan perbedaan hasil: 1,39 t; 2,07 t; 4,11 t/ha. Jadi, PTBE adalah inovasi teknologi pembenah tanah yang sangat baik untuk memperbaiki tanah mineral masam yang ditanami padi.

KESIMPULAN

1. Uji mutu pembenah tanah PTBE dalam bentuk cair menunjukkan bahwa bahan aktif yang digunakan mengandung: CaO total 25,99% dan MgO total 7,34% berdampak positif terhadap perbaikan sifat-sifat tanah lolos uji mutu.
2. Uji efektivitas menunjukkan bahwa pemberian PTBE berpengaruh positif terhadap perbaikan sifat-sifat fisika, kimia, dan biologi tanah.
3. Dosis optimum PTBE yang direkomendasikan berkisar 15–40 l/ha.
4. Berdasarkan nilai RAE, maka dosis PTBE cukup 15 l/ha, hal ini ditunjukkan bahwa nilai tertinggi (109%) diperoleh pada dosis 15 l/ha PTBE.
5. Cara pemberian 15 l/ha PTBE adalah bersamaan dengan pengolahan tanah terakhir dan tercampur rata dengan tanah sedalam 15 cm, dimana PTBE diencerkan dulu sampai 225 liter air (nisbah 1 : 15) sangat baik digunakan sebagai penyehat tanah, terutama tanah sawah mineral masam yang telah terdegradasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Dady Rianto, PT UD Gema Tani Pratama, yang telah menyediakan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jabri, M. 2006. Penetapan rekomendasi pemupukan berimbang berdasarkan analisis tanah untuk padi sawah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Vol. 1, No. 2. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB. 290 p.
- Bahgat, R.M. 2003. Management of soil physical properties of lowland puddled rice soil for sustainable food production. Lecture given at College of Soil Physic. Trieste, 3–4 March 2003. Department of Soil Science, CSKHPAU, Plaampur HP, India.
- De Boodt, M. 1972. *Soil Physics*. International Training Center for Post Graduate in Soil Sciences. State University of Ghent, Belgia.
- El-Swaify, S.A., and E.W. Dangler. 1976. Erodibilities of selected tropical soil in relation to structural and hydrological parameters. *Hawaii Agric. Exp. Sta. Bull*, No. 2019.
- Engineering Consultant Inc. 1972. The Projects Land Classification Laboratory Percolation Test used Disturbed Sample. Technical Program. Appendix L. Engineering Consultant Inc. Bangkok.
- Kemper, E.W., and R.C. Rosenau. 1986. Agregate stability and size distrution. p. 425–461. *In*: A. Klute (Ed.). *Method of Soil Analysis Part 1*. 2nd. ASA. Madison, Wisconsin.
- Kurnia U., F. Agus, A. Adimihardja, Ai Dariah. 2006. *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Lembaga Penelitian Tanah. 1980. Term of Reference (TOR) Tipe A Pemetaan Tanah, Proyek Penelitian Pertanian Menunjang Transmigrasi (P3MT). Badan Penelitian Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Lembaga Penelitian Tanah. 1979. *Penuntun Analisa Tanah*. Lembaga Penelitian Tanah.
- Machay, A.D., J.K. Syers, and P.E.H. Gregg. 1984. Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock material. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 27: 219–230.

- Prihar, S.S., B.P. Ghildyal, D.K. Painuli, and H.S. Sur. 1985. Physical properties of mineral soils affecting rice-based cropping system. *In: Soil Physics and Rice*. p. 57–70. International Rice Research Institute.
- Saraswati, R., Edi Husen, R.D.M. Simanungkalit. 2007. Metode Analisis Biologi. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. 299 p.
- Sanchez, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley and Sons. New York. London. Sydney. Toronto. 618p.
- Sharma, P.K., and S.K. De Datta. 1985. Effects of piddling on soil physical properties and processes. *In: Soil Physics and Rice*: p. 217–234. International Rice Research Institute.
- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Deptan.
- Tsuitsui, H. 1972. Water Management and Requirement for Rice Cultivation under Different Irrigation Methods and Cultivation Technique. UN FAO Irrig. Drainage Pap. 12.
- Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. Third Edition. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. 784 p.