

KANDUNGAN AMONIUM DAN KALIUM TANAH DAN SERAPANNYA SERTA HASIL PADI AKIBAT PERBEDAAN PENGOLAHAN TANAH YANG DIPUPUK NITROGEN DAN KALIUM PADA TANAH SAWAH

SOIL AMMONIUM AND POTASSIUM CONTENTS AND THEIR UPTAKE AS WELL AS YIELD OF LOWLAND RICE AS AFFECTED BY TILLAGE SYSTEM AND APPLICATION OF NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZERS

Soni Isnaini

*Jurusan Agronomi, STIPER Dharma Wacana, Lampung
soni65@plasa.com*

ABSTRACT

Tillage system can influence organic matter, nitrogen (N), and potassium (K) in the soil solution. Ammonium (N-NH_4^+) buffer capacity is influenced by K^+ in the soil solution. The objective of this study was to determine the content of N-NH_4^+ and K exchangeable (K-ex.) and its uptake as well as yield of rice (*Oryza sativa* L.) in the lowland rice fields under intensive/conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) with application of nitrogen (N) and potassium (K) fertilizers. The experiment was conducted during rainy season 1999/2000 (8th growth season) in Kedaloman village, Talangpadang, Tanggamus, Lampung Province. The study was part of long-term research established since dry season 1996. The experiment was set up in a completely randomized block design with three replications. There were three treatments allocated in a factorial arrangement, i.e. (1) tillage system (CT and NT); (2) K fertilizer (without K and 49.8 kg ha^{-1} K); and (3) N fertilizer ($46, 115, \text{ and } 184 \text{ kg ha}^{-1}$ N). Results of the study showed that N-NH_4^+ content and K uptake was affected by the interaction of tillage system, N and K fertilizers. When 49.8 kg ha^{-1} K was supplied, application of 184 kg ha^{-1} N produced higher N-NH_4^+ content and K uptake than 46 kg ha^{-1} N on both CT and NT. K-ex. and N uptakes on NT was 18% and 9% higher than those on CT, respectively. Application of nitrogen at 184 kg ha^{-1} N had the highest effect on K-ex., N uptake, and yield of rice. Application of $49.8 \text{ kg K ha}^{-1}$ produced K-ex. 12% higher than without K. In conclusion the N-NH_4^+ , K-ex., N and K uptake, and yield of rice were strongly determined by N fertilizer rather than the tillage system or K application.

Key words: ammonium, lowland, nitrogen, potassium, rice, tillage

ABSTRAK

Penelitian lapangan dilakukan pada musim hujan (MH) 1999/2000 yang bertujuan untuk mengukur kandungan dan serapan ammonium (N-NH_4^+) dan kalium (K) dapat dipertukarkan (K-dd) tanah serta hasil padi (*Oryza sativa* L.) pada tanah sawah yang diolah secara intensif (OTI) dan tanpa olah tanah (TOT) yang dipupuk N dan K. Lahan percobaan terletak di desa Kedalaman, kecamatan Talangpadang, kabupaten Tanggamus Lampung yang merupakan lokasi penelitian jangka panjang penerapan teknik pengolahan tanah sawah yang ditanami padi secara monokultur yang telah berlangsung selama 7 musim tanam dimulai MK 1996. Percobaan berpola faktorial yang disusun dalam rancangan acak kelompok (RAK). Perlakuan yang diuji terdiri atas tiga faktor perlakuan, yaitu (1) sistem olah tanah (OTI dan TOT), (2) pemupukan K (tanpa K dan 49.8 kg ha^{-1} K), dan (3) pemupukan N ($46, 115, 184 \text{ kg ha}^{-1}$ N). Kombinasi perlakuan diulang tiga kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara ketiga faktor perlakuan berpengaruh terhadap kandungan N-NH_4^+ dan serapan K. Pemupukan 184 kg ha^{-1} N menghasilkan kandungan N-NH_4^+ dan serapan K lebih tinggi daripada 46 kg ha^{-1} N pada kedua sistem olah tanah, jika pupuk 49.8 kg ha^{-1} K diaplikasikan. Kalium -dd dan serapan N yang dihasilkan TOT lebih tinggi 18% dan 9% daripada OTI. Pemupukan 184 kg ha^{-1} N menghasilkan K-dd, serapan N, dan hasil gabah lebih tinggi masing-masing 39%, 75%, dan 33% daripada 46 kg ha^{-1} N, secara berurutan. Pemupukan 49.8 kg ha^{-1} K menghasilkan K-dd lebih tinggi 12% daripada tanpa K. Disimpulkan bahwa N-NH_4^+ , K-dd, serapan N dan K serta hasil gabah sangat ditentukan oleh pemupukan N daripada perlakuan pengolahan tanah dan pemupukan K.

Kata kunci: amonium, kalium, nitrogen, olah tanah, padi, tanah sawah

PENDAHULUAN

Pengolahan tanah pada pertanaman padi sawah selama ini diikuti dengan pengolahan tanah yang intensif, yaitu pelumpuran. Pelumpuran akan menekan pertumbuhan gulma, membuat perakaran tanaman padi mudah berkembang, dan mudah melakukan sistem pindah-tanam (De Datta, 1981). Ternyata pelumpuran juga berakibat terhadap kondisi tanah menjadi lebih reduktif, memerlukan air dan tenaga kerja cukup besar, pembajakan menyebabkan partikel tanah dan hara hanyut mengikuti aliran air dan sejalan dengan itu dekomposisi bahan organik akan lebih lambat (Sharma and De Datta, 1985^b).

Pada jenis tanah-tanah tertentu budidaya tanaman padi di sawah sebenarnya tidak mutlak memerlukan pengolahan tanah sebab ketersediaan air lahan sawah sudah dapat membantu proses pelumpuran. Untuk tujuan tersebut, penelitian dan pengembangan budidaya tanpa olah tanah (TOT) pada padi sawah perlu dilakukan. Dengan sistem TOT, di samping tanah dan air dapat dilestarikan, energi, biaya, dan waktu juga dapat dihemat. Bahkan, jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan dapat ditekan dan pendapatan petani dapat ditingkatkan (Isnaini dan Hermawan, 1998). Tanpa olah tanah adalah cara persiapan tanah untuk budidaya tanaman dengan tanpa mengganggu tanah. Tanah dibiarkan seperti apa adanya, kecuali tempat bertanam atau tempat benih ditugalkan sedangkan gulma dan tunas-tunas sisa pertanaman musim sebelumnya dikendalikan dengan herbisida (Dickey *et al.*, 1992).

Sanchez (1973^{ab}) menyimpulkan bahwa walaupun pelumpuran dalam pengolahan tanah sempurna mengurangi kehilangan air dan hara akibat perkolasi, tetapi belum ditemukan bukti-bukti bahwa pelumpuran memperbaiki pengambilan unsur hara oleh tanaman padi, dan kebutuhan air untuk pelumpuran juga cukup besar, yaitu $\pm 25\%$. Sejalan dengan hasil penelitian Sanchez (1973^a) di atas, Sharma and De Datta (1985^{a, b}) dan Isnaini (1996) memperoleh hasil yang serupa. Penemuan di atas mempunyai akibat bahwa pelumpuran itu tidak relevan dalam memberikan keuntungan untuk menciptakan

pengolahan tanah yang lembut, mengurangi kehilangan hara dan air, dan mengendalikan gulma. Untuk itu, perlu dicari cara pengolahan tanah yang lain yang dapat memproduksi hasil padi yang sama dengan cara pengolahan tanah konvensional (pelumpuran). Mungkin teknologi sistem TOT cocok untuk diterapkan. Bahkan Munir (1997) menyimpulkan bahwa sistem budidaya padi tidak lagi harus pada tanah tergenang dan berlumpur.

Pengendalian gulma dengan herbisida tentunya dapat menambah bahan organik tanah yang berasal dari tunggul dan turiang padi yang mati. Pada lahan sawah TOT, mulsa yang berasal dari tunggul, turiang, dan gulma yang telah dikendalikan dengan herbisida bermanfaat sebagai sumber bahan organik (Isnaini, 1996). Salah satu faktor yang mempengaruhi dekomposisi bahan organik adalah keberadaan nitrogen (N) yang tersedia bagi tanaman dan jasad renik. Pemberian N dan bahan organik secara bersama-sama diharapkan dapat meningkatkan N tersedia tanah. Menurut Kumuzawa (1984), imobilisasi dan mineralisasi N diregulasi dengan menambahkan bahan organik dan N secara bersamaan, sehingga penyerapan N oleh tanaman akan meningkat, diharapkan hasil bijipun meningkat pula.

Pada prinsipnya pengolahan tanah dapat mempengaruhi jumlah bahan organik dan N tanah. Begitu pula, K di dalam larutan tanah akan terpengaruhi di samping proses penyerapan oleh mineral liat. Ion amonium (N-NH_4^+) dan ion kalium (K^+) hasil dekomposisi bahan organik dan pemupukan urea dan KCl dapat dijerap oleh mineral liat. Beberapa penelitian tentang hubungan antara pengolahan tanah maupun akumulasi bahan organik dan karakteristik pertukaran N-NH_4^+ dan atau K^+ sudah banyak dilakukan, khususnya pada lahan kering daerah subtropis (Lumbanraja and Evangelou, 1994), sedangkan pada lahan basah (sawah) masih sangat jarang dilakukan, di antaranya telah dilakukan oleh Pasricha (1976), Pasricha and Singh (1977), dan Lumbanraja *et al.* (1997). Informasi tentang perilaku K^+ di dalam tanah sawah, baik yang berasal dari pupuk maupun bahan organik, dan mineral tanah dalam hubungannya dengan

keberadaan ion N-NH_4^+ dari urea dan bahan organik serta hubungannya dengan pengolahan tanah sawah tropis belum tersedia.

Penerapan tanpa olah tanah sawah dengan karakteristik tanah yang berbeda, terutama kandungan bahan organiknya, masih jarang dilakukan. Sejalan dengan itu, informasi yang tersedia juga sedikit. Atas dasar itu, perlu dilakukan penelitian yang mempelajari pengolahan tanah sawah dan pemupukan terutama N dan K hubungannya dengan kandungan hara tanah dan hasil padi. Tujuan penelitian untuk mempelajari kandungan N-NH_4^+ , K-dd dan serapan hara N dan K serta hasil padi pada dua cara pengolahan tanah sawah yang dipupuk N dan K.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di desa Kedaloman, kecamatan Talangpadang, kabupaten Tanggamus (± 60 km dari kota Bandar Lampung) pada jenis tanah Inceptisols (Isnaini, 2001) pada ketinggian 500-600 m dari muka laut dengan curah hujan termasuk golongan iklim B (basah). Lahan tempat penelitian merupakan lokasi penelitian jangka panjang penerapan teknik pengolahan tanah sawah yang ditanami padi secara monokultur yang telah berlangsung selama 7 musim tanam (MT) sejak MK 1996, sedangkan penelitian ini sendiri dilakukan pada MT ke-8 pada MH 1999/2000. Penetapan kandungan hara dalam tanah dan tanaman dilakukan di laboratorium Balitbio Tanaman Pangan Bogor.

Bahan yang digunakan terdiri atas pupuk urea prill ($460 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$) dan KCl ($498 \text{ g kg}^{-1} \text{ K}$) sebagai perlakuan, SP-36 ($158 \text{ g kg}^{-1} \text{ P}$) 100 kg ha^{-1} , herbisida berbahan aktif (b.a.) isopropilamina glyfosat 240 g L^{-1} (Polaris 240 AS), benih padi 'IR64' dan insektisida karbofuran 30 g kg^{-1} (Curater 3 G) bahan-bahan untuk menganalisis tanaman di laboratorium. Alat-alat pengolahan tanah yang digunakan disesuaikan dengan kebiasaan petani setempat, dan alat semprot yang digunakan bertipe T.

Percobaan berpola faktorial yang disusun dalam rancangan acak kelompok (RAK).

Perlakuan yang diuji terdiri atas tiga faktor perlakuan, yaitu (1) sistem olah tanah (t) adalah $t_1 = \text{OTI}$ (intensif/konvensional; cara petani) dan $t_2 = \text{TOT}$, (2) pemupukan K (k) dengan dua tingkat dosis, yaitu $k_0 = \text{tanpa KCl}$ dan $k_1 = 49.8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ (setara $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ KCl}$), dan (3) pemupukan N (n) dengan tiga tingkat dosis, yaitu $n_1 = 46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $n_2 = 115 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, dan $n_3 = 184 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ (setara 100, 250, dan 400 kg ha^{-1} urea). Kombinasi perlakuan diulang tiga kali sehingga seluruhnya terdapat $(2 \times 2 \times 3) \times 3 = 36$ satuan percobaan.

Sehari setelah tanah digenangi diambil contoh tanah beserta airnya dari semua kombinasi perlakuan secara komposit dari tiga ulangan untuk menetapkan beberapa sifat kimia, yaitu pH-air, C-organik (metode Kurmis), N-total (metode Kjeldahl), nisbah C:N, untuk menetapkan N-NH_4^+ (1 N KCl), P-tersedia (Bray I), sedangkan metode ekstraksi $1 \text{ N NH}_4\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ pH 7,0 digunakan untuk menetapkan K-dd, Ca-dd, Mg-dd, dan Na-dd, Fe dan Mn (metode DTPA), dan KTK (metode perkolasi).

Data yang dikumpulkan terdiri atas : N-NH_4^+ metode ekstraksi 1 N KCl dan K-dd metode $1 \text{ N NH}_4\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ pH 7,0. Serapan hara (g rumpun^{-1}) dalam tanaman padi yang meliputi hara N dan K ditetapkan dengan rumus: status hara (g kg^{-1}) \times bobot kering tanaman (kg rumpun^{-1}). Hasil padi yang diambil dari petakan panen berukuran $1 \times 2 \text{ m}^2$ yang dipanen saat 102 hst. Pengamatan dilakukan pada saat primordium bunga atau 42 hst untuk melihat kadar hara dalam tanah dan tanaman padi. Contoh tanaman yang diambil sebanyak empat rumpun untuk tiap satuan percobaan yang ditentukan secara acak di luar petakan panen. Cara pengambilan contoh tanah dilakukan secara diagonal terstruktur dari lima titik pengamatan; disatukan dan diambil lebih kurang 1.0 kg beserta air sawahnya.

Data yang terkumpul dianalisis ragam multivariat untuk kelompok data: (1) kandungan N-NH_4^+ dan K-dd dan (2) serapan N dan K, sedangkan hasil gabah dianalisis ragam univariat. Sebelum kuadrat tengah galat masing-masing data digunakan sebagai penduga tak-bias, terlebih dahulu diuji dengan uji Bartlett untuk menguji kehomogenan ragam tiap perlakuan dan diuji

ketak-aditifan antara lingkungan dan perlakuan yang dikenalkan Tuckey (Steel and Torrie, 1980). Untuk membandingkan perbedaan antara nilai tengah perlakuan dilakukan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%.

Untuk cara TOT, gulma dan turiang disemprot dengan herbisida glyfosat dengan volume semprot 500 L ha⁻¹ larutan; seminggu setelah penyemprotan tanah digenangi selama 21 hari. Untuk OTI, tanah dicangkul sekali lalu digenangi satu minggu, dicangkul sekali lagi, lalu digaru dan tanah digenangi 14 hari dan lahan siap ditanami bibit padi.

Bibit padi 'IR64' ditanam di antara dua tunggul padi untuk cara tanpa olah tanah, sedangkan pada olah tanah sempurna ditanamkan dengan jarak 22.5 cm x 22.5 cm (kira-kira 19.750 rumpun ha⁻¹) sebanyak 3-4 batang tiap lubang tanam; yang dipelihara 3 batang saja (penjarangan dilakukan saat 15 hst). Pupuk urea prill diberikan secara bertahap sesuai dengan perlakuan, yaitu 1/3 bagian saat tanam, 1/3 bagian saat 21 hst, dan sisanya saat primordium bunga. Pupuk SP-36 seluruhnya diberikan saat tanam bersamaan 1/2 dosis pupuk KCl, sedangkan 1/2 dosis KCl sisanya diberikan saat 21 hst. Pemberian pupuk urea, SP-36, dan KCl secara disebar rata. Pemeliharaan dilakukan secara intensif, karbofuran 30 g kg⁻¹ diberikan saat tanam dan saat primordium bunga. Pengendalian gulma dilakukan sesaat setelah kepadatan gulma diamati 21 hst dengan menggunakan metil metsulfuron 200 g kg⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kepadatan gulma dan turiang padi yang merupakan sumber bahan organik sebelum pengolahan tanah dilakukan memperlihatkan bahwa turiang padi tumbuh secara merata di setiap petak percobaan. Pada petakan percobaan, jenis gulma yang tumbuh sebanyak 24 spesies,

Echinochloa colonum merupakan gulma dari golongan berdaun kecil yang mendominasi petakan percobaan pada posisi pertama sebesar 75%, kedua *Nasturtium mantanum* (33%), ketiga *Ageratum conyzoides* dan *Digitaria ciliaris* (25%) lalu diikuti oleh spesies gulma lainnya.

Lapisan olah pada kedalaman 0-20 cm menunjukkan bahwa tanah sawah *Fragiaquepts Aeric* mempunyai pH antara 5.83-6.62 (agak masam). Penggenangan menyebabkan nilai pH meningkat mendekati netral hingga saat 42 hsd (hari setelah digenangi) atau 21 hst, setelah itu menurun sedikit saat 63 hsd (42 hst). Nilai-nilai berikut adalah kisaran hasil analisis hara tanah dari semua kombinasi perlakuan: kandungan C-organik berkisar 12.4-14.7 g kg⁻¹, N tanah total 1.2-1.6 g kg⁻¹, nisbah C:N 8.2-13.8, KTK 14.87-17.75 cmol_ckg⁻¹, K-dd 0.23-0.35 cmol_ckg⁻¹, Mg-dd 4.71-5.64 cmol_ckg⁻¹, N-NH₄⁺ 61.1-204.5 mg kg⁻¹, P-tersedia 3.3-6.3 mg kg⁻¹, Fe 38.43-69.02 mg kg⁻¹, dan Mn 7.96-42.04 mg kg⁻¹. Perlakuan TOT selama 7 MT memberikan N total dan Mg-dd lebih tinggi daripada OTI. Hal ini mungkin karena bahan organik yang berada di atas tanah permukaan yang langsung bersentuhan dengan pupuk lebih mudah terdekomposisi.

Kandungan N-NH₄⁺ tanah

Kandungan N-NH₄⁺ tanah pada dua cara olah tanah sawah dengan pemupukan N bervariasi dosis, tanpa dan dipupuk K disajikan dalam Tabel 1. Kandungan N-NH₄⁺ tanah sawah yang diolah intensif, baik tanpa maupun dengan K pada pemupukan 46 dan 115 kg ha⁻¹ N peningkatannya belum berbeda secara statistika, tetapi pada 184 kg ha⁻¹ N yang dipupuk K meningkatkan N-NH₄⁺ tanah 39.63% daripada tanpa K. Pada TOT, variasi kandungan N-NH₄⁺ tanah memiliki pola yang sama dengan OTI.

Tabel 1. Kandungan N-NH₄⁺ tanah sawah yang diolah intensif dan tanpa olah tanah yang dipupuk N bervariasi dosis dan K

Pengolahan tanah	Pemupukan K (kg ha ⁻¹)	Pemupukan N (kg ha ⁻¹)		
		46	115	184
----- mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺ -----				
Olah tanah intensif	tanpa K	12.73 a	15.74 a	16.10 b
		A	A	A
	49.8	16.23 a	15.86 a	22.48 a
		B	B	A
Tanpa olah tanah	tanpa K	12.80 a	15.27 a	17.65 b
		B	AB	A
	49.8	14.08 a	17.38 a	23.17 a
		B	B	A

Berdasarkan analisis ragam, TxKxN teruji nyata. Angka-angka yang ditandai dengan huruf yang sama (kecil arah kolom, besar arah baris) tidak berbeda menurut uji BNT 0.05 = 3.86; KK = 19.42%.

Fakta-fakta di atas didukung oleh hubungan antara pemupukan N dengan cara pengolahan tanah maupun pupuk K. Isnaini (2001) telah menghitung akibat pemupukan K dan N yang dilakukan secara bersama-sama mempunyai pengaruh yang baik dalam menyediakan N tanah dengan $r = 0.90^*$, terutama dalam budidaya padi sawah TOT. Kandungan N-NH₄⁺ tanah semakin meningkat dengan adanya tambahan dari pupuk N dan pemupukan K. Menurut Fenn *et al.* (1982^b), K⁺ yang berasal dari pemupukan K mampu menurunkan kehilangan NH₃.

Lebih lanjut Isnaini (2001) menyatakan bahwa kandungan N bahan organik yang diharapkan dapat menyumbangkan N ke dalam tanah yang berasal dari gulma dan turiang padi mempunyai peranan yang kecil. Hal ini diduga berkaitan sifat N itu sendiri yang mudah hilang dari sistem budidaya, terutama pada budidaya padi sawah, baik yang menguap maupun melalui mekanisme denitrifikasi. Di pihak lain ternyata persentase penurunan bobot bahan organik yang didekomposisikan mempunyai pengaruh yang nyata terhadap kandungan N-NH₄⁺, artinya dalam jangka panjang bahan organik dapat menyediakan N tanah.

Hubungan antara parameter tanah dengan N-NH₄⁺ ternyata dari enam variabel tanah yang

dilihat hubungannya hanya dua variabel saja yang memberikan pengaruh nyata, pertama K-dd dan kedua N tanah total (Tabel 2). Fakta yang pertama di atas sejalan dengan hasil penelitian Opuwaribo and Odu (1975) pada beberapa profil tanah di Nigeria, N-NH₄⁺ yang terjerap secara positif dan nyata berkorelasi dengan persentase liat dan K-dd.

Hal itu disebabkan penjerapan N-NH₄⁺ dan K⁺ prosesnya serupa (Dibb and Thompson, 1985). Pada temuan yang kedua, Smith and Stanford (1971) mendapatkan fakta yang sama bahwa kandungan N tanah total berkorelasi nyata dengan ketersediaan N tanah. Di pihak lain Dalal (1977) menyatakan bahwa kandungan N-NH₄⁺ tanah tidak nyata berkorelasi dengan C-organik.

Kapasitas tukar kation tidak berkorelasi nyata dengan kandungan N-NH₄⁺ (Tabel 2). Fakta dalam penelitian ini bertolak belakang dengan laporan Fenn *et al.* (1982^a) yang menunjukkan bahwa KTK berpengaruh terhadap kandungan N-NH₄⁺ tanah.

Perbedaan ini mungkin berkaitan dengan jenis mineral liat yang terdapat dalam tanah yang dipelajari. Mineral liat yang terdapat pada tanah tempat penelitian ini adalah haloisit (tipe 1:1), sedangkan studi yang dilakukan peneliti di luar negeri umumnya mempunyai tipe 2:1

Tabel 2. Nilai koefisien korelasi (r) dan koefisien regresi (β) antara parameter tanah dengan $N-NH_4^+$

Koefisien	C-organik	N-total	Nisbah C:N	K-dd	KTK	pH air
Korelasi (r)	0.57 ^{tn}	0.73*	0.26 ^{tn}	0.89*	0.55 ^{tn}	0.35 ^{tn}
Regresi (β)	0.69	27.73	0.55	44.88	1.01	12.57

* nyata pada taraf 5% (n = 12) (r = 0.59); tn = tidak nyata

Tabel 3. Kandungan K-dd¹⁾ tanah sawah, serapan N, dan hasil gabah kering giling (GKG) yang diolah sempurna dan tanpa olah tanah yang dipupuk N bervariasi dosis dan K

Perlakuan	Kandungan K-dd ($cmol_c kg^{-1}$)	Serapan N (g N rumpun ⁻¹)	Hasil GKG ($kg m^{-2}$)
<u>Sistem olah tanah</u>			
OTS	0.33 b	0.75 b	0.64 a
TOT	0.39 a	0.82 a	0.71 a
BNT 5%	0.04	0.05	0.07
<u>Pemupukan K</u>			
Tanpa K	0.34 b	0.79 a	0.66 a
49,5 $kg ha^{-1}$ K	0.38 a	0.79 a	0.69 a
BNT 5%	0.04	0.05	0.07
<u>Pemupukan N</u>			
46 $kg ha^{-1}$ N	0.31 b	0.57 c	0.57 b
115 $kg ha^{-1}$ N	0.34 b	0.80 b	0.69 a
184 $kg ha^{-1}$ N	0.43 a	1.00 a	0.76 a
BNT 5%	0.06	0.08	0.08
Koefisien keragaman (%)	9.11%	5.71%	13.83%

Data ditransformasi (X)^{1/2}; Berdasarkan analisis ragam, TxKxN tidak teruji nyata, hanya T atau K dan N teruji nyata. Angka-angka yang ditandai dengan huruf yang sama (arah kolom tiap perlakuan) tidak berbeda menurut uji BNT 0.05

Kandungan K-dd tanah

Kandungan K-dd tanah pada dua cara olah tanah sawah dengan pemupukan N bervariasi dosis, tanpa dan dipupuk K disajikan dalam Tabel 3. Pemupukan 184 $kg ha^{-1}$ N menghasilkan kandungan K-dd tanah lebih besar dibandingkan 46 dan 115 $kg ha^{-1}$ N (Tabel 3). Dari transformasi linear menunjukkan bahwa pemupukan >150 $kg ha^{-1}$ N merupakan batas kritis bagi perbedaan kandungan K-dd (hasil perhitungan). Kation $N-NH_4^+$ dari pupuk urea merupakan bentuk N yang dominan pada tanah sawah yang mampu mengusir ion K^+ dari kompleks jerapan.

Pupuk urea selain menyumbang N tersedia dalam bentuk $N-NH_4^+$, juga menambah N tanah total sebagai N cadangan. Isnaini (2001) telah menghitung bahwa terdapat hubungan yang positif antara kandungan N tanah total dan $N-NH_4^+$ terhadap K-dd tanah dengan koefisien korelasi (r) masing-masing sebesar $r_{N-total} = 0.81^*$

dan $r_{N-NH_4^+} = 0.89^*$. Terlihat bahwa kandungan $N-NH_4^+$ lebih bermakna daripada N tanah total dalam penyediaan K-dd. Dalam praktek sehari-hari, para petani menggunakan pupuk N (urea) dalam jumlah yang cukup tinggi, bahkan kebanyakan petani belum menggunakan pupuk K dalam usaha taninya. Hasil percobaan ini sejalan dengan temuan Barbayiannis *et al.* (1996) dan Lumbanraja (1994) bahwa $N-NH_4^+$ lebih mampu menukar K^+ dari fase jerapan.

Pemupukan 49.8 $kg ha^{-1}$ K memberikan kandungan K-dd lebih tinggi 12% daripada tanpa K. Jika dibandingkan dengan hasil analisis awal K-dd (0.23-0.35 $cmol_c kg^{-1}$ atau rata-rata 0.29 $cmol_c kg^{-1}$) terjadi kenaikan kandungan K-dd hingga saat pengamatan 42 hst. Hasil temuan ini mempunyai efek yang menguntungkan bagi kesuburan tanah maupun terhadap pertumbuhan padi. Beberapa peneliti sebelumnya telah mengungkapkan hasil yang sama dengan temuan ini. Wanasuria *et al.* (1981) menyatakan bahwa

pemupukan 60 kg ha⁻¹ K meningkatkan K tanah dari sekitar 20 mg kg⁻¹ pada tanpa K menjadi sekitar 30 mg kg⁻¹ pada tanah liat, sedangkan pada tanah lempung liat berpasir peningkatan itu sedikit, yaitu sekitar 23 mg kg⁻¹. Pemupukan K dapat meningkatkan K-dd tanah, di pihak lain pemupukan NP tanpa K menyebabkan terkurasnya K-dd tanah, terbukti dari kandungan K-dd pada pemupukan NP lebih rendah daripada kontrol (Mariam, 1998). Hal ini dimungkinkan, karena pemakaian hara yang tidak berimbang terutama penggunaan N dan P yang semakin meningkat akan menguras hara K tanah.

Kandungan K-dd pada kedua cara pengolahan tanah meningkat dibandingkan saat awal percobaan, justru peningkatan lebih tinggi pada TOT daripada OTI. Dengan kata lain, TOT lebih mampu menyediakan K-dd daripada OTI selama percobaan ini dilaksanakan. Hal ini ditunjang oleh kandungan K bahan organik pada TOT lebih tinggi daripada OTI (Isnaini, 2001). Menurut Malavolta (1985), K yang terdapat dalam bahan organik sebagai residu tanaman sangat mempengaruhi efisiensi penggunaan pemupukan K. Pendapat yang sama telah dikemukakan oleh Oh (1984).

Menurut Malavolta (1985), kapasitas tukar kation dan pH mempengaruhi kandungan K-dd tanah. Sejalan dengan pendapat di atas, temuan pada penelitian ini mengungkapkan bahwa KTK berpengaruh nyata, tetapi tidak demikian halnya peubah pH tanah (Isnaini, 2001). Pada tanah sawah yang digenangi, pH bukanlah faktor pembatas yang penting bagi pertumbuhan padi karena nilai pH tetap berada di sekitar nilai 6-7 bagi kebanyakan tanah sawah. Kandungan bahan organik memberikan koefisien korelasi yang lebih besar dari KTK, tetapi dengan *slope* yang sama. Temuan ini dapat dijelaskan bahwa KTK tanah sangat ditentukan oleh bahan organik, karena bahan organik itu sendiri memiliki nilai KTK tertentu. Fakta yang ditemukan oleh Luna-Orea *et al.* (1996) menunjukkan bahwa hara K merupakan hara yang mudah sekali dibebaskan dari dekomposisi bahan organik menurut sekuens K>P>N>Mg>Ca.

Serapan N

Serapan N oleh padi sawah pada dua cara olah tanah sawah dengan pemupukan N bervariasi dosis, tanpa dan dipupuk K disajikan dalam Tabel 3. Pemupukan 184 kg ha⁻¹ N menghasilkan serapan N lebih besar dibandingkan 46 dan 115 kg ha⁻¹ N (Tabel 3). Peningkatan serapan N ini berhubungan erat dengan bobot biomassa dengan koefisien korelasi ($r = 0.97^*$) dan kandungan N tanaman padi ($r = 0.94^*$). Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa kandungan N tanaman lebih menentukan kenaikan serapan N dengan nilai koefisien regresi = 0.08, atau dengan kata lain setiap peningkatan 0.08 g kg⁻¹ kandungan N tanaman, maka serapan N meningkat 1 g rumpun⁻¹. Menurut Yoshida (1981), total kandungan hara dalam tanaman padi dipengaruhi oleh kandungan hara di dalam bahan kering dan bobot bahan kering.

Pemupukan 184 kg ha⁻¹ N meningkatkan serapan N oleh tanaman padi sebesar 75.44% dan 25% masing-masing dibandingkan 46 dan 115 kg ha⁻¹ N. Hal ini disebabkan N yang diangkut selama fase pertumbuhannya melalui aliran massa, difusi, dan intersepsi akar menuju limbung diakumulasikan dalam jerami (pupus) (data tidak ditampilkan). Dengan meningkatnya kandungan N, maka fotosintat yang dihasilkan semakin besar, sejalan dengan itu diharapkan hasil padi juga meningkat. Yoshida (1981) menyebutkan bahwa sintesis N-protein yang meningkat dapat memacu pertumbuhan dan hasil tanaman. Fakta yang ditemukan dari hasil penelitian Mariam (1998) menyebutkan bahwa serapan N oleh tanaman padi meningkat dengan semakin meningkatnya dosis N.

Serapan N pada pemupukan 49.8 kg ha⁻¹ K mempunyai nilai yang sama dibandingkan tanpa K. Peningkatan serapan N lebih banyak ditentukan oleh bobot pupus tanaman daripada kandungan hara N itu sendiri dalam tanaman padi, yaitu 35.42 vs. 38.02 g rumpun⁻¹ dan 20.97 vs. 21.37 g kg⁻¹ secara berurutan untuk tanpa K dan pemupukan K. Temuan yang serupa telah dikemukakan Isnaini (1999), selanjutnya Mariam

(1998) menyatakan bahwa serapan N pada jerami MT ke-4 perlakuan NP lebih rendah 20.17% daripada NPK.

Pada tanah sawah yang diolah intensif memberikan serapan N yang sama besarnya dengan TOT. Hal ini didukung oleh data bobot pupus dan bobot akar tidak berbeda pada kedua cara olah tanah, begitu pula kandungan hara N pupus pada TOT sedikit lebih besar daripada OTI, yaitu sekitar 4%. Pola yang serupa ditemukan pada akar tanaman padi. Perbedaan yang kecil inilah yang diduga menyebabkan serapan N bernilai sama antara OTI dan TOT. Dalam laporan sebelumnya, Sharma and De Datta (1985b) mengungkapkan bahwa serapan N tidak nyata dipengaruhi oleh perbedaan cara pengolahan tanah sawah.

Serapan K

Serapan K pada dua cara olah tanah sawah dengan pemupukan N bervariasi dosis, tanpa dan dipupuk K disajikan dalam Tabel 4. Pada tanaman padi yang ditanam dengan OTI meningkatkan serapan K 25.86% pada pemupukan 115 kg ha⁻¹ N dan dengan K dibandingkan tanpa K. Sedangkan pada TOT, serapan K bervariasi secara homogen akibat pemupukan K maupun tanpa K yang diaplikasikan dengan pupuk N berbagai dosis.

Serapan K pada 184 kg ha⁻¹ N peningkatannya nyata dibandingkan 46 kg ha⁻¹ N pada kedua cara olah tanah yang dipupuk K maupun tanpa K.

Hara K yang dapat diambil oleh padi sangat ditentukan oleh kandungan K tanah, yaitu K-dd (Tabel 4). Kalium-dd meningkat dengan semakin tinggi dosis pemupukan N yang diaplikasikan. Perbedaan serapan K di atas lebih banyak ditentukan oleh efek interaksi orde satu antara pemupukan K dan N. Ditinjau dari cara pengolahan tanah, TOT memberikan pengaruh yang menguntungkan jika pemupukan K dan N secara bersama-sama diberikan daripada OTI. Hal ini dapat dijelaskan bahwa serapan N dapat memacu penyerapan K, karena N dan K dalam tanaman padi dibutuhkan dalam reaksi fisiologi dan biokimia dengan meningkatnya laju fotosintesis. Laporan Potash & Phosphate Institute (1989) mengungkapkan bahwa dengan pemupukan 90 kg ha⁻¹ N maka hasil padi lebih tinggi daripada 30 kg ha⁻¹ N pada pemupukan K berkisar dari 24.9-74.7 kg ha⁻¹ K. Dalam penelitian ini, secara visual tanaman padi yang menerima pemupukan N tinggi dan dipupuk K memperlihatkan pertumbuhan yang kokoh dan semua tanaman padi tidak mengalami rebah. Menurut De Datta (1981), K memperkuat perakaran sehingga padi sawah lebih tahan rebah akibat pemupukan N takaran tinggi.

Tabel 4. Serapan K oleh padi pada tanah sawah yang diolah intensif dan tanpa olah tanah yang dipupuk N bervariasi dosis dan K

Pengolahan tanah	Pemupukan K (kg ha ⁻¹)	Pemupukan N (kg ha ⁻¹)		
		46	115	184
		----- g r u m p u n ⁻¹ K -----		
Olah tanah intensif	Tanpa K	0.45 a	0.58 b	0.68 a
	49.8	B	A	A
		0.47 a	0.73 a	0.67 a
		B	A	A
Tanpa olah tanah	Tanpa K	0.43 a	0.54 b	0.64 a
	49.8	B	A	A
		0.46 a	0.56 b	0.72 a
		B	B	A

Berdasarkan analisis ragam, TxKxN teruji nyata. Angka-angka yang ditandai dengan huruf yang sama (kecil arah kolom untuk setiap pemupukan K, besar arah baris untuk setiap dosis N) tidak berbeda menurut uji BNT 0.05 = 0.10; KK = 10.25%

Menurut Malavolta (1985), K-dd dapat merupakan ion K yang diambil dari larutan tanah dan berada dalam kesetimbangan dinamis dengan ion K dalam larutan tanah. Kalium -dd merupakan cadangan K yang berfungsi memperbaharui konsentrasi K larutan. Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan K-dd tanah nilainya lebih dari $0.2 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$. Menurut Quijano (1996), K-dd tanah sekitar $0.2 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ merupakan nilai yang cukup untuk mendukung pertumbuhan padi yang sehat.

Hasil gabah kering giling

Pemupukan 184 kg ha^{-1} N menghasilkan hasil gabah kering giling (GKG) lebih tinggi daripada 46 kg ha^{-1} N (Tabel 3). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa ketidak-berbedaan efek interaksi orde dua dan orde satu pada peubah hasil GKG tidak sejalan dengan peubah-peubah terdahulu terutama pada studi dekomposisi bahan organik dan kadar hara dalam tanah, yaitu C-organik, N-total, nisbah C:N, dan N-NH_4^+ serta KTK, sedangkan serapan hara K dan Mg berbeda nyata, kecuali N yang tidak berbeda nyata (Isnaini, 2001). Fakta yang terakhir disebutkan diduga yang menyebabkan efek interaksi pada hasil GKG tidak nyata.

Hasil analisis regresi dengan teknik langkah mundur antara serapan hara N, K, dan Mg (data serapan Mg tidak ditampilkan) dengan hasil GKG menunjukkan nilai $R^2 = 0.75^*$ dengan mengikuti persamaan: $\text{GKG} = 0.285 + 0.053\text{N} - 0.067\text{K} + 0.008\text{Mg}$. Kehadiran K menurunkan hasil GKG, sedangkan N dan Mg meningkatkan hasil GKG. Setelah peubah serapan K dikeluarkan dari persamaan ternyata R^2 menurun sedikit menjadi 0.74, dengan persamaan: $\text{GKG} = 0.257 + 0.009\text{N} + 0.008\text{Mg}$. Artinya N dan Mg dalam budidaya padi sangat penting peranannya terutama pada fotosintesis, karena N dan Mg adalah bagian integral dari klorofil tanaman. Selain C, H, dan O, hara yang terdapat dalam klorofil baik klorofil a maupun klorofil b adalah N dan Mg (Olson and Kurtz, 1982). Fungsi klorofil sebagai dapur bagi tanaman berperan baik, karena didukung oleh faktor iklim salah satunya adalah curah hujan,

terlihat bahwa saat penelitian dilaksanakan hujan yang turun sangat jarang. Hal ini sering sekali berkaitan erat dengan keadaan atmosfer yang lebih cerah, sehingga radiasi surya yang sampai ke daun akan maksimal.

Hasil GKG dengan teknik TOT lebih tinggi 10.94% dibandingkan OTI, tetapi belum nyata secara statistik (Tabel 3). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan pengolahan tanah yang berbeda antara OTI dan TOT memberikan hasil yang belum konsisten, terutama terhadap hasil GKG. Pada penelitian jangka panjang, Isnaini (2001) melaporkan bahwa hasil GKG selama 8 MT hanya pada MT ke-1, ke-2, dan ke-5 saja perbedaan antar-sistem olah tanah nyata. Sistem TOT memproduksi hasil GKG lebih tinggi dibandingkan OTI. Beberapa peneliti telah melaporkan bahwa perbedaan cara pengolahan tanah sawah akan menyebabkan perbedaan hasil gabah (Sharma, 1994; Sharma and De Datta, 1985a). Perbedaan-perbedaan itu didukung oleh sifat-sifat tanah, musim dan teknis penelitian lainnya.

Hasil GKG yang dipupuk K dan tanpa K hanya berbeda 4.5% yang tidak nyata secara statistik (Tabel 3). Ketidak-berbedaan itu diakibatkan oleh komponen hasil padi yang tidak berbeda antara perlakuan pemupukan K (Isnaini, 2001), di pihak lain ternyata kandungan K-dd tanah yang cukup tersedia bagi tanaman (K-dd sedang), yaitu rata-rata $0.36 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Tabel 3). Menurut Vilela and Ritchey (1985), pada tanah tropis yang terlapuk lanjut dengan kisaran K-dd antara $0.15\text{-}0.45 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$ cukup untuk mendukung pertumbuhan tanaman untuk berproduksi dengan baik.

Untuk melihat neraca K dalam tanah dapat berpedoman pada perbandingan serapan K oleh padi saat pertumbuhan maksimum (42 hst) (Tabel 4), secara rata-rata pada tanpa K sebesar $0.55 \text{ g rumpun}^{-1}$ dan pada pemupukan 49.8 kg ha^{-1} K sebesar $0.60 \text{ g rumpun}^{-1}$. Berarti serapan K sebesar 109 dan 119 kg K ha^{-1} dengan anggapan populasi tanaman padi sekitar $197.500 \text{ rumpun ha}^{-1}$. Hasil perhitungan menghasilkan bahwa efisiensi serapan K hanya mendekati 10%, artinya hanya 10% K yang diberikan dapat diserap oleh padi selama

± 42 hst. Lebih lanjut Dobermann *et al.* (1996) mengemukakan bahwa efisiensi agronomi K (EA_K) dapat dihitung dengan rumus: $EA_K = (Y_{NPK} - Y_{NP}) / \text{pupuk K yang diberikan}$ ($Y = \text{hasil GKG}$; semua satuan kg ha^{-1}). $EA_K = (6900 - 6600) \text{ kg ha}^{-1} / 49.8 \text{ kg ha}^{-1} = 6.02$, artinya setiap kita memupuk 1 kg ha^{-1} K akan dihasilkan 6.02 kg hasil GKG.

Tabel 3 memperlihatkan bahwa pada tanpa K kandungan sebesar K-dd $0.34 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ setara dengan 265.2 kg ha^{-1} K. Hal ini berarti di dalam tanah masih tersisa sekitar 156.2 kg ha^{-1} K, karena yang diserap padi hanya sebesar 109 kg ha^{-1} K dengan anggapan kehilangan K tidak terjadi. Sedangkan pada petakan yang dipupuk 49.8 kg ha^{-1} K dengan kandungan K-dd $0.38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, berarti terjadi akumulasi sebesar $296.4 + 49.8 \text{ kg ha}^{-1}$ K = 346.2 kg ha^{-1} K dengan neraca yang positif sebesar 227.2 kg ha^{-1} K (yang diserap padi 119 kg ha^{-1} K); sumbangan dari air irigasi belum dipertimbangkan.

Jika selama 1 MT diserap 115 kg ha^{-1} K berarti pada petakan tanpa K pada pertanaman MT selanjutnya tidak perlu dipupuk K, sedangkan petakan yang dipupuk K dapat mencapai 2 MT. Temuan ini bertolak belakang dengan pernyataan Doberman *et al.* (1996) bahwa neraca K pada berbagai lokasi penelitian di Asia diperoleh neraca negatif dengan rata-rata tiap musim tanamnya $34-63 \text{ kg ha}^{-1}$ K pada pemupukan tanpa K (kontrol, N, dan NP) yang diamati saat panen. Perbedaan hasil penelitian ini, berkaitan dengan sumber air irigasi yang mengandung 3.37 mg kg^{-1} K suatu nilai yang cukup tinggi, karena tanaman padi selama 1 MT menggunakan air sekitar 1000 L.

KESIMPULAN

Terdapat interaksi antara pengolahan tanah, pemupukan N dan K dalam mempengaruhi kandungan N-NH_4^+ dan serapan K. Pemupukan 184 kg ha^{-1} N menghasilkan kandungan N-NH_4^+ dan serapan K lebih tinggi daripada 46 kg ha^{-1} N pada kedua sistem olah tanah, jika pupuk 49.8 kg ha^{-1} K diaplikasikan. Kalium -dd dan serapan N yang dihasilkan TOT lebih tinggi 18% dan 9% daripada OTI. Pemupukan 184 kg ha^{-1} N

menghasilkan K-dd, serapan N, dan hasil gabah lebih tinggi masing-masing 39%, 75%, dan 33% daripada 46 kg ha^{-1} N, secara berurutan. Pemupukan 49.8 kg ha^{-1} K menghasilkan K-dd lebih tinggi 12% daripada tanpa K. Disimpulkan bahwa pemupukan N sangat menentukan kandungan N-NH_4^+ dan K-dd tanah, serapan N dan K serta hasil gabah oleh dibandingkan perlakuan pengolahan tanah sawah dan pemupukan K.

Praktek TOT pada budidaya padi sawah hingga musim tanam ke-8 belum menghambat pertumbuhan dan perkembangan padi, bahkan beberapa sifat tanah lebih baik pengaruhnya daripada OTI. Dalam usaha untuk menerapkan praktek TOT perlu memperhatikan ketersediaan air irigasi dan sifat-sifat tanah.

Pemakaian pupuk K di kecamatan Talangpadang belum dibutuhkan seperti yang dilakukan oleh petani selama ini, karena kandungan K tanah yang cukup, baik berasal dari pelapukan maupun air irigasi. Bahkan, pemakaian bahan organik seperti jerami merupakan cara yang baik untuk menjaga kesuburan tanah baik fisika maupun kimia. Di pihak lain, ternyata pemupukan N yang menghasilkan N-NH_4^+ mampu menyediakan K bagi tanaman, terutama padi sawah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang sangat mendalam kepada Prof. Ir. H. Sulya Djaka Sutami, M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. H. E. Hidayat Salim, M.S., dan Prof. Ir. H. Muhajir Utomo, M.Sc., Ph.D. yang telah menelaah Disertasi dan membimbing penulis selama menempuh program Doktor di PPs UNPAD Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- Barbayaannis, N., V.P. Evangelou, and V.C. Keramidas. 1996. Potassium-ammonium-calcium quantity-intensity studies in the binary and ternary modes in two soils of micaceous mineralogy of Northern Greece. *Soil Sci.* 161(10): 716-724.

- Dalal, R.C. 1977. Fixed ammonium and carbon-nitrogen ratios of some Trinidad soils. *Soil Sci.* 124(6): 323-327.
- De Datta, S.K. 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Dibb, D.W., and W.R. Thompson, Jr. 1985. Interaction of potassium with other nutrients. p. 515-558. *In* R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. ASA, CSSA, dan SSSA. Madison, WI.
- Dickey, E.C., J.C. Siemens, P.J. Jasa, V.L. Hofman, and D.D. Shelton. 1992. Tillage system definition. p. 5-7. *In* Conservation tillage systems and management: crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till. 1st ed. MWPS-45. Iowa State University, Ames, IA.
- Doberman, A., P.C. Sta. Cruz, and K.G. Cassman. 1996. Fertilizers, nutrient balance, and soil nutrient-supplying power in intensive, irrigated rice systems. I. Potassium uptake and K balance. *In* Training sourcebook. Strategic Research in Integral Nutrient Management Course (SRINM). Philippines, 18 March-26 April 1996. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines. 16 p.
- Fenn, L.B., J.E. Matocha, and E. Wu. 1982a. Soil cation exchange capacity effects on ammonia loss from surface-applied urea in the presence of soluble calcium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 78-81
- Fenn, L.B., J.E. Matocha, and E. Wu. 1982b. Substitution of ammonium and potassium for added calcium in reduction of ammonia loss from surface applied urea. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 771-776.
- Isnaini, S. 1999. Pemupukan nitrogen dan kalium pada dua cara pengolahan tanah sawah: Pengaruhnya terhadap kadar nitrogen, fosfat, dan kalium tanah serta serapannya. p. 81-93. *In* Pros. Seminar Nasional Sumber Daya Tanah, Iklim, dan Pupuk. Buku II. Bogor, 6-8 Desember 1999. Puslittannak, Balibangtan, Deptan.
- Isnaini, S. 2001. Dekomposisi bahan organik, nisbah Q/I kalium, kandungan hara N dan K tanah serta serapannya oleh padi (*Oryza sativa* L.) akibat pengolahan tanah yang dipupuk kalium dan nitrogen pada tanah sawah. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran. (Tidak dipublikasikan)
- Isnaini, S. 1996. Kandungan C-organik, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻; tanah, bobot kering tanaman, serapan N, dan hasil padi (*Oryza sativa* L.) akibat penerapan sistem olah tanah dan pemupukan N pada tanah sawah. Tesis Magister Pertanian. Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran. Bandung. (Tidak dipublikasikan)
- Isnaini, S., dan W. Hermawan. 1998. Budidaya padi sawah dengan sistem tanpa olah tanah di Kedaloman, Talangpadang, Lampung, 1996-1998. p. 480-484. *In* Z. Irfan *et al.* (eds.). Pros. Seminar Nasional VI BDP OTK. Padang, 24-25 Maret 1998. HIGI.
- Kumuzawa, K. 1984. Beneficial effects of organic matter on rice growth and yield in Japan. p 431-444. *In* Organic matter and rice. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines.
- Lumbanraja, J. 1994. Perilaku pertukaran kalium dalam larutan tanah: Pengaruh ion amonium. *J. Pen. Peng. Wil. Lahan Kering* 13: 1-13.
- Lumbanraja, J., M. Utomo, dan M. Zahir. 1997. Perilaku jerapan kalium pada tiga sistem olah tanah sawah dengan pemupukan urea prill dan tablet. *J. Tanah Trop.* 3(5): 29-38.
- Lumbanraja, J., and V.P. Evangelou. 1994. Adsorption-desorption of potassium and ammonium at low cation concentrations in three Kentucky subsoil. *Soil Sci.* 157: 269-278.
- Luna-Orea, P., M.G. Wagger, and M.L. Gumpertz. 1996. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. *Agron. J.* 88: 758-764.
- Malavolta, E. 1985. Potassium status of tropical and subtropical region soils. p. 163-200. *In* R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. ASA, CSSA, dan SSSA. Madison, WI.

- Mariam, S. 1998. Kandungan beberapa unsur hara tanah sawah, serapan hara, dan hasil dua genotipe padi (*Oryza sativa* L.) akibat pemupukan N, P, dan K selama empat musim tanam pada Typic Kanhaplaquults Sukamandi. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Padjadjaran, Bandung. (Tidak dipublikasikan)
- Munir, M. 1997. Dinamika sifat-sifat tanah sawah dan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah. Pidato Ilmiah dalam rangka Pengukuhan Jabatan Guru Besar Ilmu Tanah pada Fakultas Pertanian Universitas Brawidjaja, Malang, 25 Oktober 1997.
- Oh, W.K. 1984. Effect of organic matter on rice production. p. 477- 488. *In* Organic matter and rice. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines.
- Olson, R.A., and L.T. Kurtz. 1982. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. p. 567-604. *In* F.J. Stevenson (ed.). Nitrogen in agricultural soils. ASA, CSSA, dan SSSA. Madison, WI.
- Opuwaribo, E., and C.T.I. Odu. 1975. Fixed ammonium in Nigerian soils II: Relationship between native fixed ammonium and some soil characteristics. *J. Soil Sci.* 26(4): 350-357.
- Pasricha, N.S. 1976. Exchange equilibria of ammonium in some paddy soils. *Soil Sci.* 121(5): 267-271.
- Pasricha, N.S., and T. Singh. 1977. Ammonium exchange equilibria in the submerged soils and forms of ammonium which are not water-soluble but are available to lowland paddy. *Soil Sci.* 124(2): 90-94.
- Potash & Phosphate Institute of Canada. 1989. Potash, its need and use in modern agriculture. *Diterjemahkan* oleh M. Ismunadji. Balittan Pangan, Bogor.
- Quijano, C. 1996. Micronutrients in rice soil. *In* Training sourcebook. Strategic Research in Integral Nutrient Management Course (SRINM). Philippines, 18 March-26 April 1996. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines. 20 p.
- Sanchez, P.A. 1973a. Puddling tropical rice soils: 1. Growth and nutritional aspects. *Soil Sci.* 115(2): 149-158.
- Sanchez, P.A. 1973b. Puddling tropical rice soils: 2. Effects of water losses. *Soil Sci.* 115(4): 303-308.
- Sharma, A.R. 1994. Effect of tillage, weed-control practices and nitrogen fertilization on performance of rice (*Oryza sativa*) under intermediate deep-water condition. *Indian J. Agric. Sci.* 64(12): 829-835. (Abstract)
- Sharma, P.K., and S.K. De Datta. 1985a. Effects of puddling on soil physical properties and processes. p. 217-234. *In* Soil physics and rice. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines.
- Sharma, P.K., and S.K. De Datta. 1985b. Puddling influence on soil, rice development, and yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1451-1457.
- Smith, S.J., and G. Stanford. 1971. Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. *Soil Sci.* 111: 228-232.
- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill, Inc. New York.
- Vilela, L., and K.D. Ritchey. 1985. Potassium in intensive cropping systems on highly weathered soils. p. 1155-1175. *In* R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. ASA, CSSA, dan SSSA. Madison, WI.
- Wanasuria, S., S.K. De Datta, and K. Mengel. 1981. Use of the electroultrafiltration (EUF) technique to study the potassium dynamics of wetland soils and potassium uptake by rice. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27(2): 137-149.
- Yoshida, S. 1981. Fundamental of rice crop science. IRRI. Los Baños, Laguna, Philippines.