

# KAJIAN PEMANFAATAN BUNGKIL BIJI MIMBA SEBAGAI PENGHAMBAT NITRIFIKASI UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMUPUKAN NITROGEN PADA PADI SAWAH

**Joko Pramono**

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah  
Kotak Pos 101 Ungaran 50501  
Email : maspramono\_64@yahoo.com

## ABSTRAK

Pemupukan merupakan upaya untuk meningkatkan ketersediaan hara dalam tanah guna menunjang pertumbuhan tanaman dan hasil yang optimal. Nitrogen merupakan salah satu unsur hara makro yang menjadi pembatas utama produksi tanaman, baik di daerah tropis maupun di daerah-daerah beriklim sedang. Konsumsi pupuk N akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kebutuhan pangan. Harga pupuk kimia yang kini relatif mahal dan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pemakaian pupuk N yang berlebihan, mendorong perlunya upaya meningkatkan efisiensi pemupukan. Pengkajian pemanfaatan bungkil biji mimba (BBM) sebagai bahan penghambat nitrifikasi (PN) untuk meningkatkan efisiensi pemupukan N padi sawah, dilaksanakan di Desa Tirirenggo, Kecamatan Bantul, Kabupaten Bantul. Penelitian dilaksanakan pada musim tanam tahun 2010/2011 dengan perlakuan, Faktor I adalah takaran bahan penghambat nitrifikasi (P) dengan empat taraf yaitu Tanpa PN ( $P_0$ ); Bahan PN dari BBM 10% berat pupuk N ( $P_1$ ); Bahan PN dari BBM 20% berat pupuk N ( $P_2$ ); dan Bahan PN dari BBM 30% berat pupuk N ( $P_3$ ) dan Faktor II adalah takaran pupuk Nitrogen (N) dengan tiga taraf perlakuan; Urea 100 kg ha<sup>-1</sup> ( $N_1$ ); Urea 200 kg ha<sup>-1</sup> ( $N_2$ ), dan Urea 300 kg ha<sup>-1</sup> ( $N_3$ ). Data-data yang didapat dari hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam menurut rancangan faktorial dengan menggunakan program SAS Versi 9.00. Untuk membandingkan rata-rata perlakuan digunakan uji beda nyata dengan DMRT pada level 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa; (a) Pemupukan N berpengaruh nyata terhadap kehijauan daun pada 35 dan 60 hst, sedangkan pemberian PN hanya berpengaruh nyata terhadap kehijauan daun pada 60 hst, (b) Pemupukan N berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, sedangkan perlakuan PN tidak nyata dan hasil gabah tertinggi pada perlakuan P3N3 sebesar 8,37 t/ha GKG, dan (c) Perlakuan N berbeda sangat nyata terhadap nilai Efisiensi agronomi N ( $EA_N$ ) sedangkan perlakuan PN tidak nyata namun berbeda nyata terhadap efisiensi serapan N ( $ES_N$ ) dan nilai  $ES_N$  terbaik pada perlakuan PN 20% sebesar 60%.

**Kata Kunci :** penghambat, nitrifikasi, pemupukan, efisiensi

## ABSTRACT

Fertilization is an effort to increase the availability of nutrients in the soil to support plant growth and optimal yield. Nitrogen is one of the macro nutrients becomes the main limiting crop production, both in the tropics and in temperate regions. Nitrogen fertilizer consumption will continue to increase along with the growth of population and food needs. The price of chemical fertilizer which is now relatively expensive and the negative impact on the environment as a result of excessive use of fertilizer N, prompting the need for efforts to improve the efficiency of fertilization. Assessment of the utilization of neem seed cake (NSC) as nitrification inhibitors (NI) to improve the Nitrogen efficiency in rice fields, implemented in the village Tirrenggo, District of Bantul. The experiment was conducted during the growing season 2010/2011 with treatment, The first factor was dose nitrification inhibitors (P) with four levels ie without NI (P0); NI 10% by weight of fertilizer N (P1); NI 20% by weight of N fertilizer (P2); NI 30% by weight of fertilizer N (P3) and the second factor is the dose of nitrogen fertilizer (N) with three levels of treatment; Urea 100 kg ha<sup>-1</sup> (N1); Urea 200 kg ha<sup>-1</sup> (N2), and Urea 300 kg ha<sup>-1</sup> (N3). The data obtained from the observations was analyzed by ANOVA according to a factorial design using the program SAS Version 9:00. To compare the average of treatments used real difference test with DMRT at the level of 5%. The results showed that; (a) Nitrogen fertilization significantly affected greenish leaves at 35 and 60 days was planting, whereas the NI only significantly affect greenish leaf at 60 days after planting, (b) N fertilization significantly affect grain yield, while the NI treatment not real and the highest grain yield P3N3 treatment amounted to 8.37 t ha<sup>-1</sup> DG, and (c) Treatment of N highly significant to the value of agronomic N efficiency, (EA<sub>N</sub>) while the NI treatment is not real but significantly different with N uptake efficiency (ES<sub>N</sub>) and the best value at treatment NI 20% was 60%.

**Keywords:** *inhibitor, nitrification, fertilization, efficiency*

## PENDAHULUAN

Sistem usahatani padi sawah intensif di Indonesia, sejak era revolusi hijau hingga sekarang belum bisa terlepas dari peran pupuk kimia yang bernama Urea sebagai sumber nitrogen. Pemupukan nitrogen berperan cukup nyata dalam usaha peningkatan produksi padi di berbagai daerah sentra padi di Indonesia (Sismiyati et al., 1992; Darajat dan Utami, 1993). Urea merupakan sumber pupuk nitrogen (N) yang paling banyak digunakan oleh petani, sebab memberikan dampak langsung terhadap peningkatan hasil padi sawah dan relatif banyak tersedia di pasaran.

Penggunaan pupuk urea di sentra produsen padi telah melebihi dosis anjuran setempat dengan kisaran penggunaan 300-600 kg ha<sup>-1</sup>. Untuk kasus di Indonesia tingkat penggunaan pupuk sudah tertinggi di kawasan Asia kecuali Jepang, Taiwan dan Cina (Kasryno et al., 2001). Menurut penelitian Sumaryanto et al. (2003), tingkat penggunaan pupuk kimia di lahan sawah irigasi terlalu besar. Sebagai ilustrasi, kisaran penggunaan pupuk urea 300-600 kg ha<sup>-1</sup> atau dengan rata-rata

penggunaan pupuk urea 360-380 kg ha<sup>-1</sup> dan ZA lebih dari 100 kg ha<sup>-1</sup>. Rata-rata penggunaan pupuk P (SP-36) lebih dari 100 kg/ha dan rerata penggunaan pupuk K (KCl) kurang dari 50 kg ha<sup>-1</sup>. Makarim et al. (2000b), mengemukakan bahwa efisiensi input produksi belum sepenuhnya diterapkan petani, terutama pupuk N dan P yang sering diberikan berlebih.

Salah satu kesimpulan hasil penelitian International Rice Research Institute (IRRI) menyebutkan bahwa masalah utama yang dihadapi petani pada ekosistem beririgrasi adalah efisiensi produksi yang rendah (Pingali et al., 1997). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi pemupukan N di tingkat lapangan masih rendah. Hal ini disebabkan oleh kehilangan utama N dari sistem tanah-tanaman yaitu volatilisasi ammonia, denitrifikasi, aliran permukaan, dan pelindian (De Datta dan Buresh, 1989; Ladha et al., 1997; Foth, 1991). Di lain pihak bahwa agroinput dalam sistem usahatani padi sawah untuk biaya pupuk anorganik, cukup besar. Dikemukakan oleh Pramono et al. (2002), bahwa komponen biaya pupuk anorganik menduduki peringkat kedua setelah biaya tenaga kerja dalam sistem usahatani padi sawah. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi usahatani padi sawah dapat ditempuh melalui dua upaya pendekatan, yaitu (a) peningkatan produktivitas persatuan luas, dengan input yang sama dan (b) efisiensi penggunaan input produksi dengan mempertahankan produktivitas yang sama.

Perkembangan penggunaan dosis pemupukan N anorganik pada padi sawah perhektarnya cenderung meningkat, sedangkan harga pupuk urea semakin mahal karena adanya persaingan kebutuhan dengan komoditas non padi (Makarim dan Suhartatik, 2006). Pupuk N termasuk agroinput yang mahal, setiap tahun lebih dari \$ US 45 milyar dibelanjakan untuk itu (Ladha et al., 1997). Untuk memproduksi 1 kg pupuk urea membutuhkan enam kali lebih banyak energi dibandingkan untuk memproduksi pupuk P atau K (Da Silva et al., 1978). Oleh karena itu penggunaan pupuk N anorganik termasuk pemborosan energi. Di lapangan sering terjadinya kelangkaan pupuk khususnya urea, dan dilain pihak efisiensi pemupukan N pada padi masih tergolong rendah, yaitu sebesar 40 % (De Datta, 1981 dalam Sumarno et al., 2000).

Dikemukakan oleh Prasad dan De Datta (1979), bahwa porsi terbesar kehilangan N, yang berasal dari pemupukan N pada lahan sawah adalah setelah proses nitrifikasi dari N-ammonium ke nitrat. Nitrifikasi merupakan proses yang merugikan karena di samping menyebabkan kehilangan N tanah dan pupuk juga menimbulkan masalah lingkungan seperti peningkatan gas rumah kaca, pencemaran nitrat pada air tanah, rusaknya lapisan ozon, eutrofikasi dan degradasi tanah (Hadisudarmo dan Hairiah, 2006; Shoji dan Gandeza, 1992).

Hasil uji penggunaan penghambat nitrifikasi (PN) dapat mengurangi kehilangan N dan meningkatkan efisiensi pemupukan N. Beberapa bahan kimia seperti N-serve (2-Chloro-6-(trichloromethyl) pyridine), Entridiazole (5-Ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole), DMBQ (2,6 Dimethyl-benzoquinon), Thiourea, Dicyandiamide, dan AM (2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine) merupakan bahan yang mampu menghambat nitrifikasi (Prasad et al., 1971; De

Datta, 1981). Namun demikian, bahan-bahan tersebut di atas karena mahal, jarang digunakan secara komersial pada usahatani padi pada lahan sawah di Indonesia, untuk itu perlu dicari bahan-bahan yang memiliki efektivitas penghambatan nitrifikasi yang lebih murah. Bains et al., (1971) dalam Prasad and De Datta (1979), di India telah menemukan bahan alami yang memiliki kemampuan menghambat nitrifikasi, yaitu biji *Azadirachta indica* Juss merupakan tumbuhan asli India dan tumbuh di beberapa negara Asia. Di Indonesia pohon ini dikenal dengan nama pohon Mimba. Biji Mimba mengandung lemak tidak jenuh tertentu yang dapat bertindak sebagai penghambat nitrifikasi dan karenanya dapat meningkatkan efisiensi pupuk urea (Rao, 2007).

Berdasarkan berbagai informasi dari hasil penelitian tersebut di atas, maka perlu kiranya dilakukan penelitian lebih lanjut di Indonesia untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap tentang bahan-bahan alami yang potensial dimanfaatkan sebagai penghambat nitrifikasi, dan efektifitasnya guna meningkatkan efisiensi pemupukan N pada sistem usahatani padi sawah yang lebih murah dan ramah lingkungan, guna mengurangi dampak buruk dari cemaran nitrat.

## METODOLOGI

Penelitian plot di laksanakan di Desa Tirenggo, Kecamatan Bantul, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, pada jenis tanah Inceptisol pada MT 2010/2011. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan 3 x 4 + 1 faktorial (Prajitno, 1988) yang disusun dalam rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL), dengan 12 kombinasi perlakuan + 1 perlakuan kontrol dan tiga ulangan. Perlakuan penelitian meliputi : Takaran bahan penghambat nitrifikasi (PN) dari bungkil biji Mimba (BBM) dan takaran pemupukan nitrogen (N) sebagai berikut:

### **Takaran Bahan PN (P)**

P<sub>0</sub>: Tanpa PN

P<sub>1</sub>: Bahan PN dari BBM 10 % berat pupuk N

P<sub>2</sub>: Bahan PN dari BBM 20 % berat pupuk N

P<sub>3</sub>: Bahan PN dari BBM 30 % berat pupuk N

### **Takaran pupuk urea (kg/ha) (N)**

N<sub>1</sub>: Urea 100 kg ha<sup>-1</sup> (200 g Urea plot<sup>-1</sup>)

N<sub>2</sub>: Urea 200 kg ha<sup>-1</sup> (400 g Urea plot<sup>-1</sup>)

N<sub>3</sub>: Urea 300 kg ha<sup>-1</sup> (600 g Urea plot<sup>-1</sup>)

Pelapisan pupuk Urea dilakukan secara manual dengan teknologi sederhana menggunakan campuran minyak tanah (kerosene) dan aspal (coaltar). Setiap 100 kg pupuk urea dicampur dengan larutan 2 kg coaltar + 2 liter kerosene (Gowariker et al., 2009). Adapun langkah operasional pelapisan pupuk N adalah sebagai berikut; (1) menyiapkan dan menimbang pupuk N (Urea) sesuai kebutuhan, (2) menyiapkan bungkil biji mimba dengan cara menghaluskan dengan grinder kemudian disaring dengan saringan 1 mm dan ditimbang sesuai perlakuan, (3) menyiapkan campuran larutan coaltar dan kerosene sesuai perbandingan yang dibutuhkan, (4) Pupuk yang sudah ditimbang dengan bobot tertentu dan larutan (kerosene + coaltar) pada volume tertentu dicampur dalam wadah toples plastik transparan sebagai rotating drum dan dikocok-kocok/diputar-putar hingga tercampur merata (pupuk terlapisi bahan PN), (5) Pupuk yang telah terlapisi kemudian dikeluarkan dari wadah pencampur dan dianginkan pada tempat yang kering dan dibantu dengan menggunakan pengering (dryer), dan (6) setelah pupuk cukup kering dimasukkan ke dalam wadah dan ditutup rapat, pupuk siap digunakan.

Parameter yang diamati meliputi keragaan pertumbuhan, komponen hasil dan hasil padi nilai efektivitas pupuk (RAE) dan efisiensi agronomi. Efisiensi agronomi N ( $EA_N$ ), EA adalah produksi ekonomi per unit nutrisi yang diberikan atau juga disebut sebagai efisiensi ekonomi hara. EA adalah cara terbaik untuk mengekspresikan efisiensi hara dalam kondisi lapangan. Kriteria terbaik untuk menentukan efisiensi agronomi adalah bagian ekonomi tanaman.

$$EA_N = \frac{(Y_{+N} - Y_{-N})}{P_N} \quad (\text{kg. kg}^{-1} \text{ atau g.g}^{-1})$$

$Y_{+N}$  adalah hasil dengan pemupukan N pada masing-masing perlakuan dan  $Y_{-N}$  adalah hasil tanpa pemupukan N (kontrol) dan  $P_N$  adalah jumlah pupuk N yang diberikan persatuan luas atau pertanaman. Efisiensi serapan didefinisikan sebagai jumlah hara yang diserap per unit hara yang diberikan, dan dihitung dengan persamaan sebagai berikut;

$$ES_N = \frac{(U_{+N} - U_{-N})}{F_N}$$

Dimana,  $U_{+N}$  = serapan N pada perlakuan N,  $U_{-N}$  = serapan N pada perlakuan tanpa N, dan  $F_N$  = Jumlah pupuk N yang diberikan. Data-data yang didapat dari hasil pengamatan dianalisis dengan sidik ragam menurut rancangan faktorial dengan menggunakan program SAS Versi 9.00. Untuk membandingkan rata-rata perlakuan digunakan uji beda nyata dengan DMRT pada level 5 % (Gomez and Gomez, 1984).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Sifat Fisika dan Kimia Tanah

Hasil analisis sifat fisika dan kimia tanah menunjukkan, bahwa tekstur tanah terdiri dari fraksi pasir (62%), debu (18%) dan lempung (20%) dan termasuk kelas tekstur Geluh lempung pasir (Sandy loam) (Foth, 1991). Karakteristik tanah dengan tekstur didominasi fraksi pasir lebih dari 50 %, menurut Dierolf et al., (2001) bahwa kerugian akibat pelindian hara kemungkinan akan besar, penting untuk mengembalikan sisa tanaman untuk memperbaiki bahan organik tanah dan meningkatkan ketersediaan hara.

**Tabel 1.** Hasil analisis sifat fisika dan kimia tanah pada kedalaman 0-20 cm

Sifat tanah	Satuan	Nilai	Harkat
Tekstur :			
- pasir	(%)	62	Sandy loam
- debu	(%)	18	
- lempung	(%)	20	
pH :			
- H <sub>2</sub> O	-	6,21	Agak masam
- KCl	-	4,99	
Bahan organik :			
- C organik	(%)	0,98	Sangat rendah
- N (tot)	(%)	0,08	Sangat rendah
- C/N	-	14	Sedang
N tersedia	ppm	40,2	Rendah
P tersedia	ppm	20,3	Sedang
K tersedia	me/100g	0,39	Sedang
Susunan kation :			
- Ca tsd	me/100g	6,40	Sedang
- Mg tsd	me/100g	2,54	Sedang
- K tsd	me/100g	0,39	Sedang
- Na tsd	me/100g	0,33	Sedang
KPK	me/100g	20,31	Sedang

**Keterangan:** Hasil analisa sampel tanah dari Laboratorium Ilmu Tanah UGM.

### B. Pertumbuhan Tanaman

Pengaruh dosis pupuk N terhadap tinggi tanaman sangat nyata namun pengaruh dosis PN dan interaksi antara perlakuan dosis N dan PN tidak nyata terhadap tinggi tanaman. Data tinggi tanaman, kehijauan daun dan jumlah anakan maksimum disajikan pada Tabel 2. Semakin tinggi aras N yang diberikan berpengaruh positif terhadap tinggi tanaman.

**Tabel 2 :** Tinggi tanaman saat panen (cm), kehijauan daun dan anakan maksimum padi sawah pada perlakuan dosis PN dan N.

Perlakuan	Parameter			
	Tinggi tanaman (cm)	Kehijauan daun 35 hst	Kehijauan daun 60 hst	Anakan maksimum/rumpun
Dosis PN BBM :				
P0 (kontrol)	110,75 a	39,87 b	36,62 c	17,37 b
P1 (PN 10 %)	112,37 a	40,67 ab	37,35 b	17,75 b
P2 (PN 20 %)	112,12 a	41,05 a	37,99 a	18,60 a
P3 (PN 30 %)	112,03 a	40,55 ab	37,73 ab	17,82 ab
Dosis N (Urea):				
N1 (100 kg ha <sup>-1</sup> )	104,82 c	38,89 c	35,90 c	15,91 c
N2 (200 kg ha <sup>-1</sup> )	112,80 b	40,59 b	37,48 b	18,28 b
N3 (300 kg ha <sup>-1</sup> )	117,83 a	42,14 a	38,89 a	19,46 a

**Keterangan :** Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf 5 % uji LSD.

Pertumbuhan tanaman merupakan proses yang dinamis dan kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Hara N merupakan salah satu faktor yang penting pada pertumbuhan padi, kekahatan unsur ini akan berdampak terhadap merosotnya pertumbuhan tanaman. Tanaman yang kekurangan N menunjukkan pertumbuhan yang kerdil (Taslim et al., 1993). Pemberian pupuk N pada tanah yang kahat N, akan memberikan respon yang jelas setelah 2-3 hari melalui peningkatan kehijauan daun dan perbaikan pertumbuhan vegetatif (Dobermann and Fairhurst, 2000). Tinggi tanaman tidak dipengaruhi oleh pemberian PN. Tanaman padi tidak menunjukkan respon pertumbuhan (tinggi tanaman) yang nyata terhadap berbagai pemberian dosis PN yang berbeda.

Parameter kehijauan daun dipengaruhi oleh aras pemberian pupuk N dan bahan PN. Pemupukan N berpengaruh sangat nyata terhadap kehijauan daun pada 35 dan 60 hst, sedangkan pemberian PN hanya berpengaruh sangat nyata terhadap kehijauan daun pada 60 hst. Kehijauan daun dipengaruhi oleh ketersediaan N, dimana semakin tinggi N yang diberikan akan meningkatkan nilai kehijauan daun. Pada perlakuan PN SBN 20 % (P2) kehijauan daun pada 35 hst menunjukkan nilai tertinggi dan berbeda dengan perlakuan kontrol tanpa PN (P0), dan pada pengamatan 60 hst kehijauan daun untuk perlakuan P1 (PN 10%), P2 (PN 20%), dan P3 (PN 30%) berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (P0) (Tabel-2). Kehijauan daun erat kaitannya dengan kandungan klorofil daun dan aktifitas fotosintesis tanaman, sedangkan kandungan klorofil daun dipengaruhi oleh N, karena unsur N merupakan bahan penyusun klorofil. N merupakan komponen atau unsur pokok dari molekul klorofil yang berperan penting dalam fotosintesis tanaman (Fageria, 2009). Tanaman yang kekurangan N menunjukkan gejala klorosis dan daun berwarna kuning karena kekurangan klorofil (Taslim et al., 1993).

Hasil analisis statistik menunjukkan, bahwa pemupukan N berpengaruh sangat nyata, sedangkan perlakuan PN berpengaruh nyata terhadap jumlah anakan maksimum. Pada tanaman padi, tidak semua calon anakan (bud tiller) berkembang menjadi anakan sebagian ada yang tetap dorman. Pasokan hara, jarak tanam, cahaya, dan kondisi lingkungan yang lain berpengaruh terhadap perkembangan anakan (Yoshida, 1981). Pertambahan jumlah anakan maksimum pada percobaan ini sejalan dengan pertambahan jumlah pupuk N yang diberikan. Menurut De Datta (1981), pada fase vegetatif respon tanaman terhadap pemupukan cukup tinggi, terutama pemupukan N yang berfungsi memacu pertumbuhan jumlah anakan.

Peran PN dalam perkembangan anakan adalah adanya kemampuan bahan PN untuk mempertahankan N dalam bentuk  $\text{NH}_4$  dalam larutan tanah (menunda oksidasi  $\text{NH}_4$  ke bentuk  $\text{NO}_2$  dan  $\text{NO}_3$ ), sehingga memungkinkan akar-akar tanaman menyerap  $\text{NH}_4$  lebih banyak pada fase pertumbuhan vegetatif. Below (2001), mengemukakan bahwa penggunaan PN dapat memperlambat transformasi dari  $\text{NH}_4$  menjadi  $\text{NO}_3$ .  $\text{NH}_4$  merupakan bentuk stabil N yang utama pada tanah-tanah tergenang. Padi lebih menyukai menyerap N dalam bentuk  $\text{N-NH}_4$  dari pada  $\text{N-NO}_3$  dari larutan yang mengandung keduanya. Nitrogen merupakan unsur hara makro yang dibutuhkan bagi pertumbuhan vegetatif, yakni memacu pertumbuhan dan pembentukan anakan, selanjutnya meningkatkan jumlah daun (Yoshida, 1981).

### C. Komponen Hasil dan Hasil Padi

Hasil tanaman padi ditentukan oleh beberapa komponen hasil penting seperti, jumlah malai per  $\text{m}^2$ , jumlah gabah per malai, persentase gabah isi dan berat 1000 biji (Taslim et al., 1993; Fageria, 1992; Yoshida, 1981). Komponen hasil yang diamati dan digunakan sebagai indikator dalam mengkaji pengaruh PN terhadap efisiensi pemupukan N antara lain; jumlah anakan produktif, jumlah malai per  $\text{m}^2$ , jumlah gabah per malai, persentase gabah isi, berat 1000 biji dan hasil gabah pada kadar air 14 % (gabah kering giling).

Jumlah anakan per  $\text{m}^2$  merupakan salah satu komponen yang menentukan hasil padi. Pengaruh pemupukan N dan penggunaan PN masing-masing berpengaruh sangat nyata dan nyata terhadap komponen hasil jumlah malai  $\text{m}^2$ . Pengaruh perlakuan N menunjukkan, bahwa semakin tinggi aras pemberian N meningkatkan jumlah anakan per  $\text{m}^2$  dan berbeda nyata untuk masing-masing pemberian N yang berbeda. Peningkatan jumlah malai per  $\text{m}^2$  untuk peningkatan aras pemberian N masing-masing N1 ke N2 sebesar 14,5 % dan N2 ke N3 sebesar 6,6 % (Tabel-3). Pengaruh pemberian bahan PN pada parameter jumlah malai per  $\text{m}^2$  pada awalnya meningkat (dari dosis PN 10% ke 20%) kemudian pada pemberian dosis PN sebanyak 30% dari pupuk N yang diberikan menunjukkan, kecenderungan yang menurun. Pada perlakuan P2 (PN 20%) memberikan respon terhadap jumlah malai per  $\text{m}^2$  tertinggi sebesar 314 malai dan berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (P0) tanpa PN. Pengaruh perlakuan N maupun PN terhadap komponen jumlah malai  $\text{m}^2$ , sebenarnya terkait dengan ketersediaan N

bagi tanaman padi. Peningkatan aras N yang semakin tinggi pada batas tertentu akan meningkatkan ketersediaan N, walaupun ada resiko kehilangan N yang semakin besar. Pemberian PN bersama pemupukan N, merupakan upaya untuk meningkatkan ketersediaan N melalui mekanisme penghambatan nitrifikasi untuk mereduksi kehilangan N dalam bentuk nitrat melalui pelindian.

**Tabel 3:** Komponen hasil; padi malai per m<sup>2</sup>, gabah per malai, persentase gabah isi, berat 1000 biji dan hasil gabah.

Perlakuan	Parameter pengamatan				
	Malai per m <sup>2</sup>	Gabah per malai	Gabah isi (%)	Berat 100 biji (g)	Hasil GKG (t ha <sup>-1</sup> )
Dosis PN BBM :					
P0 (kontrol)	296 b	126,2 a	79,6 a	26,1 a	6,946 a
P1 (PN 10 %)	307 ab	125,9 a	78,8 a	26,4 a	7,154 a
P2 (PN 20 %)	314 a	131,6 a	78,4 a	26,6 a	7,247 a
P3 (PN 30 %)	294 b	126,4 a	78,6 a	26,1 a	7,141 a
Dosis N (Urea):					
N1 (100 kg ha <sup>-1</sup> )	265 c	122,2 b	82,6 a	26,1 a	6,064 c
N2 (200 kg ha <sup>-1</sup> )	310 b	129,2 a	78,1 b	26,5 a	7,519 b
N3 (300 kg ha <sup>-1</sup> )	332 a	131,3 a	75,9 b	26,3 a	7,783 a

**Keterangan :** Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf 5 % uji DMRT.

Perlakuan N berbeda nyata terhadap parameter jumlah gabah per malai, sedangkan perlakuan PN tidak menunjukkan beda nyata. Jumlah gabah per malai merupakan salah satu komponen hasil padi. Jumlah gabah per malai tertinggi dicapai pada perlakuan N3 ( 138 kg N ha<sup>-1</sup>) rata-rata sebesar 131 gabah per malai atau terjadi peningkatan sebesar 11 % dari perlakuan kontrol N1 (46 kg N ha<sup>-1</sup>). Pada Tabel-3, terlihat bahwa semakin tinggi aras N yang diberikan hingga dosis pemberian N 138 kg ha<sup>-1</sup>, jumlah gabah per malai masih meningkat. Ketersediaan hara terutama N selama pertumbuhan vegetatif dan menjelang fase generatif tanaman padi akan berpengaruh terhadap komponen hasil.

Perlakuan PN, walaupun tidak nyata pengaruhnya terhadap komponen jumlah gabah per malai, namun pada perlakuan P2 ( PN 20%) memiliki jumlah gabah tertinggi (131,6 gabah/malai) dibandingkan perlakuan lainnya, termasuk perlakuan kontrol tanpa PN (P0), sebesar 126,2 gabah per malai. Jumlah gabah per malai ditentukan selama tahap pertumbuhan reproduktif. Pada awal pertumbuhan reproduktif, jumlah gabah maksimum ditentukan oleh deferensiasi cabang dan gabah (Yoshida, 1981). Untuk pertumbuhan gabah, selama tahap pertumbuhan reproduktif diperlukan pasokan asimilat yang berasal dari aktivitas fotosintesis selama fase tersebut maupun translokasi dari jaringan lain . Pada Tabel-2, hasil pengamatan rata-rata kehijauan daun terutama pada fase inisiasi malai (SPAD-60) pada perlakuan PN lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan PN (kontrol),

bahkan untuk perlakuan P2 (PN 20 %) berbeda nyata dengan kontrol (P0). Warna daun merupakan indikator status N tanaman, berkaitan erat dengan tingkat fotosintesis dan produksi tanaman (Fairhurst et al., 2007). Dikemukakan oleh Below (2001), bahwa untuk meraih hasil yang tinggi tanaman tidak hanya harus menjaga stabilitas fotosintesis tapi juga menjaga keberlanjutan fotosintesis sepanjang periode pengisian biji.

Persentase gabah isi ditentukan oleh aktivitas sumber (source) terhadap ukuran limbung (sink), dan kemampuan gabah (sink) dalam menerima karbohidrat dan translokasi asimilat dari daun ke gabah. Pengaruh pemberian pupuk N terhadap persentase gabah isi berbeda sangat nyata, sedangkan pemberian bahan PN tidak berbeda nyata dan tidak terdapat interaksi antara keduanya terhadap parameter persentase gabah isi. Pada Tabel-3 ditunjukkan, bahwa semakin tinggi aras pupuk N yang diberikan akan menurunkan persentase gabah isi. Demikian pula untuk perlakuan PN, rerata menunjukkan perlakuan tanpa PN memiliki persentase gabah isi yang lebih besar dari pada perlakuan PN. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian PN mampu meningkatkan ketersediaan N dalam tanah yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Pada Tabel-5, diperlihatkan, bahwa untuk efisiensi serapan N (ESN) pada perlakuan PN rata-rata lebih besar dari perlakuan tanpa PN (P0). Data total serapan N pada jaringan juga menunjukkan hasil yang serupa. Beberapa varietas menunjukkan respon persentase gabah isi yang rendah pada aras pemberian N yang tinggi (Yoshida, 1981).

Pengaruh perlakuan pupuk N dan PN tidak menunjukkan beda nyata terhadap berat 1000 biji, demikian pula tidak terdapat interaksi antara kedua faktor tersebut. Berat 1000 biji merupakan salah satu komponen yang berpengaruh terhadap hasil gabah. Perbedaan bobot 1000 biji tanaman padi dipengaruhi oleh pasokan asimilat dan ukuran gabah. Pada kondisi tanaman mampu memasok asimilat ke biji, namun jika secara genetis ukuran biji (limbung) kecil, maka kemampuan untuk menampung asimilat dalam biji juga terbatas. Pada Tabel-4, berat 1000 biji perlakuan P3N3 lebih kecil dari perlakuan P2N2, namun hasil gabah lebih besar. Berat 1000 butir dapat berpengaruh terhadap hasil dalam berbagai kondisi, tetapi jarang menjadi faktor pembatas (Yoshida 1981).

Pengaruh pemupukan N secara statistik menunjukkan beda yang sangat nyata terhadap hasil gabah, sedangkan untuk perlakuan PN tidak menunjukkan beda nyata. Hasil gabah tertinggi dicapai pada perlakuan N3 (138 kg N ha<sup>-1</sup>), sebesar 7,85 t ha<sup>-1</sup>, dan untuk perlakuan PN pada P2 (20 % PN SBN) sebesar 7,25 t ha<sup>-1</sup>. Hasil analisis kombinasi perlakuan terhadap komponen hasil (Tabel-4), menunjukkan, bahwa hasil tertinggi dicapai pada kombinasi perlakuan P3N3 (138 kg N ha<sup>-1</sup> + 90 kg SBN ha<sup>-1</sup>) sebesar 8,15 t ha<sup>-1</sup> tidak berbeda nyata dengan perlakuan P2N2 (92 kg N ha<sup>-1</sup> + 40 kg SBN ha<sup>-1</sup>) sebesar 7,92 t ha<sup>-1</sup>, dan masih lebih tinggi dari perlakuan P0N3 (138 kg N ha<sup>-1</sup>) sebesar 7,61 t ha<sup>-1</sup> yang dapat dianggap sebagai praktek pemupukan standar. Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa pemberian PN dari BBM dengan takaran 40 kg ha<sup>-1</sup> mampu mengurangi pemakaian pupuk urea hingga 100 kg ha<sup>-1</sup> (46 kg N ha<sup>-1</sup>). Tingginya hasil yang

dicapai pada kombinasi perlakuan P3N3 didukung oleh tingginya komponen hasil jumlah gabah per malai dan jumlah malai per meter persegi yang merupakan dua komponen yang berpengaruh terhadap hasil (Tabel-4).

**Tabel 4:** Hasil uji kombinasi perlakuan terhadap parameter jumlah malai per m<sup>2</sup>, gabah per malai, persentase gabah isi, berat 1000 biji dan hasil gabah.

Kombinasi Perlakuan	Komponen Hasil Gabah				
	Gabah Per malai	Malai per M <sup>2</sup>	Persentase gabah isi	Berat 1000 biji	Hasil gabah (t ha <sup>-1</sup> )
P0N0	95,75 d	223,67 h	83,11 a	25,8 bc	4,05 e
P0N1	122,18 abc	263,67 fg	84,46 a	26,0 abc	5,99 d
P0N2	131,12 abc	296,67 cde	77,71 bcd	25,9 abc	7,24 c
P0N3	125,23 abc	327,00 ab	76,73 cd	26,3 abc	7,61 abc
P1N1	117,32 c	272,00 ef	83,77 ab	26,0 abc	6,22 d
P1N2	131,17 abc	316,00 abc	78,49 abcd	26,5 abc	7,53 abc
P1N3	129,26 abc	335,00 a	74,08 d	26,6 abc	7,72 abc
P2N1	127,08 abc	288,00 def	79,51 abcd	26,5 abc	6,17 d
P2N2	133,49 ab	325,33 ab	79,50 abcd	26,8 a	7,92 ab
P2N3	134,43 ab	329,67 a	76,05 d	26,4 abc	7,66 abc
P3N1	122,01 abc	237,33 gh	82,64 abc	25,7 c	5,88 d
P3N2	120,93 bc	302,33 bcd	76,51 d	26,7 ab	7,40 bc
P3N3	136,140 a	337,67 a	76,65 cd	25,9 abc	8,15 a

**Keterangan :** Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf 5 % uji DMRT.

Hasil penelitian ini menegaskan kembali akan pentingnya peran unsur hara N terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah. Data hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4, membuktikan bahwa peningkatan keragaan beberapa komponen hasil dan hasil padi terkait dengan ketersediaan N yang cukup dan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal oleh tanaman. Hasil gabah yang tinggi pada perlakuan P3N3, P2N2, P1N3 dapat menggambarkan peran N dan PN terhadap hasil yang lebih baik dari pada perlakuan P0N3 yang hanya menggambarkan peran N saja. Peningkatan serapan N berkorelasi dengan pertumbuhan tanaman, sehingga jumlah anakan dan bobot gabah meningkat (Karno, 2009). Kekurangan N dapat menyebabkan penurunan serius terhadap hasil dan kualitas hasil (Below, 2001).

#### A. Efisiensi pemupukan N

Efisiensi pemupukan N dapat ditentukan melalui hasil biomassa dan serapan N oleh tanaman. Semua faktor yang berpengaruh terhadap hasil biomassa dan konsentrasi N dalam jaringan tanaman, akan berpengaruh terhadap efisiensi pemanfaatan N (Nitrogen use efficiency) (Prasad and Power, 1997).

**Tabel 5:** Nilai efektivitas dan efisiensi (RAE, EA<sub>N</sub>, ES<sub>N</sub>) dan serapan N

Perlakuan	RAE (%)	EA <sub>N</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	ES <sub>N</sub> (%)	Serapan N (kg ha <sup>-1</sup> )
Dosis PN SBN :				
P0 (kontrol)	100 a	30,33 a	50,92 b	109,80 a
P1 (PN 10 %)	109 a	32,96 a	59,89 a	116,70 a
P2 (PN 20 %)	111 a	33,75 a	60,04 a	117,10 a
P3 (PN 30 %)	105 a	31,28 a	55,30 ab	116,20 a
Dosis N (Urea):				
N1 (100 kg ha <sup>-1</sup> )	104 a	38,81 a	55,99 a	90,10 a
N2 (200 kg ha <sup>-1</sup> )	109 a	33,43 b	59,71 a	119,29 b
N3 (300 kg ha <sup>-1</sup> )	105 a	23,98 c	53,93 a	135,50 c

**Keterangan :** Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf 5 % uji DMRT.

Peningkatan hasil per unit pupuk N yang diberikan (EAN) adalah merupakan ukuran efisiensi penggunaan pupuk N oleh tanaman (Buresh dan Witt, 2008). Hasil perhitungan dan analisis sidik ragam menunjukkan, bahwa perlakuan N berbeda sangat nyata terhadap nilai EAN, sedangkan perlakuan PN tidak berbeda nyata. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa semakin tinggi aras pemberian N semakin menurunkan nilai AEN (Tabel-5). Pada sistem budidaya padi sawah pemberian pupuk N dalam jumlah besar dengan cara disebar (broadcast) akan menyebabkan kehilangan N dalam jumlah besar melalui berbagai proses terutama penguapan dan pelindian. Kehilangan N pupuk yang besar dan tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman akan menurunkan efisiensi pemupukan. Hal senada dikemukakan oleh Buresh dan Witt, (2008), bahwa Nilai EAN menurun dengan peningkatan pupuk N. Pada Tabel-5, ditunjukkan bahwa perlakuan PN rerata nilai EAN nya lebih tinggi dibandingkan nilai EAN tanpa perlakuan PN, dengan peningkatan rata-rata 7 %. Nilai EAN tertinggi dicapai pada perlakuan P2 ( PN SBN 20%), sebesar 33,75 lebih tinggi dibandingkan nilai EAN perlakuan tanpa PN (P0) sebesar 30,33 atau dengan terjadi peningkatan efisiensi agronomi 10,13%.

Nilai efisiensi serapan (ESN) dapat beragam bergantung sifat tanah, metode jumlah dan waktu pemupukan dan pengelolaan pupuk (Yoshida, 1981). Aplikasi pupuk bersama PN, merupakan salah satu cara memperbaiki efisiensi pemupukan N dan termasuk dalam upaya perbaikan dalam pengelolaan pupuk. Pengaruh dosis pemberian N dan bahan PN tidak berbeda nyata terhadap efisiensi serapan N. Nilai ESN pada pemberian N dosis 92 kg N ha<sup>-1</sup> (N2) sebesar 59,71 kg N kg<sup>-1</sup> N yang diberikan (59,71%), lebih tinggi dari perlakuan N1 (46 kg N ha<sup>-1</sup>) dan N3 (138 kg N ha<sup>-1</sup>). Pada perlakuan N3 nilai EAN sebesar 23,9 kg N kg<sup>-1</sup> N yang diberikan (Tabel-5). Hal ini menunjukkan bahwa aras pemberian N yang tinggi juga menyebabkan tingginya kehilangan N dari dalam tanah, sehingga efisiensi serapan N nilainya menurun. Kehilangan N akan semakin besar dengan semakin tingginya takaran pupuk N yang diberikan (Makarim, et al. 1993 Dalam Abdulrachman et al., 2009).

Efisiensi serapan N pada perlakuan PN masing-masing adalah P1 (PN 10%) sebesar 60,64 %, P2 (PN 20%) sebesar 60,03 % dan P3 (PN 30%) = 55,94% atau memiliki rata-rata efisiensi serapan pada kisaran 55,9 – 60,6 kg gabah kg N-1 yang diserap (Tabel-5). Hasil ini lebih baik dari apa yang disampaikan oleh Prasad dan De Datta (1979) dalam Yoshida (1991), yang menyampaikan bahwa efisiensi serapan untuk padi di daerah tropika berkisar 30 – 50%. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian bahan PN pada perlakuan PN BBM sebesar 20% dari pupuk N yang diberikan, mampu meningkatkan efisiensi serapan N sebesar 23% atau rerata pemberian PN meningkatkan efisiensi serapan sebesar 20,8 % dibandingkan tanpa pemberian PN. Penghambat urease dan nitrifikasi menunjukkan potensi yang bagus terhadap peningkatan serapan tanaman dari pupuk N yang diberikan (Snyder et al., 2007). Hasil perhitungan efisiensi pemupukan pada penelitian ini menunjukkan, bahwa efisiensi agronomi ( $EA_N$ ) dan efisiensi serapan ( $ES_N$ ) tertinggi dicapai pada perlakuan P2 (PN 20%) masing-masing sebesar 33,75 dan 60 % atau dengan kenaikan 10 % dan 15,2 % dari perlakuan kontrol tanpa PN.

### KESIMPULAN

1. Perlakuan PN hanya memberikan pengaruh nyata terhadap komponen hasil jumlah anakan produktif, jumlah gabah per rumpun dan jumlah malai per m<sup>2</sup>, namun tidak berpengaruh nyata terhadap hasil. Kombinasi perlakuan yang memberikan hasil tertinggi berturut-turut adalah P3N3 (8,15 t ha<sup>-1</sup>), P2N2 (7,92 t ha<sup>-1</sup>) P1N3 (7,72 t ha<sup>-1</sup>), P2N3 (7,66 t ha<sup>-1</sup>), dan P0N3 (7,61 t ha<sup>-1</sup>).
2. Perlakuan bahan penghambat nitrifikasi (PN) dari bungkil biji Mimba (BBM) rata-rata dapat meningkatkan efisiensi agronomi N ( $EA_N$ ) sebesar 7,1 % dan efisiensi serapan N ( $ES_N$ ) sebesar 12,8 %.
3. Perlakuan yang memberikan efisiensi terbaik adalah P2 (N + PN 20%) dengan  $EA_N$  (33,75 kg gabah kg<sup>-1</sup> N) dan  $ES_N$  (60 %).

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, S., H. Sembiring dan Suyamto. 2009. Pemupukan Tanaman Padi. Dalam. Darajat, et al. (Eds). Padi Inovasi Teknologi Produksi. Buku 2. Balai Besar Tanaman Padi. LIPI Press.
- Below, F.E. (2001), Nitrogen metabolism and crop productivity. In. Pessarakli (Eds). Hand Books of Plant and Crops Physiology. Second Edition. Marcel Dekker. Inc. New York. Basel.
- Buresh, R.J., and C Witt. 2008. Balancing Fertilizer Use and Profit I Asia's Irrigated Rice Systems. International Plant Nutrition Institute. Better Crops. Vol.92 (1): 18-21.
- Daradjat, A.A. dan P.K. Utami. 1993. Kebutuhan hara N padi di lahan sawah irigasi. Prosiding Simposium Penelitian Tanaman Pangan III. Bogor 23-25 Agustus 1993.

- Da Silva, J.G., G.E. Serra, J.R. Moreira, J.C. Goncalves and J. Goldenberg. 1978. Energy balance for ethyl alcohol production from crop. *Science* 210. 903-906.
- De Datta, S.K. 1979. Fertilizer management for efficient use in wetland rice soils. Pages 671-701 In *Soil and Rice*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, PO Box 933, Manila.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. A Wiley Interscience Publication. John Willey and Sons. New York. Chichester. Brisbane. Toronto. Singapore.
- De Datta, S.K. and R.J. Buresh. 1989. Integrated Nitrogen Management in Irrigated Rice *Advance in Soil Science*. 10:143-169.
- Dierolf, T., T. Fairhurst and E. Mutert, 2001. Soil Fertility Kit. A tool kit for acid upland soil fertility management in Southeast Asia. GTZ GmbH, FAO, PT. Jasa Katom, PPI and PPIC. Canada.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice. Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Potash & Phosphate Institute, Potash (PPI) & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute.
- Fageria, N.K. 2009. *The Use of Nutrients in Crops Plant*. CRC. Press. Taylor and Francis Group. Boca Raton. London. New York.
- Fairhurst, T., A. Dobermaan, C. Quijono-Guerta and V. Balasubramanian. 2007. *Kahat dan Keracunan Mineral*. Dalam Fairhurst, et al. (Eds). Padi. *Panduan Praktis Pengelolaan Hara*. (Edisi bahasa Indonesia).
- Foth, H.D. 1991. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. UGM Press. Yogyakarta.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Second Edition. John Wiley & Sons. Inc. Toronto.
- Gowariker, V., V.N. Krishnamurthy, S. Gowariker, M. Dhanorkar, and K. Paranjape. 2009. *The Fertilizer Encyclopedia*. A. John Wiley & Sons Inc. Publication.
- Hadisudarmo, P., dan K. Hairiah. 2006. Penghambatan nitrifikasi secara hayati dengan pengaturan kualitas serasah pohon penangung pada agroforestri berbasis kopi. Dalam. Kurnia dan Ardiwinata (Eds). *Prosiding Seminar Nasional "Pengendalian Pencemaran Lingkungan Pertanian Melalui Pendekatan Pengelolaan DAS Secara Terpadu*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Karno, 2009. *Kajian Padi Sawah Efisien Fosfor (P) dan Pemupukan Nitrogen di Tanah Podsolik Merah Kuning*. Disertasi Doktor dalam Ilmu Pertanian. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

- Kasryno, F., P. Simatupang, E. Pasandaran, dan S. Adiningsih. 2001. Reformasi Kebijakan Perberasan Nasional. *Forum Agro Ekonomi*, 19(2):1-23.
- Ladha, J.K., F.J. de Bruijn and K.A. Malik. 1997. Intruduction: Assessing opportunities for nitrogen fixaton in rice-a frontier project. In. Ladha, et al. (Eds). *Opportunities for Biological Nitrogen Fixation in Rice and Other Non-Legumes. Developments in Plant and Soil Sciences. Vol. 75.* Kluwer Academic Publishers. In Coperation with IRRI. The Netherlands.
- Makarim, A.K., S. Abdurrachman, dan S. Purba. 2000b. Efisiensi input produksi tanaman pangan melalui prescription farming. Dalam. Makarim, et al. (Eds). *Tonggak Kemajuan Teknologi Tanaman Pangan. Konsep dan Strategi Peningkatan Produksi Pangan.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor
- Makarim, A.K. dan E. Suhartatik. 2006. Budidaya padi dengan masukan insitu menuju perpadian masa depan. Dalam Sumarno (Eds). *Iptek Tanaman Pangan. Vol 1(1).* Juli 2006. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Pingali, P.L., M. Husain and R.V. Gerpacio. 1997. *Asian rice study: The returning crisis?* CAB International and IRRI, Manila.
- Prajitno, D. 1988. *Perancangan Percobaan. Bahan Kuliah Perancangan Percobaan. S2.* Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Pramono, J., S.Catur, E. Kushartanti, Yulianto, S. Basuki, dan Sartono. 2002. *Pengelolaan Tanaman Terpadu Pada Padi Sawah. Laporan Hasil Pengkajian. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah.* (tidak dipublikasikan).
- Prasad, R. and S.K. De Datta. 1979. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. *Nitrogen And Rice.* International Rice Research Institute. Los Banos. Laguna. Philippines.
- Prasad, R. and J.F. Power. 1997. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture.* CRC. Lewis Publisher, Boca Raton. New York.
- Prasad, R., G.B. Rajale, and B.A. Lakhdive. 1971. Nitrification retarders and slow release nitrogen fertilizers. *Adv. Agron.*23:337-383.
- Rao, N.S.S. 2007. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman.* Terjemahan Herawati Susilo dan Subiyanto. UI-Press, Indonesia.
- Sanchez, P. A. 1993. *Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika. Jilid 2.* Terjemahan Oleh. Hamzah, A. Penerbit ITB Bandung.
- Shoji, S. and A.T. Gandeza. 1992. *Controlled Release Fertilizers with Polyolefin Resin Coating.* Kanno Printing. Co. Ltd. Sendai. Japan, pp.1-92.

- Sismiyati, R., I. Nasution, R. Fathan, St. Ningrum, Murtado, M. Djazli, M.F. Muhadjir, dan A.K. Makarim. 1992. Penelitian efisiensi pemupukan nitrogen pada tanaman padi di Jawa Barat dan Lampung. Prosiding Lokakarya Penelitian Komoditas dan Studi Khusus. Vol.3.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, and T.L. Jensen. 2007. Best Management Practices to Minimize Greenhouse Gas Emissions Associated with Fertilizer Use. International Plant Nutrition Institute. Better Crops. Vol. 91 (4). p. 16-18.
- Sumarno, I.G. Ismail dan S. Partohardjono. 2000. Konsep usahatani ramah lingkungan. Dalam. Makarim, A.K. et al. (Eds). Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan. Konsep dan Strategis Peningkatan Produksi Pangan. Simposium Penelitian Tanaman Pangan IV. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Sumaryanto, Wahida, dan M. Siregar. 2003. Determinan efisiensi teknis usahatani padi di lahan sawah irigasi. Jurnal Agro Ekonomi, 21(1).
- Taslim, H., S. Partohardjono, dan Subandi, 1993. Pemupukan Padi Sawah. Dalam. Ismunadji, et al. (Eds). Padi. Buku 2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. h.445-479.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. The International Rice Research Institute. Los Banos. Laguna. Philippines.