

Transformasi Nitrogen dalam Tanah Tergenang: Aplikasi Jerami Padi dan Kompos Jerami Padi

Lilik Tri Indriyati¹, Supiandi Sabiham¹, Latifah Kosim Kadarusman², Rykson Situmorang¹, Sudarsono¹, dan Widjang Herry Sisworo³

Makalah diterima 4 September 2007 /disetujui 10 Maret 2008

ABSTRACT

Nitrogen Transformation in Flooded Soil : Application of Rice Straw and Rice Straw Composts (L.T. Indriyati, S. Sabiham, L.K. Darusman, R. Situmorang, Sudarsono, and W.H.Sisworo): The use of organic materials to reduce the dependence of inputs such as chemical fertilizers can contribute to sustainability and improving the low N fertilizer efficiency of rice plants in paddy soils. Therefore, better understanding of N transformation in flooded soils, particularly the microbial transformation of N-organic amendments to plant-available N and gaseous N forms is needed for most efficient use of soil and organic materials N, for determining the potential of denitrification and for aiding in the selection of N management practices for sustainable agriculture. The experiments were conducted in the laboratory and glasshouse of Soil Department, Faculty of Agriculture, Bogor Agricultural University. An incubation experiment was conducted in the laboratory at room temperature during 120 d to analyze the mineralization-immobilization patterns in flooded soils amended with rice straw, rice straw composts 4 mo and 8 mo and their combinations with urea. The first time of soil flooding, mineral N (N-NH_4^+ and N-NO_3^-) concentrations in all of the amended soils sharply decreased and those gradually increase since 7 d of incubation. It might be due to the reduction of N-NO_3^- to N_2O and N_2 , and immobilization. This data was consistent with the data of N_2O emission derived from pot experiment. The high emission of N_2O was observed at the first time of soil flooding of the amended soils, and the soils added rice straw showed the largest N_2O emission than the other treatments. It might be due to the change of soil condition from aerobic to anaerobic condition, and the higher decomposable C as energy source for denitrifier contained in rice straw. Regardless the organic materials added to soils, the longer anaerobic condition, nitrification sharply decreased, so that nitrate availability limits denitrifications

Keywords: Denitrification, immobilization, mineralization, N transformation, organic materials, rice straw

PENDAHULUAN

Nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang penting bagi tanaman padi dan kekurangan N dapat membatasi produksi padi. Tanaman padi dapat menggunakan N mineral yang berasal dari pupuk N mineral dan bahan organik. Umumnya pupuk N anorganik tidak digunakan secara efisien oleh tanaman dan cenderung hilang dalam bentuk gas. Sejak awal tahun 1980 terjadi kecenderungan penurunan hasil padi yang disebabkan oleh adanya gangguan keseimbangan hara dalam tanah akibat penggunaan pupuk mineral secara berlebihan. Menurut Abrol *et al.* (1997) menurunnya produkti-

vas lahan tersebut diduga disebabkan oleh dua faktor kunci, yaitu pengelolaan hara yang tidak seimbang dan menurunnya kandungan bahan organik tanah.

Dalam usaha mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan pupuk anorganik, seperti urea dan memperbaiki efisiensi penggunaan pupuk N, saat ini banyak perhatian diarahkan pada penggunaan bahan organik. Bahan organik berperan penting dalam pembentukan bahan organik tanah untuk jangka panjang. Sumber bahan organik yang mudah diperoleh di lahan sawah adalah sisa-sisa tanaman padi atau jerami padi.

Tidak seperti pupuk anorganik, bahan organik yang diberikan ke dalam tanah akan mengalami

¹ Departemen Ilmu Tanah & Sumberdaya Lahan, Faperta, IPB, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor

² Departemen Kimia, Fakultas MIPA, IPB, Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor

³ BATAN, Pasar Jumat, Jakarta Timur

J. Tanah Trop., Vol. 13, No. 3, 2008: 189-197

ISSN 0852-257X

mineralisasi sebelum N menjadi tersedia bagi tanaman. Keberadaan N anorganik ($N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$) hasil mineralisasi merupakan faktor penentu bagi ketersediaan N sepanjang masa pertumbuhan tanaman. Tetapi bila N hasil mineralisasi tersebut didenitrifikasi, kehilangan N dari sistem pertanian menjadi hal yang sangat penting. Sampai saat ini penyebab utama dari ketidaksefisienan pupuk N dalam lahan sawah diduga karena adanya proses nitrifikasi-denitrifikasi di lapisan aerob-anaerob, yaitu di rhizosfer atau pada lapisan antar muka (*interface*) tanah-air. Tetapi informasi tentang besarnya N yang hilang dari lahan sawah yang diberi bahan organik masih terbatas. Kehilangan N dalam bentuk N_2O sebagai hasil denitrifikasi selain merugikan petani secara ekonomi juga berpengaruh pada kualitas lingkungan. Hal ini karena gas N_2O merupakan salah satu gas rumah kaca yang 300 kali lebih radiatif daripada CO_2 yang terlibat dalam reaksi yang merusak lapisan ozon stratosfer (Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC, 1992).

Salah satu faktor utama yang memengaruhi dinamika dekomposisi bahan organik adalah komposisi kimia bahan organik (Becker *et al.*, 1994). Komposisi kimia tanaman mempunyai variasi yang besar yang memengaruhi transformasi N bahan organik dalam tanah. Untuk itu pemahaman yang lebih baik tentang proses-proses transformasi N dalam tanah tergenang yang diberi bahan organik dan faktor-faktor yang mengendalikannya serta hubungannya dengan pertumbuhan dan serapan N tanaman padi sangat dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menentukan sumbangan N dari bahan organik (jerami padi dan kompos jerami) sebagai hasil mineralisasi, dan (2) menetapkan jumlah N yang hilang melalui emisi N_2O sebagai hasil dari proses denitrifikasi dalam tanah tergenang yang diberi bahan organik (jerami padi atau kompos jerami) dan urea.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bagian Kimia dan Kesuburan Tanah, Rumah Kaca Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, dan di International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Penelitian dimulai dengan pembuatan kompos, dan dilanjutkan dengan percobaan inkubasi di laboratorium dan percobaan pot di rumah kaca.

Bahan Penelitian

Contoh tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan tanah Dystrudept dari lahan sawah di Darmaga, Bogor yang diambil secara komposit dari kedalaman 0-20 cm. Bahan organik yang digunakan adalah potongan jerami padi 2-3 cm, kompos jerami padi 4 dan 8 bulan pengomposan, dan pupuk urea (44% N) bertanda ^{15}N (9,634% *a.e.*). Pupuk KCl dan SP-36 digunakan sebagai pupuk dasar masing-masing dengan takaran setara 100 kg ha⁻¹. Varietas benih padi yang digunakan untuk percobaan pot di rumah kaca adalah IR-64.

Metode Penelitian

Penentuan Pelepasan Nitrogen ($N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$) Melalui Proses Mineralisasi N dalam Tanah Tergenang di Laboratorium. Jerami padi (J_0) dan jerami padi yang telah dikomposkan selama 4 bulan (J_4), 8 bulan (J_8) serta urea (U) masing-masing dengan takaran 46 mg N kg⁻¹, serta kombinasi bahan organik dengan urea (J_0U , J_4U , dan J_8U) masing-masing dengan takaran setengah dari takaran pada perlakuan tunggal (23 mg N kg⁻¹) dicampurkan ke dalam tanah yang setara dengan 500 g bobot kering mutlak. Masing-masing campuran tanah-bahan organik dan atau urea tersebut dimasukkan ke dalam wadah plastik berdiameter 14,5 cm dan tinggi 16 cm. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan air destilata hingga ketebalan air genangan di atas permukaan tanah dipertahankan 2-3 cm, selanjutnya campuran tersebut diaduk secara merata sehingga tidak terdapat lagi udara yang terjebak dalam tanah. Tanah tanpa pemberian bahan organik atau urea digunakan sebagai kontrol (K_0). Campuran tanah-bahan organik dan atau urea selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 120 hari. Percobaan dilakukan dalam tiga ulangan. Penetapan N mineral ($N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$) dilakukan pada awal inkubasi (0 hari) dan pada 7, 14, 21, 47, 70, dan 96 hari. Nitrogen mineral diekstrak dari tanah lembab dengan 2 M KCl, dikocok selama 30 menit dan disaring, selanjutnya kandungan N mineral dalam filtrat diukur dengan Flow Injection Analysis (FIA) Star Analyzer 5000.

Pengujian Pengaruh Bahan Organik dan atau Urea terhadap Fluks Gas N_2O dari Tanah pada Kondisi Tergenang. Percobaan ini dilakukan di rumah kaca. Perlakuan dan takaran yang diberikan sama dengan percobaan di laboratorium, yaitu K_0 , J_0 , J_4 , J_8 , J_0U , J_4U , J_8U , dan U. Campuran tanah-bahan organik dan atau urea (setara dengan 10 kg BKM) dimasukkan ke dalam pot, dilumpurkan, dan

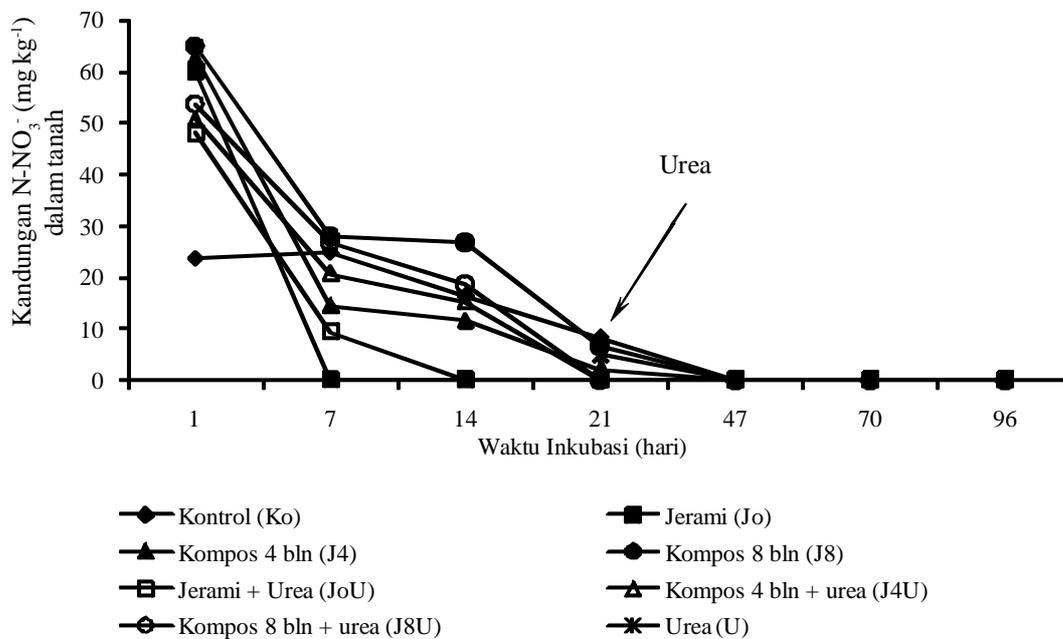
kemudian ditambahkan air hujan hingga ketebalan genangan air di atas permukaan tanah dipertahankan 3-4 cm, selanjutnya diinkubasi selama tiga minggu. Pada hari ke-21 dilakukan penanaman dua bibit tanaman padi umur 14 hari, dan pemupukan dengan urea bertanda ^{15}N (9,634% a.e.), KCl, dan SP-36. Urea bertanda ^{15}N (9,634% a.e.) diberikan dua kali masing-masing setengah takaran. Pengambilan contoh gas dari setiap satuan percobaan dilakukan pada saat pembentukan anakan (*active tillering*) atau 26 hari setelah tanam (HST), pembentukan malai (*panicle initiation*) atau 49 HST, dan saat pembungaan (*heading*) atau 75 HST. Konsentrasi gas N_2O yang dihasilkan selama masa pertumbuhan tanaman ditetapkan dengan menggunakan metode sungkup dan gas N_2O diukur dengan menggunakan gas kromatografi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mineralisasi Nitrogen dari Jerami Padi, Kompos Jerami Padi dalam Tanah Tergenang

Pembebasan N-NO_3^- dan N-NH_4^+ dalam tanah tergenang yang diberi jerami padi (J_0), kompos jerami padi 4 bulan dan 8 bulan (J_4 atau J_8) dan atau urea (U) disajikan pada Gambar 1 dan 2.

Dari Gambar 1 tersebut terlihat bahwa satu minggu setelah penggenangan tanah terjadi penurunan konsentrasi N-NO_3^- secara tajam (50,18% - 92,8%) pada semua perlakuan yang diberikan. Pada pada masa penggenangan berikutnya, kandungan N-NO_3^- mulai menurun dan sejak hari ke-47 dari penggenangan tanah, N-NO_3^- tidak terdeteksi lagi. Penurunan tajam dari konsentrasi N-NO_3^- pada hari ke-7 terjadi karena adanya proses denitrifikasi setelah dilakukan penggenangan tanah. Dengan penggenangan dan pelumpuran tanah, konsentrasi O_2 dalam tanah menurun. Penurunan konsentrasi O_2 dalam tanah terjadi karena laju O_2 yang keluar dari tanah ke atmosfer dan yang dikonsumsi oleh bakteri aerob perombak bahan organik berlangsung lebih cepat daripada laju difusi oksigen atmosfer ke dalam tanah, sehingga tanah menjadi bersifat anaerob. Pada kondisi demikian, N-NO_3^- digunakan sebagai penerima elektron menggantikan oksigen. Hal ini mendukung terjadinya reduksi N-NO_3^- dalam tanah menjadi gas N_2O dan kemudian menjadi gas N_2 (proses denitrifikasi). Hasil ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada percobaan di rumah kaca melalui pengukuran fluks gas N_2O (Gambar 3). Proses hilangnya N-NO_3^- akibat pencucian dapat diabaikan karena percobaan dilakukan dengan menggunakan pot. Penurunan konsentrasi N-NO_3^- yang terbesar



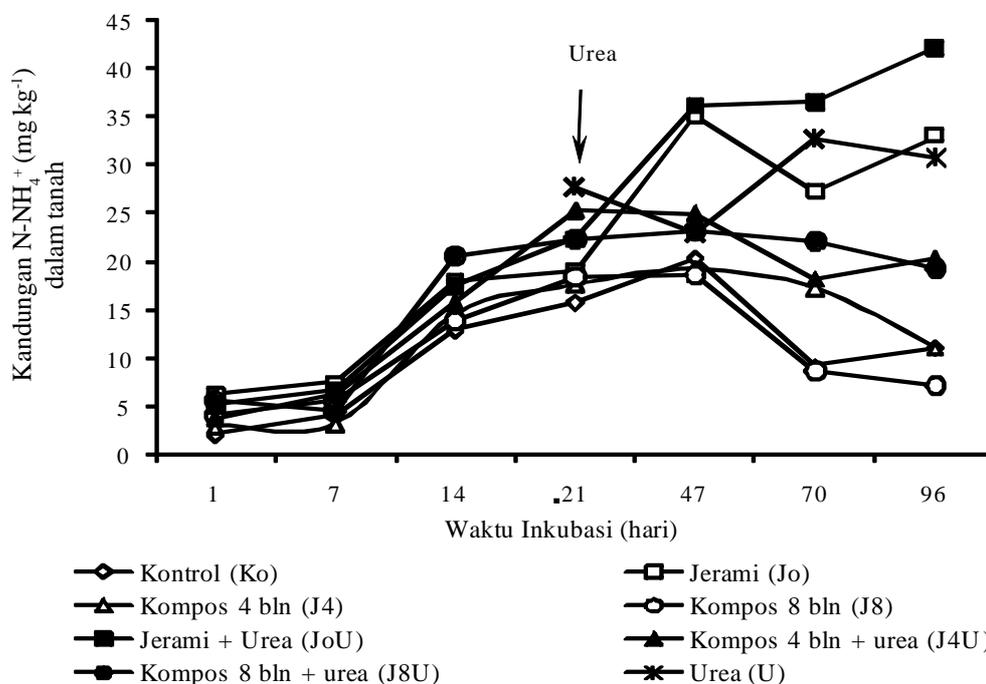
Gambar 1. Nitrogen nitrat (N-NO_3^-) hasil proses mineralisasi N dari jerami padi, kompos jerami padi dan atau urea dalam tanah tergenang.

terjadi dalam tanah dengan pemberian jerami padi (J_0), diikuti oleh pemberian kompos 4 bulan (J_4), dan yang terendah terjadi pada pemberian kompos 8 bulan (J_8). Jerami padi merupakan sumber energi yang baik bagi jasad renik tanah, karena menurut Ponnampertuma (1984) jerami padi mengandung sumber senyawa N-C yang merupakan substrat untuk metabolisme jasad renik tanah. Akibatnya aktivitas jasad renik tanah, termasuk jasad renik yang melakukan denitrifikasi, meningkat dengan pemberian jerami padi (J_0). Selanjutnya reduksi $N-NO_3^-$ dalam tanah yang diberi jerami lebih besar dibandingkan dengan pemberian kompos (J_4 dan J_8). Karena kandungan $N-NO_3^-$ dari hasil pengomposan atau dari potongan jerami padi pada awal penggenangan banyak hilang melalui proses denitrifikasi, maka ketersediaan N dalam tanah tergenang selanjutnya lebih ditentukan oleh tingkat dan laju pembebasan N dari bahan organik (jerami atau kompos) itu sendiri.

Pada awal inkubasi (hari ke-1), konsentrasi $N-NO_3^-$ pada semua pot dengan perlakuan pemberian jerami (J_0), kompos (J_4 dan J_8) dan campuran jerami atau kompos dengan urea (J_0U , J_4U , dan J_8U) cukup

tinggi (Gambar 1). Tingginya konsentrasi $N-NO_3^-$ dalam tanah yang diberi jerami padi (J_0) pada hari ke-1 diduga karena terjadi pembebasan $N-NO_3^-$ yang terkandung dalam potongan-potongan bahan jerami yang diberikan ke dalam tanah. Nitrogen nitrat tersebut merupakan bentuk N yang tidak terikat secara struktural dalam jerami sehingga pada saat dilakukan analisis N tanah dengan pengocokan, senyawa-senyawa tersebut larut dalam tanah dan terukur. Adanya kandungan $N-NO_3^-$ dari bahan tanaman segar diperlihatkan oleh hasil analisis kimia beberapa bahan tanaman yang dilakukan oleh Gunnarsson dan Marstorp (2002).

Gambar 2 memperlihatkan kandungan $N-NH_4^+$ dalam tanah tergenang yang diberi jerami, kompos atau kombinasinya dengan urea selama 96 hari penggenangan tanah. Dari gambar tersebut diperlihatkan bahwa selama 96 hari penggenangan tanah, pembebasan $N-NH_4^+$ dari hampir semua perlakuan yang diberikan ke dalam tanah, kecuali J_0 dan J_0U , berjalan lambat dan dalam jumlah yang relatif rendah. Konsentrasi $N-NH_4^+$ dalam tanah dengan perlakuan pemberian jerami (J_0) dan kombinasi jerami dan urea (J_0U) mulai meningkat secara tajam sejak hari ke-21.



Gambar 2. Nitrogen amonium ($N-NH_4^+$) hasil proses mineralisasi N dari jerami padi, kompos jerami padi dan atau urea dalam tanah tergenang.

Dari Gambar 1 dan 2 ditunjukkan bahwa bentuk $N-NH_4^+$ merupakan bentuk N anorganik yang dominan dalam tanah tergenang. Pada kondisi anaerob, proses mineralisasi N sangat tergantung pada aktivitas bakteri anaerob obligat dan fakultatif. Amonifikasi N-organik dapat terjadi dalam kondisi anaerob tetapi nitrifikasi dipengaruhi oleh ketersediaan O_2 untuk mengubah $N-NH_4^+$ menjadi $N-NO_3^-$ yang terjadi pada kondisi aerob. Oleh karena itu, pada kondisi tergenang, sebagian besar N yang dimineralisasi dari bahan organik dominan dalam bentuk $N-NH_4^+$.

Pemberian urea dilakukan pada hari ke-21 dengan takaran setara dengan 23 kg N ha^{-1} . Setelah pemberian urea pada hari ke-21, perlakuan J_0U , J_4U dan J_8U memperlihatkan laju pembebasan $N-NH_4^+$ yang relatif lebih tinggi dibandingkan perlakuan J_0 , J_4 , dan J_8 . Hal ini menunjukkan bahwa selain adanya sumbangan $N-NH_4^+$ dari hidrolisis urea dalam tanah, juga karena pemberian urea merangsang mineralisasi N dalam tanah dengan perlakuan J_0U , J_4U , dan J_8U . Pada perlakuan J_8 , pembebasan $N-NH_4^+$ cenderung menurun sampai masa penggenangan tanah berakhir. Perlakuan J_0 dan J_0U mulai memperlihatkan peningkatan jumlah $N-NH_4^+$ yang dibebaskan setelah hari ke-21. Akumulasi konsentrasi $N-NH_4^+$ yang dibebaskan dalam tanah dengan perlakuan J_0U lebih tinggi dibandingkan dengan J_0 dan mencapai maksimum pada hari ke-96 sebesar $33,11 \text{ mg N kg}^{-1}$ (71,98% dari N yang diberikan) dan $42,29 \text{ mg N kg}^{-1}$ (91,93 % dari N yang diberikan) masing-masing untuk J_0 dan J_0U . Urea (U) yang diberikan dalam tanah pada hari ke-21 cepat terhidrolisis dan N yang dilepaskan mencapai maksimum pada hari ke-70. Dengan kata lain dalam 49 hari setelah urea diberikan ke dalam tanah, sebagian besar N dari urea (71,13% dari N yang diberikan) telah dilepaskan dalam tanah tergenang.

Menurut Zhu, Liu dan Jiang (1984) pembebasan N dari bahan organik terutama tergantung pada nisbah C/N dan komposisi kimianya. Pembebasan N mineral ($N-NO_3^-$ dan $N-NH_4^+$) dalam tanah dengan perlakuan kompos (J_4 dan J_8) lebih kecil bila dibandingkan dengan jerami padi (J_0), walaupun nisbah C/N kompos jauh lebih kecil, yaitu 20,26 dan 14,13 masing-masing untuk J_4 dan J_8 dibandingkan dengan nisbah C/N jerami (41,4). Perbedaan pelepasan N dari jerami atau kompos ini disebabkan oleh perbedaan kandungan energi dalam kedua bahan tersebut (jerami dan kompos). Jasad renik memerlukan C untuk membentuk jaringan tubuhnya. Alexander (1977)

menyatakan bahwa dekomposisi bahan organik yang diberikan ke dalam tanah selain tergantung pada kondisi fisik dan kimia lingkungan tanah sekitarnya, juga pada komponen kimia dari bahan organik tersebut. Menurutnya komponen kimia dari bahan organik yang pertama didekomposisi adalah komponen bahan organik yang paling tidak tahan terhadap serangan jasad renik yaitu fraksi larut air seperti gula sederhana, asam amino, dan asam alifatik. Dari nilai nisbah C/N-nya, kompos 4 bulan (J_4 ; nisbah C/N = 20,26) dan kompos 8 bulan (J_8 ; nisbah C/N = 14,03) merupakan jerami padi yang telah terdekomposisi dan telah membentuk humus (nisbah C/N humus 8-15). Humus merupakan suatu polimer humik yang relatif tahan terhadap dekomposisi lebih lanjut, dan hal ini menyebabkan laju dekomposisi kompos jerami lebih lanjut selama masa penggenangan 120 hari menjadi jauh lebih kecil dibandingkan dengan bahan yang relatif masih segar. Selain itu, humus yang dihasilkan selama proses pengomposan jerami mampu mengikat N secara kuat sehingga mengurangi laju pembebasan N dari kompos. Haynes (1986) dan Stevenson (1994) menyatakan bahwa selama proses pengomposan jerami, lignin yang terkandung dalam jerami terdegradasi menjadi polifenol yang selanjutnya berkombinasi dengan polifenol jasad renik dan protein membentuk senyawa polimer humik yang relatif tahan terhadap dekomposisi lebih lanjut. Oleh karenanya, N yang dibebaskan dari kompos 4 dan 8 bulan menjadi lebih kecil. Semakin lama proses pengomposan jerami sebelum diberikan ke dalam tanah tergenang, makin kecil sumbangan N yang dilepaskan ke dalam tanah. Hasil ini menunjukkan bahwa kompos merupakan sumber N yang kurang baik dalam tanah tergenang.

Jerami segar merupakan bahan organik yang belum terdekomposisi dan merupakan sumber energi dan karbon (C) bagi jasad renik tanah. Nisbah C/N dari bahan organik sering dipakai sebagai penduga laju mineralisasi N yang baik, dan nisbah C/N harus kurang dari 20 sebelum mineralisasi N terjadi (Havlin *et al.*, 1999). Tetapi walaupun nisbah C/N jerami lebih dari 20, dalam kondisi tanah tergenang jerami padi mampu melepaskan $N-NH_4^+$ ke dalam tanah sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2. Menurut Ponnampetuma (1977) hal ini terjadi karena adanya metabolisme jasad renik anaerob yang tidak efisien. Jasad renik memerlukan energi dan C untuk membentuk jaringan tubuhnya. Energi yang dihasilkan dari metabolisme respirasi secara anaerob

Fluks gas N_2O ($mg\ m^{-2}\ jam^{-1}$)

Gambar 3. Fluks gas N_2O akibat pemberian jerami padi, kompos jerami padi dan atau urea dalam tanah tergenang

jauh lebih kecil daripada metabolisme respirasi aerob (Meyer *et al.*, 1960). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan jasad renik anaerob dalam merombak C-organik dalam bahan organik jauh lebih rendah daripada jasad renik aerob. Oleh karena itu, lebih banyak C-organik yang harus dioksidasi per satuan biomassa jasad renik yang dibentuk. Selama proses dekomposisi bahan organik oleh jasad renik, dilepaskan N ke dalam tanah. Dan karena $N-NH_4^+$ yang dibutuhkan oleh jasad renik tanah anaerob untuk sintesis bahan selnya lebih sedikit dibandingkan dengan jasad renik aerob (Acharya, 1935), maka selama proses dekomposisi bahan organik lebih banyak N yang dilepaskan dalam tanah pada kondisi tanah tergenang.

Fluks Gas N_2O dari Tanah pada Kondisi Tanah Tergenang Akibat Pemberian Jerami Padi, Kompos Jerami Padi dan atau Urea.

Hasil pengamatan fluks gas N_2O selama masa inkubasi bahan organik (jerami segar dan kompos) sampai stadia awal pembentukan malai (49 HST) pada percobaan pot di rumah kaca disajikan pada Gambar 3.

Pemberian jerami segar, kompos dan atau urea berpengaruh sangat nyata terhadap fluks gas N_2O hanya pada -20 HST atau satu hari setelah dilakukan pencampuran bahan organik dan setelah penggenangan tanah. Selama masa inkubasi bahan organik pada -21 HST sampai 0 HST (saat tanam), tanah dalam pot percobaan tidak ditanami padi. Tanaman padi umur 14 hari baru ditanam pada 0 HST.

Gambar 3 menunjukkan adanya variasi fluks gas N_2O dari tanah yang diberi perlakuan bahan organik dan atau urea. Pada -20 HST, fluks gas N_2O yang tertinggi terjadi pada pot percobaan dengan perlakuan J_0U yaitu sebesar $4,32\ mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ jam^{-1}$. Sementara itu, fluks gas N_2O terendah terjadi pada pot percobaan tanpa pemberian bahan organik dan atau urea (K_0) yaitu sebesar $0,30\ mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ jam^{-1}$, tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan J_0 , J_4 , J_8 , J_4U , dan J_8U . Pada -20 HST, perlakuan J_0U , J_4U dan J_8U memperlihatkan fluks gas N_2O lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan J_0 , J_4 , dan J_8 , padahal jumlah N yang diberikan pada perlakuan J_0U , J_4U dan J_8U setengah dari jumlah N yang diberikan pada perlakuan J_0 , J_4 , dan J_8 . Hal ini diduga karena pemberian jerami segar atau kompos dalam jumlah yang lebih besar ($46\ mg\ N\ kg^{-1}$) merangsang aktivitas jasad renik tanah. Pada waktu bersamaan, meningkatnya aktivitas jasad renik tanah juga meningkatkan konsumsi O_2 oleh jasad renik tanah sehingga menyebabkan kondisi tanah semakin anaerob dan mendorong hilangnya N dalam bentuk N_2 daripada N_2O . Keadaan ini mengakibatkan penurunan fluks gas N_2O pada pot dengan perlakuan J_0 , J_4 , dan J_8 . Sebagaimana dikemukakan oleh Azam *et al.* (2002) bahwa peningkatan aktivitas jasad renik tanah, termasuk di dalamnya bakteri denitrifikasi, secara tidak langsung menyebabkan kondisi semakin anaerob karena peningkatan kebutuhan O_2 untuk respirasi jasad renik tanah.

Penurunan fluks gas N_2O secara drastis pada 0 HST (saat tanam) sampai 49 HST (stadia awal

Tabel 1. Konsentrasi $N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$ ($mg\ kg^{-1}$) dalam tanah tergenang pada setiap stadia pertumbuhan tanaman padi.

Perlakuan	Stadia Pembentukan Anakan (26 HST)		Stadia Awal Pembentukan Malai (49 HST)		Stadia Pengisian Bulir (75 HST)	
	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$	$N-NH_4^+$	$N-NO_3^-$
K_o	15,37	0,25	5,37	0	2,64	0
J_o	28,82	0,21	8,56	0	4,51	0
J_4	27,11	0,23	7,81	0	3,13	0
J_8	26,42	0,09	6,65	0	1,10	0
J_oU	29,63	0,07	7,04	0	5,91	0
J_4U	30,91	0,03	5,60	0	3,17	0
J_8U	31,25	0,02	6,78	0	3,20	0
U	34,30	0,06	6,16	0	6,37	0

Keterangan : K_o = Kontrol, J_o = Jerami padi, J_4 = Kompos jerami padi 4 bulan, J_8 = Kompos jerami padi 8 bulan, J_oU = Jerami padi + urea, J_4U = Kompos jerami padi 4 bulan + urea, J_8U = kompos jerami padi 8 bulan + urea

pembentukan malai) terjadi karena kondisi tanah telah menjadi lebih reduktif dan konsentrasi nitrat dalam tanah telah menjadi sangat berkurang sejak 26 HST (stadia pembentukan anakan). Setelah 26 HST konsentrasi nitrat tidak terdeteksi (Tabel 1). Meningkatnya kondisi anaerob dalam tanah tersebut mengarah pada meningkatnya reduksi N_2O menjadi N_2 yang akhirnya menurunkan fluks gas N_2O . Menurut Smith dan Patrick 1983) fluks gas N_2O hanya terjadi bila ada $N-NO_3^-$ dan bila potensial redoks tetap di atas +200 mV. Fluks gas N_2O cepat berkurang sampai sangat rendah bila potensial redoks berkurang di bawah +200 mV. Hal ini tidak berarti bahwa pada potensial redoks di bawah +200 mV tidak terjadi proses denitrifikasi, tetapi nitrogen lebih banyak hilang sebagai gas N_2 yang merupakan hasil akhir dari proses denitrifikasi.

Sejak tanam bibit (0 HST) sampai pertumbuhan padi mencapai stadia awal pembentukan malai (49 HST), fluks gas N_2O sangat rendah. Tanaman padi dapat menyalurkan O_2 dari udara ke akar-akarnya melalui aerenchym. Sebagian dari O_2 ini dilepaskan ke dalam tanah (Frenzel *et al.*, 1992) dan dapat mendukung terjadinya proses nitrifikasi serta proses aerob lainnya di daerah perakaran (rhizosfer). Nitrat yang terbentuk sebagai hasil dari proses nitrifikasi segera direduksi bila berdifusi ke dalam tanah yang bersifat reduktif yang ada di sekitar perakaran padi. Namun adanya asimilasi $N-NH_4^+$, yang merupakan substrat bagi bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi, oleh tanaman padi menyebabkan ketersediaan $N-NH_4^+$

dalam tanah menjadi berkurang sehingga tingkat nitrifikasi dalam lingkungan rhizosfer menjadi sangat berkurang (Tabel 1). Akibatnya fluks gas N_2O atau denitrifikasi N juga menjadi sangat berkurang. Menurut Kakuda *et al.* (2000) tanaman padi dapat menurunkan kehilangan N dari sistem tanah-tanaman. Penurunan denitrifikasi N tersebut disebabkan oleh adanya persaingan antara akar-akar tanaman dan bakteri denitrifikasi terhadap N tersedia.

Data pada Tabel 2 memperlihatkan nilai pendugaan total nitrogen yang hilang dari tanah tergenang sebagai gas N_2O akibat pemberian jerami segar, kompos dan atau urea. Total emisi gas N_2O yang tertinggi selama masa inkubasi bahan organik sampai stadia awal pembentukan malai, terjadi pada pot percobaan dengan perlakuan kombinasi jerami segar dengan urea (J_oU) yaitu sebesar 0,54 g $N-N_2O\ m^{-2}$. Total emisi gas N_2O terendah terjadi pada pot percobaan tanpa pemberian bahan organik maupun urea (K_o) yaitu sebesar 0,23 g $N-N_2O\ m^{-2}$. Relatif lebih tingginya emisi gas N_2O dari perlakuan J_oU dibandingkan dengan perlakuan lainnya diduga karena adanya kandungan karbon sebagai C-organik dari jerami segar relatif cukup besar yaitu sebesar 19,05 g per pot atau 2 - 3 kali lebih besar dibandingkan dengan kompos (C-org jerami = 44,71%, C-org kompos = 29,17% (J_4) dan 21,05% (J_8)).

Secara umum emisi gas N_2O yang dihasilkan dari tanah tergenang yang diberi perlakuan bahan organik dan atau urea (Tabel 2) relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan organik atau

Tabel 2. Nilai rata-rata fluks gas N₂O dan pendugaan total nitrogen yang hilang sebagai gas N₂O dari tanah tergenang akibat pemberian jerami padi, kompos dan atau urea selama pertumbuhan tanaman padi.

Perlakuan	Stadia Pembentukan Anakan (26 HST)		Stadia Awal Pembentukan Malai (49 HST)		Stadia Pengisian Bulir (75 HST)	
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
K ₀	15,37	0,25	5,37	0	2,64	0
J ₀	28,82	0,21	8,56	0	4,51	0
J ₄	27,11	0,23	7,81	0	3,13	0
J ₈	26,42	0,09	6,65	0	1,10	0
J ₀ U	29,63	0,07	7,04	0	5,91	0
J ₄ U	30,91	0,03	5,60	0	3,17	0
J ₈ U	31,25	0,02	6,78	0	3,20	0
U	34,30	0,06	6,16	0	6,37	0

Keterangan : ^a K₀ = Kontrol, J₀ = Jerami padi, J₄ = Kompos jerami padi 4 bulan, J₈ = Kompos jerami padi 8 bulan, J₀U = Jerami padi + urea, J₄U = Kompos jerami padi 4 bulan + urea, J₈U = Kompos jerami padi 8 bulan + urea
^b Pengambilan contoh udara dan pengukuran gas N₂O pada pot percobaan dengan perlakuan urea (U) dilakukan sebelum pemberian urea ke dalam tanah.

urea ke dalam tanah yang tergenang secara terus-menerus selama masa pertumbuhan tanaman padi bukan merupakan sumber pencemaran gas N₂O yang membahayakan lingkungan.

KESIMPULAN

Mineralisasi N atau pembebasan N dari bahan organik dalam tanah tergenang sangat tergantung pada tingkat dekomposisi bahan organik yang diberikan ke dalam tanah. Nitrogen (N-NH₄⁺) yang dilepaskan ke dalam tanah tergenang dengan pemberian potongan jerami padi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian jerami yang telah dikomposkan. Pemberian urea yang dikombinasikan dengan kompos jerami mampu meningkatkan ketersediaan N dalam tanah. Untuk jangka pendek jerami padi merupakan sumber N tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan kompos.

Pemberian potongan-potongan jerami padi ke dalam tanah tergenang cenderung menurunkan emisi gas N₂O dan pemberian bahan organik dan atau urea ke dalam tanah yang tergenang secara terus-menerus selama masa pertumbuhan tanaman padi bukan merupakan sumber pencemaran gas N₂O.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas bantuan moril dan materil dari QUE

Project, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrol, I.P., K.F. Bronson, J.M. Duxbury and R.K. Gupta. 1997. Long-term soil fertility experiments in rice-wheat cropping systems. Proc. Of a workshop, 15-18 Oct. 1996, Surajkund, Haryana, India. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, India.
- Acharya, C.N. 1935. Studies on the decomposition of plant materials. II. Comparison of the course of decomposition of rice straw under anaerobic, aerobic, and partially aerobic conditions. Biochem. J. 29: 1116-1120.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley & Sons, New York, 467 p.
- Azam, F., C. Miller, A. Weiske, and G. Benckiser. 2002. Nitrification and denitrification as sources of atmospheric nitrous oxide – role of oxidizable carbon and applied nitrogen. Biol. Fertil. Soils, 35: 54-61.
- Becker, M., J. K. Ladha, I. C. Simpson, and J. C. G. Ottow. 1994. Parameters affecting the nitrogen mineralization of plant residues in flooded soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1666-1671.
- Frenzel, P., F. Rothfuss, R. Conrad. 1992. Oxygen profiles and methane turnover in a flooded rice microcosm. Biol. Fertil. Soils, 14: 84-89.
- Gunnarson, S. and H. Marstorp. 2002. Carbohydrate composition of plant materials determines N mineralization. Nutr. Cycling in Agroecosystems 62: 175-183.

- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers*, 6th ed. Prentice Hall, New Jersey. 501p.
- Haynes, R. J. 1986. The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation. In R. J. Haynes (ed.), *Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System*. Academic Press, Oralando, FL. pp. 52-176.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. *Climate Change, the IPCC Scientific Assesment*. J.T. Houghton, G. J. Jenkins, and J.J. Ephraums (eds). Cambrige University Press, UK.
- Kakuda, K., H. Ando, and T. Konno. 2000. Contribution of nitrogen absorption by rice plants and nitrogen immobilization enhanced by plant growth to the reduction of nitrogen loss through denitrification in rhizospere soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 46(3): 601-610.
- Meyer, B.S., D.B. Anderson, and R.H. Bohning. 1960. *Introduction to Plant Physiology*. D. Van Nostrand Company, Inc. 541p.
- Ponnamperuma, F.N. 1977. Physiological properties of submerged soils in relation to fertility. *Int. Rice Res. Inst. Paper Seri 5*: 1-32.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as a source of nutrient for wetland rice. In *Organic Matter and Rice*, p. 117–136. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry : Genesis, Composition, Reactions*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 496 p.
- Zhu, Z., C. Liu, and B. Jiang. 1984. Mineralization of organic nitrogen, phosphorus, and sulfur in some paddy soils of China. In *IRRI, Organic Matter and Rice*, p. 259-272. Los Banos, Philippines.