

Emisi Gas Dinitrogen Oksida dari Tanah Sawah Tadah Hujan yang diberi Jerami Padi dan Bahan Penghambat Nitrifikasi

A. Wihardjaka

Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jl. Raya Jakenan Km 5 Jakenan Pati 59182, E-mail : whjk@telkom.net

ABSTRACT

Nitrous Oxide Emission from Rainfed Lowland Rice Soils through Applications of Rice Straw and Nitrification Inhibitor Materials. Alternate wet-dry of soil condition under rainfed lowland system influence on source and sink dynamics of green house gases. Lowland rice soil is one of antropogenic sources of nitrous oxide (N_2O) emission produced by microbiological nitrification-denitrification mediated processes. Attempt to increase soil productivity in lowland rice system by organic amendment is predicted to stimulate nitrous oxide production. The increase of N_2O production in lowland rice could be suppressed by using nitrification inhibitor materials. A field experiment was conducted in rainfed lowland rice during 2009 dry season. The objective was to study interaction of rice straw application and nitrification inhibitor materials on nitrous oxide emission from rainfed lowland rice. Experiment was arranged using factorial randomizes block design with three replicates and treatment of rice straw application (without rice straw, fresh straw, composting straw) and inhibitor nitrification materials (without inhibitor nitrification, neemcake, carbofuran). Interaction of rice straw and nitrification inhibitor materials decreased significantly N_2O emission from lowland rice soil. Nitrous oxide emission in plot without rice straw was higher than in plot treated with neither fresh rice straw nor composting straw. Application neemcake combined with composting straw emitted lowest nitrous oxide with flux of $72 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ season}^{-1}$, whereas the highest N_2O emission was found in plot without nitrification inhibitor materials and rice straw with flux of $454 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ season}^{-1}$. Compared with treatment of without nitrification inhibitor, application of neemcake and carbofuran could suppress nitrous oxide emission of 48.6 and 41.3 %, respectively.

Key words : nitrous oxide emission, rainfed lowland, rice straw, nitrification inhibitors

PENDAHULUAN

Sistem sawah tadah hujan dengan kondisi basah-kering berpengaruh terhadap pola atau dinamika emisi gas dinitrogen oksida. Kondisi tergenang merupakan kondisi ideal bagi pembentukan gas metana (*source*) dan rosot (*sink*) bagi gas dinitrogen oksida, sedangkan kondisi kering berfungsi

sebagai rosot metana, dan sumber bagi gas dinitrogen oksida (Xiong *et al.* 2007).

Tanah sawah merupakan salah satu sumber antropogenik utama gas dinitrogen oksida (N_2O), yang memberikan kontribusi terhadap pemanasan global (IPCC 2006). Konsentrasi N_2O di atmosfer dilaporkan mengalami peningkatan dengan laju 0,25% setiap tahun (Hansen & Bakken 1993, Snyder *et al.* 2009). Tanah pertanian

memberikan kontribusi terhadap emisi N_2O sebesar 0,2-2,1 Tg N_2O (Hansen & Bakken 1993). Gas N_2O di atmosfer relatif lebih lama berada dibandingkan gas CO_2 dan metana (Prinn *et al.* 1990), dengan sifat berpotensi pemanasan global 250-310 kali lebih tinggi daripada CO_2 (Watson *et al.* 1992, Abao *et al.* 2000, Meiviana *et al.* 2004).

Gas N_2O secara alami dihasilkan dalam tanah melalui proses mikrobiologis, denitrifikasi dan nitrifikasi. Proses tersebut dipengaruhi oleh bahan organik tersedia, pasokan nitrat, ketersediaan oksigen, kandungan air tanah, reaksi tanah (pH), suhu tanah dan kehadiran tanaman (Byrnes *cit* Hansen & Bakken 1993, Snyder *et al.* 2009). Bakteri nitrifikasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) yang merupakan bakteri kemoautotrofik berperan dalam proses nitrifikasi-denitrifikasi yang bertanggung jawab terhadap hilangnya N dari lahan sawah (Minami & Fukushima, 1984). Pada kondisi tanah reduktif, bakteri anaerobik fakultatif denitrifikasi mengubah nitrat menjadi molekul nitrogen (N_2O , N_2) (Yoshida 1978). Menurut Klemedtson *et al.* (1988), beberapa mikroorganisme tanah yang mampu menghasilkan gas N_2O yaitu bakteri nitrifikasi, bakteri denitrifikasi, bakteri nondenitrifikasi pereduksi nitrat, jamur pereduksi nitrat atau jamur lain.

Ketersediaan nitrat dalam tanah merupakan salah satu faktor yang menentukan laju denitrifikasi. NO_3^- sangat tidak stabil pada kondisi tanah tergenang, yang dalam beberapa hari setelah penggenangan nitrat akan hilang sebagai N_2O dan N_2 melalui denitrifikasi (Ponnamperuma 1977). Proses denitrifi-

kasi menghasilkan gas N_2O dalam suasana anaerob, namun dilaporkan pula bahwa proses tersebut dapat berlangsung dengan adanya O_2 . Beberapa bakteri denitrifikasi menggunakan O_2 dan NO_2^- secara simultan sebagai akseptor elektron (Klemedtson *et al.* 1988).

Pemberian bahan pembenah organik pada tanaman budidaya diduga memacu peningkatan aktivitas mikrobial denitrifikasi dan emisi N_2O (Meijide *et al.* 2009). Emisi N_2O alami dapat meningkat akibat berbagai ragam kegiatan pertanian. Kegiatan tersebut secara langsung menambah pasokan nitrogen ke dalam tanah yang dapat dikonversi menjadi N_2O (USEPA 2006). Menurut Laegreid *et al. cit* Gold & Oviatt (2005), rata-rata 1,25% N yang ditambahkan ke dalam tanah sebagai pupuk atau limbah organik atau fiksasi hayati ditransformasi menjadi N_2O .

Laju emisi gas N_2O bergantung pada jumlah dan komposisi pupuk baik pupuk organik maupun pupuk mineral (Mosier *et al.* 1994). Peningkatan takaran pupuk kandang hingga 7,5 t ha⁻¹ meningkatkan emisi N_2O berkisar 28,8–100,3% (Setyanto *et al.* 1997). Masukan bahan organik yang mudah terdegradasi melalui pembenaman sisa tanaman ke dalam tanah akan meningkatkan jumlah denitrifier dan laju denitrifikasi, sehingga memberikan kondisi menguntungkan bagi pembentukan N_2O (Granli & Bockman 1994, Xiong *et al.* 2007).

Jerami padi sebagai salah satu bahan pembenah organik tersedia melimpah di kawasan sawah tadah hujan. Pemberian jerami 5 t ha⁻¹ dapat meningkatkan hasil gabah padi sawah tadah hujan setara

dengan pemupukan 30 kg N ha⁻¹ (Basyir & Suyanto 1996, Sharma & Mitra *cit* Toha *et al.* 2001). Pengelolaan jerami padi pada tanah sawah tadah hujan dapat mempengaruhi pola dan besarnya emisi gas N₂O. Menurut Xiong *et al.* (2007), selain pupuk N anorganik, pupuk organik adalah sumber penting pelepasan N₂O ke atmosfer.

Kehilangan Hara N melalui nitrifikasi denitrifikasi menyebabkan efisiensi pupuk N rendah (Arafat *et al.* 1999). Hara N yang hilang melalui denitrifikasi di lahan sawah dapat mencapai kisaran 30–40% (Ladha *et al.* 1997, Sahrawat 2004), sehingga dapat mempengaruhi keseimbangan N dalam sistem produksi tanaman (Hansen & Baken 1993).

Beberapa bahan penghambat nitrifikasi telah tersedia secara komersial dan relatif mahal harganya, antara lain: 2-chloro-6 (trichloromethyl) pyridine, sulfathiazole, dicyandiamide, 2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine, 2-mercaptop-benzothiazole, thiourea, 5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole (terrazole), dan karbofuran (2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranil metilkarbamat) (Kusmaraswamy *et al. cit* Sahrawat 2004, Unger *et al.* 2009).

Beberapa bahan alami berpotensi sebagai penghambat nitrifikasi, antara lain biji mimba (*Azadirachta indica* A.Juss). Di India, biji mimba telah banyak dimanfaatkan dalam budidaya tanaman pangan sebagai bahan penghambat nitrifikasi selain sebagai bahan pestisida nabati, namun di Indonesia belum begitu banyak dimanfaatkan. Mimba (*Azadirachta indica*) merupakan satu di antara famili Meliaceae yang telah lama

dimanfaatkan sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan berbagai jenis hama tanaman budidaya sebelum tergeser oleh pestisida sintetik di era revolusi hijau. Selain itu, biji mimba mengandung metabolit sekunder berupa polifenol atau lemak tidak jenuh tertentu yang dapat bertindak sebagai penghambat nitrifikasi dan dapat meningkatkan efisiensi pupuk urea (Rao 1994).

Informasi penggunaan bahan alami mimba sebagai penghambat nitrifikasi dan pengaruhnya terhadap emisi N₂O di lahan sawah tadah hujan relatif masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji emisi gas dinitrogen oksida (N₂O) dari tanah sawah tadah hujan melalui interaksi pemberian jerami padi dan bahan yang berfungsi sebagai penghambat nitrifikasi.

BAHAN DAN CARA KERJA

Lokasi dan Perlakuan

Kegiatan penelitian dilaksanakan di lahan sawah tadah hujan intensif di kecamatan Jaken, Kabupaten Pati, Jawa Tengah pada musim kering 2009. Lokasi percobaan termasuk dalam wilayah Desa Sidomukti, Kecamatan Jaken, Kabupaten Pati yang terletak pada ketinggian 15 m di atas permukaan laut, 17 km dari Pantai Utara Jawa Tengah (kecamatan Juana) dengan koordinat 111°10' BT dan 6°45' LS, dan tipe iklim Oldeman termasuk E2–E3 (BPS 2000). Tanah tempat penelitian akan dilaksanakan diklasifikasi sebagai Vertic Endoaquepts yang bereaksi agak masam (pH-H₂O 5,6) dengan kandungan N total rendah (0,3 mg g⁻¹) dan C-organik rendah (3,2 mg g⁻¹).

Percobaan disusun menggunakan rancangan faktorial acak kelompok (RAK) dengan tiga ulangan. Faktor I berupa jerami padi terdiri tiga perlakuan (tanpa jerami, jerami segar 5 t ha⁻¹, jerami melapuk 5 t ha⁻¹). Faktor II berupa pemberian bahan penghambat nitrifikasi yang terdiri a tiga perlakuan (tanpa bahan penghambat nitrifikasi, tepung biji mimba 20 kg ha⁻¹, karbofuran 20 kg ha⁻¹).

Bibit padi Cihérang ditanam pindah dari persemaian pada masing-masing petakan berukuran 4 m X 5 m. Bibit padi ditanam 1 bibit setiap lubang dengan jarak tanam 20 cm X 20 cm. Bahan pembenah organik (perlakuan jerami) diberikan bersamaan dengan pengolahan tanah dengan cara dibenamkan, dan lahan dibiarkan dua minggu sebelum dilakukan penanaman. Bahan penghambat nitrifikasi ditumbuk dan diayak dengan ayakan 0,5 mm, serta diberikan bersamaan dengan pemberian pupuk nitrogen. Takaran pupuk anorganik diberikan sesuai anjuran setempat yaitu 120 kg N, 45 kg P₂O₅, dan 60 kg K₂O setiap hektar. Pupuk N diberikan tiga tahap yaitu 1/3N sebelum tanam, 1/3N saat anakan aktif, 1/3N saat primordia bunga. Pupuk P diberikan sekaligus sebelum tanam dan pupuk K diberikan dua tahap yaitu 1/2K sebelum tanam dan 1/2K saat primordia bunga. Kandungan hara N, P, K dalam jerami padi dipertimbangkan dalam penghitungan kebutuhan pupuk anorganik (N, P, K). Pemeliharaan tanaman dilakukan secara intensif sesuai anjuran spesifik lokasi. Pengendalian hama dan gulma dilakukan secara intensif dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan.

Pengumpulan Data

Data yang diamati meliputi fluks gas dinitrogen oksida, populasi bakteri denitrifikasi (metode *Most Probable Number*), respirasi tanah (metode jar), dan kandungan nitrat dan C organik. Populasi bakteri denitrifikasi dan respirasi tanah diamati saat tanaman pada fase pertumbuhan anakan maksimum (45 hst). Fluks gas N₂O diukur pada beberapa fase pertumbuhan tanaman (fase anakan aktif, fase anakan maksimum, fase primordia bunga, fase keluar malai atau pembungaan, fase masak) menggunakan sungkup.

Respirasi tanah diukur dengan cara memasukkan contoh tanah sebanyak 100 g bobot kering mutlak ke dalam gelas piala 1000 ml. Ke dalam gelas piala tersebut dimasukkan dua buah gelas piala 20 ml masing-masing berisi 5 ml larutan KOH 0,1N dan 5 ml H₂O. Gelas piala 1000 ml ditutup rapat dan diinkubasi selama 1 minggu dalam ruang gelap. Setelah inkubasi, larutan KOH dan H₂O masing-masing dititrasi dengan larutan HCl. Respirasi tanah ditetapkan dengan formula dalam Anas (1989) sebagai berikut :

$$R = [(A-B) \cdot N \cdot 120] / t$$

R : respirasi tanah dalam mg C-CO₂ g⁻¹ hari⁻¹

A : ml HCl contoh tanah

B : ml HCl blanko

N : normalitas HCl

t : lama inkubasi (hari)

Perhitungan Populasi Mikroba

Denitrifikasi

Metode MPN (*most probable number*) dipakai untuk menghitung jumlah bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi.

Contoh tanah 10 g dari masing-masing perlakuan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml yang mengandung larutan fisiologis, dikocok selama 30 menit, dan dibiarkan beberapa menit. Suspensi tanah 0,1 ml dari seri pengenceran (10^{-3} – 10^{-5}) dipipet dan dimasukkan ke dalam tabung kultur. Pipet dimulai dari seri pengenceran tertinggi dan diulang 3 sesuai dengan daftar yang akan digunakan. Tabung kultur ditutup dengan rapat dan diinkubasi selama dua minggu pada suhu 28 °C. Media kultur digunakan merupakan campuran nutrient broth dengan larutan KNO_3 . Tabung yang menunjukkan terbentuknya gas yang ditandai dengan terangkatnya posisi tabung durham sebagai tabung positif dari seri pengenceran. Jumlah tabung positif dicocokkan dengan tabel MPN. Populasi mikroba denitrifikasi dihitung dengan menggunakan metode MPN seperti yang tercantum dalam Anas (1989).

Pengukuran Fluks Gas N_2O

Fluks gas N_2O diukur pada beberapa fase pertumbuhan tanaman menggunakan sungkup. Sungkup tertutup (*closed chamber*) ukuran 40 cm X 20 cm X 17

cm yang terbuat dari pleksiglas diletakkan di permukaan tanah sawah di sela-sela tanaman padi (Gambar 1) untuk pengambilan contoh gas yang pertama, dan pada posisi yang sama untuk pengambilan contoh gas berikutnya.

Pengambilan contoh udara dalam sungkup dilakukan empat kali dengan interval waktu pengambilan contoh gas 10, 20, 30, dan 40 menit. Pengambilan contoh gas dilakukan pagi hari (07.00 – 09.00). Contoh gas diambil dengan menggunakan injektor polipropilen volume 5 ml berkatup. Injektor dibungkus dengan kertas perak yang berfungsi untuk mengurangi panas radiasi matahari selama pengambilan contoh gas. Setiap pengambilan contoh gas, perubahan suhu dalam sungkup diukur. Contoh gas dianalisis menggunakan alat kromatografi gas yang dilengkapi dengan *electron capture detector (ECD)* dan kolom Porapak Q menetapkan fluk N_2O dengan metode yang digunakan *International Rice Research Institute* (Cortons *et al.* 2000, Jain *et al.* 2000, Ko & Kang 2000). Kromatografi gas Shimadzu 14A telah dikalibrasi dengan baik dan presisi tinggi (detektor 150 °C, kolom 100 °C, injektor 150 °C) digunakan hanya untuk mengukur



Gambar 1. Sungkup penangkap contoh gas.

A. Wihardjaka

N₂O. Fluk N₂O kumulatif dihitung berdasarkan penjumlahan dari beberapa pengukuran fluk N₂O selama pertumbuhan tanaman padi sawah. Fluk gas N₂O dihitung menggunakan persamaan yang digunakan Lantin *et al.* (1995), yaitu :

$$E = \frac{dc}{dt} \cdot \frac{Vch}{Ach} \cdot \frac{Wm}{Vm} \cdot \frac{273,2}{273,2 + T}$$

E : emisi gas N₂O (ug m⁻² menit⁻¹)

dc/dt : perbedaan konsentrasi N₂O per satuan waktu (ppb menit⁻¹)

Vch : Volume sungkup (m³)

Ach : luas sungkup (m²)

Wm : berat molekul N₂O (44,02.10³ mg)

Vm : volume molekul N₂O (22,41.10⁻³ m³)

T : suhu rata-rata selama pengambilan contoh (°C)

Analisis Data

Data terkumpul akan dianalisis menggunakan sidik ragam untuk mengetahui pengaruh perlakuan, dan dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% yang digunakan untuk membandingkan nilai tengah perlakuan. Hubungan fluk N₂O dengan ketersediaan substrat dan populasi mikroba saat fase pertumbuhan primordia bunga ditunjukkan dengan persamaan regresi berganda $Y_i = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1 X_{1i} + \hat{\alpha}_2 X_{2i} + \hat{\alpha}_3 X_{3i} + \hat{\alpha}_4 X_{4i}$ dimana Y_i = fluk N₂O dan peubah bebas X_1 = kandungan nitrat, X_2 = kandungan C organik, X_3 = populasi mikroba total, X_4 = respirasi tanah, $\hat{\alpha}_0$ = intercept dan $\hat{\alpha}$ = koefisien regresi. Koefisiensi determinasi dihitung menggunakan formula dalam Piegorisch & Bailer (2005).

HASIL

Fluks gas dinitrogen oksida (N₂O) tertinggi dari tanah sawah tadah hujan terjadi saat tanaman padi sawah berumur 45 hst atau saat fase primordia bunga (Gambar 2). Pola fluk N₂O mengikuti pola pertumbuhan tanaman padi, meningkat di awal pertumbuhan saat fase anakan aktif hingga anakan maksimum dan mencapai puncak fluk saat primordia bunga, dan menurun atau melandai saat fase reproduktif tanaman (keluar bunga hingga pemasakan).

Gambar 3 memperlihatkan fluk N₂O kumulatif pada petakan-petakan yang diberi perlakuan jerami dan bahan penghambat nitrifikasi. Fluk N₂O pada petakan tanpa jerami umumnya lebih tinggi dibandingkan petakan dengan jerami segar atau petakan dengan jerami melapuk, sedangkan fluk N₂O pada petakan jerami melapuk relatif lebih rendah daripada pada petakan dengan jerami segar.

Pemberian bahan penghambat nitrifikasi dapat menurunkan fluk N₂O dari tanah sawah tadah hujan. Fluk N₂O pada petakan yang diberi bahan penghambat nitrifikasi biji mimba relatif lebih rendah dibandingkan petakan yang diberi karbofuran atau tanpa diberi bahan penghambat nitrifikasi. Fluk N₂O tertinggi dihasilkan dari petakan tanpa diberi bahan penghambat nitrifikasi diikuti petakan dengan diberi karbofuran, dan fluk terendah dihasilkan dari petakan dengan pemberian biji mimba.

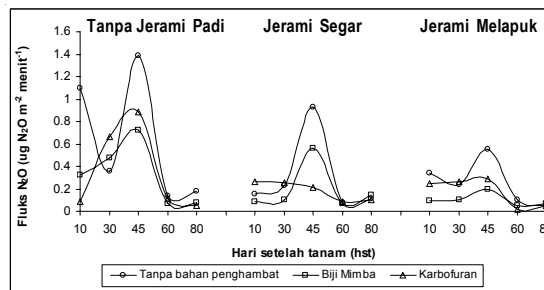
Interaksi jerami padi dan bahan penghambat nitrifikasi nyata menurunkan emisi N₂O dari tanah sawah. Emisi N₂O

pada perlakuan tanpa jerami lebih tinggi daripada perlakuan dengan jerami segar dan jerami melapuk (Gambar 4). Baik pada petakan tanpa jerami dan petakan dengan jerami melapuk, pemberian biji mimba menghasilkan emisi N_2O terendah diikuti dengan pemberian karbofuran dan tanpa pemberian bahan penghambat nitrifikasi. Emisi N_2O pada petakan dengan jerami segar, pemberian karbofuran memperlihatkan fluks terendah diikuti pemberian biji mimba dan tanpa penghambat nitrifikasi. Pemberian biji mimba dan jerami melapuk nyata menghasilkan emisi N_2O terendah dengan fluks $72 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$, dan emisi N_2O tertinggi nyata dihasilkan dari petakan tanpa penghambat nitrifikasi dan

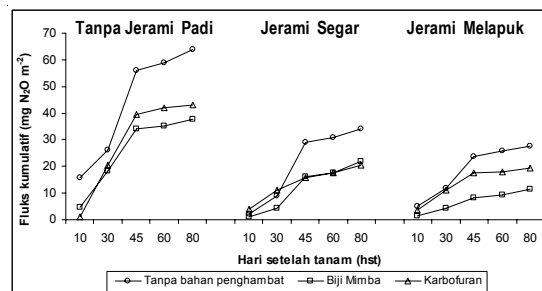
tanpa jerami dengan fluks $454 \text{ g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$.

Emisi N_2O pada perlakuan jerami padi nyata lebih rendah daripada tanpa jerami padi. Emisi N_2O rata-rata dari perlakuan jerami, jerami segar, dan jerami melapuk masing-masing sebesar 317, 154, 130 $\text{g } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$. Jerami segar dan jerami melapuk dapat menurunkan fluks N_2O masing-masing sebesar 51,4 dan 58,9 % dibandingkan tanpa jerami padi. Jerami melapuk relatif menekan emisi N_2O lebih tinggi daripada jerami segar.

Pemberian bahan penghambat nitrifikasi nyata menghasilkan emisi N_2O lebih rendah dibandingkan tanpa pemberian bahan penghambat nitrifikasi. Emisi N_2O dari perlakuan biji mimba



Gambar 2. Fluks N_2O pada beberapa fase pertumbuhan padi sawah yang diberi perlakuan jerami dan bahan penghambat nitrifikasi



Gambar 3. Fluks N_2O kumulatif pada beberapa fase pertumbuhan padi sawah

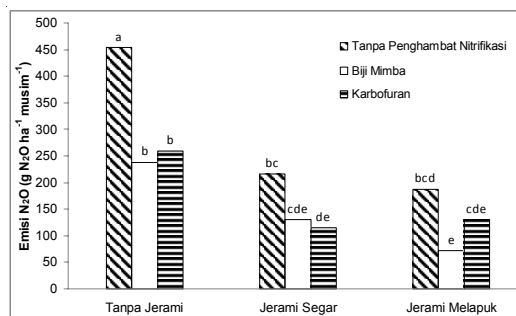
relatif lebih rendah dibandingkan dari perlakuan karbofuran. Emisi N_2O rata-rata pada perlakuan tanpa bahan penghambat nitrifikasi, biji mimba, dan karbofuran masing-masing sebesar 286, 147, 168 $g N_2O ha^{-1} musim^{-1}$. Dibandingkan tanpa bahan penghambat nitrifikasi, biji mimba dan karbofuran masing-masing dapat menekan emisi N_2O sebesar 48,6 dan 41,3 %.

PEMBAHASAN

Emisi N_2O tertinggi terjadi saat tanaman padi dalam fase pertumbuhan primordia bunga (45 hst), dan menurun hingga menjelang panen tanaman padi (Gambar 2). Fase pertumbuhan primordia bunga merupakan awal pertumbuhan generatif atau reproduktif tanaman padi (Yoshida 1978). Produksi eksudat akar tanaman padi lebih aktif terjadi saat awal fase pertumbuhan reproduktif terutama pada saat primordia bunga. Translokasi hasil fotosintesis dari daun ke akar lebih optimal pada primordia bunga dan sebagian besar akan ditranslokasikan ke dalam butir-butir gabah pada fase pertumbuhan reproduktif (Yoshida 1978).

Eksudat akar dibutuhkan mikroba dalam metabolismenya sebagai sumber energi atau substrat dalam melakukan aktivitasnya, termasuk bakteri denitrifikasi pada kondisi tanah anaerobik. Eksudat akar merupakan bahan organik seperti karbohidrat, asam-asam organik, asam-asam amino yang difermentasikan menjadi asetat atau CO_2 dan H^+ , yang beberapa bahannya digunakan sebagai akseptor elektron mikroba tertentu (Holzapfel-Pschron *et al.* 1986).

Tanah sawah berpotensi meningkatkan emisi gas dinitrogen oksida (N_2O) bilamana jumlah N tersedia bagi transformasi mikrobia yang ditingkatkan melalui pemupukan N anorganik, penanaman leguminosa, pengembalian pupuk organik dan sisa-sisa tanaman ke dalam tanah, dan mineralisasi biomassa tanah dan bentuk-bentuk lain bahan organik tanah. Tanah sawah tergenang memberikan habitat ideal bagi bakteri anaerob fakultatif seperti bakteri denitrifikasi, sehingga dapat berfungsi baik pada kondisi dengan maupun tanpa oksigen dalam mengemisi N_2O dan memfiksasi N_2 (Rao 1994). Pemberian jerami padi in situ ke dalam tanah sawah



Gambar 4. Emisi dinitrogen oksida dari tanah sawah tadah hujan. Huruf sama pada masing-masing bar berarti tidak berbeda nyata menurut uji BNT taraf 0,05

umumnya meningkatkan laju fiksasi nitrogen, laju denitrifikasi dan emisi N_2O (Rao 1994, Vallejo *et al. cit* Meijide *et al.* 2009). Pembenaman jerami padi ke dalam tanah sawah nyata menurunkan emisi gas N_2O (Gambar 4), sedangkan pengelolaan jerami padi tidak nyata mempengaruhi emisi N_2O , baik dalam bentuk segar ataupun diberikan dalam kondisi melapuk. Pemberian jerami padi dapat menekan pelepasan N_2O dari dalam tanah ke atmosfer, yang berarti mengurangi kehilangan N dalam bentuk N_2O sebagai hasil proses nitrifikasi-denitrifikasi dan sekaligus meningkatkan efisiensi pupuk N anorganik. Peningkatan efisiensi pupuk N akan menjamin ketersediaan N bagi pertumbuhan tanaman padi (Yoshida 1978). Penurunan emisi N_2O tersebut sebagai hasil interaksi jerami padi dengan bahan penghambat nitrifikasi (biji mimba atau karbofuran).

Pemberian pupuk N anorganik saja tanpa disertai dengan pemberian jerami padi menghasilkan emisi N_2O lebih tinggi daripada kombinasi pupuk N anorganik dan jerami padi pada takaran N yang sama. N dari pupuk anorganik lebih cepat ditransformasi pada kondisi yang sesuai dibandingkan N hasil mineralisasi pupuk organik. Selain itu, tanah Vertic Endoaquept lebih tanggap terhadap pemupukan N anorganik akibat rendahnya kandungan N dalam tanah ($0,3 \text{ mg g}^{-1}$), sehingga berpengaruh terhadap tingginya emisi N_2O meskipun kandungan nitrat dalam tanah di sekitar perakaran lebih tinggi dibandingkan kombinasi pupuk N dan jerami padi (Tabel 1).

Rendahya emisi N_2O pada petakan yang diberi jerami padi baik segar maupun

melapuk dimungkinkan terkait dengan populasi denitrifikasi yang menurun dan ketersediaan NH_4^+ hasil dari dekomposisi jerami padi pada kondisi anoksik. Menurut Kirk (2000), dekomposisi bahan organik dalam kondisi anoksik dihasilkan asam-asam organik lebih sederhana + asam amino (RCH_2NH_2COOH) + NH_4^+ . Selain itu, dengan pemberian bahan penghambat nitrifikasi oksidasi NH_4^+ menjadi NO_2^- akan terhambat sehingga tidak terbentuk N_2O (Kirk & Kronzucker 2005).

Saat fase pertumbuhan primordia bunga, tanaman mengeluarkan eksudat akar lebih banyak di sekitar perakaran padi sawah. Eksudat akar tersebut digunakan mikroba sebagai sumber energi atau substrat dalam melakukan aktivitasnya, antara lain berupa bahan organik dan nitrat. Seperti terlihat pada Tabel 1, fluk N_2O lebih tinggi terjadi pada kandungan nitrat dan populasi bakteri denitrifikasi tinggi di sekitar perakaran tanaman (rizosfer), terutama pada perlakuan tanpa jerami. Pelepasan N_2O ke atmosfer antara lain ditentukan oleh kandungan karbon, kandungan nitrat, aktivitas mikroba, populasi denitrifikasi dalam tanah. Hubungan fluks N_2O dengan ketersediaan substrat dan populasi mikroba digambarkan dengan persamaan regresi berganda $N_2O = -1,11 + 0,0214 NO_3 - 0,740 C\text{-org} + 0,0140$ mikroba total + $0,0450$ respirasi ($R^2 = 98,4 \%$). Peningkatan fluks N_2O berbanding lurus dengan kandungan nitrat, populasi mikroba total, dan respirasi tanah, namun fluks N_2O berbanding terbalik dengan kandungan C organik di zona perakaran tanaman padi. Ketersediaan

nitrat dalam tanah nyata mempengaruhi besarnya fluk dinitrogen oksida ($P < 0,01$). Kondisi tanah sawah tergenang selama pertumbuhan tanaman padi menciptakan kondisi anoksik yang distimulasi oleh proses denitrifikasi dengan pasokan nitrat sebagai substrat mikroba denitrifikasi (Meijide *et al.* 2009). Hasil analisis kadar C organik saat tanaman berumur 45 hst menunjukkan bahwa kandungan karbon organik di sekitar perakaran tanaman padi berkisar $6,1 - 8,4 \text{ mg g}^{-1}$. Karbon organik yang tersedia di perakaran tanaman padi merupakan faktor penting yang ikut menentukan emisi N_2O , meskipun jumlah karbon yang dikeluarkan dalam media akar lebih rendah daripada yang terdapat dalam jaringan tanaman (Rao 1994).

Bahan penghambat nitrifikasi berpengaruh terhadap penurunan populasi bakteri denitrifikasi, yang pada kondisi anaerob berperan dalam pembentukan dan pelepasan gas N_2O dari tanah. Menurut Willison & Anderson *cit* Granli & Bockman (1994), bahan penghambat nitrifikasi dicyandiamide (DCD) dapat juga menekan aktivitas bakteri denitrifikasi meskipun populasinya melimpah dalam tanah hutan yang diberi glukosa dan NO_3^- . Kondisi tanah sawah yang tergenang selama pertumbuhan tanaman menciptakan kondisi tanah anaerobik dengan potensial redoks rendah yang dapat menurunkan kandungan NO_3^- -N dan meningkatkan NH_4^- -N dan kandungan polifenol dalam tanah (Unger *et al.* 2009). Peningkatan kandungan polifenol dalam tanah dapat menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi meskipun ketersediaan NO_3^- -N dan

populasi bakteri denitrifikasi di sekitar perakaran tanaman padi relatif tinggi.

Bentuk bahan penghambat nitrifikasi tidak nyata mempengaruhi emisi N_2O dari tanah sawah. Emisi N_2O dari petakan yang diberi biji mimba tidak berbeda nyata dengan petakan yang diberi karbofuran. Efektivitas biji mimba relatif lebih tinggi dibandingkan karbofuran dalam menurunkan emisi N_2O terutama bila diberikan bersamaan dengan jerami padi yang telah melapuk (Gambar 4). Biji mimba dapat dipandang sebagai sumberdaya murah dan tersedia melimpah potensial sebagai penghambat nitrifikasi seperti karbofuran, namun relatif lebih ramah lingkungan dibandingkan karbofuran yang berpotensi sebagai kontaminan dalam ekosistem sawah. Biji mimba yang digunakan dalam kajian ini mengandung senyawa polifenol (0,13% tannin), yang diduga dapat menghambat aktivitas bakteri nitrifikasi dan bakteri denitrifikasi. Senyawa polifenol seperti tannin yang merupakan salah satu komponen bahan organik hanya mampu dimanfaatkan oleh jamur terutama genus *Aspergillus* dan *Penicillium*, sehingga genus-genus bakteri tidak dapat memanfaatkan atau terhambat aktivitasnya (Rao 1994). Meskipun di rizosfer tersedia asam amino dalam jumlah besar, adanya senyawa polifenol akan menghambat aktivitas beberapa genus bakteri. Beberapa genus bakteri yang ditemukan dalam rizosfer antara lain *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Mycobacterium*, dan *Bacillus*. Di antara genus-genus tersebut, *Pseudomonas* dan *Achromobacter* merupakan genus-genus bakteri yang melaksanakan denitrifikasi yang

Tabel 1. Pengaruh pemberian jerami padi dan bahan penghambat nitrifikasi terhadap

| Pengelolaan jerami padi | Bahan penghambat nitrifikasi (pn) | Fluks N ₂ O (ug m ⁻² menit ⁻¹) | Kandungan nitrat (ppm) | Populasi bakteri denitrifikasi (10 ⁴ SPK g ⁻¹ tanah) | Respirasi tanah (mg CO ₂ -C g ⁻¹ tanah hari ⁻¹) |
|-------------------------|-----------------------------------|--|------------------------|--|---|
| Tanpa jerami | Tanpa bahan pn | 1,39 | 110 | 110 | 6,2 |
| | Biji Mimba | 0,73 | 93 | 15 | 5,5 |
| | Karbofuran | 0,89 | 94 | 20 | 7,9 |
| Jerami segar | Tanpa bahan pn | 0,93 | 108 | 140 | 4,8 |
| | Biji Mimba | 0,56 | 77 | 12 | 4,6 |
| | Karbofuran | 0,21 | 70 | 3 | 6,6 |
| Jerami melapuk | Tanpa bahan pn | 0,55 | 75 | 140 | 7,9 |
| | Biji Mimba | 0,22 | 63 | 4 | 7,2 |
| | Karbofuran | 0,29 | 73 | 4 | 3,3 |

Keterangan : data hasil analisis dari contoh tanah komposit, pn = penghambat nitrifikasi, SPK = satuan pembentuk koloni

paling banyak dijumpai dalam tanah sawah (Handayanto & Hairiah 2007).

KESIMPULAN

Pemberian jerami padi nyata menurunkan emisi dinitrogen oksida dari tanah sawah tadah hujan kahat nitrogen, dimana penurunan emisi N₂O lebih tinggi tercapai bilamana jerami padi diberikan setelah terjadi perombakan (melapuk). Pemberian jerami padi pada tanah sawah tadah hujan dapat meningkatkan efisiensi pupuk N anorganik sekaligus menekan kehilangan N dalam bentuk N₂O.

Biji mimba lebih efektif menurunkan emisi N₂O bilamana diberikan bersamaan dengan jerami padi yang telah melapuk. Biji mimba, sumberdaya murah dan melimpah tersedia berpotensi sebagai penghambat nitrifikasi seperti karbofuran, namun lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan karbofuran yang berpotensi sebagai kontaminan dalam ekosistem sawah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Perhargaan yang tinggi dengan ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Helena Lina Susilowati, sdr. Rina Kartikawati, Sdr. Miranti Ariyani, Sdr. Titi Soepiawati yang telah membantu dalam analisis fluks N₂O di Laboratorium Emisi Gas Rumah Kaca Balingtan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abao Jr, EB., KF. Bronson, R. Wassmann, & U. Singh. 2000. Simultaneous records of methane and nitrous oxide emission in rice-based cropping systems under rainfed conditions. *Nut. Cyc. Agroecos.* 58: 131-139.
- Anas, I. 1989. *Bologi Tanah dalam Praktek*. Pusat Antar Universitas Bioteknologi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Arafat, SM., A. Abd El-Galil, & M. Abu Seeda. 1999. Improvement of nitrogen fertilizer efficiency with

- nitrification inhibitors in lowland rice. *Pakistan J. Biol. Sci.* 2(4) : 1184-1187.
- Basyir, A. & Suyamto. 1996. Penelitian padi untuk mendukung pelestarian swasembada pangan. Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Balai Penelitian Padi. Badan Litbang Pertanian. Buku I. Balai Penelitian Tanaman Padi. 146 – 170.
- BPS. 2000. *Kabupaten Pati dalam Angka 1999*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Pati, Propinsi Jawa Tengah.
- Cortons, TM., JB. Bajita, FS. Grospe, RR. Pamplona, CA. Aziz Jr, R. Wassmann, RS. Lantin, & L.V. Buendia. 2000. Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon, Philippines. *Nut. Cyc. Agroecos.* 58 : 37-53.
- Gold, AJ. & CA. Oviatt. 2005. Nitrate in fresh water and nitrous oxide in the atmosphere. *Dalam* : Addiscott, T.M. (ed.). *Nitrate, Agriculture and the Environment*. CABI Publishing. Wallingford, Oxfordshire, U.K. 110-154.
- Granli, T. & OC. Bockman. 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian J. Agric. Sci. Suppl.* 12 : 1-159.
- Handayanto, E. & K. Hairiah. 2007. *Biologi Tanah Landasan Pengelolaan Tanah Sehat*. Pustaka Adipura. Yogyakarta.
- Hansen, S. & LR. Bakken. 1993. N₂O, CO₂ and O₂ concentrations in soil air influenced by organic and inorganic fertilizers and soil compaction. *J. Agric. Sci.* 7 : 1-10.
- Holzappel-Pschorn, AR., Conrad, & W. Seiler. 1986. Effect of vegetation on the emission of methane from submerged rice paddy soil. *Plant and Soil* 92 : 223-233.
- IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*. IGES, Japan.
- Jain, MC., S. Kumar, R. Wassmann, S. Mitra, SD. Singh, JP. Singh, R. Singh, AK. Yadav, & S. Gupta. 2000. Methane emissions from irrigated rice fields in northern India, New Delhi. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 58 : 75-83.
- Kirk, GJD. 2000. Rate-limiting steps in nitrogen acquisition by rice in flooded soil. *Dalam* : Sheehy, J.E., P.L. Mitchell, B. Hardy (eds.). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. IRRI – Elsevier. Amsterdam, Lausanne, Tokyo. 249-254.
- Kirk, GJD. & HJ. Kronzucker. 2005. The potential for nitrification and nitrate uptake in the rhizosphere of wetland plants: A modelling study. *Ann. Bot.* 96(4) : 639-646.
- Klemedtsson, L., BH. Svensson, & T. Rosswall. 1988. Relationship between soil moisture content and nitrous oxide production during nitrification and denitrification. *Biol. Fertil. Soils* 6 : 106-111.
- Ko, JY. & HW. Kang. 2000. The effect of cultural practices on methane emission from rice fields. *Nut. Cyc. Agroecosystem* 58 : 311-314.

- Ladha, JK., FJ. de Bruijn, & KA. Malik. 1997. Introduction: assessing opportunities for nitrogen fixation in rice—a frontier project. Dalam : Ladha, et al. (ed.). *Opportunities for Biological Nitrogen Fixation in Rice and Other Non-Legumes*. Developments in Plant and Soil Sciences. Vol. 75. Kluwer Academic Publishers. In Cooperation with IRRI. The Netherlands.
- Lantin, RS., JB. Aduna, & AM. Javeliana. 1995. *Methane Measurements in Rice Fields*. International Rice Research Institute. Los Banos, Manila, Philippines.
- Meijide, A., Lourdes Garcý'a-Torres, Augusto Arce, & Antonio Vallejo. 2009. Nitrogen oxide emissions affected by organic fertilization in a non-irrigated Mediterranean barley field. *Agri. Ecos.Env.* 132 : 106–115.
- Meiviana, A., DR. Sulistiowati, & MH. Soejachmoen. 2004. *Bumi Makin Panas, Ancaman Perubahan Iklim di Indonesia*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup, JICA, Yayasan Pelangi. Jakarta.
- Minami, K. & S. Fukushi. 1984. Methods for measuring N₂O flux from water surface and N₂O dissolved in water from agricultural land. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30(4) : 495-502.
- Mosier, AR., KF. Bronson, JR. Freney, & DG. Keerthisinghe. 1994. Use nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emission from urea fertilized soils. Dalam : CH₄ and N₂O: *Global Emissions and Controls from Rice Field and Other Agricultural and Industrial Sources*. NIAES. 187 – 196.
- Piegorsch, WW. & AJ. Bailer. 2005. *Analyzing Environmental Data*. John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.
- Ponnamperuma, FN. 1977. Physico-chemical properties of submerged soils in relation to fertility. *IRPS 5* : 10-12.
- Prinn, R., D. Cunnold, R. Rasmussen, P. Simmonds, F. Alyen, A. Crawford, P. Fraser, & R. Rosen. 1990. Atmospheric emission and trends of nitrous oxide reduced from 10 years of ALE-GAGE data. *J. Geophys. Res.* 95 : 18369-18385.
- Rao, NSS. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. UI-Press, Indonesia.
- Sahrawat, KL. 2004. Nitrification inhibitors for controlling methane emission from submerged rice soils. *Current Science* 87(8): 1084-1087.
- Setyanto, P., Mulyadi, & Z. Zaini. 1997. Emisi gas N₂O dari beberapa sumber pupuk nitrogen di lahan sawah tadah hujan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 16(1): 14-18.
- Snyder, CS., TW. Bruulsema, TL. Jensen, & PE. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agri.Ecos.Env.* 133 : 247–266.
- Toha, HM., AK. Makarim, & S. Abdurachman. 2001. Pemupukan NPK pada varietas IR64 di musim

A. Wihardjaka

- ketiga pola indeks pertanaman padi 300. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 20(1): 40 – 49.
- Unger, IM., PP. Motavalli, & RM. Muzika. 2009. Changes in soil chemical properties with flooding : A field laboratory approach. *Agri. Ecos. Env.* 131 : 105-110.
- USEPA. 2006. Nitrous Oxide : Sources and Emission. <http://www.epa.gov/nitrousoxide/sources.html>
- Watson, RT., LG. Meira Filho, E. Sanhueza & T. Janetos. 1992. *Climate Changes 1992*. The Supplementary Reports to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Xiong, ZQ., GX. Xing, & ZL. Zhu. 2007. Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen. *Pedosphere* 17(2) : 146-155.
- Yoshida, T. 1978. Microbial metabolism in rice soil. Dalam : *Soil and Rice*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. 445-463.

Memasukkan : November 2009

Diterima: Februari 2010