

PENGELOLAAN PENGGUNAAN LAHAN BERDASARKAN TIPOLOGI LUAPAN PASANG SURUT SEBAGAI OPSI MITIGASI EMISI GAS CH₄ DAN N₂O

Abdul Hadi, Zuraida Titin Mariyana and Petrus Londong
Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Univ. Lambung Mangkurat;

ABSTRACT

This research aimed at assessing the emissions of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) from tidal swampy area of Kalimantan cultivated to rice and responsible soil and soil-water properties. The study was carried out at tidal swampy area of South Kalimantan representing different hydrological zones. The area was delineated based on the tidal influence into zone A (area inundated by tidal water on every tide), zone B (area inundated at high tide), zone C/D (area where the hydrology is influenced by tidal movement but the area is never inundated by tidal water). Temporal and seasonal CH₄ and N₂O emissions from each zone was then determined by chamber method at late dry season of year 2006 including hybrid rice varieties. The emissions in each zone were compared and be used to justify the affectivity of tidal swamp typology as mitigation option in reducing greenhouse gas emissions. Soil and soil-water properties were also determined in order to elucidate the factor(s) affecting gas emissions. The results showed that the CH₄ and N₂O emissions were influenced by the swamp land typology. The stronger tidal influences the higher CH₄ emissions were observed (i.e., zone A>zone B>zone C>zone D). There were correlations between soil physical properties and CH₄ emission but not the N₂O emissions. Emission indexes (ratio of total emission to the grain yield) was the highest in zone A, followed by zone D and zone B. The lowest emission index was in zone C. Taking also the economical aspect into consideration, it was concluded that tidal zone B can be developed for further enlargement of paddy area in Indonesia.

PENDAHULUAN

Gas-gas rumah kaca yang terutama terdiri dari uap air, karbon dioksida (CO₂), metan (CH₄), nitro oksida (N₂O), cloroflouro carbon (CFCs) dapat melewatkan cahaya tampak dan sinar ultraviolet (gelombang pendek) yang dipancarkan matahari tetapi menahan sinar inframerah yang dipantulkan bumi ke atmosfer (gelombang panjang). Gas-gas ini menyebabkan efek panas pada permukaan. Fenomena "efek rumah kaca" ini dalam batas tertentu sangat penting bagi kehidupan manusia karena proses ini mempertahankan permukaan bumi tetap hangat. Dari rata-rata suhu permukaan bumi dewasa ini (15°C), kira-kira 33°C dihasilkan dari kira-kira 1 % uap air, 0.03% CO₂, CH₄ dan N₂O di atmosfer. Tanpa keberadaan gas-gas rumah kaca bumi akan bersuhu sekitar -18°C (Rennenberg *et al.*,

1995). Konsentrasi yang terlalu tinggi meskipun demikian, akan membuat bumi terlalu panas untuk kenyamanan makhluk hidup. Bongkah es di kutub akan mencair dan menyebabkan peninggian permukaan air laut. Peninggian 1 meter permukaan air laut diperkirakan akan memusnahkan lahan hunian bagi 1 milyar manusia. Peningkatan suhu global juga akan meningkatkan aktivitas biota sehingga merubah keseimbangan energi pada sistem tata surya bumi. Suhu bumi diperkirakan meningkat 1-2°C dalam 100 tahun terakhir (sejak era industrialisasi; Jones, 1993), dan bila tingkat emisi gas-gas rumah kaca tidak berkurang, suhu akan meningkat terus. Jika konsentrasi tahun 1990 dapat dipertahankan sekalipun, suhu bumi akan meningkat sekitar 0,2°C tiap 100 tahun (Mitchell *et al.*, 1995).

Dua diantara gas rumah kaca yang dipandang terkait erat dengan sumber daya tanah adalah metan dan nitro oksida (Bouwman, 1989). Mengingat besarnya pengaruh negatif dari GRK maka emisi CH₄ dan N₂O harus dikurangi dengan teknologi mitigasi. Penelitian ini dilaksanakan pada rawa pasang surut di Kalimantan Selatan sebagai prototipe untuk mempelajari efektivitas zonase pasang surut sebagai opsi mitigasi CH₄ dan N₂O. Penelitian ini diharapkan dapat mengumpulkan data emisi gas dan karakteristik tanah dan air selama dua musim tanam padi sehingga didapatkan kajian yang komprehensif.

TINJAUAN PUSTAKA

Metana (CH₄) dan nitro oksida (N₂O) adalah dua gas rumah kaca (GRK) yang dipandang terkait erat dengan sawah (Hadi *et al.*, 2005; Tsuruta *et al.*, 1995; Bouwman, 1989). Metana menyumbang sekitar 20% dari potensi pemanasan global (Bouwman, 1989), dimana sekitar 0,14 juta ton diantaranya berasal dari tanah sawah di Kalimantan (Hadi *et al.*, 2005). Meskipun kontribusi N₂O dari sawah terhadap pemanasan global relatif kecil, emisi N₂O perlu diwaspadai mengingat potensinya dalam merusak lapisan ozon dan waktu tinggalnya di atmosfer yang mencapai 114 tahun (Hadi *et al.*, 2005; IPCC, 2001).

Matan merupakan hasil akhir (end-product) perombakan bahan organik oleh bacteria "methanogens" pada kondisi anaerobik (Takai, 1970) sedang nitro oksida merupakan hasil samping (by-product) metabolisme bakteri nitrifikasi atau denitrifikasi (Yoshida and Alexander, 1970; Sahrawat and Keeny, 1983). Karena keharusan tersedianya kondisi anaerob bagi pembentukan metan, lahan basah merupakan sumber-sumber penting metan. Lahan basah juga dicurigai sebagai sumber dari nitro oksida karena kondisi anaerob akan mendukung produksi nitro oksida melalui denitrifikasi (Bronson *et al.*, 1995; Bouwman, 1990; Sahrawat and Keeny, 1983).

Cara mitigasi untuk CH₄ dan N₂O pada sawah yang telah diterima secara luas adalah: (1) aerasi tanah/pengairan berselang (*intermittent*) (Kimura *et al.*, 1991;

Nugroho *et al.*, 1994), (2) penggunaan varietas baru dengan eksudat rendah (Sugii *et al.*, 1999; Watanabe *et al.*, 1995), (3) pematangan bahan organik seperti pengomposan sebelum dikembalikan ke tanah atau lahan persawahan (Inubushi *et al.*, 1994, Watanabe *et al.*, 1993) (4) pemberian inhibitor methanogenesis (Furukawa *et al.*, 2004; 2002) dan nitrifikasi (Furukawa *et al.*, 2004; Xu *et al.*, accepted), dan (5) penerapan sistem tebar langsung (*direct broadcasting*) (Inubushi *et al.*, 1993).

Meskipun mampu menekan emisi gas CH₄ dan atau N₂O tanpa menyebabkan penurunan produksi, opsi-opsi di atas mempunyai kelemahan. Misalnya, pengairan berselang hanya dapat dilakukan pada sawah ber-irigasi sehingga tidak aplikatif untuk sawah-sawah didaerah yang sarana irigasinya terbatas seperti di Kalimantan (Zuhari, 2002). Introduksi varietas baru, pengomposan bahan organik dan penggunaan inhibitor memerlukan keahlian khusus dan biaya yang tinggi sehingga tidak terjangkau oleh kebanyakan petani di Indonesia. Penerapan sistem tebar langsung juga mempunyai kelemahan karena memerlukan benih yang lebih banyak, disamping tingkat serangan hama penyakit dan gulma akan juga meningkat.

Opsi mitigasi yang juga berpotensi adalah dengan pengelolaan penggunaan lahan yang disesuaikan dengan tipologi luapan pasang. Penelitian Hadi *et al.* (2005; 2001; 2000) menunjukkan bahwa emisi CH₄ and N₂O bervariasi dengan tipe lahan; emisi terendah ditunjukkan oleh lahan pasang surut tipe A—lahan yang selalu terluapi baik oleh pasang tunggal maupun pasang ganda (Tabel 1).

Penelitian sebelumnya (Hadi *et al.*, 2005; 2001; 2000; Inubushi *et al.*, 1998) hanya memperhitungkan emisi dari tanah atau tidak mencakup emisi dari tanaman padi lokal yang memang banyak diusahakan di daerah pasang surut (Hadi *et al.*, 1999), sehingga efektivitas pengelolaan penggunaan lahan dalam mengurangi emisi CH₄ dan N₂O masih bersifat tentatif. Faktor tanah dan lingkungan yang mempengaruhi emisi CH₄ dan N₂O dari lahan pasang surut juga belum difahami, terutama kaitannya dengan pergerakan dan karakteristik air pasang surut (Furukawa *et al.*, 2005).

Tabel 1. Emisi metana dan nitro-oksida dari tanah Kalimantan (Hadi *et al.*, 2005)

Hyd. zone	Land-use management	Site Code	Metana			Nitro-oksida		
			Dec.1998 (mg C/ m ² /h)	Dec.1999 (mg C/ m ² /h)	Nov. 2000 (mg C/ m ² /h)	Dec. 1998 (mg N /m ² /h) ^a	Dec. 1999 (mg N/ m ² /h) ^a	Nov. 2000 (mg N/ m ² /h)
Zone A	Secondary forest	J-1		0.07 ^c			0.02 ^A	
	Paddy field	J-2		0.01 ^b			0.02 ^a	
Zone B				0.12 ^a	0.01 ^B		0.03 ^a	0.31 ^A
	Secondary forest	B-1		0.29 ^B	-0.01 ^a		0.10 ^A	0.01 ^a
	Paddy field	B-2	0.33	0.00 ^b	0.05 ^a	0.08 ^b	0.10 ^a	0.01 ^a
	Upland crops field	B-3	0.28	1.04 ^a	0.00 ^a	1.04 ^a	0.04 ^a	0.01 ^a
Zone C				-0.08 ^b			0.16 ^a	0.89 ^a
	Secondary forest	G-1		0.14 ^B	0.05 ^B		0.01 ^A	0.00 ^A
	Abandoned paddy field	G-2	0.80	0.03 ^b	0.04 ^b	0.01 ^b	0.04 ^a	-0.01 ^a
	Abandoned upland	G-3	-0.11	0.31 ^a	0.12 ^a	0.12 ^b	0.02 ^a	0.00 ^a
Zone D				0.03 ^b	-0.02 ^b		-0.03 ^a	0.01 ^a
	Secondary forest	A-1		1.71 ^A	2.74 ^A		0.10 ^A	0.06 ^A
	Paddy field	A-2		1.46 ^b	0.13 ^b		0.03 ^a	0.07 ^a
	Rice-soybean rotation field	A-3		1.95 ^a	3.01 ^a		0.14 ^a	0.00 ^a
					0.10 ^b			0.11 ^a

METODE PENELITIAN

1. Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap klasifikasi tersarang faktor tunggal. Faktor yang diuji adalah faktor tipe luapan (faktor utama) tersarang dalam lokasi. Ada 4 tipe luapan yang masing-masing diulang sebanyak 3 (tiga) ulangan, sehingga terdapat 12 satuan percobaan.

Analisis data meliputi analisis keragaman dengan uji F, dan uji beda nilai tengah dengan prosedur Beda Nilai Terkecil (ENT). Semua analisa statistik dilakukan dengan menggunakan program SPSS Ver 11.

2. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan pada lahan pasang surut di Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan (Gambar 1). Identifikasi lokasi dilakukan dengan menggunakan klasifikasi yang dikemukakan oleh Maas (2002) sebagai berikut: Tipologi luapan A-air dapat menggenangi muka lahan pada setiap air pasang, Tipologi luapan B-air dapat menggenangi muka lahan hanya pada pasang besar, dan Tipologi Lahan C-air pasang tidak pernah meluapi lahan dan air tanah mengayun pada kedalaman <50 cm, serta Tipologi D-sama dengan C kecuali air tanah yang mengayun pada kedalaman >

50 cm. Koordinat GPS lokasi, kode lokasi dan nama pemilik lahan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Posisi masing-masing lahan pada titik koordinat dengan GPS

Kecamatan	Zone Pasang Surut	Nama Petani	Koordinat GPS
Tabunganen	A	Amin Effendi Hasan	-
Belawang	B	Misnan	03°09,302'LS, 114°38,125'BT
Anjir Pasar	C	Imansyah	03°08,979'LS, 114°30,781BT
	D	Misran	03°08,030'LS, 114°31,913'BT

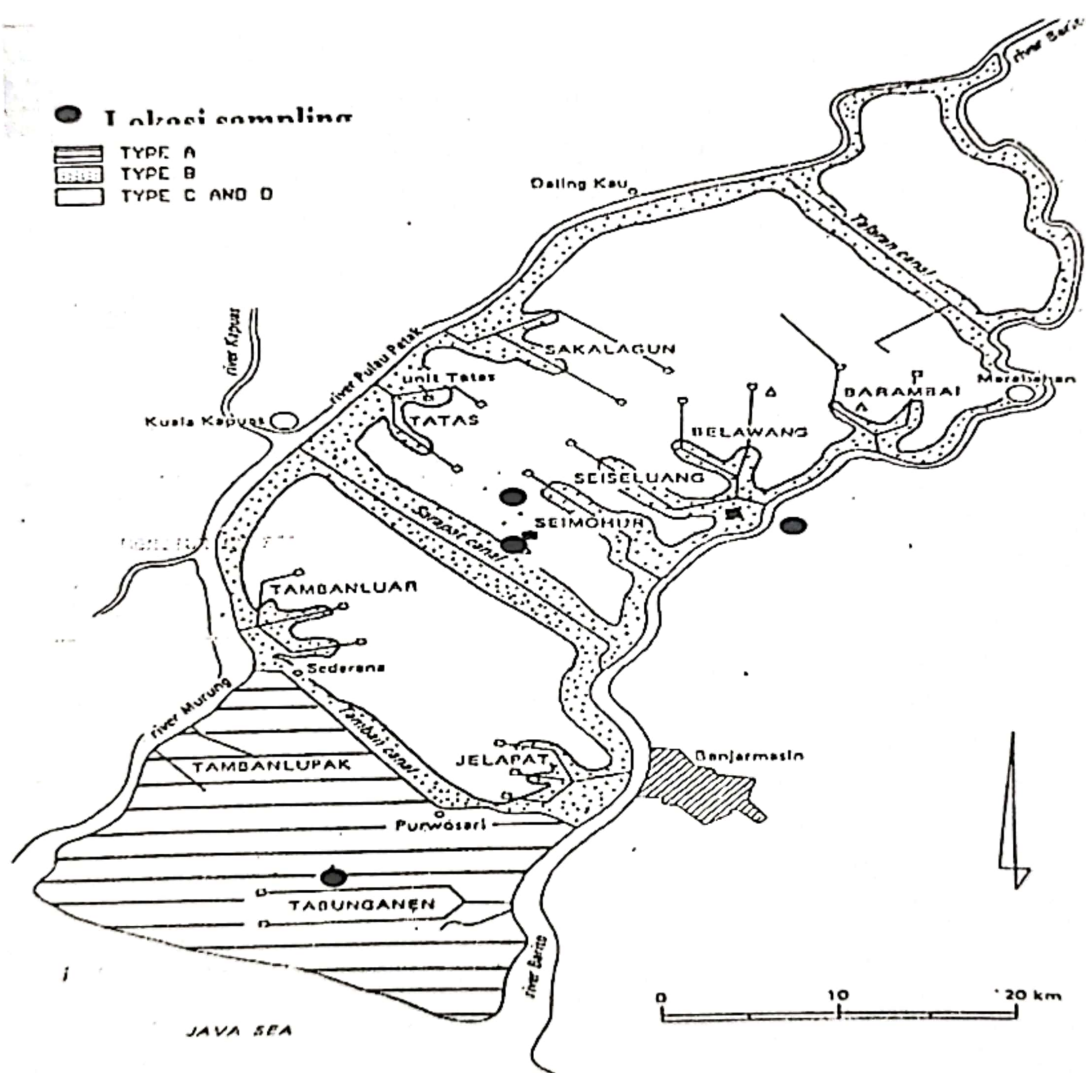
Lahan kemudian dibebaskan dari rumput dan diolah dengan cangkul 3 minggu sebelum tanam. Dibuat pembatas plot berukuran 5 x 4 meter sebanyak 3 buah untuk setiap lokasi. Kapur (2 t/ha), urea (100 kg ha⁻¹), SP-36 (100 kg/ha) dan KCl (50 kg/ha) diberikan dengan cara tebar. Varietas padi unggul Margasari ditanam pada tanggal 29 Oktober 2006 sebanyak 2 anakan pada setiap lubang dengan jarak tanam 25 x 25 cm.

Empat pipa PVC (diameter 1 inchi dan tinggi 5 cm) dimasukkan kedalam tanah diempat arah mata angin berjarak 50 cm satu dengan lainnya dan berfungsi untuk menahan chamber pada saat pengambilan sampel gas. Elektroda Eh ditancapkan pada kedalaman 10 cm pada setiap petak. Pizometer (terbuat dari pipa PVC) dan *water sampler* juga ditancapkan masing-masing untuk pengukuran ketinggian muka air dan pengambilan sampel air tanah.

Contoh gas di ambil dengan metode *chamber* tertutup (Inubushi *et al.*, 1989) berbentuk kubus dengan panjang 50 cm lebar 50 cm dan tinggi 50 cm pada 2 Agustus, 10 Oktober dan 30 Oktober 2006. Chamber dipasang menutupi 9 (sembilan) tanaman tepat pada pipa PVC pada tanggal 30 Oktober 2006. Chamber menutupi luasan areal yang sama saat tidak ada tanaman (2 Agustus dan 10 Oktober 2006). Contoh gas diambil dengan cara menyedot udara melalui selang yang berada ditengah-tengah chamber dengan bantuan jarum suntik (*syringe*). Contoh gas diambil setiap bulan dan setiap pengambilan contoh, gas diambil sebanyak 3 kali, yaitu pada 0, 10, dan 20 menit setelah chamber ditutup.

Suhu dalam chamber diukur menggunakan termometer digital dan digunakan untuk mengoreksi hasil perhitungan konsentrasi gas. Konsentrasi CH₄ dan N₂O dianalisis dengan gas kromatografi yang dilengkapi masing-masing dengan Flame Ionize Detector (FID) dan Electron Capture Detector (ECD) untuk masing-masing CH₄ dan N₂O. Laju emisi (F, mg C/m²/h) dihitung berdasarkan peningkatan konsentrasi gas dalam chamber dari 0, 10 dan 20 menit, sebagai berikut:

- $$F = k \cdot h \cdot \Delta c / \Delta t (237/T) \quad \text{dimana ;}$$
- F = laju emisi (mg C/m^2)
 k = konstanta konversi volume ke berat (yaitu 1,250 untuk N_2O dan 0,536 untuk CH_4)
 h = tinggi chamber (meter)
 $\Delta c / \Delta t$ = perubahan konsentrasi gas (ppm) per unit waktu (jam)
 T = suhu udara dalam chamber ($^{\circ}\text{K}$).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengambilan sampel gas dan digunakan untuk analisa porositas dan distribusi ukuran pori tanah. Analisa porositas dilakukan dengan menggunakan ring sampel (Black *et al.*, 1965) sedangkan distribusi ukuran pori tanah dilakukan menggunakan *pressure plate apparatus*.

Sampel air diambil dengan *water sampler* bersamaan dengan pengambilan sampel gas dan digunakan untuk analisa pH, daya hantar listrik (DHL) (Black *et al.* 1965), konsentrasi Fe, NH₄ dan NO₃ (Maruo *et al.*, 1996).

Parameter tanaman diamati saat pengambilan sampel gas dan meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan. Pada saat panen juga dilakukan pengamatan terhadap tanaman, meliputi berat gabah, berat jerami, berat akar, dan prosentase gabah hampa. Data berat gabah digunakan untuk menghitung indeks emisi, yaitu jumlah CH₄ dan N₂O yang di-emisi untuk menghasilkan satu satuan berat gabah. Indeks emisi dari masing-masing tipologi luapan dibandingkan dan dijadikan dasar untuk menentukan efektivitas opsi mitigasi yang diusulkan.

Total emisi dihitung dengan mengintegrasikan laju emisi dengan periode pengukuran (periode pertumbuhan tanaman), sedang potensi pemanasan dihitung dengan menjumlahkan potensi pemanasan oleh CH₄ dan N₂O setelah mengkonversinya setara CO₂ (Furukawa *et al.*, 2005).

Pengambilan sampel tanah tak terusik dilaksanakan bersamaan dengan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Tanah dan Air

Hasil analisa tanah disajikan pada Tabel 3, sedangkan hasil analisis air ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Karakteristik Tanah Pendahuluan

Zone Pasang Surut	BD (gr/cm)	pH (H ₂ O)	C-Organik (gr/kg)	N Total (gr/kg)	Bakteri Total (x 10 ⁷ cfu gr ⁻¹)
A	0,54	4,02	37,1	2,2	100,3
B	0,57	3,02	54,3	3,3	12,3
C	0,80	3,06	31,8	2,1	4,3
D	0,82	3,30	34,3	3,3	5,7

Tabel 4. Karakteristik Air Tanah Pendahuluan

Zone pasang surut	Kedalaman (cm)	pH	DHL (mS/cm)	Fe ³⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
				mg/liter		
A	0,0	8,24	0,9	<20	<20	<5
B	-20,0	2,75	1,0	<20	0.78	<5
C	-61,5	3,33	0,5	<20	0.14	<5
D ¹⁾	> -120					

Catatan: ¹⁾ Kedalaman air yang jauh dibawah permukaan tidak memungkinkan untuk mengambil sampel

Perbedaan kedalaman air tanah seperti pada Tabel 4 mencerminkan karakteristik air pasang surut. Pasang surut zone A dan B diluapi air pasang sehingga air tanah berada dekat permukaan tanah, sedangkan zone B dan C tidak diluapi sehingga air berada jauh di bawah permukaan tanah. Data ini mengindikasikan bahwa pemilihan plot penelitian telah berjalan sesuai desain penelitian.

Tabel 5. Hasil Rerata Beberapa Karakteristik Fisika Tanah

Lokasi	Zone Pasang Surut	Kadar lengas (%)	BD (gr/cm)	Porositas (%)
Tabunganen	A	65,51	0,55	76,78
Belawang	B	45,98	0,76	79,07
Anjir Pasar	C	41,30	0,71	73,16
	D	34,90	0,85	72,44

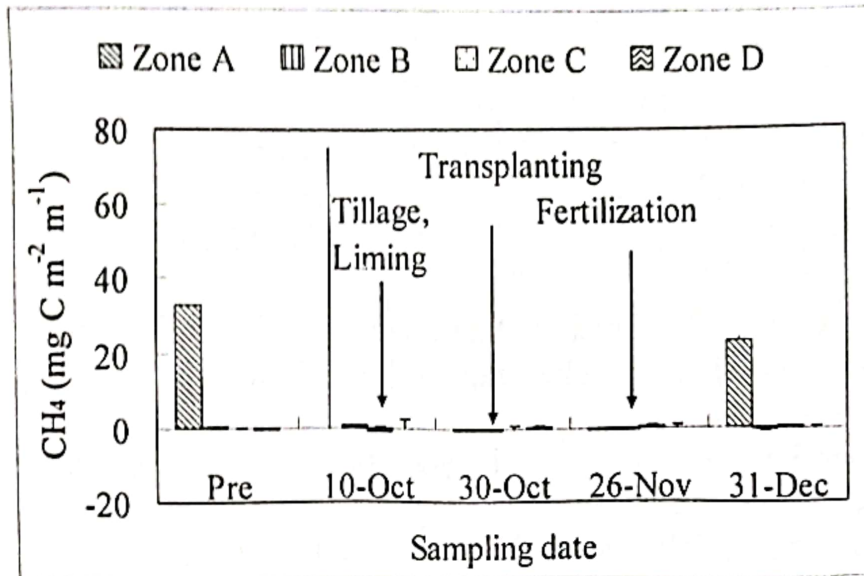
Kadar lengas tanah semakin tinggi dengan semakin kuat pengaruh pasang (Tabel 5). Pengaruh pasang tidak konsisten terhadap kerapatan jenis (BD) dan porositas tanah. Kadar lengas tanah secara langsung dipengaruhi oleh hidrologi lahan dimana pengaruh pasang semakin kuat dengan urutan Zone A>Zone B>Zone C>Zone D.

Sampel air tidak dapat diambil karena tanah kering akibat musim kemarau dan permukaan air tanah berada > 140 cm dari permukaan tanah kecuali pada Zone A dimana air pasang memang selalu meluapi. Hasil analisa karakteristik air disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik air tanah pada Zone A

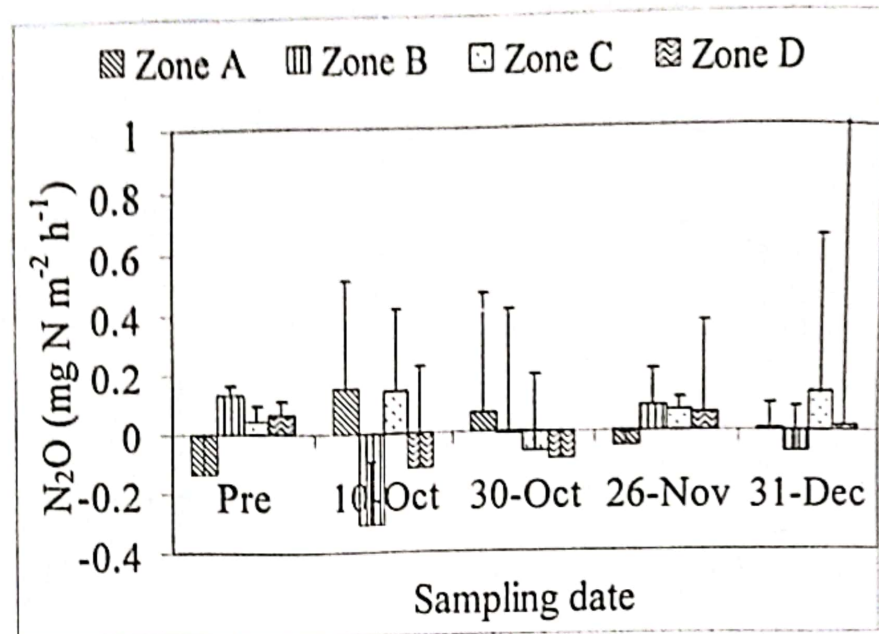
Tanggal pengamatan	Kedalaman (cm)	pH	DHL (mS/cm)	Fe ³⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
				mg/liter		
11-10-2006	>100			38,0		<5
30-10-2006	>100	3,72	18,5	28,5		<5

Emisi gas dari tipologi lahan berbeda



Gambar 2. Emisi CH₄ dari zone pasang surut yang berbeda pada beberapa waktu pengambilan

Gambar 2 menunjukkan bahwa emisi CH₄ pada 2 Agustus 2006 (Pre) semakin tinggi dengan semakin kuatnya pengaruh pasang surut (A>B>C>D), sedang pada 10 dan 30 Oktober tidak ditemukan perbedaan yang nyata. Pada tanggal 2 Agustus, masih ada tanaman padi yang telah dipanen dan dipangkas dari musim tanam sebelumnya. Pasang surut zone A dan B mengemisi CH₄ dikarenakan kondisi lahan yang memang selalu basah oleh genangan baik oleh pasang besar maupun pasang kecil seperti terlihat pada Tabel 2 (i.e., air pada zone A dan B berada atau dekat permukaan tanah, sementara pada zone lain berada di bawah). Emisi CH₄ dari zone pasang surut C dan D bernilai negatif mengindikasikan bahwa CH₄ dikonsumsi oleh tanah. Konsumsi CH₄ dilakukan oleh kelompok bakteri yang disebut *Methanotrophs*, dengan mengoksidasinya menjadi CO₂ (Conrad, 1995). Tingkat emisi pada tanggal 10 dan 30 Oktober 2006 relatif kecil karena tanaman masih kecil atau belum ada, tanggal 10 Oktober adalah saat pengolahan tanah.



Gambar 3. Emisi N₂O dari beberapa zone pasang surut pada beberapa waktu pengambilan

Gambar 3 menunjukkan emisi N₂O terjadi pada semua zone pasang surut, kecuali zone A dimana emisi bernilai negatif. Namun demikian, tidak ada perbedaan yang nyata dalam emisi N₂O antar perlakuan. Hal ini mengindikasikan kompleksitas formasi dan emisi N₂O (akan dijelaskan kemudian). Variabilitas data yang tinggi juga mungkin berkontribusi terhadap ketiadaan pengaruh yang nyata dari perlakuan, terutama pada saat laju emisi masih rendah. Variasi data yang tinggi juga sering ditemui oleh peneliti lain seperti Mosier et al. (1996) dan Inubushi et al (2003).

Produksi Gabah dan Indeks Emisi

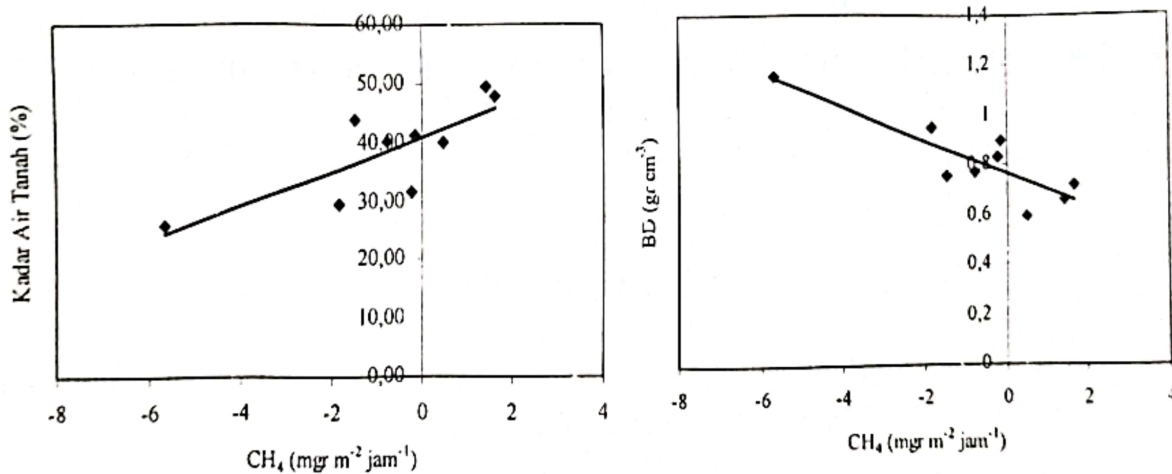
Produksi gabah berkisar antara 1,1 t/ha di zone pasang surut A dan 1,91 ton/ha pada zone pasang surut B (Tabel 7). Emisi CH₄ tertinggi ditunjukkan oleh zone A, diikuti oleh zone D dan zone C. Emisi CH₄ terendah ditunjukkan oleh zone B. Tidak ada perbedaan yang nyata dalam emisi musiman N₂O dari semua lokasi yang diteliti. Variasi emisi CH₄ ini diduga terkait dengan keberadaan sulfur dalam pirit (Hadi et al. 2005) dan keberadaan tanaman. Pada kondisi pirit jauh dari permukaan seperti pada zone A, formasi CH₄ oleh bakteri *methanogens* berlangsung aktif karena tidak bersaing dengan bakteri pereduksi sulfur. Rendahnya emisi CH₄ dari zone A yang dilaporkan Hadi et al (2005) diduga karena ketiadaan tanaman yang berfungsi sebagai media transport dari tanah ke atmosfer (Inubushi et al. 1989). Sedangkan rendahnya emisi dari zone C dan D dikarenakan akumulasi pirit yang berada hampir disepanjang profil tanah (Hadi et al, 2005).

Global warming potential di semua tipologi luapan lahan pasang surut terutama dikontribusi oleh CH₄. Indeks emisi terendah ditunjukkan oleh pasang surut zone C, diikuti oleh zone B dan zone D. Indeks emisi tertinggi ditunjukkan oleh zone A. Mempertimbangkan tingkat produksi, maka cukup bijaksana untuk mengembangkan zone B bagi peruntukan lahan sawah didaerah pasang surut misalnya dengan menumbuh-kembangkan sistem tata air mikro yang memang dikenal cocok bagi zone ini dan mungkin berkontribusi bagi rendahnya indeks emisi.

Tabel 7. Emisi total gas (g C/m musim/tanam), produksi padi (t/ha) dan indeks emisi (g C/ton gabah)

Tipologi Lahan	Emisi CH ₄	Emisi N ₂ O	GWP	Produksi	Indeks emisi
A	9.95	0.07	242,6	1,10	220,6
B	-0.59	0.1	19,6	1,91	10,3
C	-0.13	-0	-7,8	1,84	-4,2
D	0.37	0.19	45,7	1,59	28,7

Uji Korelasi



Gambar 4. Hubungan antara kadar air tanah (kiri) dan bulk density (kanan) dengan emisi CH₄.

Dari uji korelasi emisi CH₄ dan N₂O dengan sifat fisik tanah ditemukan korelasi positif antara emisi CH₄ dengan kadar air tanah dan bulk density, sedang dengan N₂O tidak ada korelasi yang nyata (Gambar 4). Terdapat korelasi positif antara emisi CH₄ dengan kadar air ($r= 0,79$) menunjukkan bahwa air berperan penting dalam formasi CH₄. Air tanah mempengaruhi ketersediaan oksigen, redoks potensial pergerakan hara dan gas. Kadar air yang tinggi menutup sebagian pori

tanah, sedang oksigen yang berada dalam air tanah segera dikonsumsi oleh mikroorganisme (Williams et al., 1992). Kondisi ini memicu pembentukan CH_4 .

Adanya korelasi positif nyata ($r=-0,86$) antara emisi CH_4 dengan bulk density mengindikasikan bahwa bulk density berkontribusi pada proses formasi dan transportasi gas dari tanah ke atmosfer. Tiadanya korelasi yang nyata antara sifat fisik tanah dengan emisi N_2O membuktikan kompleksitas dinamika N_2O di dalam tanah. Setelah terbentuk melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi, N_2O mungkin dikonsumsi kembali oleh bakteri denitrifiers sebelum lepas ke atmosfer. Hadi et al. (2000) menemukan korelasi yang nyata antara emisi N_2O dengan redoks potensial (Eh) tanah karena Eh dapat menggambarkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi secara bersama-sama. Nitro oksida mempunyai tingkat kelarutan yang tinggi di dalam air (Sallam et al., 1984), sehingga tingkat emisinya tidak dapat secara sederhana berkorelasi dengan satu sifat fisik tanah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil di atas dapat diberikan kesimpulan dan saran sebagai berikut:

- Emisi CH_4 dari sawah pasang surut berkontribusi terhadap pemanasan global dan bervariasi dengan pengaruh pasang surut, membuktikan potensi pengelolaan penggunaan lahan berdasarkan tipologi luapan dalam mengurangi emisi CH_4 .
- Terdapat korelasi antara sifat fisik tanah yang mempengaruhi pergerakan air dengan emisi CH_4 tetapi dengan N_2O tidak ditemukan korelasi, menunjukkan kompleksitas faktor yang mempengaruhi formasi dan emisi N_2O sehingga perlu diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouwman, A.F. 1990. Introduction. In Bouwman (Editor). Soil and Greenhouse Effect. John Wiley & Son, New York, 25-35.
- Black, C.A., Evans., D.D., White, J.J., Ensminger, L., E., and Clerk, F.E. 1965. Method of Soil Analyses (Part I and Part II). Amer. Soc. of Agr., Inc., Madison. Pp. 1572.
- Conrad, R. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. *Adv. in Microb. Ecology*, 14, 207-250.

- Furukawa, Y., Inubushi, K., Ali, M., Itang, AM. and Tsuruta, H. 2005. Effect of changing groundwater levels caused by land-use changes on greenhouse gas emissions from tropical peatlands, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71, 81-91
- Furukawa, Y. and Inubushi, K. 2004. Application of iron materials on methane and nitrous oxide emission from two types of paddy soils, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50 (6) (ISEB Special Issue), 917-924
- Furukawa, Y. and K. Inubushi. 2002. Suppression of methane emission from paddy soil by iron materials and its feasibility to tropical peat soil, *Agroscientiae*, 9, 36-52.
- Hadi, A., Inubushi, K., Furukawa, Y., Purunomo, E., Rasmadi, M., and Tsuruta, H. 2005. Greenhouse gas emissions from tropical peatlands of Kalimantan, Indonesia, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71, 73-80
- Hadi, A., K. Inubushi, E. Purnomo, and H. Tsuruta. 2002. Effect of hydrological zone and land-use management on the emissions of N₂O, CH₄, and CO₂ from tropical peatlands, *Agroscientiae*, 9, 53-60.
- Hadi, A, Haridi, M., Purnomo, E., and Inubushi, K. 2001. Effect of land-use change in tropical peat soil on the microbial population and emission of greenhouse gases, *Microbes and Environments*, 16, 79-86
- Hadi, A., K. Inubushi, E. Purnomo, F. Razie, K. Yamakawa and H. Tsuruta. 2000. Effect of land-use changes on nitrous oxide (N₂O) emission from tropical peatlands, *Chemosphere*, 2, 347-358.
- Hadi, A., Nohoi, G., Arifin, Inubushi, K. 1999. Status and availability of potassium to rice plant in tidal swampy soil in the tropics, *Jpn. J. Trop. Agr.*, 43, 84-90.
- IPCC. 2001. *The Scientific of Climate Change*. <http://www.ipcc.ch/> Diakses tanggal 26 Juni 2004
- Inubushi, K., Furukawa, Y., Hadi, A., Purnomo, E., and Tsuruta, H. 2003. Seasonal changes of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes in relation to land-use change in tropical peatlands located in coastal area of south Kalimantan, *Chemosphere*, 52, 603-608.

- Inubushi, K., Hadi, A., Okazaki, M. and Yonebayashi, K. 1998. Effect of converting wetland forest to sago palm plantation on methane gas flux and organic carbon dynamics in tropical peat soil, *Hydrological Processes*, 12, 2073-2080.
- Inubushi, K. and Hadi, A. 1997. Preliminary study on nitrous oxide behavior in tropical peat soils, *Researches Related to the UNESCO's Man and Biosphere Programme in Japan 1996-1997*, 7-10.
- Inubushi, K., Muramatsu, Y. and Umebayashi, M. 1994. Effect of incorporation-timing of rice straw on methane emissions from paddy Soil. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 65(1), 22-26.
- Inubushi, K., Chidthaisong, A., and Umebayashi, M. 1993. Reduction of methane emission from paddy soil by shifting of transplanting time and topdressing. *Researches related to the UNESCO's Man and the Biosphere Programme in Japan 1992-1993.*, 95-96.
- Jones, W.J., Nagle, D.P. Jr. and Whitman, W.B. 1987. Methanogens and diversity of Archaeobacteria. *Bacteriological Reviews*, 51, 135-177.
- Kimura, M., Miura, Y., Watanabe, A., kato, T., and Haraguchi, H. 1991. Methane Emission from Paddy Field (Part 1), Effect of Fertilization, Growth Stage and Midsummer Drainage: Pot Experiment. *Environ. Sci.*, 4, 265-271.
- Maruo, T., Nomura, K., Shinohara, Y., Hajo, M. and Ito, T. 1998. Studies on the method of determination of inorganic ion concentration in nutrient solutions for hydroponics using a simple reflection photometer system. *Tech. Bull. Fac. Hort. Chiba Univ.*, 52, 1-6.
- Mosier, A.R., Mohanty, S.K., Bhadrachalam, A. & Minami, K. 1996. Nitrous Oxide Emission from Agriculture fields : Assessment, Measurement and Mitigation. *Plant and Soil*. 181 : 95-108
- Murakami, M., Furukawa, Y., and Inubushi, K. 2005. Methane production after liming to tropical acid peat soil, *Soil Science and Plant Nutrition*, 71
- Nugroho, S.G; J. Lumbamraja; H. Suprpto; Suryanoto; W.S. Ardjasa; H. Haraguchi; M. Kimura. 1994. Effect of Intermitten Irrigation of Methane Emission From an Indonesian Paddy Field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 609-615.

- Sahrawat, K.Z. and Keeny, D.R. 1984. Nitrous oxide emission from soils. In B.A. Stewart (Ed.). *Advances in Soil Science*, Vol. 4. Springer-Verlag, New York, pp. 119.
- Sallam, A., Jury, W.A. and Latey, J. 1984. Measurement of gas diffusion coefficient under relatively low air-filled porosity. *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 48, 3-6.
- Sugii, H., Hadi, A., Acquaye, S., Cheng, W. and Inubushi, K. 1999. Effect of restrictions of root zone and percolation on methane emission from wet Andosol paddy field, *The Technical Bulletin of Faculty of Horticulture, Chiba University*, 53, 7-13.
- Yoshida, T. 1984. Microbial metabolism in rice soils. In : *Soil and Rice*. IRRI (Ed). IRRI, Los Banos, Philippines, p. 445-436.
- Takai, Y. 1970. Mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 16, 238-244.
- Tsuruta, H.; K. Yagi; K. Kanda ; T. Hirose. 1995. Nitrous Oxide Emission from Rice Paddy Fields. In Program and Abstract of International Symposium on Soil-Source and Sink of Greenhouse Gases. Nanjing, China;12.
- Watanabe, A., Kajiwara, M., Tashiro, T., and Kimura, M. 1995. Influence of rice cultivar on methane emission from paddy field. *Plant and Soil*, 165, 51-56.
- Watanabe, A., Katoh, K., and Kimura, M. 1993. Effect of Rice Straw Application on CH₄ Emission from Paddy Field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39, 701-706.
- Williams, E.J., Hutchinson, G.L. and Fehsenfeld, F.C. 1992. Nox and N₂O emissions from soil. *Global Biogeochem. Cycles*, 6, 351-388.
- Xu, Xingkai, Boeckx, P., Van Cleemput, O., and Inubushi, K. (accepted) Mineral nitrogen in a rhizosphere soil and in standing water during rice (*Oryza sativa* L.) growth: effect of hydroquinone and dicyandiamide, *Agriculture, Ecosystems and Environment*
- Zauhari, M. R. 2001. Pengembangan Lahan Basah di Dalam Era Otonomi Daerah. Dinas Pertanian Kalimantan Selatan. Makalah Seminar Ilmiah pada Lustrum ke VIII Fakultas Pertanian. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.