

**STUDI FLUKS KARBON DIOKSIDA PADA BERBAGAI TIPE PENGGUNAAN
DI LAHAN GAMBUT PASANG SURUT DAN PEDALAMAN**
(Study of Carbon dioxide Fluxes (CO₂ fluxes) on Various Land Use in Low Tide and Ombrotrophic Peatland)

Yosep¹⁾, Sulistiyanto, Y.²⁾, Adi Jaya²⁾

¹⁾Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya

²⁾Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Universitas Palangka Raya

Email : yosepredin@yahoo.com

Diterima : 26/08/2016

Diterima : 8/11/2017

ABSTRACT

The aim of this study to known CO₂ fluxes in low tide and ombrotrophic peatland on forest land, ex-burns land, rubber tree land, and maize land and to known amount of microbial populations there. Observation method was carried out at the village Kalamangan (ombrotrophic peatland) , Sebangau, Palangka Raya, and at the village Purwodadi (low tide peatland), Maluku, Pulang Pisau, from May to July 2014. Observation variables consist of CO₂ fluxes, fluctuations of groundwater levels, soil temperature, soil humidity and microbial populations. The results show that overall carbon dioxide fluxes higher in low tide peatland, with the highest fluxes in burnt areas, 430.24 mg C m⁻² h⁻¹, whereas in Ombrotrophic peatland, the highest on 292 forested land, 92 mg C m⁻²h⁻¹. In Ombrotrophic peatland, relation between fluxes of carbon dioxide and the soil temperature is significant in the burnt areas with a value of R = 0.856 with a quadratic pattern, with the average temperature of 28.89 ° C. Fluxes of carbon dioxide significantly effected by soil moisture that is at a rubber plantation with a value of R = 0.640 with quadratic patterned, average soil moisture of 0.61 m³/m³. Fluxes of carbon dioxide to the groundwater depth is significant on a rubber plantation with a value of R = 0.872 with a quadratic pattern, and depth of groundwater on average of 83.74 cm. The populatuin of microorganisms, in forest land 137 sel/ml, rubber plantations 154 sel/ml, cornfields 157 sel/ml and ex-burnt is 80 sel/ml. In Low Tide peatland, fluxes of carbon dioxide to the soil temperature is significant in forest land with the value of R = 0.545 with cubic pattern, and the average temperature of 27,39 °C. Soil moisture has the significant effect to fluxes of carbon dioxide that is in the burnt areas with a value of R = 0.617 with patterned quadratic, and average soil moisture of 0.50 m³/m³. The ground water depth has a significant effect to fluxes of carbon dioxide in a cornfield with a value of R = 0.743 with a quadratic pattern, and the depth of soil water on average of 68.98 cm. Population of soil microorganisms, in forest land 73 sel/ml, rubber plantations 36 sel/ml, cornfields 51 sel/ml and ex-burnt 18 sel/ml. Soil temperature, soil moisture, groundwater depth and microorganisms effect on carbon dioxide fluxes.

Key words : carbondioxide, fluxes, microorganisms, peatland

ABSTRAK

Tujuan Penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh tipe penggunaan lahan gambut pasang surut dan lahan gambut pedalaman, baik pada hutan alami, eks kebakaran, lahan pertanian (jagung) dan perkebunan karet terhadap fluks karbon dioksida dan mengetahui pengaruh jumlah mikroorganisme terhadap fluks karbon dioksida pada hutan alami, eks kebakaran, lahan pertanian (jagung) dan perkebunan karet pada kedua tipe lahan gambut tersebut. Penelitian dilaksanakan dari tanggal 23 Mei sampai dengan 19 Juli 2014 (2 bulan) di Kalamangan dan Purwodadi (Kanamit). Hasil Penelitian menunjukkan, fluks karbon dioksida secara keseluruhan lebih tinggi di Gambut Pasang Surut dibandingkan dengan di Pedalaman. Rata-rata fluks karbon dioksida di Gambut Pasang Surut,

pada lahan berhutan 285,22 mg C m⁻²h⁻¹, pada kebun karet 264,69 mg C m⁻²h⁻¹, pada kebun jagung 232,08 mg C m⁻²h⁻¹, pada lahan bekas kebakaran 430,24 mg C m⁻²h⁻¹. Meskipun demikian, di Gambut Pedalaman, pada lahan berhutan lebih tinggi dibanding di Pasang Surut yaitu 292,92 mg C m⁻²h⁻¹, pada kebun karet 224,93 mg C m⁻²h⁻¹, pada kebun jagung 211,30 mg C m⁻²h⁻¹, pada lahan bekas kebakaran 228,07 mg C m⁻²h⁻¹. Di Gambut Pedalaman, hubungan fluks karbon dioksida terhadap suhu tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada areal bekas kebakaran dengan nilai R = 0,856 dengan berpola kuadrat, suhu rata-rata 28,89 °C. Fluks karbon dioksida terhadap kelembaban tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada kebun karet dengan nilai R = 0,640 dengan berpola kuadrat, kelembaban tanah rata-rata 0,61 m³/m³. Hubungan fluks karbon dioksida terhadap kedalaman air tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada kebun karet dengan nilai R = 0,872 berpola kuadrat dengan kedalaman air tanah rata-rata 83,74 cm. Mikroorganisme, di lahan hutan 137 sel/ml, kebun karet 154 sel/ml, kebun jagung 157 sel/ml dan di lahan bekas kebakaran 80 sel/ml. Di Gambut Pasang Surut, hubungan fluks karbon dioksida terhadap suhu tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada lahan hutan dengan nilai R = 0,545 dengan berpola kubik, suhu rata-rata 27,39 °C. Hubungan fluks karbon dioksida terhadap kelembaban tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada lahan bekas kebakaran dengan nilai R = 0,617 dengan berpola kuadrat, kelembaban tanah rata-rata 0,50 m³/m³. Hubungan fluks karbon dioksida terhadap kedalaman air tanah yang berpengaruh nyata yaitu pada kebun jagung dengan nilai R = 0,743 berpola kuadrat dengan kedalaman air tanah rata-rata 68,98 cm. Mikroorganisme, di lahan hutan 73 sel/ml, kebun karet 36 sel/ml, kebun jagung 51 sel/ml dan di lahan bekas kebakaran 18 sel/ml. Suhu tanah, kelembaban tanah, kedalaman air tanah berpengaruh terhadap fluks karbon dioksida dan mikroorganisme pengaruhnya kecil.

Kata kunci : fluks, karbon dioksida, lahan gambut, mikroorganisme

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang terjadi akhir-akhir ini disebabkan karena terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Keseimbangan tersebut dipengaruhi antara lain oleh peningkatan gas-gas rumah kaca (GRK), diantaranya karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O). Saat ini konsentrasi GRK sudah mencapai tingkat yang membahayakan iklim bumi dan keseimbangan ekosistem. (Wetland International, 2006).

Ekosistem hutan rawa gambut tropika adalah tempat yang paling efisien untuk menangkap dan menyimpan cadangan karbon (C), karena dalam ekosistem ini karbon tersimpan dalam tubuh tanaman yang masih hidup (biomasa) dan pada bagian tubuh tanaman yang mati, baik yang masih berdiri tegak ataupun yang tumbang termasuk ranting dan daun-daun yang gugur.

Dalam keadaan alami, hutan gambut merupakan penyimpan (*net sink*) dari karbon.

Akan tetapi apabila hutan gambut dibuka sebagian besar karbon yang ada pada biomassa tanaman akan teroksidasi menjadi CO₂, terutama apabila pembukaan hutan disertai dengan pembakaran. Sejalan dengan terbakarnya biomassa di atas permukaan tanah, beberapa sentimeter lapisan gambut juga akan ikut terbakar.

Luas lahan gambut di Indonesia diperkirakan 20,6 juta hektar atau sekitar 10,8 persen dari luas daratan Indonesia (Subagjo, 1998). Dari luasan tersebut 5,7 juta hektar atau 27,8 % terdapat di Kalimantan. Lahan gambut di Indonesia diperkirakan menyimpan lebih dari 30 miliar ton karbon (Kehutanan 2008). Kepadatan karbon di lahan gambut berhutan dapat mencapai 5-10 kali lipat dibandingkan dengan tanah mineral berhutan dalam satuan luas yang sama, bergantung pada kedalaman gambutnya. Oleh karena itu melindungi lahan gambut merupakan upaya nyata dalam hal pengurangan emisi dan manfaat lingkungan lainnya.

Khusus di Provinsi Kalimantan Tengah total luasan lahan gambut mencapai 3,01 juta hektar atau 52,18% dari total luasan lahan gambut seluruh Kalimantan. Luasan gambut tersebut terdistribusi sebagian besar di Kabupaten Kapuas, Katingan, Pulang Pisau, Barito Selatan, Kotawaringin Timur, Seruyan, dan Kotawaringin Barat.

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan lahan gambut untuk berbagai fungsi perlu dilakukan penelitian, baik pada gambut pasang surut (Kanamit) dan gambut pedalaman (Kalampangan).

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Juli 2014 (tiga bulan) di Desa Purwodadi (Kanamit), Kecamatan Maluku, Kabupaten Pulang Pisau, dan di Kalampangan, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Penelitian berupa analisis karbondioksida (CO₂) di Laboratorium UPT CIMTROP - UNPAR dan mikroorganisme dilakukan di Laboratorium Jurusan BDP Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah pada lahan gambut pedalaman di Desa Kanamit, Maluku, Pulang Pisau dan di Kalampangan, Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Alat yang digunakan adalah : sungkup (*chamber*) untuk mengambil CO₂ (terdiri dari 6 buah *chamber* dengan tinggi 25 cm namun mempunyai diameter yang berbeda yaitu 18.5, 19, 19.5, 20, 20.5, dan 21 cm), alat suntikan khusus untuk mengambil gas CO₂, alat pengukur emisi CO₂ (*infrared CO₂ analyzer* (Fuji ZFP9GC11)), *soda lime* (untuk membuat CO₂ standar digunakan sebagai pengkalibrasi sebelum dilakukan analisis CO₂), kantong plastik penampung CO₂ (*vacuum plastic*), *vacuum oven*, termometer, FDR ML 2 Theta Probe Delta Y Device Co (alat pengukur kelembaban tanah), alat sensor *water table*, pipa PVC

(ukuran ¾ inchi) untuk mengukur fluktuasi air tanah, Lux meter (Intensitas cahaya), meteran, kamera, kertas label dan alat tulis.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan cara mengukur fluks CO₂ dari tipe hutan gambut pasang surut (pantai) dan gambut pedalaman, baik pada hutan alami, lahan eks kebakaran, lahan pertanian dan lahan perkebunan karet serta mengambil sampel tanah untuk mengetahui jumlah mikroorganisme pada masing-masing tipe hutan dan lahan.

Pelaksanaan Penelitian

Pemilihan dan Persiapan Lokasi Lahan Gambut

Lokasi penelitian di lahan gambut pasang surut (pantai) di Desa Kanamit, Kecamatan Maluku, Kabupaten Pulang Pisau dan lahan gambut pedalaman di Kelurahan Kalampangan, Kota Palangka Raya yang merupakan lokasi kegiatan penelitian kerjasama antara Universitas Palangka Raya dan Universitas Hokkaido Jepang terletak di block C eks Proyek Lahan Gambut Sejuta Hektar Kalimantan Tengah.

Pengambilan Contoh Gas CO₂ di Lapangan

Pengambilan contoh gas CO₂ di lapangan dilakukan dengan metode sungkup/*chamber* tertutup (*closed chamber method*).

Pengukuran Gas CO₂ di Laboratorium

Gas yang telah diambil di lapangan kemudian dibawa ke laboratorium untuk dianalisis dengan alat pengukur *infrared CO₂ analyzer* (Fuji ZFP9GC11). Sebelum dilakukan analisis untuk mengukur kadar emisi CO₂, terlebih dahulu dibuat CO₂ standar yang berfungsi sebagai pengkalibrasi sebelum alat pengukur digunakan, serta berfungsi untuk pengecer gas CO₂ yang diambil dari pipa.

Setelah dilakukan kalibrasi pada alat, kemudian dilakukan pengukuran kadar emisi CO₂ untuk masing-masing sampel. Untuk hasil pengukuran dari *chamber* dikonversi dengan perhitungan yaitu dihitung dengan menggunakan rumus (Hu, *et al.*, 2001) sebagai berikut :

$$F = \rho \times V/A \times \Delta c/\Delta t \times 273/(273 + T) \times \alpha$$

Keterangan :

- F = nilai dari fluks gas CO₂ (mg C m⁻² jam⁻¹)
 V = volume dari sungkup (m³)
 A = luas alas dalam sungkup (m²)
 ρ = kerapatan dari gas CO₂ (1.977x10⁶ mg m⁻³)
 Δc/Δt = perbandingan antara per bahan konsentrasi gas di dalam sungkup sepanjang waktu pengambilan (m³ m⁻³ jam⁻¹)
 T = suhu mutlak dalam sungkup (°K)
 α = faktor konversi untuk CO₂ ke C (12/44)

Analisis Mikroorganisme di Laboratorium

Menurut Rachdie (2006), sampel tanah yang diambil dari lapangan yang berasal dari masing-masing keempat jenis penggunaan tanah dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Dari setiap jenis tanah tersebut diambil 10 g yang kemudian dicampurkan dengan 90 ml aquadest per labu Erlenmeyer. Untuk tanah budidaya pertanian diberi label A, tanah bekas lahan terbakar diberi label B, tanah hutan alami diberi label C dan tanah lahan perkebunan karet diberi label D.

Variabel Pengamatan

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah fluks gas CO₂ dari permukaan tanah dengan metode sungkup/chamber tertutup. Pada setiap pengamatan juga dilakukan pengukuran terhadap kedalaman air tanah, kelembaban tanah 4 cm dan 10 cm, dan suhu tanah dengan kedalaman 4 cm dan 10 cm sebagai data pendukung.

Pengambilan sampel tanah dilakukan satu kali bersamaan dengan pengambilan sampel gas pada pagi menjelang siang hari.

Analisis Data

Fluks gas CO₂, jumlah mikroorganisme, fluktuasi muka air tanah dan data-data pendukungnya diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis data dengan menggunakan regresi non linier model kuadratik dengan bantuan SPSS Versi 20 untuk menelaah hubungan emisi karbon dioksida (*CO₂ fluks*) dan faktor-faktor yang mempengaruhinya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil Pengukuran Fluks Karbon dioksida (*CO₂ fluks*) di Gambut Pedalaman

Hutan, kebun karet, tanaman jagung dan bekas kebakaran (Tabel 1). Dari data tersebut, menunjukkan bahwa fluks karbon dioksida yang paling besar adalah pada lokasi Hutan Kalamangan yaitu sebesar 292,92 mg C m⁻² jam⁻¹.

Suhu tanah pada ke empat lokasi penelitian mempunyai nilai rata-rata yang hampir sama, namun pada lokasi lahan bekas kebakaran yang mempunyai nilai rata-rata suhu tanah yang lebih besar yaitu 28,89 °C. Pada Gambar 1, menjelaskan bahwa hubungan fluks karbondioksida dengan suhu tanah adalah kuadratik dengan nilai R = 0,856 yaitu pada lahan bekas kebakaran (D), diikuti pada lokasi kebun karet (C) dengan nilai R = 0,653, pada tanaman jagung (B) dengan nilai R = 0,464 dan pada lokasi hutan (A) dengan nilai R = 0,163.

Hubungan antara fluks karbon dioksida dengan kelembaban tanah adalah kuadratik dengan nilai R = 0,640 terdapat pada lokasi kebun karet (Gambar 2) dengan nilai kelembaban tanah rata-rata adalah 0,61 m³ m⁻³, diikuti pada lokasi hutan (Gambar 2A) dengan nilai R = 0,632 dan nilai kelembaban tanah rata-rata adalah 0,51 m³ m⁻³, pada tanaman jagung (C) dengan nilai R = 0,403

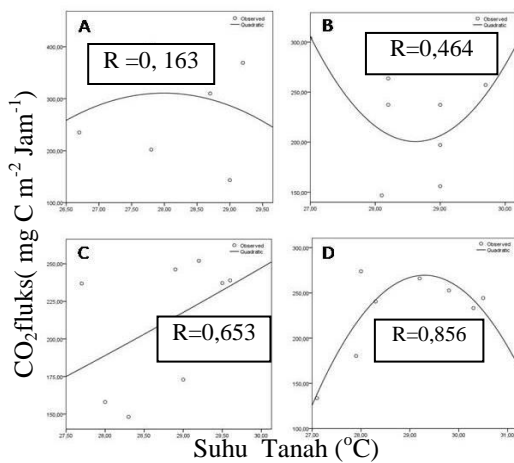
dan nilai kelembaban tanah rata-rata adalah $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pada lokasi lahan bekas kebakaran (D) dengan nilai $R = 0,375$ dan nilai kelembaban tanah rata-rata adalah $0,67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Satuan yang digunakan $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, karena tanah dibagi dalam tiga fraksi yaitu bahan

organik, udara dan air. Karena kelembaban identik dengan kandungan air yang umumnya memakai satuan $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, maka apabila ingin mengubah dalam bentuk % maka dikalikan dengan 100.

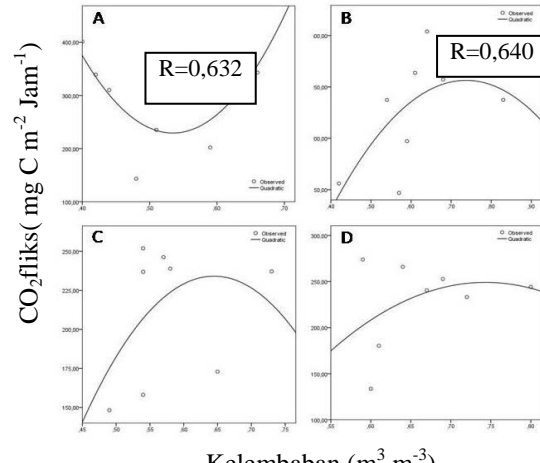
Tabel 1. Rata-Rata fluks CO_2 , suhu, kelembaban, kedalaman air tanah, jumlah mikroorganisme dan pH tanah pada berbagai tipe lahan Gambut

VARIABEL PENGAMATAN	LOKASI PENELITIAN							
	GAMBUT PEDALAMAN				GAMBUT PASANG SURUT			
	Hutan	Karet	Jagung	Bekas Terbakar	Hutan	Karet	Jagung	Bekas Terbakar
Emisi CO_2 ($\text{mg Cm}^{-2}\text{h}^{-1}$)	292,92	224,93	211,30	228,07	285,22	264,69	232,08	430,24
Suhu Tanah ($^{\circ}\text{C}$)	28,10	28,53	28,78	28,89	27,39	28,58	32,23	27,98
Kelembaban Tanah (m^3/m^3)	0,51	0,61	0,58	0,67	0,58	0,67	0,46	0,50
Kedalaman Air Tanah (cm)	-66,89	-83,74	-72,11	-74,89	-73,41	-67,91	-68,96	-75,14
Jlh Mikroorganisme (sel/ml)	137	154	157	80	73	36	51	18
pH Tanah	3,4	3,6	3,8	3,6	2,5	2,9	3,0	2,8



Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

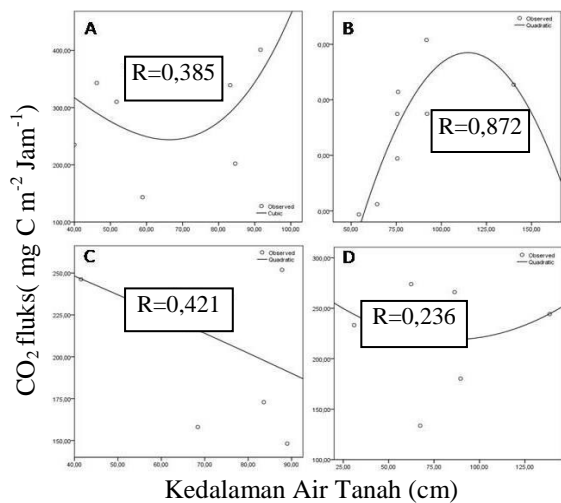
Gambar 1. Bentuk Hubungan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) dan Suhu Tanah



Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

Gambar 2. Bentuk Hubungan fluks karbon dioksida (CO_2 fluks) dan Kelembaban Tanah.

Kedalaman air tanah adalah kuadratik dengan nilai $R = 0,872$ terdapat pada lokasi kebun karet (Gambar 3) dengan nilai kedalaman air tanah rata-rata adalah 83,74 cm, diikuti pada lokasi tanaman jagung hutan (Gambar 3) dengan nilai $R = 0,421$ dan nilai kedalaman air tanah rata-rata adalah 72,11 cm, pada hutan (A) dengan nilai $R = 0,385$ dan nilai kedalaman air tanah rata-rata adalah 66,89 cm, pada lokasi lahan bekas kebakaran (D) dengan nilai $R = 0,236$ dan nilai kedalaman air tanah rata-rata adalah 74,89 cm.



Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

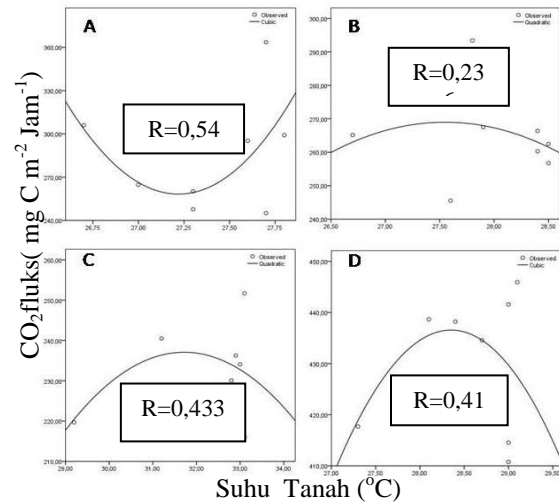
Gambar 3. Bentuk Hubungan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) dan Kedalaman Air Tanah

Hasil Pengukuran Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) di Gambut Pasang Surut

Pengukuran fluks karbon dioksida (CO_2 fluks) pada lokasi penelitian yaitu hutan, kebun karet, tanaman jagung dan bekas kebakaran tersaji pada Tabel 7. Dari data tersebut, menunjukkan bahwa fluks karbon dioksida yang paling besar adalah pada lokasi lahan bekas terbakar yaitu sebesar 430,24 $mg\ C\ m^{-2}\ Jam^{-1}$.

Nilai rata-rata pengukuran suhu tanah, kelembaban dan kedalaman air tanah (*water table*) tersaji pada Tabel 1. Sedangkan hubungan antara fluks karbon dioksida terhadap suhu tanah, kelembaban dan

kedalaman air tanah (*water table*) tersaji secara berturut-turut pada Gambar 4, 5 dan 6.



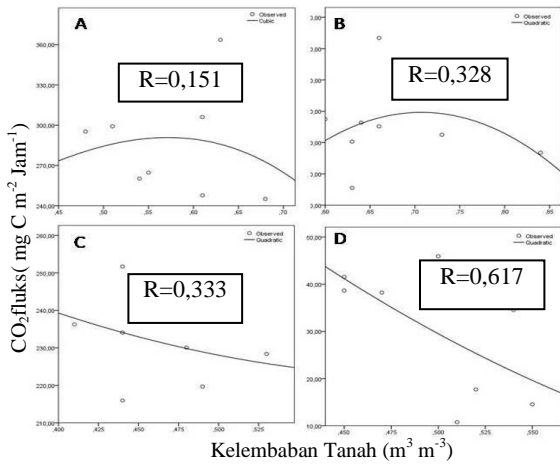
Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

Gambar 4. Bentuk Hubungan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) dan Suhu Tanah

Suhu tanah pada lokasi tanaman jagung (Tabel 1) mempunyai nilai rata-rata yang lebih tinggi yaitu 32,23°C, tetapi tingginya suhu tanah tidak menunjukkan hubungan kuadratik yang nyata (Gambar 4) dengan fluks karbon dioksida, hal ini ditunjukkan dengan nilai R yang hanya 0,433. Hubungan kuadratik yang nyata justru terjadi pada lokasi hutan (Gambar 4) dengannilai $R = 0,545$ dan suhu rata-rata tanah sebesar 27,39°C.

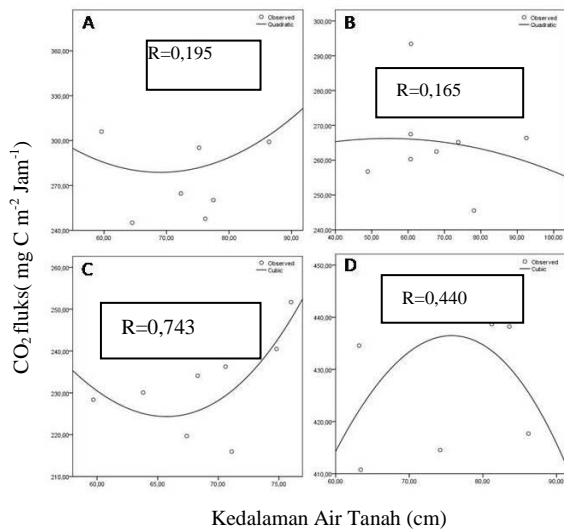
Kelembaban tanah pada kebun karet (Tabel 1) mempunyai nilai rata-rata yang lebih tinggi yaitu 0,67 $m^3\ m^{-3}$, tetapi tingginya kelembaban tanah tidak menunjukkan hubungan kuadratik yang nyata (Gambar 5) dengan fluks karbon dioksida, hal ini ditunjukkan dengan nilai R yang hanya 0,328. Hubungan kuadratik yang nyata justru terjadi pada lokasi hutan (Gambar 5) dengan nilai $R = 0,617$ dan kelembaban rata-rata tanah sebesar 0,50 $m^3\ m^{-3}$. Kedalaman air tanah pada lahan bekas kebakaran mempunyai nilai rata-rata yang lebih tinggi yaitu 75,14 cm, tetapi tingginya kedalaman air tanah tidak menunjukkan hubungan kubik yang nyata

dengan fluk karbon dioksida, hal ini ditunjukkan dengan nilai R yang hanya 0,440.



Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

Gambar 5. Bentuk Hubungan Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) dan Kelembaban Tanah



Keterangan : A (Hutan), B (Kebun Karet), C (Tanaman Jagung) dan D (Lahan Bekas Kebakaran)

Gambar 6. Bentuk Hubungan Fluks Karbondioksida (CO₂ fluks) dan Kedalaman Air Tanah (water table)

Hubungan kuadratik yang sangat nyata justru terjadi pada lokasi tanaman jagung (Gambar 6) dengan nilai R = 0,743 dan kedalaman air tanah rata-rata tanah sebesar 68,96 cm.

Pembahasan
Hasil Pengukuran Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) di Gambut Pedalaman (Kalampangan) dan Pasang Surut (Purwodadi)

Pada ke empat tipe penggunaan lahan, dapat dilihat bahwa fluk karbon dioksida di Pasang Surut secara keseluruhan lebih tinggi dibandingkan dengan di gambut Pedalaman. Lokasi lahan bekas terbakar di Pasang Surut mempunyai nilai rata-rata fluk karbon dioksida yang paling besar yaitu $430,24 \pm 13,68 \text{ mg C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ ($0,430 \pm 0,014 \text{ g C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$), kemudian diikuti pada lokasi Hutan di Gambut Pedalaman yaitu sebesar $292,92 \pm 89,76 \text{ mg C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$ ($0,293 \pm 0,090 \text{ g C m}^{-2} \text{ jam}^{-1}$) (Tabel 1).

Kusin dan Ermiasi (2010) mengatakan bahwa pembuatan drainase untuk kegiatan pertanian akan menyebabkan perubahan ekosistem gambut terutama air tanah, suhu dan kelembaban sehingga akan meningkatkan aktifitas mikroorganismenya untuk melepaskan gas ke udara seperti CO₂ dan CH₄.

Tabel 2. Data Hasil Jumlah Mikroorganismenya dalam 10 gr Tanah yang terdapat pada masing-masing penggunaan lahan Gambut

No.	KodeSampel	Jumlah Mikroorganismenya 10 ⁻³
1.	LBT P (1)	30 sel/ml
	LBT P (2)	17 sel/ml = 18 sel/ml
	LBT P (3)	9 sel/ml
2.	LBT K (1)	66 sel/ml
	LBT K (2)	82 sel/ml = 80 sel/ml
	LBT K (3)	93 sel/ml
3.	LK P (1)	45 sel/ml
	LK P (2)	48 sel/ml = 36 sel/ml
	LK P (3)	15 sel/ml
4.	LK K (1)	178 sel/ml
	LK K (2)	128 sel/ml = 154 sel/ml
	LK K (3)	157 sel/ml

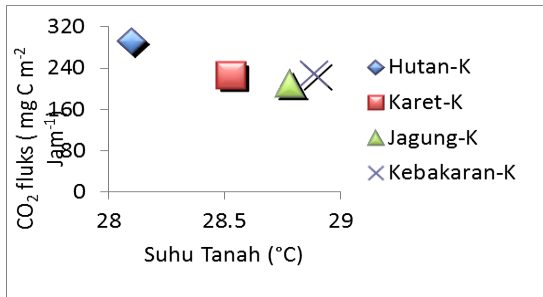
No.	KodeSampel	Jumlah Mikroorganisme 10 ⁻³
5.	LJ P (1)	59 sel/ml
	LJ P (2)	61 sel/ml = 51 sel/ml
	LJ P (3)	33 sel/ml
6.	LJ K (1)	195 sel/ml
	LJ K (2)	108 sel/ml = 157 sel/ml
	LJ K (3)	169 sel/ml
7.	HG P (1)	61 sel/ml
	HG P (2)	96 sel/ml = 73 sel/ml
	HG P (3)	62 sel/ml
8.	HT Gr K (1)	131 sel/ml
	HT Gr K (2)	46 sel/ml = 137 sel/ml
	HT Gr K (3)	236 sel/ml

Penyebab tingginya fluks karbon dioksida di Gambut Pasang Surut diduga disebabkan oleh perbedaan porositas tanahnya, jenis tanah atau tingkat kematangan gambutnya dan kandungan pirit (FeS₂) serta jenis mikroorganismenya. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan pirit pada kedua lokasi ini. Kalamangan adalah daerah yang mempunyai kedalaman gambut beragam antara 3 – 7 m dengan bahan dasar yang bermacam-macam seperti pasir, granit dan tanah liat, sedangkan Purwodadi adalah daerah yang mempunyai kedalaman gambut antara 1,5 – 2,5 m dengan bahan dibawah gambut didominasi oleh tanah liat dengan kandungan pirit (FeS₂) yang cukup tinggi.

Ueda *et al.*, (2000) dan Jali (2004) mengatakan bahwa kondisi air tanah selama musim kering akan meningkatkan ketersediaan bahan organik aerobik untuk berdekomposisi. Kondisi racun dan peningkatan potensi redoks disebabkan oleh drainase yang kurang baik, diketahui mendukung aktivitas mikroba dan mineralisasi nitrogen. Menurut Melling *et al.*, (2005) menyatakan bahwa berdasarkan hasil uji statistik tidak ada perbedaan yang nyata emisi CO₂ pada tiga Penggunaan lahan (hutan, sagu dan kelapa sawit), namun demikian nampak ada trend (kecenderungan) yang kuat bahwa perubahan penggunaan lahan menyebabkan perubahan atau perbedaan emisi CO₂.

Suhu Tanah dan Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) di Gambut Pedalaman

Hasil analisis dari empat penggunaan lahan, hubungan suhu tanah dan fluks CO₂ yang paling berpengaruh nyata dengan nilai R = 0,856 yaitu pada areal bekas kebakaran dengan berpola kuadratik terhadap perubahan suhu tanah. Suhu tanah rata-rata 28,89 °C, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada yang terbuka 0 menit = 03,92 mV dan 6 menit = 04,26 mV, pada yang ada naungan 0 menit = 00, 38 mV dan 6 menit = 00, 44 mV. Hal ini disebabkan areal lahan bekas kebakaran masih sangat terbuka sehingga lebih banyak menyerap cahaya. Tumbuhan yang ada disekitarnya juga relatif kecil dengan tutupan tajuk yang sangat terbatas sehingga intensitas cahaya yang masuk cukup tinggi. Pada saat kenaikan suhu aktivitas mikroorganisme semakin meningkat, sehingga proses dekomposisi akan berlangsung sangat cepat. Kemudian yang berpengaruh nyata kedua pada lahan jagung berpola kuadratik dengan nilai R = 0,653 dan suhu tanah rata-rata 28,78 °C, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada yang terbuka 0 menit = 04,32 mV dan 6 menit = 04,46 mV, pada yang ada naungan 0 menit = 00, 27 mV dan 6 menit = 00, 33 mV. Hal ini disebabkan pada lahan budidaya jagung selain terbuka sehingga banyak menyerap cahaya dan juga pengaruh dari pemupukan dari kompos kotoran sapi dan ayam sehingga mikroorganismenya tinggi yaitu 157 sel/ml sehingga sangat mempengaruhi emisi karbon dioksida. Hirano *et al.*, (2009) mengatakan lamanya penyinaran matahari dan kondisi tutupan lahan akan mempengaruhi suhu tanah. Minkinen *et al.*, (2007); Makiranta *et al.*, (2009) dalam Juahainen *et al.*, (2012) juga mengatakan bahwa laju dekomposisi bahan organik dilahan gambut meningkat positif dengan peningkatan suhu.



Gambar 8. Hubungan fluks karbon dioksida dengan suhu tanah di Gambut Pedalaman

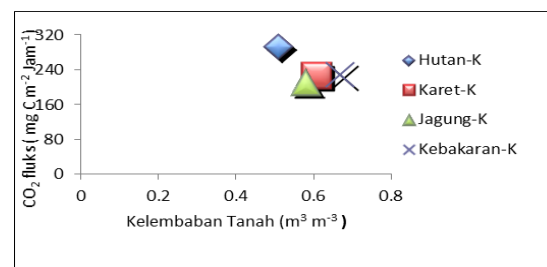
Ditambahkan juga bahwa di daerah tropis, fluktuasi suhu harian dan tahunan relatif sederhana dibandingkan dengan lahan gambut non tropis. Kenaikan suhu umumnya setelah deforestasi dan juga peningkatan fluktuasi suhu harian dipermukaan gambut akibat tingkat dekomposisi gambut.

Hilangnya permukaan gambut pada areal bekas kebakaran mungkin mengurangi aliran karbon dibandingkan dengan di lahan gambut tidak terbakar, tetapi kebakaran mengubah sifat gambut secara kimiawi, fisik dan mikrobiologis. Sebagai hasil dari kebakaran, karbon organik dan total nitrogen akan mengalami penurunan pada gambut yang tersisa, sedangkan nutrisi mineral, pH dan bulk density menjadi naik (Dikici & Yilmaz, 2006). Kenaikan pH dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah dan berpotensi meningkatkan dekomposisi gambut (Moilanen *et al.*, 2012). Namun, dengan penambahan abu hasil pembakaran akan meningkatkan pH gambut, efeknya pada aliran karbon adalah kompleks, termasuk positif (Moilanen *et al.*, 2012), negatif (Klemetsson *et al.*, 2010) dan bernilai (Hogg *et al.*, 1992).

Kelembaban Tanah dan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) di Gambut Pedalaman

Hasil analisis dari empat penggunaan lahan, bahwa hubungan kelembaban tanah dan fluks CO_2 yang paling berpengaruh nyata dengan nilai $R = 0,640$ adalah pada lahan kebun karet dengan pola kuadratik terhadap perubahan kelembaban tanah (Gambar 5B).

Dimana kelembaban tanah rata-rata $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada yang terbuka 0 menit = $00,68 \text{ mV}$ dan 6 menit = $00,76 \text{ mV}$, pada yang ada naungan 0 menit = $00,25 \text{ mV}$ dan 6 menit = $00,25 \text{ mV}$ (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena areal kebun karet tidak terlalu jauh dengan canal ($\pm 30 \text{ m}$), sehingga tanahnya cepat mengering karena air tanah mengalir ke arah kanal tersebut. Kelembaban tanah mempunyai hubungan yang kuat dengan kedalaman air tanah dan suhu. Selain itu juga kebun karet tersebut mempunyai tajuk yang agak terbuka sehingga intensitas cahaya yang masuk ke permukaan tanah cukup banyak. Kemudian yang berpengaruh nyata kedua yaitu pada areal hutan dengan berpola kuadratik terhadap kelembaban tanah dengan nilai $R = 0,632$. Dimana kelembaban tanah rata-rata $0,51 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada yang terbuka 0 menit = $00,24 \text{ mV}$ dan 6 menit = $01,42 \text{ mV}$, pada yang ada naungan 0 menit = $00,18 \text{ mV}$ dan 6 menit = $00,18 \text{ mV}$ (Tabel 1). Hal ini karena pada lahan hutan kelembabannya tinggi karena cahaya tidak dapat menembus ketanah karena terlindung oleh strata tajuk pohon dan anakan pohon dibawahnya. Menurut Sulistiyanto (2004) kelembaban tanah dan saturasi air terutama di permukaan gambut mengontrol aktivitas dan kecepatan pelapukan oleh mikroorganisme. Populasi dan aktivitas mikroorganisme meningkat pada kondisi tanah lembab dan aerob, selanjutnya dekomposisi menurun bahkan melambat pada kondisi anaerob.



Gambar 9. Hubungan Fluks karbon dioksida dengan kelembaban tanah di Gambut Pedalaman

Liyama dan Osawa (2010) dalam Jauhiainen, *et al.*, (2012) juga mengatakan, ketika mengukur hubungan antara emisi CO₂ dan kedalaman air tanah, harus diingat bahwa kedalaman air tanah tidak mengontrol oksidasi gambut. Sebaliknya, digunakan untuk mengukur kelembaban dari lahan gambut di atas air tanah, yang memiliki efek langsung terhadap oksidasi gambut dengan mempengaruhi ketersediaan oksigen dalam ruang yang berpori. Ditambahkan juga bahwa pada lahan gambut yang mempunyai kedalaman air tanah yang tinggi dan tidak ada kontrol drainase yang baik, mempunyai hubungan yang kuat dengan kelembaban tanah.

Kedalaman Air Tanah (Water Table) dan Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) di Gambut Pedalaman

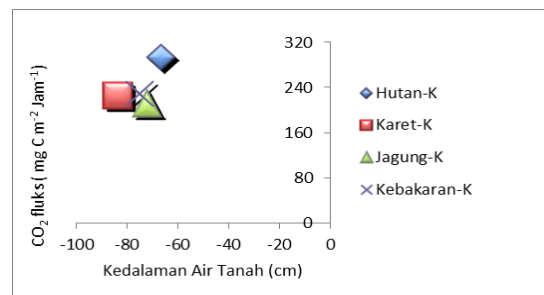
Hasil analisis fluks CO₂ pada empat penggunaan lahan dalam hubungannya dengan perubahan kedalaman air tanah (*water table*), menunjukkan hubungan dengan pola kuadratik dan berpengaruh nyata adalah pada kebun karet dengan nilai R = 0,872 (Gambar 6B). Dimana rata-rata kedalaman air tanahnya 83,74 cm dari permukaan tanah, intensitas cahaya yang masuk pada lokasi terbuka 0 menit = 00,68 mV dan 6 menit = 00,76 mV, ada naungan 0 menit = 00, 25 mV dan 6 menit = 00, 25 mV (Tabel 2), dengan semakin dalam air tanah menunjukkan bahwa tingkat emisi karbon dioksida semakin meningkat seiring dengan penurunan permukaan tanah, namun pada kedalaman air tanah tertentu emisi karbon dioksida akan menurun membentuk pola kuadratik.

Menurut Hirano *et al.*, (2012) mengemukakan bahwa hubungan air tanah dan emisi karbon adalah hubungan yang linier. Setiap penurunan air tanah sebesar 0,1 m akan mengeluarkan aliran karbon dioksida sebesar 0,27 μmol m⁻² detik⁻¹. Fluks karbon dioksida sangat ditentukan oleh kedalaman air tanah, memberikan petunjuk bahwa pemanfaatan gambut untuk pertanian atau perkebunan harus

hati-hati, karena menurut Limin *et al.*, (2005) jika lahan gambut dibuka untuk pertanian atau perkebunan pasti diikuti dengan pembuatan saluran pengering agar zona perakaran tanaman bebas dari jenuh air. Penurunan air tanah ini, akan menyebabkan lapisan gambut dipermukaan kering dan sangat mudah terbakar.

Jauhiainen *et al.*, (2005, 2008, 2012) mengatakan bahwa total fluks CO₂ dari lahan gambut tropis basah sangat rendah pada kondisi jenuh air pada musim penghujan dan meningkat naik saat air tanah turun pada saat musim kemarau.

Ditambahkan juga jika air tanah berada dekat dengan permukaan untuk waktu yang lama, maka akan terjadi emisi karbon secara heterotropik yang begitu cepat seiring dengan perubahan kedalaman air tanah. Pada saat ini juga akan terjadi hubungan yang non linier antara air tanah dan kelembaban. Hirano *et al.*, (2012) juga mengatakan, peningkatan emisi karbon atau dekomposisi gambut oksidatif pada kondisi air tanah rendah adalah karena penebalan zona tanah tak jenuh dan hasil dari peningkatan aerasi.



Gambar 10. Hubungan Fluks karbon dioksida dengan kedalaman air tanah di Gambut Pedalaman

Mikroorganisme dan Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) di Gambut Pedalaman

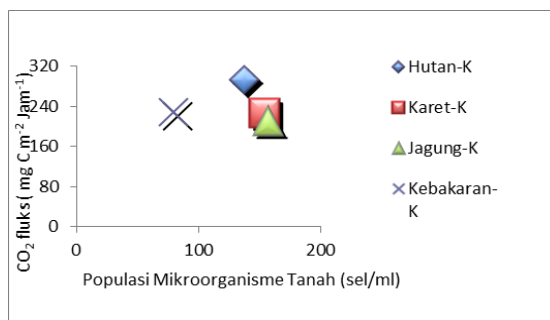
Hasil analisis laboratorium, menunjukkan bahwa hubungan antara besarnya rata-rata emisi CO₂ yang dilepas ke permukaan tanah dari keempat tipe penggunaan lahan di Gambut Pedalaman,

menunjukkan semakin banyak jumlah populasi mikroorganisme tanah maka semakin tinggi pula fluks CO_2 yang dihasilkan dan sebaliknya semakin sedikit jumlah populasi mikroorganisme tanah yang dihasilkan maka semakin rendah pula fluks CO_2 yang dihasilkan.

Hal tersebut dilihat pada lahan bekas terbakar jumlahnya lebih kecil diduga karena pada tutupan lahan yang masih terbuka dengan suhu tanah yang tinggi dan dengan kelembaban tanah yang rendah maka mikroorganisme tidak dapat berkembang biak dengan baik. Begitu juga dengan kondisi tanahnya dimana porositas tanah sudah kurang baik pasca kebakaran sehingga CO_2 mudah terlepas ke udara.

Suhu Tanah dan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) di Gambut Pasang Surut

Hasil analisis, hubungan suhu tanah dan fluks karbon dioksida di Gambut Pasang Surut berpola kubik pada areal hutan dengan nilai $R = 0,545$ (Gambar 7).

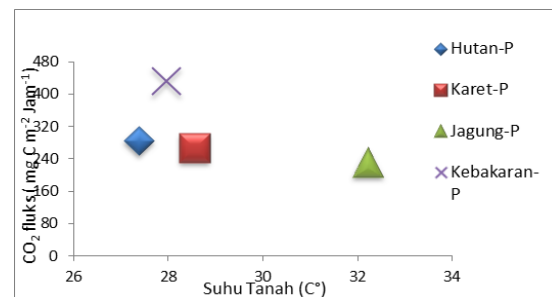


Gambar 11. Hubungan Fluks karbon dioksida terhadap Populasi mikro organisme tanah di Gambut Pedalaman

Dimana rata-rata suhu tanahnya 27,39 °C, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada daerah yang terbuka 0 menit = 00,40 mV dan 6 menit = 00,73 mV dan pada daerah yang ada naungan 0 menit = 00,15 mV dan 6 menit = 00,31 mV (Tabel 2). Suhu tanah lebih rendah pada lokasi hutan dibandingkan dengan lokasi yang lain. Hal ini diduga karena

pada lokasi hutan didominasi oleh pohon galam dengan tajuk yang cukup rapat sedangkan dipermukaan tanah didominasi oleh tumbuhan pakis-pakisan serta lapisan serasah yang cukup tebal. Selain itu perbedaan jenis tumbuhan yang tumbuh pada masing-masing lokasi juga berpengaruh terhadap kemampuan tanah menyerap dan menyimpan air sehingga menjaga suhu tanah tetap stabil.

Tetapi pada kondisi suhu tanah yang rendah masih memberikan pengaruh yang cukup besar dalam peningkatan fluks karbon dioksida. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya jumlah mikroorganisme pada lokasi hutan dibandingkan dengan lokasi penggunaan lain, sehingga fluks karbon dioksida juga cukup tinggi. Brady (1997) dalam Hirano *et al.*, (2012) mengatakan bahwa tingkat emisi CO_2 dari sampel inkubasi permukaan gambut tropis Sumatera juga ditemukan dua kali lipat pada suhu antara 25 °C dan 35 °C.



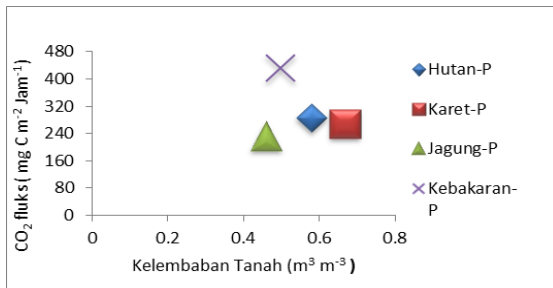
Gambar 12. Hubungan Fluks karbon dioksida dengan suhu tanah di Gambut Pasang Surut

Kelembaban Tanah dan Fluks Karbon dioksida (CO_2 fluks) di Gambut Pasang Surut

Hasil analisis, hubungan kelembaban tanah dan fluks karbon dioksida di Gambut Pasang Surut menunjukkan bahwa kelembaban tanah pada lahan bekas kebakaran menunjukkan hubungan kuadratik nyata dengan nilai $R = 0,617$ (Gambar 8D). Kelembaban rata-rata tanahnya yaitu $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada daerah yang terbuka 0 menit = 00,47 mV dan

6 menit = 00,58 mV dan pada daerah yang ada Naungan 0 menit = 00,16 mV dan 6 menit = 00,21 mV (Tabel 2). Pada lokasi lahan bekas kebakaran tumbuh beberapa pohon akasia yang cukup besar, yang diameter pohonnya ± 20 cm dan pada bagian permukaan tanahnya tumbuh alang-alang serta beberapa jenis rumput-rumputan. Kelembaban sangat rendah dan sangat mendukung fluks karbon dioksida yang cukup besar.

Liyama dan Osawa (2010) dalam Jauhiainen, *et al.*, (2012) mengatakan, ketika mengukur hubungan antara fluks CO₂ dan kedalaman air tanah, harus diingat bahwa kedalaman air tanah tidak mengontrol oksidasi gambut. Sebaliknya, digunakan untuk mengukur kelembaban dari lahan gambut di atas air tanah, yang memiliki efek langsung terhadap oksidasi gambut dengan mempengaruhi ketersediaan oksigen dalam ruang yang berpori. Ditambahkan juga bahwa pada lahan gambut yang mempunyai kedalaman air tanah yang tinggi dan tidak ada kontrol drainase yang baik, mempunyai hubungan yang kuat dengan kelembaban tanah.



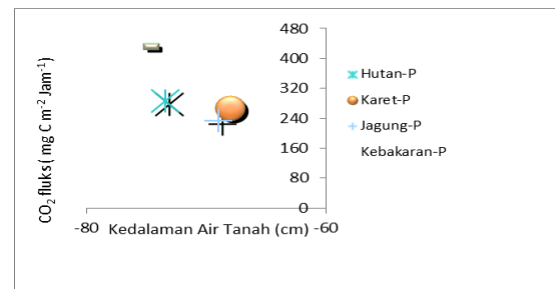
Gambar 13. Hubungan Fluks karbon dioksida terhadap Kelembaban tanah di Gambut Pasang Surut

Menurut Toyota dan Okazaki (2004), berkaitan dengan neraca karbon, emisi sangat bergantung pada kelembaban tanah. Perbedaan kelembaban tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi lahan, kedalaman muka air tanah, curah hujan dan distribusi cahaya matahari tertutup atau tidak oleh tajuk tanaman. Jika tanah dalam keadaan anaerob,

maka aktivitas mikroorganisme aerob menurun, maka berdampak baik pada penurunan laju pelepasan CO₂ ke permukaan tanah.

Kedalaman Air Tanah (*water table*) dan Fluks Karbon dioksida (*CO₂ fluks*) di Gambut Pasang Surut

Hasil analisis, hubungan kedalaman air tanah dan fluks karbon dioksida di Gambut Pasang Surut menunjukkan bahwa kedalaman air tanah pada lahan kebun jagung berpengaruh nyata dengan nilai R = 0,743 dengan pola kuadratik terhadap kedalaman air tanah (Gambar 9C). Dimana kedalaman air tanah rata-rata 68,96 cm, sedangkan intensitas cahaya yang masuk pada daerah yang terbuka 0 menit = 04,50 mV dan 6 menit = 04,53 mV dan pada daerah yang ada naungan 0 menit = 00,53 mV dan 6 menit = 00,61 mV (Tabel 2).



Gambar 14. Hubungan Fluks karbon dioksida dengan kedalaman air tanah di Gambut Pasang Surut

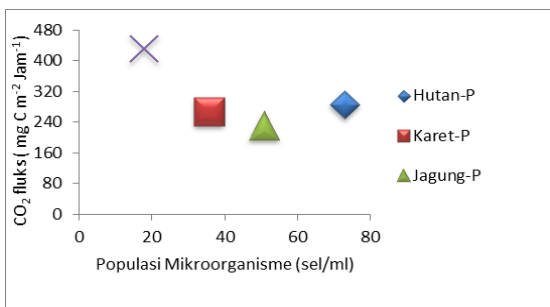
Mikroorganismenya sangat kecil dibandingkan dengan lokasi yang lain, tetapi aktivitasnya akan meningkat yang mendukung terjadinya fluks karbon dioksida yang cukup besar. Ueda *et al.*, (2000) dan Jali (2004) mengatakan bahwa kondisi air tanah selama musim kering akan meningkatkan ketersediaan bahan organik aerobik untuk berdekomposisi. Kondisi racun dan peningkatan potensi redoks disebabkan oleh drainase yang kurang baik, diketahui mendukung aktivitas mikroorganisme dan mineralisasi nitrogen.

Rumbang (2009) menyatakan bahwa semakin jauh air tanah turun dari permukaan

tanah maka emisi CO₂ yang dilepas oleh lahan gambut semakin besar. Perubahan kondisi anaerob menjadi aerob akibat menurunnya permukaan air tanah memicu meningkatnya emisi CO₂ yang dilepas oleh lahan gambut.

Mikroorganisme dan Fluks Karbon dioksida (CO₂ fluks) di Gambut Pasang Surut

Hasil analisis di laboratorium, menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme pada berbagai tipe penggunaan lahan di Gambut Pasang Surut jumlahnya jauh lebih kecil dari jumlah berbagai tipe penggunaan lahan di Gambut Pedalaman, berdasarkan data sampel lapangan yang dianalisis di laboratorium jumlah mikroorganismenya sedikit tetapi fluks karbon dioksidanya lebih tinggi, hal ini diduga karena pengaruh dari pirit (FeS₂) yang teroksidasi mengandung sulfat masam untuk menghambat aktivitas mikroorganismenya dalam mempercepat dekomposisi gambut. Hal ini sesuai dengan pendapat Madjid (2009), menyatakan bahwa akibat terjadinya oksidasi senyawa pirit (FeS₂) yang menghasilkan asam sulfat, membuat pH tanah sangat masam, kemasaman tersebut berdampak negatif terhadap sifat kimia tanah dan aktivitas mikroorganisme tanah. Sebagai informasi tambahan di Gambut Pasang Surut, khususnya kebun karet dan dan tanaman jagung masyarakatnya jarang menggunakan pupuk organik maupun anorganik, hal tersebut juga diduga akan mengurangi mikroorganisme yang ada di permukaan tanah.



Gambar 17. Hubungan Fluks karbon dioksida dengan populasi mikroorganisme di Gambut Pasang Surut

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

Fluks karbon dioksida (CO₂ fluks) pada ke empat tipe penggunaan lahan di lapangan, di Gambut Pasang Surut (Purwodadi) secara keseluruhan lebih tinggi dibandingkan dengan di Gambut Pedalaman (Kalampangan), namun pada hutan alami lebih tinggi di Gambut Pedalaman (Kalampangan).

Di Lahan Gambut Pasang Surut, faktor kedalaman air tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di lahan jagung dengan pola kuadrat, faktor kelembaban tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di lahan bekas terbakar dengan pola kuadrat dan faktor suhu tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di lahan hutan dengan pola kubik. Sedangkan Di Lahan Gambut Pedalaman, faktor kedalaman air tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di kebun karet dengan pola kuadrat, faktor kelembaban tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di kebun karet dengan pola kuadrat dan faktor suhu tanah berpengaruh nyata pada nilai fluks karbon dioksida di lahan bekas terbakar dengan pola kuadrat.

Jumlah mikroorganisme di gambut pasang surut, di lahan hutan 73 sel/ml, kebun jagung berjumlah 51 sel/ml, kebun karet berjumlah 36 sel/ml, dan dilahan bekas kebakaran berjumlah 18 sel/ml. Sedangkan di gambut pedalaman mikroorganisme rata – rata lebih tinggi yaitu pada kebun jagung berjumlah 157 sel/ml, kebun karet berjumlah 154 sel/ml, lahan hutan berjumlah 137 sel/ml dan dilahan bekas kebakaran berjumlah 80 sel/ml.

Di Lahan Gambut Pasang Surut, suhu tanah, kelembaban tanah, kedalaman air tanah berpengaruh terhadap fluks karbon dioksida dan mikroorganisme pengaruhnya kecil. Sedangkan di di Lahan Gambut Pedalaman, suhu tanah, kelembaban tanah, kedalaman air tanah dan mikroorganisme tanah berpengaruh terhadap fluks karbon dioksida.

DAFTAR PUSTAKA

- Dikici H, CH. Yilmaz. 2006. Peat Fire effects on Some Properties of an Artificially drained Peatland. *Journal of Environment Quality*, 35 - 866.
- Hirano, T., J. Jauhiainen., T. Inoue., H. Takahashi. 2009. Controls On Carbon balance of Tropical Peatlands. *Ecosystem* 12 : 873 – 887.
- Hirano, T., K. Kusin., S. Limin., M. Osaki. 2012. Carbon dioxide Emissions Through Oxidative Peat Decomposition on a Burnt Tropical Peatland. *Global Change Biology* : 130 – 121.
- Hogg EH., VJ. Lieffers., RW. Wein. 1992. Potential Carbon Losses from Peat Profiles : Effects of Temperature, Drought Cycles, and Fire. *Ecological Applications*, 2, 298 – 306.
- Jauhiainen, J., J. Heikkinen., P.J. Martikainen., and H. Vasander., 2001. CO₂ and CH₄ fluxes in pristine and peatland converted to agriculture in Central Kalimantan, Indonesia. *International Peat Journal*, 11, pp.43-49.
- Jauhiainen, J., S. Limin, S. Silvennoinen, H. Vasander. 2008. Carbon dioxide and methane in drained tropical peat before and after hydrological restoration. *Ecology*, 89 (12): 3503 – 3514.
- Jauhiainen, J, A. Hooijer., S.E. Page. 2012. Carbon dioxide Emission from an Acaciaplantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences*, 9 : 617 – 630.
- Klemedtsson, L., M. Ernfors., R G. Bjork., P. Weslien., T. Rutting., P. Crill., U. Sikjstrom. 2010. Reduction of Greenhouse Gas Emission by Application to a *Picea abies* (L). *Karst. Forest on Drained Organic Soil*. *European Journal of Soil Science*, 61, 734 – 744.
- Kusin, K., Y. Ermiasi. 2010. Carbon Emission from Degradated Peatland in Mega rice project Central Kalimantan (preliminary result). *International Workshop on "Ecology and Management of Peat Swamp Forest in Central Kalimantan*. Ehime University, Japan, January 24 – 27, 2010.
- Madjid, A. 2009. *Pengelolaan Kesuburan Tanah Sulfat Masam (Bagian 4 E)*. Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya Palembang.
- Moilanen, M., Hytonen J., Leppala M. 2012. Application of Wood ash Accelerates Soil Respiration and Tree Growth on Drained Peatland. *European Journal of Soil Sciences*, 63, 461 467 – 475.
- Rachdie. 2006. *Teknik Dasar Analisa Mikroba 2*. <http://www.rachdie.blogspot.com/2006/11/02/teknik-dasar-analisa-mikrobiologi-2/>
- Sulistiyanto Y. 2004. *Disertation. Nutrient Dynamic in Different Sub-Type of Peat Swamp Forest in Central Kalimantan, Indonesia*. The University of Nottingham – United Kingdom.
- Toyota, K. and Okazaki. (2004). *Effect of Moisture Condition and Vegetation Tipes on Microbial Community of Tropical Peat Soils*. Field Science Center for Northern Biosphere. Hokkaido University Sapporo. Japan. P. 30 – 41.
- Ueda, S., C.S. Go, T. Yoshioka., N. Yoshida., E. Wada., T. Miyajima., A. Sugimoto., N. Boontanon., P. Vijarnsorn., and S. Boonprakub. 2000. Dynamics of Dissolved O₂, CO₂, CH₄, and N₂O in a tropical coastal swamp in southern Thailand. *Biogeochemistry* 49 : 191 – 215.