

Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Rizosfer dan Non Rizosfer dari Perkebunan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) pada Lahan Gambut Dangkal

*Rhizospheric and Non-rhizospheric Carbon Dioxide (CO₂) Emissions from Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Plantation on Shallow Peats*

¹Tri Tiana Ahmadi Putri, ²Lailan Syaufina, ³Gusti Z. Anshari

¹ Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor

² Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga, Bogor

³ Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian dan Magister Ilmu Lingkungan Universitas Tanjungpura, Jl. Ahmad Yani, Pontianak

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 21 Oktober 2015
Direview: 19 November 2015
Disetujui: 24 Februari 2016

Katakunci:

Emisi CO₂
Kelapa sawit
Histosols
Muka air tanah
Rizosfer
Non-Rizosfer

Keywords:

CO₂ emission
Oil palm
Histosols
Water table
Rhizosphere
Non-Rhizosphere

Abstrak. Emisi CO₂ terdiri atas respirasi autotrof dan heterotrof. Respirasi autotrof diasumsikan tidak berpengaruh pada pemanasan global, dan sebaliknya respirasi heterotrof berdampak pada pemanasan global. Tujuan penelitian ini untuk mengukur dan mempelajari emisi CO₂ autotrof dan heterotrof, yang berasal dari rizosfer dan non rizosfer tanaman kelapa sawit yang ditanam pada lahan gambut dangkal. Lokasi penelitian terletak di Rasau Jaya Umum, Kecamatan Rasau Jaya, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat. Emisi CO₂ yang diukur dari dua belas sungkup tertutup dengan menggunakan alat analisis gas inframerah (EGM-4). Umur tanaman kelapa sawit 6 sampai 7 tahun. Pengukuran dilakukan satu bulan sekali, dari bulan Januari sampai Mei 2015. Hasil penelitian menunjukkan emisi CO₂ dari rizosfer lebih tinggi dan berbeda sangat nyata dibandingkan emisi non rizosfer. Besaran emisi rizosfer dan non rizosfer diperkirakan sebesar 0,93 dan 0,44 g m⁻² hr⁻¹. Emisi bertambah besar dengan makin dalamnya muka air tanah, menunjukkan ada korelasi positif antara emisi CO₂ dengan kedalaman muka air tanah.

Abstract. CO₂ emission consists of autotrophic and heterotrophic respirations. An autotrophic emission is not considered as negative, and in contrast, a heterotrophic oxidation of peat soils has detrimental impact on the global warming. The aim of this study is to investigate rates of emissions between autotrophic and heterotrophic respirations, generated by oil palm (*Elaeis guineensis*) plantation on shallow peat. The research site was located in Rasau Jaya Umum, Kubu Raya District, West Kalimantan Province, Indonesia. The ages of palms are 6 to 7 years. A total of twelve closed chambers were placed in both rhizospheres, representing autotrophic and heterotrophic oxidation, and non-rhizospheres, representing heterotrophic oxidation only. CO₂ emissions were measured once a month, with an infrared gas analyzer (EGM-4), from January to May 2015. The results show rhizospheric emissions are significantly higher than non-rhizospheric emissions, i.e., 0.93 and 0.44 g m⁻² hr⁻¹, respectively. Values of CO₂ emissions increase as water table level is low, indicating a positive correlation between water table level and CO₂ emission from peats.

Pendahuluan

Pemanfaatan lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit merupakan dampak dari meningkatnya kebutuhan perluasan areal kelapa sawit, sementara luas lahan potensial semakin berkurang sehingga pengembangan areal kelapa sawit mengarah ke lahan marginal. Pada tahun 2013 total luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai luas 9.074.621 Ha (DPDJP 2013). Total luasan perkebunan kelapa sawit di lahan gambut Indonesia pada tahun 2010 adalah 1,709 juta ha yang tersebar di Sumatra seluas 1,4 juta ha, di Kalimantan seluas 307.515 ha dan di Papua seluas 1.727 ha (Gunarso *et al.* 2013). Perkebunan kelapa sawit di lahan gambut Kalimantan Barat pada tahun 2013 mencapai 265.081 ha (Rehman *et al.* 2015).

Perkebunan kelapa sawit di lahan gambut menjadi isu hangat perhatian dunia karena dianggap dapat menyumbangkan emisi CO₂ yang besar.

Respirasi tanah merupakan gabungan dari respirasi autotrof (respirasi akar) dan respirasi heterotrof (dekomposisi gambut) (Tian *et al.* 2010; Dariah *et al.* 2014). Salah satu komponen yang berperan besar dalam respirasi tanah adalah aktivitas respirasi akar. Menurut Hanson (2000) total respirasi tanah sebagian besar dipengaruhi oleh perakaran tanaman, bervariasi dari 10 hingga 90%. Emisi CO₂ yang berasal dari respirasi akar dinetralkan melalui proses fotosintesis, sedangkan dari dekomposisi gambut berkontribusi terhadap peningkatan gas rumah kaca (Agus *et al.* 2010; Hergoualc'h dan Verchot 2013). Untuk itu perlu dilakukan pengukuran emisi CO₂ dengan memisahkan antara respirasi akar dan

*Corresponding author: Email tri.tiana.ap@gmail.com

dekomposisi gambut agar tidak terjadi prakiraan yang berlebihan terhadap besaran emisi CO₂ yang berkontribusi terhadap peningkatan GRK pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur dan mempelajari emisi CO₂ autotrof dan heterotrof, yang berasal dari rizosfer dan non rizosfer tanaman kelapa sawit yang ditanam pada lahan gambut dangkal. Manfaatnya dari penelitian ini adalah dapat membantu menyediakan data dasar berupa emisi CO₂ di rizosfer dan non rizosfer dari perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut atau yang berbasis lahan dalam rencana aksi daerah penurunan emisi gas rumah kaca (RAD-GRK) Provinsi Kalimantan Barat (BAPPENAS 2014).

Bahan dan Metode

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian di perkebunan kelapa sawit milik perseorangan yang terletak di Desa Rasau Jaya Umum, Kabupaten Kubu Raya, Provinsi Kalimantan Barat yang terletak pada koordinat UTM 49 M 9976635 LS 0319074 BT. Umur tanaman kelapa sawit di lokasi penelitian sekitar 6-7 tahun dengan luas lahan perkebunan kelapa sawit sekitar 5,5 ha. Saluran-saluran drainase dibangun mengelilingi blok tanaman, dan cukup intensif karena lokasi ini dulunya direncanakan untuk pembangunan sawah proyek transmigrasi. Saluran drainase sekunder mempunyai lebar 12 m, lebar saluran tersier 4 m dan saluran cacing 50 cm.

Penelitian dilaksanakan dari bulan Januari sampai bulan Mei 2015. Pengukuran emisi CO₂ menggunakan teknis sungkup dengan alat Infra Red Gas Analyser merek Environmental Gas Monitoring (EGM-4). Waktu pengukuran pada pukul 08.00 - 12.00 WIB.

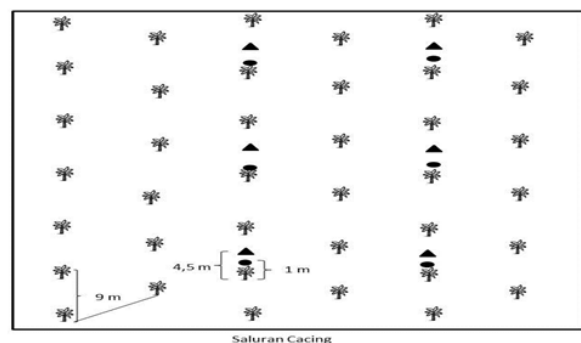
Penetapan Titik Pengamatan

Penentuan titik pengamatan di lokasi penelitian dilakukan dengan penentuan transek terlebih dahulu, yaitu sebanyak dua transek. Pada setiap transek terdapat tiga pasang titik pengamatan (Rizosfer dan Non Rizosfer), sehingga masing-masing memiliki enam titik pengamatan. Titik pengamatan pertama pada pohon kedua yang jaraknya terdekat dari saluran drainase, kemudian titik kedua pada pohon keempat, dan titik ketiga pada pohon keenam yang semakin menjauhi saluran drainase sekunder. Jarak titik pengamatan pertama dengan saluran drainase sekunder yaitu sekitar 500 m, jarak titik pengamatan pertama dengan saluran drainase tersier

sekitar 100 m dan jarak titik pengamatan pertama dengan saluran cacing sekitar 12 m.

Hasil penelitian Fauzi *et al.* (2006) mengatakan bahwa respirasi akar terjadi pada akar tersier dan kuarter yang banyak ditumbuhi bulu-bulu halus akar yang jarak penyebaran akar tersebut tergantung pada umur kelapa sawit. Sungkup untuk mengukur emisi rizosfer ditempatkan di atas “piringan” perakaran, dengan jarak 100 cm dari batang tanaman. Metode yang serupa telah dilakukan oleh Agus *et al.* (2010) yang memasang sungkup berada 1 meter dari batang tanaman untuk tanaman sawit yang berusia 5 tahun. Lebih lanjut dijelaskan oleh Marwanto *et al.* (2013), bahwa emisi CO₂ terbesar adalah pada jarak 1 meter dari batang kelapa sawit, di mana pada jarak tersebut kerapatan akar tersier dan kuarter sangat tinggi, oleh karena itu jarak 1 meter kelihatannya merupakan jarak yang ideal untuk pengamatan emisi CO₂ rizosfer.

Sungkup untuk mengukur emisi non rizosfer ditempatkan di atas gambut yang telah dibersihkan dari akar-akar hidup tanaman. Sebelum sungkup dipasang, dilakukan pemotongan akar dan kemudian dipasang lapisan pembatas berupa terpal sedalam satu meter, dan lebar 0,5 meter. Tujuan pemasangan terpal supaya tidak terjadi penetrasi akar. Pemasangan terpal dilakukan enam bulan sebelum pengukuran CO₂. Jarak sungkup untuk pengukuran emisi non rizosfer sejauh 4,5 meter dari batang tanaman Hasil penelitian Marwanto *et al.* (2013) menunjukkan bahwa pada jarak 4,5 meter kerapatan akar tanaman kelapa sawit sangat jarang, dan tidak berpengaruh nyata karena kecilnya emisi autotrof pada radius 4,5 meter dari batang tanaman kelapa sawit. Penetapan titik pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah titik pengamatan ● (Rizosfer) ▲ (Non Rizosfer)

Figure 1. A sketch map of observation plots ● (Rhizophere) ▲ (Non Rhizophere)

Pengukuran Sampel

Sifat Fisik dan Kimia Gambut

Pada setiap titik pengamatan di rizosfer dan non rizosfer, dilakukan pengambilan sampel tanah dengan menggunakan bor gambut pada kedalaman 5-15, 15-25 dan 25-35 cm untuk pengamatan sifat fisik gambut. Pengambilan sampel tanah untuk analisa sifat kimia gambut secara komposit pada kedalaman 0-30 cm dari setiap titik pengamatan. Pengambilan sampel tanah untuk analisis sifat fisik dan kimia dilaksanakan pada tanggal 2 Juni dan tanggal 2 September tahun 2014.

Beberapa sifat fisik dan kimia gambut yang dianalisis serta metodenya dapat dilihat pada Tabel 1.

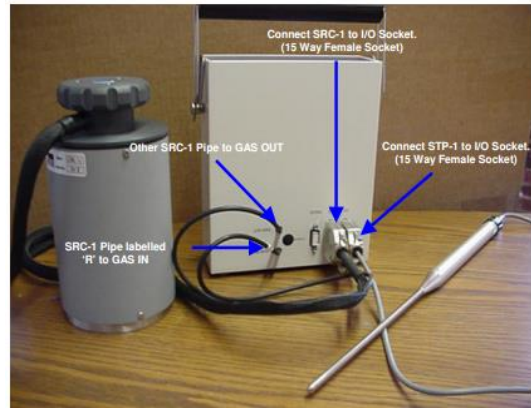
Tabel 1. Variabel dan metode analisis beberapa sifat fisik dan kimia gambut

Table 1. Variables and methods used to analyze selected physical and chemical properties of peats

No	Variabel Pengamatan	Metode
1.	Kadar air	Gravimetri
2.	Bobot Isi	Gravimetri
3.	Bahan organik	LOI (550 ^o C, 5 jam) Heiri <i>et al.</i> (2001)
4.	Kadar Abu	LOI (550 ^o C, 5 jam) Heiri <i>et al.</i> (2001)
5.	pH tanah (pH H ₂ O 1:5)	pH meter
6.	pH tanah (pH CaCl ₂ 1 N 1:5)	pH meter
7.	Potensial redoks (Eh)	pH meter dengan probe ORP
8.	C-organik	CN Analyzer (LECO)
9.	N total	CN Analyzer (LECO)
10.	N tersedia	Destilasi (NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺)
11.	P tersedia	Bray-I
12.	Kapasitas tukar kation (KTK)	Ekstraksi NH ₄ OAc pH 7
13.	Kejenuhan Basa (KB)	Ekstraksi NH ₄ OAc pH 7

Enviromental Gas Monitor 4 (EGM-4)

EGM-4 adalah *infrared gas analyzer* (IRGA) yang banyak tersedia. Alat ini terdiri atas sungkup atau *soil respiration chamber* (SRC-1) yang tingginya 15 cm dan diameter 10 cm terbuat dari material PVC dan *stainless steel*, termometer atau *soil temperature probe* (STP-1), dan IRGA. EGM-4 mudah dioperasikan karena ringan (berat 1,9 kg), dan menggunakan baterai kering dengan kapasitas 12V 2,0 Ah yang tahan sampai 4-5 jam dengan pemakaian terus menerus. Sungkup dilengkapi dengan kipas kapasitas 12V DC untuk menghilangkan gas-gas yang terakumulasi dalam sungkup (Gambar 2) (PP System 2009).



Gambar 2. EGM-4, SRC-1 dan STP-1

Figure 2. EGM-4, SRC-1 and STP-1 equipment

Pengukuran Emisi CO₂

Hal pertama yang dilakukan adalah pemanasan dan penyetulan IRGA serta mengosongkan gas-gas yang tersisa dalam sungkup (*auto zero*). Permukaan tanah di mana sungkup akan diletakkan dikipas untuk mengurangi konsentrasi gas CO₂. Kemudian, sungkup diletakkan di atas permukaan tanah gambut sedalam 1-2 cm sampai tidak ada rongga udara yang akan menyebabkan gas keluar dari sungkup.

Untuk mendapatkan nilai fluks yang linear, besaran emisi CO₂ pada awal pengukuran diusahakan kurang dari 500 ppm. Apabila konsentrasi awal lebih dar 500 ppm, pengukuran diulang kembali, dan artinya pengipasan permukaan tanah belum baik karena konsentrasi gas masih tinggi, dan perlu dilakukan pengipasan lebih merata. Selama pengukuran, konsentrasi CO₂ akan meningkat, dan apabila terjadi penurunan konsentrasi CO₂, berarti terjadi kebocoran. Akibatnya, pengukuran harus diulangi.

Pengukuran dilakukan selama 124 detik, dan setiap 4 detik data konsentrasi akan direkam dan disimpan dalam EGM-4. Data-data tersebut kemudian diunduh, dan dihitung fluksnya.

Luas areal permukaan tanah yang tertutup oleh sungkup sebesar 0,0078 m² (A) dengan volume sungkup 0,1170 m³ (V). Suhu dalam sungkup diambil dari rata-rata pengukuran suhu sebelum dan sesudah pemasangan sungkup. Perhitungan fluks CO₂ menurut Sano *et al.* (2010), dengan rumus:

$$F = \frac{V}{A} \times \frac{1}{22,4 \times \frac{273,15 + T}{273,15} \times 10^{-3}} \times \frac{dc}{dt}$$

Dengan lambang notasi:

F = fluks CO₂ (μmol m⁻² s⁻¹)

V = Volume sungkup (m³)

A = Luas dasar sungkup (m^2)

22,4 = volume molar gas pada kondisi stp (*standard temperature and pressure*) yaitu 22,4 liter mol^{-1} atau 0,0224 $m^3 mol^{-1}$ pada $0^\circ C$ ($273^\circ K$) dan tekanan 1 atm

dc/dt = perubahan konsentrasi CO_2 antar waktu ($ppm s^{-1}$)

T = rata-rata suhu tanah dalam sungkup ($^\circ C$)

Hasil perhitungan fluks dikonversi dalam satuan jam dan kemudian dikalikan dengan berat molekul senyawa gas CO_2 yaitu $44,01 \times 10^{-6}$ g (IAEA 1993). Data emisi yang telah didapat dalam satuan gram per meter persegi per jam dikonversi untuk memperkirakan emisi tahunan (365 hari).

Emisi CO_2 rizosfer merupakan hasil dari respirasi akar dan dekomposisi, sedangkan pada daerah non rizosfer merupakan hasil dari proses dekomposisi. Emisi CO_2 rizosfer dikurangkan dengan emisi CO_2 non rizosfer menghasilkan emisi CO_2 yang berasal dari respirasi akar (autotrof), asumsi ini beranggapan bahwa emisi dari proses dekomposisi di rizosfer sama dengan pada non rizosfer.

Parameter Pendukung

Parameter lain yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini adalah kematangan gambut, kedalaman gambut dan kedalaman muka air tanah. Identifikasi kematangan gambut di lapangan berdasarkan metode Von Post yaitu berupa data kualitatif (Andriese 1988). Kedalaman muka air tanah ditentukan dengan cara memasang *peizometer* terbuat dari PVC dengan panjang 2 m. *Peizometer* dimasukkan sampai kedalaman 1,7 meter dan sisanya 30 cm di atas permukaan tanah. *Peizometer* dipasang pada setiap titik pengamatan. Pengukuran kedalaman gambut dan penetapan kematangan gambut dilakukan satu kali yang dilakukan pada setiap titik pengamatan, sedangkan pengukuran kedalaman muka air tanah dilakukan sebulan sekali, pada waktu pengukuran sampel gas.

Analisis Data

Perbandingan emisi CO_2 di rizosfer dan non rizosfer menggunakan analisis perbandingan rata - rata dengan uji t , di mana di rizosfer dan non rizosfer masing-masing terdiri dari 30 data emisi CO_2 . Hubungan antara emisi CO_2 dengan kedalaman muka air tanah diuji dengan korelasi Pearson dan regresi linier sederhana.

Semua data yang diuji t , analisis varian, korelasi Pearson dan regresi linier sebelumnya dilakukan uji normalitas menggunakan metode deskriptif *boxplot*, uji

Kolomogorof-Smirnov, dan Shapiro-Wilk W agar memenuhi syarat statistik inferensia. Pengolahan data dilakukan dengan program SPSS 16.0 (Hartono 2008).

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Lahan di Lokasi Penelitian

Berdasarkan Soil Survey Staff (2010), tanah di lokasi penelitian masuk ke ordo *Histosols* atau dikenal dengan nama gambut. *Histosols* adalah tanah yang memiliki lapisan bahan organik setebal 60 cm, dan bobot isi lebih kecil dari $0,1 g cm^{-3}$, apabila pelapukan awal (fibrik). Pada lapisan bahan organik yang telah mengalami pelapukan tingkat pertengahan sampai lanjut (hemik sampai saprik), mempunyai ciri ketebalan lapisan bahan organik minimum 40 cm, bobot isi lebih dari $0,1 g cm^{-3}$. Dengan kandungan C-organik lebih atau sama dengan 20% (berdasarkan berat) jika tidak pernah mengalami jenuh air lama (<1 bulan), sedangkan jika mengalami jenuh air lama (>1 bulan) maka harus mengandung C-organik (tidak termasuk akar hidup) $\geq 18\%$ jika kadar liat lebih atau sama dengan 60%, C-organik $\geq 12\%$ jika kadar liat 0%, dan C-organik $\geq (0,1 \times \text{persen liat} + 12)$ jika kadar liat kurang dari 60%.

Bahan organik di lokasi penelitian memiliki tebal antara 50 sampai 90 cm. Menurut Wahyunto *et al.* (2004) ketebalan bahan organik 50-100 cm dikategorikan sebagai gambut dangkal. Kematangan gambut di lokasi penelitian beragam secara vertikal yaitu saprik dan hemik, tetapi secara horizontal gambut bagian permukaan memiliki kematangan saprik. Tanah gambut ini telah mengalami mineralisasi yang intensif, dan ditandai dengan penurunan fraksi bahan organik atau peningkatan kadar abu (Tabel 2). Menurut Andriese (1988), fraksi bahan organik pada gambut tropis lebih dari 65%, namun fraksi bahan organik pada gambut lokasi penelitian lebih rendah dari 65%. Hal ini tidak menyebabkan perubahan ordo *Histosols* menjadi tanah mineral bergambut karena kadar elemen C lebih tinggi dari 18% (Tabel 3) karena menurut Soil Survey Staff (1999, 2010, 2014), kadar elemen C minimum pada Ordo *Histosols* sebesar 12% apabila banyak mengandung liat atau telah terjadi mineralisasi yang intensif.

Pada lahan basah, nilai Eh dapat berkisar dari +750 mv sampai -200 mv (Niedermeier dan Robinson 2007). Nilai Eh di lokasi penelitian berkisar antara +428,50 mv sampai +475,00 mv. Nilai Eh $> +300$ mv menunjukkan lahan dalam kondisi oksidatif (Reddy dan DeLaune 2008). Nilai KB hasil penelitian ini $> 10\%$, berbeda dengan kebanyakan nilai KB pada lahan gambut pada umumnya kurang dari 10% (Tan 1991). Nilai C/N di lokasi penelitian lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Anshari *et al.* (2010)

pada lapisan aerobik (*acrotelm*) dari tutupan lahan hutan, sawit, HTI dan pertanian di Kalimantan Barat yaitu sebesar 30.

Berdasarkan uji t menunjukkan bahwa semua sifat fisik dan kimia yang diamati pada rizosfer tidak berbeda nyata terhadap sifat fisik dan kimia pada non rizosfer, jadi perbedaan besaran emisi CO₂ antara rizosfer dan non rizosfer bukan diakibatkan dari keragaman sifat fisik dan kimia tanah.

Emisi CO₂

Emisi CO₂ di sekitar rizosfer (R) rata-rata sebesar 0,93 g m⁻² hr⁻¹ dan emisi CO₂ di sekitar non rizosfer (NR) rata-rata sebesar 0,44 g m⁻² hr⁻¹, jadi emisi CO₂ yang berasal respirasi akar rata-rata sebesar 0,48±0,29 g m⁻² hr⁻¹, sedangkan dari proses dekomposisi gambut sebesar 0,44±0,15 g m⁻² hr⁻¹ (Tabel 4).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ pada rizosfer lebih besar dan berbeda sangat nyata ($p < 0,01$) dibandingkan non rizosfer berdasarkan uji t. Hal ini karena emisi CO₂ yang dihasilkan dari respirasi akar dan juga berasal dari mikroorganisme (Paterson 2003). Akar tanaman selain menyumbangkan CO₂ dari kegiatan

respirasinya, juga mengeluarkan eksudat berupa ion, enzim-enzim, karbohidrat serta asam amino (Bais *et al.* 2006) yang dapat meningkatkan aktivitas respirasi di rizosfer. Dengan meningkatnya jumlah populasi dan aktivitas mikroorganisme di rizosfer menyebabkan respirasi mikroorganisme meningkat dan produksi CO₂ di rizosfer lebih besar daripada di non rizosfer.

Emisi CO₂ di non rizosfer (heterotrof) sebesar 47% dibandingkan di rizosfer (autotrof dan heterotrof), hasil ini lebih kecil dibandingkan hasil penelitian sebelumnya seperti Agus *et al.* (2010) yang memperoleh hasil 62% dan hasil penelitian Dariah *et al.* (2014) sebesar 86%. Emisi dari respirasi akar (autotrof) berkontribusi sekitar 35-45% dari total emisi CO₂ pada lahan gambut boreal (Nykänen *et al.* 1995; Silvola *et al.* 1996). Penelitian Jauhiainen *et al.* (2012) menunjukkan bahwa lahan gambut yang ditanami akasia (*Acacia crassicarpa*) memiliki rata-rata respirasi autotrof 21% dari total emisi CO₂. Kontribusi respirasi autotrof pada penelitian ini 53 % dari total emisi CO₂ mempunyai emisi yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut, yang berkisar 46% (Melling *et al.* 2007), 36% (Murdiyarto *et al.* 2010) dan 29% (Hergoualc'h dan Verchot 2011).

Tabel 2. Sifat fisik tanah gambut (Histosols) pada zona Rizosfer dan Non Rizosfer

Table 2. Physical Properties of Peat (Histosols) in Rhizosphere and Non Rhizosphere zones

Perlakuan	Kadar Air		Bobot Isi		Bahan Organik		Kadar Abu	
	Rataan*	SD	Rataan*	SD	Rataan*	SD	Rataan*	SD
	(%)		(g cm ⁻³)		(%)		(%)	
R (n = 18)	281a	67	0,27a	0,06	61a	12	39a	12
NR (n = 18)	257a	65	0,28a	0,06	56a	12	44a	12

* Angka-angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji t 5%

Tabel 3 Sifat Kimia gambut di sekitar Rizosfer dan Non Rizosfer

Table 3. Chemical Properties of Peatland in Rhizosphere and Non Rhizosphere

Variabel	Rizosfer*		Non Rizosfer*	
	Kisaran/Rataan	SD	Kisaran/Rataan	SD
pH H ₂ O	3,74-4,18a		3,42-4,04a	
pH CaCl ₂	3,15-3,52a		2,96-3,35a	
Eh (mv)	447a	17	454a	14
C (%)	31a	9	28a	5
N (%)	1,1a	0,2	1,0a	0,1
C/N (%)	28a	3	27a	4
NO ₃ ⁻ (ppm)	1.764a	809	1.197a	752
NH ₄ ⁺ (ppm)	78a	50	73a	41
P Bray I (ppm)	32a	9	38a	13
KTK (me 100 g ⁻¹)	96a	11	83a	16
KB (%)	14a	4	12a	3

*Angka-angka pada baris yang sama yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji t 5%

Hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, emisi CO₂ di perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut dengan metode sungkup tertutup mempunyai kisaran emisi CO₂ 20-66 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ (Murayama dan Bakar 1996; Jauhiainen *et al.* 2001; Melling *et al.* 2005; Melling *et al.* 2007; Reijnders dan Huijbregts 2008; Fargione *et al.* 2008; Germer dan Sauerborn 2008; Wicke *et al.* 2011; Murdiyarso *et al.* 2010; Hergoualc'h dan Verchot 2011; Husnain *et al.* 2014). Berdasarkan data rata-rata emisi CO₂ dalam satu hari selama penelitian dilaksanakan, diperkirakan emisi CO₂ selama setahun. Pada rizosfer sebesar 80±20 ton ha⁻¹ tahun⁻¹, sedangkan di sekitar non rizosfer sebesar 38±13 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Hasil ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian Agus *et al.* (2010), di mana pada rizosfer berkisar 29-39 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ sedangkan pada non rizosfer berkisar 18-24 ton ha⁻¹ tahun⁻¹. Hasil penelitian Dariah *et*

al. (2014) pada lahan gambut yang ditanam kelapa sawit usia 6 tahun menghasilkan emisi CO₂ sebesar 44,7±11,2 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ di rizosfer lebih kecil dibandingkan hasil penelitian ini, sedangkan di non rizosfer sebesar 38,2±9,5 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ relatif sama dengan penelitian ini. Penelitian Hooijer *et al.* (2006) di sekitar non rizosfer memperoleh emisi CO₂ sebesar 54 ton ha⁻¹ tahun⁻¹.

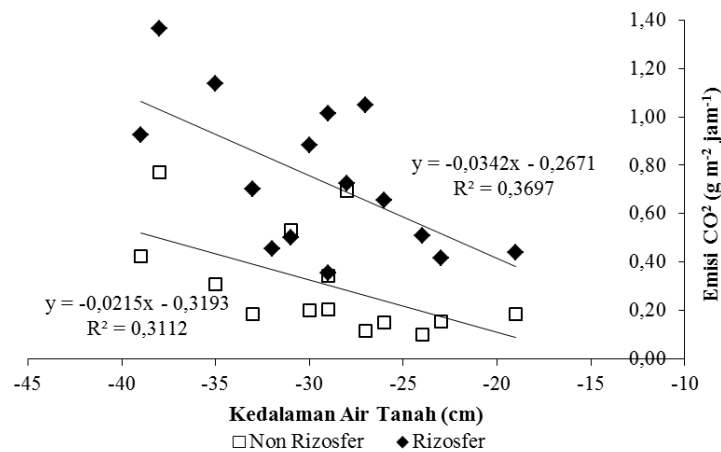
Hubungan Kedalaman Muka Air Tanah Terhadap Emisi CO₂

Kedalaman muka air tanah gambut memiliki hubungan positif yang nyata terhadap emisi CO₂ di rizosfer dan non rizosfer (Gambar 3). Pada rizosfer dengan r sebesar 0,600 (R² = 0,358) sedangkan pada non rizosfer sebesar 0,570 (R² = 0,319). Hasil hubungan ini setelah meng-*outlier* data emisi CO₂ bulan Pebuari titik pengamatan 3 pada non rizosfer yang sebesar 1,77 g m⁻² hr⁻¹, di mana emisi CO₂

Tabel 4. Emisi CO₂ dari Rizosfer dan Non Rizosfer
Table 4. CO₂ flux from Rhizosphere and Non Rhizosphere

Waktu Pengukuran	CO ₂			
	Rhizosfer*	Non Rhizosfer*	Respirasi Akar	Dekomposisi
			(g m ⁻² jam ⁻¹)	
27 Januari 2015 (n = 6)	1,27	0,34	0,93	0,34
28 Pebuari 2015 (n = 6)	0,68	0,53	0,15	0,53
29 Maret 2015 (n = 6)	0,81	0,25	0,56	0,25
28 April 2015 (n = 6)	1,07	0,64	0,43	0,64
28 Mei 2015 (n = 6)	0,81	0,46	0,35	0,46
Maks	1,27	0,64	0,93	0,64
Min	0,68	0,25	0,15	0,25
Rataan	0,93a	0,44b	0,48	0,44
SD	0,24	0,16	0,29	0,15

*Angka-angka rataan yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf uji t 5%



Gambar 3. Korelasi positif antara emisi CO₂ dengan muka air tanah

Figure 3. A positive correlation between CO₂ flux and ground water table level

tersebut tidak normal atau lebih tinggi dibandingkan data CO₂ lainnya. Semakin dalam muka air tanah maka nilai emisi CO₂ semakin besar, tetapi hanya 36% pada rizosfer dan 32% pada non rizosfer yang bisa menjelaskan hubungan ini. Hubungan yang nyata antara kedalaman muka air tanah dengan emisi CO₂ telah dilaporkan oleh Hooijer *et al.* (2009 dan 2012), sama seperti hasil ini yang diamati pada sekitar rizosfer dan non rizosfer memiliki hubungan yang nyata antara kedalaman muka air tanah dengan emisi CO₂. Sejalan pula dengan temuan Hirano *et al.* (2014) bahwa terdapat hubungan yang nyata antara muka air tanah dengan emisi CO₂ tanah. Setiap penurunan kedalaman muka air tanah 0,1 m akan meningkatkan emisi CO₂ sebesar 89 gC m⁻² tahun⁻¹ pada lahan gambut tropika di Palangkaraya, Kalimantan Tengah.

Kesimpulan

Karakteristik fisik dan kimia gambut pada perkebunan kelapa sawit di lokasi penelitian tidak berbeda nyata antara rizosfer dengan non rizosfer, sehingga karakteristik lahan tidak mempengaruhi emisi CO₂ rizosfer dan non rizosfer.

Emisi CO₂ terbesar terjadi di zona rizosfer dan berbeda sangat nyata ($p < 0,01$) dibandingkan dengan emisi non rizosfer. Rasio antara emisi heterotrof dengan total emisi (autotrof dan heterotrof) mencapai 0,47. Dengan kata lain, emisi CO₂ non rizosfer (heterotrof) diperkirakan sebesar 47%. Hubungan besaran emisi dengan kedalaman muka air tanah bersifat positif, baik emisi rizosfer maupun non rizosfer. Secara umum, emisi CO₂ meningkat dengan meningkatnya kedalaman muka air tanah. Pengaturan kedalaman muka air tanah sedangkalmungkin dan sesuai dengan pertumbuhan sistem perakaran tanaman kelapa sawit menjadi salah satu cara untuk menurunkan emisi CO₂ tanpa menurunkan produksi tanaman. Selain itu, pengukuran emisi CO₂ pada zona non rizosfer perlu dilakukan dengan frekuensi yang lebih sering, setidaknya per dua minggu, dan pengukuran waktu panjang sepanjang tahun. Data respirasi heterotrofik dari perkebunan kelapa sawit pada lahan gambut yang lebih akurat diperlukan untuk membuat model emisi CO₂.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada *Partnerships for Enhanced Engagement in Research* (PEER) Amerika Serikat, Grant No. NSF 1114161 yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga terhadap M. Nuriman, Randy Ade Candra dan Putri Juliandini yang telah membantu di lapangan dan laboratorium selama penelitian.

Daftar Pustaka

- Agus, F., E. Handayani, M.V. Noordwijk, K. Idris, dan S. Sabiham. 2010. Root respiration interferes with peat CO₂ emission measurement. Paper presented in 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1 – 6 August 2010. Brisbane-Australia.
- Andriess, J.P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. FAO Soils Bulletin No. 59, Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO Land and Water Development Division. Rome.
- Anshari, G., M. Afifudin, M. Nuriman, E. Gusmayanti, L. Arianie, R. Susana, R.W. Nusantara, J.S. Rahajoe, dan A. Rafiastanto. 2010. Drainage and land use impacts on changes in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Province, Indonesia. *Biogeosciences*. 7: 3403–419.
- Bais, H.P., T.L. Weir, L.G. Perry, S. Gilroy, dan J.M. Vivanco. 2006. The role of root exudates in rhizosphere interaction with plants and other organism. *Ann. Rev. Plant. Biol.* 57: 233-266.
- BAPPENAS (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional). 2014. Potret Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAD-GRK). Jakarta.
- Dariah, A., S. Marwanto, dan F. Agus. 2014. Root and peat-based CO₂ emissions from oil palm plantations. [Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change](#). 19: 831-843.
- DPDJP (Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan). 2013. Statistik Perkebunan 2013. DPDJP. Jakarta.
- Fargione, J., J.K. Hill, D. Tilman, S. Polasky, dan P. Hawthorne. 2008. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science in China Series C-Life Sciences* 319.
- Fauzi, Y., Y.E. Widyastuti, I. Satyawibawa, dan R. Hartono. 2006. Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Germer, J. dan J. Sauerborn. 2008. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environmental Development & Sustainability*.10: 697-716.
- Gunarso, P., M.E. Hartoyo, F. Agus, dan T.J. Killeen. 2013. Oil Palm And Land Use Change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. Reports From The Technical Panels Of The 2nd Greenhouse Gas Working Group Of The Roundtable On Sustainable Palm Oil (RSPO).
- Hanson, P.J., N.T. Edwards, C.T. Garten, dan J.A. Andrews. 2000. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*. 48: 115–146.
- Hartono. 2008. SPSS 16.0 Analisis Data Statistika dan Penelitian. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Heiri, O., F. Andre, Lotter, Gerry, dan Lemcke. 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*. 25. Netherlands.
- Hergoualc'h, K. dan L.V. Verchot. 2011. Stocks and fluxes of carbon associated with land use change in Southeast Asian tropical peatlands: A review. *Global Biogeochem.*

- Cy. 25: GB2001. doi:10.1029/2009GB003718.
- Hergoualc'h, K. dan L.V. Verchot. 2013. Greenhouse gas emission factors for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands. *Global Change Biology*. 19: 789-807.
- Hirano, T., K. Kusin, S. Suwido, dan M. Osaki. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology*. 20: 555-565. doi:10.1111/gcb.12296.
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Wosten, dan S. Page. 2006. PEAT-CO₂. Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Wageningen: Delft Hydraulics report Q3943.
- Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten, dan J. Jauhiainen. 2009. Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*. 6: 7207-7230.
- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W.A. Lee, X.X. Lu, A. Idris, dan G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands: reducing uncertainty and implications for CO₂ emission reduction options. *Biogeosciences*. 9: 1053-1071.
- Husnain, H., I.G.P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, dan F. Agus. 2014. CO₂ emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. [Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change](#). 19: 845-862.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1993. Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture. IAEA. Vienna.
- Jauhiainen, J., J. Heikkinen., P.J. Martikainen, dan H. Vasander. 2001. CO₂ and CH₄ fluxes in pristine and peat soil converted to agriculture in Central Kalimantan, Indonesia. *International Peat Journal*. 11: 43-49.
- Jauhiainen, J., A. Hooijer, dan S. E. Page. 2012. Carbon dioxide emissions from an Acacia plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences*. 9: 617-630.
- Marwanto, S., S. Sabiham, U. Sudadi, dan F. Agus. 2013. Pengaruh kerapatan akar, pupuk, dan kedalaman muka air tanah terhadap emisi CO₂ dari tanah gambut pada perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 37 (1).
- Melling, L., R. Hatano, dan K.J. Goh. 2005. Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peat soil of Sarawak, Malaysia. *Tellus B*. 57: 1-11.
- Melling, L., G.J. Goh, C. Beauvais, dan R. Hatano. 2007. Carbon flow and budget in a young mature oil palm agroecosystem on deep tropical peat, *Dalam* Rieley, J.O., C.J. Banks, dan B. Radjagukguk (eds.). Carbon-climate-human interaction on tropical peatland. Proceedings of The International Symposium and Workshop on Tropical Peatland, Yogyakarta, 27-29 August 2007. EU CARBOPEAT and RESTORPEAT Partnership. 2007. Gajah Mada University, Indonesia and University of Leicester. United Kingdom. 153-157.
- Murdiyarsa, D., K. Hergoualc'h, dan L.V. Verchot. 2010. Opportunities for reducing greenhouse gas emissions in tropical peatlands. *PNAS*. 107: 19655-19660.
- Murayama, S. dan Z.A Bakar. 1996. Decomposition of tropical peat soils. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 30: 153-158.
- Niedermeier, A. dan J.S. Robinson. 2007. Hydrological controls on soil redox dynamics in a peat-based, restored wetland. *Geoderma*. 137 : 318-326.
- Nykänen, H., J. Alm, K. Lang, J. Silvola, dan P.J. Martikainen. 1995. Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from virgin fen and afen drained for grassland in Finland. *J. Biogeogr.* 22: 351-357.
- Paterson, E. 2003. Importance of rhizodeposition in the coupling of plant and microbial productivity. *European Journal of Soil Science*. 54: 741-750.
- PP Systems. 2011. SRC-1/CPY-2/CPY-4 Closed System Chambers For Use With All EGM's (1/2/3/4) and CIRAS-1 Operator's Manual Version 3.33. PP Systems. Amesbury (US).
- Reddy, K.R. dan R.D. DeLaune. 2008. *The Biogeochemistry of Wetlands; Science and Applications*. CRC Press. New York. USA. 779p.
- Rehman, S.A.R., U. Sudadi, S. Anwar, dan S. Sabiham. 2015. Land use changes and above-ground biomass estimation in peatlands of Riau and West Kalimantan, Indonesia. *J.ISSAAS*. 21 (1): 123-136.
- Reijnders, L. dan M.A.J. Huijbregts. 2008. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*. 16: 477-482.
- Sano, T., T. Hirano, R. Liang, dan Y. Fujinuma. 2010. Carbon dioxide exchange of a larch forest after a typhoon disturbance. *Forest Ecology and Management*. 260 (12): 2214-2223.
- Silvola, J., J. Alm, U. Ahlholm, H. Nykänen, dan P.J. Martikainen. 1996. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. *J. Ecol.* 84: 219-228.
- Soil Survey Staff. 1999. *Kunci Taksonomi Tanah*. Edisi Kedua Bahasa Indonesia. Diterjemahkan oleh Tim Alih Bahasa Kunci Taksonomi Tanah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. Eleventh Edition. Washington (US): USDA, NRCS.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. Twelfth Edition. Washington (US): USDA, NRCS.
- Tan, K.H. 1991. *Dasar-Dasar Kimia Tanah*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Tian, D., G. Wang, Y. Peng, W. Yan, X. Fang, F. Zhu, dan X. Chen. 2011. Contribution of autotrophic and heterotrophic respiration to Soil CO₂ efflux in Chinese fir plantations. *Australian Journal of Botany*. 59: 26-31.
- Wahyunto, S. Ritung, dan H. Subagjo. 2004. *Peta Sebaran Lahan Gambut. Luas dan Kandungan Karbon di Kalimantan/Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan*. 2000-2002. Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wicke, B., R. Sikkema, V. Dornburg, dan A. Faaij. 2011. Exploring land use changes and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia. *Land Use Policy*. 28: 193-206.