

Pengaruh Kerapatan Akar, Pupuk, dan Kedalaman Muka Air Tanah terhadap Emisi CO₂ dari Tanah Gambut pada Perkebunan Kelapa Sawit

The Influence of Root Density, Fertilizer, and Water Table Depth in CO₂ Emission from Peat under Oil Palm Plantation

¹Setiari Marwanto*, ²Supiandi Sabiham, ²Untung Sudadi, dan ¹Fahmuddin Agus

¹ Peneliti Badan Litbang Pertanian pada Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12 Bogor 16114

² Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 10 Mei 2013

Disetujui: 14 Juni 2013

Kata kunci:

Kerapatan akar

Pupuk

Kedalaman muka air tanah

Emisi CO₂

Perkebunan kelapa sawit

Lahan gambut

Keywords:

Root density

Fertilizer

Water table depth

CO₂ emissions

Oil palm plantation

Peatland

Abstrak. Emisi gas karbondioksida (CO₂) dari tanah gambut di perkebunan kelapa sawit berasal dari respirasi mikroba (heterotrofik) dan dari respirasi yang berhubungan dengan aktivitas akar tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kombinasi pengaruh kerapatan akar, pupuk, dan variasi kedalaman muka air tanah terhadap emisi CO₂ pada perkebunan kelapa sawit. Penelitian dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit umur 15 tahun di Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi pada bulan Januari 2012. Emisi CO₂ diukur secara langsung dengan cara menempatkan sungkup gas pada beberapa jarak tertentu dari batang kelapa sawit. Contoh tanah diambil untuk keperluan analisis kimia dan kerapatan akar. Pengukuran kedalaman muka air tanah dilakukan pada saat pengukuran emisi CO₂ dilangsungkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ total memiliki korelasi linear terhadap kerapatan akar halus ($R^2 \geq 0,9$), pH dan konsentrasi hara makro ($R^2 \geq 0,7$) kecuali unsur N, dan kedalaman muka air tanah ($R^2=0,9$). Dari ketiga variabel ini, kedalaman muka air tanah dan konsentrasi hara makro merupakan variabel yang berhubungan erat dengan respirasi heterotrofik. Untuk itu pengaturan kedalaman muka air tanah seminimal mungkin dan peningkatan efisiensi pemupukan diharapkan dapat menurunkan emisi dari respirasi heterotrofik tanpa mengorbankan hasil tanaman.

Abstract. Carbon dioxide (CO₂) emissions from peat soils under oil palm plantations are generated by microbial (heterotrophic) respiration and root-related activities and root respiration. This research aimed to study the influence of root density, fertilizer, and water table depth on CO₂ emissions at oil palm plantation. Field research was conducted in peat land under 15-year old oil palm plantation in Muaro Jambi District, Jambi Province in January 2012. The CO₂ emission was measured directly by placing gas chambers at several distances from the centre of oil palm trunk. Peat samples were carried out for both soil chemical and roots density analyses, while water table depth for each chamber were measured during CO₂ measurements. Research result showed that CO₂ emission was linearly correlated with fine root density ($R^2 \geq 0.9$), soil pH and macro nutrient concentration ($R^2 \geq 0.7$) except for N, and water table depth ($R^2=0.9$). From these three factors, it seems that water table depth and macro nutrient concentration mostly influence heterotrophic respiration. Therefore, keeping water table as shallow as possible and increasing nutrient efficiency would reduce CO₂ emission without sacrificing crop yield.

Pendahuluan

Gas CO₂ dari lahan gambut berasal dari proses respirasi heterotrofik yang dikendalikan oleh mikroba dan respirasi autotrofik yang merupakan respirasi akar. Respirasi heterotrofik berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, sedangkan respirasi autotrofik sebagian besar dinetralkan melalui proses fotosintesis yang menyerap CO₂ dari atmosfer.

Beberapa peneliti telah berusaha memisahkan antara respirasi heterotrofik dan autotrofik untuk mengetahui kontribusi dari masing-masing variabel tersebut meskipun belum mendapatkan hasil yang dapat disepakati karena asumsi dan metodologi yang masih terus berkembang (Agus *et al.* 2010, Murdiyarso *et al.* 2010, Wang *et al.* 2005).

Berbagai penelitian mengenai kontribusi perakaran tanaman terhadap emisi CO₂ total pada berbagai jenis tanah dan sistem penggunaan lahan tersebut menghasilkan nilai yang lebar yaitu antara 30 hingga 93% (Agus *et al.* 2010, Xu *et al.* 2001, Ryan *et al.* 1997, Laudelout and

* Corresponding author : Setiari Marwanto, email : setiari_mr@yahoo.com

Thierron 1996, Bowden *et al.* 1993, Nakane *et al.* 1983). Rentang nilai yang lebar tersebut tidak terlepas dari jenis dan karakteristik lahan, iklim, serta jenis penggunaan lahan yang berbeda. Hutan tropis yang lebat di tanah mineral akan memiliki jumlah perakaran yang banyak dan memiliki potensi menghasilkan gas CO₂ yang lebih besar dibandingkan dengan lahan kering dengan tanaman budidaya semusim. Vogt *et al.* (1996) melaporkan bahwa perakaran memiliki kontribusi 50% dari total siklus karbon tahunan di hutan.

Pertumbuhan biomassa akar merupakan sumber C-organik tanah melalui mekanisme rhizodeposition (Rønn *et al.* 2003). Bahan organik yang dilepaskan dari mekanisme rhizodeposition dapat berupa eksudat, sekresi, mucilage, mucigel, dan lysate. Bahan yang mengandung polisakarida ini akan menjadi sumber makanan bagi mikroba yang selanjutnya akan memproduksi gas CO₂. Akar juga menjadi sumber C-organik dari kehilangan jaringan fungsional akar serta proses dekomposisi saat akar tersebut mati (Keith *et al.* 1986; van Noordwijk *et al.* 1994).

Jumlah, ukuran, dan volume akar tanaman kelapa sawit sangat terkait dengan jarak perakaran tersebut dari batang tanaman (Harahap, 1999). Akibat respirasi autotrofik dan heterotrofik yang sangat terkait dengan akar, maka gas CO₂ yang teremis pada daerah perakaran juga akan terpengaruh oleh jarak dari batang tanaman. Penelitian pada tanaman akasia juga menyebutkan bahwa zona yang mengemis CO₂ terbesar adalah zona terdekat dengan batang tanaman (Jauhiainen *et al.* 2012).

Beberapa peneliti juga telah berusaha menghubungkan emisi dari lahan gambut dengan beberapa variabel lingkungan yang mudah diamati seperti tinggi muka air tanah, suhu, dan subsidensi (Couwenberg and Hooijer, 2012; Berglund *et al.* 2010, Vien *et al.* 2010, Hooijer *et al.* 2009, Dinsmore *et al.* 2009, Dirks *et al.* 2000, Wösten *et al.* 1997). Kedalaman muka air tanah merupakan variabel yang banyak dijadikan rujukan dalam perhitungan emisi karena kemudahan dalam pengamatan dan pengaruhnya yang besar terhadap potensial redoks tanah. Kedalaman muka air tanah akan menentukan volume pori udara pada gambut sehingga pada saat muka air tanah turun menyebabkan volume pori udara meningkat. Kondisi aerobik sangat diperlukan bagi aktivitas biota dan perakaran serta proses oksidasi oleh mikroba tanah (Blodau and Moore, 2002; Jauhiainen *et al.* 2005). Hubungan penurunan muka air tanah dengan emisi CO₂ bukan hubungan yang kontinyu. Hanya pada kedalaman tertentu dan pada waktu tertentu saja penurunan muka air tersebut mengakibatkan emisi CO₂. Penelitian di lahan rawa yang berdrainase menyebutkan bahwa penurunan muka air tanah hingga kedalaman 30-40 cm akan meningkatkan fluks CO₂, sedangkan variasi kedalaman

muka air tanah di bawah 40 cm dari permukaan tanah tidak saling berbeda secara nyata (Silvola *et al.* 1996). Penelitian pada contoh bahan gambut dangkal di Vietnam menyimpulkan bahwa fluks CO₂ dari oksidasi gambut menurun seiring dengan peningkatan kandungan airnya hingga batas tertentu (Vien *et al.* 2010). Penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa pada musim kemarau, fluks CO₂ lebih disebabkan oleh respirasi akar dibandingkan dengan oksidasi gambut.

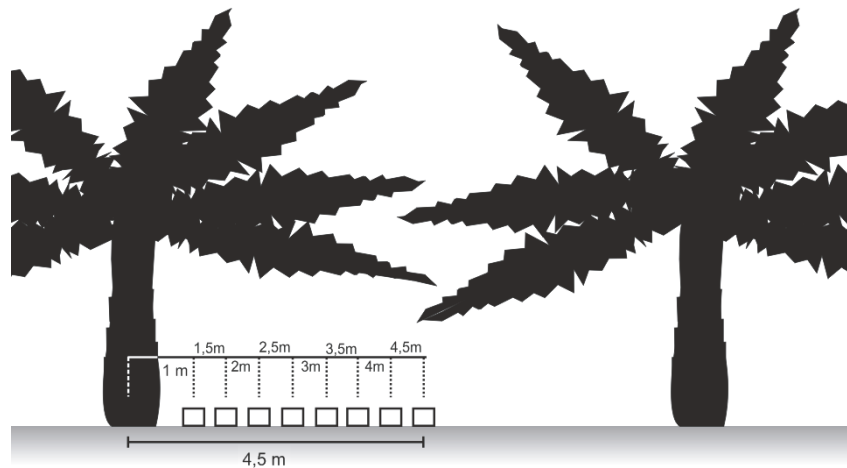
Beberapa unsur hara seperti N, P, Mg, Fe, Co, Ni, dan Mn sangat dibutuhkan oleh mikroba dalam mendekomposisi gambut (Yavitt *et al.* 2004). Semakin banyak kandungan hara di dalam tanah gambut maka jumlah, keragaman, dan aktivitas mikroba juga akan semakin besar dan kemungkinan gambut juga akan terdekomposisi dengan lebih cepat. Hal ini mempengaruhi asumsi bahwa pemupukan di lahan gambut dapat meningkatkan emisi CO₂. Proses mineralisasi yang dapat meningkatkan pelepasan gas CO₂ juga dilaporkan oleh Grønlund *et al.* (2008). Meskipun penelitian tersebut dilakukan di daerah kutub (*boreal*), tetapi proses yang terjadi dapat menjadi acuan bagi gambut tropis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh kerapatan akar, pupuk, dan variasi kedalaman muka air tanah terhadap emisi CO₂ dari lahan gambut yang ditanami kelapa sawit. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menunjukkan variabel mana yang signifikan meningkatkan emisi CO₂ dan apa opsi teknologi yang mungkin dikembangkan untuk menurunkan emisi CO₂.

Bahan dan Metode

Lokasi penelitian merupakan lahan gambut yang dikelola sebagai perkebunan sawit rakyat mulai tahun 1996; terletak di Desa Sumber Agung, Kecamatan Sungai Gelam, Kabupaten Muaro Jambi, pada koordinat 10 43' 0,7" LS 103 52' 56,7" BT. Penelitian lapangan dilaksanakan pada bulan Januari 2012. Lokasi merupakan blok kebun (*planting block*) dan dibatasi oleh saluran drainase dimana satu blok kebun berukuran 200 x 1.000 m.

Penelitian ini menggunakan tiga transek dimana masing-masing transek memiliki tiga pohon pengamatan dengan jarak rata-rata dari saluran drainase adalah 12 m (P1), 54 m (P2), dan 99 m (P3) sehingga jumlah pohon pengamatan adalah 9 pohon. Pengukuran emisi CO₂ menggunakan IRGA (*Infra Red Gas Analyzer*) tipe LI-820. Sungkup terbuat dari paralon berdiameter 25,5 cm dengan tinggi 25 cm, dipasang pada jarak 1 m, 1,5 m, 2 m, 2,5 m, 3 m, 3,5 m, 4 m, dan 4,5 m dari pusat batang kelapa sawit. Jumlah keseluruhan titik pengamatan adalah 72 titik. Perhitungan emisi CO₂ mengikuti formula penentuan fluks CO₂ dari Madsen *et al.* (2009). Identifikasi



Gambar 1. Penempatan sungkup dengan berbagai jarak dari tengah batang kelapa sawit
 Figure 1. Placement of gas chambers at different distances from center of oil palm trunk

karakteristik gambut meliputi ketebalan, kematangan, kandungan karbon (C), dan BD (*bulk density*/berat isi) gambut. Penentuan kandungan C dan kadar abu gambut dilakukan dengan metode Loss on Ignition/LOI.

Kerapatan akar dan konsentrasi hara dianalisis dari contoh tanah menggunakan bor akar dan bor gambut dengan volume masing-masing 500 cm³. Pengambilan contoh dilakukan pada dua kedalaman yaitu 0-15 dan 15-30 cm. Contoh gambut dari bor akar dicuci dengan air dan selanjutnya akar dipisahkan dari gambut berdasarkan kenampakan visual dengan bantuan alat penyaring dan pinset. Setelah akar terkumpul, dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu 70 °C selama 48 jam hingga mencapai berat konstan. Jaringan akar yang telah kering oven tersebut dipisahkan lagi berdasarkan diameter akar fungsional sebagai berikut: a) Ø>5 mm (akar primer), b) Ø 2,5 - 5 mm (akar sekunder), c) Ø 0,5-2,5 mm (akar tersier), dan d) Ø <0,5 mm (akar kuartar). Setelah dipisahkan, akar dalam keadaan kering oven tersebut selanjutnya ditimbang.

Analisis sifat kimia yang dilakukan meliputi analisis pH H₂O dan unsur hara makro yang meliputi total unsur N, P, K, Ca, dan Mg. Sebelum dianalisis, contoh gambut komposit terlebih dahulu dikering-anginkan dan disaring hingga lolos ayak ukuran 2 mm. Analisis tanah dilaksanakan di laboratorium Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Kedalaman muka air tanah ditentukan dengan cara membuat lubang hingga mencapai kedalaman muka air tanah menggunakan tongkat besi. Pembuatan lubang dilakukan pada jarak sekitar 20 cm di samping sungkup pada setiap titik pengukuran emisi CO₂. Pengukuran dilakukan dengan cara memasukkan meteran tongkat. Perhitungan kedalaman muka air dimulai dari pusat

tongkat pengukur yang dimasukkan dalam lubang hingga batas basah akibat tercelup air gambut. Data kedalaman muka air tanah dikoreksi dengan elevasi permukaan tanah dengan menggunakan metoda selang air (*waterpass*).

Matriks korelasi (Uji Pearson) digunakan untuk menganalisis hubungan jarak titik pengamatan dan distribusi perakaran terhadap emisi CO₂. Data yang saling berhubungan dan berbeda nyata pada taraf p < 5% selanjutnya dianalisis menggunakan regresi linear sederhana. Pengolahan data dilakukan dengan program MS Excel.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik lokasi penelitian

Ketebalan gambut di lokasi penelitian cukup bervariasi dengan rata-rata 575 ± 66 cm. Gambut di bagian permukaan memiliki tingkat kematangan dominan saprik (matang lanjut). Gambut di bagian tengah memiliki tingkat kematangan yang bervariasi meskipun didominasi oleh tingkat kematangan fibrik. Gambut di lapisan paling bawah di dekat lapisan mineral memiliki tingkat kematangan saprik. Tanah gambut dekat lapisan mineral memiliki kandungan mineral yang tinggi akibat tercampurnya kedua bahan tersebut. Rata-rata kandungan karbon (C) gambut yang dihitung dari permukaan tanah hingga lapisan substratum sebesar 77 ± 21 kg C m⁻³. Nilai ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian Page *et al.* (2002) yang memperkirakan kandungan C di Asia Tenggara rata-rata sebesar 60 kg C m⁻³. Perbedaan hasil tersebut diakibatkan oleh skala pengamatan yang berbeda.

Dari data BD yang diambil mulai dari lapisan permukaan hingga lapisan mineral dapat diketahui bahwa pada kedalaman 0-50 cm muncul pola yang seragam

dimana pada lapisan gambut permukaan (0-15 cm) memiliki rata-rata BD tertinggi (0,18 g cm⁻³) dan kemudian menurun secara berangsur pada lapisan 15-30 cm dan 30-50 cm sebesar 0,13 g cm⁻³ dan 0,12 g cm⁻³. Hal ini menunjukkan bahwa pada lapisan permukaan telah terjadi pemadatan yang dapat diakibatkan oleh perubahan kandungan air. Pada kedalaman > 200 cm, BD relatif lebih kecil dibandingkan dengan lapisan gambut permukaan. BD pada lapisan terbawah yang berbatasan dengan lapisan tanah mineral sudah mengalami pencampuran sehingga menyebabkan nilai BD tinggi. Lapisan permukaan tanah gambut (0-15 cm) dan pada lapisan 100-200 memiliki kadar abu yang tinggi (>3%) dan selanjutnya menurun dengan nilai yang bervariasi.

Emisi CO₂ di daerah perakaran

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai emisi tertinggi (138±73 t CO₂ ha⁻¹ th⁻¹) berada pada jarak terdekat (1 m) dari pusat batang kelapa sawit dan menurun mengikuti pola logaritmik hingga nilai terendah (31±12 t CO₂ ha⁻¹ th⁻¹) pada titik terjauh (4,5 m) dari pusat batang. Dari titik 1 m hingga 3 m terjadi penurunan sangat nyata yang menunjukkan pengaruh variabel lingkungan yang tinggi seperti variabel akar, kedalaman muka air tanah dan pemupukan. Pengaruh variabel tersebut menjadi sangat berkurang pada titik 3 m hingga 4,5 m dari pusat batang kelapa sawit. Pola emisi CO₂ terhadap jarak tanaman juga dilaporkan oleh Jauhiainen *et al.* (2012) di perkebunan akasia yang menghasilkan kesimpulan bahwa emisi CO₂ yang tinggi terjadi pada jarak terdekat dari pusat batang akasia.

Pengaruh kerapatan akar terhadap emisi CO₂

Kerapatan akar kuarter (Ø <0,5 mm) pada kedalaman 0-15 cm hingga radius 4,5 m dari pusat batang berkisar antara 0,19-1,87 g dm⁻³. Semakin jauh dari batang kelapa sawit kerapatan akar kuarter semakin berkurang. Akar

tersier (Ø 0,5-2,5 cm) juga mengikuti pola seperti pada akar kuarter. Kerapatan akar tersier lebih rendah dibandingkan akar kuarter yaitu antara 0,06-1,49 g dm⁻³ di dalam radius 4,5 m. Kerapatan akar sekunder (Ø 2,5-5,0 cm) di dalam radius 4,5 m berkisar antara 0,06-0,65 g dm⁻³. Akar sekunder pada kedalaman 0-15 cm hanya dijumpai dalam jumlah sedikit dan tidak menunjukkan pola yang jelas terhadap jarak titik pengamatan dari pusat batang kelapa sawit. Akar primer (Ø > 5,0 cm) sama sekali tidak dijumpai pada lapisan permukaan ini.

Pertumbuhan akar pada kedalaman 15-30 cm memiliki pola yang hampir sama dengan akar pada kedalaman 0-15 cm dimana kerapatan tertinggi pada daerah perakaran terdekat dari pusat pohon dan menurun linear dengan bertambahnya jarak. Kondisi ini kemungkinan disebabkan karena pertumbuhan akar tersier dan kuarter pada lapisan ini jauh lebih konsisten dibandingkan pada lapisan atas dan kurangnya interaksi akar dengan variabel lingkungan di atas permukaan tanah. Pada akar sekunder, akar hanya dijumpai pada jarak 1 m (0,10 g dm⁻³), 2 m (0,41 g dm⁻³), dan 2,5 m (0,114 g dm⁻³) dari pusat batang sawit. Sedangkan akar primer (Ø > 5,0 cm) pada lapisan permukaan ini hanya dijumpai di titik terjauh (4,5 m).

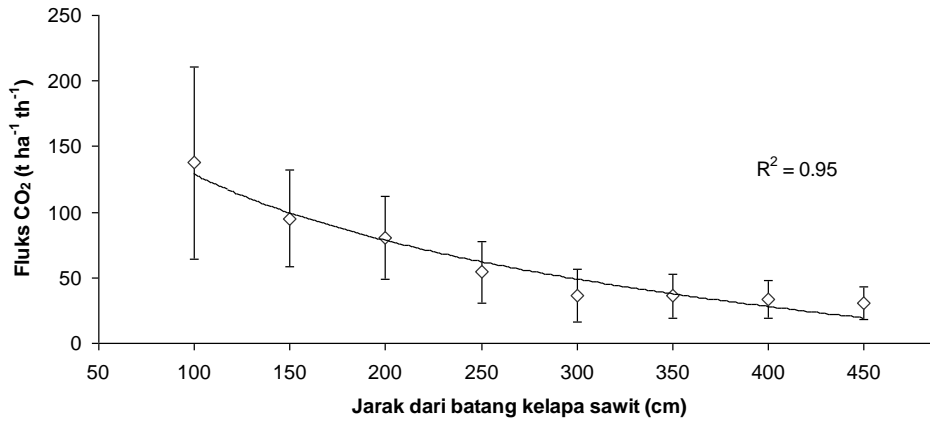
Gambar 3 merupakan hasil rata-rata dari kerapatan akar kedalaman 0-15 dan 15-30 cm. Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa kerapatan akar tersier dan kuarter pada kedalaman 0-30 cm sangat berhubungan dengan jarak dari batang kelapa sawit. Sementara akar yang memiliki diameter lebih besar tidak menunjukkan hubungan yang nyata. Pola kerapatan akar ini sama dengan pola emisi CO₂ yang diukur pada titik yang sama yang mencerminkan hubungan yang kuat antara aktivitas akar tersier dan kuarter dengan emisi CO₂ yang terjadi.

Tabel 1. Profil BD, kandungan C, kerapatan C, dan kandungan abu gambut di lokasi penelitian

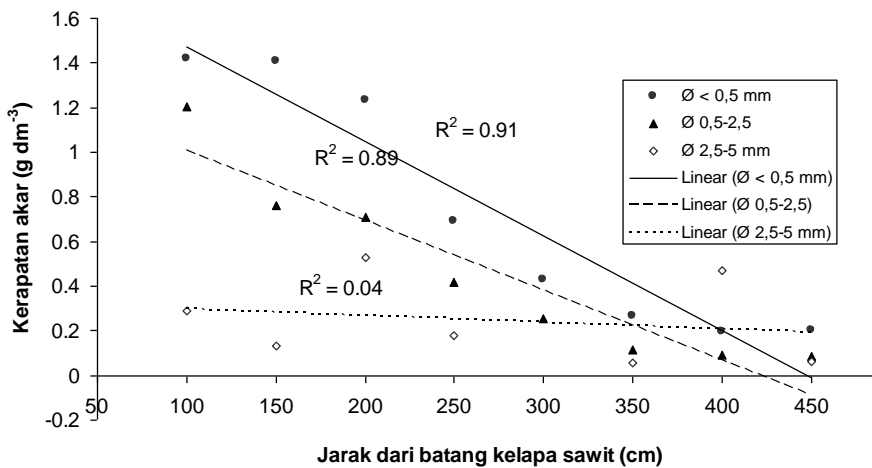
Table 1. Profile of BD, C content, C density, and ash content of peat at research location

Kedalaman cm	BD g cm ⁻³	Kandungan C %	Kerapatan C g cm ⁻³	Kandungan abu %
0-15	0,18 ± 0,04	49,47 ± 1,95	0,09 ± 0,02	3,83 ± 1,62
15-30	0,13 ± 0,03	50,48 ± 1,80	0,06 ± 0,02	2,00 ± 0,68
30-50	0,12 ± 0,03	50,53 ± 1,88	0,06 ± 0,02	2,14 ± 1,20
50-100	0,15 ± 0,04	50,42 ± 0,78	0,07 ± 0,02	1,90 ± 0,99
100-200	0,17 ± 0,05	50,96 ± 1,04	0,09 ± 0,02	3,16 ± 2,01
200-300	0,14 ± 0,03	51,28 ± 0,58	0,07 ± 0,01	1,25 ± 0,48
300-400	0,13 ± 0,03	51,17 ± 0,78	0,07 ± 0,02	1,29 ± 0,46
400-500	0,15 ± 0,03	49,88 ± 2,61	0,08 ± 0,01	4,01 ± 4,10
>500	0,29 ± 0,27	39,61 ± 10,30	0,09 ± 0,02	13,20 ± 9,67

Keterangan: nilai merupakan rata-rata ± standar deviasi.



Gambar 2. Emisi CO₂ dari berbagai jarak titik pengamatan dari pusat batang kelapa sawit (n=76 untuk setiap titik pengamatan). Garis tegak menunjukkan standar deviasi
 Figure 2. CO₂ flux from several observation points from the center of oil palm trunk (n=76 for each measurement point). Bars showed standard deviation



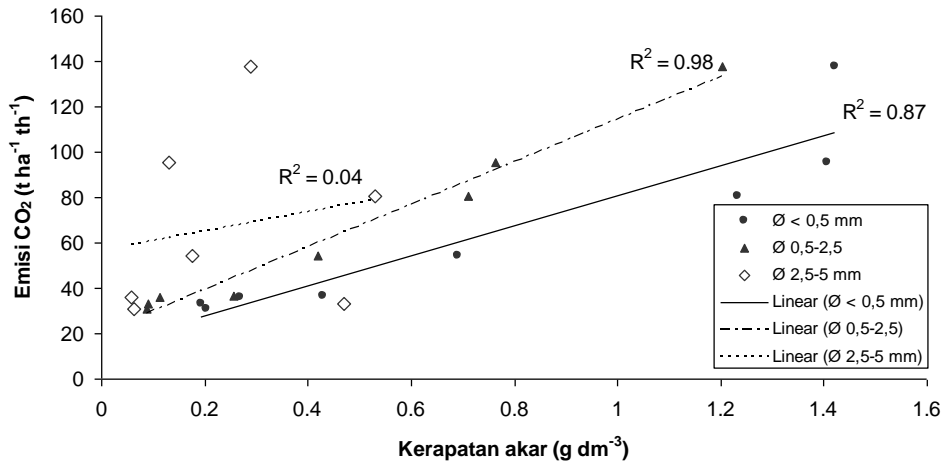
Gambar 3. Kerapatan akar pada kedalaman 0-30 cm (n=9 untuk setiap titik dan setiap kelas diameter akar) pada berbagai jarak dari pusat batang kelapa sawit
 Figure 3. Root density at 0-30 depth (n=9 for each observation point and each diameter class) on several distances from the center of oil palm trunk

Berdasarkan analisis regresi sederhana (Gambar 4), diketahui adanya hubungan nyata antara kerapatan akar dengan emisi CO₂ pada lapisan 0-30 cm dengan R² = 0,98 untuk akar tersier (Ø 0,5-2,5 cm) dan R² = 0,87 untuk akar kuarter (Ø < 0,5 cm). Akar dengan diameter yang lebih besar tidak menunjukkan hubungan dengan emisi CO₂.

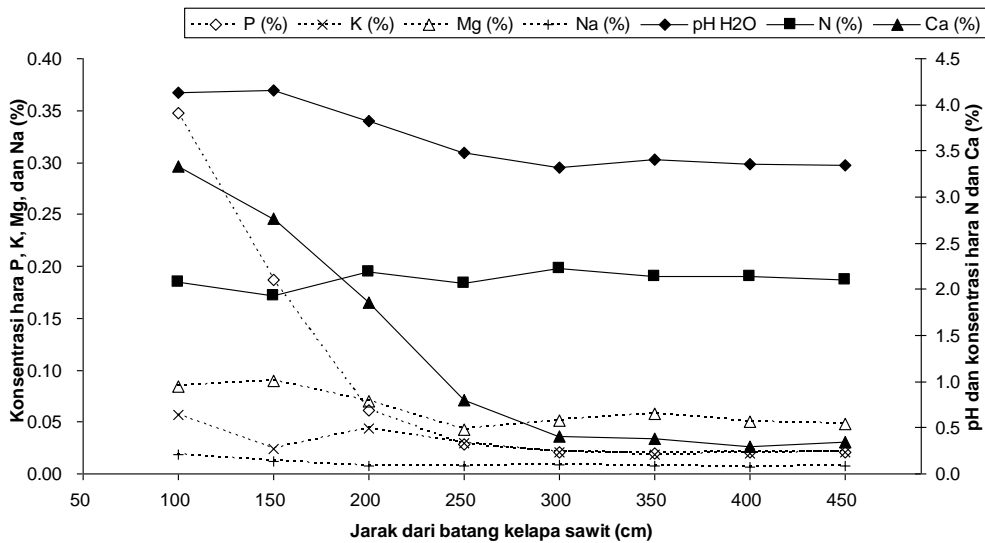
Pengaruh sifat kimia tanah terhadap emisi CO₂

Seluruh contoh tanah (n=72) pada kedalaman 0-30 cm menunjukkan pH dan konsentrasi hara makro yang rendah.

Hal ini dapat dipahami karena sifat asli gambut yang memang miskin hara sehingga diperlukan penambahan amelioran dan pemupukan (Agus dan Subiksa 2008). Kebun sawit ini sudah dipupuk dua bulan sebelum pengambilan contoh tanah. pH dan kandungan hara makro total (Ca, P, Mg, dan Na) menunjukkan pola logaritmik terhadap jarak dari batang (Gambar 5). Urutan koefisien regresi dari yang terbesar adalah Ca (R² = 0,83), disusul oleh kandungan pH (R² = 0,80), P (R² = 0,63), Mg (R² = 0,63), Na (R² = 0,61), dan terakhir adalah K (R² = 0,56). Konsentrasi N total tidak terpengaruh oleh jarak dari batang kelapa sawit (R² = 0,15).



Gambar 4. Hubungan emisi CO₂ dan kerapatan akar pada kedalaman 0-30 cm
 Figure 4. Relationship between CO₂ emission and root density at 0-30 cm depth



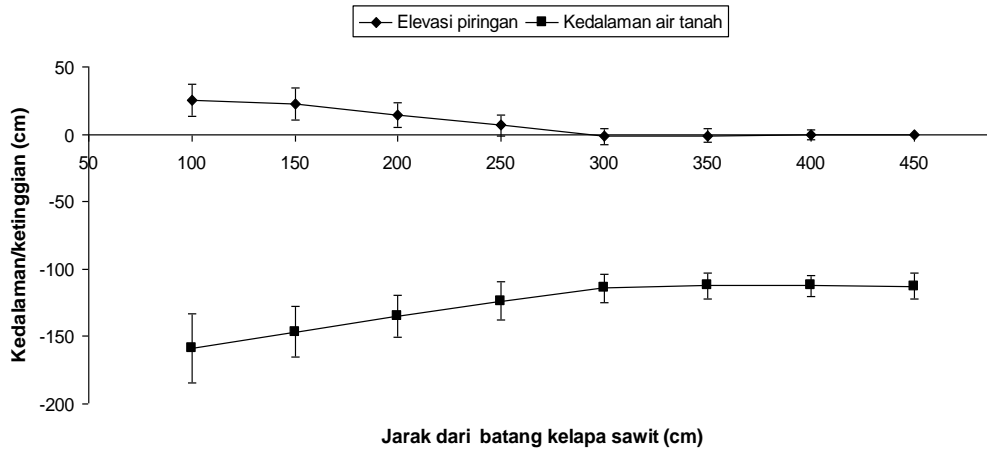
Gambar 5. pH dan konsentrasi hara pada kedalaman 0-30 cm sebagai fungsi jarak dari pusat batang kelapa sawit (n=9 untuk setiap titik dan sifat kimia gambut)

Figure 5. pH and nutrient concentration at 0-30 depth as a function of from the center of oil palm trunk (n=9 for each observation point and each soil chemical property)

Kebiasaan petani di lokasi penelitian adalah memberikan secara rutin dolomit seminggu sebelum pemupukan dengan dosis 1,1 kg/pohon setiap 3 bulan sekali. Pemberian dolomit dan pupuk dilakukan petani dengan cara ditebar merata di dalam piringan kelapa sawit dengan radius 2 m dari batang kelapa sawit.

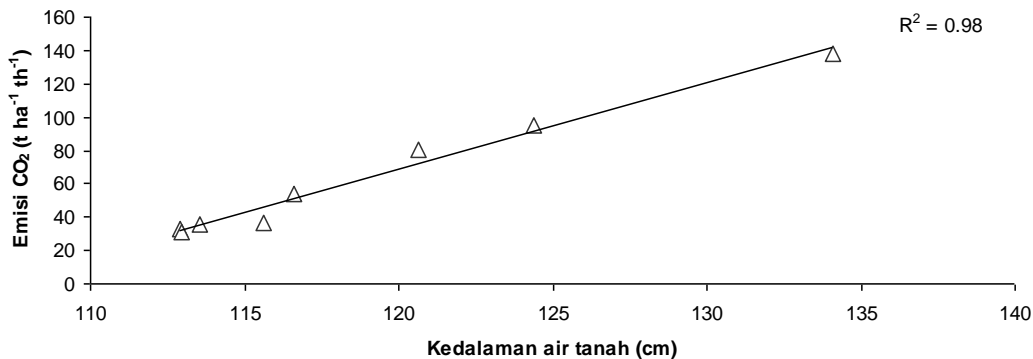
pH dan konsentrasi hara lebih tinggi pada jarak yang terdekat dengan batang, kemudian menurun secara gradual seiring dengan jauhnya jarak dari batang kelapa sawit. Pola pH tersebut kemungkinan sangat berkaitan dengan pengaruh dari konsentrasi dari Ca dan Mg yang memiliki pola sama. P total juga menunjukkan sebaran serupa

dengan Ca, Mg, dan K total. Mikrotopografi piringan kelapa sawit yang berbentuk cembung menghasilkan kelerengan yang mampu meningkatkan energi aliran air dalam mengangkut unsur P ke tempat yang lebih rendah. Dari tepi batang hingga jarak 100 cm dari pusat batang kelapa sawit memiliki kelerengan lebih rendah sehingga konsentrasi hara masih lebih tinggi dibandingkan dengan jarak 100-200 cm dari pusat batang kelapa sawit. Faktor kelerengan ini mungkin lebih dominan dalam mempengaruhi distribusi hara dibandingkan dengan sifat porositas dan laju infiltrasi gambut yang juga tinggi sehingga menyebabkan pupuk yang diberikan rentan



Gambar 7. Elevasi permukaan tanah ($n=9$ untuk setiap titik pengamatan) dan kedalaman muka air tanah ($n=76$ untuk setiap titik pengamatan) terhadap beberapa jarak dari pusat batang kelapa sawit. Garis tegak menunjukkan standar deviasi

Figure 7. Peat surface elevation ($n=9$ for each measurement point) and water table depth ($n=76$ for each measurement point) at several distances from the center of oil palm trunk. Bars showed standard deviation



Gambar 8. Hubungan kedalaman muka air tanah terhadap emisi CO₂

Figure 8. Relationship between water table depth and CO₂ flux

Hubungan kuat antara kedalaman muka air tanah dengan emisi CO₂ telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Dinsmore *et al.* 2009; Hooijer *et al.* 2009, 2012;), meskipun ada juga hasil penelitian yang tidak menunjukkan hubungan tersebut akibat keragaman lahan gambut yang tinggi (Jauhiainen *et al.* 2012; Kechavarzi *et al.* 2010). Pengaturan muka air tanah sedangkalmungkin tanpa menyebabkan kerusakan akar kelapa sawit menjadi salah satu cara untuk menurunkan emisi gas CO₂ tanpa menurunkan hasil tanaman.

Kesimpulan

1. Emisi CO₂ merupakan fungsi jarak dari batang kelapa sawit. Emisi CO₂ tertinggi terjadi pada titik terdekat dengan pusat batang kelapa sawit yaitu sebesar 137 ± 73 t CO₂ ha⁻¹ th⁻¹ dan menurun secara gradual

hingga mencapai emisi CO₂ terendah pada jarak 4,5 m sebesar 30 ± 12 t CO₂ ha⁻¹ th⁻¹.

2. Emisi CO₂ juga merupakan fungsi dari kerapatan akar halus, konsentrasi hara makro, dan kedalaman muka air tanah. Hasil analisis regresi linear menunjukkan bahwa emisi CO₂ memiliki korelasi kuat dengan kerapatan akar halus Ø 0,5-2,5 mm dan <0,5 mm ($R^2 \geq 0,9$), pH dan konsentrasi total P, Ca, Mg, dan K ($R^2 \geq 0,7$), dan kedalaman muka air tanah ($R^2 = 0,9$). Konsentrasi N total di dalam tanah lapisan 0-30 cm tidak berhubungan dengan emisi CO₂ dan tidak dipengaruhi oleh jarak dari batang kelapa sawit.
3. Emisi CO₂ di sekitar pusat batang kelapa sawit dipengaruhi oleh muka air tanah yang lebih dalam sehingga aktivitas respirasi akar dan dekomposisi oleh

mikroba menjadi lebih tinggi. Emisi CO₂ juga dipengaruhi oleh pupuk dan eksudat akar tanaman karena dapat merangsang peningkatan aktivitas mikroba.

4. Pengaturan kedalaman muka air tanah seminimal mungkin dan peningkatan efisiensi pemupukan merupakan tindakan yang harus dilakukan untuk menurunkan emisi CO₂ dari respirasi heterotrofik tanpa mengorbankan hasil tanaman.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan *Reducing Emission from Deforestation and Degradation through Alternative Landuses in Rainforest of the Tropics* (REDD-ALERT), *European Community's Seventh Framework Programme* [FP7/2007-2013] No. 226310.

Daftar Pustaka

- Agus, F., E. Handayani, M. van Noordwijk, K. Idris, and 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. Published on DVD.
- Agus, F. dan I G.M. Subiksa. 2008. Lahan gambut: potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor. Indonesia.
- Berglund, Ö., K. Berglund, and L. Klemetsson. 2010. A lysimeter study on the effect of temperature on CO₂ emission from cultivated peat soils. *Geoderma* 154: 211-218.
- Blodau, C. and T.R. Moore. 2002. Micro-scale CO₂ and CH₄ dynamics in a peat soil during a water fluctuation and sulfate pulse. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 535-547.
- Bowden, R.D., K.J. Nadelhoffer, R.D. Boone, J.M. Melillo, and J.B. Garrison. 1993. Contribution of above-ground litter, belowground litter, and root respiration to total respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 23:61-71.
- Couwenberg, J. and A. Hooijer. 2012. Towards robust subsidence-based soil carbon emission factors for peat soils in south-east Asia, with special reference to oil palm plantations. *Mires and Peat* 12(01):1-13.
- Dinsmore, K.J., U.M. Skiba, M.F. Billet, and R.M. Rees. 2009. Effect of water table on greenhouse gas emission from peatland mesocosm. *Plant Soil* 318: 229-242.
- Dirks, B.O.M., A. Hensen, and J. Goudriaan. 2000. Effect of drainage on CO₂ exchange patterns in an intensively managed peat pasture. *Clim Res.* 14:57-63.
- Grønlund, A., H. Atle, H. Anders, and P.R. Daniel. 2008. Carbon loss estimates from cultivated peat soils in Norway: a comparison of three methods. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 81:157-167.
- Harahap, E.M. 1999. Perkembangan Akar Tanaman Kelapa Sawit pada Tanah Terdegradasi di Sosa, Tapanuli Selatan, Sumatera Utara. Disertasi Doktor (*Unpublished*). Program Pascasarjana (S3) IPB.
- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W.A. Lee, X.X. Lu, A. Idris, and G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands: reducing uncertainty and implications for CO₂ emission reduction options. *Biogeosciences* 9:1053-1071.
- Hooijer, A., S. Page, J.G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, H. Wösten, and J. Jauhiainen. 2009. Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences Discuss.* 6:7207-7230.
- Hytönen, J. 1998. Effect of peat ash fertilization on the nutrient status and biomass production of short-rotation willow on cut-away peatland area. *Biomass and Bioenergy* 15(1):83-92.
- Jauhiainen, J., A. Hooijer, and S.E. Page. 2012. Carbon dioxide emissions from an Acacia plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences* 9:617-630.
- Jauhiainen, J., H. Takahashi, J.E.P. Heikkinen, P.J. Martikainen, and H. Vasander. 2005. Carbon fluxes from a tropical peat swamp forest floor. *Global Change Biology* 11:1788-1797.
- Kechavarzi, C., Q. Dawson, M. Bartlett, and P.B. Leeds-Harrison. 2010. The role of soil moisture, temperature and nutrient amendment on CO₂ fluxes from agricultural peat soil microcosm. *Geoderma* 154:203-210.
- Keith, H., J.M. Oades, and J.K. Martin. 1986. Input of carbon to soil from wheat plants. *Soil Biology & Biochemistry* 18:445-449.
- Laudelout, H. and V. Thierron. 1996. Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest. *Canadian Journal of Forest Research* 26:1142-1148.
- Lim, K.H., S.S. Lim, F. Parish, and R. Suharto. 2012. RSPO Manual on Best Management Practices (BMPs) for Existing Oil Palm Cultivation on Peat. RSPO, Kuala Lumpur.
- Madsen, R., L. Xu, B. Claassen, and D. McDermitt. 2009. Surface monitoring method for carbon capture and storage projects. *Energy Procedia* 1:2161-2168.
- Mei, Z.L., L.H. Bin, Z.J. Zong, H. Jing, and W.B. Ren. 2011. Long-term application of organic manure and mineral fertilizer on N₂O and CO₂ emissions in a red soil from cultivated maize-wheat rotation in China. *Agricultural Sciences in China* 10:1748-1757.

- Murdiyarso, D., K. Hergualc'h, and L.V. Verchot. 2010. Opportunities for reducing greenhouse gas emission in tropical peatlands. *PNAS* 107(46):19655-19660.
- Nakane, K., M. Yamamoto, and H. Tsubota. 1983. Estimation of root respiration rate in a mature forest ecosystem. *Japanese Journal of Ecology* 33:397-408.
- Page, S.E., F. Siegert, J.O. Rieley, H.V. Boehm, A. Jaya, and S. Limin. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997, *Nature* 420:61-65.
- Rønn, R., F. Ekelund, and S. Chritensen. 2003. Effect of elevated atmospheric CO₂ on protozoan abundance in soil planted with wheat and on decomposition of wheat roots. *Plant and Soil* 151:13-21.
- Ryan, M.G., M.G. Lavigne, and S.T. Gower. 1997. Annual carbon cost of autotrophic respiration in boreal forest ecosystems in relation to species and climate. *Journal of Geophysical Research* 102(D24):28871-28883.
- Silvola, J., J. Alm, U. Ahlholm, H. Nykänen, and P.J. Martikainen. 1996. CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. *J Ecol* 84:219-228.
- Smith, K., D. Watts, T. Way, H. Torbert, and S. Prior. 2012. Impact of tillage and fertilizer application method on gas emissions in a corn cropping system. *Pedosphere* 22(5):604-615.
- van Noordwijk, M., G. Brouwer, F.W. Konig, F.W. Meijboom, and W. Grzebisz. 1994. Production and decay of structural root material of winter wheat and sugar beet in conventional and integrated cropping systems. *Agricultural Ecosystem and Environment* 51:99-113.
- Vien, D.M., N.M. Phuong, J. Jauhiainen, and V.T. Guong. 2010. Humification at the Vo Doi National Park, Vietnam. Paper presented in 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Vogt, K.A., C.C. Grier, S.T. Gower, D.G. Sprugel, and D.J. Vogt. 1996. Overestimation of net root production: A real or imaginary problem? *Ecology* 67:577-579.
- Wang, W., K. Ohseb, J. Liuc, W. Mob, and T. Oikawa. 2005. Contribution of root respiration to soil respiration in a C3/C4 mixed grassland. *J. Biosci.* 30(4):507-514, Indian Academy of Sciences.
- Wösten, J.H.M., A.B. Ismail, and A.L.M. Van Wijk. 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78:25-36.
- Xu, M., T. DeBiase, Y. Qi, A. Goldstein, and Z. Liu. 2001. Ecosystem respiration in a young ponderosa pine plantation in the Sierra Nevada Mountains. *California Tree Physiology* 21:309-318.
- Yavitt, J., C. Williams, and R. Wieder. 2004. Soil chemistry versus environmental controls on production of CH₄ and CO₂ in northern peatlands. *European Journal of Soil Science*. 56(2):169-178.