

NERACA KARBON PADA PERTANAMAN KELAPA SAWIT: TINJAUAN DARI ASPEK FISIOLOGI TANAMAN

Iman Yani Harahap dan Eka Listia

Abstrak Untuk mengetahui neraca karbon pada pertanaman kelapa sawit, maka dilakukan pengukuran pada pertanaman kelapa sawit klon MK 60 berumur 7 tahun, terletak di Kebun Bah Jambi, Simalungun, Sumatera Utara. Pengukuran meliputi (1) laju fotosintesis daun tunggal, (2) pertumbuhan organ tanaman, (3) produksi tandan buah, dan (4) emisi karbon dioksida dari permukaan tanah. Komponen yang dipertimbangkan dalam neraca karbon ini adalah jumlah CO_2 yang difiksasi dalam proses fotosintesis, jumlah asimilat yang digunakan untuk pertumbuhan dan hasil tanaman, jumlah asimilat yang digunakan untuk respirasi pertumbuhan dan perawatan, dan emisi karbon dioksida dari permukaan tanah. Hasil pengukuran dan penghitungan menunjukkan laju respirasi total harian (R_{total}) berkisar antara 2,50 – 3,50 kg CH_2O pohon $^{-1}$ hari $^{-1}$ atau setara dengan emisi 2,75 – 3,85 kg CO_2 pohon $^{-1}$ hari $^{-1}$. Laju respirasi tersebut menggunakan sekitar 79,2 % perolehan asimilat hasil fotosintesis, yang jumlah reratanya 3,67 kg CH_2O pohon $^{-1}$ hari $^{-1}$. Setiap pohon kelapa sawit menggunakan sekitar 0,64 kg CH_2O hari $^{-1}$ atau sekitar 17,4% hasil fotosintesis untuk respirasi pertumbuhan dan sekitar 2,27 kg CH_2O hari $^{-1}$ atau sekitar 61,8% hasil fotosintesis untuk respirasi perawatan. Hasil pengukuran emisi karbon pada pertanaman kelapa sawit adalah 3.345 g m^{-2} tahun $^{-1}$. Hasil perhitungan neraca karbon, memperlihatkan bahwa pertanaman kelapa sawit dewasa memfiksasi karbon dioksida 255 ton ha $^{-1}$ tahun $^{-1}$. Sedangkan emisi karbon dioksida

pada sistem pertanaman ini, yang berasal dari respirasi tanaman dan emisi dari permukaan tanah adalah 236 ton ha $^{-1}$ tahun $^{-1}$, sehingga terjadi defisit karbon dioksida pada sistem sebesar 19 ton ha $^{-1}$ tahun $^{-1}$. Berdasar pendekatan fisiologis kuantitatif, terlihat bahwa sistem pertanaman kelapa sawit dewasa dapat mengurangi kandungan karbon dioksida di atmosfer lingkungan tanaman tersebut tumbuh.

Kata kunci: fotosintesis, asimilat, respirasi, emisi karbon dioksida

Abstract To determine the carbon balance in oil palm plantations, the measurements were taken at 7 years old clone plants MK 60. Planted in Bah Jambi plantations, Simalungun, North Sumatra. Measurements included (1) single leaf photosynthetic rate, (2) the growth of plant (3) production of fruit bunches, and (4) emissions of carbon dioxide from the soil surface. Components considered in the carbon balance are the amount of CO_2 remains in the process of photosynthesis, an assimilate used for the growth and yield, an assimilate used for growth and maintenance respiration, and carbon dioxide emissions from the soil surface. Results of measurement and calculation showed that total daily respiration rate (R_{total}) ranged from 2.50 to 3.50 kg CH_2O tree $^{-1}$ day $^{-1}$, equivalent to 2.75 to 3.85 kg of CO_2 emissions a tree $^{-1}$ day $^{-1}$. This Respiration Rate was about 79.2% acquisition assimilate of photosynthesis, on the average is amount of 3.67 kg CH_2O tree $^{-1}$ day $^{-1}$. Each palm tree uses about 0.64 kg CH_2O day $^{-1}$ or approximately 17.4% of photosynthesis to growth respiration and about 2.27 kg CH_2O day $^{-1}$ or approximately 61.8% of photosynthesis to maintenance respiration. A result of measurement of

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Iman Yani Harahap (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia
Email: iyh_020464@yahoo.co.id

carbon emissions in oil palm cultivation is $3,345 \text{ g m}^{-2} \text{ year}^{-1}$. Carbon balance calculations indicate that mature plant of oil palm plantations could fix 255 tons Carbon $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Carbon dioxide emissions in cropping systems, which comes from the respiration of plants and emissions from the soil surface is 236 tons $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, resulting in a deficit in carbon dioxide system at 19 tons $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Based on quantitative physiological approach, shows that the system of mature plant of oil palm plantation could reduce carbon dioxide in the atmosphere of the oil palm plantation.

Keywords : photosynthesis, assimilate, respiration, carbon dioxide emission.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan salah satu isu global utama saat ini. Peningkatan kebutuhan pangan dan standar hidup masyarakat yang semakin tinggi membutuhkan sistem pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan (Sajjad *et al.*, 2010; Hsu *et al.*, 2009). Menurut Kook (2005) dan Aizebeokhai (2009) bahwa konsumsi energi dan produksi di masyarakat sering dikaitkan dengan peningkatan emisi gas rumah kaca. Emisi gas karbon pada pertanaman kelapa sawit dinilai berkontribusi pada peningkatan gas rumah kaca di atmosfer. Pertanaman kelapa sawit di Indonesia adalah terluas di dunia, dengan luas sekitar 7 juta ha. Areal perkebunan kelapa sawit meningkat tajam dengan laju rata-rata 12,30% per tahun sejak 1980. Perluasan perkebunan kelapa sawit, terutama bila mengkonversi hutan primer, berpotensi menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca (Herman, 2009).

Menurut Susandi (2008); Wicke *et al* (2008), dan Davila *et al* (2010), perubahan iklim sebagai implikasi pemanasan global, yang disebabkan oleh kenaikan gas-gas rumah kaca terutama karbondioksida (CO_2) dan metana (CH_4), mengakibatkan dua hal utama yang terjadi di lapisan atmosfer paling bawah, yaitu fluktuasi curah hujan yang tinggi dan kenaikan muka laut. Intensifikasi tanaman juga sering diyakini dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca, namun studi tentang pengelolaan tanaman yang optimal masih sangat langka (Adviento-Borbe, 2007; Gbemisola, 2010). Peningkatan produksi pertanian tanpa meningkatkan emisi gas rumah kaca tentu saja harus mendapat perhatian serius (Dobermann, 2007).

Menurut Rumbang Nyahu *et al.* (2009), emisi karbon pada lahan dengan tanaman tahunan lebih tinggi dari lahan dengan tanaman semusim. Dengan demikian pertanaman kelapa sawit di Indonesia juga dinilai berkontribusi besar pada peningkatan gas rumah kaca tersebut. Emisi CO_2 dan gas rumah kaca lainnya pada setiap ekosistem sangat berpengaruh pada proses pemanasan global.

Menurut Reijnders (2008), berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di wilayah Asia Selatan, industri kelapa sawit akan menghasilkan 2,8 – 19,7 kg CO_2 tiap kilogram minyak kelapa sawit yang di produksi, sedangkan untuk pertanaman jagung dan kedelai akan mengemisikan sebanyak 703 – 767 Mg CO_2 per hektar. Upaya untuk mengurangi perubahan iklim global sebagai dampak dari penggundulan hutan dan penggunaan lahan harus mempertimbangkan tidak hanya aliran gas rumah kaca dari sistem ini, penggunaan lahan, tetapi juga faktor-faktor ekonomi dan sosial (Cheryl *et al.*, 2004 dan Malhi, 2010).

Menurut Hooijer *et al.* (2006) diperkirakan bahwa lahan gambut Indonesia menyumbangkan 2000 Mega ton (Mt) CO_2 per tahun dari total emisi CO_2 sebanyak 3000 Mt per tahun. Total emisi dari dekomposisi gambut ditentukan oleh kedalaman drainase, meskipun ada banyak faktor lain yang mempengaruhi seperti pH tanah, suhu, C/N rasio dan kematangan gambut (Agus *et al.*, 2010).

Henson and Harun (2005), memperlihatkan fluktuasi kadar CO_2 harian di atas tajuk tanaman muda kelapa sawit di Kedah, Malaysia berkisar 320 (minimal) – 700 (maksimal) ppm, dengan rerata 378 – 438 ppm. Fluktuasi kadar CO_2 tersebut berkaitan juga dengan kondisi musim kering dan basah, serta waktu malam dan siang hari. Peningkatan kadar CO_2 menyebabkan peningkatan suhu rerata di muka bumi, yang dapat mengubah kondisi iklim menjadi ekstrim dengan konsekuensi bencana alam yang sulit diprediksi dampaknya.

Analisis kuantitatif emisi CO_2 pertanaman kelapa sawit telah dilakukan oleh beberapa peneliti, pada lahan mineral maupun lahan gambut. Umumnya penelitian tersebut berbasis pada pengukuran langsung dan non-langsung, sehingga memberikan hasil yang relatif beragam antar hasil penelitian tersebut. Faktor kondisi pertanaman, metode, lokasi, dan waktu diduga menjadi penyebab terjadinya variasi



hasil pengukuran emisi gas karbon pada pertanaman kelapa sawit. Hasil pengukuran yang akurat diharapkan dapat menjadi acuan untuk menilai sejauh mana emisi gas karbon dapat meningkatkan gas rumah kaca di atmosfir.

Penilaian dampak emisi karbon pada pertanaman kelapa sawit sangat mempengaruhi persepsi pada masyarakat global terhadap industri kelapa sawit Indonesia, mengingat adanya isu negatif mengenai hal ini yang dapat berdampak buruk pada pengembangan industri kelapa sawit di Indonesia. Tulisan ini bertujuan memberikan gambaran mengenai neraca karbon pada pertanaman kelapa sawit dengan pendekatan fisiologis tanaman kelapa sawit. Diharapkan paparan ini dapat menjadi salah satu acuan dalam menilai dampak emisi gas karbon pada pertanaman kelapa sawit terhadap peningkatan gas rumah kaca di atmosfir.

BAHAN DAN METODE

Pengukuran dan penghitungan komponen neraca karbon

Pengukuran komponen neraca karbon dilakukan pada pertanaman klon kelapa sawit MK 60 berumur 7 tahun dengan produktivitas 28 – 30 ton tandan buah segar per tahun, yang ditanam pada tanah mineral *typic Dystropept* di kebun Bah Jambi, Simalungun, Sumatera Utara, yang memiliki curah hujan berkisar 2.700 – 3.400 mm per tahun, lama penyinaran 5 – 6 jam per hari, suhu rerata harian 25,1°C. Sepanjang tahun tidak dijumpai defisit air. Populasi tanaman adalah 130 pohon per ha. Pengukuran produksi bahan kering dan pertumbuhan tanaman dilakukan pada 24 pohon sampel, sedangkan pengukuran laju fotosintesis dilakukan pada 6 pohon sampel. Pengukuran emisi gas karbon dioksida dari permukaan tanah dilakukan di antara pohon pada barisan tanaman yang sama.

Laju fotosintesis daun tunggal diukur *in situ* pada lembar daun pelepas ke-9, ke-17, dan ke-25 menggunakan penganalisis portabel *infra red gas analyzer* (IRGA), tipe LCA-4 (Analytical Development Co, UK) mengikuti metode Caemmerer dan Farquhar (1981). Hasil pengukuran daun tunggal digunakan sebagai parameter dalam penghitungan asimilasi karbon potensial harian pada tingkat populasi tanaman

(metode SUCROS, Goudriaan and Van Laar, 1978). Pertumbuhan organ tanaman diukur non-destruktif. Data pertumbuhan organ tanaman digunakan untuk menghitung partisi dan produksi bahan kering tanaman yang kemudian dikonversi ke satuan asimilat (CH_2O) (Dufrene, 1989). Faktor konversi bahan kering tiap organ tanaman menjadi kebutuhan asimilat adalah sebagai berikut: Daun 1,44, Batang 1,52, Akar 1,54, dan Tandan Buah Kelapa Sawit 2,31 kg CH_2O per kg bahan kering organ. Respirasi tubuh tanaman dihitung berdasarkan metode keseimbangan asimilat mengikuti metode France dan Thornley (1984).

Pengamatan emisi CO_2 dari permukaan tanah dilakukan pada 2 kondisi yaitu kondisi terang pada pukul 6.00-18.00 waktu setempat dan pada kondisi gelap pada pukul 18.00 – 6.00 waktu setempat. Emisi CO_2 dari permukaan tanah diukur dengan metode penjerapan dengan NaOH (Andersen and Ingram, 1993). Metode penjerapan dengan NaOH yang merupakan sistem yang tertutup (*closed system*), dengan menggunakan *chamber* berbentuk silinder dengan luas permukaan 324 cm^2 dan tinggi 22,0 cm. Sebanyak 100 ml larutan NaOH 0,1 N dalam petridish terbuka yang berdiameter 10 cm diletakan di dalam *chamber* tertutup. Jumlah CO_2 yang terjerap ditetapkan melalui reaksi penetralan menggunakan titran 0,1 N HCl dan indikator BaCl_2 20%. Penangkapan gas pada ruang tertutup merupakan salah satu teknik yang paling umum digunakan pada emisi gas rumah kaca (Agus, 2010).

HASIL DAN PEMBAHASAN

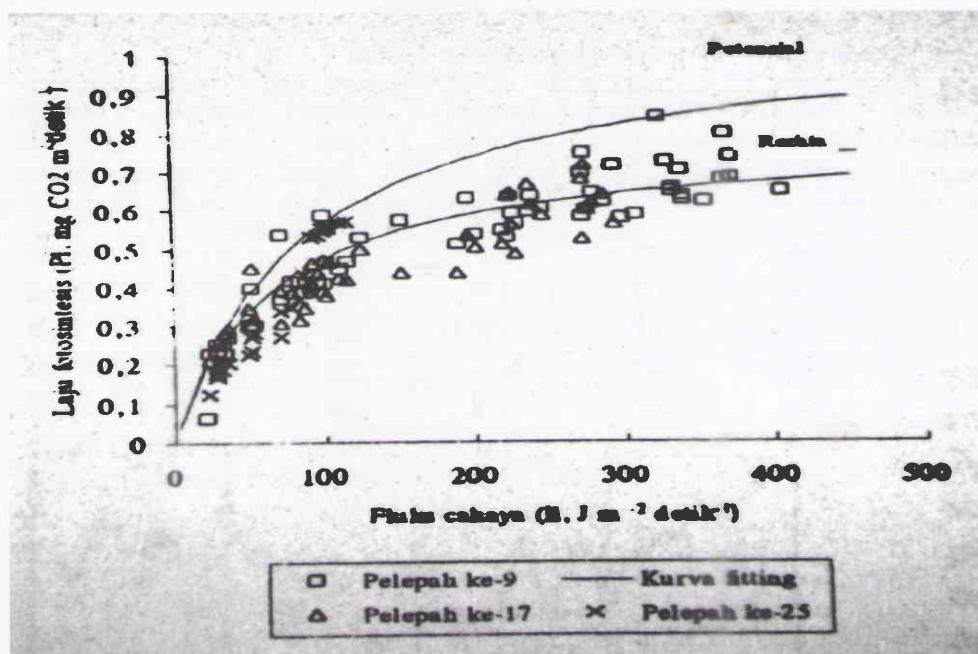
Laju Fotosintesis Daun Tunggal

Fotosintesis merupakan sumber penghasil energi dan biomassa bagi pertumbuhan tanaman. Parameter fotosintesis yang sering diperhatikan adalah efisiensi fotosintesis dan laju fotosintesis pada cahaya jenuh (Harahap, 2007; Taiz, 2002; Cha-um et al, 2010).

Teknik analisis regresi persamaan (8) pada Lampiran 3, mendapatkan nilai dan P_{maks} masing-masing adalah $0,011 \text{ mg CO}_2 \text{ J}^{-1}$ dan $0,72 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$. Nilai parameter fotosintesis tersebut diturunkan dari hasil pengukuran rerata laju fotosintesis pada berbagai intensitas radiasi surya, sedang nilai tertinggi hasil pengukuran laju fotosintesis pada berbagai intensitas radiasi surya digunakan untuk menduga nilai

parameter fotosintesis potensial, yang berturut-turut nilai parameter potensial dan P_{maks} tersebut adalah 0,013 mg CO₂ J⁻¹ dan 1,09 mg CO₂ m⁻² detik⁻¹. Kurva respon laju fotosintesis potensial terhadap intensitas cahaya lebih tinggi dibanding kurva respon laju fotosintesis aktual dan merupakan gambaran laju fotosintesis maksimum yang dapat dicapai tanaman pada suatu lingkungan yang diasumsikan tidak memiliki faktor pembatas. Nilai parameter

fotosintesis potensial tersebut digunakan sebagai parameter utama dalam memprediksi jumlah asimilat potensial yang dihasilkan tanaman kelapa sawit pada proses fotosintesis tajuk tanaman (Goudriaan dan Van Laar, 1978).



Gambar 1. Respon laju fotosintesis daun tunggal terhadap intensitas cahaya spektrum radiasi fotosintesis aktif.

Tabel 1. Parameter fotosintesis daun tunggal kelapa sawit MK 60.

Kedudukan daun	Efisiensi fotosintesis (α , mg CO ₂ J ⁻¹)			Fotosintesis cahaya jenuh (P_{maks} , mg CO ₂ m ⁻² detik ⁻¹)		
	Estimasi	Selang kepercayaan 95 %		Estimasi	Selang kepercayaan 95 %	
		Bawah	Atas		Bawah	Atas
Pelepah 9	0,011	0,010	0,012	0,77	0,73	0,82
Pelepah 17	0,011	0,010	0,014	0,64	0,58	0,72
Pelepah 25	0,010	0,008	0,012	0,60	0,54	0,67
Rerata	0,011	0,010	0,012	0,72	0,67	0,78
Potensial	0,011	0,010	0,013	0,94	0,82	1,09

Keterangan: Bawah = Estimasi - (t_{table} (n-2); (0,975)). Std. eror (Estimasi) Atas = Estimasi + (t_{table} (n-2); (0,975)). Std. eror (Estimasi)



Asimilasi Karbon Potensial Tajuk Tanaman

Asimilasi karbon tajuk tanaman merupakan bentuk integrasi atau jumlah keseluruhan dari aktivitas fotosintesis daun tunggal. Dari hasil pengukuran fotosintesis daun tunggal, diperoleh dan P_{maks} masing-masing 0,013 mg CO₂ J⁻¹ yang setara dengan 0,46 kg CO₂ J⁻¹ Jam⁻¹ dan 1,09 mg CO₂ m⁻² detik⁻¹ yang setara dengan 39 kg CO₂ ha⁻¹ jam⁻¹. Peubah masukan model adalah intensitas radiasi surya harian dan keadaan

penutupan tajuk (LAI). Hasil penghitungan menunjukkan bahwa asimilat potensial harian bervariasi antara 2,8 - 4,7 kg CH₂O pohon⁻¹ hari⁻¹. Variasi asimilat potensial harian tersebut dikendalikan oleh jumlah radiasi yang diterima. Penghitungan asimilat potensial harian merupakan gambaran kapasitas fotosintesis harian dan nisbahnya terhadap produksi bahan kering harian menunjukkan jumlah bagian asimilat yang digunakan dalam respirasi tanaman.

Tabel 2. Hasil penghitungan komponen-komponen keseimbangan asimilat.

No. Hari	Asimilat kotor Potensial (dA, kg CH ₂ O pohon ⁻¹ hari ⁻¹)	Produksi bahan kering (dW, kg pohon ⁻¹ hari ⁻¹)	Respirasi pertumbuhan (dA _r , kg CH ₂ O pohon ⁻¹ hari ⁻¹)	Respirasi Perawatan (dA _r , kg CH ₂ O pohon ⁻¹ hari ⁻¹)	Respirasi total (R _{total} , kg CH ₂ O pohon ⁻¹ hari ⁻¹)	Bobot kering tanaman (W, kg pohon ⁻¹)	Koefisien respirasi perawatan (b, kg CH ₂ O kg ⁻¹)	Suhu udara (°C)
110	3,87	0,99	0,83	2,05	2,88	372,10	0,0055	24,5
130	3,77	0,92	0,77	2,08	2,85	372,10	0,0056	25,15
150	3,82	0,80	0,67	2,35	3,02	387,35	0,0061	25,0
165	3,82	0,92	0,77	2,13	2,90	387,35	0,0055	24,95
178	4,17	1,08	0,90	2,19	3,09	390,41	0,0056	25,30
193	3,89	0,85	0,71	2,33	3,04	399,62	0,0058	24,65
208	3,89	0,85	0,71	2,33	3,04	399,62	0,0058	24,95
222	3,93	0,86	0,73	2,34	3,07	412,48	0,0057	24,60
229	3,46	0,82	0,68	1,96	2,64	417,55	0,0047	24,90
250	3,61	0,69	0,58	2,34	2,92	421,55	0,0056	24,50
264	3,33	0,66	0,56	2,11	2,67	422,71	0,0050	24,20
271	3,33	0,65	0,55	2,13	2,68	422,71	0,0050	24,05
278	3,33	0,65	0,55	2,13	2,68	422,71	0,0050	23,80
298	3,76	0,69	0,58	2,49	3,07	431,02	0,0058	24,90
305	3,76	0,73	0,61	2,42	3,03	431,02	0,0056	23,60
312	3,68	0,73	0,61	2,34	2,95	435,25	0,0054	23,85
326	3,12	0,74	0,62	1,76	2,38	440,15	0,0040	25,10
334	3,12	0,77	0,64	1,72	2,36	440,15	0,0039	24,55
347	3,48	0,73	0,62	2,13	2,75	450,81	0,0047	23,80
354	3,48	0,68	0,58	2,23	2,81	464,08	0,0048	23,85
369	3,65	0,69	0,58	2,38	2,96	464,08	0,0051	24,45
396	3,80	0,71	0,60	2,50	3,10	495,20	0,0050	25,25
403	3,80	0,62	0,52	2,66	3,18	495,20	0,0054	23,50
425	3,80	0,62	0,52	2,66	3,18	495,20	0,0054	24,95
439	4,13	0,64	0,54	2,94	3,48	519,20	0,0057	24,85
Rerata	3,67	0,76	0,64	2,27	2,91	431,60	0,0053	24,53

Keseimbangan Asimilat

Jumlah respirasi tanaman dapat dideterminasi berdasar analisis keseimbangan asimilat (Lampiran 2). Komponen keseimbangan asimilat terdiri dari jumlah produksi asimilat, produksi bahan kering, respirasi pertumbuhan, respirasi perawatan, dan respirasi total, dan bobot kering tanaman. Hasil penghitungan masing-masing komponen tersebut disajikan pada Tabel 2. Nilai rerata koefisien respirasi perawatan tersebut adalah $0,0053 \text{ kg CH}_2\text{O kg}^{-1}$ bahan kering, yang dihitung pada suhu udara rerata $24,53^\circ\text{C}$. Respirasi perawatan akan bervariasi terhadap perubahan suhu udara seperti yang dilaporkan Mc Cree (1974), sehingga koefisien respirasi perawatan tersebut harus dikoreksi terhadap suhu udara dengan suatu faktor yang dikenal dengan kuosien suhu (Q_{10}). Kuosien suhu merupakan suatu faktor yang menggambarkan terjadinya penggandaan laju respirasi setiap peningkatan suhu udara 10°C .

Hasil perhitungan keseimbangan asimilat (Tabel 2), menunjukkan bahwa laju respirasi total harian (R_{total}) berkisar antara $2,50 - 3,50 \text{ kg CH}_2\text{O pohon}^{-1} \text{ hari}^{-1}$ atau setara dengan emisi $2,75 - 3,85 \text{ kg CO}_2 \text{ pohon}^{-1} \text{ hari}^{-1}$. Laju respirasi tersebut menggunakan sekitar 79,2 % perolehan asimilat hasil fotosintesis, yang jumlah reratanya $3,67 \text{ kg CH}_2\text{O pohon}^{-1} \text{ hari}^{-1}$. Setiap pohon kelapa sawit menggunakan sekitar $0,64 \text{ kg CH}_2\text{O hari}^{-1}$ atau sekitar 17,4 % hasil fotosintesis untuk respirasi pertumbuhan dan sekitar $2,27 \text{ kg CH}_2\text{O hari}^{-1}$ atau sekitar 61,8 % hasil fotosintesis untuk respirasi perawatan.

Produksi Bahan Kering

Produksi total bahan kering biomasa tanaman kelapa sawit MK 60 adalah $290,73 \text{ kg pohon}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, atau mencapai $37,79 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, yang meliputi produksi bahan kering organ vegetatif 55,94 % dan organ generatif 44,06% (Tabel 3). Hasil pengamatan ini tidak berbeda jauh dengan hasil pengamatan yang dilaporkan Lamade dan Setiyo (1996), yang mendapatkan produksi bahan kelapa sawit dewasa di wilayah Asia Tenggara berkisar $27 - 40 \text{ ton ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Tanaman MK 60 memiliki pertumbuhan organ batang yang relatif lebih besar (22,98% dari pertumbuhan bagian vegetatif) dibanding bahan tanaman umumnya (sekitar 10-11% dari pertumbuhan bagian vegetatif), sehingga proporsi untuk pertumbuhan organ daun relatif kecil (65,63% dari pertumbuhan bagian vegetatif) dibanding bahan tanaman varietas DxP umumnya (sekitar 70 - 77% dari pertumbuhan vegetatif).

Dalam bentuk satuan asimilat terlihat bahwa penggunaan asimilat untuk organ generatif lebih besar dibanding kebutuhan untuk pertumbuhan vegetatif, walaupun produksi bahan keringnya lebih kecil dibanding produksi bahan kering organ vegetatif (Tabel 4). Hal ini disebabkan oleh faktor konversi bahan kering organ generatif yang besar, karena organ ini mengandung komposisi lipida yang besar sehingga membutuhkan kesetaraan asimilat yang tinggi.

Tabel 3. Produksi dan persentase pembagian biomassa bahan kering tiap organ tanaman kelapa sawit MK 60.

Organ tanaman	kg pohon ⁻¹ tahun ⁻¹	% Vegetatif	% dari Total
<i>Organ vegetatif</i>			
Daun	106,71	65,63	36,71
- lamina	42,05	25,85	14,46
- rakhis	64,66	39,78	22,24
Batang	37,39	22,98	12,86
Akar	18,53	11,39	6,37
Subtotal	162,63	100,00	55,94
<i>Organ generatif</i>			
Bunga/buah	128,10	-	44,06
Subtotal	128,10	-	44,06
Total	290,73	-	100,00



Tabel 4. Produksi biomassa tiap organ tanaman kelapa sawit MK 60 dalam konversi satuan asimilat.

Organ tanaman	kg CH ₂ O pohon ⁻¹ tahun ⁻¹	% Vegetatif	% dari Total
<i>Organ vegetatif</i>			
Daun	152,48	64,16	29,37
- lamina	60,07	25,28	11,57
- rakhis	92,41	38,88	17,80
Batang	56,65	23,84	10,91
Akar	28,51	12,00	5,49
Subtotal	237,64	100,00	45,77
<i>Organ generatif</i>			
Bunga/buah	281,54		54,23
Subtotal	281,54		54,23
Total	519,18		100,00

Kebutuhan asimilat untuk pertumbuhan organ vegetatif meningkat mengikuti perkembangan umur tanaman dan relatif konstan pada tanaman dewasa (di atas 6 tahun), sedang asimilat yang digunakan untuk organ generatif lebih berfluktuatif tergantung perolehan asimilat hasil fotosintesis dan pertumbuhan organ vegetatif.

Emisi karbon permukaan tanah

Hasil pengukuran emisi karbon pada pertanaman kelapa sawit di lahan mineral adalah 3.345 g per m² per tahun (Tabel 5). Sedangkan emisi karbon dioksida dari permukaan tanah gambut pada pertanaman kelapa sawit adalah 5.652 g per m² per tahun (Melling *et al.* (2007)). Hasil pengukuran Lamade *et al.* (2007) pada tanah mineral menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida dari permukaan tanah pertanaman kelapa sawit berkisar antara 2.554 g m⁻² tahun⁻¹ pada jalan panen sampai dengan 4.187 g m⁻² tahun⁻¹ pada piringan pohon. Menurut Sheikh *et al* (2009) dan Bhattacharyya *et al* (2008), kandungan karbon di tanah jauh lebih banyak bila dibandingkan dengan

vegetasi di dunia bahkan juga lebih banyak bila dibandingkan dengan di atmosfer saat ini. Oleh sebab itu, karbon di tanah memiliki peranan penting dalam efek gas rumah kaca.

Neraca karbon

Neraca karbon pada pertanaman kelapa sawit dikuantifikasi berdasar persamaan (1) pada Lampiran 1. Satuan yang digunakan dalam perhitungan neraca karbon adalah ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹. Satuan ini merujuk pada satuan yang dipakai untuk menghitung nilai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*, GWP) berdasarkan rumus yang dikembangkan oleh Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC).

Hasil perhitungan neraca karbon (Tabel 6), memperlihatkan bahwa pertanaman kelapa sawit dewasa memfiksasi karbon dioksida 255 ton per ha setiap tahunnya. Sedangkan emisi karbon dioksida pada sistem pertanaman ini, yang berasal dari respirasi tanaman dan emisi dari permukaan tanah adalah 236 ton per ha setiap tahunnya, sehingga terjadi defisit karbon dioksida pada sistem sebesar 19 ton per ha per tahun.

Tabel 5. Emisi karbon dioksida dari permukaan tanah kelapa sawit dewasa.

Uraian	Waktu		
	Siang hari	Malam hari	Total
Emisi karbon dioksida (g m ⁻² tahun ⁻¹)	1.901	1.444	3.345

Tabel 6. Komponen neraca karbon pada pertanaman kelapa sawit MK 60.

No.	Komponen neraca	Jumlah	
		ton CH ₂ O ha ⁻¹ tahun ⁻¹	ton CO ₂ ha ⁻¹ tahun ⁻¹
1.	Asimilasi karbon	174	- 255
2.	Respirasi perawatan	108	+ 158
3.	Respirasi pertumbuhan	30	+ 45
4.	Emisi permukaan tanah	-	+ 33
Defisit/Surplus			- 19

Keterangan : (CO₂) = 44/30 x CH₂O

Henson (1992) mendapatkan bahwa asimilasi karbon pada tanaman kelapa sawit muda yang dihitung dengan berbagai metode (GPHOT, DMP measurement) berkisar antara 84 - 88 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹. Hasil pengukuran tersebut berbeda jauh dengan perhitungan pada penelitian ini, yang disebabkan produksi tandan buah pada tanaman muda tersebut hanya mencapai 29% dari produksi bahan kering total. Sedangkan pada penelitian ini (tanaman dewasa) produksi tandan buah mencapai 54% dari produksi bahan kering total. Lebih lanjut Henson (1992) mendapatkan bahwa respirasi total pada tanaman muda sekitar 66 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ (16,61 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ untuk respirasi pertumbuhan dan 49,73 CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ untuk respirasi perawatan), sehingga apabila emisi CO₂ permukaan tanah dianggap rendah, maka masih terdapat defisit neraca CO₂ sekitar 20 ton pada sistem pertanaman tersebut.

KESIMPULAN

Berdasar pendekatan fisiologis kuantitatif terlihat bahwa sistem pertanaman kelapa sawit dewasa dapat mengurangi kandungan karbon dioksida di atmosfer lingkungan tanaman tersebut tumbuh. Walaupun demikian, kondisi tersebut hanya dapat terjadi apabila pertanaman kelapa sawit dikelola dengan baik dengan menerapkan *best management practices*, sehingga secara fisiologis tanaman kelapa sawit akan tumbuh, berkembang, dan berproduksi dengan maksimal. Produktivitas yang maksimal akan meningkatkan penyerapan karbon dioksida dalam sistem asimilasi karbon yang tinggi.

Penelitian ini memperlihatkan bahwa pertanaman kelapa sawit dewasa mampu memfiksasi 255 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹. Sedangkan emisi CO₂ pada sistem pertanaman ini, yang berasal dari respirasi tanaman dan emisi dari permukaan tanah adalah 236 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹, sehingga terjadi defisit pada sistem sebesar 19 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹.

DAFTAR PUSTAKA

- Adviento-Borbe, M.A.A., M.L. Haddix, D.L. Binder, D.T. Walters, and A. Dobermann. 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Global Change Biology*. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x
- Agus, F., E. Handayani, M. van Noordwijk, K. Idris, and S. Sabiham. 2010. Root respiration interferes with peat CO₂ emission measurement. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Agus, F., Wahyunto, A. Dariah, P. Setyanto, I.G. Made Subiksa, E. Runtunuwu, E. Susanti, and W. Supriatna. 2010. Carbon budget and management strategies for conserving carbon in peatland: Case study in Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan, Indonesia. Proceeding of International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries. Bogor, Indonesia Sept. 28-29, 2010.



- Aizebeokhai, A.P. 2009. Global warming and climate change: Realities, uncertainties and measures. International Journal of Physical Sciences Vol. 4 (13) pp. 868-879
- Anderson, J.M. and J.S.I. Ingram (ed). 1993. Tropical soil biology and fertility. A Hand Book of Methods. Second Edition. C.A.B.International, U.K.221 p.
- Bhattacharyya, T., D.K. Pal, P. Chandran, S.K. Ray, C. Mandal, and B. Telapande. 2008. Soil carbon storage capacity as a tool to prioritize areas for carbon sequestration. Current Science, Vol. 95, no. 4.
- Caemmerer, S.V. and G.D. Farquhar. 1981. Some relationship between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta* 153: 376 – 387.
- Cheryl, P., T. Tomich, M. van Noordwijk, S. Vosti, J. Gockowski, J. Alegre, and L. Verchot. 2004. Mitigating GHG emissions in the humid tropics: case studies from the alternatives to slash-and-burn program (ASB). Environment, Development and Sustainability Vol. 6: 145–162. Kluwer Academic Publishers.
- Moisés, D., O. Jiménez, R. Castro, V. Arévalo, J. Stanley, and L.M. Cabrera. 2010. A preliminary selection of regions in Mexico with potential for geological carbon storage. International Journal of Physical Sciences Vol. 5(5), pp. 408-414.
- Dobermann, A., D.T. Walters, and M.A.A. Adviento-Borbe. 2007. Global warming potential of high-yielding continuous corn and corn-soybean systems. Better Crops. Vol.91 No.3.
- Dufrene, E. 1989. Photosynthese, consummation en au et modelisation de la production chez le plumier a huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). These de Doctorat en Sciences, Ecologie, Universite de Paris. 147 p
- France, J. and J.H.M. Thornley. 1984. Mathematical model in agriculture. A Quantitative Approach to Problem in Agriculture and Related Sciences. Butterworth, London-Boston.
- Oluwatosin, G.O., O. Akin, A.O. Titilayo, S. Maruf, F.A. Joshua, Siyanbola, and W. Owolabi.
2010. Risk mitigation strategies and policy implications for carbon dioxide (CO₂) emission in organically-amended soils in Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 4(11), pp. 801-806.
- Goudriaan, J. and H.H. van Laar. 1978. Calculation of daily totals of the gross CO₂ assimilation of leaf canopies. Neth. J. agric. Sci. Vol. 26. p 373-382.
- Harahap, I.Y. 2007. Metode pengikuran standing biomass pertumbuhan tandan buah untuk analisis respon fisiologis kelapa sawit. Jurnal Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 15 (2): 63-68.
- Henson, I.E. 1992. Carbon assimilation, respiration, and productivity of young oil palm (*Elaeis guineensis*). Elaeis 4(2). Palm Oil Research Institute of Malaysia. : p 51-59
- Henson, I.E. and M.H. Harun. 2005. The influence of climatic conditions on gas and energy exchanges above a young oil palm stand in North Kedah, Malaysia. Journal of Oil Palm Research Vol. 17: p 73-91
- Herman, F. Agus, dan Irsal Las. 2009. Analisis finansial dan keuntungan yang hilang dari pengurangan emisi karbon dioksida pada perkebunan kelapa sawit. Jurnal Litbang Pertanian. 28(4).
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Wosten, and S. Page. 2006. Peat CO₂, assessment of CO₂ emission from drained peatlands in SE Asia. Wetland International and Delft Hydraulics report Q3943.
- Hsu, Y.W., S.K. Singh, M.Y. Chiang, Y.Y. Wu, and I.F. Chang. 2009. Strategies to lower greenhouse gas level by rice agriculture. African Journal of Biotechnology Vol. 8 (2), pp. 126-132.
- Kook, W.C. 2005. Best development practices and sustainable development of the oil palm industry. Journal of Oil Palm Research Vol.17. p 124 – 135.
- Lamade, E., E. Setiyo, and S. Barthod. 2007. Global warming and its effects on soil respiration and carbon budget of the oil ecosystem. International Conference on Oil Palm and Environment 2007, Bali, Indonesia. 16 p.

- Lamade, E. and E. Setiyo. 1996. Variation in maximum photosynthesis of oil palm in Indonesia: Comparison of three morphologically contrasting clones. *Plantations, rechere, development (Physiology)*. Novembre-Decembre, 1996: 429-438.
- Yadvinder, M. 2010. The carbon balance of tropical forest regions, 1990–2005. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. Vol. 2, pp 237-244.
- Melling, L., K.J. Goh, and R. Hatano. 2007. Comparative study between greenhouse gas fluxes from a forest and an oil palm plantation on tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *International Conference on Oil Palm and Environtment 2007*, Bali, Indonesia. 6 p.
- Mc Cree, K.J. 1974. Equation for rate dark respiration of white clover and grain sorghum, as function of dry weight, photosynthetic rate, and temperature. *Crop Sci.* 14:509-514.
- Reijnders L. and M.A.J. Huijbregts. 2008. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 16 pp. 477-482.
- Reijnders L., M.A.J. Huijbregts. 2008. Biogenic greenhouse gas missions linked to the life cycles of biodiesel derived from European rapeseed and Brazilian soybeans. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 16 pp. 1943-1948.
- Rumbang, N., B. Radjagukguk, dan D. Prajitno. 2009. Emisi kabon dioksida (CO_2) dari beberapa tipe penggunaan lahan gambut di Kalimantan. *Jornal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. Vol.9 no.2. hal: 95 – 102.
- Sajjad, S.H., N. Blond, A. Clappier, A. Raza, S.A. Shirazi and K. Shakrullah. 2010. The preliminary study of urbanization, fossil fuels consumptions and CO_2 emission in Karachi. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9(13), pp. 1941-1948.
- Sheikh, M.A., M. Kumar, and R.W. Bussmann. 2009. Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf temperate forests in Garhwal Himalaya. *Carbon Balance and Management Journal* Vol.4 no.6.
- Susandi, A., I. Herlianti, M. Tamamadin, I. Nurlela. 2008. Dampak perubahan iklim terhadap ketinggian muka laut di wilayah Banjarmasin. *Jurnal Ekonomi Lingkungan* Vol.12 No.2.
- Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. *Plant physiology* 3rd edition. Sinauer Associates Publisher. 690 page.
- Wicke, B., V. Dornburg, M. Junginger, and A. Faaij. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass And Bioenergy* Vol. 32 p.1322–1337



Lampiran 1. Penghitungan neraca karbon.

Prinsip neraca karbon pada pertanaman kelapa sawit, dapat digambarkan pada persamaan (1) berikut.

$$[\text{CO}_2]_{\text{emisi}} = -[\text{CO}_2]_{\text{fotosintesis}} + \{ [\text{CO}_2]_{\text{respirasi}} + [\text{CO}_2]_{\text{tanah}} \} \quad (1),$$

dimana,

- $[\text{CO}_2]_{\text{emisi}}$: Jumlah gas karbon dioksida yang diemisikan ke atmosfer (ton/ha/tahun)
- $[\text{CO}_2]_{\text{fotosintesis}}$: Jumlah gas karbon dioksida yang difiksasi pertanaman pada proses fotosintesis (ton/ha/tahun)
- $[\text{CO}_2]_{\text{respirasi}}$: Jumlah gas karbon dioksida yang dilepaskan tanaman kelapa sawit sebagai hasil aktivitas respirasi untuk pertumbuhan dan perawatan organ tanaman (ton/ha/tahun)
- $[\text{CO}_2]_{\text{tanah}}$: Jumlah gas karbon dioksida yang diemisikan dari permukaan tanah pertanaman kelapa sawit (ton/ha/tahun).

Lampiran 2. Penghitungan Respirasi Tanaman.

Tanaman melakukan aktivitas respirasi untuk dua tujuan, yaitu respirasi yang menghasilkan energi untuk pembentukan struktur jaringan tanaman dan yang menghasilkan energi untuk mempertahankan atau merawat struktur jaringan tanaman. Formulasi kedua bentuk respirasi tersebut dalam persamaan tunggal (2)

$$R_{\text{total}} = aA + bW \quad (2)$$

dimana,

R_{total} : Respirasi total (kg CH₂O)

A : Asimilat hasil fotosintesis harian (kg CH₂O)

W : Bobot biomassa tanaman (kg)

Koefisien a dan b adalah koefisien respirasi.

Koefisien a dikenal dengan koefisien respirasi pertumbuhan tanaman (kebalikan dari faktor konversi dari satuan asimilat ke bahan kering), yang nilainya ditentukan dari analisis komposisi biokimia organ tanaman, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Komposisi biokimia tiap organ tanaman dan kesetaraannya terhadap asimilat^{**}.

Organ	Komposisi biokimia dalam persen bobot kering						Kebutuhan kg CH ₂ O kg ⁻¹ bahan kering ^{**}
	Karbohidrat	Lipida	Lignin	Asam organik	Protein	Mineral	
Daun	0,75	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	1,44
Batang	0,02	0,20	0,20	0,02	0,04	0,04	1,52
Akar	0,02	0,20	0,20	0,02	0,03	0,02	1,54
Tandan buah	0,48	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	2,31
Kesetaraan CH ₂ O	1,32	3,33	2,27	0,98	2,00	0,10	

^{*) misal kebutuhan asimilat (faktor konversi) untuk daun dihitung sebagai}

$$0,75 \times 1,32 + 0,05 \times 3,33 + 0,05 \times 2,27 + 0,05 \times 0,98 + 0,06 \times 2,00 + 0,04 \times 0,01 = 1,44 \text{ kg CH}_2\text{O kg}^{-1} \text{ bahan kering}$$

^{**) Sumber : Dufrene, 1989}

Koefisien b dikenal dengan koefisien perawatan tanaman, yang nilainya ditentukan dari analisis keseimbangan asimilat. Laju respirasi tersebut dapat dideterminasi melalui analisis keseimbangan asimilat berikut

$$dA = dA_g + dA_m \quad (3)$$

dimana,

dA : Asimilat fotosintesis (kg CH₂O per hari)

dA_g : Bagian asimilat untuk pertumbuhan (kg CH₂O per hari)

dA_m : Bagian asimilat untuk perawatan (kg CH₂O per hari)

Bagian asimilat untuk pertumbuhan (dA_g), digunakan untuk penambahan masa tanaman (dW) dan respirasi pertumbuhan (dA_r)

$$dA_g = dW + dA_r \quad (4)$$

Apabila dA_g, dA_m, dan dA_r dapat diperoleh, maka laju respirasi total (R_{total}) dan koefisien respirasi perawatan (b) dapat dihitung sebagai berikut,

$$R_{\text{total}} = dA_r + dA_m \quad (5)$$

$$b = dA_m / W \quad (6)$$

Laju respirasi perawatan dapat dihitung dari persamaan (7), berikut

$$dA_m = b W Q_{10} \quad (7)$$

dimana,

Q_{10} : Kuosien suhu (tanpa satuan)



Lampiran 3. Penghitungan laju fotosintesis daun tunggal.

Efisiensi fotosintesis (α) merupakan nisbah penambahan fluks CO_2 yang masuk ke stomata daun terhadap peningkatan fluks radiasi yang diterima permukaan daun yang diukur pada skala daun tunggal. Sedang laju fotosintesis pada cahaya jenuh (P_{maks}) merupakan laju fotosintesis maksimum atau tertinggi yang dapat dicapai, sehingga peningkatan intensitas radiasi surya tidak dapat meningkatkan laju fotosintesis. Laju fotosintesis daun tunggal tersebut (Pl , $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$) dimodelkan sebagai (France dan Thornley, 1984).

$$Pl = (\alpha P_{maks}) / (\alpha + P_{maks}) \quad (8)$$

α : konstanta ($\text{g CO}_2 \text{ J}^{-1}$)

α : Intensitas cahaya yang diterima daun ($\text{J m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$)

P_{maks} : laju fotosintesis pada fluks cahaya jenuh ($\text{kg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ detik}^{-1}$)

Penurunan parameter hasil pengukuran laju fotosintesis pada berbagai kedudukan pelepasan daun kelapa sawit, yaitu pelepasan yang terletak di tajuk bagian atas diwakili oleh pelepasan ke-9, pelepasan yang terletak di tajuk bagian tengah diwakili oleh pelepasan ke-17, dan pelepasan yang terletak di tajuk bagian bawah diwakili oleh pelepasan ke-25, dilakukan dengan menggunakan teknik analisis regresi (kurva fitting).