

CARBON FOOTPRINT DALAM PROSES BUDIDAYA TANAMAN KARET DAN PRODUKSI BEBERAPA PRODUK KARET

Carbon Footprint of Rubber Cultivation and Several Rubber Products

Andi Nur Cahyo, Jamin Saputra, Mili Purbaya, dan Thomas Wijaya
Balai Penelitian Sembawa, Po Box 1127, Palembang 30001, Indonesia
e-mail : nurcahyo.andi@yahoo.co.uk

Diterima 6 Desember 2015 / Direvisi 10 Maret 2015 / Disetujui 15 Maret 2016

Abstrak

Salah satu komoditas pertanian yang memberikan andil dalam penyerapan dan emisi CO₂ adalah tanaman karet. Tulisan ini bertujuan untuk menghitung jumlah karbon yang diemisikan dan diserap (*Carbon Footprint/CF*) dalam proses budidaya tanaman karet mulai dari pembibitan, persiapan lahan, penanaman, dan pemeliharaan sampai tanaman diremajakan. Jumlah karbon yang diserap oleh tanaman karet diperoleh berdasarkan analisa C-organik sampel bibit tanaman karet baik yang masih berupa batang bawah, bibit polibeg dua payung dan tanaman karet klon GT1 pada saat diremajakan. Jumlah karbon yang diemisikan dihitung dari proses pembuatan bibit polibeg dua payung daun sampai tanaman diremajakan. Total emisi karbon yang dihasilkan mulai dari proses pembuatan bibit sampai peremajaan karet tua adalah 728,87 kg CO₂-e/tanaman. Sebaliknya total serapan karbon oleh tanaman karet selama satu siklus adalah 2.278,17 kg CO₂-e/tanaman untuk klon GT 1. Klon GT1 dalam satu siklus dapat menghasilkan 68,55 kg karet kering/tanaman, sehingga untuk memproduksi 1 kg karet kering telah diserap 33,23 kg CO₂ dan diemisikan 10,63 kg CO₂. Selain itu, untuk menghasilkan 1 kg produk karet remah, karet sit, atau lateks pekat, akan dihasilkan emisi karbon tambahan sebesar 0,313; 0,126; dan 0,151 kg CO₂-eq/kg produk yang dihasilkan berturut-turut. Karena itu, apabila dihitung mulai dari proses pembibitan tanaman karet, telah diserap karbon sebanyak 33,23 kg CO₂ dan diemisikan karbon sebanyak 10,94; 10,75; dan 10,78 kg CO₂-e untuk setiap

kg karet remah, karet sit, dan lateks pekat yang dihasilkan berturut-turut. Hal ini menunjukkan budidaya tanaman karet memberikan andil positif dalam penyerapan karbon dari atmosfer dan menekan pemanasan global.

Kata kunci : tanaman karet, *carbon footprint*, emisi dan penyerapan karbon

Abstract

CO₂-e/plant. On the other hand, total carbon sequestered of one life cycle of rubber tree was 2.278,17 kg CO₂-e/tree for GT1 clone. GT1 clone produced 68,55 kg dry rubber/tree/cycle, therefore to produce 1 kg of dry rubber, 33,23 kg CO₂ was sequestered and 10,63 kg CO₂ was emitted. Furthermore, to produce 1 kg of block rubber, ribbed smoked sheet, and concentrated latex would be produced totally 0,313; 0,126; and 0,151 kg CO₂-eq/kg respectively. Therefore, if counted start from rubber plant nursery had been sequestered CO₂ a totally 33,23 kg CO₂ and CO₂ emitted a totally 10,94; 10,75 ; and 10,78 kg for produced block rubber, ribbed smoke sheet, and concentrated latex continuously. It showed that rubber cultivation plant to give positive contribution on the carbon sequestration form atmosphere and reduced global warming.

Keywords : rubber plant, *carbon footprint*, carbon emission and sequestration

Pendahuluan

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah peningkatan suhu udara di permukaan

bumi yang disebut dengan pemanasan global. Meningkatnya suhu permukaan bumi ini disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer bumi. Dalam 100 tahun terakhir suhu Bumi telah meningkat sekitar 0,7° C (WWF, 2006). Selain itu suhu bumi juga diperkirakan meningkat sebesar 0,9 sampai dengan 2,5° C dari tahun 1990 hingga 2100 (Mearns, 2000; Reddy and Hogdes, 2000).

CO₂ adalah salah satu jenis gas rumah kaca yang saat ini meningkat konsentrasinya di atmosfer bumi. Meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer ini mempunyai korelasi yang positif terhadap terjadinya pemanasan global (NOAA, 2014). Bertambahnya konsentrasi CO₂ di atmosfer ini tidak terlepas dari kegiatan manusia sehari-hari. Salah satu kegiatan manusia yang menghasilkan emisi CO₂ adalah kegiatan pertanian. Menurut FAO (2009); Dong *et al.* (2013), sektor pertanian adalah penyumbang gas rumah kaca terbesar kedua di dunia. Di lain pihak, kegiatan pertanian juga turut menghambat terjadi pemanasan global melalui penyerapan CO₂ di atmosfer dalam proses fotosintesa. Sebagai contoh, tanaman karet menghasilkan klon GT1 dapat menyerap CO₂ sebanyak 2,05 ton/pohon (Kusdiana *et al.*, 2012).

Analisa jumlah karbon yang dihasilkan / diserap dalam proses budidaya dan pengolahan lateks tanaman karet ini dapat digunakan untuk menetapkan *Carbon Footprint* (CF) proses budidaya tanaman karet. CF yang merupakan indikator dari emisi gas rumah kaca dapat digunakan secara komprehensif untuk mengukur total emisi gas rumah kaca dari keseluruhan siklus suatu proses produksi (Finkbeiner, 2009; Dong *et al.*, 2013). Hasil analisa CF dapat diaplikasikan dalam level yang berbeda dalam rantai *supply* (Huang *et al.*, 2009; Dong *et al.*, 2013). Pada level produk, hasil analisa CF dapat membantu konsumen membangun kepedulian untuk mengkonsumsi produk yang ramah lingkungan. Pada level korporasi, hasil analisa CF dapat mendorong suatu perusahaan untuk meningkatkan citra produknya dengan mengadopsi strategi yang

dapat mengurangi emisi karbon. Pada level nasional, analisa CF dapat memfasilitasi partisipasi yang tepat dalam negosiasi internasional dalam hubungannya dengan iklim (Peters, 2010; Dong *et al.*, 2013).

Sehubungan dengan berbagai manfaat yang bisa didapat dari analisa CF tersebut, dalam tulisan ini dilakukan analisa mengenai CF dalam proses budidaya tanaman karet mulai dari penyiapan bibit sampai dengan tanaman di replanting dan perhitungan emisi karbon pada pengolahan karet RSS.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Balai Penelitian Sembawa pada bulan Desember 2013. Data serapan karbon oleh tanaman diambil melalui pengamatan langsung pada fase pembibitan karet dan melalui studi pustaka pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM), fase tanaman menghasilkan (TM), hingga saat *replanting* serta pengolahan karet menjadi karet remah, sit, dan lateks pekat. Klon tanaman karet yang digunakan dalam penelitian ini adalah klon Gt1.

Pada fase pembibitan, perhitungan jumlah serapan karbon dilakukan mulai dari persemaian biji sampai dengan bibit polibeg dua payung. Serapan karbon yang dihitung merupakan akumulasi karbon pada batang bawah tanaman karet umur 12 bulan (akar, batang, dan daun) dan bibit asal stum mata tidur yang telah berpayung dua (batang dan daun). Perhitungan jumlah serapan karbon yang terjadi pada bibit tanaman karet dilakukan dengan menggunakan metode pengabuan. Metode tersebut dilakukan dengan mengabukan contoh jaringan tanaman yang berasal dari akar, batang, dan daun seberat masing-masing satu gram dengan suhu 105° C selama dua jam dan suhu 300 °C selama dua jam, serta suhu 550° C selama tiga jam. Contoh tersebut ditimbang setelah berada pada suhu 105° C dan 550° C. Kadar C organik dapat dihitung

dengan rumus sebagai berikut (Association Official Agriculture Chemists, 2002; Balai Penelitian Tanah, 2009):

$$\begin{aligned} \text{Kadar abu (\%)} &= \frac{\text{berat abu}}{\text{berat contoh}} \times 100\% \\ \text{Kadarair(\%)} &= \frac{\text{berat contoh} - \text{berat kering}}{\text{berat contoh}} \times 100\% \\ \text{C - Organik (\%)} &= \frac{100\% - (\text{kadar abu} + \text{kadar air})}{1,724} \end{aligned}$$

Keterangan:

berat contoh = 1 g
berat abu = berat abu pada suhu 550°C
berat kering = berat contoh pada suhu 105°C
faktor koreksi = 1,724

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan serapan dan emisi karbon dalam tulisan ini dihitung pada saat fase bibit, TBM, TM, dan proses produksi karet.

Serapan dan Emisi Karbon pada Fase Pembibitan Karet

Kegiatan pertanian mempunyai dua potensi yang berlawanan, yaitu menyerap maupun melepaskan karbon (Taylor *et al.*, 2013). Untuk mengetahui jumlah karbon yang diserap maupun yang dihasilkan dalam proses produksi bibit karet, berikut ini disajikan hasil analisa serapan/produksi CO₂ dari kegiatan produksi bibit tanaman karet di Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet.

Serapan Karbon Bibit Karet

Dari hasil analisa kandungan karbon pada bibit tanaman karet, didapatkan hasil bahwa dalam proses pembuatan bibit polibeg mulai dari kecambah hingga bibit okulasi dua payung, akumulasi karbon yang terserap oleh bibit tanaman karet adalah 0,099 kg karbon per bibit atau setara dengan 0,363 kg CO₂ per bibit. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan bibit tanaman karet telah memberikan andil dalam pengurangan jumlah karbon di atmosfer yang merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca yang memicu terjadinya pemanasan global.

Emisi Karbon Bibit Karet

Dalam proses pembuatan bibit karet, selain terjadi serapan karbon oleh proses fotosintesa bibit tanaman karet, juga terjadi emisi karbon yang terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk menghitung emisi karbon dari proses pembuatan bibit karet tersebut, terdapat beberapa metode yang dapat diikuti, diantaranya adalah metode berdasarkan rekomendasi dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006; Dong *et al.*, 2013) dan *The World Resources Institute* (Dong *et al.*, 2013). Menurut IPCC, gas rumah kaca yang dihitung meliputi emisi gas rumah yang diemisikan secara langsung dari kegiatan pertanian (pengolahan lahan, pemupukan, penggunaan pestisida, dan lain sebagainya) maupun secara tidak langsung, yaitu karbon yang dilepaskan karena penggunaan energi untuk proses produksi pertanian (pembakaran bahan bakar fosil dan penggunaan energi listrik). Di lain pihak, menurut WRI, penentuan emisi gas rumah kaca dilihat dari tiga sudut pandang. Pertama adalah emisi langsung dari sektor pertanian, misalnya emisi karbon yang ditimbulkan dalam proses pengolahan tanah, penggunaan pestisida, pemupukan, dan pembakaran bahan bakar fosil (misalnya yang diperlukan untuk proses irigasi). Kedua adalah emisi karbon yang ditimbulkan oleh tenaga listrik yang dibeli untuk sektor pertanian (listrik PLN). Ketiga adalah emisi karbon yang tidak langsung, yaitu emisi yang ditimbulkan dalam proses produksi produk energi maupun input kimiawi pertanian yang digunakan. Dalam proses pembuatan bibit karet, terdapat beberapa kegiatan yang memberikan andil terhadap terjadinya emisi karbon ke atmosfer, diantaranya adalah kegiatan pengolahan lahan, irigasi, perlindungan tanaman dari serangan penyakit, pemupukan, dan transportasi. Dari masing-masing kegiatan tersebut, terjadinya emisi karbon dapat dilihat dari sudut pandang pertama dan atau ketiga.

1. Kegiatan persiapan lahan

Kegiatan persiapan ini ditujukan untuk mempersiapkan lahan yang representatif bagi penanaman batang bawah bibit tanaman karet. Kegiatan pengolahan lahan ini meliputi kegiatan pembajakan dan penggaruan yang dilakukan dua kali dengan interval dua minggu. Diantara kegiatan pembajakan dan penggaruan ini juga terdapat kegiatan pengayapan untuk mengambil sisa-sisa akar ataupun serpihan kayu yang mungkin terdapat pada lahan tersebut. Hal ini ditujukan agar lahan tersebut bebas dari penyakit jamur akar putih (Balai Penelitian Sembawa, 2012).

Dari kegiatan persiapan lahan tersebut, apabila dilihat dari sudut pandang pertama, terdapat dua sumber emisi karbon, yaitu emisi karbon yang berasal langsung dari dalam tanah yang diolah serta emisi karbon yang ditimbulkan dari pembakaran bahan bakar minyak untuk traktor yang digunakan untuk membajak dan menggaru lahan. Sanford *et al.* (2012) menyebutkan bahwa karbon organik tanah sangat sensitif terhadap manajemen lahan pertanian. Six *et al.* (2002); Soussana dan Lemaire (2014) juga menyebutkan bahwa penumpukan karbon lebih banyak terjadi pada lapisan tanah topsoil. Sebenarnya karbon organik tanah apabila tidak diganggu dapat bertahan di dalam tanah hingga beberapa abad.

Untuk kegiatan penanaman batang bawah, biasanya lahan yang diolah tanahnya adalah lahan bekas karet tua yang diremajakan. Dari hasil pengamatan di Balai Penelitian Sembawa, kandungan karbon organik tanah pada kedalaman 0–40 cm berubah dari 3,40 ke 3,32% akibat pengolahan tanah. Apabila diasumsikan bahwa berat volume (BV) tanah adalah sebesar 1,35 g/cm³, maka besarnya kehilangan karbon dalam satu hektar mencapai 4,32 ton untuk kedalaman 40 cm. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan pembajakan lahan yang menjadikan lapisan tanah terbalik dan tercampur serta agregatnya terpecah akan mempercepat pelepasan karbon organik tanah ke atmosfer (Paustian *et al.*, 1998; Conant *et al.*, 2007; Soussana dan Lemaire, 2014). Apabila dalam satu hektar

lahan batang bawah kerapatan tanamnya sekitar 55.000 bibit batang bawah (jarak tanam 30 x 40 x 50 cm dengan persentase kehidupan kecambah karet saat pemindahan dari bedengan perkecambahan ke lahan batang adalah 80%) dan persentase keberhasilan okulasi adalah 80%, maka kegiatan pengolahan lahan untuk menghasilkan satu bibit batang bawah telah menghasilkan emisi karbon sebanyak 98,18 gram/bibit atau setara dengan 359,99 gram CO₂/bibit.

Selain karbon yang dilepaskan langsung dari tanah yang diolah, emisi karbon pada proses pengolahan lahan juga terjadi dari penggunaan bahan bakar traktor yang digunakan untuk mengolah lahan. Dari hasil wawancara dengan pihak kebun percobaan Balai Penelitian Sembawa, diketahui bahwa untuk mengolah satu hektar lahan penanaman batang bawah bibit karet, dibutuhkan 17 jam kerja traktor. Dalam satu jam kerja traktor dibutuhkan sekitar 10 liter solar sebagai bahan bakarnya. Apabila dikalkulasikan, berarti untuk pengolahan lahan batang bawah seluas satu hektar, dibutuhkan bahan bakar solar sebanyak 170 liter. Menurut National Energy Foundation (NEF) (2005); De Rozari dan Suwari (2012) dalam kegiatan pembakaran satu liter bahan bakar solar, dihasilkan 2,68 kg CO₂. Hal ini berarti bahwa untuk pengolahan satu hektar lahan batang bawah dihasilkan emisi CO₂ sebanyak 455,6 kg CO₂. Selain CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran solar, dihasilkan juga gas rumah kaca lain yang berperan dalam pemanasan global, yaitu CH₄ dan N₂O. Dalam pembakaran satu liter bahan bakar solar untuk mesin *stationer* (bukan untuk transport), dihasilkan CH₄ dan N₂O berturut-turut sebesar 0,0038 dan 0,0077 kg CO₂-e (karbon dioksida ekuivalen) (Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia, 2013). Oleh karena itu, untuk pembakaran 170 liter solar, dihasilkan emisi CH₄ dan N₂O sebesar 0,65 dan 1,31 kg CO₂-e. Jadi, dalam penggunaan traktor untuk pengolahan lahan batang bawah, dihasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 457,57 kg CO₂-e.

Selain gas rumah kaca yang diemisikan langsung dari pembakaran bahan bakar untuk pengoperasian traktor, penggunaan bahan bakar minyak apabila dilihat dari sudut pandang ketiga menurut WRI juga telah memberikan emisi karbon ke atmosfer pada waktu produksi bahan bakar minyak tersebut. Apabila solar yang digunakan sebagai bahan bakar traktor diasumsikan sama dengan bensin dalam hal emisi karbon yang dihasilkan pada waktu memproduksinya, maka dalam menghasilkan satu liter solar telah diemisikan karbon sebanyak 0,85 kg atau setara dengan 3,12 kg CO₂ (Adler *et al.*, 2007; Graefe *et al.*, 2011).

Hal ini berarti bahwa apabila dalam pengolahan lahan untuk menanam batang bawah bibit karet diperlukan 170 liter solar sebagai bahan bakar traktor, dalam proses produksi solar tersebut telah diemisikan karbon sebanyak 144,5 kg karbon atau setara dengan 529,83 kg CO₂. Apabila diakumulasikan dengan jumlah gas rumah kaca hasil pembakaran solar untuk bahan bakar traktor, maka jumlah gas rumah kaca total yang diemisikan dari penggunaan solar untuk bahan bakar traktor adalah 987,40 kg CO₂-e. Apabila dalam satu hektar lahan batang bawah kerapatan tanamnya sekitar 55.000 bibit batang bawah (jarak tanam 30 x 40 x 50 cm) dan persentase keberhasilan okulasi adalah 80%, maka kegiatan persiapan lahan untuk menghasilkan satu batang bawah tanaman karet telah diemisikan gas rumah kaca sebanyak 22,44 gram CO₂-e. Tabulasi perhitungan emisi karbon dalam kegiatan

penyiapan lahan batang bawah dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada kegiatan penyiapan lahan batang bawah, telah dihasilkan emisi gas rumah kaca yang berasal tanah sebesar 15.839 kg CO₂/ha (359,99 gram CO₂/bibit) dan penggunaan solar untuk bahan bakar traktor sebesar 987,40 kg CO₂-e/ha (22,4 gram CO₂-e/bibit) dengan total emisi sebesar 16.826,4 kg CO₂-e/ha atau sebesar 382,39 gram CO₂-e untuk setiap bibit batang bawah yang dihasilkan.

2. Kegiatan penyiapan kecambah batang bawah

Kegiatan penyiapan kecambah batang bawah dimulai dengan kegiatan penyemaian biji batang bawah di bedengan perkecambahan. Dalam kegiatan ini, emisi karbon yang terjadi secara dominan disebabkan oleh penggunaan mesin pompa air untuk irigasi yang harus diberikan kepada kecambah karet secara rutin untuk menjaga kelembaban media tanam kecambah yang berupa pasir maupun serbuk gergaji. Media tanam di bedengan perkecambahan biji karet ini harus disiram pada pagi dan sore hari untuk memastikan kelembabannya terjaga. Untuk keperluan irigasi ini, diperlukan bahan bakar solar untuk menjalankan pompa air yang bermesin diesel sebanyak dua liter per hari untuk menyiram kecambah karet sebanyak dua juta kecambah. Penyiraman ini dilakukan selama minimal 21 hari. Hal ini disebabkan karena kecambah karet hanya diambil dari biji karet yang berkecambah

Tabel 1. Emisi CO₂ Kegiatan Pengolahan Lahan

Sumber Emisi CO ₂ Kegiatan Pengolahan Lahan	Emisi CO ₂
Emisi C tanah (kedalaman olah 40 cm)	4.320 kg C/ha ≈ 15.839 kg CO₂/ha
BBM traktor untuk pengolahan lahan :	
Emisi CO ₂ dari pembakaran BBM traktor	455,60 kg CO ₂ /ha
Emisi CH ₄ dari pembakaran BBM traktor	0,65 kg CO ₂ -e/ha
Emisi N ₂ O dari pembakaran BBM traktor	1,31 kg CO ₂ -e/ha
Emisi CO ₂ dari proses produksi BBM traktor	529,83 kg CO ₂ /ha
Total emisi CO ₂ dari pembakaran BBM traktor	987,40 kg CO₂-e/ha
Total Emisi CO ₂ Kegiatan Pengolahan Lahan/ha	16.826,4 kg CO₂-e/ha
Total Emisi CO ₂ Kegiatan Pengolahan Lahan/bibit	382,39 gCO₂-e/bibit

maksimal berumur 21 hari setelah penyemaian (Balai Penelitian Sembawa, 2012). Dengan penyiraman selama 21 hari ini, maka diperlukan 42 liter solar sebagai bahan bakar pompa air untuk menyiram 2 juta kecambah karet.

Apabila diasumsikan bahwa hanya daya kecambah 80% dan biji yang dapat bertahan hidup di lahan batang bawah 80%, serta persentase keberhasilan okulasi 80%, maka jumlah bahan bakar solar yang diperlukan untuk mengirigasi satu kecambah karet yang nantinya akan menjadi bibit polibeg dua payung adalah 41×10^6 liter solar. Jumlah solar tersebut ketika digunakan sebagai bahan bakar mesin pompa air, maka akan dihasilkan CO_2 , CH_4 , dan N_2O sebanyak $11 \times 10^5 \text{ kg}$, $158 \times 10^9 \text{ kg CO}_2\text{-e}$, dan $317 \times 10^9 \text{ kg CO}_2\text{-e}$ berturut-turut. Untuk mengirigasi satu batang kecambah karet telah diemisikan gas rumah kaca sebanyak $11 \times 10^5 \text{ kg CO}_2\text{-e}$.

Selain gas rumah kaca yang diemisikan langsung melalui pembakaran solar, jumlah karbon yang diemisikan dalam proses pembuatan solar sebanyak 41×10^6 liter adalah $35 \times 10^6 \text{ kg}$ atau setara dengan $12,83 \times 10^5 \text{ kg CO}_2$ (National Energy Foundation (NEF), 2005; De Rozari dan Suwari, 2012). Oleh karena itu total gas rumah kaca yang diemisikan dalam kegiatan penyiapan satu batang kecambah karet adalah $23,83 \times 10^5 \text{ kg CO}_2\text{-e}$ atau setara dengan 0,238 gram $\text{CO}_2\text{-e}$. Tabulasi perhitungan emisi karbon dalam kegiatan penyiapan kecambah batang bawah dapat dilihat pada Tabel 2.

3. Kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah

Dalam kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah, terdapat beberapa aktivitas yang menimbulkan emisi karbon yaitu kegiatan pindah tanam dari bedengan perkecambahan menuju lahan batang bawah serta kegiatan pemupukan yang secara tidak langsung menimbulkan emisi karbon. Kegiatan pindah tanam kecambah karet dari bedengan perkecambahan menuju lahan batang bawah menggunakan kendaraan bermotor sebagai sarana transportasi untuk menghemat waktu pindah tanam. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya cekaman kekeringan pada kecambah karet. Pemandahan kecambah ini juga menggunakan ember yang berisi air sebagai wadah bagi kecambah karet untuk menjaga kadar air dan mencegah kematian kecambah.

Kegiatan pemindahan kecambah dari bedengan perkecambahan ke kebun batang bawah ini memerlukan bahan bakar minyak sebesar dua liter bensin untuk mengangkut 35.000 kecambah karet.

Menurut Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia (2013), dari proses pembakaran satu liter bahan bakar minyak yang berupa bensin untuk transportasi, dihasilkan emisi gas rumah kaca yaitu CO_2 , CH_4 , dan N_2O berturut-turut sebesar 2,28 kg, 0,02 kg $\text{CO}_2\text{-e}$, dan 0,08 kg $\text{CO}_2\text{-e}$. Hal ini berarti bahwa untuk mengangkut 35.000

Tabel 2. Emisi CO_2 Kegiatan Penyiapan Kecambah Batang Bawah

Sumber e misi CO_2 kegiatan penyiapan kecambah batang bawah	Emisi CO_2 /bibit karet
Emisi CO_2 dari pembakaran BBM mesin irigasi	$11 \times 10^5 \text{ kg CO}_2$
Emisi CH_4 dari pembakaran BBM mesin irigasi	$158 \times 10^9 \text{ kg CO}_2\text{-e}$
Emisi N_2O dari pembakaran BBM mesin irigasi	$317 \times 10^9 \text{ kg CO}_2\text{-e}$
Emisi CO_2 dari pembuatan BBM mesin irigasi	$1283 \times 10^7 \text{ kg CO}_2$
Total emisi	$2383 \times 10^7 \text{ kg CO}_2\text{-e} \approx 0,238 \text{ g CO}_2\text{-e}$

kecambah karet, dihasilkan 4,76 kg CO₂-e yang diemisikan ke udara. Apabila diasumsikan bahwa persentase kecambah yang hidup di lapangan adalah 80% dan yang berhasil diokulasi adalah 80%, maka jumlah emisi karbon yang dihasilkan dari kegiatan transport 35.000 kecambah dari bedengan perkecambahan ke lahan batang bawah adalah 7,43 kg CO₂-e atau setara dengan 13 x 10⁻⁵ kg CO₂-e untuk setiap kecambah karet yang nantinya akan menjadi bibit polibeg.

Selain kegiatan pindah tanam kecambah dari bedengan perkecambahan ke lahan batang bawah, pemupukan juga merupakan salah satu kegiatan pemeliharaan batang bawah yang secara tidak langsung menimbulkan emisi karbon. Hal ini disebabkan karena dalam produksi pupuk N, P, dan K dihasilkan emisi karbon dengan jumlah 1.255,3; 61,9, dan 76,2 gram berturut-turut untuk setiap kilogram pupuk N, P, dan K yang dihasilkan (West et al., 2002; Graefe et al., 2011). Oleh karena itu, dalam kegiatan pemupukan lahan batang bawah yang totalnya memerlukan 4.365, 5.350, dan 1.755 kg/ha berturut-turut untuk pupuk urea, SP36, dan KCl selama satu tahun, diemisikan karbon sebanyak 5,94 ton karbon per hektar lahan batang bawah atau setara dengan 110 gram untuk setiap bibit batang bawah. Apabila diasumsikan bahwa bibit batang bawah yang terpakai/berhasil diokulasi sebanyak 80%, emisi karbon yang secara tidak langsung dihasilkan dari kegiatan pemupukan batang bawah adalah 140 gram karbon atau setara dengan 513,33 gram CO₂ untuk setiap bibit batang bawah yang terpakai.

Aplikasi pupuk urea di lapangan walaupun tidak menghasilkan karbon secara langsung, namun menghasilkan N₂O yang efeknya terhadap peningkatan pemanasan global sebesar 310 kali lipat CO₂ (Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia, 2013). IPCC (2006) dan Lesschen (2011) menyebutkan bahwa jumlah emisi N₂O dari pupuk N adalah 1% dari setiap jumlah N yang diaplikasikan ke lapangan. Dalam kegiatan pemupukan lahan batang bawah yang totalnya memerlukan 4.365 kg urea/ha telah diemisikan gas N₂O sebanyak 6.224,49 kg CO₂-e. Apabila diasumsikan bahwa bibit batang bawah yang terpakai/berhasil diokulasi sebanyak 80%, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan pemupukan batang bawah adalah 141,14 gram CO₂-e untuk setiap bibit batang bawah yang terpakai. Tabulasi perhitungan emisi karbon dalam kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah dapat dilihat pada Tabel 3. Jadi, dari kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah, secara keseluruhan dihasilkan emisi gas rumah kaca sebanyak 654,6 gram CO₂-e untuk setiap batang bawah yang dihasilkan.

4. Kegiatan pemeliharaan bibit di polibeg

Kegiatan pemeliharaan bibit di polibeg yang dapat menimbulkan emisi karbon meliputi kegiatan pengendalian penyakit,

Tabel 3. Emisi CO₂ Kegiatan Penanaman dan Pemeliharaan Batang Bawah

Sumber e misi CO ₂ kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah	Emisi CO ₂ /bibit karet
Bahan bakar transportasi kecambah dari bedengan perkecambahan ke lahan batang bawah	0,13g CO ₂ -e
Pemupukan :	513,33 g CO ₂
Proses produksi pupuk	141,14 g CO ₂ -e
Emisi N ₂ O pupuk urea	654,6 g CO₂-e
Total emisi	

irigasi, serta pemupukan. Kegiatan pengendalian penyakit tanaman karet dapat menimbulkan emisi karbon baik dilihat dari sudut pandang pertama maupun ketiga menurut WRI. Dari sudut pandang pertama, kegiatan pengendalian penyakit yang menggunakan fungisida ini menimbulkan emisi karbon, karena dalam pengaplikasiannya, digunakan mesin steam untuk menyemprotkan larutan fungisida ke bibit tanaman karet. Penggunaan mesin steam tersebut membutuhkan bensin sebagai bahan bakarnya.

Dari hasil wawancara dengan bagian pembibitan karet Balai Penelitian Sembawa, diketahui bahwa dibutuhkan 12 liter bahan bakar untuk pengendalian penyakit terhadap 270 ribu bibit polibeg tanaman karet. Dari penggunaan bahan bakar minyak tersebut dihasilkan CO_2 , CH_4 , dan N_2O berurut turut sebanyak 27,37kg, 0,082 kg CO_2 -e, dan 0,082 kg CO_2 -e (Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia, 2013). Dari perhitungan tersebut, untuk pengendalian penyakit satu buah bibit polibeg tanaman karet, diemisikan gas rumah kaca sebanyak 0,1 gram CO_2 -e dari proses penggunaan bahan bakar minyak untuk menjalankan mesin steamer. Bila dipandang dari sudut pandang ketiga menurut WRI, berdasarkan Adler *et al.* (2007); Graefe *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa dalam proses produksi satu liter bensin dihasilkan 3,12 kg CO_2 , maka proses produksi 12 liter bahan bakar minyak yang berupa bensin juga telah menghasilkan emisi CO_2 sebesar 37,4 kg atau setara dengan 0,14 gram untuk setiap bibit tanaman karet.

Selain emisi karbon yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar minyak untuk menjalankan mesin steamer, aplikasi fungisida juga menimbulkan emisi karbon apabila dilihat dari sudut pandang ketiga menurut WRI, yaitu emisi karbon yang ditimbulkan dalam proses pembuatan fungisida tersebut. Menurut Stout (1990); Graefe *et al.* (2011) proses produksi pestisida menghasilkan CO_2

sebanyak 25.652 g untuk setiap kg pestisida yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa untuk pengendalian penyakit bibit polibeg dengan dosis fungisida 2 gram/liter air untuk 5.000 bibit polibeg, dihasilkan CO_2 sebanyak 51,3 gram atau setara dengan 0.01 gram untuk setiap bibit polibeg yang dihasilkan.

Selain kegiatan pengendalian penyakit tanaman, kegiatan lainnya yang menimbulkan emisi gas rumah kaca adalah kegiatan irigasi. Seperti halnya kegiatan irigasi pada lahan batang bawah, irigasi pada bibit polibeg ini menimbulkan emisi karbon karena menggunakan bahan bakar minyak yang berupa solar untuk menjalankan pompa air yang bermesin diesel. Untuk melaksanakan kegiatan irigasi selama enam bulan, dibutuhkan bahan bakar minyak solar sebanyak kurang lebih 351 liter. Penggunaan bahan bakar ini dapat memenuhi kebutuhan air bibit tanaman karet sebanyak 270 ribu polibeg. Menurut NEF (2005); De Rozari dan Suwari (2012) dalam kegiatan pembakaran satu liter bahan bakar solar, dihasilkan 2,68kg CO_2 . Hal ini sesuai dengan perhitungan Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia (2013) yang menyatakan bahwa dalam pembakaran 1 liter solar untuk mesin yang tidak berpindah (*stationer*) dihasilkan gas rumah kaca berupa CO_2 , CH_4 , dan N_2O sebesar 2,67 kg; 0,003 kg CO_2 -e; dan 0,007 kg CO_2 -e, sehingga totalnya adalah 2,68 kg CO_2 -e. Hal ini berarti bahwa penggunaan bahan bakar solar sebanyak 351 liter menimbulkan emisi gas rumah kaca sebesar 940,68kg CO_2 -e. Jadi, untuk mengirigasi satu buah bibit polibeg, diemisikan 3,48 gram CO_2 -e dari penggunaan bahan bakar mesin pompa air.

Selain karbon yang diemisikan dari pembakaran solar untuk bahan bakar pompa air, emisi karbon juga dihasilkan pada saat bahan bakar tersebut diproduksi. Untuk memproduksi 351 liter bahan bakar minyak, dihasilkan 1.093,95 kg CO_2 . Untuk memproduksi bahan bakar yang digunakan untuk mengirigasi satu bibit polibeg diemisikan 4,05 gram CO_2 .

Selain kegiatan pengendalian penyakit dan irigasi, kegiatan lain yang menimbulkan emisi gas rumah kaca pada pemeliharaan bibit polibeg adalah kegiatan pemupukan bibit polibeg tanaman karet dilakukan setiap bulan sekali. Apabila bibit polibeg dipelihara hingga mencapai dua payung daun, berarti pemupukan dilakukan hingga bibit polibeg berumur enam bulan. Menurut Balai Penelitian Sembawa (2012), untuk pemupukan bibit polibeg tanaman karet hingga umur enam bulan, diperlukan pupuk urea, SP36, dan KCl sebanyak 32, 39, dan 13 gram/polibeg berturut-turut. Pupuk yang diaplikasikan tersebut apabila dilihat dari proses produksinya telah menghasilkan emisi CO₂ sebanyak 147,29; 8,83; dan 3,63 gram untuk pupuk urea, SP36, dan KCl yang diaplikasikan berturut-turut. Apabila dijumlahkan, dari proses produksi pupuk yang diberikan kepada satu bibit polibeg hingga berumur enam bulan dihasilkan emisi CO₂ sebanyak 159,75 gram. Selain itu, aplikasi pupuk urea di lapangan juga menghasilkan emisi gas rumah kaca berupa N₂O sebesar 1% dari setiap jumlah N yang diaplikasikan ke lapangan (IPCC, 2006; Lesschen, 2011), sehingga dari aplikasi pupuk urea sebesar 32 gram/polibeg dihasilkan N₂O sebesar 0,32 gram/polibeg atau setara dengan 99,2 gram CO₂-e/polibeg.

Tabulasi perhitungan emisi karbon dalam kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah dapat dilihat pada Tabel 4. Secara keseluruhan, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan pemeliharaan bibit di polibeg adalah 266,73 gram CO₂-e untuk setiap bibit polibeg yang dihasilkan.

5. Respirasi oleh bibit tanaman karet

Salah satu faktor yang menyebabkan emisi CO₂ dalam proses pembuatan bibit karet adalah proses respirasi dari bibit itu sendiri. Respirasi bibit terdiri atas respirasi bibit batang bawah selama kurang lebih satu tahun dan respirasi bibit dalam polibeg selama kurang lebih enam bulan untuk membentuk dua payung daun. Sangsing *et al.* (2004) menyebutkan bahwa tanaman karet klon GT1 mempunyai laju respirasi sebesar 1,67 μmol CO₂/m²/s. Dari hasil pengamatan di lapangan, diketahui bahwa rerata luas daun batang bawah yang berumur satu tahun dan bibit polibeg yang berumur enam bulan dengan jenis klon GT1 adalah 0,89 m² dan 0,12 m² berturut-turut. Apabila kenaikan laju respirasi seiring dengan pertumbuhan tanaman diasumsikan mendekati kurva linier, jumlah

Tabel 4. Emisi CO₂ Kegiatan Pemeliharaan Bibit di Polibeg

Sumber emisi CO ₂ kegiatan pemeliharaan Bibit di Polibeg	Emisi CO ₂ /bibit karet
Pengendalian penyakit :	
Pembakaran BBM mesin steamer fungisida	0,10 g CO ₂ -e
Proses produksi BBM mesin steamer fungisida	0,14 g CO ₂ -e
Proses produksi fungisida	0,01 g CO ₂
Total	0,25 g CO₂-e
Irigasi :	
Pembakaran BBM mesin irigasi	3,48 g CO ₂ -e
Proses produksi BBM mesin irigasi	4,05 g CO ₂
Total	7,53 g CO₂-e
Pemupukan :	
Proses produksi pupuk	159,75 g CO ₂
Emisi N ₂ O pupuk urea	99,20 g CO ₂ -e
Total	258,95g CO₂-e
Total emisi CO₂ kegiatan pemeliharaan bibit polibeg	266,73 g CO₂-e

CO₂ yang diemisikan dari proses respirasi bibit tanaman karet yang berupa batang bawah selama satu tahun dan bibit polibeg selama enam bulan berturut-turut badalah 519,70 dan 11,76 gram CO₂, sehingga totalnya adalah 531,46 gram Co₂

Perbandingan Serapan dan Emisi Karbon dalam Proses Produksi Bibit Karet Dua Payung Daun dalam Polibeg

Dari perhitungan serapan dan emisi karbon dalam proses produksi bibit karet dua payung daun dalam polibeg, diketahui bahwa jumlah emisi karbon yang dihasilkan lebih besar dari pada akumulasi jumlah karbon yang diserap oleh bibit tanaman karet. Rangkuman dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 5. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa dalam proses produksi bibit karet dua payung daun dalam polibeg dihasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 1835,42gram CO₂-e/tanaman. Emisi ini lebih besar dari pada akumulasi serapan CO₂ oleh bibit karet selama masa pertumbuhan mulai dari fase kecambah hingga diokulasi dan mencapai dua payung daun, yaitu sebesar 363 gram/tanaman.

Serapan dan Emisi Karbon pada Fase TBM dan TM Karet

Serapan Karbon

Serapan karbon pada tanaman karet sampai dengan satu siklus untuk klon GT 1 dan RRIM 600 cukup tinggi, yaitu masing-masing 561 dan 703 kg/tanaman atau setara dengan 2.057 dan 2.577 kg CO₂/tanaman untuk klon GT1 dan RRIM 600 (Kusdiana *et al.*, 2012). Serapan karbon tersebut dihitung dengan pengukuran bobot biomassa batang, cabang, daun, dan akar di lapangan, kemudian dianalisis kadar air untuk mengetahui biomassa kering, dan analisa C-Organik untuk mengetahui total karbon yang diserap untuk setiap tanaman.

Selain karbon yang terserap dalam batang, cabang, daun, dan akar, juga perlu diperhitungkan jumlah karbon yang terserap dalam lateks yang dipanen. Wijaya (2008) menyebutkan bahwa satu siklus tanaman karet klon GT1 pada kondisi iklim dengan curah hujan 1.500 – 3.000 mm/th dan bulan kering 3-4 bulan/tahun menghasilkan produksi karet sebesar 37,7 ton karet kering/ha. Hal ini berarti bahwa setiap batang tanaman karet dalam satu siklusnya memproduksi sebesar

Tabel 5. Hasil Perhitungan Akumulasi Serapan dan Emisi Karbon dalam Proses Pembuatan Bibit Karet dalam Polibeg dengan Dua Payung Daun

Parameter	Akumulasi serapan CO ₂ (gram/tanaman)	Emisi gas rumah kaca (gram CO ₂ -e/tanaman)
Bibit polibeg dua payung daun	363	
Kegiatan pengolahan lahan batang bawah		382,39
Kegiatan penyiapan kecambah batang bawah		0,24
Kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah		654,60
Kegiatan pemeliharaan bibit di polibeg		266,73
Respirasi oleh bibit karet		531,46
Total	363	1.835,42

68,55 kg karet kering. Jiang dan Wang (2002); Song *et al.* 2014 juga menyebutkan bahwa kandungan karbon dalam karet kering adalah 88%, sehingga karbon yang terkandung dalam lateks yang disadap dari setiap batang tanaman karet selama satu siklus adalah 60,32 kg atau setara dengan 221,17 kg CO₂.

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa total karbon yang terserap dalam batang, cabang, daun, akar, serta lateks yang disadap dari tanaman karet klon GT1 selama satu siklus adalah 2117,32 kg.

Pada kegiatan budidaya tanaman karet mulai dari persiapan lahan, penanaman, pemeliharaan sampai tanaman diremajakan.

Emisi Karbon (*replanting*), juga terjadi emisi karbon yang terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Selain itu, proses respirasi tanaman karet juga turut mengemisikan karbon ke lingkungan.

1. Persiapan lahan

Kegiatan persiapan lahan sama dengan persiapan lahan untuk pembibitan, sehingga pengolahan satu hektar lahan dihasilkan emisi CO₂ sebesar 15.839 kg. Apabila penanaman tanaman karet menggunakan jarak tanam 6x3 m, maka populasi tanaman adalah 555 tanaman/ha, sehingga emisi yang dihasilkan tiap tanaman untuk kegiatan persiapan lahan adalah 28,54kg CO₂.

2. Penanaman karet

Pada waktu penanaman karet, emisi gas rumah kaca dihasilkan pada waktu proses pengangkutan bibit. Pengangkutan bibit dari lokasi pembibitan sampai ke lokasi penanaman di Kebun Percobaan Balai Penelitian Sembawa menggunakan transportasi darat dengan truk dengan jarak kurang lebih 10 km membutuhkan BBM solar sebanyak dua liter untuk setiap 1500 bibit yang diangkut. Bahan bakar truk yang dipakai untuk transportasi tersebut menurut Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education Commonwealth of Australia

(2013) menghasilkan gas rumah kaca berupa CO₂, CH₄, dan N₂O sebanyak 5,34; 0,01; dan 0,03 kg CO₂-e berturut turut, atau totalnya adalah sebesar 5,38 kg CO₂-e. Selain itu, untuk menghasilkan 2 liter bahan bakar solar, dalam proses produksinya juga diemisikan CO₂ sebesar 6,23 kg, sehingga untuk mengangkut 1500 bibit karet telah diemisikan 11,61 kg CO₂-e. Pada waktu kegiatan penanaman karet, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan untuk mengangkut 1 buah bibit tanaman karet dari lokasi pembibitan ke lokasi penanaman adalah 7,74 gram CO₂-e.

3. Pemeliharaan tanaman (pemupukan dan pengendalian gulma)

Kegiatan pemeliharaan tanaman menghasilkan emisi gas rumah kaca dari bahan yang digunakan untuk kegiatan pemupukan dan pengendalian gulma (herbisida). Berdasarkan dosis umum pupuk untuk tanaman karet yang dikeluarkan Balai Penelitian Sembawa, satu siklus hidup TM karet totalnya membutuhkan pupuk urea, SP36, dan KCl sebanyak 8,45; 5,62; dan 6,95 kg/pohon berturut-turut (Balai Penelitian Sembawa, 2012). Dalam proses produksi pupuk N, P, dan K dihasilkan emisi karbon dengan jumlah 1.255,3; 61,9; dan 76,2 gram berturut-turut untuk setiap kilogram pupuk N, P, dan K yang dihasilkan (West *et al.*, 2002; Graefe *et al.*, 2011), sehingga secara tidak langsung pemupukan tanaman karet selama satu siklus telah mengemisikan karbon sebesar 11,48 kg/pohon atau setara dengan 42,09 kg CO₂/pohon. Hal lain yang menimbulkan emisi gas rumah kaca adalah proses pengangkutan pupuk dari gudang ke lahan pertanaman karet. Sekali angkut, satu truk dapat mengangkut sekitar 5 ton pupuk, sedangkan total kebutuhan pupuk N, P, K, dan Mg tanaman karet selama satu siklus totalnya adalah 22,95 kg. Apabila diasumsikan bahwa jarak pengangkutan pupuk adalah 10 km dan satu liter solar dapat dipakai untuk menempuh jarak 5 km, jumlah solar yang dibutuhkan

adalah 2 liter untuk sekali mengangkut pupuk. Penggunaan 2 liter bahan bakar solar ini mengemisikan gas rumah kaca berupa CO₂, CH₄, dan N₂O berturut-turut sebesar 5,34 kg CO₂; 0,015 kg CO₂-e; dan 0,038 kg CO₂-e atau totalnya sebesar 5,39 kg CO₂-e. Selain itu, untuk menghasilkan 2 liter bahan bakar solar, dalam proses produksinya juga diemisikan CO₂ sebesar 6,23 kg. Oleh karena itu, penggunaan 2 liter bahan bakar solar ini telah mengemisikan gas rumah kaca dengan total 11,61 kg CO₂-e. Hal ini berarti bahwa untuk mengangkut kebutuhan pupuk satu pohon karet selama satu siklus telah diemisikan gas rumah kaca sebesar 53,29 gram CO₂-e.

Selain dari proses produksi dan pengangkutan pupuk, emisi gas rumah kaca juga terjadi ketika pupuk urea diaplikasikan di lahan. Satu siklus hidup tanaman karet dibutuhkan pupuk urea sebesar 8,45 kg. Aplikasi pupuk urea di lapangan juga menghasilkan emisi gas rumah kaca berupa N₂O sebesar 1% dari setiap jumlah N yang diaplikasikan ke lapangan (IPCC, 2006; Lesschen, 2011), sehingga dari aplikasi pupuk urea sebesar 8,45kg/pohon dihasilkan N₂O sebesar 84,5 gram/pohon atau setara dengan 26,195 kg CO₂-e/pohon.

Dalam kegiatan pemeliharaan tanaman, aplikasi herbisida untuk pengendalian gulma juga menimbulkan emisi karbon apabila dilihat dari sudut pandang ketiga menurut WRI, yaitu emisi karbon yang ditimbulkan dalam proses pembuatan pestisida tersebut. Menurut Stout (1990); Graefe *et al.* (2011), dalam proses produksi pestisida, dihasilkan CO₂ sebanyak 25.652 g untuk setiap kg pestisida yang dihasilkan. Apabila untuk pengendalian gulma dibutuhkan 3 kg herbisida per tahun untuk masa tanaman belum menghasilkan dan 2 kg herbisida per tahun selama masa tanaman menghasilkan, dalam satu siklus hidup tanaman karet dibutuhkan herbisida untuk pengendalian gulma sebanyak 61 kg herbisida/hektar. Apabila diasumsikan

bahwa dalam satu hektar kerapatan tanamnya adalah 555 pohon, berarti satu pohon karet membutuhkan 0,11 kg herbisida untuk mengendalikan gulma di sekitar tanaman tersebut. Penggunaan herbisida ini secara tidak langsung mengemisikan CO₂ ke atmosfer sebesar 2,82 kg dalam proses produksinya.

Dari perhitungan di atas, dalam kegiatan pemeliharaan tanaman karet selama satu siklus, diemisikan gas rumah kaca dengan total sebesar 71,16 kg CO₂-e.

4. Respirasi tanaman karet

Respirasi tanaman karet merupakan salah satu proses fisiologis tanaman yang turut menyumbangkan gas rumah kaca (CO₂) atmosfer bumi. Sangsing *et al.* (2004) menyebutkan bahwa tanaman karet klon GT1 mempunyai laju respirasi sebesar 1,67 μmol CO₂/m²/s. Hal ini berarti bahwa jumlah karbon yang diemisikan melalui proses respirasi akan semakin besar seiring dengan semakin meningkatnya luas daun dan umur tanaman karet. Untuk fase TM karet, Ardika *et al.* (2011) menyebutkan bahwa luas daun tanaman karet menurun pada saat musim kemarau karena terjadi gugur daun. Dengan memperhitungkan dinamika indeks luas daun tanaman karet (fase TM) selama satu tahun (Ardika *et al.*, 2011), diketahui bahwa rerata luas daun tanaman karet (fase TM) adalah 19,68 m² per tanaman karet. Hal ini berarti bahwa jumlah CO₂ yang diemisikan oleh tanaman karet (fase TM) adalah 569,98 kg CO₂ selama 25 tahun.

Untuk perhitungan respirasi tanaman karet pada fase TBM, apabila diasumsikan bahwa rerata luasan daun selama lima tahun masa TBM adalah titik tengah antara luas daun bibit karet dalam polibeg dan TM karet, dapat diketahui bahwa rerata luas daun selama fase TBM adalah 9,9 m². Dari perkiraan luas daun selama fase TBM tersebut, dapat diketahui bahwa emisi CO₂ pada fase TBM selama lima tahun adalah 57,35 kg CO₂.

Tabulasi perhitungan emisi karbon dalam kegiatan penanaman dan pemeliharaan batang bawah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Emisi CO₂ pada Kegiatan Budidaya TBM dan TM Karet

Sumber emisi CO ₂ pada kegiatan budidaya TBM dan TM karet	Emisi CO ₂
Persiapan lahan	28,54 kg CO₂/tanaman
Penanaman karet	
Pembakaran BBM untuk pengangkutan bibit	5,38 kg CO ₂ -e/1500 bibit
Proses produksi BBM untuk pengangkutan bibit	6,23 kg CO ₂ -e/1500 bibit
Total	11,61 kg CO ₂ -e/1500 bibit ≈0,00774 kg CO₂-e/tanaman
Pemeliharaan tanaman :	
Proses produksi pupuk	42,09 kg CO ₂ /tanaman
Emisi N ₂ O pupuk urea	26,20 kg CO ₂ -e/tanaman
Proses pengangkutan pupuk	0,0533 kg CO ₂ -e/tanaman
Proses produksi herbisida	2,82 kg CO ₂ /tanaman
Total	71,16kg CO₂-e/tanaman
Respirasi pada fase TM	569,98 kg CO₂/tanaman
Respirasi pada fase TBM	57,35 kg CO₂/tanaman
Total emisi CO ₂ pada kegiatan budidaya karet fase TBM dan TM	727,03kg CO₂-e/tanaman

Tabel 7. Hasil Perhitungan Akumulasi Serapan dan Emisi Karbon dalam Budidaya Tanaman Karet

Parameter	Akumulasi serapan CO ₂ (kg/tanaman)	Emisi gas rumah kaca (kg CO ₂ -e/tanaman)
Tanaman karet klon GT 1 saat replanting	2.278,17	
Kegiatan persiapan lahan		28,54
Kegiatan penanaman tanaman karet		0,00774
Kegiatan pemeliharaan tanaman		71,16
Respirasi pada fase TBM dan TM		627,33
Total	2.278,17	727,037

Perbandingan serapan dan emisi karbon pada Fase TBM dan TM

Dari perhitungan serapan dan emisi karbon pada fase TBM dan TM karet, diketahui bahwa jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan jauh lebih kecil dari pada akumulasi jumlah karbon yang diserap oleh bibit tanaman karet. Rangkuman dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 7.

Emisi Karbon dalam Proses Pengolahan Karet

1. Pengangkutan hasil tanaman karet
Salah satu kegiatan yang juga memberikan andil terhadap emisi CO₂ dalam budidaya tanaman karet adalah proses pengangkutan hasil karet dari tempat pemungutan hasil ke pabrik pengolahan karet. Pengangkutan hasil tanaman karet yang berupa lateks dan lump

membutuhkan konsumsi solar sebagai bahan bakar kendaraan pengangkut sebanyak satu liter solar setiap lima kilometer jalan yang ditempuh. Apabila diambil asumsi bahwa sekali angkut kendaraan tersebut mampu mengangkut 5 ton lateks dan jarak tempuh dari tempat pemungutan hasil ke pabrik pengolahan karet adalah 10 km, bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengangkut satu ton lateks maupun lump adalah 0,4 liter solar. Apabila diambil asumsi bahwa lateks yang diangkut tersebut kadar karet keringnya adalah 30%, bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengangkut satu ton karet kering adalah 1,33 liter solar.

Pembakaran solar sebanyak 1,33 liter tersebut dapat menimbulkan emisi karbon berupa CO₂, CH₄, dan N₂O sebanyak 3,56; 0,006 dan 0,02 kg CO₂-e berturut turut, atau totalnya adalah sebesar 3,58 kg CO₂-e. Selain itu, untuk menghasilkan 1,3 liter bahan bakar solar, dalam proses produksinya juga diemisikan CO₂ sebesar 4,15 kg, sehingga untuk mengangkut satu ton karet kering telah diemisikan karbon sebanyak 7,74 kg CO₂-e.

2. Proses produksi karet remah, karet sit dan lateks pekat

Lateks yang berasal dari kebun sebagian besar diolah menjadi karet remah, karet sit dan lateks pekat. Dalam proses pengolahannya, diperlukan energi yang secara langsung maupun tidak langsung akan menghasilkan gas CO₂ dan gas-gas lain yang memberikan efek gas rumah kaca di bumi. Perhitungan emisi gas pada pabrik karet dilakukan dengan memperhatikan kegiatan-kegiatan pada pabrik pengolahan karet diantaranya produksi listrik, diesel, LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) dan ammonia, serta penggunaan diesel, LPG dan kayu bakar. Penggunaan bahan kimia dalam produksi lateks pekat didominasi oleh amonia (NH₃) sehingga perlu diperhitungkan dalam penentuan emisi produksi lateks pekat. Sedangkan untuk produksi karet remah dan karet sit, penggunaan bahan kimia relatif sedikit dan cenderung diabaikan.

Pengolahan air limbah dapat juga menghasilkan gas rumah kaca jika dalam

pengolahannya menggunakan sistem anaerobik yang akan menghasilkan gas metana (CH₄). Tetapi karena sebagian besar pabrik karet menggunakan sistem aerobik (kolam oksidasi) dimana emisi gas rumah kaca kecil dan dapat diabaikan dalam perhitungan emisi pabrik pengolahan karet.

Emisi gas rumah kaca pada pengolahan lateks pekat, karet remah dan karet sit dapat dilihat pada Tabel 8. Emisi gas rumah kaca tertinggi dihasilkan dari proses pengolahan karet remah yaitu sebesar 306 kg CO₂-eq/ton karet remah (Jawjit *et al.*, 2010), karena dalam produksi karet remah diperlukan proses mekanik yang menggunakan banyak energi listrik untuk mengoperasikan peralatan seperti mesin creper, shredder, pre-breakers, rotary cutters, slab cutters dan mesin kemas. Energi diesel dan LPG hanya digunakan untuk proses pengeringan. Pada pengolahan karet remah secara konvensional biasanya hanya menggunakan energi diesel, tetapi dalam perkembangannya, LPG telah juga dimanfaatkan untuk bahan bakar proses pengeringan karena penggunaan energi ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.

Emisi gas rumah kaca pada pengolahan lateks pekat sebesar 144 kg CO₂-eq/ton lateks pekat. Emisi gas tersebut sebagian besar diperoleh dari produksi listrik (62 kg CO₂-eq/ton lateks pekat) dan produksi amoniak (57 kg CO₂-eq/ton lateks pekat) (Jawjit *et al.*, 2010). Energi listrik dipergunakan untuk proses sentrifugasi untuk memisahkan lateks dari air dan kandungan bahan bukan karet lainnya, sedangkan amoniak digunakan untuk mencegah proses penggumpalan latek yang tidak diinginkan (*pracoagulation*).

Emisi gas rumah kaca terkecil dihasilkan dari pengolahan karet sit yaitu sebesar 119 kg CO₂-eq/ton karet sit (Jawjit *et al.*, 2010). Emisi ini dihitung berdasarkan jumlah emisi karbon dari proses produksi listrik, BBM diesel, penggunaan diesel, dan penggunaan bahan bakar kayu. Dari perhitungan proses produksi karet remah, karet sit, dan lateks pekat, apabila ditambahkan dengan emisi CO₂ dari proses pengangkutan lateks maupun lump dari kebun ke pabrik, jumlah CO₂ yang diemisikan dari

Tabel 8. Emisi gas rumah kaca dari pabrik pengolahan karet (dalam kg CO₂-eq/ton produk)

	Lateks pekat				Karet remah				Karet Sit			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -eq
I. Produksi bahan baku yang digunakan pada pabrik karet												
Produksi listrik	62	0,1	0,2	63	137	0,1	0,3	138	6	0,01	0,02	6
Produksi diesel	2	0,1	0	2	7	0,4	0	7	1	0,1	0	1
Produksi LPG	0	0	0	0	8	0,5	0	8	0	0	0	0
Produksi amoniak	57	0	0	57	0	0	0	0	0	0	0	0
II. Emisi dari pabrik karet												
Penggunaan diesel	22	0,02	0,1	22	74	0,08	0,2	74	11	0,01	0,03	11
Penggunaan LPG	0	0	0	0	79	0,03	0,04	79	0	0	0	0
Penggunaan bahan bakar kayu	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0,7	1	101
Total	143	0,2	0,2	144	305	1	1	306	117	1	1	119

Sumber: Jawjit *et al.*, 2010 (diolah)

proses produksi karet remah, karet sit, dan lateks pekat adalah 313,74; 126,74 dan 151,74 kg CO₂-eq/ton produk berturut-turut.

Perbandingan Serapan Neto Dan Emisi Karbon Dalam Produksi Karet

Pada tahap proses produksi bibit karet dua payung dalam polibeg emisi karbon yang dihasilkan sebesar 1835,42 gram CO₂-e/tanaman dan pada saat bibit ini ditanam di lapangan hingga diremajakan 30 tahun kemudian, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebesar 727,037 kg CO₂-e/tanaman. Jumlah total emisi karbon yang dihasilkan mulai dari pembuatan bibit sampai dengan peremajaan adalah sebesar 728,87 kg CO₂-e/tanaman. Selain emisi yang dihasilkan, tanaman karet juga mampu menyerap karbon dengan akumulasi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 2.057 kg CO₂-e/tanaman untuk klon GT 1 (Kusdiana *et al.*, 2012) ditambah dengan

karbon yang terserap dalam lateks adalah 221,17 kg CO₂ sehingga totalnya adalah 2.278,17 kg CO₂. Oleh karena itu, walaupun dalam proses produksi bibit polibeg dua payung daun lebih banyak gas rumah kaca yang diemisikan dibandingkan dengan jumlah karbon yang terserap, dalam fase TBM dan TM jumlah karbon yang terserap jauh lebih tinggi dari pada jumlah gas rumah kaca yang dihasilkan. Oleh karena itu kegiatan budidaya tanaman karet ini tetaplah ramah lingkungan.

Satu siklus tanaman karet klon GT1 pada kondisi iklim dengan curah hujan 1.500 – 3.000 mm/th dan bulan kering 3-4 bulan/tahun menghasilkan produksi karet sebesar 37,7 ton karet kering/ha (Wijaya, 2008), sehingga produksi setiap batang tanaman karet dalam satu siklusnya sebesar 68,55 kg/tanaman. Oleh karena itu, untuk memproduksi 1 kg karet kering, telah diemisikan karbon sebanyak 10,63 kg CO₂-e dan diserap karbon sebanyak 33,23 kg CO₂-e

dalam proses budidaya tanaman karet. Apabila hasil lateks yang didapatkan dari tanaman karet ini akan diolah lagi menjadi karet remah, karet sit, atau lateks pekat, berarti total emisi karbon yang dikeluarkan mulai dari proses pembibitan hingga menjadi beberapa produk tersebut adalah 10,94; 10,75 dan 10,78 kg CO₂-e untuk setiap kg karet remah, karet sit, dan lateks pekat yang dihasilkan. Apabila dibandingkan dengan jumlah karbon yang diserap, jumlah karbon yang diemisikan mulai dari tahap pembibitan hingga menjadi produk karet remah, karet sit, dan lateks pekat jauh lebih kecil dari pada jumlah karbon yang diserap oleh tanaman karet.

Kesimpulan

Budidaya tanaman karet merupakan kegiatan yang menyerap sekaligus mengemisikan karbon. Total emisi karbon yang dihasilkan dalam budidaya tanaman karet mulai dari pembuatan bibit sampai peremajaan adalah 728,87 kg CO₂-e /tanaman. Sebaliknya total serapan karbon oleh tanaman karet selama satu siklus adalah 2.278,17 kg CO₂-e/tanaman untuk klon GT 1. Klon GT1 dalam satu siklus dapat menghasilkan 68,55 kg karet kering/tanaman, sehingga dalam budidaya tanaman karet, untuk menghasilkan 1 kg karet kering, telah diserap karbon sebanyak 33,23 kg CO₂-e dan diemisikan karbon sebanyak 10,63 kg CO₂-e. Apabila lateks yang dihasilkan akan dibuat menjadi karet remah, karet sit, atau lateks pekat, menghasilkan emisi karbon tambahan sebesar 0,313; 0,126; dan 0,151 kg CO₂-eq/kg produk berturut-turut. Oleh karena itu, dalam proses produksi karet remah, karet sit, dan lateks pekat mulai dari tahap pembibitan karet hingga menjadi produk karet, telah diserap karbon sebanyak 33,23 kg CO₂-e dan diemisikan karbon sebanyak 10,94; 10,75; dan 10,78 kg CO₂-e untuk setiap kg karet remah, karet sit, dan lateks pekat yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa budidaya tanaman karet telah memberikan andil yang positif dalam penyerapan karbon dari atmosfer dan dapat menekan terjadinya pemanasan global.

Daftar Pustaka

- Adler, P.R., Del Grosso, S. J., and Parton, W. J. (2007). Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecological Applications*, 17(3), 75 – 91.
- Ardika, R., Cahyo, A. N., dan Wijaya, T. (2011). Dinamika Gugur Daun dan Produksi Berbagai Klon Karet Kaitannya dengan Kandungan Air Tanah. *Jurnal Penelitian Karet*, 19(2), 102 – 109.
- Association Official Agriculture Chemists. (2002). Official Methods of Analysis of AOAC Internasional. Volume I. In Horwitz, W. (Eds.), *Agricultural Chemical, Contaminants, Drugs* (pp. 2.5-2.37). Maryland, AOAC Internasional, 17th edition
- Balai Penelitian Sembawa. (2012). *Saptabina Usahatani Karet Rakyat*. Palembang : Balai Penelitian Sembawa.
- Balai Penelitian Tanah. (2009). *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor : Balai Penelitian Tanah.
- Conant, R.T., Paustian, K., and Elliott, E.T. (2001). Impacts of periodic management and conversion into grasslands: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11, 343 – 355.
- de Rozari, P. dan Suwari. (2012). Analisis Kebutuhan Luasan Hutan Kota Berdasarkan Penyerapan CO₂ Antropogenik di Kota Kupang. *Jurnal Bumi Lestari*, 12(2), 189 – 200.
- Dong, G., Mao, X., Zhou, J., and Zeng, A. (2013). Carbon footprint accounting and dynamics and the driving forces of agricultural production in Zhejiang Province, China. *Ecological Economics*, 91, 38 – 47.
- Food and Agriculture Organization. (2009, Oktober). Food Security and Agricultural Mitigation in Developing Countries: Options for Capturing Synergies. Diakses dari www.fao.org/docrep/012/i1318e/i1318e00.pdf.

- Finkbeiner, M. (2009). Carbon footprinting—opportunities and threats. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 91–94.
- Graefe, S., Dufour, D., Giraldo, A., Muñoz, L. A., Mora, P., Solís, H., Garce's, H., and Gonzalez, A. (2011). Energy and carbon footprints of ethanol production using banana and cooking banana discard: A case study from Costa Rica and Ecuador. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2640–2649.
- Huang, Y. A., Weber, C. L., and Matthews, H. S. (2009). Categorization of scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting. *Environmental Science & Technology*, 43, 8509–8515.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, *The National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Diakses dari http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf
- Jawjit, W., Kroeze, C., and Rattanapan, S. (2010). Greenhouse gas emissions from rubber industry in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 30, 1–9.
- Jiang, J.S., and Wang, R.S. (2002). Fuction of carbon sequestration and oxygen release of rubber plantations and its value estimation. *Acta Ecologica Sinica*, 22, 1545–1551.
- Kusdiana, A. P. J., Alamsyah, A., Hanifarianty, S., dan Wijaya, T. (2012). Estimasi Fiksasi CO₂ oleh Klon Karet RRIM 600 dan GT 1. *Prosiding Konferensi Nasional Karet*, Yogyakarta, September 2012.
- Mearns, L.O. (2000). Climate change and variability. In Reddy, K.R and Hodges, H.F (Eds), *Climate change and global crop productivity* (p 735). New York : CAB International.
- National Energy Foundation. (2005). *CO₂ Calculator*. Diakses dari <http://www.nef.org.uk/energyadvice/co2calculator.htm>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2014). How do we know the Earth's climate is warming?. Diakses dari www.ncdc.noaa.gov
- Paustian, K., Cole, C.V., Sauerbeck, D., and Sampson, N. (1998). CO₂ mitigation by agriculture: an overview. *Climatic Change*, 40, 135–162.
- Peters, G.P. (2010). Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2, 245–250.
- Reddy, K.R. and Hogdes, H.F. (2000). Climate change and global crop productivity : An Overview. In Eds Reddy, K.R and Hodges, H.F (Eds.), *Climate change and global crop productivity* (p 15). New York : CAB International.
- Sanford, G. R., Posner, J. L., Jackson, R. D., Kucharik, C. J., Hedtcke, J. L., and Lin, T. (2012). Soil carbon lost from Mollisols of the North Central U.S.A. with 20 years of agricultural best management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 162, 68–76.
- Sangsiang, K., Kasemsap, P., Thanisawanyangkura, S., Gohet, E., and Thaler, P. (2004). Respiration Rate and a Two-component Model of Growth and Maintenance Respiration in Leaves of Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Kasetsart Journal of Natural Science*, 38(3), 320–330.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., and Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176.
- Song, Q.H., Tan, Z.H., Zhang, Y.P., Sha, L.Q., Deng, X.B., Deng, Y., Zhou, W.J., Zhao, J.F., Zhao, J.B., Zhang, X., Zhao, W., Yu, G.R., Sun, X.M., Liang, N.S., and Yang, L.Y. (2014). Do the rubber plantations in tropical China act as large carbon sinks?. *Forest*, 7, 42–47.
- Soussana, J.F., and Lemaire, G. (2014). Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agricultural Ecosystem Environment*. 190, 9-14.
- Stout, B.A. (1990). *Handbook of energy for world agriculture*. 1st ed. London : Elsevier Applied Science.

- Taylor, A. M., Amiro, B.D., and Fraser, T. J. (2013). Net CO₂ exchange and carbon budgets of a three-year crop rotation following conversion of perennial lands to annual cropping in Manitoba, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 182, 67 – 75.
- West, T.O. and Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agricultural Ecosystem Environment*, 91, 17–32.
- Wijaya, T. (2008). Kesesuaian Tanah dan Iklim untuk Tanaman Karet. *Warta Perkaretan*, 27(2), 34 -44.
- World Wide Fund for Nature. (2006, April 21). *Pemanasan Global Tema Hari Bumi Tahun Ini*. Diakses dari : <http://www.wwf.or.id/?2960/>