

Analisis sumber utama emisi gas rumah kaca pada perkebunan kelapa sawit dengan pendekatan *life cycle assessment*

D. Harimurti^{1*}, Hariyadi², E. Noor³

¹Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

²Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

³Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan pesat. Dibalik perkembangan pesat komoditas kelapa sawit, bermunculan masalah dan isu negatif mengenai perkebunan kelapa sawit sebagai penyebab kerusakan lingkungan dan peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi GRK yang ditimbulkan dari kegiatan perkebunan kelapa sawit dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA adalah suatu metode untuk melakukan analisis dan evaluasi secara menyeluruh dari dampak lingkungan dalam siklus hidupnya. Tahapan metode LCA adalah *goal and scope definition*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment*, dan *life cycle interpretation*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi GRK yang ditimbulkan dalam kegiatan perkebunan kelapa sawit selama 1 siklus berbeda-beda. Emisi GRK yang ditimbulkan pada fase TM (umur tanaman >3 tahun) menjadi yang terbesar dengan rata-rata 1887,64 kg CO₂-eq/Ha, sementara emisi GRK pada fase TBM (umur tanaman 0-3 tahun) sebesar 989,63 kg CO₂-eq/Ha. Sumber terbesar menyumbang emisi berasal dari kegiatan pemupukan. Pada fase TM, kegiatan pemupukan menyumbang emisi GRK sebesar 920,22 kg CO₂-eq/Ha dengan jenis pupuk paling dominan menyumbang emisi GRK adalah pupuk urea dan MOP yaitu sebesar 369,67 kg CO₂-eq/Ha dan 179,56 kg CO₂-eq/Ha.

Abstract.

There is rapid increase of development in palm oil plantations in Indonesia. However, with the increase of development there are also an increase of issues with regards of environmental damage in the form of Greenhouse gasses (GHG). This study aims to analyze GHG emissions in palm oil plantation activities using the Life Cycle Assessment (LCA) method. This method is able to thoroughly analyze and evaluate environmental impacts during a life cycle. The LCA method is divided into a few stages; goal and scope definition, life cycle inventory, life cycle impact assessment, and life cycle interpretation. The research shows that the amount of GHG emissions that are produced during a life cycle are different. The biggest contributor to GHG emissions is in the yielding (mature) plant phase with an average of 1887.64 kg CO₂-eq/Ha whilst GHG emissions from young (immature) plants are 989.63 kg CO₂-eq/Ha. The biggest source of emissions from each of these stages is in the fertilizing activities during the planting period, which is an average of 920.22 kg CO₂-eq/Ha. The most dominant type of fertilizer to generate GHG emissions is urea fertilizer and MOP which is 369.67 kg CO₂-eq/Ha and 179.56 kg CO₂-eq/Ha.

Keywords: fresh fruit bunches, fertilizer, life cycle assessment, greenhouse gases

Kata kunci: tandan buah segar, pemupukan, *life cycle assessment*, gas rumah kaca

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dewasa ini perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan pesat, hal ini ditunjukkan dengan adanya permintaan CPO yang cukup signifikan. Pada tahun 1967, produksi *Crude Palm Oil* (CPO) sebesar 167.669 ton, kemudian jauh meningkat pada tahun 2017 menjadi 41,98 juta ton. Peningkatan konsumsi CPO dunia disebabkan meningkatnya konsumsi minyak nabati dunia sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dunia yang

* Korespondensi Penulis
Email : harimurti.danang86@gmail.com

menggunakan minyak nabati sebagai bahan makanan, kosmetik, dan detergen (Wicke *et al.* 2008).

Salah satu sumber energi terbarukan yang menjadi perhatian akhir-akhir ini adalah biodiesel. Saat ini biodiesel dapat diproduksi dari berbagai macam tanaman seperti kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, *rapeseed*, dll (Yee *et al.* 2009). Dari semua tanaman penghasil biodiesel tersebut, kelapa sawit memiliki potensi untuk memenuhi permintaan biodiesel dunia yang meningkat karena memiliki produktivitas terbesar dibandingkan tanaman yang lain.

Tabel 1. Rata-rata produktivitas tanaman penghasil minyak nabati.

No	Tanaman	Rata-rata Produksi Minyak Nabati (ton/ha per tahun)
1	Kedelai	0,36
2	Bunga Matahari	0,42
3	<i>Rapeseed</i>	0,59
4	Kelapa Sawit	3,68

Sumber : Basiron (2007).

Pengelolaan lingkungan yang belum terintegrasi dan masih bersifat manual antara kebun dan pabrik berpotensi menimbulkan informasi permasalahan lingkungan yang bersifat kualitatif sehingga menyulitkan industri dalam hal pengambilan keputusan. Oleh karena itu, dalam rangka meningkatkan daya saing minyak kelapa sawit Indonesia di pasar dunia dan komitmen terhadap produksi kelapa sawit yang berkelanjutan untuk mengurangi emisi GRK, serta memberi perhatian serius terhadap masalah lingkungan, maka diperlukan suatu metode pendekatan sistematis. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap segala permasalahan tersebut adalah *Life Cycle Assessment (LCA)*.

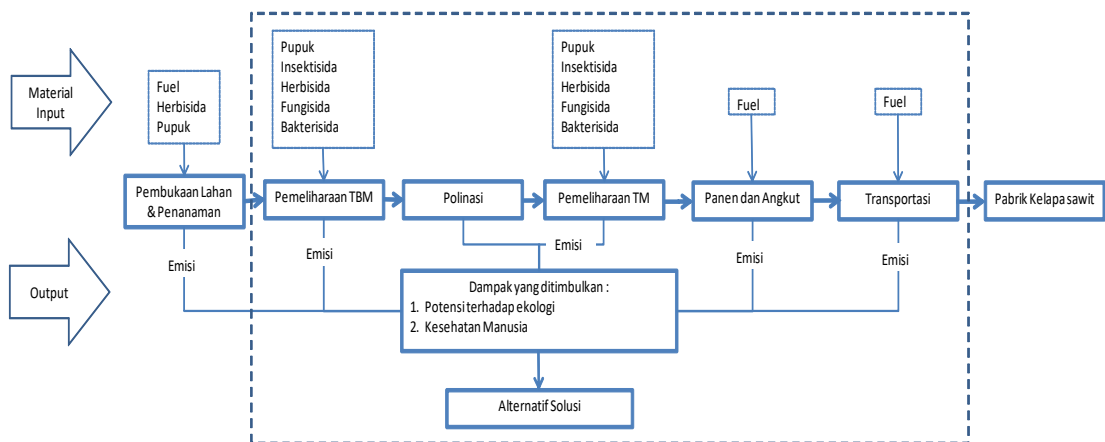
LCA adalah alat untuk menilai potensi dampak lingkungan dari sistem produk atau jasa pada semua tahap dalam siklus hidup mulai dari ekstraksi sumber daya, kegiatan produksi hingga daur ulang atau pembuangan akhir. LCA adalah suatu alat yang digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk, proses atau aktivitas selama seluruh siklus hidup dengan mengukur penggunaan sumber daya (*input* seperti energi, bahan baku, air) dan emisi lingkungan (*output* untuk udara, air dan tanah) yang berkaitan dengan sistem yang sedang dievaluasi.

1.2. Perumusan masalah

Proses produksi Tandan Buah Segar (TBS) dibagi dalam beberapa tahapan yaitu pembukaan lahan, pemeliharaan tanaman belum menghasilkan (Fase Tanaman Belum Menghasilkan), kegiatan menjelang panen, pemeliharaan tanaman menghasilkan, panen dan pengangkutan, serta transportasi TBS ke pabrik (Fase Tanaman Menghasilkan). Pada setiap tahapan tersebut membutuhkan energi untuk melakukan proses yaitu dalam bentuk tenaga kerja manusia, tenaga listrik, bahan bakar, pupuk, dll.

Pengelolaan energi yang efisien dapat meningkatkan daya saing suatu industri karena menurunkan atau menghemat biaya produksi. Selain itu secara langsung maupun tidak, hal tersebut juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama penggunaan energi. Emisi gas rumah kaca yang berlebihan menjadi penyebab utama penurunan kualitas lingkungan yang bisa menimbulkan dampak pemanasan global, perubahan iklim, *eutrophication*, *acidification*, dan kesehatan manusia (Pleanjai *et al.* 2007). Pengukuran gas rumah kaca yang dilepaskan pada setiap tahap produksi TBS sangat penting dilakukan, karena biodiesel yang merupakan produk turunan utama dari TBS digunakan untuk menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Perhitungan Gas Rumah Kaca (GRK) ini bertujuan untuk melihat seberapa besar dampak produksi biodiesel terhadap pemanasan global dibandingkan bahan bakar fosil. Belum diketahuinya emisi GRK yang dilepas pada setiap proses produksi TBS pada sebuah perusahaan perkebunan menjadi permasalahan pada penelitian ini.

Penelitian ini menjelaskan sumber emisi GRK dari setiap tahapan produksi TBS dan juga keseluruhan total emisi dalam satuan kg CO₂-eq per ton produk dari sebuah perusahaan perkebunan kelapa sawit. Hal ini dapat terlihat dalam model kerangka konseptual (**Gambar 1**).



Gambar 1. Kerangka pemikiran penelitian.

1.3. Tujuan, manfaat, dan batasan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi GRK dalam proses produksi TBS dan mengukur emisi GRK terbesar dari proses produksi TBS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang emisi GRK yang akan timbul pada produksi TBS, sehingga dapat memberikan rekomendasi dalam upaya menghasilkan TBS yang ramah lingkungan.

Penelitian ini terbatas pada ruang lingkup proses produksi TBS dari kegiatan menjelang panen, pemeliharaan tanaman menghasilkan, panen dan pengangkutan, serta transportasi TBS ke pabrik. Bahasan mengenai emisi yang dilepas dikonversikan dalam kilogram karbon dioksida (kg CO₂ equivalent).

Selain itu, penelitian ini tidak mencakup penghitungan emisi alih fungsi lahan dan dampak sosial ekonomi produk. Penjelasan detailnya dijelaskan pada tahapan definisi dan ruang lingkup LCA.

2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari-Juli 2019 di PT. XYZ yang terletak di Kecamatan Danau Sembuluh, Seruyan Tengah dan Hanau, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah. PT. XYZ merupakan perusahaan pengolah kelapa sawit menjadi CPO dengan kapasitas 60 ton/jam pada luas area 17.780 Ha.

2.2. Tahapan penelitian

Penelitian diawali dengan tahapan pendahuluan meliputi identifikasi masalah, studi literatur, studi lapangan, dan penentuan tujuan penelitian. Langkah berikutnya masuk pada proses penelitian yang terdiri dari studi literatur, identifikasi masalah, perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data, analisa, dan pengambilan kesimpulan.

2.2.1. Rancangan penelitian

Tentunya dalam melakukan sebuah penelitian dilakukan perancangan terlebih dahulu yang dimaksudkan sebagai upaya pencapaian tujuan penelitian berdasarkan variabel, metode dan *output* yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah studi literatur, pengamatan lapangan, dan berdasarkan pendapat para pakar, serta menggunakan metode kuantitatif dalam mengukur besaran dampak emisi GRK dengan cara pengumpulan data, analisa data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan. Rancangan penelitian selengkapnya dijelaskan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Matrik rancangan penelitian.

No	Tujuan Penelitian	Langkah Penelitian	Metode	Variabel <i>Output</i>
1	Mengidentifikasi Gas Rumah Kaca terbesar dalam proses produksi TBS.	Inventarisasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan emisi GRK.	Studi literatur, pengamatan lapangan dan pendapat pakar.	<i>Flow</i> proses kegiatan beserta data sumber potensi dampak.
2	Mengukur emisi GRK terbesar dari proses produksi TBS untuk mengetahui upaya mitigasi yang efisien.	Menghitung setiap emisi yang ditimbulkan dalam setiap proses.	Kuantitatif data dengan bantuan <i>software Palm GHG Calculator RSPO</i> .	Besaran dampak (GRK) yang ditimbulkan setiap proses.

2.2.2. Pengumpulan data

Setelah rancangan penelitian terbentuk, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data. Data yang dibutuhkan diperoleh melalui

pengamatan proses kegiatan secara langsung, konsultasi dengan pihak perusahaan, serta diskusi dengan para pakar. Data sekunder dikumpulkan melalui *desk study* yang bersumber dari buku acuan, jurnal, dan berbagai sumber pustaka lainnya. Kebutuhan data selengkapnya tersaji pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kebutuhan data penelitian.

Tahapan Kegiatan	Proses	Kategori <i>Input</i>	Unit
Pemeliharaan Tanaman	<i>Input</i> Pemupukan	Pupuk organik	Kg
	<i>Output</i> Pemupukan	pupuk anorganik	Kg
Panen & Angkut	<i>Output</i> TBS	TBS	Kg
	<i>Input</i> Pengangkutan TBS ke TPH	<i>Fuel</i>	Liter
	Pengangkutan Buah ke Truk	<i>Fuel</i>	Liter
	Mobilisasi Truk Pengangkut	<i>Fuel</i>	Liter
Transportasi	<i>Output</i> TBS	TBS	Kg
	<i>Input</i> Mobilisasi Truk	<i>Fuel</i>	Liter
	Pengangkut ke PKS	<i>Fuel</i>	Liter
	<i>Output</i> PKS	TBS	Kg

2.2.3. Analisis data

Penerapan metode perhitungan GRK yang digunakan adalah *actual value* berdasarkan ISCC 205. Potensi GRK (*Global Warming Potential*) dalam aktivitas perkebunan sawit meliputi CO₂, N₂O (296 x CO₂) dan CH₄ (23 x CO₂). Dalam tahap pengolahan data ini digunakan *RSPO Palm GHG Calculator versi 3*. Perhitungan emisi GRK dilakukan berdasarkan **Persamaan 1**.

$$\text{Emisi GRK} = \text{FE (Faktor Emisi)} \times \text{Data Aktivitas} \dots\dots\dots(1)$$

Analisis yang digunakan adalah metode LCA yang dilakukan dengan cara identifikasi kuantitatif semua aliran *input-output* dari sistem terhadap lingkungan dalam setiap tahap *life cycle*. Metode LCA ini dilakukan berdasarkan pedoman pelaksanaan LCA menurut *Framework ISO 14040:2006* yang terdiri dari 4 tahapan yaitu penentuan *goal and scope*, *inventory analysis*, *impact assessment*, dan *interpretation*. Dari hasil analisis tersebut kemudian dapat ditarik suatu kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan *goal and scope*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana emisi GRK yang ditimbulkan untuk menghasilkan TBS pada setiap klasifikasi umur dari fase Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) (umur tanaman 0-3 tahun) hingga Tanaman Menghasilkan (TM) (umur tanaman 3-20 tahun) berdasarkan aktivitas yang dilakukan. Aktivitas yang dilakukan untuk menghasilkan TBS meliputi aktivitas pemeliharaan tanaman, pemupukan, panen dan transportasi. Emisi

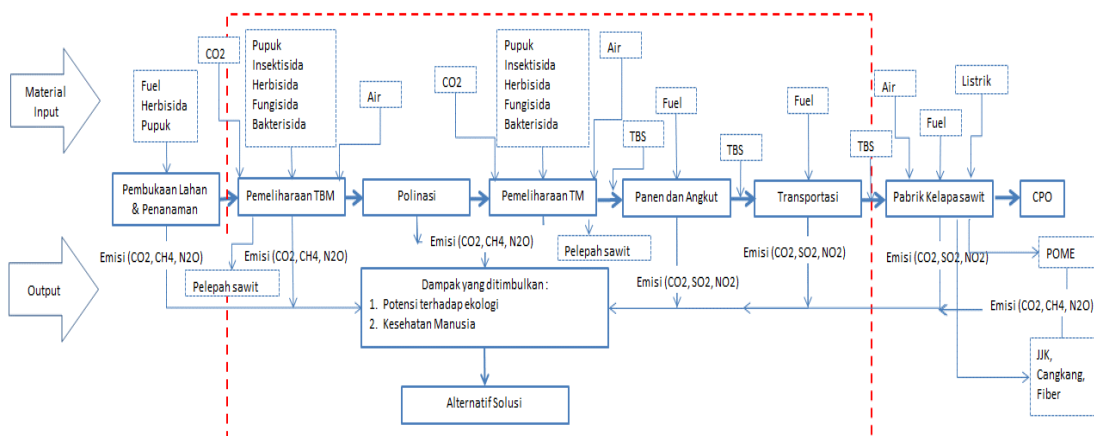
GRK yang ditimbulkan dari masing-masing aktivitas akan dihitung dan kemudian dibandingkan berdasarkan klasifikasi umurnya.

3.2. Inventori analisis

Tahap awal dalam *life cycle inventory* pada penelitian ini yaitu kegiatan perkebunan berupa pemeliharaan tanaman dan pemupukan. Pada tahap ini, kegiatan yang memberikan dampak terhadap timbulnya emisi GRK adalah penggunaan pupuk dan solar (RSPO 2012). Menurut Vijaya *et al.* (2008), pupuk merupakan salah satu penyumbang emisi terbesar dalam pertanian, sehingga penggunaannya harus mendapat perhatian khusus.

Penggunaan pupuk dalam pertanian dapat berasal dari pupuk yang bersifat sintetis (buatan) dan juga organik. Pupuk sintetis yang sering digunakan dalam perkebunan kelapa sawit antara lain urea, NPK, kieserit, MOP, dolomit, RP dan TSP. Penggunaan pupuk sintetis ini dapat menimbulkan emisi yang berasal dari proses produksi pupuk itu sendiri, transportasi pupuk ke lapangan, emisi langsung di lapangan baik secara fisik maupun mikroba tanah dan emisi tidak langsung akibat re-deposisi (RSPO 2012). Pupuk organik pada perkebunan kelapa sawit berasal dari tanaman sawit itu sendiri, yang diambil dari sisa hasil pengolahan CPO berupa janjang kosong dan limbah cair kelapa sawit.

Analisis inventori selanjutnya yaitu tahap transportasi TBS dari kebun ke pabrik pengolahan kelapa sawit. Pada penelitian ini, tahap transportasi TBS merupakan tahap terakhir sesuai lingkup penelitian (**Gambar 2**). Transportasi TBS dilakukan dengan menggunakan truk yang berbahan bakar solar. Kebutuhan solar inilah yang nantinya akan diperhitungkan penggunaannya, karena memberikan dampak langsung kepada lingkungan (IPCC 2006).



Gambar 2. Inventori analisis kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan melihat sejauh mana dampak yang ditimbulkan dari kegiatan perkebunan kelapa sawit selama satu siklus hidup (20 tahun) pada masing-masing tahapan proses. Oleh karena itu, inventori analisis dilakukan

pada setiap umur tanaman kelapa sawit. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan pupuk paling dominan pada setiap umur adalah pupuk urea, MOP, dan RP. Selengkapnya hasil inventori analisis tersaji pada **Tabel 7**.

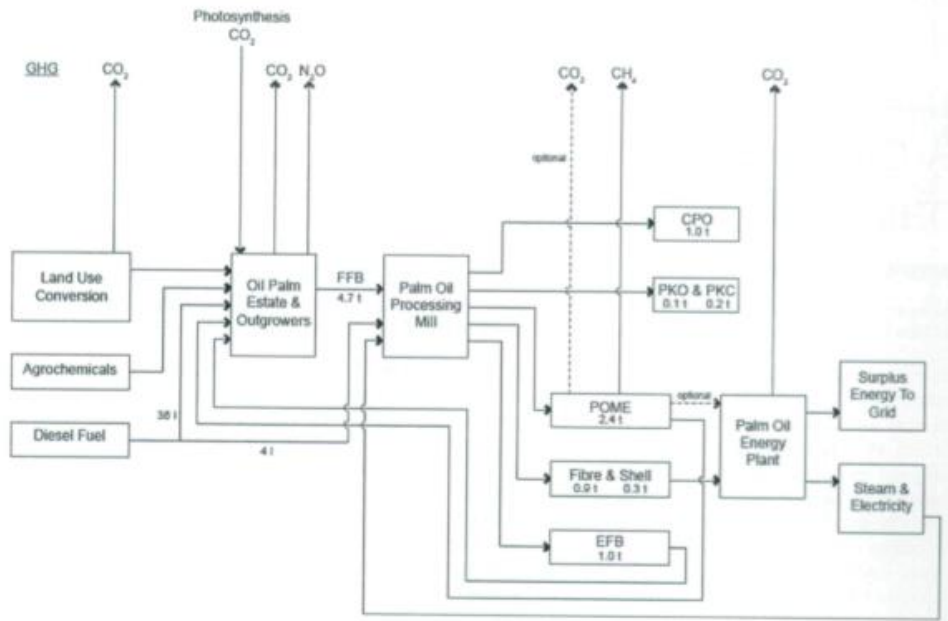
Darmosarkoro *et al.* (2003) menyatakan bahwa manfaat dari masing-masing jenis pupuk ini bagi tanaman kelapa sawit antara lain:

- a. Tanaman kelapa sawit membutuhkan unsur nitrogen dalam jumlah banyak, karena unsur ini sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Kekurangan unsur N dapat mengakibatkan pertumbuhan tanaman kelapa sawit terhambat, kerdil, daun tua menguning (hijau pucat kekuningan). Sumber unsur N : Urea dan ZA.
- b. Unsur fosfor juga diperlukan dalam jumlah banyak oleh tanaman kelapa sawit. Manfaat unsur fosfor bagi tanaman kelapa sawit yaitu memperkuat perakaran, batang dan meningkatkan kualitas buah kelapa sawit. Kekurangan unsur fosfor menyebabkan daun tanaman berwarna keunguan dan tanaman tumbuh kerdil. Sumber unsur P : TSP, SP-18, SP-36, *Rock Phosphat*.
- c. Unsur kalium bagi tanaman kelapa sawit adalah mempengaruhi jumlah dan ukuran tandan serta berperan penting dalam penyusunan minyak. Tanaman kelapa sawit membutuhkan unsur kalium dalam jumlah banyak. Kekurangan unsur kalium menyebabkan timbulnya bercak transparan pada daun tua kemudian mengering. Sumber unsur K : KCl, MOP.

3.3. *Impact assessment*

Chase and Henson (2010) menyatakan bahwa produksi CPO akan melepaskan karbon pada tahap *Land Use Change* (LUC), menyerap karbon pada masa pertumbuhan dan menghasilkan gas rumah kaca berupa CO₂, N₂O, dan gas metan selama produksi dan proses menghasilkan tandan buah segar. Aliran massa yang menghubungkan semua kegiatan lapangan untuk menghasilkan 1 ton CPO selama satu siklus tanaman dapat dilihat dalam **Gambar 3**.

Model perhitungan emisi gas rumah kaca yang digunakan merupakan model yang telah dikembangkan oleh IPCC, dalam hal ini penulis menggunakan *tool* yang telah dikeluarkan oleh RSPO berupa *Palm GHG Calculator* versi 3. Hasil perhitungan merepresentasikan jumlah gas CO₂ yang diemisikan dalam memproduksi tandan buah segar, sehingga besarnya nilai emisi GRK dinyatakan dalam kilogram CO₂-eq. Emisi CO₂ dipengaruhi oleh faktor emisi masing-masing utilitas dalam satu siklus kegiatan. *Input* berupa pemakaian insektisida, herbisida, fungisida, bakterisida dapat diabaikan dalam penggunaan *Palm GHG Calculator* versi 3 ini, karena tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap timbulnya GRK (RSPO 2012). Hasil perhitungan emisi GRK tersaji pada **Tabel 4**.



Gambar 3. Diagram perkiraan aliran massa untuk produksi 1 ton CPO. (Chase and Henson 2010)

Tabel 4. Jumlah emisi satu siklus kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Umur (Tahun)	Luas Tanam (Ha)	Produksi FFB (Ton)	*CO ₂ Emissions from Fertilizer	**N ₂ O Emissions	Fuel Consumption	Total Emission (tCO ₂ e)
0-1	251,03	0	31,61	28,80	7,29	67,70
1-2	261,68	0	122,18	113,58	14,29	250,05
2-3	481,84	0	434,00	377,00	28,00	840,15
3-4	775,84	7045,84	862,40	846,54	91,43	1800,37
4-5	917,49	14154,69	980,29	900,23	78,39	1958,91
5-6	1177,90	27582,46	1247,35	1067,69	118,58	2433,62
6-7	1083,70	30983,44	1032,87	799,08	112,73	1944,68
7-8	785,04	23752,67	557,53	446,71	1038,60	2042,84
8-9	708,07	21286,17	458,17	357,77	94,53	910,47
9-10	298,41	7830,45	249,07	210,54	40,85	500,46
10-11	275,52	8412,86	261,50	218,49	45,83	525,82
11-12	491,10	14363,24	467,30	330,48	65,96	863,75
12-13	643,51	19872,74	511,76	391,71	78,53	982,01
13-14	746,78	22303,74	620,67	494,83	114,45	1229,95
14-15	761,92	22102,90	644,29	526,71	125,34	1296,33
15-16	818,16	23146,45	684,71	578,86	123,67	1387,24
16-17	806,53	22477,72	713,89	615,24	138,68	1467,82
17-18	850,19	23226,75	775,33	672,22	99,10	1546,65
18-19	745,97	19068,91	734,70	624,56	54,12	1413,38
19-20	551,25	14273,14	699,07	578,22	66,39	1343,68
Rata-Rata	671,60	16094,21	604,46	508,98	80,06	1193,49
Kg CO ₂ /Ha			0,90	0,76	0,12	1,78

Berdasarkan **Tabel 4**, emisi GRK terbesar dalam kegiatan perkebunan kelapa sawit berasal dari kegiatan pemupukan. Emisi GRK ini bersumber dari emisi CO₂ dengan rata-rata emisi GRK 0,9 tCO₂-eq/Ha dan juga emisi N₂O dari pemberian pupuk itu sendiri dengan rata-rata emisi GRK 0,76 tCO₂-eq/Ha. Aplikasi N dalam pupuk dapat membentuk N₂O, baik secara langsung sebagai hasil denitrifikasi di dalam tanah maupun secara tidak langsung melalui denitrifikasi di luar aplikasi N yang diterapkan pada kelapa sawit yang hilang melalui limpasan, pencucian dan volatilisasi (Chase dan Henson 2010). Selain itu, adanya emisi bawaan dari proses pembuatan pupuk dari produsen dan proses transportasi pengangkutan pupuk ke lokasi perkebunan menyebabkan jumlah emisi GRK semakin tinggi. Perhitungan emisi GRK terhadap masing-masing jenis pupuk disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil perhitungan emisi GRK masing-masing jenis pupuk.

No	Jenis Pupuk	Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) umur 0-3 Tahun		Tanaman Menghasilkan (TM) umur 3-20 tahun	
		Emisi kg CO ₂ -eq/T TBS	Emisi kg CO ₂ -eq/Ha	Emisi kg CO ₂ -eq/T TBS	Emisi kg CO ₂ -eq/Ha
1	DAP	-		1,43	37,03
2	Kieserit	-	18,28	0,19	4,97
3	MOP	-	76,28	6,94	179,56
4	RP	-	8,33	1,42	36,86
5	TSP	-	40,58	0,87	22,41
6	UREA	-	267,70	14,28	369,67
7	Borate	-	8,13	0,51	13,23
8	CuSO ₄	-	2,58	0,08	2,13
9	ZnSO ₄	-	2,94	0,07	1,93
10	Kaptan	-	31,28	0,69	17,86
11	Super Dolomit	-	0,66	1,43	37,11
12	Kieserit Granular	-	0,31	1,18	30,45
13	HGFB	-		0,37	9,59
Total		-	457,07	29,47	762,80

Tabel 5 menjelaskan bahwa penggunaan jenis pupuk urea dan MOP merupakan penyumbang emisi GRK terbesar yaitu sebesar 267,70 kg CO₂-eq dan 76,28 kg CO₂-eq pada fase TBM, serta pada fase TM sebesar 369,67 kg CO₂-eq dan 179,56 kg CO₂-eq. Kedua jenis pupuk ini merupakan pupuk inti dalam budidaya kelapa sawit, sehingga emisi GRK yang ditimbulkan dari penggunaannya paling besar. Pemberian pupuk ini sesuai dengan rekomendasi dari bagian riset PT. XYZ berdasarkan hasil analisis daun. Dosis urea yang diberikan per pokok tanaman sawit berkisar antara 0,9–2,0 kg, sementara dosis MOP yang diberikan berkisar antara 0,5–2,5 kg. Selain itu nilai faktor emisi juga mempengaruhi besarnya emisi GRK yang ditimbulkan. Berdasarkan *Palm GHG Calculator RSPO Versi 3* faktor emisi terhadap urea yaitu 1.340 kg CO₂-eq/T material dan MOP yaitu 200 kg CO₂-eq/T material.

Hardter dan Fairhurst (2003) dalam Siregar (2013) menyatakan bahwa di Asia Tenggara, tanaman kelapa sawit mengonsumsi nutrisi tinggi dari pupuk mineral. Pupuk digunakan untuk menghasilkan dan mempertahankan produktivitas yang tinggi. Pupuk-pupuk yang digunakan adalah pupuk berbasis nitrogen seperti NPK (amonium nitrat), amonium sulfat, dan urea. Data kebutuhan pupuk untuk kelapa sawit di Indonesia tersaji pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kebutuhan pupuk untuk tanaman kelapa sawit di Indonesia.

Jenis	Tahun Ke-1	Tahun Ke-2	Tahun Ke-3	Tahun Ke-4	Tahun Ke-5	Total
	Pada tanah mineral, kg/ha					
N	58	68	68	81	81	354
P	27	16	19	28	28	118
K	85	125	98	122	122	533
Mg	14	21	18	28	28	109
Ca	-	-	-	-	-	-

Sumber : IOPRI dalam Siregar (2013).

Tabel 6 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kebutuhan pupuk setiap tahunnya, sehingga pada fase TM akan memerlukan jumlah pupuk yang lebih banyak dibandingkan fase TBM.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Tahapan untuk menghasilkan Tandan Buah Segar (TBS) setelah penanaman kelapa sawit dimulai dengan kegiatan pemeliharaan Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) pada umur tanaman 0-3 tahun, kemudian kegiatan pemeliharaan Tanaman Menghasilkan (TM) pada umur tanaman 3-20 tahun dan selanjutnya adalah kegiatan transportasi pengangkutan TBS untuk dilakukan proses pengolahan ke pabrik. Inventarisasi *input* dalam kegiatan pemeliharaan TBM dan TM antara lain pupuk dan solar. Sementara *output* emisi yang dihasilkan adalah CO₂ dan N₂O yang telah dikonversi menjadi kg CO₂-eq.

Hasil analisis dampak melalui perhitungan emisi GRK yang ditimbulkan dari masing-masing tahapan proses menunjukkan bahwa kegiatan pada fase TM merupakan penyumbang emisi GRK terbesar dengan rata-rata 1887,64 kg CO₂-eq/Ha, sedangkan emisi GRK untuk kegiatan pemeliharaan TBM sebesar 989,63 kg CO₂-eq/Ha. Sumber emisi terbesar dari masing-masing tahapan tersebut adalah kegiatan pemupukan yaitu rata-rata sebesar 920,22 kg CO₂-eq/Ha yang mana jenis pupuk paling dominan menimbulkan emisi GRK adalah pupuk urea dan MOP yaitu sebesar 369,67 kg CO₂-eq/Ha dan 179,56 kg CO₂-eq/Ha.

5. DAFTAR PUSTAKA

Basiron Y. 2007. Palm oil production through sustainable plantations. *Eur. J. Lipid Sci. Technol* 109:289–295.

- Chase LDC and Henson IE. 2010. A detailed greenhouse gas budget for palm oil production. *International Journal for Agricultural Sustainability* 8(3):199-214.
- Darmosarkoro W, Winarna dan Sutarta ES. 2003. Teknologi pemupukan tanaman kelapa sawit [Prosiding]. Prosiding Lahan dan Pemupukan Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 2: energy [internet]. Tersedia di: www.ipcc.ch.
- [ISO] International Organization for Standardization 14040:2006. 2006. Environmental management–life cycle assessment. ISO. Geneva.
- Pleanjai S, Gheewala HS and Garivait S. 2007. Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective. *Asian J. Energy Environ* 8(1):15-32.
- [RSPO] Roundtable on Sustainable Palm Oil. 2012. A greenhouse gas accounting tool for palm products [internet]. Tersedia di: www.rspo.org.
- Siregar K. 2013. Comparison of emission and energy for biodiesel production from oil palm (*Elaeis guineensis*) and jatropha curcas (*Jatropha curcas* L.) based on life cycle assessment (LCA) in Indonesia [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Vijaya S, Ma AN, Choo YM and Nik Meriam NS. 2008. Life cycle inventory of the production of crude palm oil - A gate to gate case study of 12 palm oil mills. *Journal of Oil Palm Research* 20:484-494.
- Wicke B, Dornburg V, Junginger M and Faaij A. 2008. Different palm oil production systems for energy purposes and their green house gas implications. *Biomass and Bioenergy* 32:1322–1337.
- Yee KF, Tan KT, Abdullah AZ and Lee KT. 2009. Life cycle assessment of palm biodiesel: revealing facts and benefits for sustainability. *Applied Energy* 86(1):189-196.

Tabel 7. Hasil analisis inventori kegiatan perkebunan kelapa sawit.

Inventori	Satuan	Umur Tanaman (Tahun)									
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Pupuk :											
DAP	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	172.88	128.52	81.02	37.55	35.13	46.86	61.33
Kieserit <i>Powder</i>	Kg/Ha	12.35	41.84	64.82	25.36	18.95	1.40	2.06	5.94	5.01	11.56
MOP/KCl	Kg/Ha	24.31	123.82	251.93	372.91	363.50	455.03	439.82	333.54	327.16	365.59
RP	Kg/Ha	34.43	15.56	26.67	23.33	16.66	10.06	3.83	14.24	111.56	91.74
TSP	Kg/Ha	20.68	113.61	152.95	140.75	153.43	161.19	138.83	68.48	3.70	36.87
Urea	Kg/Ha	40.13	152.20	274.60	314.98	293.80	286.17	243.89	185.80	158.86	223.43
Borate Mahkota	Kg/Ha	0.88	5.40	10.29	9.43	6.80	9.26	13.74	10.40	10.16	9.75
CuSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.98	8.26	5.96	2.66	2.94	1.80	2.65	2.24	0.00
ZNSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.96	7.78	2.95	2.74	2.49	1.02	1.06	0.00	0.00
Kaptan <i>mesh</i> 80	Kg/Ha	0.00	0.00	104.84	25.28	42.79	21.49	7.68	17.26	0.00	0.00
Super Dolomite	Kg/Ha	0.00	3.84	0.31	24.71	86.92	89.19	153.12	41.36	27.42	34.79
Kieserite granular	Kg/Ha	3.08	0.00	0.00	29.91	20.73	46.54	43.92	91.59	107.46	87.52
HGFB (<i>High Grade Fertilizer Borate</i>)	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84	1.95	0.00	12.42
SOLAR Perawatan	L/Ha	9.31	17.51	18.89	27.79	16.14	18.55	14.22	12.92	22.46	12.97
SOLAR <i>Harvest</i>	L/Ha				9.98	11.24	13.71	19.12	28.97	20.33	30.91
Total Solar	L/Ha	9.31	17.51	18.89	37.77	27.38	32.27	33.34	41.89	42.79	43.88
Output											
Produksi TBS	Ton/Ha	0.00	0.00	0.00	9.08	15.43	23.42	28.59	30.26	30.06	26.24

Inventori	Satuan	Umur Tanaman (Tahun)									
		10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Pupuk :											
DAP	Kg/Ha	133.02	30.56	33.23	30.17	12.20	20.47	23.01	8.07	0.00	0.00
Kieserit <i>Powder</i>	Kg/Ha	12.71	14.76	13.13	27.07	12.81	16.22	10.24	12.11	12.98	19.46
MOP/KCl	Kg/Ha	432.19	427.67	337.51	350.38	337.21	330.21	352.13	351.98	391.49	467.94
RP	Kg/Ha	120.10	208.14	162.63	181.62	161.60	163.13	169.68	188.12	200.46	300.59
TSP	Kg/Ha	14.56	3.65	8.76	7.63	8.99	18.08	18.13	8.03	19.25	32.65
Urea	Kg/Ha	247.83	224.02	200.47	220.57	237.66	240.10	258.50	274.11	293.60	367.85
Borate Mahkota	Kg/Ha	12.83	9.15	9.97	10.45	11.80	12.04	12.23	11.57	11.90	12.18
CuSO ₄	Kg/Ha	4.21	4.61	4.09	3.52	3.33	3.53	3.99	3.28	3.07	0.00
ZNSO ₄	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Kaptan <i>mesh</i> 80	Kg/Ha	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Super Dolomite	Kg/Ha	44.85	167.69	102.68	60.06	64.40	38.92	29.64	30.61	35.07	24.90
Kieserite granular	Kg/Ha	124.75	40.80	64.49	67.01	78.50	85.82	87.84	88.39	101.85	229.66
HGFB (<i>High Grade Fertilizer Borate</i>)	Kg/Ha	13.45	29.13	10.41	9.86	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SOLAR Perawatan	L/Ha	15.63	14.64	14.37	19.14	22.15	25.51	28.17	16.69	12.68	22.01
SOLAR <i>Harvest</i>	L/Ha	37.68	28.41	24.75	29.98	30.58	22.94	26.95	20.67	10.57	16.60
Total Solar	L/Ha	53.31	43.05	39.12	49.12	52.73	48.45	55.11	37.36	23.25	38.60
Output											
Produksi TBS	Ton/Ha	30.53	29.25	30.88	29.87	29.01	28.29	27.87	27.32	25.56	25.89