

## **LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT PRODUKSI BIODIESEL SAWIT UNTUK Mendukung Keberlanjutan Hilirisasi Industri SAWIT INDONESIA**

Sawarni Hasibuan <sup>1)</sup>, Hermawan Thaheer <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Mercu Buana Jakarta  
Jl. Raya Meruya Selatan No. 1 Jakarta Barat

<sup>2)</sup>Program Studi Ilmu Komputer, FMIPA Universitas Pakuan Bogor  
Email : [sawarni02@yahoo.com](mailto:sawarni02@yahoo.com)

**Abstrak.** Keprihatinan dunia akan pemanasan global yang terutama akibat emisi gas CO<sub>2</sub> dari konsumsi BBM fosil telah mendorong berkembangnya industri bioenergi di seluruh dunia termasuk di Indonesia. Industri biodiesel merupakan kelompok industri hilir minyak sawit yang diproyeksikan akan terus tumbuh di Indonesia. Disamping untuk memenuhi kebutuhan nasional dalam rangka pemenuhan program percepatan mandatory biodiesel B20 tahun 2020 dan B40 di tahun 2050, penetrasi pasar ekspor produk biodiesel sawit Indonesia ke UE semakin terbuka dengan pemberlakuan RED. Namun demikian, industri hilir sawit Indonesia termasuk industri biodiesel dihadapkan pada berbagai isu kampanye negatif karena dinilai belum mencapai nilai GHG Emission saving default value sebesar 35 persen untuk dapat disebut sebagai produk ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi aspek dan dampak lingkungan global dominan proses produksi biodiesel dari minyak sawit Indonesia serta memberikan rekomendasi improvement yang mendorong pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi produk biodiesel nasional. Keberlanjutan industri biodiesel berbahan baku minyak sawit dievaluasi menggunakan metode life cycle impact assessment. Penelitian dilakukan dengan memadukan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Survey lapangan dilakukan di perusahaan perkebunan kelapa sawit, produsen minyak sawit kasar, dan produsen biodiesel yang berlokasi di Sumatera Utara. Rekomendasi improvement untuk peningkatan keberlanjutan industri hilir sawit Indonesia, khususnya industri biodiesel dari bahan baku minyak sawit kasar mengacu pada best practices dan diskusi pakar.

**Kata kunci:** biodiesel, hilirisasi, minyak sawit kasar, life cycle impact assessment.

### **1. Pendahuluan**

Sejak tahun 2005 Indonesia tercatat sebagai produsen sekaligus pengeksportir minyak sawit terbesar di dunia. Volume ekspor sawit Indonesia tahun 2015 mencapai 26,4 juta ton atau senilai 18,6 miliar dolar AS [1]. Selama ini ekspor sawit Indonesia didominasi oleh minyak sawit kasar (crude palm oil/CPO). Agar industri sawit dapat menjadi salah satu penyokong kemajuan ekonomi Indonesia ke depan, mulai tahun 2012 pemerintah telah mendorong hilirisasi sawit. Tujuan hilirisasi sawit adalah untuk meningkatkan nilai tambah produk berbasis sawit, disamping juga dapat mengantisipasi gejolak harga komoditas di pasar sawit dunia karena semakin ke hilir maka pengaruh gejolak harga akan semakin kecil.

Untuk meningkatkan perkembangan industri hilir sawit, dalam beberapa tahun belakangan diberlakukan pajak ekspor yang lebih rendah untuk produk hilir sawit. Sementara itu, pajak ekspor minyak sawit mentah (CPO) berada di antara 0%-22,5% tergantung pada harga minyak sawit internasional. Saat harga CPO acuan Pemerintah (berdasarkan harga CPO lokal dan internasional) jatuh di bawah US\$ 750 per metrik ton maka pajak ekspor dipotong menjadi 0 persen, dan sejak Oktober 2014 Indonesia telah menetapkan pajak ekspor CPO 0% [2]. Sebagai alternatif kehilangan pendapatan pajak ekspor, pada pertengahan 2015 Pemerintah memperkenalkan pungutan ekspor sebesar US\$ 50 dollar per metrik ton untuk ekspor CPO dan US\$ 30 dollar AS per metrik ton untuk ekspor produk-produk olahan sawit [3]. Pungutan-pungutan ekspor minyak sawit ini berlaku pada saat harga CPO acuan Pemerintah jatuh di bawah batasan US\$ 750 per metrik ton. Pendapatan dari pungutan ekspor ini akan digunakan untuk mendanai program subsidi biodiesel Pemerintah yang

ambisius, selain itu juga akan disalurkan untuk *replanting*, penelitian, dan pengembangan sumberdaya manusia dalam industri minyak sawit Indonesia.

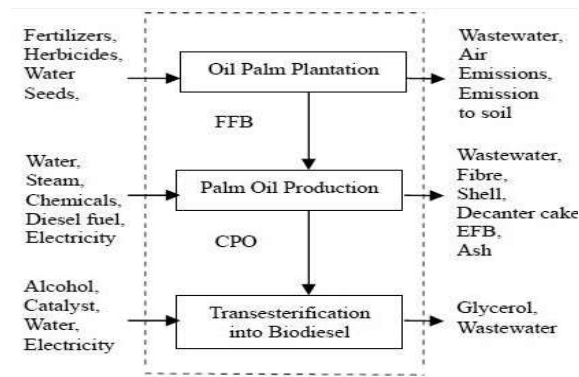
Industri biodiesel merupakan kelompok industri hilir minyak sawit yang diproyeksikan prospektif di Indonesia [4,5]. Disamping untuk memenuhi target pemenuhan program percepatan mandatori biodiesel B20 pada tahun 2020 dan B40 tahun 2050, penetrasi pasar ekspor produk biodiesel sawit Indonesia ke berbagai Negara juga semakin terbuka [6]. Di sisi lain, dominasi industri minyak sawit Indonesia dihadapkan pada permasalahan *negative campaign*. Berbagai upaya telah dilakukan oleh Negara Uni Eropa dan Amerika Serikat untuk menghadang penetrasi pasar minyak sawit Indonesia. Beberapa isu negatif yang digunakan untuk menahan dominasi minyak sawit Indonesia diantaranya adalah tidak diperkenankannya menggunakan minyak sawit Indonesia sebagai bahan baku industri biodiesel di Amerika Serikat mulai tahun 2020, karena dinilai tidak mencapai pengurangan gas rumah kaca (GRK) yang dipersyaratkan (*GHG Emission saving default value*) sebesar 20% untuk disebut sebagai produk ramah lingkungan. Sementara Uni Eropa melalui EU RED (*Renewable Energy Directive*) menilai biodiesel Indonesia tidak mencapai *GHG Emission saving default value* sebesar 35% sebagai syarat produk ramah lingkungan [7].

Permasalahannya adalah apakah perkebunan dan industri biodiesel Indonesia masih belum mampu mencapai pengurangan gas rumah kaca yang dipersyaratkan sebagai produk ramah lingkungan? Padahal sejak tahun 2014, Indonesia telah mempunyai perangkat dokumen ISPO (*Indonesian Sustainable Palm Oil*) sebagai standar lestari berkelanjutan untuk industri perkelapasawitan nasional yang dimutakhirkan melalui Permentan No 11/Permentan/OT.140/3/2015 tentang Sistem Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia [8]. Standar ISPO sesungguhnya didisain lebih ketat dan lebih lestari berkelanjutan dibandingkan dengan RSPO (*Roundtable Sustainable Palm Oil*) yang telah diberlakukan untuk ekspor ke negara Uni Eropa dan diadaptasi untuk tujuan ekspor di area pemasaran yang lain (Amerika, India, China, dan lainnya). Pelaku usaha industri hilir kelapa sawit di Indonesia, termasuk industri biodiesel merupakan group perusahaan besar yang memiliki perkebunan sendiri sebagai sumber bahan baku. Sektor usaha hulu atau perkebunan tersebut banyak yang telah memenuhi sistem sertifikasi ISPO sebagai tambahan kredit untuk mendapatkan akses pasar ekspor [9-11]. Meskipun demikian pemasaran produk hilir yang menggunakan bahan baku yang berasal dari perkebunan yang telah mendapatkan sertifikat ISPO ini, masih juga menghadapi permasalahan kampanye negatif di negara-negara tujuan ekspor.

Pengendalian atas aksi *negative campaign* yang dihadapi oleh industri hilir kelapa sawit nasional hendaknya dilakukan melalui kajian aspek teknis, melibatkan pendekatan ilmiah, perhitungan kuantitatif/kualitatif, dan menggunakan teknologi yang kredibel, independen dan fair. Metoda *Life Cycle Analysis* (LCA) merupakan salah satu metoda kuantitatif yang memiliki pengakuan ilmiah sangat kuat, sehingga dipergunakan dalam penelitian mengenai biodiesel dari kelapa sawit di Indonesia [12-14]. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi aspek dan dampak lingkungan global dominan proses produksi biodiesel dari minyak sawit Indonesia menggunakan metode *life cycle impact assessment* serta memberikan rekomendasi *improvement* yang mendorong pengurangan emisi gas rumah kaca pada sektor transportasi produk biodiesel nasional.

## **2. Model Life Cycle Impact Assessment**

Model *Life Cycle Assessment* (LCA) digunakan untuk memeriksa atribut dampak lingkungan pada daur hidup produk, seperti misalnya pemanasan global akibat gas rumah kaca, penipisan lapisan ozon, penciptaan smog fotokimia, eutrofikasi, asidifikasi, tekanan toksikologi pada manusia dan makhluk hidup lain, serta penipisan sumberdaya alam. Kompilasi dampak lingkungan tersebut dianalisis dan menghasilkan *Life Cycle Inventory* (LCI) untuk interpretasi beberapa perubahan lingkungan yang dapat terjadi [14-15]. Analisis dilakukan pada daur hidup produk biodiesel sebagaimana disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram daur hidup pada produksi Biodiesel [16].

**Sub Sistem Oil Palm Plantation.** Data yang dikumpulkan untuk analisis daur hidup dari perkebunan kelapa sawit adalah penggunaan pupuk, bahan bakar, air, dan herbisida per unit hasil produksi TBS per tahun. Air dipergunakan adalah air hujan dan diasumsikan untuk 25 tahun umur hidup tanaman. Basis perhitungan aplikasi pupuk dan pestisida adalah untuk kebutuhan sekitar 136-137 pohon per hektar sesuai dengan umur tanaman. Herbisida paraquat sekitar 0,625-1,25 kg/ha setiap kali pakai dan glyphosat 1.875-3,125 kg/ha setiap kali pakai, keduanya diaplikasi 1-3 kali per tahun. Kebun sawit mulai dipanen setelah 6-8 tahun setelah tanam dengan frekuensi panen 10-15 hari atau 2-3 kali sebulan [17]. Konsumsi bahan bakar diestimasi berdasarkan jarak dengan *loading ramp* pabrik.

**Sub Sistem Palm Oil Production.** Pabrik Kelapa Sawit (PKS) umumnya beroperasi 16-24 jam per hari tergantung kondisi dan kebijakan operasional perusahaan. Satuan operasi umumnya mulai dari penerimaan bahan baku di *loading ramp*, sterilisasi, perontokan, *digestion*, ekstraksi minyak, pemisahan biji, pengeringan biji, dan pengempaan biji. Proses akan menghasilkan limbah diantaranya air limbah, serat, cangkang, *decanter cake*, tandan buah kosong, dan abu. Dihasilkan pula emisi ke udara berupa partikel, jelaga, gas CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan kebisingan. Tidak semua unsur masukan dan keluaran dapat dikuantifikasi. Secara umum unit proses dalam produksi minyak kelapa sawit adalah ton tandan buah segar (TBS) per hari [16]. Tipikal proses pengolahan TBS adalah menjadi produk minyak kelapa sawit (crude palm oil), biji inti sawit hanya diolah hingga kernel kering saja tidak sampai menjadi minyak inti sawit (palm kernel oil). Umumnya biji inti sawit dijual ke perusahaan lain untuk diolah lebih lanjut.

**Sub Sistem Transesterification to Biodiesel.** Produksi biodiesel dari CPO dilakukan dalam reaktor *batch* dengan kapasitas tertentu. Proses transesterifikasi berlangsung pada suhu 50-60°C menggunakan ekse metanaol hingga 30% dari rasio molar yang diperlukan sehingga diperlukan proses *recovery methanol* [16-18]. Transesterifikasi akan menghasilkan dua lapisan yaitu metil ester (biodiesel) dan gliserol. Pemisahan biodiesel dan gliserol dilakukan dengan cara pencucian menggunakan air dan asam asetat hingga air pencucian menjadi netral. Sisa air di dalam metil ester selanjutnya dikeringkan dengan pemanasan. Pada proses transesterifikasi dihasilkan biodiesel sekitar 87%, diasumsikan hanya reaksi pada ordo pertama, dan hanya asam lemak C<sub>18</sub> saja yang diperhitungkan. Gliserol dapat dipergunakan lebih lanjut untuk pabrik sabun. Air diupayakan di-*recovery*, kecuali air yang benar-benar menjadi limbah.

**Life Cycle Inventory.** Keseluruhan bahan, energi dan emisi dari daur hidup pada produksi biodiesel dirangkum sebagai *inventory*. Kuantifikasi *inventory* dengan tipikal industri biodiesel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Resume daftar inventory dari produksi 1 ton biodiesel dari minyak sawit [16]

Parameter	Quantity	Parameter	Quantity
<b>Raw Material</b>		<b>Energy</b>	
Fertilizer (kg)		-Steam (m <sup>3</sup> )	1,8-3,5
-N	265-340	-Electricity (kWh)	360-380
-P	74-95	<b>Air Emission</b>	
-K	190-240	-Particulate (kg)	4,2-9,4
-Mg	48-61	-NO <sub>2</sub>	1,8-3,3
-B	4-5	-CO (kg)	1,5-4,1
Paraquat (kg)	0,5-0,9	<b>Wastewater (m<sup>3</sup>)</b>	3-4
Glyphos (kg)	1,4-2,2	<b>Solid waste</b>	
FFB (ton)	6-7	Fibre (ton)	1,60-2,40
NaOH (kg)	6-10	Shell (ton)	0,30-0,50
Methanol (ton)	0,15	Decanter cake (ton)	0,06-0,14
Diesel (L)	5-13	EFB (ton)	1,60-2,10
Water (m <sup>3</sup> )	6.500-10.000	Ash (ton)	0,02-0,07
		<b>Output</b>	
		-Biodiesel (ton)	1,0
		-Glycerol (ton)	0,32

**Life Cycle Impact Assessment.** Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh buangan dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kategori, sesuai dengan jenis buangan tersebut. Emisi gas dapat dikelompokkan menjadi kategori yakni 1) Asidifikasi atmosfer; 2) Pemanasan global; 3) Pengaruh kesehatan manusia; 4) Penipisan Ozon; 5) Pembentukan ozon fotokimia (smog). Pengaruh pada kategori kesehatan manusia, dampak karsinogenik, yang tampak penting bagi komunitas lokal. Untuk buangan ke air, dapat diidentifikasi potensi bahaya berikut 1) Asidifikasi; 2) Kebutuhan oksigen akuatik; 3) Ekotoksikologi pada kehidupan akuatik.

Beban lingkungan ditulis dengan indeks, misalnya  $BL_{GWP}$  menunjuk pada beban lingkungan dalam pemanasan global yang dihitung melalui emisi dari satu tahun kalender. Pemanasan global yang terjadi saat ini akan membahayakan perubahan musim dan kondisi habitat. Pemanasan global dari buangan gas dapat dikalkulasi berbasiskan massa emisi dan potensi pemanasan global relatif terhadap karbon dioksida. Salah satu rumus yang biasa dipakai adalah gabungan *factor 100 year Integrated Time Horizon*, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Indeks  $BL_{GWP}$  untuk suatu substansi ton/tahun yang dilepaskan ke udara dikalikan dengan GWP. Satuannya akan senilai dengan setara CO<sub>2</sub> per tahun.

Tabel 2 Konversi penentuan indeks cemaran udara ekivalensi CO<sub>2</sub> pada *Global Warming Potential (GWP)* [14,15]

Substansi	GWP	Substansi	GWP
Karbondioksida	1	Pentafluoroetan, R125	2,800
Karbon monooksida	3	Perfluorometana	6,500
Karbon tetraklorida	1,400	Tetrafluoroetan, R134a	1,300
Klorodiflorometana, R22	1,700	Trikloroetana (1,1,1)	110
Kloroform	4	Triklorotrifluorometana, R11	4,000
Kloropentafluoroetan, R115	9,300	Triklorotrifluoroetan, R113	5,000
Diklorodifluorometana, R12	8,500	Trifluoroetan, R134a	3,800
Diklorotetrafluoroetan, R114	9,300	Trifluorometana, R23	11,700
Difluoroetan	140	Metilin klorida	9
Heksafluoroetan	9,200	Nitros Oksida	310
Metana	21	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	40
		Volatile Organic Compound (VOC)	11

### 3. Analisis LCA Industri Biodiesel Sawit

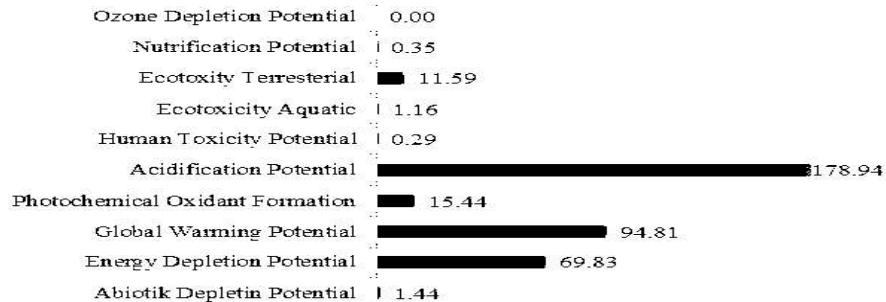
#### 3.1. Analisis *On-farm* dan Pabrik CPO

*Live Cycle Inventory* (LCI) dari proses budidaya (*on-farm*) hingga pabrik minyak kelapa sawit (CPO) menghasilkan data pengukuran lapangan yang selanjutnya dihitung alokasinya terhadap semua unit proses yang terlibat di dalamnya. Alokasi dibuat berdasarkan pertimbangan distribusi beban lingkungan sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Faktor kontribusi, termasuk alokasi faktor komersial

Proses	Faktor kontribusi kecuali alokasi	Faktor alokasi pada nilai komersial	Alokasi kontribusi, termasuk alokasi
Perkebunan Sawit	8,000	0,200	1,600
Pabrik Kelapa Sawit	1,000	0,200	0,200
Produksi Uap	0,088	0,200	0,018
Produksi Listrik	12,700	0,200	2.540
Transportasi	200,000	0,200	40,000

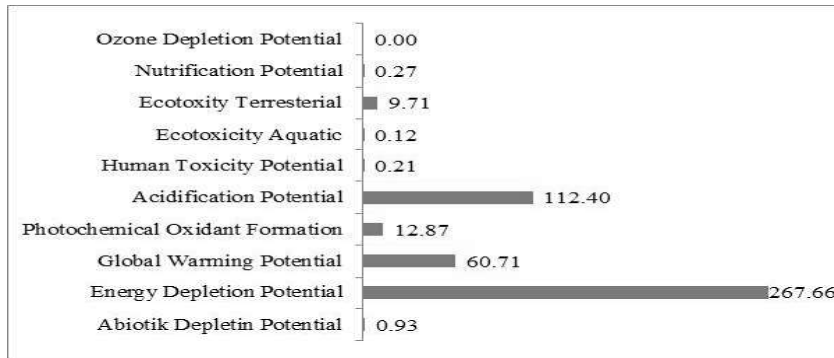
Selanjutnya dihitung inventori per ton CPO yang dihasilkan. Setelah hasil inventory dikalikan dengan faktor ekuivalensi untuk karakterisasi dan klasifikasi dampak lingkungan signifikan dihasilkan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) yang disajikan pada Gambar 2. Hasil analisis *on farm* dan pabrik CPO menghasilkan dampak potensi asidifikasi (ACP) tertinggi. Asidifikasi tersebut disumbang oleh emisi ke badan air dan limbah padat, terutama biomassa yang dibuang kembali ke lahan perkebunan. Kontribusi gas SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> sangatlah kecil. Potensi pemanasan global (GWP) yang disetarakan gas CO<sub>2</sub> menduduki peringkat kedua, sumbangannya 94,81 MTon CO<sub>2</sub>e per m<sup>3</sup> produk [14]. Perlu dicermati juga potensi pengurasan energi (EDP). Walaupun sistem pembangkit pada pabrik CPO sebagian besar sudah dirancang menggunakan biomassa, namun tidak dapat dipungkiri bahwa pola panen dan pemindahan TBS dari kebun masih menggunakan truk dengan bahan bakar diesel. Persoalan transportasi memberikan kontribusi besar pada peningkatan EDP.



Gambar 2 Hasil *Life Cycle Impact Assessment* kasus pabrik CPO Sumatera Utara Tahun 2014

#### 3.2. Analisis Pabrik Biodiesel

Hasil pengukuran *Life Cycle Impact Assessment* produksi Biodiesel dari CPO disajikan pada Gambar 3. Hasil LCIA produksi biodiesel memperlihatkan bahwa penipisan energi (EDP) menjadi faktor paling dominan. Analisis menunjukkan bahwa penggunaan energi pada pabrik biodiesel sangat nyata, terutama untuk motor, pompa, dan utilitas pabrik. Asifikasi (ACP) menduduki peringkat berikutnya, di mana kontribusi sebenarnya diberikan dari proses *on farm* dan pabrik CPO. Namun buangan ke air dari pabrik Biodiesel juga cukup besar kontribusinya, terutama saat proses pemurnian. Pemanasan global (GWP) merupakan potensi berikutnya, namun nilainya jauh dibawah GWP produksi CPO. Kontribusi GWP banyak disumbang dari proses terdahulu dan utilitas pabrik.

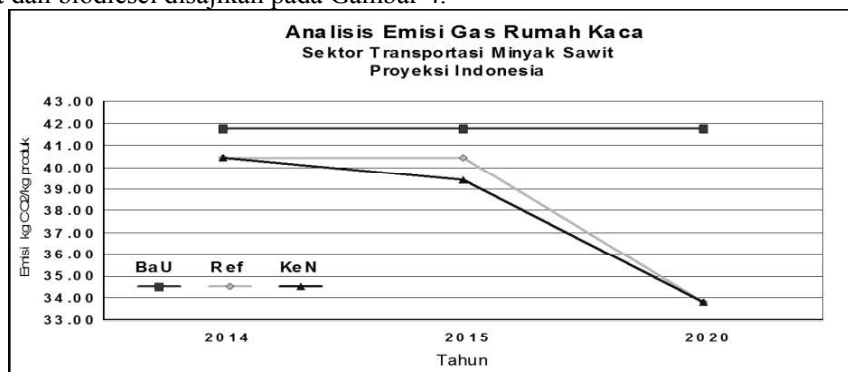


Gambar 3 Hasil Akhir LCA Metil Ester CPO Tahun 2014, kasus pabrik CPO Sumatera Utara.

### 3.3. Kontribusi GRK pada Transportasi Produk CPO dan Biodiesel Nasional

Analisis transportasi dilakukan dengan memperhitungkan pergerakan CPO dan biodiesel menuju pelabuhan terdekat. Hasil analisis menghasilkan emisi gas rumah kaca dari transportasi darat. Analisis berikutnya adalah pergerakan produk hilir melalui jalur laut di dalam kepulauan Indonesia. Analisis dilakukan dengan tiga skenario yakni a) Business as usual (BaU); b) Referensi; dan c) Kebijakan Energi Nasional (KEN) Kementerian Perhubungan (2012). Proyeksi produksi minyak sawit sampai 2020 sesuai dengan prediksi GAPKI yaitu 43.930.000 ton.

Skenario BaU (*Business as Usual*) mengasumsikan bahwa tidak ada intervensi kebijakan apapun. Penggunaan bahanbakar fosil saat ini akan terus berlanjut sepanjang masih tersedia cadangannya. Skenario *Reference* (REF) sudah memasukkan kebijakan, seperti: penggunaan teknologi yang lebih efisien, mandatori bahan bakar nabati (BBN) dan optimalisasi pasokan energi. Skenario KEN (Kebijakan Energi Nasional) mengacu pada Rancangan KEN sampai saat ini yang didalamnya ada upaya untuk lebih meningkatkan pengembangan EBT. Peningkatan penggunaan energi terbarukan ini secara total dapat mengurangi emisi GRK. Hasil proyeksi penurunan emisi GRK transportasi minyak kelapa sawit dan biodiesel disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan LCIA produksi per ton CPO dan per ton biodiesel, kasus pabrik di Indonesia.

## 4. Simpulan

1. Metoda *Life Cycle Assessment* dapat dipergunakan untuk memberikan gambaran mengenai aspek dan dampak lingkungan yang terkait dengan perusahaan kelapa sawit di Indonesia. Upaya tersebut merupakan salah satu anti *negative campaign* untuk melindungi produk industri sawit Indonesia.
2. Asidifikasi, pemanasan global, dan penapisan energi merupakan dampak lingkungan global utama pada kegiatan perkebunan sawit dan pabrik CPO serta produksi biodiesel. Dampak pemanasan global pada produksi biodiesel relatif kecil. Isu pemanasan global yang menekan produk sawit Indonesia, melalui kontribusi gas rumah kaca cukup mengganggu perdagangan sawit nasional.

3. Perbaikan aspek pemanasan global terus dilakukan di Indonesia melalui pengurangan emisi gas rumah kaca dengan beban tinggi, seperti misalnya penangkapan gas metan yang membebani lingkungan 21 kali CO<sub>2</sub>.
4. Kontribusi GRK dari transportasi produk CPO dan turunannya juga dapat diturunkan dengan mengikuti skenario Kementerian Perhubungan. Skenario Referensi dan KeN akan sangat tampak kontribusinya pada penurunan emisi GRK transportasi.

#### Daftar Pustaka

- [1]. Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit 2013-2015. Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta.
- [2]. Faisal dan Nasution, A.H. 2011. Dampak Kebijakan Pajak Ekspor Terhadap Perdagangan Minyak Sawit Indonesia. *Jurnal Mediasi* 3(1): 1-13.
- [3]. Suprpto. 2015. Bea Keluar dan Pungutan Dana Perkebunan atas Ekspor Kelapa Sawit, CPO dan Produk Turunannya. *Warta Bea Cukai* 47(9): 5-11. [www.repository.beacukai.go.id](http://www.repository.beacukai.go.id). Diakses tanggal 20 Desember 2016.
- [4]. Hariyadi, P. 2012. Mengenal Minyak Sawit Dengan Beberapa Karakter Unggulnya. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Jakarta.
- [5]. Panigoro, A. 2013. Beyond 2014: Indonesia As World's Bioenergy Champion. Medco Foundation, Jakarta.
- [6]. Caroko, W., Komaruddin, H., Obidzinski, K., dan Gunarso, P. 2011. Policy and institutional frameworks for the development of palm oil-based biodiesel in Indonesia. Working Paper 62. [www.cifor.org](http://www.cifor.org). Diakses tanggal 12 Desember 2016.
- [7]. The Indonesian Palm Oil Association. 2013. Indonesian and Palm Plantations A Mid Global Environmental Issues. Indonesian Palm Oil Association, Jakarta.
- [8]. Peraturan Menteri Pertanian No.19/Permentan/OT.140/3/2011 tentang Pedoman Perkebunan Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia: *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO). Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- [9]. Darussamin, A. *et al.* Buku Panduan Penerapan Prinsip dan Kriteria RSPO Untuk Petani Kelapa Sawit. Indonesian Smallholders Working Group, Jakarta.
- [10]. Tim Penulis GAPKI. 2012. Green Palm Oil Industries. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Jakarta.
- [11]. Tim Advokasi Minyak Sawit Indonesia – Dewan Minyak Sawit Indonesia (TAMSI-DMSI). 2010. Fakta Kelapa Sawit Indonesia. Edisi Perdana. Dewan Minyak Sawit Indonesia, Jakarta.
- [12]. Brinkmann Consultancy. 2009. Greenhouse gas emissions from palm oil production. Brinkmann Consultancy, Netherlands.
- [13]. Hansen, S.B., Olsen, S.I., Ujang, Z. 2012. Greenhouse Gas Reductions through Enhanced Use of Residues in the Life Cycle of Malaysian Palm Oil derived Biodiesel. *Bioresour Technol.* 104:358-66. doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.069. Epub 2011 Oct 29.
- [14]. International Sustainability and Carbon Certification (ISCC). 2011. GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit: ISCC 11-03-15 V 2.3-EU. ISCC 205.
- [15]. Chase, L. *et al.* 2012. The Palm GHG Calculator: The RSPO greenhouse gas calculator for oil palm products. The Roundtable for Sustainable Palm Oil – RSPO, Kuala Lumpur.
- [16]. Pleanjai, S., Gheewala, S.H., Garivait, S. 2004. Environmental evaluation of biodiesel production from palm oil in a life cycle perspective. The Joint International Conference on Sustainable and Environment (SEE), Thailand 1-3 December 2004. 5-021 (O): 604-608. [www.rjas.ro](http://www.rjas.ro). Diakses tanggal 23 Desember 2016.
- [17]. Bessou, C., Velu A., Caliman J.P. 2012. LCA of palm oil in Sumatera, comparison of cropping systems. 3<sup>rd</sup> International Conference on Oil Palm and Environment (ICOPE). Bali, 22-24 February 2012.
- [18]. Hasibuan, S. Ma'ruf, A., dan Sahirman. 2009. Biodiesel from low grade used frying oil using esterification transesterification process. *Makara* 13(2): 105-110.
- [19]. Sahirman, Hasibuan, S., dan Zain, E.R. 2010. Efektifitas metanol recovery pada proses pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung. *Jurnal Teknologi, Teknik dan Sains* 1: 40-48.