

Emisi CO₂ dari Pengembangan Biodiesel Kelapa Sawit: Simulasi Perhitungan Menggunakan Software SMART-EPOI

CO₂ Emission of Palm Oil Biodiesel Development: Simulation by using SMART-EPOI Software

NAWA SUWEDI

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung Geostek 820, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314
nawa.suwedi@bppt.go.id

ABSTRACT

One of the new and renewable energy types that the government encourages to develop is palm oil biodiesel. In its policy by 2020 the government is determined to increase the mixture of palm oil biodiesel with oil diesel by 20% of national energy consumption. In relation to the government's commitment to the Kyoto protocol, the development of palm oil biodiesel is part of a national action plan for greenhouse gas reduction (RAN-GRK), particularly in the energy and transportation sectors. Therefore, in order to support the RAN-GRK program this study is aimed to calculate the amount of CO₂ emission reduction from the development of palm oil biodiesel. The amount of CO₂ emission reduction is calculated by using Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry) software developed by researcher. The calculation result of CO₂ emission reduction from the use of 4.82 million kilo liters of palm oil biodiesel per year is about 9.043,56 tons CO₂e / year.

Keywords: CO₂ emissions, greenhouse gases, palm oil biodiesel, RAN-GRK, and Smart-EPOI,

ABSTRAK

Salah satu jenis energi baru dan terbarukan yang didorong pemerintah untuk dikembangkan adalah biodiesel kelapa sawit. Dalam kebijakannya pada tahun 2020 pemerintah bertekad untuk meningkatkan bauran energi biodiesel kelapa sawit ke dalam solar sebesar 20% dari konsumsi energi nasional. Terkait dengan komitmen pemerintah di dalam protokol Kyoto, pengembangan biodiesel kelapa sawit merupakan bagian dari rencana aksi nasional pengurangan gas rumah kaca (RAN-GRK) khususnya di sektor energi dan transportasi. Oleh karena itu, dalam rangka mendukung program RAN-GRK penelitian ini ditujukan pada penghitungan besarnya penurunan emisi CO₂ dari kegiatan pengembangan biodiesel kelapa sawit. Besarnya penurunan emisi CO₂ dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry)* yang dikembangkan oleh peneliti sendiri. Hasil perhitungan penurunan emisi CO₂ dari penggunaan 4,82 juta kilo liter biodiesel kelapa sawit per tahun adalah 9.043,56 ton CO₂e/tahun.

Kata Kunci: Emisi CO₂, gas rumah kaca, biodiesel kelapa sawit, RAN-GRK, dan *Smart-EPOI*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu isu dan permasalahan energi di Indonesia adalah masih tingginya ketergantungan terhadap impor bahan bakar minyak (BBM)⁽¹⁾. Tingginya ketergantungan impor BBM disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu antara lain : terjadinya penurunan produksi minyak nasional, kondisi kilang minyak Indonesia yang rata-rata merupakan kilang minyak tua, adanya ketidakseimbangan konsumsi energi nasional, rendahnya pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT), serta masih terbatasnya penelitian, pengembangan, penguasaan ilmu pengetahuan dan penguasaan teknologi di

bidang energi⁽¹⁾. Dengan kondisi ini, sejak tahun 2004 Indonesia sudah masuk sebagai negara *net importer* BBM⁽²⁾.

Penurunan produksi minyak nasional terjadi akibat rendahnya eksplorasi dan rendahnya cadangan minyak yang ditemukan sejak tahun 2000. Rendahnya cadangan minyak ini dapat dilihat bahwa pada tahun 2000, Indonesia hanya memiliki cadangan sekitar 5,12 milyar barel/tahun dan menurun terus menerus dari tahun ke tahun, dan pada tahun 2015 cadangan minyak Indonesia sebesar 3.6 milyar barel/tahun⁽³⁾. Kondisi kilang minyak yang sudah tua dan terbatas yang disebabkan karena sejak tahun 1994 belum ada pembangunan kilang minyak bumi yang baru⁽²⁾ mengakibatkan sulitnya

memenuhi kebutuhan minyak nasional yang terus meningkat. Ketidakseimbangan konsumsi energi nasional ini dikarenakan oleh dominasinya pemakaian energi nasional dari bahan bakar fosil hingga tahun 2015, serta rendahnya pemanfaatan EBT. Rendahnya pemanfaatan EBT ini dapat dilihat data pemanfaatan biofuel pada tahun 2006 yang hanya sekitar 0,24% dari konsumsi energi nasional dan meningkat menjadi 3% pada tahun 2015⁽³⁾.

Melalui Kebijakan Energi Nasional, yaitu kebijakan di dalam pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan, pemerintah pada tahun 2025 bertekad melakukan penyeimbangan penggunaan energi nasional dengan melalui peningkatan bauran energi primer dari EBT paling sedikit sebesar 23%. Beberapa alasan perlu peningkatan penggunaan EBT terutama bahan bakar biodiesel kelapa sawit adalah: Indonesia mempunyai potensi besar di bidang produksi kelapa sawit, untuk mewujudkan kesetimbangan energi, memaksimalkan penggunaan EBT, mengutamakan sumber daya energi nasional, meminimalkan penggunaan minyak bumi sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor minyak bumi, dan terciptanya kemandirian serta ketahanan energi nasional⁽⁴⁾. Terkait dengan komitmen pemerintah di dalam protokol Kyoto, pengembangan biodiesel kelapa sawit merupakan bagian dari rencana aksi nasional pengurangan emisi gas rumah kaca (RAN-GRK) terutama di sektor energi dan transportasi⁽⁵⁾. Dalam rangka mendukung program RAN-GRK ini, khususnya dalam hal pengurangan emisi CO₂, maka diperlukan perhitungan emisi CO₂ yang akurat.

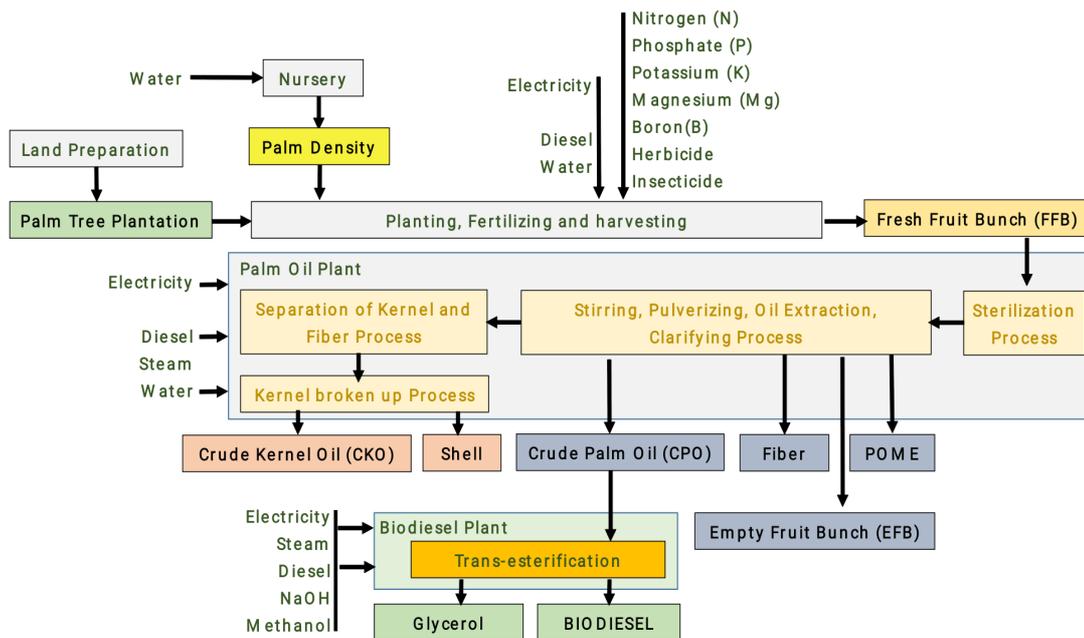
Proses produksi biodiesel kelapa sawit dapat dikelompokkan menjadi: (1) sub-proses penanaman-pemeliharaan-pemanenan, (2) sub-proses produksi CPO, dan (3) sub-proses produksi Biodiesel. Input dari sub-proses penanaman-pemeliharaan-pemanenan adalah kebutuhan luas lahan, jumlah bibit sawit yang ditanam, pupuk (N, P, dan K), pestisida, herbisida, bahan bakar, dan listrik; sedangkan outputnya adalah jumlah tandan buah segar (TBS)

yang dihasilkan. Input dari sub-proses produksi CPO adalah: kebutuhan jumlah TBS, listrik, bahan bakar, dan steam; sedangkan outputnya adalah: CPO, CKO, cangkang, serat, tandan buah kosong, dan limbah cair POME. Input untuk sub-proses produksi biodiesel adalah: kebutuhan CPO, methanol, NaOH, listrik, dan bahan bakar; sedangkan outputnya adalah: biodiesel kelapa sawit dan glyserin. Diagram proses produksi biodiesel kelapa sawit tersebut secara detail digambarkan pada Gambar 1.

Dalam seriap input kebutuhan bahan/material dan/atau sumber energi, akan menghasilkan emisi CO₂. Perhitungan emisi CO₂ dalam proses produksi biodiesel kelapa sawit memerlukan metode penghitungan yang akurat. Pengembangan perangkat lunak *Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry)* oleh Peneliti diharapkan dapat menjadi alat untuk menghitung emisi CO₂ secara mudah, sederhana dan cepat dengan tetap memperhitungkan ketepatan nilai hasil perhitungannya. Beberapa alasan digunakannya hasil pengembangan software Smart-EPOI apabila dibandingkan dengan software sejenis (seperti: Excel⁽⁶⁾, SIMAPRO⁽⁷⁾, dan BioGrace⁽⁸⁾) adalah: (1) Smart-EPOI khusus dikembangkan untuk mensimulasikan *mass balance*, perhitungan *budget* energi, dan perhitungan LCA dari proses produksi biodiesel kelapa sawit, (2) Smart-EPOI memiliki kemampuan membuat, melihat, dan memperbaiki database proses produksi biodiesel kelapa sawit, (3) Smart-EPOI memiliki kemampuan membuat, merubah, dan menyimpan besaran faktor emisi dan faktor energi; serta (4) Smart-EPOI memiliki kemampuan menyimpan dan menampilkan hasil perhitungannya dalam bentuk grafik.

1.2 Tujuan

Berdasarkan uraian dalam latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menghitung emisi CO₂ dari hasil proses produksi biodiesel kelapa sawit dengan menggunakan software *smart-EPOI*.



Gambar 1. Gambaran proses produksi biodiesel kelapa sawit

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Untuk menghitung emisi CO₂ dari proses produksi biodiesel kelapa sawit, dalam penelitian ini digunakan data hasil penelitian Santoso et al.⁽⁹⁾ untuk proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit. Data tersebut adalah: kebutuhan nitrogen sebanyak 75 kg, fosfat sebanyak 8 kg, kalium sebanyak 70 kg, magnesium sebanyak 42 kg, herbisida sebanyak 0.4 kg, insektisida sebanyak 1,2 kg, kebutuhan steam pada saat produksi CPO sebesar 0,37 m³, kebutuhan methanol pada saat produksi biodiesel sebesar 140 kg, kebutuhan NaOH pada saat produksi biodiesel sebesar 6 kg, kebutuhan diesel/solar untuk transportasi operasional dan pada saat panen sekitar 4,75 liter, kebutuhan lahan seluas 0.25 ha, kebutuhan bibit sebanyak 36 batang, kebutuhan TBS (tandan buah segar) sebanyak 5134.5 kg dan kebutuhan CPO (*crude palm oil*) sebanyak 1052.6 kg.

Disamping data terkait produksi, untuk menghitung emisi CO₂ produksi biodiesel juga diperlukan data emisi faktor yang diperoleh dari beberapa referensi sebagaimana disampaikan dalam Tabel 1.

Batasan yang perlu diperhatikan bahwa perhitungan emisi CO₂ di paper ini belum menyertakan besarnya emisi CO₂ dari proses pembukaan lahan.

Tabel 1. Input faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan

Input	Satuan	Faktor Emisi
Nitrogen	Kg CO ₂ Eq /kg	12.6 ⁽¹⁰⁾
Fosfat	Kg CO ₂ Eq /kg	2.01 ⁽¹¹⁾
Kalium	Kg CO ₂ Eq /kg	0.51 ⁽¹²⁾⁽¹³⁾
Magnesium	Kg CO ₂ Eq /kg	1.05 ⁽¹¹⁾
Paraquat	Kg CO ₂ Eq /kg	11.025 ⁽¹⁴⁾
Glyshopate	Kg CO ₂ Eq /kg	5.177 ⁽¹⁵⁾
Metanol	Kg CO ₂ Eq /kg	0.79 ⁽⁶⁾
NaOH	Kg CO ₂ Eq /kg	1.20 ⁽⁶⁾
Steam	Kg CO ₂ Eq /m ³	0.68 ⁽¹⁶⁾
Listrik	Kg CO ₂ Eq /kWh	1.05 ⁽¹⁷⁾
Solar/Diesel	Kg CO ₂ Eq /Liter	3.3 ⁽¹⁸⁾

2.2 Metode

Smart-EPOI dikembangkan yang menggunakan bahasa Visual Basic bertujuan untuk mengatasi berbagai kendala dan keterbatasan dari pemakaian software (yang biasa juga dipakai dalam kepentingan sejenis) seperti Excel⁽⁶⁾, BioGrace⁽⁸⁾, dan SIMAPRO⁽⁷⁾. Perhitungan emisi CO₂ dengan Excel dan/atau BioGrace mudah dilakukan tetapi tidak *user friendly* yaitu sangat tergantung pada peneliti yang mengembangkannya dan tidak mudah bagi peneliti lain untuk dapat dengan cepat menggunakan atau memodifikasinya. Sementara itu, apabila menggunakan SIMAPRO terkendala pada harga software yang masih relatif mahal dan jarang dijumpai di Indonesia.

Input dan output di Smart-EPOI dikembangkan dengan konsep *user friendly*,

dengan tampilan antar muka yang sederhana dan informatif. Bentuk tampilan antar muka dari perangkat lunak Smart-EPOI dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk melakukan input data di Smart-EPOI bisa dilakukan dengan dua cara, yang pertama masuk ke menu File, New Data, kemudian Save dan cara yang ke dua dapat dilakukan dengan masuk ke menu File, View and Edit Data, kemudian lakukan perubahan data dan simpan data dengan tekan Save. Dari form Input data tersebut kemudian dapat dimasukkan data-data yang dibutuhkan. Tampilan dari form isian data dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan untuk melakukan perhitungan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan masuk ke menu Information and Analysis lalu pilih menu CO₂ Emission Analysis.

Selain input data besarnya material/bahan atau energi yang diperlukan, untuk melakukan perhitungan besarnya emisi CO₂ juga memerlukan input data faktor emisi. Input data faktor emisi di Smart-EPOI dapat dilakukan setelah masuk ke mode CO₂ Emission Analysis, setelah itu pilih menu Setting kemudian pilih Emission Factors Setting dan isikan data faktor emisi yang digunakan sebagai literatur. Perhitungan besarnya emisi CO₂ dari proses produksi biodiesel, dikembangkan dengan cara menjumlahkan setiap kebutuhan bahan/material dan/atau energi dikalikan dengan emisi faktornya. Secara umum, bentuk matematis besarnya emisi CO₂ adalah:

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum (\text{bahan atau energi yang dibutuhkan} \times \text{emisi faktor dari bahan tersebut})$$

Formula tersebut apabila diterjemahkan ke dalam bahasa Visual Basic secara ringkas dapat dituliskan sebagai berikut:

```
Sub hitungEM()
    NhitungEm = N * Pengali * EmisiN
    PhitungEm = P * Pengali * EmisiP
    KhitungEm = K * Pengali * EmisiK
    MghitungEm = Mg * Pengali * EmisiMg
    BhitungEm = B * Pengali * EmisiB
    HerbihitungEm = Herbi * Pengali * EmisiHerbi
    InsekhitungEm = Insek * Pengali * EmisiInsek
    RATHitungEm = Rat * Pengali * EmisiRat
    SteamhitungEm = steam * Pengali * EmisiSteam
    ElecChitungEm = PLNCPO * Pengali * EmisiElectric
    DKeunhitungEm = DKeun * Pengali * EmisiDiesel
    DPupukhitungEm = DPupuk * Pengali * EmisiDiesel
    DTBShitungEM = DTBS * Pengali * EmisiDiesel
    DCPOhitungEm = DCPO * Pengali * EmisiDiesel
    DPLNOhitungEm = PLNO * Pengali * EmisiDiesel
    DCPOhitungEm = DCPO * Pengali * EmisiDiesel
    DTnghitungEm = DTenagaK * Pengali * EmisiDiesel
    DslChitungEm = (DCPOhitungEm + DTnghitungEm)
    ElecBhitungEm = PLNBio * Pengali * EmisiElectric
    DieselBhitungEm = DieBio * Pengali * EmisiDiesel
    NaOHhitungEm = NaOH * Pengali * EmisiNaOH
    MethlhitungEm = Methanol * Pengali * EmisiMethanol
End Sub

Sub hitung_EmisiBalance()
    Call hitungEM
    TanamhitungEm = NhitungEm + PhitungEm +
```

```
    KhitungEm + MghitungEm + BhitungEm
    + HerbihitungEm + InsekhitungEm +
    RATHitungEm
    ProdCPOhitungEm = SteamhitungEm + ElecChitungEm
    + DPLNOhitungEm + DslChitungEm
    ProdBIOhitungEm = ElecBhitungEm + DieselBhitungEm
    + NaOHhitungEm + MethlhitungEm
    TranspotPhitungEm = (DKeunhitungEm +
    DPupukhitungEm + DTBShitungEM +
    DCPOhitungEm)
    TotalEm = SeedhitungEm + TanamhitungEm +
    TanspotPhitungEm + ProdCPOhitungEm +
    ProdBIOhitungEm
    SolarBioEmisi = EFDiesel - TotalEm
End Sub
```

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan emisi CO₂ secara rinci yang dihasilkan dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit ditampilkan dalam Gambar 4. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa besarnya emisi CO₂ dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit sebesar 1423,74 kg CO₂e. Emisi CO₂ terbesar secara berturut-turut adalah berasal dari penggunaan nitrogen (N) pada proses pemupukan yaitu 945 kg CO₂e, penggunaan listrik pada proses pengolahan TBS ke CPO sebesar 147 kg CO₂e, proses pengolahan CPO ke biodiesel sebesar 84 kg CO₂e dengan jumlah total emisi adalah 231 kg CO₂e, serta penggunaan methanol pada proses pengolahan CPO menjadi biodiesel sebesar 110.6 kg CO₂e.

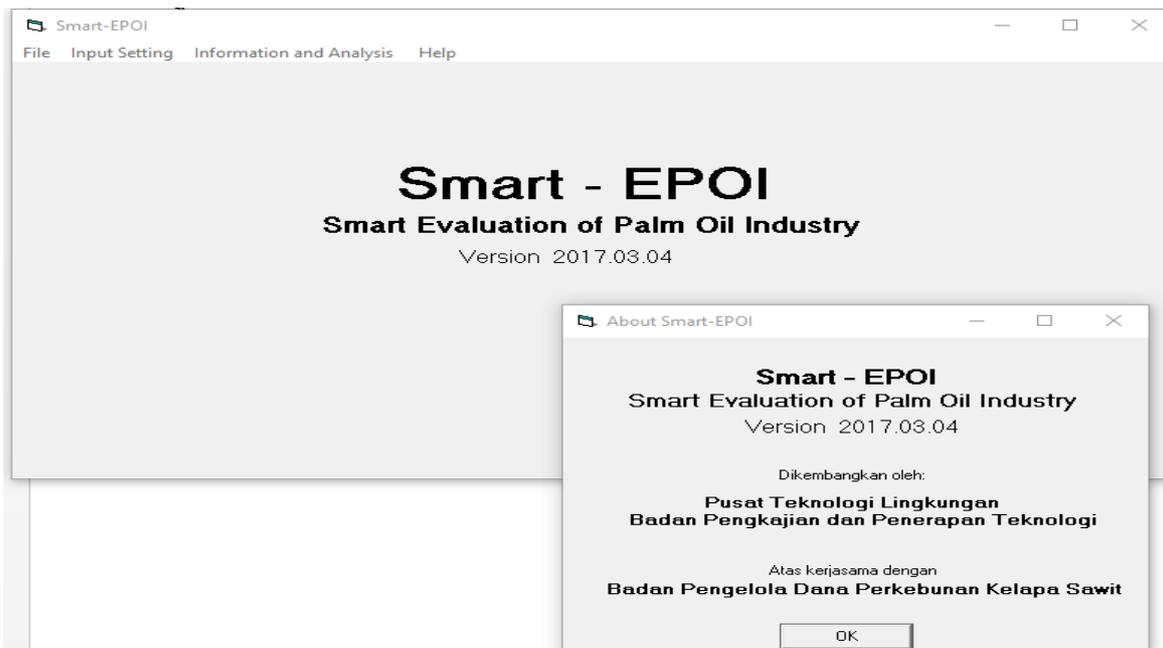
Apabila hasil perhitungan emisi CO₂ tersebut dikelompokkan kedalam sub-sub proses maka sub-proses penanaman, pemupukan dan pemeliharaan merupakan sub-proses yang paling besar mengeluarkan emisi CO₂ yaitu 1051.502 kg CO₂e, kemudian disusul oleh sub-proses produksi biodiesel sebesar 201.8 kg CO₂e, sub-proses produksi CPO sebesar 170.44 kg CO₂e, dan sub-proses transportasi sebesar 23.1 kg CO₂e. Perhitungan sub-proses transportasi dihitung dari kebutuhan bahan bakar untuk transportasi dari keseluruhan proses yang terjadi. Hasil perhitungan dengan menggunakan Smart-EPOI yang dikelompokkan ke sub-sub proses tersebut ditampilkan dalam Gambar 5.

Dari hasil perhitungan menggunakan *Smart-EPOI* tersebut dapat diketahui bahwa selisih emisi CO₂ dari penggunaan 1 kg biodiesel kelapa sawit (1,423742 kg CO₂e) dibandingkan dari penggunaan 1 kg solar/diesel (3.3 kg CO₂e)⁽¹⁸⁾ adalah 1.87626 kg CO₂e. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan 1 ton bahan bakar biodiesel kelapa sawit sebagai pengganti bahan bakar solar/diesel dapat mereduksi/mengurangi emisi CO₂ sebanyak 1.87626 kg CO₂e. Mengacu pada kebijakan Pemerintah RI yang akan melaksanakan pembauran energi biodiesel kelapa sawit sebesar 20% (pada tahun 2016) atau setara dengan 4,82 juta kiloliter/tahun (pada tahun 2020)⁽¹⁹⁾ ke dalam solar maka besarnya

emisi CO₂ total yang dapat direduksi adalah 9.043,56 ton CO₂e/tahun atau sekitar 0,0238% dari target penurunan emisi CO₂ di sektor Energi dan Transportasi⁽⁵⁾ yaitu 0.038 Giga ton CO₂e/tahun.

Hasil perhitungan menginformasikan bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dapat mereduksi emisi CO₂ sampai 56,86%. Hasil ini terlihat sangat jauh apabila dibandingkan

dengan perhitungan yang dilakukan oleh masyarakat Uni Eropa yaitu sekitar 20% (pada tahun 2020) dari perhitungan emisi tahun 1990⁽¹⁴⁾. Besarnya selisih ini, menurut penulis adalah wajar karena perhitungan emisi CO₂ yang dilakukan di paper ini masih belum menyertakan perhitungan emisi CO₂ dari pembukaan lahan.



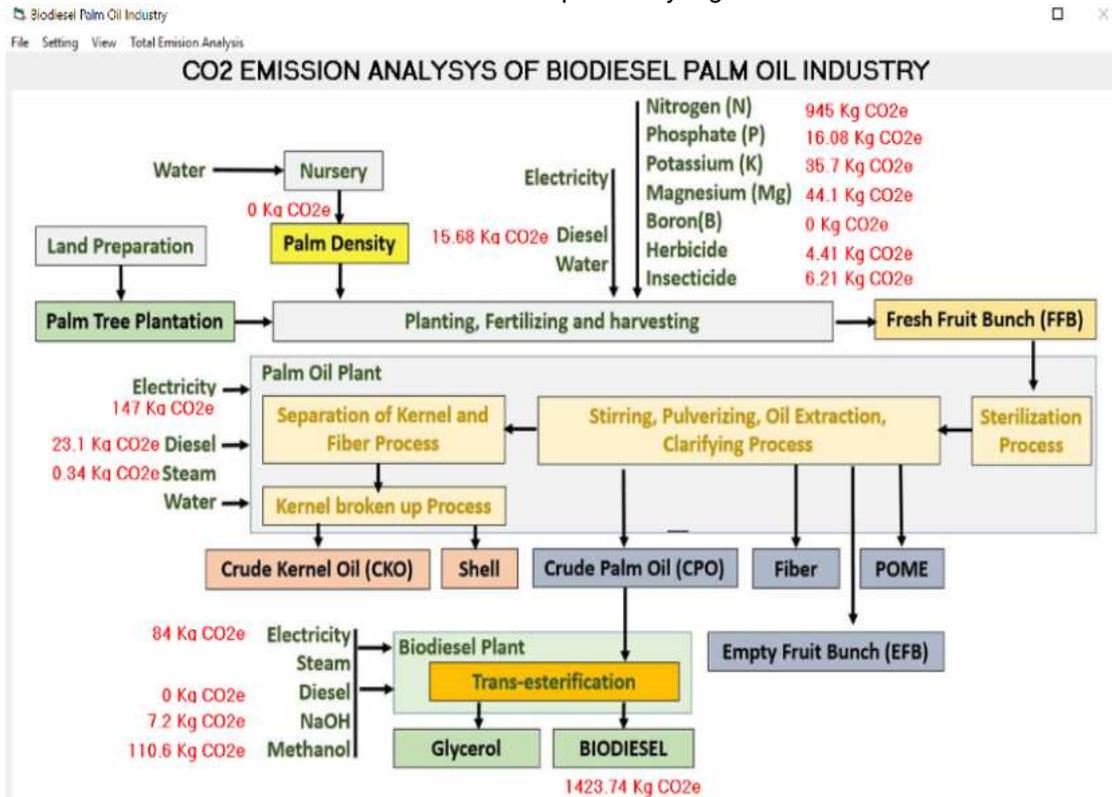
Gambar 2. Bentuk tampilan antar muka Smart-EPOI

Proses dan Sub Proses	Parameter	Jumlah	Satuan
1 Proses Penyiapan Lahan			
Jenis Lahan			
Luas lahan	Luas lahan kebun sawit	0.2523	Ha
2 Proses Pembibitan			
	Jumlah bibit	36	Pohon
3 Proses Pemupukan dan Pemeliharaan			
-Kebutuhan Pupuk			
	Nitrogen (N)	75	Kg
	Phosphate (P2O5)	8	Kg
	Kalium (K2O)	70	Kg
	Magnesium (MgO)	42	Kg
	Boron (B)	0	Kg
-Kebutuhan pestisida			
	Herbisida	0.4	Kg
	Insektisida	1.2	Kg
	Rondetisida/Rat baiting	0	Kg
4 Proses Pemanenan			
	Tandan Buah Segar (TBS)	5134.5	Ton
5 Proses Produksi Crude Palm Oil (CPO)			
- Hasil			
	CPO (Crude Palm Oil)	1052.6	Ton
	CKO (Crude Kernel Oil)	0	Ton
- Limbah Cair			
	POME	0	m3
- Limbah Padat			
	Serat	0	Ton
	Cangkang	0	Ton
	Tandan kosong (Tankos)	0	Ton
6 Proses Produksi Biodiesel			
- Bahan baku			
	Methanol	140	Ton
	Sodium Hydroxide (NaOH)	6	Ton
- Hasil			
	Biodiesel	1000	Ton
	Glycerol	0	Ton

Proses dan Parameter	Jumlah	Satuan
Listrik :		
Listrik untuk Mengolah TBS ke CPO	140	kWh
Listrik untuk Mengolah CPO ke Biodiesel	80	kWh
Listrik untuk Operasional sehari-hari	0	kWh
Diesel :		
Diesel untuk Mengolah TBS ke CPO	7	Liter
Diesel untuk Mengolah CPO ke Biodiesel	0	Liter
Diesel untuk Operasional sehari-hari	0	Liter
Steam :		
Diesel untuk Pemanasan Boiler/Steam pada Pengolahan TBS ke CPO	0.5	m3
Transportation :		
Diesel untuk Transportasi Bibit	0	Liter
Diesel untuk Transportasi Pupuk	0	Liter
Diesel untuk Transportasi Pengangkutan TBS ke Pabrik CPO	4.75	Liter
Diesel untuk Transportasi Pengangkutan CPO ke Pabrik Biodiesel	0	Liter

Sumber/Referensi: PTL6PPT Next

Gambar 3. Gambaran input data yang ada di Smart-EPOI



Gambar 4. Hasil simulasi emisi CO₂

Sector	CO ₂ Emission (kg CO ₂ e)
Seeding	0
Plantation and Fertilisation	1051.502
CPO Production	170.44
Biodiesel Production	201.8
Transportation	23.1
Total of Biodiesel Emission	1423.742

Gambar 5. Perhitungan emisi CO₂ yang dikelompokkan ke dalam sub-proses

4. KESIMPULAN

Besarnya emisi CO₂ dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit adalah 1423,74 kg CO₂e. Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya

emisi CO₂ biodiesel kelapa sawit lebih rendah dibandingkan dengan solar. Selisih emisi CO₂ dari biodiesel dan solar adalah 1.87626 kg CO₂e. Dibandingkan dengan kebijakan pemerintah yang menargetkan penurunan emisi CO₂ di sektor

energi dan transportasi sebesar 0.038 Giga ton CO₂e/tahun, hasil penelitian ini dapat mereduksi emisi CO₂ sebesar 9.043,56 ton CO₂e/tahun atau sekitar 0,0238%.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada PTL-BPPT dan BPDP Sawit yang telah mengizinkan dan mendanai kegiatan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Kardono, M.Eng, Dr. Joko Prayitno Susanto, M.Eng, dan Dr. Arif Dwi Santoso, M.Eng, atas bimbingan dan kerjasamanya serta kepada Reba A. Pratama, S.T, M.T, dan Wati Damayanti, S.T atas kerjasamanya dalam penyelesaian penelitian dan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, (2017), Peraturan Presiden RI Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, Lembar Negara RI Tahun 2017 Nomor 43.
2. Anonim, (2016), Outlook Energi Indonesia, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia, Jakarta
3. Anonim, (2012). Handbook of Energi and Economic Statistic of Indonesia, Ministry of Energy and Mineral Resources, Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources.
4. Anonim, (2014), Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Lembar Negara RI Tahun 2014 Nomor 300.
5. Anonim, (2011), Peraturan Pemerintah Nomor 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan Gas Rumah Kaca, Lembar Negara RI Tahun 2011 Nomor 149.
6. de Souza, S.P., Pacca, S., de Avila M.T., dan Borges, J.L.B., (2010), Greenhouse gas emission and energy balance of palm oil biofuel, *Renewable Energy*, 35:2552-2561.
7. Prapospangsa, T., Musikavong C., dan Gheewala, S.H., (2017), Life cycle assessment of palm biodiesel production in Thailand: Impacts from modeling choices, co-product utilization, improvement technologies, and land use change, *Journal of Cleaner Production*, 153:435-477.
8. Cho H.J., Kim, J.K, Ahmed, F. dan Yeo, Y.K., (2013), Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of a biodiesel production from palm fatty acid distillate (PFAD), *Applied Energy*, 111:479-488.
9. Santoso A., Suwedi, N., Pratama, R.A., dan Susanto, J.P., (2017), Energi terbarukan dan pengurangan emisi gas rumah kaca dari *palm oil mill effluent*, *J.Tek.Ling.*, 18(1):88-95.
10. Leach G., (1997), *Energy and food production*, Guildford: IPC Science and Technology Press, The International Institute for Environmental and Development.
11. Mudahar M.S., Hignett T.P., (1987), *Energy in plant nutrition and pest control*, in Hazel Z.R. Editor, *Energy requirement technology and resources in fertilizer sector*, Chapter 2, *Energy in World Agriculture*, Elsevier, Amsterdam, 2:25-61.
12. Bhat M.G., English B.C., Turbollow A.F., Nyangito, H.O., (1994), *Energy in synthetic fertilizers and pesticides*, Revised Final Project Report, ORNL/Sub/90-99732/2, Environmental Science Division, Oak Ridge National Laboratory.
13. Kongshaug G, (2008), *Energy consumption and greenhouse gas emission in fertilizer production*, IFA Tech.Conf., Marrakech, Marrocco, http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/PDF/1998_biblio_65.pdf.
14. Pehnelt G., dan Vietze C., (2012), *Recalculating GHG emission saving of palm oil biodiesel*, *Env.Dev. sustain.*, DOI: 10.1007/s10668-012-9387-z.
15. West T.O., dan Marland G., (2002), *A System of carbon sequestration, carbon emission and net carbon flex in agriculture: Comparing tillage practices in the United States*, *Agriculture Ecosystem and Environment*, 91:217-232.
16. EPA, (2002), *A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emission printed on recycled paper*, Draft technical report, EPA420-P-02-001. <http://www.epa.gov/otaq/models/analysis/biodsl/p02001.pdf>.
17. Widiyanto A., Kato, S., Manuyama, N., Nishimura, A., Sampattagul, S., (2003), *Environmental impacts evaluation of electricity grid mix systems in four selected countries using a life cycle assessment point of view*, Proc. EcoDesign 2003, Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo Japan, 26-33.
18. Al Hakim, H.M., Supartono, W., dan Suryandono, A, (2014), *Life Cycle assessment pada pembibitan kelapa sawit untuk menghitung emisi gas rumah kaca*,

ZIRAA'AH, 39(2):72-80.

19. Anonim, (2015), Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya

Mineral Nomor 32 Tahun 2008 Tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.