# Emisi $CO_2$ dari Pengembangan Biodiesel Kelapa Sawit: Simulasi Perhitungan Menggunakan Software SMART-EPOI

# $CO_2$ 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 $CO_2$ emission reduction from the development of palm oil biodiesel. The amount of $CO_2$ emission reduction is calculated by using Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry) software developed by researcher. The calculation result of $CO_2$ emission reduction from the use of 4.82 million kilo liters of palm oil biodiesel per year is about 9.043,56 tons $CO_2e$ / year.*

***Keywords:*** *$CO_2$ 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 $CO_2$ dari kegiatan pengembangan biodiesel kelapa sawit. Besarnya penurunan emisi $CO_2$ dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry)* yang dikembangkan oleh peneliti sendiri. Hasil perhitungan penurunan emisi $CO_2$ dari penggunaan 4,82 juta kilo liter biodiesel kelapa sawit per tahun adalah 9.043,56 ton $CO_2e$/tahun.

**Kata Kunci:** Emisi $CO_2$, 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 ekplorasi 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 miryar barel/tahun dan menurun terus menerus dari tahun ke tahun, dan pada tahun 2015 cadangan minyak Indonesia sebesar 3.6 miryar 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 komsumsi energi nasional dan meningkat menjadi 3% pada tahun 2015[3].

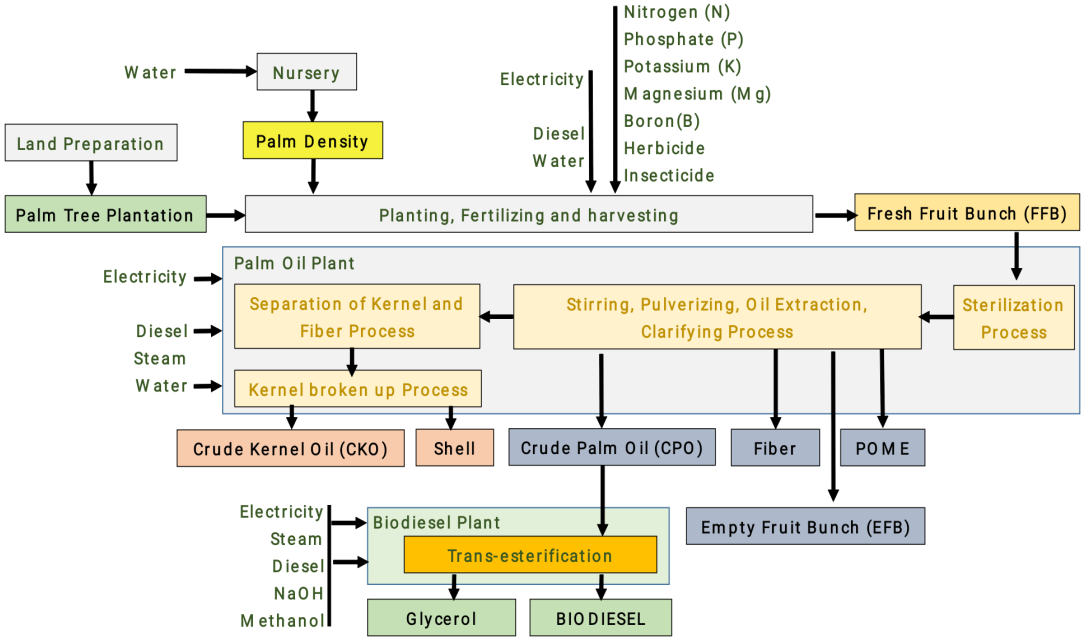
Melalui Kebijakan Energi Nasional, yaitu kebijakan di dalam pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan, pemerintah pada tahun 2025 bertekad melakukan penyeimbangan penggunaan energi nasional dengan melalui peningkatkan bauran energi primer dari EBT 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 $CO_2$, maka diperlukan perhitungan emisi $CO_2$ 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 ditanamam, 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 $CO_2$. Perhitungan emisi $CO_2$ dalam proses produksi biodiesel kelapa sawit memerlukan metode pengitungan yang akurat. Pengembangan perangkat lunak *Smart-EPOI (Smart Evaluation of Palm Oil Industry)* oleh Peneliti diharapkan dapat menjadi alat untuk menghitung emisi $CO_2$ 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 $CO_2$ 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 $CO_2$ 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 $m^3$, kebutuhan methanol pada saat produksi biodiesel sebesar 140 kg, kebutuhan NaOH pada saat produksi biodiesel sebesar 6 kg, kebutuhan diesel/solar untuk tranportasi 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 $CO_2$ produksi biodiesel juga diperlukan data emisi faktor yang diperoleh dari beberapa referensi sebagaimana disampaikan dalam Tabel 1.

Batasan yang perlu diperhatikan bahwa perhitungan emisi $CO_2$ di paper ini belum menyertakan besarnya emisi $CO_2$ 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 $CO_2$ 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 $CO_2$ dapat dilakukan dengan masuk ke menu Information and Analysis lalu pilih menu $CO_2$ Emission Analysis.

Selain input data besarnya material/bahan atau energi yang diperlukan, untuk melakukan perhitungan besarnya emisi $CO_2$ juga memerlukan input data faktor emisi. Input data faktor emisi di Smart-EPOI dapat dilakukan setelah masuk ke mode $CO_2$ Emission Analysis, setelah itu pilih menu Setting kemudian pilih Emission Factors Setting dan isikan data faktor emisi yang digunakan sebagai literatur. Perhitungan besarnya emisi $CO_2$ 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 $CO_2$ adalah:

$$\text{Emisi CO2} = \sum(\text{bahan atau energi yang dibutuhkan x emisi faktor dari bahan tersebut})$$

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
        DKebunhitungEm = DKebun * 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 + DsllChitungEm
        ProdBIOhitungEm = ElecBhitungEm + DieselBhitungEm
                + NaOHhitungEm + MethlhitungEm
        TranspotPhitungEm = (DKebunhitungEm +
                DPupukhitungEm + DTBShitungEM +
                DCPOhitungEm)
        TotalEm = SeedhitungEm + TanamhitungEm +
                TanspotPhitungEm + ProdCPOhitungEm +
                ProdBIOhitungEm
        SolarBioEmisi = EFDiesel - TotalEm
End Sub
```

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

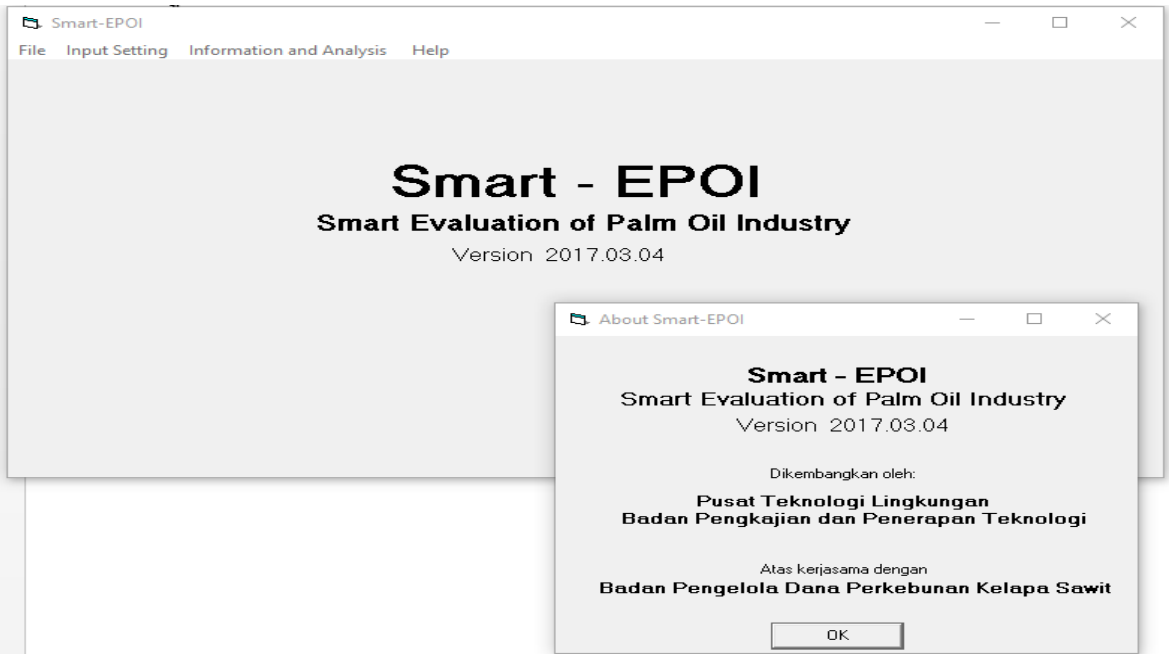
Perhitungan emisi $CO_2$ secara rinci yang dihasilkan dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit ditampilkan dalam Gambar 4. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa besarnya emisi $CO_2$ dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit sebesar 1423,74 kg $CO_2$e. Emisi $CO_2$ terbesar secara berturut-turut adalah berasal dari penggunaan nitrogen (N) pada proses pemupukan yaitu 945 kg $CO_2$e, penggunaan listrik pada proses pengolahan TBS ke CPO sebesar 147 kg $CO_2$e, proses pengolahan CPO ke biodiesel sebesar 84 kg $CO_2$e dengan jumlah total emisi adalah 231 kg $CO_2$e, serta penggunaan methanol pada proses pengolahan CPO menjadi biodiesel sebesar 110.6 kg $CO_2$e.

Apabila hasil perhitungan emisi $CO_2$ tersebut dikelompokkan kedalam sub-sub proses maka sub-proses penaman, pemupukan dan pemeliharaan merupakan sub-proses yang paling besar mengeluarkan emisi $CO_2$ yaitu 1051.502 kg $CO_2$e, kemudian disusul oleh sub-proses produksi biodiesel sebesar 201.8 kg $CO_2$e, sub-proses produksi CPO sebesar 170.44 kg $CO_2$e, dan sub-proses transportasi sebesar 23.1 kg $CO_2$e. Perhitungan sub-proses traansportasi 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.

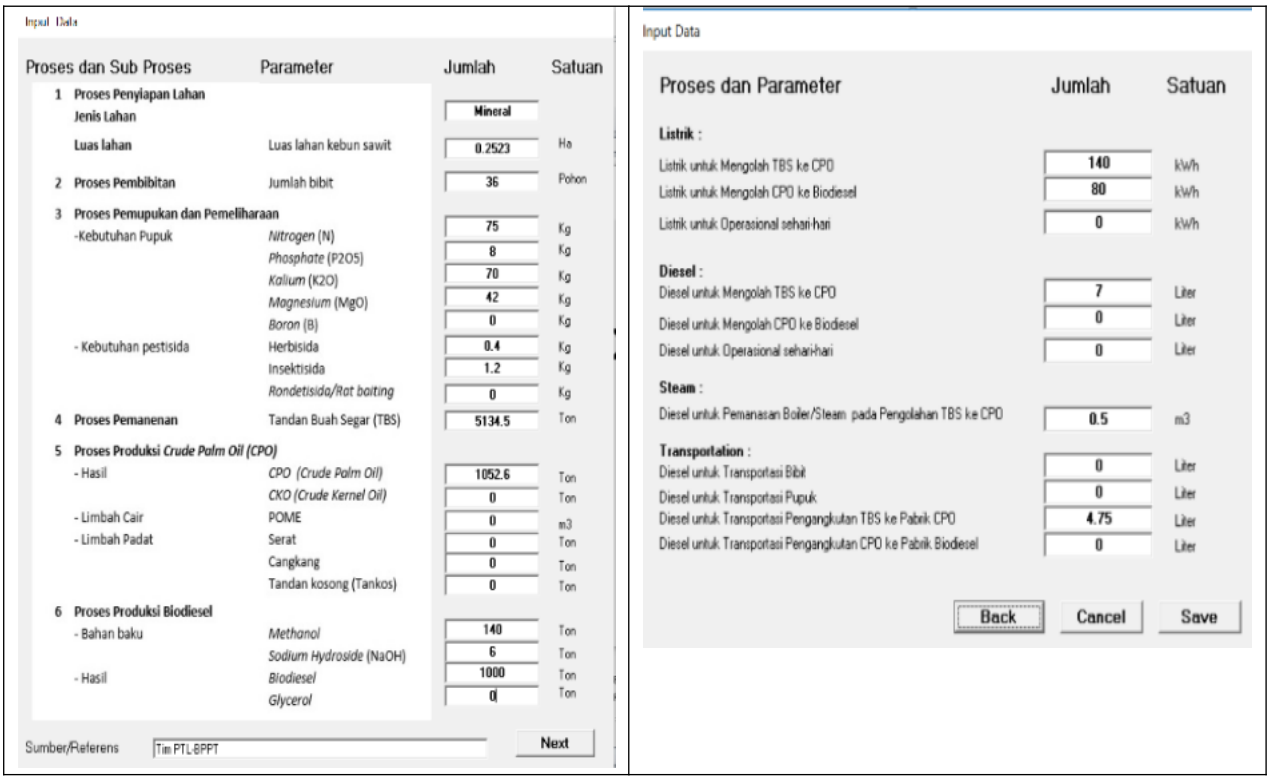
Dari hasil perhitungan menggunakan *Smart-EPOI* tersebut dapat diketahui bahwa selisih emisi $CO_2$ dari penggunaan 1 kg biodiesel kelapa sawit (1,423742 kg $CO_2$e) dibandingkan dari penggunaan 1 kg solar/diesel (3.3 kg $CO_2$e)[18] adalah 1.87626 kg $CO_2$e. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan 1 ton bahan bakar biodiesel kelapa sawit sebagai pengganti bahan bakar solar/diesel dapat mereduksi/mengurangi emisi $CO_2$ sebanyak 1.87626 kg $CO_2$e. 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 $CO_2$ total yang dapat direduksi adalah 9.043,56 ton $CO_2$e/tahun atau sekitar 0,0238% dari target penurunan emisi $CO_2$ di sektor Energi dan Transportasi[5] yaitu 0.038 Giga ton $CO_2$e/tahun.

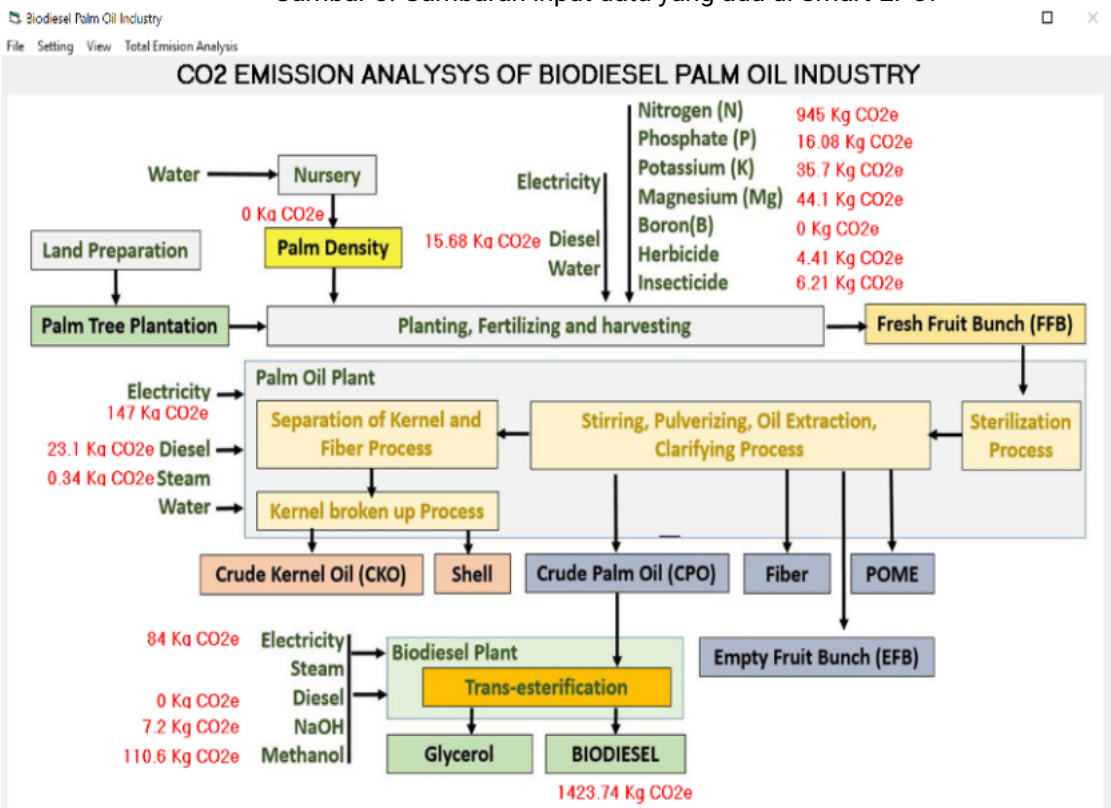
Hasil perhitungan menginformasikan bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dapat mereduksi emisi $CO_2$ sampai 56,86%. Hasil ini terlihat sangat jauh apabila dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan oleh masyarakat Uni Eropa yaitu sekitar 20% (pada tahun 2020) dari perhitungan emisi tahun 1990[14]. Besarnya selisih ini, menurut penulis adalah wajar karena perhitungan emisi $CO_2$ yang dilakukan di paper ini masih belum menyertakan perhitungan emisi $CO_2$ dari pembukaan lahan.



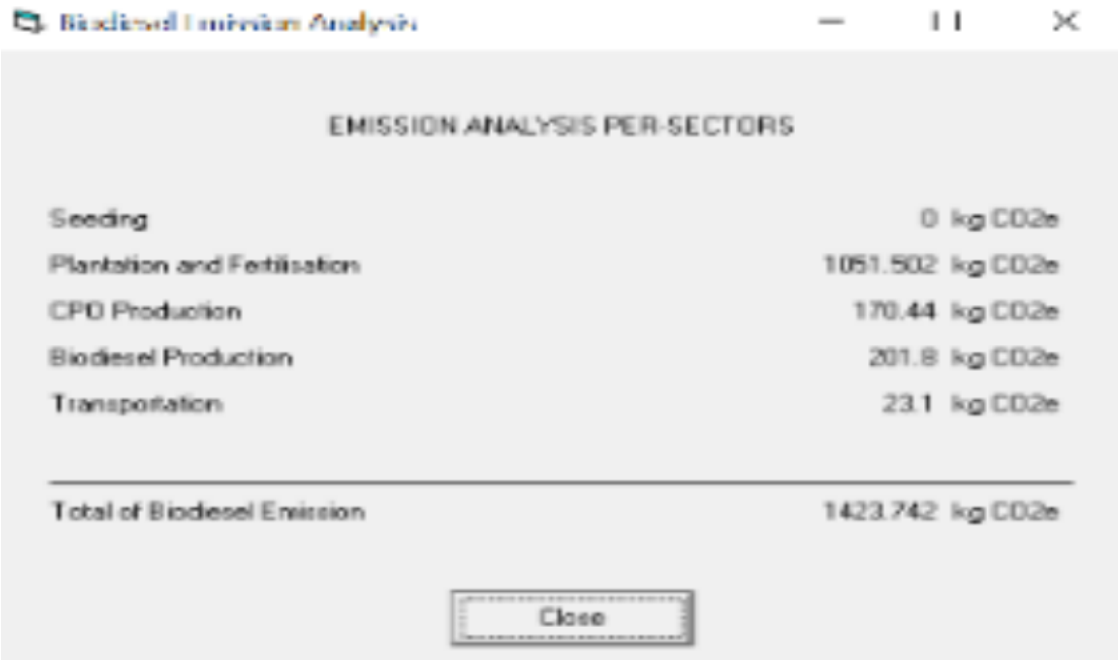

Gambar 2. Bentuk tampilan antar muka Smart-EPOI



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




Gambar 4. Hasil simulasi emisi $CO_2$




Gambar 5. Perhitungan emisi $CO_2$ yang dikelompokkan ke dalam sub-proses

## 4. KESIMPULAN

Besarnya emisi $CO_2$ dari proses produksi 1 ton biodiesel kelapa sawit adalah 1423,74 kg $CO_2$e. Hal ini mengindikasikan bahwa besarnya emisi $CO_2$ biodiesel kelapa sawit lebih rendah dibandingkan dengan solar. Selisih emisi $CO_2$ dari biodiesel dan solar adalah 1.87626 kg $CO_2$e. Dibandingkan dengan kebijakan pemerintah yang menargetkan penurunan emisi $CO_2$ di sektor

energi dan transportasi sebesar 0.038 Giga ton $CO_2$e/tahun, hasil penelitian ini dapat mereduksi emisi $CO_2$ sebesar 9.043,56 ton $CO_2$e/tahun atau sekitar 0,0238%.

## PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada PTL -BPPT dan BPDP Sawit yang telah mengijinkan 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. Prapospongsa, 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, Marroco, 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.