

Potensi Dampak Lingkungan Pada Industri Minyak Goreng Sawit Dengan Metode *Life Cycle Assessment*

Serkiyan Adyaksa Kresi¹, M. Abu Jami'in, Mirna Apriani

Program Studi Teknik Keselamatan dan Risiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

ABSTRAK

Produksi minyak goreng kelapa sawit meningkat seiring dengan banyaknya permintaan masyarakat. Peningkatan yang begitu pesat mempengaruhi sistem kinerja dari perusahaan. Pola perusahaan dalam memenuhi permintaan pasar disisi lain juga mengakibatkan timbulnya dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengidentifikasi besarnya dampak lingkungan yang ditimbulkan adanya proses produksi minyak goreng sawit. Perusahaan ini juga telah menerapkan sistem manajemen lingkungan sebagai bentuk tanggung jawab serta upaya untuk memperbaiki lingkungan. Salah satu upaya dalam memperbaiki lingkungan yaitu dengan melakukan penilaian siklus hidup. Penilaian siklus hidup adalah salah satu metode yang dapat mengidentifikasi dampak lingkungan yang disebabkan oleh proses produksi dan dinilai lebih sistematis mengeluarkan dampak terhadap lingkungan. Hasil analisis menggunakan pendekatan penilaian siklus hidup ini dapat mengetahui titik kritis (*Hotspot*) yang menyebabkan dampak lingkungan, baik dari proses produksi maupun produknya, sehingga didapatkan beberapa alternatif rekomendasi. Penentuan alternatif rekomendasi terbaik menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP). ANP merupakan salah satu metode untuk mengukur skala prioritas dalam mengambil suatu keputusan. Hasil dampak lingkungan menggunakan pendekatan daur hidup dengan metode CML-IA Baseline adalah *Abiotic Depletion (fossil fuels)* 12,56 MJ/ Ton, Pemanasan Global 0,00117 kg CO₂ eq/ Ton, Toksisitas pada manusia 0,03718 kg 1,4 -DB eq/ Ton, Oksidasi Fotokimia 0,00043 kg C₂H₄ eq/ Ton, Asidifikasi 0,02586 kg SO₂ eq/ Ton, dan Eutrofikasi 0,00394 kg PO₄/Ton. Sedangkan hasil keputusan dari berbagai alternatif dan kriteria dengan metode ANP disimpulkan bahwa alternatif penggunaan biomassa tandan kosong atau *empty fruit bunch* (EFB) sebagai bahan bakar Boiler dan kriteria dampak lingkungan sebagai prioritas utama dalam perbaikan lingkungan.

Kata kunci: Analisis Jaringan, Dampak Lingkungan, Produksi Minyak Goreng Sawit, Siklus Daur Hidup

ABSTRACT

Palm oil production increases along with the many people's demand. Such rapid improvements affect the performance systems of the company. The company's pattern of meeting market demand on the other hand also resulted in the onset of environmental impacts caused by the production process. The purpose of this study is to find out and identify the magnitude of the environmental impact caused by the palm oil production process. The company has also implemented an environmental management system as a form of responsibility as well as an effort to improve the environment. One of the efforts in improving the environment is to conduct a life cycle assessment. Life cycle assessment is one method that can identify the environmental impact caused by the production process and is considered more systematically issuing an impact on the environment. The results of the analysis using this life cycle assessment approach can find out the critical point (*Hotspot*) that causes environmental impact, both from the production process and the product, so that several alternative recommendations are obtained. The best alternative recommendations are determined using the *Analytical Network Process* (ANP) method. ANP is a method for measuring the scale of priority in making a decision. The result of environmental impact with CML-IA Baseline method is *Abiotic Depletion* 12,56 MJ/ Ton, Global Warming 0,00117 kg CO₂ eq/ Ton, Human Toxicity 0,03718 kg 1,4 -DB eq/ Ton, Photochemical Oxidation 0,00043 kg C₂H₄ eq/ Ton, Acidification 0,02586 kg SO₂ eq/ Ton, and Eutrophication 0,00394kg PO₄/ Ton. While the results of decisions from various alternatives and criteria with the ANP method concluded that the alternative use of empty fruit bunch (EFB) as boiler fuel and environmental impact criteria as the main priority in environmental improvement.

Keywords: Analytical Network Process, Environmental impact, Life Cycle Assessment, Palm Oil Production

Citation: Kresi, S. A., Jami'in, M. Abu, dan Apriani, M. (2022). Potensi Dampak Lingkungan Pada Industri Minyak Goreng Sawit Dengan Metode Life Cycle Assessment. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 672-677, doi:10.14710/jil.20.3.672-677

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia. Bersama Malaysia, Indonesia

menyumbang untuk sebesar 85% dari produksi minyak dunia (Jayed, 2009). Meningkatnya harga minyak goreng baru-baru ini. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS 29 Oktober 2021), minyak goreng yang

¹ Penulis korespondensi: serkiyanadyaksa@gmail.com

paling diminati oleh masyarakat Indonesia adalah minyak goreng sawit. Minyak goreng sawit lebih cocok dengan kebiasaan menggoreng masyarakat Indonesia. GAPKI (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia) mencatat pada tahun 2021 konsumsi minyak goreng sawit sebesar 18.422 juta ton atau naik 6% dibandingkan pada tahun 2020 yaitu sebesar 17.349 juta ton. (Rizal, 2022). Produksi minyak goreng sawit mengalami peningkatan seiring dengan banyaknya permintaan masyarakat. Hal ini berpengaruh terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan karena proses produksi minyak goreng, seperti emisi dari cerobong boiler, limbah cair, limbah padat dan limbah B3. Para kritikus juga telah menunjuk ke sektor ini karena pelepasan emisinya yang tinggi dan secara signifikan berkontribusi pada masalah gas rumah kaca (GRK). Industri ini juga telah mendorong dan meningkatkan kesadaran untuk keberlanjutan (Wiloso, et al., 2018). Tujuan penelitian ini adalah menentukan alternatif mitigasi atau rekomendasi terbaik berdasarkan hasil dari analisis dampak lingkungan.

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metode untuk menganalisis suatu *impact* yang dapat merusak lingkungan sepanjang siklus proses (Putri, 2017). LCA merupakan prosedur akuntansi lingkungan holistik yang mengkuantifikasi dan mengevaluasi berbagai jenis limbah yang dapat merusak lingkungan dan bahan baku yang dikonsumsi di seluruh siklus hidup, dimulai dengan sumber bahan baku dari bumi melalui manufaktur dan distribusi untuk penggunaan dan pembuangan konsumen. Saat ini, pertimbangan lingkungan menjadi yang paling isu penting dalam penerapan industri kelapa sawit di Indonesia (Siregar, 2015). Hasil analisis LCA berupa alternatif rekomendasi atau aksi mitigasi yang sesuai dengan dampak lingkungan tertinggi sehingga mampu memberikan perlindungan terhadap lingkungan (Finkbeiner, 2013). Alternatif terbaik dipilih atas berdasarkan kriteria dampak lingkungan yang ditimbulkan, kemudahan operasional, dan dari segi ekonomi. Analisis ini menggunakan metode ANP. Metode ANP (*Analytical Network Process*) salah satu metode pada *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) (Nugraini, et al., 2013). Metode ANP merupakan peningkatan level dari metode *Analytical Hierarchy Process* yang dibuat oleh Saaty T. L. Analisis dampak lingkungan ini menggunakan *software* SimaPro 9.3, sedangkan untuk pemilihan alternatif mitigasi terbaik menggunakan *software* Super Decision. Hasil pada penelitian ini akan dilaporkan kepada perusahaan sebagai rekomendasi aksi mitigasi lingkungan.

2. Metodologi

LCA digunakan dalam mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya konsumsi material/ bahan baku, energi, bahan kimia, produk, dan emisi/ limbah serta faktor lainnya yang berkaitan dengan siklus produksi (Khaliza, 2019).

Berdasarkan ISO 14044 - 2006, tahapan LCA terdiri dari (1) Penentuan tujuan dan batasan (*Goal and Scope*); (2) *Life Cycle Inventory* (LCI) memasukkan data *input* dan *output* proses produksi minyak goreng kelapa sawit; (3) *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), penilaian terhadap *impact* ke lingkungan dengan menggunakan metode CML-AI Baseline; (4) *Interpretation*, tahap penarikan kesimpulan berdasarkan korelasi antara LCI dan LCIA serta menentukan rekomendasi untuk perbaikan lingkungan.

Metode *Analytical Network Process* (ANP) digunakan dalam mengambil sebuah keputusan. ANP merupakan *upgrade* dari AHP (*Analytical Hierarchy Process*) yang *diupgrade* oleh Thomas L Saaty. Tahapan dalam ANP ini terdiri dari: (1) Penetapan tujuan, alternatif, dan kriteria; (2) Network hubungan tujuan, kriteria, dan alternatif; (3) Pembuatan kuesioner; (4) Pengolahan data menggunakan *software* Super Decision (Effendi, 2016)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Life Cycle Assessment

a. Goal and Scope

Tahapan pertama dalam analisis LCA adalah menetapkan *goal and scope*. *Goal* pada kajian ini mengidentifikasi dampak lingkungan yang berpotensi timbul pada proses produksi minyak goreng sawit. Sedangkan untuk *scope* nya adalah *gate to gate* yaitu dari proses *crushing* hingga minyak jadi. Metode analisis dampak yang digunakan adalah CML-IA Baseline dengan dampak yang dianalisis terdiri dari *abiotic depletion*, *global warming*, *human toxicity*, *photochemical oxidation*, *acidification*, dan *eutrophication*. Unit fungsi (FU) yang digunakan adalah Ton minyak goreng sawit.

b. Life Cycle Inventory (LCI)

Tahapan yang ke dua yaitu *Life Cycle Inventory* (LCI). Tahap inventarisasi *input* dan *output* proses produksi minyak goreng sawit. Data *input* berupa material / bahan baku, bahan kimia, energi. Data *output* berupa hasil produksi, hasil samping produksi (limbah) dan emisi udara. Data yang digunakan merupakan data total 1 periode yang diambil dari *logbook* dan data pengujian emisi perusahaan tahun 2020. LCI disajikan pada Tabel 1.

c. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahapan selanjutnya yaitu *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA). Pada tahap ini semua data *input* maupun *output* yang diperoleh dimasukkan dan diolah dengan *software* SimaPro 9.3. Metode yang digunakan untuk memperkirakan besarnya dampak lingkungan pada proses produksi minyak goreng sawit adalah CML-IA Baseline. Hasil dampak yang diproses menggunakan *software* SimaPro 9.3 disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 1. Life Cycle Inventory proses produksi minyak goreng sawit

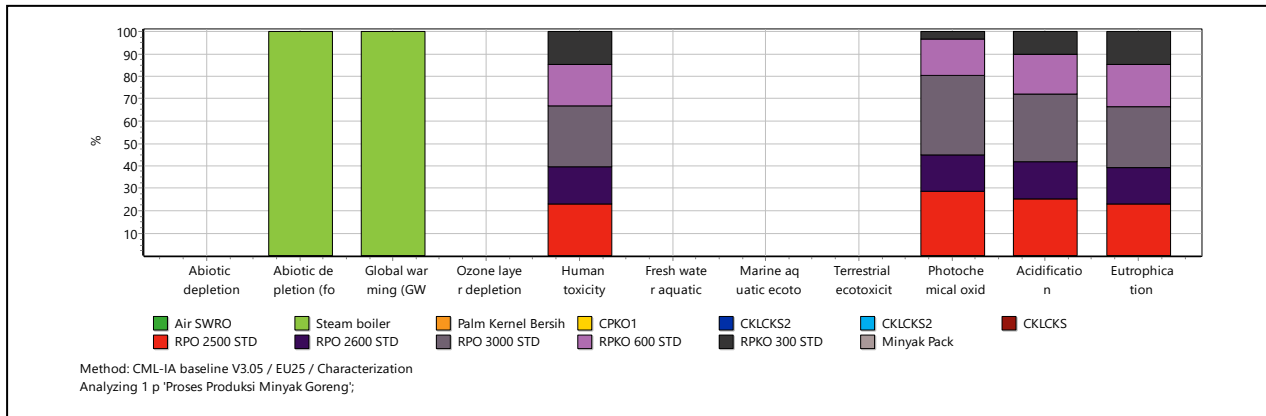
Kategori	Inventory Data	Jumlah 1 periode	Satuan	Jumlah per unit fungsi	Satuan
Input					
Material	Sea Water	1770242	m ³	0,7223885	m ³ / Ton
	Steam	23813	Ton	0,0097175	Ton/ Ton
	Batubara	16034	Ton	0,0065430	Ton/ Ton
	Palm Kernel	241780	Ton	0,0986649	Ton/ Ton
	Air SWRO	1770242	m ³	0,7223885	m ³ / Ton
Energi	Listrik	85919605	kWh	35,0614987	kWh/ Ton
Bahan Kimia	NaOH	840	Kg	0,0003428	Kg/ Ton
	H ₃ PO ₄	622	Kg	0,0002538	Kg/ Ton
	H ₂ SO ₄	1143	Kg	0,0004664	Kg/ Ton
	NaOCl	6648	Kg	0,0027129	Kg/ Ton
	Bleaching Earth	18519673,24	Kg	7,5573846	Kg/ Ton
	Phosphoric Acid	764939,07	Kg	0,3121512	Kg/ Ton
Output					
Produk	Minyak Goreng	2450540	Ton	1,0000000	Ton/ Ton
	PK Bersih	184055	Ton	0,0751079	Ton/ Ton
	CPKO	89244	Ton	0,0364181	Ton/ Ton
	CKL & CKS	133588	Ton	0,0545137	Ton/ Ton
	RPO & RPKO	2450539	Ton	0,9999996	Ton/ Ton
Emisi ke udara	CO ₂	27089	Ton	0,0110543	Ton/ Ton
	CH ₄	0,28	Ton	0,0000001	Ton/ Ton
	N ₂ O	0,42	Ton	0,0000002	Ton/ Ton
	Partikulat	10,49	Ton	0,0000043	Ton/ Ton
	SO ₂	21,89	Ton	0,0000089	Ton/ Ton
	NO _x	74,18	Ton	0,0000303	Ton/ Ton
	Emisi ke tanah	Limbah Cangkang (PKE)	57725	Ton	0,0235560
PKE Pellet		94811	Ton	0,0386898	Ton/ Ton
Solvent Bekas		49,89	Ton	0,0000204	Ton/ Ton
Spent Bleaching Earth		31817	Ton	0,0129837	Ton/ Ton
Fly Ash		19329,53	Ton	0,0078879	Ton/ Ton
Bottom Ash		30887,37	Ton	0,0126043	Ton/ Ton
Minyak Pelumas Bekas		603,63	Ton	0,0002463	Ton/ Ton
Majun bekas		69,21	Ton	0,0000282	Ton/ Ton
Baterai/Aki bekas		28,72	Ton	0,0000117	Ton/ Ton

Sumber data diolah dari perhitungan data bulanan

Tabel 2. Hasil Enviromental Impacts pada produksi minyak goreng sawit

Unit Proses	Impact Category					
	Abiotic Depletion (MJ/Ton)	Global Warming (kg CO ₂ eq/Ton)	Human Toxicity (kg 1,4 DB eq/Ton)	Photochemical Oxidation (kg C ₂ H ₄ eq/Ton)	Acidification (kg SO ₂ eq/Ton)	Eutrophication kg PO ₄ eq/Ton
SWRO Plant	0	0	0	0	0	0
Boiler	12,562	0,0012	0	7,24x10 ⁻¹¹	0	4,89x10 ⁻⁹
Turbin & Generator	0	0	0	0	0	0
Transformator	0	0	0	0	0	0
PK Crushing	0	0	0	0	0	0
PK Solvent	0	0	0	0	0	0
CPKO-1	0	0	0	0	0	0
CPKO-2	0	0	0	0	0	0
REF 2500	0	0	0,00854	0,00012	0,00654	0,00090
REF 2600	0	0	0,00615	6,97x10 ⁻⁵	0,00425	0,00065
REF 3000	0	0	0,01011	0,00015	0,00787	0,00106
REF 300	0	0	0,00696	7,01x10 ⁻⁵	0,00459	0,00074
REF 600	0	0	0,00543	1,41x10 ⁻⁵	0,00206	0,00059
Jumlah	12,562	0,0012	0,03718	0,00043	0,02586	0,00394

Sumber data diolah dari software SimaPro 9.3



Gambar 1. Diagram Environmental Impact

d. Interpretation

Tahapan yang terakhir adalah *Interpretation*. Berdasarkan hasil analisis *software* SimaPro 9.3 unit proses yang berkontribusi dalam menyumbang dampak lingkungan tertinggi adalah Boiler. Dampak tertinggi yang dihasilkan adalah *abiotic depletion (fossil fuel)*, yang mana dampak tersebut dapat muncul karena penggunaan material batubara sebagai bahan bakar pada boiler. Besarnya *impact category abiotic depletion (fossil fuel)* disebabkan oleh banyaknya batubara yang digunakan. Penggunaan batubara dapat memicu munculnya emisi ke udara. Emisi tersebut merupakan kontributor munculnya *impact category* yang lain pada unit proses Boiler. Oleh karena itu terdapat tiga rekomendasi dalam mengurangi dampak yang ditimbulkan dari penggunaan batubara yaitu:

1. Penggunaan *biomassa* dari limbah Tandan Kosong atau *Empty Fruit Bunch (EFB)* sebagai bahan bakar pada mesin boiler. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan dari sebuah proses fotosintesis dan EFB merupakan salah satu limbah yang dapat dijadikan biomassa juga memiliki sumber energi terbarukan. Limbah EFB dilakukan *pre-treatment* sebelum digunakan sebagai bahan bakar dengan menggunakan metode torefaksi menunjukkan semakin tinggi nilai kalor. Hal ini menandakan bahwa limbah EFB berpotensi sebagai sumber energi yang dapat diperbarui. (Martin, et.al., 2021). Penelitian Sunarwan dan Juhana (2013) juga menyebutkan bahwa limbah EFB dapat menjadi EBT sebagai pengganti bahan bakar batubara. Menurut Permata (2005) limbah EFB memiliki potensi besar untuk dijadikan Bahan Bakar Nabati dan bahan bakar pembangkit listrik tenaga biomassa (PLT Biomassa).
2. Pemanfaatan limbah cair POME (*Palm Oil Mill Effluent*) sebagai energi terbarukan. Dalam penelitian Suchyo, 2019 mengatakan bahwa pemanfaatan POME yang digunakan sebagai bahan bakar boiler dapat menurunkan emisi GRK. Selain

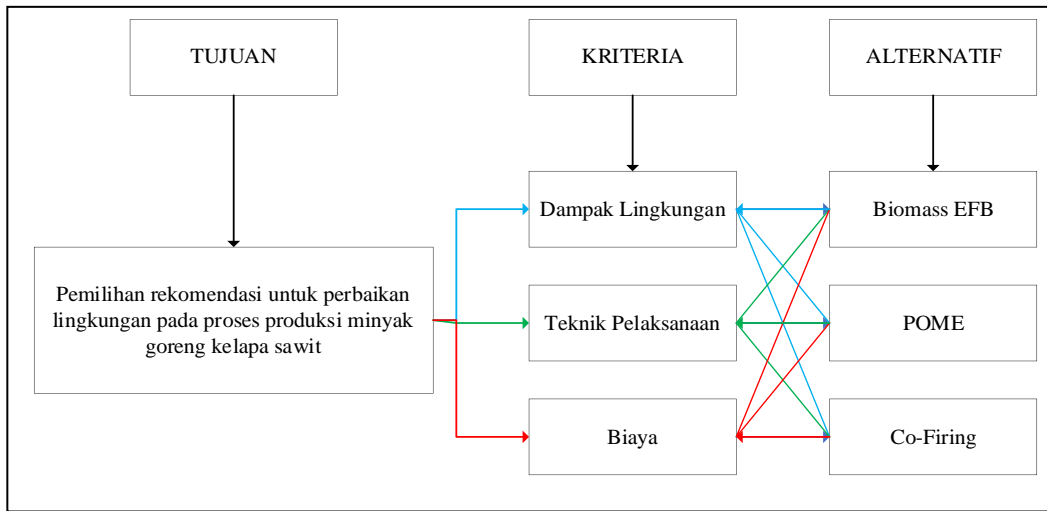
itu juga bernilai ekonomis karena dapat menghemat pengeluaran untuk membeli batubara.

3. Aplikasi sistem *Co-Firing* batubara dengan cangkang kelapa sawit. Pengaplikasian system *co-firing* ini secara tidak langsung dapat menghemat pemakaian batubara, yang mana para ahli berpendapat bahwa batubara akan habis sekitar 70 tahun lagi (Parinduri & Parinduri, 2020).

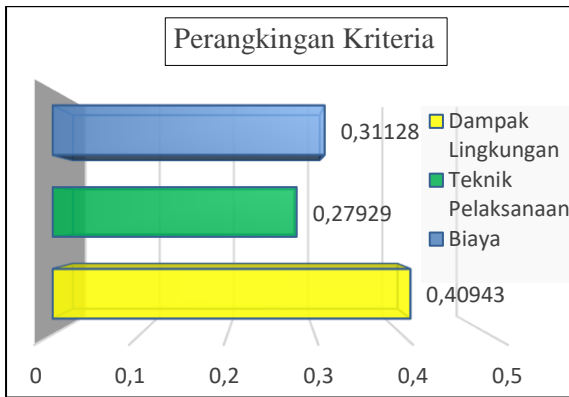
3.2 Analytical Network Process (ANP)

ANP salah satu metode untuk mengukur skala prioritas dalam mengambil keputusan (Saaty T. L., 2006). Langkah awal dalam mengambil sebuah keputusan yaitu menetapkan tujuan, alternatif, dan kriteria. Tujuan, alternatif, dan kriteria dapat dilihat pada Gambar 2.

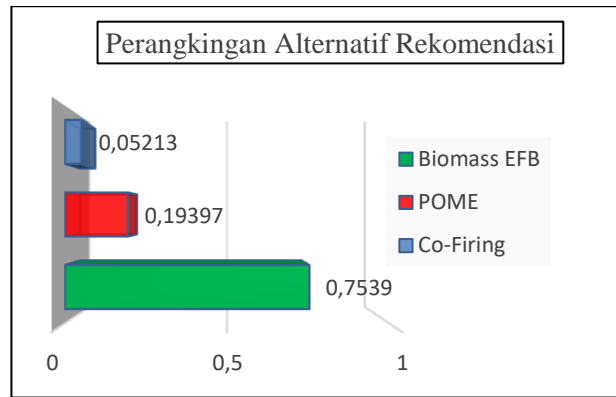
Langkah selanjutnya adalah pembuatan kuesioner. Kuesioner ini berfungsi untuk mengetahui pendapat dari para *stakeholder* perusahaan. Didalam kuesioner terdapat skala prioritas antara kriteria dan alternatif. Para *stakeholder* memberikan nilai sesuai dengan skala prioritas. Setelah itu dilakukan perhitungan bobot prioritas dengan memasukkan nilai yang didapatkan dari kuesioner. Berdasarkan penginputan data dengan menggunakan *software* Super Decission hasil pembobotan dapat dilihat pada Gambar 3 & 4. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa para *stakeholder* memilih alternatif rekomendasi untuk program perbaikan lingkungan adalah penggunaan *biomass* EFB sebagai bahan bakar boiler dengan memprioritaskan dampak lingkungan sebagai kriteria utama. Limbah EFB adalah limbah yang paling banyak dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit (Febriyanti et al., 2019). Pengolahan *pre-treatment* pada EFB dapat menggunakan metode torefaksi yang diperlukan untuk mengurangi kadar air dan oksigen sehingga dapat meningkatkan nilai kalor (Sukiran, et al., 2020).



Gambar 2. Network Jaringan tujuan, kriteria dan alternatif



Gambar 3. Hasil Pembobotan Kriteria



Gambar 4. Hasil Pembobotan Alternatif

Telah dilakukan uji laboratprium terhadap limbah EFB di Distrik Jair, Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua memiliki jumlah kalor sebesar 4.492,7436 kalori/g (4.492,7436 Kkal/kg) atau 18.719,4656 joule/g, mengandung pati 11,550% bb dan mengandung selulosa 41,392% bb, sangat cocok untuk dijadikan bahan bakar tersebut (Lab. Kimia ITB, 2010). Bahkan limbah EFB hasil perhitungan akan dapat membangkitkan listrik sebesar 7,33 MW (Haryanti, et al., 2014). Nilai kalor rendah dengan ketidakseragaman komposisi merupakan kendala limbah EFB (Irawan et.al., 2015). Pada penelitian Martin, (2021) Nilai kalor Limbah EFB mendapatkan nilai tinggi yaitu sebesar 7470,59 kkal/kg dimana nilai kalor tersebut lebih besar daripada penelitian yang dilakukan oleh Nyakuma et.al (2019) dengan nilai kalor yang dihasilkan sebesar 4197 kkal/kg.

Limbah EFB dapat dijadikan sebagai bahan bakar energi terbarukan (EBT) sebagai pengganti batubara yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan juga lebih ramah lingkungan (Kamal)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian ini, maka diambil kesimpulan bahwa dampak lingkungan dari proses produksi minyak goreng kelapa sawit dengan menggunakan metode CML-IA Baseline adalah *abiotic depletion* 12,56 MJ/ Ton, *global warming* 0,00117 kg CO₂ eq/ Ton, *human toxicity* 0,03718 kg 1,4 -DB eq/ Ton, *photochemical oxidation* 0,00043 kg C₂H₄ eq/ Ton, *acidification* 0,02586 kg SO₂ eq/ Ton, and *eutrophication* 0,00295kg PO₄/Ton. Sedangkan hasil keputusan dari berbagai alternatif dan kriteria dengan metode ANP didapatkan bahwa alternatif penggunaan biomassa EFB sebagai bahan bakar Boiler dan kriteria dampak lingkungan sebagai prioritas utama dalam perbaikan lingkungan.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pabrik Olahan Minyak Goreng Kelapa Sawit yang telah memberikan dukungan berupa data-data yang valid yang dapat menunjang terciptanya artikel ilmiah ini.

Tak lupa dosen dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang banyak memberikan bimbingan dan arahan yang terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat, (2021). Konsumsi Minyak Goreng tahun 2021. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Effendi, A. (2016). Implementasi Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytical Network Process (ANP) untuk Manajemen Lingkungan Pada PT Charoend Pokphand- Krian. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Finkhbeiner, M. (2013). From the 40s to the 70s - The future of LCA in the ISO 14000 Family. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18 (1),1-4.
- Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI). 2021.Produksi CPO atau Minyak Sawit pada tahun 2021. <http://KebijakanPemerintahAtasiKelangkaanMinyakGorengBerdampakpadaPerekonomianMasyarakatdanNegara-kaltengnews.co.id>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A.S., Bindar, Y., & Irawan A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil dan Gas Dengan metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12-17.
- Haryanti, Andi., Norsamsi., Sholiha, P.S.F., Putri, N.P. (2014). Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*. 3(2): 57-66. doi:10.20527/k.v3i2.161.
- Irawan, A., Riadz, T., & Nurmalisa, N. (2015). Proses Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air. *Reaktor*, 15(3), 190-195.
- ISO 14044 (2006) International Standard ISO 14044 - Environmental Management - Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.
- Jayed M.H., Masjuki, H.H., Saidur, R., Kalam, M.A., Jahirul, M.I. (2009). Environmental aspects and challenges of oilseed produced biodiesel in Southeast Asia *Ren and Sustainable Energy Review*.
- Khaliza, A. N. (2019). . Life Cycle Assessment Emisi Gas dan Partikulat ke Udara pada Proses Produksi Semen di PT Semen Indonesia (PERSERO) TBK Pabrik Tuban. *Jurnal Proceeding Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*.
- Kamal, Netty., Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit. Itenas Library.
- Laboratorium Kimia. (2010). Analisis Tandan Kosong Kelapa Sawit, Bandung.
- Martin., A., Romy., Kurniawan, I & Tampubolon, M.J (2021). Pemanfaatan Air Gambut untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Bio-Coal dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Variasi Waktu dan Temperatur Proses Torefaksi. *Rekayasa* 14 (3). 450-455.doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12226>.
- Nugraini, E. P., & Mudjahidin. (2013). Model Analytical Network Process Untuk Pengadaan Data Center (Studi Kasus Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi - Dinas Pendidikan Provinsi Jawa Timur. *Paper Teknik Pomits*, 1-6.
- Nyakuma, B. B., Ahmad, A., Johari, A., Abdullah, T. A. T., & Oladokun, O. (2015). Torrefaction of Pelletized Oil Palm Empty Fruit Bunches. 15-19.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal Of Electrical Technology)*, 5(2), 88-92.
- Permata; Indra Kusumah. (2005). Studi Pemanfaatan Biomassa Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar PLTU, ITS Surabaya, hal 61.
- Putri, H. P. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) Emisi pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin dengan Pendekatan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP).
- Rizal, J. G. (2022, Februari 04). Konsumsi Minyak Goreng Sawit di Indonesia. Indonesia.
- Saaty, T. L. (2001). *The Analytic Network Process (ANP) for Dependend and Feed back*. NewYork: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2006). Theory and Application of the Analytical Network Process. RWS Publications.
- Siregar, Kiman., Tambunan, A.H., Irwanto, A.K., Wirawan, S.S., Araki, Tetsuya. (2015). A comparison of life cycle assessment on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) as feedstock for biodiesel production in Indonesia *Energy Procedia* 65: 170-179.
- Sucahyo, Bambang; Hakim. Lukman, Dwi; Ridlho, Rohmadi; R. Tyas, Puspita; S. Rosmala, Erna. (2019). Kajian Teknologi Pemanfaatan Biogas POME (Palm Oil Mill Effluent) Ke Boiler. Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Sukiran, Mohamad Azri; Abnisa, Faisal; Syafie, S; Wan Daud, Wan Mohd Ashri; Nasrin, Abu Bakar; Abdul Aziz, Astimar; Loh, Soh Kheang (2020). Rxpérimental and Modelling Study of The Torrefaction of Empty Fruit Bunches as a Potential Fuel For Palm Oil Mill Boilers. *Biomass and Bioenergy*.
- Sunarwan, B; Juhana, R. (2013). Pemanfaatan Limbah Sawit untuk Bahan Bakar Energi Baru dan Terbarukan (EBT), *Jurnal Tekno Intensif Kopwil4*, vol 7, hal 1-14.
- Wiloso, Edi., Nazir, Novizar., Hanafi, Jessica., Siregar, Kiman. (2018). Life cycle assessment research and application in Indonesia. *The International Journal Of Life Cycle Assessment* 24: 386-396.