

Penggunaan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Sebagai Pendukung Pengambilan Keputusan Dampak Lingkungan Pada Industri Kelapa Sawit

Maisarah*¹, Rahmad Dian²

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia¹

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Indonesia²

***email penulis : maisarah@itsi.ac.id**

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan aktivitas manusia, maka kegiatan antropogenik menghasilkan peningkatan polutan ke lingkungan dari limbah kegiatan industri, salah satunya industri kelapa sawit yang masif di Indonesia. *Life Cycle Assessment* (LCA) atau Penilaian Siklus Hidup adalah alat untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses produksi atau jasa. Aktivitas manusia telah memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara akibat mesin, pencemaran air dan tanah akibat penggunaan pupuk dan pestisida, serta konsumsi air yang berlebihan. Artikel ini memaparkan penerapan LCA pada sektor perkebunan kelapa sawit sebagai pendukung pengambil keputusan. Pendekatan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis Item* (PRISMA) digunakan untuk mengidentifikasi, menyaring, dan memasukkan artikel yang relevan. Mengidentifikasi artikel terkait penilaian siklus hidup di sektor perkebunan kelapa sawit yang memenuhi syarat untuk analisis menjadi salah satu metode penulisan. Temuan menunjukkan bahwa tren penelitian tentang LCA di sektor perkebunan kelapa sawit terbagi atas subsistem perkebunan kelapa sawit dan industri pabrik kelapa sawit. Satuan fungsional yang digunakan pada LCA bervariasi (massa, energi, waktu, dan luas area). Batas sistem juga bervariasi dari *cradle to gate*, *gate to gate*, maupun *cradle to grave*. Dampak lingkungan yang ditemukan dalam artikel tersebut adalah parameter *global warming potential* (GWP), asidifikasi, dan parameter eutrofikasi. Didapatkan hasil bahwa penilaian LCA dapat menjadi salah satu pendukung pengambilan keputusan dengan berorientasi pada dampak lingkungan negatif terkecil yang dihasilkan dari suatu proses. Sehingga konsep *sustainability* dan *green economy* dapat tercapai dengan adanya penilaian LCA pada industri kelapa sawit.

Kunci Utama: Dampak Lingkungan; Industri; Kelapa Sawit; *Life Cycle Assessment* (LCA); Perkebunan Kelapa Sawit.

ABSTRACT

Along with the development of human activities, anthropogenic activities increase environmental pollutants from waste industrial activities, one of which is the massive palm oil industry in Indonesia. Life Cycle Assessment (LCA) is a tool for analyzing the environmental impact of production processes or services. Human activities have harmed the environment, such as air pollution due to machines, water and soil pollution due to using fertilizers and pesticides, and water consumption. This article describes the application of LCA in the oil palm plantation sector as a support for decision-makers. The Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis Items (PRISMA) approach was used to identify, screen, and include relevant articles. Identifying articles related to LCA in the oil palm plantation sector that meet the requirements for content analysis is one method of writing.

The findings show that research trends on LCA in the oil palm plantation sector are divided into the oil palm plantation subsystem and the palm oil mill industry. The functional units used in LCA vary (mass, energy, time, and area). System limits also vary from cradle to gate, gate to gate, or cradle to grave. The environmental impacts found in the article are global warming potential (GWP), acidification, and eutrophication parameters. The results showed that LCA assessment can support decision-making oriented towards the smallest negative environmental impacts resulting from a process. So the concept of sustainability and green economy can be achieved with an LCA assessment in the palm oil industry.

Keywords: *Environmental Impact; Industry; Life Cycle Assessment (LCA); Palm oil; Oil palm plantation.*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen dan eksportir minyak nabati kelapa sawit paling besar di dunia. Luas lahan kelapa sawit di Indonesia telah meningkat drastis yaitu dari 0,3 juta ha pada tahun 1980 menjadi 14,8 juta ha pada tahun 2020 [1]. Tetapi persebaran industri kelapa sawit yang masif ini tidak lepas dari permasalahan lingkungan, sosial dan teknologi yang terjadi. Didasarkan pada Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan serta dalam rangka mendukung perwujudan *green economy* bagi pemerintah Indonesia diperlukan evaluasi dan tindak lanjut terhadap dampak lingkungan pada suatu kegiatan [2]. Meningkatnya kebutuhan terhadap bahan baku sawit menyebabkan banyak dibangunnya perkebunan kelapa sawit serta pabrik kelapa sawit dengan kapasitas produksi yang besar. Perkebunan dan pabrik kelapa sawit ini memerlukan sumber daya serta energi untuk beroperasi. *Life Cycle Assessment (LCA)* atau Penilaian siklus hidup dapat digunakan untuk mengetahui besaran energi dan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh tahapan siklus hidup produk.

LCA didefinisikan sebagai alat atau metode analisis yang mempelajari aspek lingkungan dan potensi dampak lingkungan selama keseluruhan siklus hidup suatu produk yang komprehensif berdasarkan ketentuan dan standar yang spesifik [3]. LCA merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja lingkungan dari suatu produk atau layanan. Sebuah analisis LCA dapat memiliki tujuan yang berbeda, hal ini bergantung pada batas sistem yang dipilih untuk penilaian [4]. Tujuan umum dari LCA adalah untuk membandingkan dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu produk agar dapat dipilih produk yang paling memberikan dampak lingkungan negatif terkecil. LCA dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan mengenai desain dan pengembangan produk, salah satunya dalam rencana pengolahan limbah [5]. LCA dapat membantu memilih proses dan teknologi yang memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah, sehingga LCA dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan sebagai pengambilan keputusan yang tepat.

Aktivitas manusia telah memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara akibat mesin, pencemaran air dan tanah akibat penggunaan pupuk dan pestisida, serta konsumsi air. Sejak tahun 1990an, metode penilaian siklus hidup (LCA) telah digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari kegiatan kehutanan dan menyarankan solusi potensial terhadap permasalahan ini. LCA membantu para pemangku kepentingan (sektor swasta, pemerintah, masyarakat) mengidentifikasi perbaikan yang dapat mereka lakukan untuk meningkatkan kinerja lingkungan di berbagai fase siklus hidup produk/jasa.

Meskipun kajian LCA telah diterapkan di banyak sektor, namun berdasarkan pengetahuan penulis melalui penelusuran literatur, penerapan LCA di sektor perkebunan kelapa sawit di Indonesia masih terbatas. Kajian ini berbentuk *scoping review* yang bertujuan untuk

mengidentifikasi penerapan LCA pada sektor perkebunan kelapa sawit. Pertanyaan utama dalam scoping review ini adalah: bagaimana penerapan LCA menilai kinerja lingkungan hidup di sektor perkebunan kelapa sawit? Menjawab pertanyaan tersebut, penulis mengikuti panduan untuk melakukan *scoping review* melalui i). Identifikasi pertanyaan penelitian, ii). Memilih artikel yang relevan, iii). Memetakan data, dan iv). Meringkas dan melaporkan temuan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Identifikasi dan penyaringan literatur

Proses *scoping review* dimulai dengan identifikasi literatur, penyaringan, dan kriteria *exclusion*, dan tahap akhir dimasukkan untuk analisis lebih lanjut. Penulis menggunakan database Scopus, Web of Science (WoS) dalam identifikasi literatur. Artikel-artikel yang dipublikasikan di database Scopus dan WoS diakui kualitasnya dalam peer review. Proses dari identifikasi hingga penggunaan artikel menggunakan pendekatan *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-analysis* (PRISMA). Pendekatan PRISMA pada awalnya digunakan dalam ilmu kedokteran untuk menjawab pertanyaan spesifik pada proses review [6], [7]. Selanjutnya pendekatan PRISMA diterapkan dalam penelitian kehutanan, seperti tinjauan sistematis dan meta-analisis terhadap, inventarisasi hutan [8]. Pada penelitian ini digunakan penelitian untuk melihat perkembangan life cycle assessment pada industri perkebunan kelapa sawit. Pada database Scopus, penulis menggunakan TITLE-ABSKEY (*life cycle assessment*) OR (LCA) AND (oil palm*). Selain itu, penulis menggunakan topik (TS) TS: *life cycle assessment* DAN oil palm* dari database WoS. Selanjutnya penulis memeriksa secara teliti artikel-artikel (judul, penulis, jurnal, dan tahun terbit). Selanjutnya penulis membaca dengan seksama judul dan abstrak dari artikel yang diunduh. Selain itu digunakan pula artikel yang berasal dari Indonesia untuk melengkapi kriteria pada penelitian yang berbasis di Indonesia.

2.2 Meringkas dan melaporkan temuan

Kriteria *exclusion* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis artikel yang merupakan makalah review, kemudian artikel yang tidak ada kaitannya dengan LCA pada sektor industri perkebunan kelapa sawit. Selanjutnya, artikel yang disertakan pada bagian tinjauan pustaka dengan cermat dipilih untuk menjawab pertanyaan penelitian. Ruang lingkup artikel mencakup artikel untuk mendapatkan informasi mengenai tahapan kegiatan, unit fungsional, batas sistem, dan kategori dampak yang digunakan. Unit fungsional yang umumnya digunakan pada industri perkebunan kelapa sawit ialah memproduksi 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) atau 1 ton produksi CPO di industri kelapa sawit. Batasan sistem, dan kategori dampak mengikuti ISO 14044 tentang pengelolaan lingkungan, persyaratan penilaian siklus hidup, dan pedoman. Setelah artikel dipilih penulis melakukan analisis terhadap hasil penilaian siklus daur hidup atau LCA yang dihasilkan pada industri perkebunan kelapa sawit dan melakukan elaborasi terhadap hasilnya sebagai pendukung pengambilan keputusan melalui dampak lingkungan pada industri kelapa sawit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penjelasan LCA

Penilaian siklus hidup atau LCA didefinisikan sebagai alat atau metode analisis yang mempelajari aspek lingkungan dan potensi dampak lingkungan selama keseluruhan siklus hidup suatu produk yang komprehensif berdasarkan ketentuan dan standar yang spesifik [3].

Secara umum LCA digunakan untuk mengukur dampak lingkungan yang diakibatkan oleh suatu produk atau aktivitas yang dimulai dari bagian hulu yaitu akuisisi bahan baku, diikuti proses produksi dan penggunaan, serta diakhiri sampai ke hilir dengan pembuangan atau pengelolaan limbah yang dihasilkan. Sebuah analisis LCA dapat memiliki tujuan yang berbeda, hal ini bergantung pada batas sistem yang dipilih untuk penilaian [4]. Tujuan umum dari LCA adalah untuk membandingkan dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu produk agar dapat dipilih produk yang paling memberikan dampak lingkungan negatif terkecil. LCA dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan mengenai desain dan pengembangan produk, salah satunya dalam rencana pengolahan limbah [5]. Sehingga LCA juga dapat digunakan untuk membantu strategi bisnis perusahaan dalam membuat keputusan, peningkatan kualitas produk dan proses dan untuk mempelajari aspek lingkungan dari produk.

Pada suatu penilaian dengan sistem proses berbasis LCA, dalam hal ini yang disebut dengan *input* yaitu rincian jumlah bahan dan sumber daya energi, sedangkan *output* yaitu rincian jumlah emisi, limbah, dan dampak lingkungan dari suatu produk. Menurut Bayer et al., (2010) ada empat proses utama dalam LCA yaitu *Cradle-to-Grave*, *Cradle-to-Gate*, *Cradle-to-Cradle* dan *Gate-to-Gate* [9].

3.2 Tahapan LCA

Berdasarkan ISO 14040 yang merupakan standar dari metode LCA, tahapan analisis siklus hidup yang khas terdiri dari tahapan berikut [3]:

i. Definisi tujuan dan ruang lingkup

Langkah ini meliputi tujuan studi, unit fungsional, batasan sistem, data yang dibutuhkan, asumsi, dan batasan yang harus ditetapkan. Secara khusus, unit fungsional adalah unit referensi yang digunakan untuk menormalkan semua input dan output untuk membandingkannya satu sama lain.

ii. Inventori Siklus Hidup atau *Life Cycle Inventory (LCI)*

Langkah ini mengacu pada analisis aliran material dan energi serta mempelajari sistem kerja. Di sisi lain, pengumpulan data untuk seluruh siklus hidup menyiratkan pemodelan sistem yang dianalisis. Selain itu, salah satu aspek terpenting dari fase ini adalah kualitas input, yang harus diverifikasi dan divalidasi untuk menjamin keandalan data dan penggunaan yang benar. Selama tahap ini, terjadi konversi data yang tersedia menjadi indikator yang sesuai. Indikator diberikan per unit fungsional yang digunakan.

iii. Penilaian dampak Siklus Hidup atau *Life cycle impact assessment (LCIA)*

Langkah ini mencakup penilaian potensi dampak yang terkait dengan bentuk penggunaan sumber daya dan emisi lingkungan yang teridentifikasi. Kuantifikasi dampak lingkungan oleh setiap parameter inventarisasi pada kategori dampak dapat dinilai. Setelah kontribusi dari setiap parameter dihitung, dampak dapat digabungkan atau ditambahkan dalam kategori dampak yang sama karena semua dampak terukur memiliki dimensi atau unit yang sama. Dengan demikian, dampak lingkungan dari kategori dampak tertentu dapat dihitung dari hasil inventarisasi siklus hidup suatu sistem produk. Dewasa ini perhitungan dampak dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi atau software yang sudah tersistem. Salah satu aplikasi yang sering digunakan ialah OpenLCA, simapro, GaBi, Umberto, dll dengan bantuan database Ecoinvent. Untuk memudahkan perhitungan dan mengurangi kesalahan perhitungan maka penggunaan aplikasi harus digunakan. *Software* OpenLCA, simapro, GaBi, Umberto, dll menggunakan metode berbasis matriks yang memiliki metode perhitungan yang dijalankan secara matematis.

Kategori dampak ada dua macam yaitu *endpoint* dan *midpoint*. Pada kategori *midpoint*, didalamnya akan mencakup masalah lingkungan yaitu tentang bagaimana beban

lingkungan akan berkontribusi pada dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan, sebelum nantinya memberi efek pada keberlangsungan hidup ekosistem. Kategori dampak *midpoint* tersebut dihitung melalui penggunaan beberapa indikator secara umum seperti GWP₁₀₀, ODP, *Acidification Potential* (AP), POCP, Eutrofikasi, Toksisitas, dll.

Untuk menentukan kategori dampak yang dijelaskan tersebut, maka dibutuhkan pula suatu metode untuk LCIA dalam LCA. Terdapat beberapa jenis metode yang dapat digunakan dalam LCA, diantaranya ReCiPE, CML-IA, USEtox, Eco-indicator 99, IPCC 2007, EPD, Impact 2002+, CML-IA, Traci 2, BEES, Ecological Footprint EDIP 2003, Ecological scarcity 2006, EPS 2000, Greenhouse Gas Protocol dan lainnya [10]. Pemilihan metode ini sangat bergantung pada tujuan LCA yaitu jenis keputusan apa yang akan diambil berdasarkan LCA di dalam tujuan dan ruang lingkupnya. Berikut merupakan contoh kategori dampak yang umumnya digunakan pada penilaian industri perkebunan kelapa sawit:

- *Global Warming Potential* (GWP)

GWP merupakan meningkatnya jumlah CO₂ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer bumi yang menyebabkan peningkatan penyerapan radiasi yang dipancarkan bumi sehingga menyebabkan pemanasan global [11]. Pemanasan global sebagai kategori dampak merupakan efek lingkungan negatif dari pemanasan atmosfer bumi yang disebabkan oleh aktivitas antropogenik. Senyawa CO₂ merupakan kontribusi paling penting untuk keseluruhan GWP di sebagian besar studi LCA [11]. Untuk penghitungan GWP dari inventarisasi hanya CO₂ yang berasal dari fosil (pembakaran batu bara, minyak, dll.) dan mineral (kalsinasi kapur, produksi semen) yang dipertimbangkan. Tabel penilaian GWP dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Global Warming Potential* pada beberapa senyawa [11]

Gas Rumah Kaca	(GWP) ₁₀₀ (CO ₂ .equivalents)
Karbon Dioksida (CO ₂)	1
Metana (CH ₄)	25,75
Metana (CH ₄), Regeneratif	23
Dinitrogenmonoksida (N ₂ O)	296
Tetraklorometana	1800
Tetraflorometana	5700
Heksafloroetana	11900

- *Acidification Potential* (AP) atau Pengasaman

Acidification Potential merupakan terjadinya deposisi asam akibat pelepasan senyawa seperti N dan sulfur oksida ke atmosfer di tanah dan air yang menyebabkan perubahan keasaman tanah dan air sehingga menyebabkan serangkaian dampak seperti kerusakan kulit, kematian ikan, remobilisasi logam berat, dll [11]. Kuantifikasi pada kategori dampak ini dilakukan dengan konversi stoikiometri menjadi massa proton dibebaskan (H⁺) atau massa setara sulfur dioksida (SO₂). Perlu dicatat bahwa asam karbonat lemah yang dibentuk oleh pelarutan CO₂ di permukaan air, terutama di lautan, tidak pernah masuk dalam daftar zat pengasaman. Ini sebenarnya adalah asam yang paling relevan secara global, tetapi hanya satu konsekuensi negatif dari gas ini yang termasuk dalam kategori dampak perubahan iklim dan potensi pengasaman tidak dipertimbangkan. Pengasaman karena zat pembentuk asam dapat terjadi baik di sistem terestrial maupun akuatik. Tabel penilaian asidifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 *Acidification Potential* pada beberapa senyawa [11]

Gas Rumah Kaca	(AP) ₁₀₀ (kg SO ₂ .equivalents)
Sulfur Dioksida (SO ₂)	1
Sulfur Trioksida (SO ₃)	0,80
Nitrogen Monoksida (NO)	1,07
Nitrogen Dioksida (NO ₂)	0,70
Nitrogen oksida (NO _x)	0,70
Asam Nitrat (HNO ₃)	0,51
Amonia (NH ₃)	1,88
Asam Fosfat (H ₃ PO ₄)	0,98
Asam Klorida (HCl)	0,88
Asam Florida (HF)	1,60
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	1,88
<i>Total Reduced Sulphur</i> (TRS)	2,0
Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	0,65

iv. Interpretasi

Dalam fase ini bertujuan untuk meneliti hasil dan mendiskusikannya, memberikan informasi yang tepat sebanyak mungkin kepada subjek yang dituju. Interpretasi pada LCA merupakan teknik sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, memeriksa, dan mengevaluasi informasi dari hasil LCI dan LCIA, dan mengkomunikasikannya secara efektif. Interpretasi merupakan fase terakhir dari proses LCA. Interpretasi ditujukan untuk perbaikan dan inovasi sistem; itu termasuk Identifikasi beban dan dampak utama, Identifikasi *hot spot* dalam siklus hidup serta analisis sensitivitas [11].

3.3 Penilaian Dampak pada Subsistem Perkebunan Kelapa Sawit

Pada subsistem perkebunan kelapa sawit, beberapa unit proses yang dapat dinilai ialah proses pembibitan kelapa Sawit yang dibagi menjadi dua yaitu *pre nursery* dan *main nursery*, pemeliharaan bibit, pemeliharaan tanaman menghasilkan (TM) yang terdiri atas proses pemupukan bibit, penyiraman bibit serta pengendalian hama dan penyakit, kemudian kegiatan panen dan transportasi ke industri atau pabrik kelapa sawit. Berdasarkan penelitian [12], hasil perhitungan LCA dengan unit fungsional 1 ton produksi *Crude Palm Oil* (CPO) menunjukkan bahwa proses pembibitan dan pemeliharaan bibit di subsistem perkebunan kelapa sawit merupakan tahapan yang paling besar menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK). Dampak Lingkungan pada tahapan proses pembibitan untuk potensial penghasil gas rumah kaca atau dikenal dengan *Global Warming Potential* (GWP) diidentifikasi dihasilkan sebesar 90,7 kg CO₂ eq, kemudian asidifikasi dihasilkan sebesar 0,442 kg SO₂ eq dan eutrofikasi sebesar dan 0,083 kg PO₄³⁻ eq [12]. Tahapan pemeliharaan tanaman menghasilkan (TM) juga menghasilkan emisi yang berasal dari kegiatan pemupukan dan pengendalian gulma. Dampak Lingkungan pada tahapan proses pemeliharaan untuk GWP dihasilkan sebesar 7,7 kg CO₂ eq, kemudian asidifikasi dihasilkan sebesar 0,041 kg SO₂ eq dan eutrofikasi sebesar dan 0,003 kg PO₄³⁻ eq. Sedangkan dampak Lingkungan pada tahapan proses transportasi untuk GWP didapatkan nilai sebesar 8,5 kg CO₂ eq, kemudian asidifikasi dihasilkan sebesar 0,050 kg SO₂ eq dan eutrofikasi sebesar dan 0,004 kg PO₄³⁻ eq [12]. Tahapan proses pembibitan kelapa sawit dinilai menghasilkan emisi yang paling besar, hal ini dikarekanakan pada proses ini emisi dihasilkan dari proses yang berasal dari kegiatan pemupukan dengan menggunakan pupuk kimiawi. Pupuk NPK dapat melepaskan emisi gas

rumah kaca karena pupuk NPK terdapat kandungan N yang akan bereaksi dan menghasilkan gas rumah kaca N_2O . Berdasarkan penilaian pada tabel angka GWP oleh Klopffer & Grahl., 2014, Global Warming potential yang dihasilkan dari senyawa kimia N_2O lebih besar sampai 296 kali lipat dibandingkan dengan senyawa kimia CO_2 . Sehingga sedikit saja penggunaan pupuk NPK yang digunakan oleh perkebunan kelapa sawit dapat menimbulkan emisi GRK karena nilai radiasi pemanasan global N_2O yang lebih besar. Sehingga didapatkan bahwa persentase nilai GWP muncul dari penggunaan *agro-chemical* pada tahap pemupukan dan tahapan pemeliharaan tanaman yaitu sebesar 68,14% untuk perkebunan kelapa sawit.

Sedangkan pada penelitian Siregar 2015, penilaian dampak lingkungan pada industri sawit menggunakan unit fungsional berupa produksi 1 ton biodiesel per ha per tahun. Subsistem pada industri kelapa sawit dinilai mulai dari pembukaan lahan, pembibitan, penanaman, pemupukan, proteksi, pemanenan. Didapatkan bahwa persentase dampak lingkungan yang dihasilkan pada setiap tahapam secara berurutan sebesar 0,67%; 1,27%; 0,51%; 61,21%; 6,93%; 0,08%. Didapatkan bahwa pemupukan menjadi persen paling besar yang mempengaruhi dampak lingkungan. Penelitian ini menghitung secara total potensial dampak yang dihasilkan dari seluruh proses industri kelapa sawit untuk dampak lingkungan GWP sebesar 1378,36 kg CO_2eq , kemudian asidifikasi dihasilkan sebesar 1,85 kg SO_2eq [13].

Penelitian Musthafa Al Hakim et al., 2014 menunjukkan bahwa pada tahapan pembibitan kelapa sawit sumber emisi Gas Rumah Kaca terbesar berasal dari penggunaan bahan bakar solar, pupuk NPK, pestisida, dan fungisida. Total emisi Gas Rumah Kaca yang dihasilkan yaitu sebesar 0,50685 kg $CO_2 eq$ / bibit. Didapatkan bahwa emisi dari penggunaan pupuk NPK sebesar 0,1703 kg $CO_2 eq$ / bibit atau 33,6% dari total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada pembibitan kelapa sawit.

Penelitian Paminto et al., 2022 menunjukkan potensial total GWP untuk 1 ton produksi biodiesel adalah 2,762 kg CO_2eq , dimana 90% berasal dari tahap yang terjadi di perkebunan yaitu proses penanaman. Pada tahap penanaman, emisi pupuk nitrogen dan perubahan penggunaan lahan memberikan kontribusi yang signifikan yaitu masing-masing sebesar 29,8% dan 23,2%. Sedangkan potensi dampak asidifikasi secara total didapatkan sebesar 24,8 kg $SO_2 eq$, dengan kontributor utama berasal dari tahapan budidaya yang menyumbang sekitar 98%. Kemudian potensi dampak eutrofikasi secara total didapatkan sebesar 1,24 kg $PO_4^{3-} eq$, 67,6% di antaranya berasal dari tahap yang terjadi pada perkebunan kelapa sawit [14]. Pada tahapan yang terjadi di subsistem perkebunan kelapa sawit kontribusi terhadap pupuk yang digunakan menjadi dasar hasil dampak lingkungan. Pupuk K_2O dan P_2O_5 relatif menghasilkan dampak yang lebih kecil dibandingkan pupuk yang menggunakan Nitrogen. Penggunaan pupuk kimiawi ini sangat mempengaruhi dampak lingkungan pada dampak GWP. Selain penggunaan pupuk, tanaman juga membutuhkan pestisida dan herbisida agar dapat tumbuh dengan baik. Penggunaan pestisida memberikan kontribusi sebesar 0,15%, sedangkan kontribusi herbisida hampir tidak berarti karena hanya dihasilkan kontribusi sebesar kurang dari 0,1%.

Selanjutnya pada penelitian Stichnothe & Schuchardt, 2011, unit fungsional yang digunakan yaitu produksi dan pengolahan 1 ton tandan buah segar kelapa sawit (TBS) [15]. Pada penelitiannya digunakan dua skenario untuk melihat hasil dampak lingkungan yang dihasilkan. Produksi dan pengolahan satu ton TBS menghasilkan lebih dari 460 kg $CO_2 eq$ dalam skenario terburuk dan 110 kg $CO_2 eq$ dalam skenario terbaik. Pada penilaian dampak lingkungan didapatkan bahwa emisi karbon dioksida dan dinitrogen oksida merupakan kontributor utama pada penghasilan dampak GWP. Karbon dioksida (CO_2) menyumbang 55% dan dinitrogen oksida (N_2O) menyumbang sebesar 45% pada dampak lingkungan GWP. Pada skenario terbaik, digunakan pemanfaatan hasil sisa-sisa pabrik kelapa sawit yang

dilakukan melalui pengomposan. Pengurangan emisi gas rumah kaca yang signifikan didapat dicapai melalui pengomposan bersama dari sisa-sisa pabrik kelapa sawit. Ketika kompos dikembalikan ke perkebunan atau digunakan kembali, maka sejumlah besar karbon dikembalikan ke tanah akibat penggunaan kompos. Sehingga pemanfaatan residu atau limbah yang berasal dari pabrik kelapa sawit dinilai menjadi langkah yang sangat tepat dan sangat penting untuk mengurangi dampak lingkungan khususnya pada potensi GWP dan eutrofikasi. Selanjutnya penelitian mengenai penyerapan karbon dalam tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kondisi iklim perlu dilakukan kajian dampak yang lebih spesifik pada lokasi atau regional tertentu untuk mendapatkan hasil dampak lingkungannya. Pada penelitian yang dilakukan ini meskipun diasumsikan jarak transportasi yang cukup jauh, kontribusinya terhadap GWP hampir dapat diabaikan karena jika dibandingkan proses yang terjadi pada perkebunan kelapa sawit, kontribusinya hanya sebesar <1%.

3.4 Penilaian Dampak dan Kerusakan Pabrik Kelapa Sawit

Selain subsistem pada perkebunan kelapa sawit, di industri kelapa sawit kerap kali pabrik kelapa sawit dinilai menjadi kontributor penting bagi dampak lingkungan. Pada subsistem pabrik kelapa sawit, produksi CPO di industri membutuhkan input bahan baku, bahan tambahan dan sumber energi, selain itu dalam menghasilkan produk utama CPO tahapan yang terjadi juga menghasilkan limbah dan emisi. Penelitian Siregar, 2015 yang menggunakan unit fungsional untuk produksi 1 ton biodiesel per ha per tahun menilai dampak dengan tahapan proses Pabrik kelapa sawit (PKS), dan produksi biodiesel. Secara berurutan dampak lingkungan secara total untuk GWP didapatkan sebesar 1190 kg CO₂ eq, serta asidifikasi sebesar 1,7 kg SO₂ eq [13]. Penelitian Sacayón et al. (2018) menunjukkan bahwa pada perhitungan dampak lingkungan menggunakan LCA pada industri kelapa sawit di daerah Guatemala didapatkan hasil emisi untuk GWP yaitu sebesar 595 kg CO₂eq/ton CPO, Asidifikasi sebesar 3,34 kg SO₂ eq/ton CPO, dan Eutrofikasi sebesar 3,35 kg PO₄³⁻ eq /ton-CPO [16].

Sedangkan Penelitian Paminto et al., 2022 menunjukkan bahwa tahapan pada pabrik kelapa sawit untuk produksi minyak sawit yang dinilai menghasilkan kontributor utama pada potensi dampak GWP sebesar 1,1% dari produksi CPO, dan 8,8% dari tahap proses biodiesel. Tahapan pada pabrik kelapa sawit yaitu penghasilan limbah cair pabrik kelapa sawit atau *palm oil mill effluent* (POME) merupakan kontributor utama pada subsistem pabrik kelapa sawit. Limbah POME dari kelapa sawit akan menghasilkan emisi metana yang berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca. Transportasi mempunyai kontribusi kedua setelah POME, hal ini dikarenakan TBS harus diangkut mulai dari lokasi perkebunan hingga ke pabrik. Jarak tempuh kendaraan yang relatif jauh antara titik pengumpulan produk masing-masing divisi ke PKS dan PKS ke pelabuhan menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar yang menyebabkan tingginya kontributor terhadap GWP. Sedangkan dalam produksi biodiesel, tahap transesterifikasi memberikan kontribusi terbesar, terutama pada penggunaan metanol sebagai bahan dengan emisi GRK sebesar 67%. Pada produksi CPO dampak untuk eutrofikasi didapatkan sebesar 0,32 kg PO₄³⁻ eq [14].

3.5 Manfaat Studi LCA bagi Pendukung Pengambilan Keputusan

Beberapa subsistem pada industri kelapa sawit dengan produksi CPO dari kelapa sawit mempunyai dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Dari beberapa studi LCA diatas, fase perkebunan akibat penggunaan pupuk dianggap sebagai hotspot atau kontributor utama dalam produksi CPO. Efisiensi penggunaan pupuk merupakan pilihan terbaik untuk mengurangi emisi GRK dan potensi dampak lingkungan GWP. Sedangkan pada subsistem

pabrik kelapa sawit, emisi metana dari POME juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap emisi GRK. Penangkapan metana seharusnya mempunyai manfaat dalam mengurangi emisi metana dari produksi CPO. Penggunaan energi yang diperoleh dari biogas dalam pengolahan air limbah di pabrik kelapa sawit (POME) dapat menjadi salah satu cara mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan.

Rekomendasi ini dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan berkelanjutan pada minyak sawit mentah produksi untuk mengurangi dampak lingkungan. Hasil LCA dapat digunakan sebagai alat deklarasi produk ramah lingkungan untuk mematahkan kampanye negatif dan menjamin produk kelapa sawit asal Indonesia dapat diterima dengan baik di pasar global.

4. SIMPULAN

Penerapan LCA untuk menilai dampak lingkungan di sektor perkebunan kelapa sawit telah banyak diaplikasikan dengan menggunakan berbagai macam tools berupa *software* yang dapat membantu penilaian LCA. *Scoping review* terhadap total dampak lingkungan untuk produksi industri kelapa sawit pada subsistem perkebunan kelapa sawit dan pabrik kelapa sawit telah dilakukan. Potensi dampak lingkungan pemanasan global (GWP), asidifikasi, dan eutrofikasi lebih banyak digunakan pada penilaian LCA. Tahapan yang menjadi kontributor utama dianalisis ialah penggunaan pupuk pada perkebunan kelapa sawit serta pengelolaan limbah POME yang terjadi di pabrik kelapa sawit. Pada pengambilan keputusan yang bisa dilakukan, dengan melihat nilai potensi dampak GWP, asidifikasi, dan eutrofikasi yang tinggi maka dapat disimpulkan pemanfaatan *agro-chemical* berupa pupuk, insektisida, pestisida dan fungisida harus ditindak lebih lanjut jika menginginkan kinerja lingkungan yang baik. Selain itu pemanfaatan limbah POME juga dapat mengurangi potensi dampak lingkungan. Penilaian LCA dapat menjadi salah satu pendukung pengambilan keputusan dengan berorientasi pada dampak lingkungan negatif terkecil yang dihasilkan dari suatu proses. Sehingga konsep *sustainability* dan *green economy* dapat tercapai dengan adanya penilaian LCA pada industri kelapa sawit.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] J. Zhao, A. J. Elmore, J. S. H. Lee, I. Numata, X. Zhang, and M. A. Cochrane, "Replanting and yield increase strategies for alleviating the potential decline in palm oil production in Indonesia," *Agric. Syst.*, vol. 210, no. July, p. 103714, 2023, doi: 10.1016/j.agsy.2023.103714.
- [2] T. L. Yami, J. Du, L. R. Brunson, J. F. Chamberlain, D. A. Sabatini, and E. C. Butler, "Life cycle assessment of adsorbents for fluoride removal from drinking water in East Africa," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 9, pp. 1277–1286, 2015, doi: 10.1007/s11367-015-0920-9.
- [3] G. Itskos *et al.*, "Environment and Development: Chapter 6 Energy and the environment," in *Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications*, Elsevier B.V., 2016, pp. 363–452.
- [4] T. Li, H. Zhang, Z. Liu, Q. Ke, and L. Alting, "A system boundary identification method for life cycle assessment," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 3, pp. 646–660, 2014, doi: 10.1007/s11367-013-0654-5.
- [5] DEAT, *Life cycle assessment, , Integrated Environmental Management, Information Series 9*, ISBN 0-958. 2004.
- [6] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses:

- The PRISMA statement," *PLoS Med.*, vol. 6, no. 7, 2009, doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [7] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, and D. G. Altman, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement," *Int. J. Surg.*, vol. 8, no. 5, pp. 336–341, 2010, doi: 10.1016/j.ijssu.2010.02.007.
- [8] S. W. Lee and M. J. Koo, "PRISMA 2020 statement and guidelines for systematic review and meta-analysis articles, and their underlying mathematics: Life Cycle Committee Recommendations," *Life Cycle*, vol. 2, pp. 1–10, 2022, doi: 10.54724/lc.2022.e9.
- [9] C. Bayer, M. Gamble, R. Gentry, and S. Joshi, *Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. 2010.
- [10] A. N. Rakhmawati, Y. P. Devia, and I. Wijatmiko, "Life Cycle Assessment (LCA) Analysis of Concrete Slab Construction For Estimating The Environmental Impact," *Rekayasa Sipil*, vol. 14, no. 3, pp. 232–237, 2020, doi: 10.21776/ub.rekayasisipil.2020.014.03.10.
- [11] W. Klopffer and B. Grahl., *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice, First Edition : Chapter 4 Life Cycle Impact Assessment*. 2014.
- [12] K. Siregar, Ichwana, I. S. Nasution, Sholihati, I. Sofiah, and T. Miharza, "Implementation of Life Cycle Assessment (LCA) for oil palm industry in Aceh Province, Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 542, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/542/1/012046.
- [13] K. Siregar, A. H. Tambunan, A. K. Irwanto, S. S. Wirawan, and T. Araki, "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*, vol. 65, pp. 170–179, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.054.
- [14] A. K. Paminto, M. Karuniasa, and E. Frimawaty, "Potential environmental impact of biodiesel production from palm oil using LCA (Life Cycle Assessment) in Indonesia," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkungan.*, vol. 12, no. 1, pp. 64–71, 2022, doi: 10.29244/jpsl.12.1.64-71.
- [15] H. Stichnothe and F. Schuchardt, "Life cycle assessment of two palm oil production systems," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 9, pp. 3976–3984, 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.06.001.
- [16] E. E. Sacayón, S. Vionnet, and L. Rodriguez, "Life Cycle and Water Footprint Assessment of A Palm Oil Company in Guatemala: Pilot Study," *United Nations Environ.*, no. January, pp. 1–52, 2018.