

Implementasi *Life Cycle Assessment (LCA)* pada Operasional Transit BBM di PT Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal Tanjung Gerem*

Tsabitha Nabilla Chaerunisa dan Joni Hermana
 Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: hermana@its.ac.id

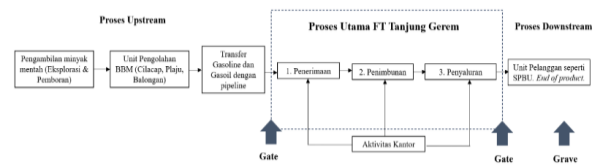
Abstrak—PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal Tanjung Gerem* adalah perusahaan yang bertugas dalam kegiatan pendistribusian BBM sebagai badan usaha milik negara yang bergerak di bidang minyak dan gas bumi. Operasional utama transit BBM terdiri dari penerimaan BBM, penimbunan BBM, dan penyaluran BBM. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi dampak lingkungan akibat operasional transit BBM di PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal Tanjung Gerem* menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan pendekatan CML-IA *Baseline* serta menentukan rekomendasi alternatif untuk meminimisasi dampak lingkungan. Dalam penelitian ini, lingkup analisis yang digunakan adalah *gate to gate*. Analisis dampak lingkungan menggunakan *software SimaPro 9.5* dengan penilaian berbasis *midpoint*. Emisi yang dianalisis antara lain CO₂, CH₄, NO_x, dan SO₂. *Life Cycle Impact Assessment* atau penilaian dampak menggunakan penilaian *midpoint* meliputi *global warming*, *acidification*, dan *eutrophication*. Hasil analisis LCA yang diidentifikasi menimbulkan dampak pada *global warming* sebesar 1,26E10 kg CO₂ eq, *acidification* sebesar 5,11E7 kg SO₂ eq, dan *eutrophication* sebesar 6,88E6 kg PO₄³⁻ eq. Berdasarkan interpretasi data yang dilakukan, diperoleh kategori dampak *global warming* yang memberikan dampak lingkungan terbesar. Dari setiap *impact category* didapat titik *hotspot* sebagai unit dengan kontribusi dampak terbesar. Dampak *global warming*, *acidification*, dan *eutrophication* kontribusi terbesar berasal dari unit penyaluran sebesar 6,2E9 kg CO₂ eq; 2,65E7 kg SO₂ eq; dan 3,49E6 kg PO₄³⁻ eq. Dampak paling besar berasal dari unit penyaluran karena adanya penggunaan solar untuk pembakaran pada penggunaan genset. Dari hasil tersebut, ditentukan rekomendasi alternatif untuk mengurangi dampak lingkungan berdasarkan studi literatur. Rekomendasi alternatif yang dapat digunakan yaitu penggunaan teknologi *variable speed driver*, *exhaust gas recirculation*, teknologi *ultra-super critical*, dan penggunaan energi tenaga surya.

Kata Kunci—Transit BBM, *Life Cycle Assessment (LCA)*, *SimaPro 9.5*, Dampak Lingkungan, Rekomendasi Alternatif.

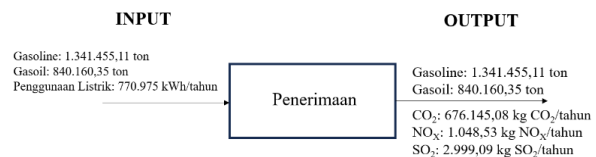
I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN transportasi dan konsumsi energi yang meningkat menyebabkan peningkatan konsumsi BBM di masyarakat, sehingga terjadinya peningkatan aktivitas distribusi BBM dari terminal bahan bakar minyak [1]. Bahan bakar minyak merupakan jenis bahan bakar yang saat ini menjadi kebutuhan pokok dalam kegiatan sehari-hari, khususnya bagi transportasi yang digunakan [2]. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, kebutuhan masyarakat terhadap transportasi kian meningkat yang dapat ditinjau dari frekuensi kendaraan. menandakan bahwa terjadinya peningkatan kebutuhan kegiatan distribusi di terminal bahan bakar minyak [3].

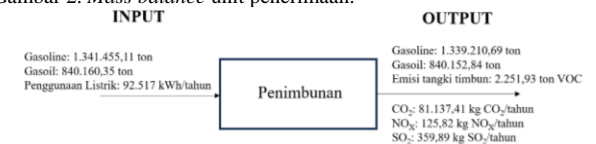
PT. Pertamina (Persero) merupakan perusahaan milik negara yang bergerak di bidang energi meliputi minyak dan



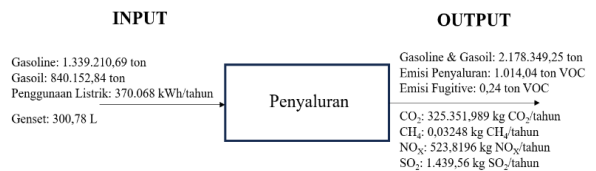
Gambar 1. Ruang lingkup analisis LCA di FT Tanjung Gerem.



Gambar 2. *Mass balance* unit penerimaan.



Gambar 3. *Mass balance* unit penimbunan.



Gambar 4. *Mass balance* unit penyaluran.

gas di sektor hulu dan hilir guna memenuhi kebutuhan bahan bakar dalam negeri. Salah satu anak perusahaan PT Pertamina adalah PT Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal Tanjung Gerem* yang bertugas dalam kegiatan pendistribusian dari proses penerimaan BBM, penimbunan BBM, hingga pendistribusian BBM. Kegiatan suplai dan distribusi mulai dari penerimaan produk kiriman dari kilang sampai terminal BBM hingga ke lembaga penyalur harus dilaksanakan dengan baik [1].

Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik untuk mengukur dampak lingkungan, salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Life Cycle Assessment (LCA)*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui suatu alternatif pada suatu siklus hidup untuk mengurangi dampak dengan cara mereduksi gas rumah kaca yang dihasilkan. Hasil analisis LCA ini akan menghasilkan *output* berupa aktivitas atau proses yang memberikan nilai potensi dampak terhadap lingkungan paling besar (*hotspot*), dimana hasil tersebut dapat dijadikan acuan atau pedoman untuk melakukan peluang perbaikan dengan menciptakan program atau inovasi di bidang lingkungan yang ditimbulkan [4]. LCA dapat dimanfaatkan sebagai penilaian besarnya dampak terhadap lingkungan akibat operasional transit BBM yaitu pada bagian hilir industri migas di PT. Pertamina Patra

Tabel 1.
Konsumsi Listrik di PT Pertamina FT Tanjung Gerem

Unit Proses	Input	Konsumsi (Kwh/tahun)	Energi
Penerimaan	Energi Listrik Operasional	693.877,5	
	Energi Listrik Penerangan Jalan Umum	77.097,5	
Jumlah		770.975	
Penimbunan	Energi Listrik Operasional	92.517	
	Energi Listrik Penerangan Jalan Umum	0	
Jumlah		92.517	
Penyaluran	Energi Listrik Operasional	370.068	
	Energi Listrik Penerangan Jalan Umum	0	
Jumlah		370.068	

Tabel 2.
Faktor Emisi Gas dari Penggunaan Listrik

Parameter	Faktor Emisi	Satuan
CO ₂	74.100	kg CO ₂ /TJ
CH ₄	3	kg CH ₄ /TJ
NO _x	1895,96	kg NO _x /TJ

Tabel 3.
Total Emisi Konsumsi Listrik FT Tanjung Gerem Tahun 2021

Jenis Gas	Sumber	Emisi (Ton)	Total (kg/tahun)
CO ₂	Konsumsi Energi Operasional Alat	1.081.832,12	1.085.900,73
	Emisi Fugitive, tangki timbun, dan penyaluran (ton VOC)	3.266,25	
CH ₄	Operasional Alat	0,03248	0,032
NO _x	Konsumsi Energi Operasional Alat	1.677,64	1.698,17
	Operasional Alat	20,5296	
SO ₂	Konsumsi Energi	4.798,54	4.798,54

Niaga Fuel Terminal Tanjung Gerem.

LCA dapat membantu dalam mengidentifikasi peluang untuk memperbaiki kinerja lingkungan dari produk di berbagai titik dalam daur hidupnya, menginformasikan upaya alternatif terhadap keputusan industri, dan pemilihan indikator yang relevan dari kinerja lingkungan, termasuk teknik pengukuran dan pemasaran [5]. Pada pelaksanaan perhitungan menggunakan metode LCA digunakan *software* SimaPro sebagai perangkat untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, audit energi yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi, dan sumberdaya alam lainnya [6]. Penelitian ini difokuskan untuk analisis potensi dampak lingkungan yang ditimbulkan pada ketiga unit utama yang meliputi penerimaan, penimbunan, dan penyaluran BBM di PT. Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Tanjung Gerem. Hasil dari analisis dampak dalam mengimplementasikan metode LCA dengan pendekatan dampak CML-IA *Baseline* ini yang menjadi acuan untuk pemilihan saran rekomendasi alternatif guna mereduksi emisi gas rumah kaca dan meminimasi dampak lingkungan dari operasional transit BBM di Terminal BBM Tanjung Gerem.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan pengumpulan data operasional transit BBM pada periode bulan Januari sampai dengan Desember tahun 2021. Data sekunder berupa inventarisasi emisi dari operasional alat dan penggunaan

Tabel 4.
Faktor Emisi Genset

GRK	Faktor Emisi
Karbon dioksida (CO ₂)	0,877 kg CO ₂ /kWh
Nitrogen oksida (NO _x)	0,00136 kg NO _x /kWh
Sulfur dioksida (SO ₂)	0,00389 kg SO ₂ /kWh

Tabel 5.
Total Beban Emisi Solar Genset Perkins dan Caterpillar

Beban Emisi	Nilai	Satuan
CO ₂	1.081.832,12	kg CO ₂ /tahun
NO _x	1.677,64	kg NO _x /tahun
SO ₂	4.798,54	kg SO ₂ /tahun

Tabel 6.
Total Beban Emisi Fugitive dari Operasional Alat

Jenis Genset	Beban Emisi (kg)		
	CO ₂	CH ₄	NO _x
Solar Genset	253,768	0,01027	6,49305
Perkins Genset	548,591	0,02221	14,03655
Caterpillar			
Total	802,359	0,03248	20,5296

Tabel 7.
Total Emisi Operasional Alat Transit BBM di FT Tanjung Gerem

Nama Peralatan	Jumlah Alat	Faktor Emisi (Ton VOC)	Emisi fugitive (Ton)
Valve	253	0,00038391	0,09713
Pump Seals	20	0,004821	0,09642
Flange	637	0,00007143	0,04550
Total Emisi			0,23905

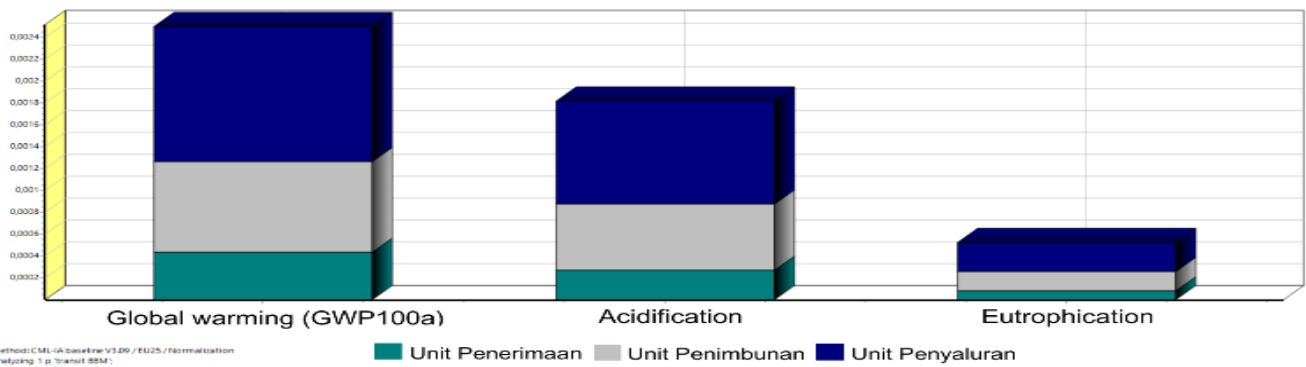
energi listrik. Data yang dikumpulkan akan dianalisis menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Perhitungan LCA yang digunakan yaitu *software* SimaPro 9.5 dengan *database* Ecoinvent v3.1.

Tahap pertama penentuan tujuan dan ruang lingkup (*Goal and Scope*). Tahap ini bertujuan untuk menggambarkan tujuan dan batasan siklus hidup dari sistem yang dievaluasi. Adapun tujuan atau *goal* dari penelitian ini yaitu untuk analisa potensi dampak dan memberi rekomendasi alternatif untuk meminimasi dampak lingkungan.

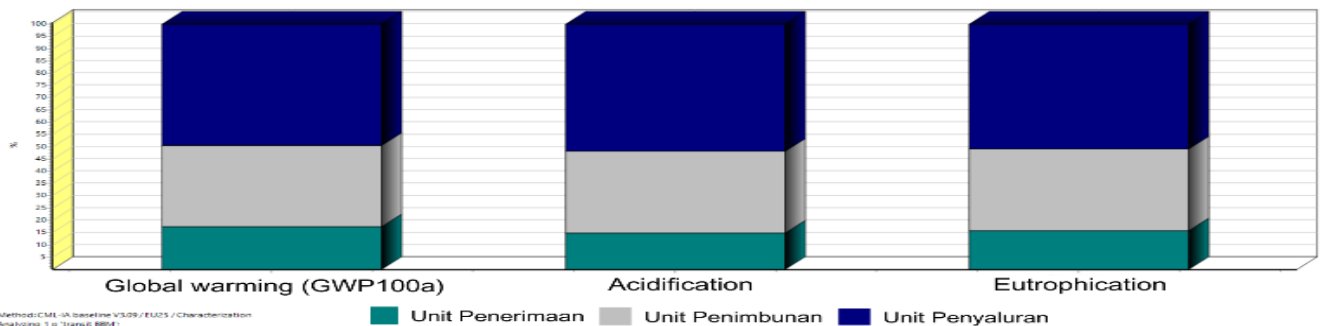
Tahap kedua yaitu analisis inventori (*Life Cycle Inventory*), dengan melakukan pengumpulan data sekunder operasional transit BBM berupa energi listrik dan operasional alat dalam periode tahun 2021. Analisis inventori merupakan sebuah tahapan dalam LCA sebagai prosedur yang sistematis, objektif, dan bertahap untuk mengukur kebutuhan energi dan bahan baku pada seluruh siklus hidup dari suatu produk atau sebuah kegiatan, serta dapat membantu dalam pengembangan produk atau proses baru yang dapat mengurangi emisi dengan identifikasi komponen proses untuk menemukan upaya alternatif [7]. Analisis inventori mencakup perhitungan *input* dan *output* yang relevan dari proses. Inventarisasi input data akan menghasilkan *mass balance* meliputi nilai *input* material dan energi beserta *output* emisi yang dihasilkan. Perhitungan beban emisi dan perhitungan emisi *fugitive* menggunakan persamaan dari PerMen LH No. 12 Tahun 2012 sebagai berikut. Perhitungan emisi *fugitive* menggunakan persamaan:

$$Emisi Gas X = Data Aktivitas \left(\frac{kWh}{hari} \right) \times Faktor Emisi$$

$$Emisi Fugitive = Jumlah Alat \times Faktor Emisi$$



Gambar 5. Grafik karakterisasi hasil penelitian.



Gambar 6. Grafik normalisasi hasil penelitian.

Tahap ketiga yaitu penilaian dampak (*Life Cycle Impact Assessment*). LCIA bertujuan untuk menggambarkan dampak yang berkontribusi terhadap lingkungan berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada tahap analisis inventori. Penelitian ini difokuskan pada 3 kategori dampak, yaitu *global warming*, *acidification*, *eutrophication*. Pada tahap ini, hasil *input* data dan *output* tahap LCI dinilai menggunakan *software* SimaPro. Metode yang dipilih adalah metode CML-IA *Baseline* karena sesuai dengan PerMen LHK No. 1 Tahun 2021. Tahapan pada LCIA terdiri dari karakterisasi dan normalisasi. Karakterisasi adalah tahap dimana hasil LCI dikalikan dengan faktor karakterisasi dalam fase klasifikasi masing-masing substansi setiap kategori dampaknya. Tahap karakterisasi menampilkan nilai dampak namun masih cenderung relatif karena hanya membandingkan hasil LCI dengan setiap kategori dampak dalam metode CML-IA *Baseline*. Sementara itu, tahap normalisasi merupakan tahap penyetaraan satuan sesuai dengan kategori dampak yang dipilih. Normalisasi memberikan interpretasi dari hasil indikator karakterisasi kategori relatif terhadap informasi acuan. Melalui tahap normalisasi, nilai besaran dampak antar kategori dampak dapat dibandingkan guna melihat kontribusi dampak paling besar.

Tahap keempat yaitu interpretasi hasil dari inventori dan nilai dampak. Tahap ini membahas terkait analisa hasil, analisa penyebab dampak, dan identifikasi isu penting (*hotspot*). Hasil analisis LCA dijadikan sebagai pertimbangan dalam penentuan alternatif perbaikan atau rekomendasi program mengurangi emisi. Rekomendasi alternatif berdasarkan studi literatur bertujuan untuk meminimisasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari serangkaian proses operasional transit BBM di PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Goal and Scope (Tujuan dan Ruang Lingkup)

Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis potensi dampak lingkungan dari operasional transit BBM PT Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem dan menentukan rekomendasi alternatif untuk meminimisasi dampak lingkungan. Ruang lingkup penelitian ini adalah secara *gate-to-gate*, dimana sistem yang dievaluasi dimulai dari penerimaan, penimbunan, dan penyaluran BBM saja. Aktivitas kantor tidak masuk dalam pembahasan penelitian ini karena bukan termasuk dalam proses inti atau utama operasional transit BBM. Ruang lingkup dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Life Cycle Inventory (LCI)

Analisis inventori pada penelitian ini dilakukan inventarisasi *input* dan *output* berupa emisi gas yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik dan operasional alat. Proses inventori data per unit dari mulai penerimaan, penimbunan, hingga penyaluran BBM pada operasional transit BBM. Data inventori yang di-*input* sebagai kesetimbangan material berupa konsumsi energi listrik pada tiap unit proses, penyaluran *gasoline* dan *gasoil*, dan penggunaan solar genset pada unit penyaluran. Konsumsi energi listrik di PT Pertamina FT Tanjung Gerem terbagi kedalam tiga unit proses antara lain proses penerimaan, penimbunan, dan penyaluran BBM. Penggunaan listrik pada tiap unit proses dengan rincian pada Tabel 1.

Faktor emisi yang digunakan pada perhitungan konsumsi energi listrik berdasarkan studi literatur pada Tabel 2. Emisi yang dihasilkan meliputi CO₂, NO_x, dan SO₂ dengan menggunakan Pers. (1).

1) Life Cycle Inventory Penggunaan Listrik

Life cycle inventory penggunaan listrik meliputi beberapa unit, diantaranya:

a. Unit Penerimaan

Unit penerimaan menggunakan *jetty*/dermaga dan *marine loading arm* untuk memindahkan BBM dari kapal *tanker* ke FT Tanjung Gerem. Perhitungan emisi gas dibawah ini menggunakan Pers. (1), dengan hasil:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,877 \text{ kg/kWh} \times 770.975 \text{ kWh/tahun} \\ &= 676.145,08 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi NO}_x &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00136 \text{ kg/kWh} \times 770.975 \text{ kWh/tahun} \\ &= 1.048,53 \text{ kg NO}_x/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi SO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00389 \text{ kg/kWh} \times 770.975 \text{ kWh/tahun} \\ &= 2.999,09 \text{ kg SO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

b. Unit Penimbunan

Unit penimbunan adalah sebagai penyimpanan sementara BBM di tangki BBM. Penggunaan listrik pada tangki timbun digunakan untuk kegiatan pengukuran, pengontrolan, dan keamanan seperti pengukuran dan pemantauan pada sensor, pengontrolan otomatis pada pompa dan aliran bahan bakar. Perhitungan emisi gas dibawah ini menggunakan Pers. (1), dengan hasil:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,877 \text{ kg/kWh} \times 92.517 \text{ kWh/tahun} \\ &= 81.137,41 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi NO}_x &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00136 \text{ kg/kWh} \times 92.517 \text{ kWh/tahun} \\ &= 125,82 \text{ kg NO}_x/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi SO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00389 \text{ kg/kWh} \times 92.517 \text{ kWh/tahun} \\ &= 359,89 \text{ kg SO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

c. Unit Penyaluran

Unit penyaluran menggunakan konsumsi listrik pada operasional pompa untuk pengisian BBM ke mobil tangki pada *filling shed*. Perhitungan emisi gas unit penyaluran menggunakan Pers. (1), dengan hasil:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,877 \text{ kg/kWh} \times 370.068 \text{ kWh/tahun} \\ &= 314.549,63 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi NO}_x &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00136 \text{ kg/kWh} \times 370.068 \text{ kWh/tahun} \\ &= 503,29 \text{ kg NO}_x/\text{tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi SO}_2 &= \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Energi} \\ &= 0,00389 \text{ kg/kWh} \times 370.068 \text{ kWh/tahun} \\ &= 1.439,56 \text{ kg SO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Sehingga total konsumsi listrik FT Tanjung Gerem pada tahun 2021 seperti pada Tabel 3.

2) Life Cycle Inventory Operasional Alat

Life cycle inventory operasional alat meliputi beberapa unit, diantaranya:

a. Emisi dari Solar Genset

Perhitungan solar genset menggunakan Pers. (1), namun dengan data aktivitas merupakan konsumsi solar genset yang digunakan. Solar sebagai bahan bakar mesin yang bekerja dengan pembakaran pada volume konstan. Pembakaran pada mesin ini menggunakan kompresi udara tinggi untuk pemanasan mesin. Sehingga, berkontribusi dampak terhadap

lingkungan. Faktor emisi yang digunakan mengacu pada PerMen LH No. 12 Tahun 2012 yang disajikan pada Tabel 4.

Adapun hasil contoh perhitungan beban emisi CO₂ pada genset *perkins* yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Konsumsi Solar} \times \text{Nilai Kalor} \times \text{Faktor Emisi} \\ &= 95,13 \text{ L} \times 0,000036 \text{ TJ/L} \times 74.100 \text{ kg CO}_2/\text{TJ} \\ &= 253,768 \text{ kg CO}_2\end{aligned}$$

Maka perhitungan parameter emisi lainnya pada genset *perkins* dan genset *caterpillar* disajikan pada Tabel 5.

b. Emisi Fugitive

Satuan hasil dari perhitungan beban emisi *fugitive* berupa ton VOC. Adapun satuan ini tidak termasuk dalam kategori gas pencemar yang diteliti namun gas ini berkontribusi pada kategori dampak *global warming*. Perhitungan emisi *fugitive* yang dihitung berdasarkan Pers. (2). Faktor emisi yang digunakan berdasarkan laporan inventarisasi gas konvensional PT Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem tahun 2021. Emisi *fugitive* berasal dari kebocoran pada *valve*, *flange*, dan *seals*. Hasil emisi *fugitive* pada operasional alat disajikan pada Tabel 6.

Emisi *fugitive* tidak hanya disebabkan karena operasional alat saja, melainkan dapat berasal dari perilaku manusia seperti pembukaan katup saat penerimaan dan pengisian ke mobil tangki.

Emisi tangki timbun berupa pelepasan gas atau uap dari proses penyimpanan BBM di tangki timbun karena penguapan BBM akibat faktor suhu, tekanan, dan komposisinya. Sedangkan emisi penyaluran adalah pelepasan gas atau uap selama proses pengisian BBM dari pompa ke mobil tangki. Berdasarkan data *software* EMEST TBBM Tanjung Gerem tahun 2021, didapatkan: Emisi tangki timbun = 2.251,93 ton VOC dan Emisi penyaluran = 1.014,08 ton VOC.

Maka berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan total emisi operasional transit BBM tiap paramater di FT Tanjung Gerem seperti pada Tabel 7.

c. Analisis Mass Balance

Mass Balance adalah kesetimbangan massa antara *input* dan *output* yang akan dianalisis. Pada penelitian ini, input berupa produk *gasoline* dan *gasoil* sebesar 2.181.615,46 ton dimana setimbang dengan *output* sebesar 2.178.349,21 ton dan sisa 3.266,25 ton serta penggunaan energi. Sedangkan *outputnya* yaitu emisi dari penggunaan energi dan operasional alat tersebut. Diagram *mass balance* tiap unit yang disajikan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 berturut-turut.

d. Unit Penerimaan

Otomisasi *marine loading arm* dari kapal tanker di unit penerimaan dapat dioperasikan secara otomatis dengan sistem kontrol dan sensor yang terhubung langsung ke monitor berupa jumlah produk bahan bakar minyak yang diterima. Dalam proses ini input dan output bahan bakar minyak adalah sama, karena hanya terjadi proses pemindahan BBM.

e. Unit Penimbunan

Pada unit penimbunan, *output* dari jumlah produk berkurang menjadi emisi *fugitive* karena emisi tangki timbun sebesar 2.244,42 ton VOC *gasoline* dan 7,51 ton VOC *gasoil* yang diasumsikan akumulasi emisi dari penguapan ke udara dan berkontribusi terhadap kateogir dampak *global warming*. Sehingga, terjadi pengurangan pemindahan produk sebanyak

2.251,93 ton BBM pada unit penimbunan.

f. Unit Penyaluran

Proses penyaluran menggunakan pompa untuk pengisian ke mobil tangki. Terdapat 16 pompa yang digunakan, sehingga konsumsi energi listrik cukup banyak pada saat pengisian bahan bakar minyak di *filling shed* yang akan di distribusikan ke unit pelayanan seperti SPBU. Diasumsikan terjadinya pengurangan angka pada produk BBM karena penguapan dari emisi kegiatan penyaluran atau pengisian ke mobil tangki sebesar 1.014,08 ton VOC.

Adapun pada ketiga unit terindikasi emisi *fugitive* sebesar 0,24 ton VOC yang disebabkan oleh kebocoran selama periode tahun 2021.

C. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Hasil dari analisis penilaian dampak menggunakan *software* SimaPro diperoleh grafik karakterisasi dan normalisasi yang disajikan ada Gambar 5 dan Gambar 6.

Grafik karakterisasi menunjukkan bahwa total kategori dampak *global warming*, *acidification*, dan *eutrophication* secara berturut-turut sebesar 1,26E10 kg CO₂ eq, 5,11E7 kg SO₂ eq, dan 6,88E6 kg PO₄³⁻ eq.

Dari grafik normalisasi diatas menunjukkan bahwa dampak *global warming* merupakan dampak terbesar dari kategori dampak lainnya. Emisi yang dihasilkan dari gas yang berpotensi terhadap *global warming* yaitu gas CO₂ berasal dari penggunaan energi listrik dan pembakaran solar operasional alat genset dan emisi *fugitive* akibat kebocoran operasional alat. Hasil grafik normalisasi yang telah dikonversi kedalam satuan yang sama kategori dampak *global warming*, *acidification*, dan *eutrophication* berturut-turut adalah 0,0025; 0,00182; dan 0,000521.

D. Interpretasi

Interpretasi data dapat mengetahui titik *hotspot* dari serangkaian kegiatan transit BBM di PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem. Hasil dari analisis inventori dan penilaian dampak. Analisis *hotspot* dilakukan untuk mengetahui unit proses yang menghasilkan kontribusi nilai dampak terbesar. Berdasarkan data inventori *mass balance* bahwa unit penerimaan BBM, yaitu 676.145,08 kg CO₂/tahun. Untuk emisi NO_x terbesar pada unit penerimaan BBM dan SO₂ pada unit penyaluran BBM sedangkan emisi gas CH₄ terindikasi pada unit penyaluran BBM.

Berdasarkan hasil LCIA, dapat dilihat bahwa kategori dampak terbesar ditimbulkan dari unit penyaluran BBM dengan nilai dampak sebesar 6,2E9 kg CO₂ eq. Di urutan kedua dan terakhir berturut-turut yaitu *acidification* dan *eutrophication*. Besarnya nilai dampak pada *global warming* disebabkan oleh penggunaan energi listrik dan pembakaran solar pada genset. Penggunaan energi listrik untuk menggerakkan alat pompa dan *marine loading arm*, dimana energi yang digunakan bersumber dari energi listrik dengan sumber daya alam tidak terbarukan yaitu bahan bakar fosil. Pada penggunaan genset memerlukan bahan bakar solar sebagai bahan bakar dalam mesin yang bekerja dengan pembakaran isokhorik. Pembakaran solar pada mesin ini menggunakan kompresi udara tinggi untuk pemanasan mesin.

E. Rekomendasi Alternatif

Rekomendasi alternatif berdasarkan studi literatur ini

difokuskan pada unit penyaluran sebagai *hotspot* proses dan dampak *global warming* sebagai nilai dampak terbesar. Pada kegiatan penyaluran BBM di *filling shed* terdapat pemakaian solar sebesar 300,78 L/tahun, dimana hal tersebut menjadi kontribusi besar terhadap dampak *global warming*. Pada rekomendasi alternatif, diusulkan *exhaust gas recirculation* yang dapat meningkatkan efisiensi genset dengan mengurangi suhu puncak di dalam silinder dan meningkatkan efisiensi termal. Sehingga dapat mengurangi ketersediaan O₂ suhu tinggi yang menyebabkan terbentuknya NO_x. Penerapan EGR dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dengan mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi bahan bakar [8]. Rekomendasi alternatif perbaikan lainnya yaitu teknologi *variable speed driver*, teknologi *ultra-super critical*, dan penggunaan energi tenaga surya dapat membantu mengurangi emisi dengan prinsip menekan gas CO₂. Teknologi VSD merupakan teknologi *inverter* yang sifatnya . mengkonversi energi listrik. VSD dapat mengendalikan kecepatan variabel pada pompa dengan cara mengurangi tekanan dalam sistem pipa, sehingga dapat mengurangi kebocoran atau kerusakan pipa [9].

Teknologi *Ultra-Super Critical* sebagai rekomendasi alternatif dalam sistem pembangkit tenaga listrik yaitu dengan cara memiliki kelebihan pada *thermal efficiency* yang lebih tinggi sehingga dapat mengurangi penggunaan batu bara sebagai bahan bakar fosil [10]. Penggunaan energi tenaga surya juga salah satu upaya yang direkomendasikan untuk menekan emisi CO₂ yaitu dengan cara memasang sistem *Photovoltaic* (PV) sebagai *supply* energi untuk memenuhi kebutuhan listrik pada kegiatan operasional transit BBM. Sistem PV atau pengumpulan panas matahari untuk menghasilkan *steam* panas yang diperoleh melalui radiasi sinar matahari sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi [11].

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah diperoleh nilai dampak lingkungan untuk 3 kategori dampak CML-IA *Baseline* dari kegiatan operasional PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem dengan metode LCA. Analisis *hotspot* menunjukkan nilai dampak tertinggi pada unit penyaluran sebesar 6,2E9 kg CO₂ eq kontribusi terhadap *global warming*. Berdasarkan hasil penilaian dampak dianalisis bahwa dari operasional transit BBM di PT. Pertamina Patra Niaga *Fuel Terminal* Tanjung Gerem berkontribusi terhadap dampak *Global Warming* sebesar 1,26E10 kg CO₂ eq, *Acidification* 5,11E7 kg SO₂ eq, dan *Eutrophication* 6,88E6 kg PO₄³⁻ eq. Rekomendasi alternatif untuk meminimasi dampak lingkungan antara lain teknologi *Variable speed Driver*, *Exhaust Gas Recirculation*, *Ultra-Super Critical*, dan penggunaan energi tenaga surya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bakhtiar, S. B. Akhlissa, H. Suliantoro, Z. F. Rosyada, and B. P. Sukarsono, "Penentuan jumlah kebutuhan mobil tangki dalam proses distribusi BBM pada PT Pertamina (Persero) Integrated Terminal Semarang," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 39–46, 2020, doi: 10.25124/jrsi.v10i01.600.
- [2] T. D. Qoyyima and S. W. Nugroho, "Analisis kualitas fleet safety management mobil tangki menggunakan pendekatan lean six sigma dan systematic cause analysis technique (Studi kasus: PT Pertamina

- MOR III),” *Ind. Eng. Online J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [3] E. Purwanto, L. Adrianto, and S. Rahardjo, “Strategi optimal meningkatkan efisiensi di terminal bahan bakar minyak (tbbm) Makassar dengan menggunakan Discrete-Event Simulation,” *War. Penelit. Perhub.*, vol. 29, no. 1, pp. 33–44, 2017, doi: 10.25104/warlit.v29i1.316.
- [4] S. Sulistyono, “Kegiatan usaha industri migas hubungannya dengan dampak dan tanggung jawab kelestarian lingkungan hidup,” *Swara Patra Maj. Ilm. PPSDM Migas*, vol. 5, no. 2, pp. 23–30, 2015.
- [5] G. Z. Kautzar, Y. Sumantri, and R. Yuniarti, “Analisis dampak lingkungan pada aktivitas supply chain produk kulit menggunakan Metode LCA dan ANP,” *J. Rekayasa dan Manaj. Sist. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 200–211, 2015.
- [6] R. Rosmeika, L. Sutiarmo, and B. Suratmo, “Pengembangan perangkat lunak Life Cycle Assessment (LCA) untuk ampas tebu (Studi kasus di pabrik gula madukismo, Yogyakarta),” *Agritech*, vol. 30, no. 3, 2012, doi: 10.22146/agritech.9670.
- [7] M. A. Rajaeifar, M. Tabatabaei, H. Ghanavati, B. Khoshnevisan, and S. Rafiee, “Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 886–898, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.06.037.
- [8] M. Alrbai, B. R. Qawasmeh, Z. Al-Hamamre, M. S. Sari, and Y. Taamneh, “Impact of exhaust gas recirculation on performance and emissions of free-piston electrical generator fueled by DME,” *J. energy Eng.*, vol. 144, no. 3, p. 4018027, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000542.
- [9] W. Guo *et al.*, “Variable-speed pump efficiency calculation for fluid flow systems with and without static head,” *Int. J. Energy Manag.*, vol. 2, no. 3, 2020, [Online]. Available: <https://www.osti.gov/biblio/1649114>
- [10] H. Fan, Z. Zhang, J. Dong, and W. Xu, “China’s R&D of advanced ultra-supercritical coal-fired power generation for addressing climate change,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 5, pp. 364–371, 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.01.007.
- [11] M. Ali and J. Windarta, “Pemanfaatan energi matahari sebagai energi bersih yang ramah lingkungan,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 2, pp. 68–77, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.10059.