

## Analisis *Global Warming Pottential* Pada Kegiatan *Overhaul Engine* Menggunakan *Life Cycle Assessment* di PT. United Tractors Balikpapan

Ida Bagus Dharmawan<sup>1,\*</sup>, Aryati Muhaymin Marali<sup>1</sup>, Rafsandy Esa Maulidan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Balikpapan, Jl. Soekarno Hatta Km.8, Balikpapan, 76129

\*ida.bagus@poltekba.ac.id

Diterima: 10 11 2025

Direvisi: 29 11 2025

Disetujui: 31 12 2025

### ABSTRAK

Kegiatan *overhaul engine* di industri perawatan alat berat berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca akibat penggunaan energi listrik dan solar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi *Global Warming Potential* (GWP) dari proses *overhaul engine* di PT. United Tractors Cabang Balikpapan dengan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) ruang lingkup *gate to gate*. Data diperoleh melalui inventarisasi input energi pada setiap tahap proses, kemudian dihitung menggunakan faktor emisi listrik grid Indonesia sebesar 0,79 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh. Hasil penelitian menunjukkan total GWP per siklus *overhaul engine* sebesar 2,853 kg CO<sub>2</sub>eq, dengan kontribusi terbesar berasal dari tahap *washing* (1,008 kg CO<sub>2</sub>eq atau 35%) dan *prewashing* (0,881 kg CO<sub>2</sub>eq atau 31%). Tahap *assembly*, *disassembly*, dan *painting* masing-masing menyumbang 17%, 12%, dan 5%. Dengan rata-rata tiga kali *overhaul* per bulan, emisi tahunan diperkirakan mencapai 100,8 kg CO<sub>2</sub>eq. Nilai ini tergolong kecil dibandingkan target nasional emisi gas rumah kaca Indonesia pada tahun 2030 sebesar 1.805 Mt CO<sub>2</sub>eq. Meskipun demikian, evaluasi emisi pada tingkat operasional tetap penting sebagai langkah mitigasi, terutama jika aktivitas serupa dilakukan secara masif. Upaya perbaikan dapat dilakukan melalui peningkatan efisiensi energi peralatan serta penggantian solar dengan *water-based degreaser* untuk menekan emisi VOC.

**Kata kunci:** *Overhaul engine, life cycle assessment, global warming potential, emisi, energi listrik.*

### ABSTRACT

*Engine overhaul activities in the heavy equipment maintenance industry have the potential to generate greenhouse gas emissions due to the use of electricity and diesel fuel. This study aims to analyze the Global Warming Potential (GWP) of the overhaul engine process at PT. United Tractors Balikpapan Branch using the Life Cycle Assessment (LCA) approach with a gate-to-gate system boundary. Data were obtained through an inventory of energy inputs at each process stage and calculated using Indonesia's grid electricity emission factor of 0.79 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh. The results show that the total GWP per overhaul cycle is 2.853 kg CO<sub>2</sub>eq, with the largest contributions from the washing stage (1.008 kg CO<sub>2</sub>eq or 35%) and prewashing (0.881 kg CO<sub>2</sub>eq or 31%). The assembly, disassembly, and painting stages contributed 17%, 12%, and 5%, respectively. With an average of three overhaul activities per month, the annual emissions are estimated at 100.8 kg CO<sub>2</sub>eq. This value is relatively small compared to Indonesia's national greenhouse gas emission target of 1,805 Mt CO<sub>2</sub>eq by 2030. Nevertheless, emission evaluation at the operational level remains important as a mitigation measure, particularly if similar activities are carried out on a larger scale. Improvement efforts may include increasing equipment energy efficiency and replacing diesel with water-based degreasers to reduce VOC emissions.*

**Keywords:** *Overhaul engine, life cycle assessment, global warming potential, emission, electrical energy.*

## PENDAHULUAN

PT. United Tractors didirikan pada 13 Oktober 1972 dengan nama PT. Astra Motor Work dan kini menjadi anak perusahaan PT. Astra International. Sebagai distributor alat berat terkemuka, Seiring perkembangannya, perusahaan membuka banyak cabang, salah satunya di Jalan Mulawarman No. 68, Balikpapan Timur. Adapun kegiatan yang sering dilakukan di *workshop* PT. United Tractors cabang Balikpapan adalah kegiatan *overhaul engine*. Aktivitas *overhaul* merupakan suatu prosedur yang melibatkan pembongkaran menyeluruh terhadap mesin untuk dilakukan pemeriksaan kembali secara detail. Tujuan dari proses ini adalah untuk meningkatkan kinerja mesin serta melakukan peremajaan komponen agar dapat kembali berfungsi sesuai dengan standar performa pabrik [1].

Namun demikian, kegiatan *overhaul engine* berpotensi menghasilkan dampak lingkungan, salah satunya berasal dari penggunaan energi listrik dan solar sebagai media pencuci komponen. Konsumsi energi dan bahan tersebut dapat berkontribusi terhadap *Global Warming Potential*, yaitu potensi terbentuknya gas rumah kaca yang berperan dalam pemanasan global. Dalam konteks industri perawatan alat berat, analisis *Global Warming Potential* menjadi penting karena mampu menunjukkan besarnya pengaruh aktivitas perawatan terhadap isu perubahan iklim yang saat ini menjadi perhatian global.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) yaitu sebuah metode proses penyusunan dan penilaian atas data masukan (input), keluaran (output), serta potensi dampak lingkungan dari suatu sistem produk yang dianalisis secara menyeluruh sepanjang seluruh tahapan siklus hidupnya [2].

Melalui pendekatan ini, diperoleh gambaran kuantitatif mengenai potensi emisi gas rumah kaca dari setiap tahapan *overhaul engine*. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kualitas pengelolaan lingkungan perusahaan, serta mendukung upaya Indonesia dalam mencapai target penurunan emisi. Dalam penilaian dampak siklus hidup (*Life Cycle Impact Assessment*), *Global Warming Potential* (GWP) termasuk dalam kategori penyebab perubahan iklim (*Climate Change*) [3].

## METODE PENELITIAN

Obyek penelitian yang digunakan adalah kegiatan *overhaul engine* PT United Tractors Balikpapan. Penelitian ini dilaksanakan selama 5 bulan yaitu pada 1 Februari sampai dengan 5 Juli 2025. Penelitian ini dirancang sebagai deskriptif kuantitatif yang merupakan penelitian dengan metode mengumpulkan data-data berupa angka yang selanjutnya diolah untuk mengetahui nilai dari potensi dampak yang dihasilkan.

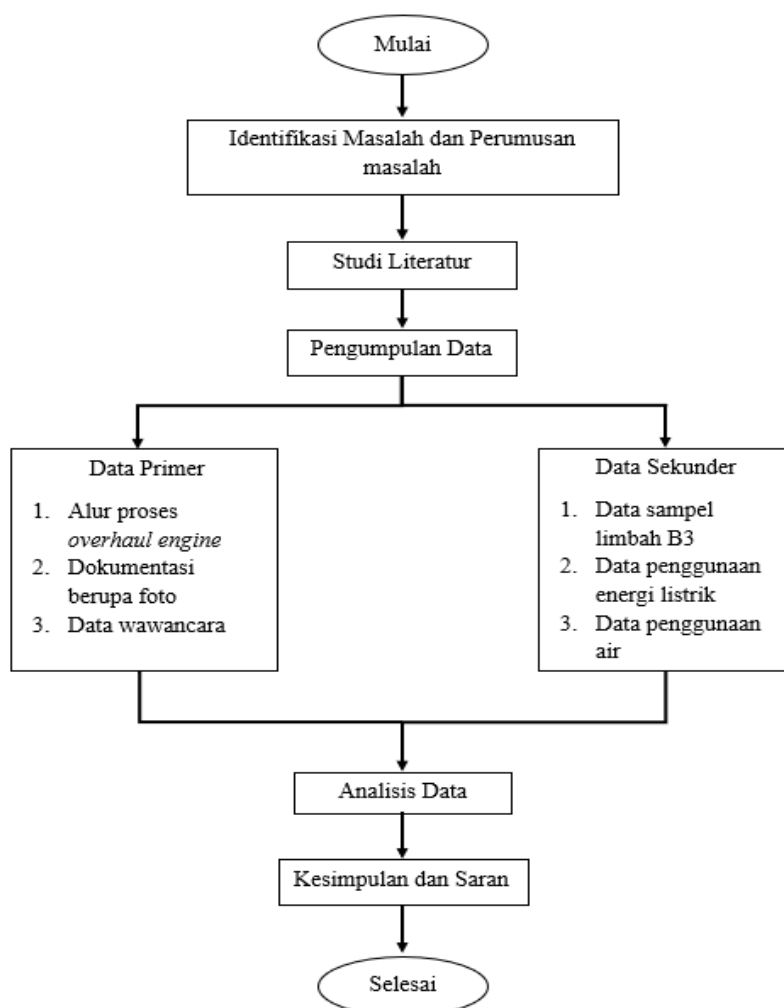
Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan ruang lingkup *gate to gate* kemudian dibantu dengan alat ukur perhitungan yaitu *Microsoft Excel*. Pendekatan *gate to gate* merupakan metode penilaian lingkungan yang berfokus pada satu tahap proses dalam rantai produksi, tanpa mencakup fase sebelum maupun sesudahnya [4].

Berdasarkan ISO 14040 tahun 2006 terdapat 4 tahapan LCA yakni [5]:

a) *Goal and Scope Definition*

- *Goal* merupakan pembuatan pernyataan terkait tujuan yang ingin dicapai, yaitu mengetahui potensi dampak gas rumah kaca dan cara pengendaliannya yang timbul proses *overhaul engine* di PT. United Tractor cabang Balikpapan.

- *Scope definition* pada penelitian ini yaitu proses *overhaul engine* di PT. United Tractor cabang Balikpapan dengan batas sistem *gate to gate*.
- b) *Life Cycle Inventory* (LCI);  
Pengumpulan data sampel penelitian yang mencakup data input dan output pelaksanaan pekerjaan *overhaul engine*.
- c) *Life Cycle Impact Assesment* (LCIA)  
Pada tahap ini dilakukan analisa dampak dan penilaian dampak *Global Warming Potential*, pada tahap ini dilakuan perhitungan analisa dampak Gas Rumah Kaca yang dihasilkan dari pekerjaan *overhaul engine* yang menggunakan energi listrik dan penggunaan solar pada tahap *washing* komponen *engine*.
- d) Interpretasi data  
Pada tahap ini dilakukan hasil data yang telah dikumpulkan akan dilakukan evaluasi data yang telah dikumpulkan pada aplikasi *Microsoft Excel* dan perhitungan menggunakan persamaan dasar *Life Cycle Assesment*. Dari hasil evaluasi tersebut akan di tarik kesimpulan, keterbatasan dan rekomendasi dalam pekerjaan *overhaul engine*.  
Berikut ini diagram tahapan penelitian yang digunakan oleh penulis:



**Gambar 1.** Diagram tahapan penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan proses pengumpulan serta pengolahan data yang dilakukan berdasarkan tahapan LCA sebagaimana telah dijelaskan pada bagian metodologi penelitian, yakni:

a) *Goal and Scope*

*Goal* atau tujuan pada penelitian ini mengidentifikasi dan menganalisis potensi dampak gas rumah kaca akibat kegiatan *overhaul engine* di *workshop* PT. United Tractors Cabang Balikpapan, sekaligus mengevaluasi upaya pengendaliannya. Sedangkan *scope* atau ruang lingkup penelitian menggunakan batas sistem *gate to gate*, mencakup tahapan *prewashing*, *disassembly*, *washing*, *assembly*, hingga *painting*. Analisis hanya meliputi input dan output di area workshop tanpa mencakup proses hilir di luar fasilitas perusahaan.

b) *Life Cycle Inventory (LCI)*

Tahap ini berisi kebutuhan material dan energi yang dibutuhkan dari setiap proses. Seperti yang disajikan pada Tabel 1, penggunaan energi listrik serta solar sebagai media pencuci komponen merupakan material utama yang berkontribusi pada potensi dampak gas rumah kaca dalam proses *overhaul engine*.

**Tabel 1.** *Life Cycle Inventory*

Tahap <i>prewashing</i>		
<i>Input</i>	Jumlah	Satuan
Kompresor air atau <i>Water Jet</i> (Selama 30 Menit)	1,115	Kwh
<i>Output</i>		
Emisi CO <sub>2</sub>		
Tahap <i>Dissassembly</i>		
<i>Input</i>	Jumlah	Satuan
Penggunaan <i>Overhead Crane</i> Selama 35 Menit	0,45	Kwh
<i>Output</i>		
Emisi CO <sub>2</sub>		
Tahap <i>Washing</i>		
<i>Input</i>	Jumlah	Satuan
Solar	20	Liter
<i>Output</i>		
Emisi VOC		
Tahap <i>Assembly</i>		
<i>Input</i>	Jumlah	Satuan
Penggunaan <i>Overhead Crane</i> Selama 45 Menit	0,58	Kwh
<i>Output</i>		
Emisi CO <sub>2</sub>		
Tahap <i>Painting</i>		
<i>Input</i>	Jumlah	Satuan
Penggunaan <i>Overhead Crane</i> Selama 15 Menit	0,19	Kwh
<i>Output</i>		
Emisi CO <sub>2</sub>		

c) *Life Cycle Impact Assessment*

Setelah tahap *Life Cycle Inventory* (LCI) diselesaikan, langkah berikutnya adalah melakukan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA). Pada tahap ini, dilakukan penilaian terhadap potensi gas rumah kaca berdasarkan data yang telah dimasukkan pada tahap *Life Cycle Inventory*. Dalam penelitian ini nilai *Emission Factor* merujuk pada data yang diperoleh dari [6] yang menyediakan nilai faktor emisi listrik grid di Indonesia tahun 2020-2024. Pada sumber tersebut menyebutkan nilai *Emission Factor* di Indonesia sebesar 0,79 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh. Berikut hasil perhitungan *Global Warming Pottential* untuk masing-masing tahap berdasarkan *Life Cycle Inventory* menggunakan persamaan menurut [7] ditunjukkan pada rumus 1:

$$GWP_{Total} = \sum_{i=1}^n (E_i \times EF_i) \quad (1)$$

Di mana:

- $GWP_{Total}$  : Total *Global Warming Potential* (CO<sub>2</sub>-eq)
- $E_i$  : Jumlah emisi gas rumah kaca ke-i (kg)
- $EF_i$  : Faktor potensi pemanasan global gas ke-i (kg CO<sub>2</sub>eq/kg)
- $n$  : Jumlah jenis gas rumah kaca yang diperhitungkan

Maka :

1) *Pre-washing*

Pada tahap *pre-washing* menggunakan kompresor air untuk membersihkan *engine*, dengan nilai konsumsi energi listrik sebesar 1,115 kWh.

Maka :

$$\begin{aligned} GWP_{Total} &= \sum_i (E_i \times EF_i) \\ GWP &= 1,115 \text{ kWh} \times 0,79 \text{ kg CO}_2\text{eq/kWh} \\ &= 0,88085 \text{ kg CO}_2\text{eq} \\ &= 0,881 \text{ kg CO}_2\text{eq} . \end{aligned}$$

Jadi, nilai GWP pada tahap *pre-washing* adalah sebesar 0,881 kg CO<sub>2</sub>eq.

2) *Dissassembly*

Pada tahap *dissassembly* menggunakan *Overhead Crane* sebagai alat bantu angkat dengan nilai konsumsi energi listrik sebesar 0,45 kWh.

Maka :

$$\begin{aligned} GWP_{Total} &= \sum_i (E_i \times EF_i) \\ GWP &= 0,45 \text{ kWh} \times 0,79 \text{ kg CO}_2\text{eq/kWh} \\ &= 0,3555 \text{ kg CO}_2\text{eq} \\ &= 0,356 \text{ kg CO}_2\text{eq} . \end{aligned}$$

Jadi, nilai GWP pada tahap *dissassembly* adalah sebesar 0,356 kg CO<sub>2</sub>eq.

3) *Washing*

Pada tahap pencucian (*washing*), penggunaan solar sebagai cairan pembersih komponen *engine* turut memberikan kontribusi terhadap *Global Warming Potential* (GWP). Dalam konteks ini, nilai GWP dari solar sebagai cairan pencuci terutama dihitung berdasarkan emisi *Volatile Organic Compounds* (VOC) yang dihasilkan dari penguapan solar selama proses pencucian.

Penguapan solar selama proses pencucian diperkirakan mencapai sekitar 20% dari total volume solar yang digunakan, yaitu 20 liter. Estimasi faktor emisi VOC sebesar 0,3 kg VOC per kg solar diperoleh dari [8]. Perhitungan nilai GWP dilakukan dengan mengonversi volume solar yang menguap menjadi massa berdasarkan densitas solar, yaitu 0,84 kg/liter [9].

Maka:

- Volume solar yang menguap = 20 liter  $\times$  20%  
= 4 liter
- Massa solar yang menguap = 4 liter  $\times$  0.84 kg/l  
= 3,36 kg
- $GWP_{Solar} = \sum_i (E_i \times EF_i)$   
= 3,36 kg  $\times$  0,3 kg VOC  
= 1.008 kg VOC

Dalam perhitungan GWP, diasumsikan bahwa 1 kg VOC yang menguap akan teroksidasi menjadi 1 kg CO<sub>2</sub> ekuivalen. Asumsi ini umum digunakan dalam studi *Life Cycle Assesment* saat data GWP spesifik untuk VOC tidak tersedia [10] .

Maka:

$$GWP_{washing} = 1,008 \text{ kg VOC}$$

$$GWP_{washing} = 1,008 \text{ kg CO}_2eq$$

#### 4) Assembly

Pada tahap *assembly* menggunakan *Overhead Crane* sebagai alat bantu angkat dengan nilai konsumsi energi listrik sebesar 0,58 kWh.

$$GWP_{Total} = \sum_i (E_i \times EF_i)$$

$$GWP = 0,58 \text{ kWh} \times 0,79 \text{ kg CO}_2eq/\text{kWh}$$

$$= 0,4582 \text{ kg CO}_2eq$$

$$= 0,458 \text{ kg CO}_2eq$$

Jadi, nilai GWP pada tahap *assembly* adalah sebesar 0,458 kg CO<sub>2</sub>eq.

#### 5) Painting

Pada tahap *painting* menggunakan *Overhead Crane* sebagai alat bantu angkat dengan nilai konsumsi energi listrik sebesar 0,19 kWh.

Maka :

$$GWP_{Total} = \sum_i (E_i \times EF_i)$$

$$GWP = 0,19 \text{ kWh} \times 0,79 \text{ kg CO}_2eq/\text{kWh}$$

$$= 0,1501 \text{ kg CO}_2eq$$

$$= 0,150 \text{ kg CO}_2eq.$$

Jadi, nilai GWP pada tahap *painting* adalah sebesar 0,150 kg CO<sub>2</sub>eq.

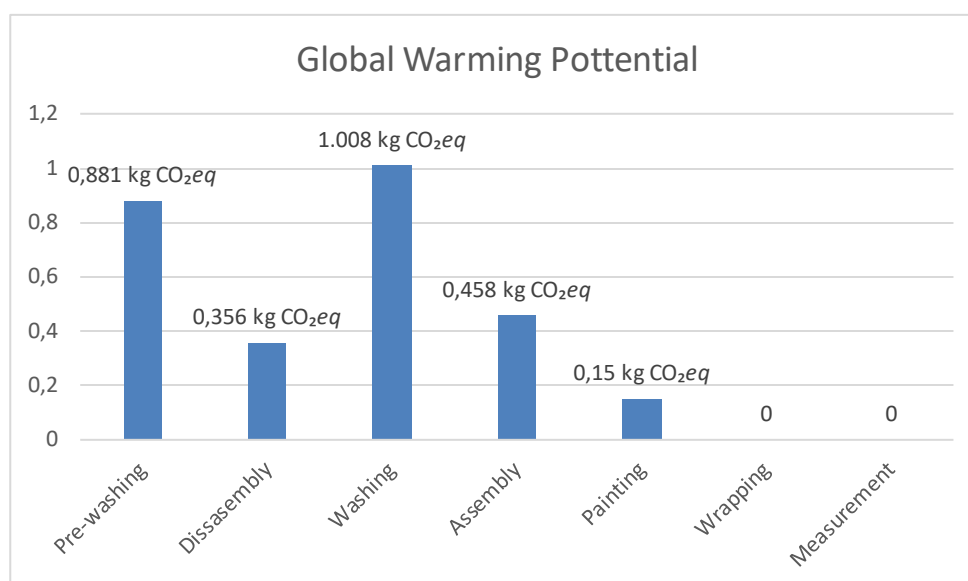
Tabel 2 merupakan total nilai *Global Warming Pottential* pada proses *overhaul engine* di PT. United Tractors Balikpapan.

**Tabel 2.** Total nilai *Global Warming Pottential*

Tahap	Nilai GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	Persentase
<i>Pre-washing</i>	0,881 kg CO <sub>2</sub> eq	31%
<i>Dissassembly</i>	0,356 kg CO <sub>2</sub> eq	12%
<i>Washing</i>	1,008 kg CO <sub>2</sub> eq	35%
<i>Assembly</i>	0,458 kg CO <sub>2</sub> eq	17%
<i>Painting</i>	0,150 kg CO <sub>2</sub> eq	5%
<b>Total</b>	<b>2,853 kg CO<sub>2</sub>eq</b>	<b>100%</b>

#### d) Interpretasi Data

Hasil perhitungan *Global Warming Pottential* diperoleh dari penggunaan solar sebagai media pencuci dan konsumsi energi listrik pada beberapa tahapan proses *overhaul engine*. Faktor emisi yang digunakan adalah 0,79 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh mengacu pada data grid listrik Indonesia. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil Perhitungan *Global Warming Pottential*

Berdasarkan [11], emisi sektor proses industri dan penggunaan produk (*Industrial Processes and Product Use / IPPU*) ditargetkan berada pada kisaran sekitar 63 Mega ton CO<sub>2</sub> ekuivalen (63 Mt CO<sub>2</sub>eq) pada tahun 2030, sedangkan target total emisi gas rumah kaca Indonesia pada tahun 2030 adalah sebesar 1.805 Mega ton CO<sub>2</sub> ekuivalen (1.805 Mt CO<sub>2</sub>eq).

Dalam penelitian ini, hasil analisa menunjukkan bahwa satu *siklus overhaul engine* menghasilkan emisi sebesar 2.8 kg CO<sub>2</sub>eq. Dengan frekuensi rata-rata tiga kali *overhaul* per bulan, estimasi total emisi tahunan dari kegiatan ini mencapai sekitar 100.8 kg CO<sub>2</sub>eq. Meskipun angka ini sangat kecil jika dibandingkan dengan target nasional, pengukuran dan pengelolaan emisi pada tingkat operasional seperti ini penting untuk mendukung pencapaian target pengurangan emisi secara menyeluruh. Selain itu, akumulasi emisi dari berbagai proses operasional yang serupa dapat memberikan kontribusi signifikan apabila dilakukan secara luas di seluruh *area workshop* atau perusahaan.

Adapun rekomendasi perbaikan yang diusulkan peneliti untuk mengurangi angka *Global Warming Pottential* yaitu: Pada sisi energi, penerapan pemeliharaan *preventif* pada *crane* dan kompresor, pemasangan koreksi faktor daya, serta pemantauan konsumsi energi pada titik-titik beban besar akan meningkatkan efisiensi dan menurunkan intensitas emisi listrik tidak langsung. Sedangkan dari sisi bahan, penggunaan solar sebagai cairan pencuci dapat diganti secara bertahap dengan *water-based degreaser* yaitu pembersih berbahan dasar air yang tidak mudah menguap dan rendah emisi VOC), sehingga mengurangi pelepasan senyawa organik volatil ke udara. Penerapan langkah ini tidak hanya menekan kontribusi GWP, tetapi juga meningkatkan keselamatan kerja dan kualitas udara di *area workshop*.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kegiatan *overhaul engine* di PT. United Tractors Cabang Balikpapan menghasilkan total emisi sebesar 2,853 kg CO<sub>2</sub>eq per siklus, dengan kontribusi terbesar berasal dari tahap *washing* (35%) dan *prewashing* (31%). Estimasi emisi tahunan mencapai 100,8 kg CO<sub>2</sub>eq, jika rata-rata dilakukan tiga kali *overhaul* per bulan. Meskipun kontribusinya relatif kecil terhadap target

pengurangan emisi nasional, evaluasi potensi emisi pada level operasional penting untuk mendukung keberlanjutan industri perawatan alat berat. Upaya perbaikan yang direkomendasikan adalah peningkatan efisiensi energi melalui pemeliharaan peralatan dan monitoring konsumsi listrik, serta penggantian solar dengan *water-based degreaser* untuk mengurangi emisi VOC. Dengan langkah ini, kegiatan *overhaul engine* tidak hanya berkontribusi pada penurunan potensi pemanasan global, tetapi juga meningkatkan keselamatan kerja serta kualitas lingkungan di *area workshop*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jaya, A. A. M. Ikhzan, and Annisa, "Overhaul engine c.64 laporan tugas akhir," *Jur. Tek. Mesin, Politek. Negeri Ujung Padang, Makassar*, p. BAB II(PAGE 5), 2021.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA)*, no. 1. Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, KLHK, 2021.
- [3] A. P. Acero, C. Rodriguez, and A. Ciroth, "Green Delta LCIA methods Impact Assesment methods in Life Cycle Assesment and their impact categories," *GreenDelta*, 2017.
- [4] A. A. N. Zahra, "Life Cycle Assessment (LCA) di PROPER: Jejak Lingkungan di Setiap Keputusan Bisnis," CESGS UNAIR.
- [5] M. R. Asyari, "Analisis Dampak Lingkungan pada Instalasi Pengolahan Air Bersih dengan Metode Life Cycle Assessment (Studi Kasus PDAM Tirta Kahuripan - Unit Cibungbulang)," 2023.
- [6] A. D. Bank, *Independent Assessment of Indonesia's Energy Infrastructure Sector*, no. May 2020. 2020.
- [7] R. Heijungs, J. B. Guinee, R. M. Lankreijer, H. A. U. de Haes, and A. W. Sleeswijk, "Environmental life cycle assessment of products," *Backgrounds - Oct. 1992*, no. October, p. 96, 1992.
- [8] USEPA, *2020 National Emissions Inventory Technical Support Document: Onroad Mobile Sources*. 2023.
- [9] D. Munroe, *Diesel Fuel Properties*. 2016. [Online].
- [10] IPCC, *2\_Energy.pdf*. 2000.
- [11] M. of E. and F. Republic of Indonesia, "Enhanced Nationally Determined Contribution Republic Of Indonesia," 2022.