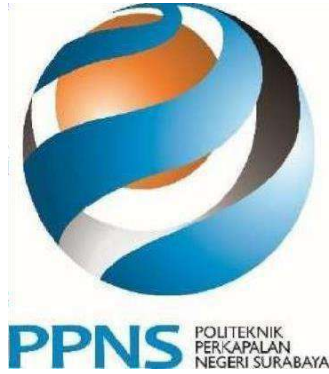




TUGAS AKHIR (WT43250)

ANALISIS POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA DAN UPAYA MITIGASI DALAM BIDANG MANUFAKTUR FABRIKASI

Dela Kurniawati
NRP. 1022040016

Dosen Pembimbing :
Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.
Sekarsari Wibowo, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**ANALISIS POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA DAN
UPAYA MITIGASI DALAM BIDANG MANUFAKTUR
FABRIKASI**

Dela Kurniawati

NRP. 1022040016

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Mirna Apriani, ST., MT

Sekarsari Wibowo, ST., MT

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

SURABAYA

2026

Halaman Sengaja Dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA DAN UPAYA
MITIGASI DALAM BIDANG MANUFAKTUR FABRIKASI**

Disusun Oleh:

**Dela Kurniawati
1022040016**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 01 Juli 2026

Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T. (5746756657230172)
2. Sekarsari Wibowo, S.T., M.T. (6351777678230083)
3. Tanti Utami Dewi, S.Si., M.Sc. (9662760661231052)
4. Mar'atus Sholihah, S.ST., M.Sc. (1742774675230282)

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Dosen Pembimbing

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

1. Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T. (5746756657230172)
2. Sekarsari Wibowo, S.T., M.T. (6351777678230083)

(.....)
(.....)

**Menyetujui
Ketua Jurusan**



**Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 197708192005011001**

**Mengetahui
Koordinator Program Studi**

**Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.
NIP. 197804142005012002**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

 PPNS POLYTEKNIK PONTIANAK NUSANTARA	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Dela Kurniawati

NRP. : 1022040016

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal / Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Analisis Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dan Upaya Mitigasi dalam Bidang Manufaktur Fabrikasi

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 9 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,




(Dela Kurniawati)

NRP.1022040014

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, pertolongan, dan kemudahan yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Upaya Mitigasi pada Industri Manufaktur Fabrikasi*” dengan baik. Atas izin dan pertolongan-Nya, penulis mampu melewati berbagai proses dan tantangan selama penyusunan Tugas Akhir ini hingga dapat terselesaikan. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi Diploma Empat (D4) pada jurusan Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan orang-orang disekitar penulis baik itu bantuan materi maupun moril. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, yaitu Bapak Sumiarsono dan Ibu Sampik Anah yang telah memberikan segala doa dan dukungan yang tak terhingga kepada penulis sehingga penulis mampu dan tetap tegar dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir, serta kakak yang tidak henti-hentinya memberikan doa serta memberikan bantuan materi kepada penulis.
2. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Ibu Dr. Mirna Apriani, ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan restu dan doa dalam penyusunan tugas akhir sehingga dapat terlaksana tepat waktu.
5. Ibu Sekarsari Wibowo, ST., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah berkenan meluangkan waktunya untuk memberikan banyak saran, motivasi, masukan serta selalu sabar dan mengarahkan penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

6. Ibu Tanti Utami Dewi, S.Si., M.Sc. dan Ibu Mar'atus Solihah, S.ST., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam proses penyempurnaan penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
8. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Pengolahan Limbah serta karyawan PPNS yang senantiasa mendoakan dan memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
9. Bapak Sutrisno, Mbak Retno Ayu Ningtyas, Mas Yudi Riya Prasetya dan seluruh karyawan CV. Tri Star Perdana Teknik yang sudah menyediakan dan membantu penulis dalam pengambilan data untuk Tugas Akhir.
10. Saudari Aura Maulidiah dan Saudari Fitrotus Shahara sebagai sahabat baik yang selalu menemani dan menjadi tempat berbagi keluh kesah dan memberi dukungan moral kepada penulis sehingga mampu bertahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Segala pelukan hangat dan dukungan semoga Allah SWT ganti dengan kemudahan untuk setiap langkah saudara sekalian.
11. Fujii Kaze atas karya musiknya yang berjudul "*Shinunoga E-Wa*", yang telah senantiasa menjadi teman pada malam-malam panjang di tengah berbagai proses yang penulis lalui hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
12. *Last but not least*, ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada diri sendiri yang telah berjuang dan bertahan sejauh ini. Deraai air mata dan keringat yang bercucuran penulis persembahkan untuk diri sendiri. Untuk sekian kalinya, TERIMA KASIH SUDAH BERTAHAN.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan membalas kebaikan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan

saran membangun agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik lagi. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, khususnya bagi yang sedang menekuni topik penyisihan kandungan logam berat oleh mikroalga pada air limbah. Sekali lagi, penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak dan mohon maaf apabila terdapat beberapa pihak yang tidak disebutkan.

Surabaya, 30 Juni 2026

Penulis

Halaman Sengaja Dikosongkan

ANALISIS POTENSI EMISI GAS RUMAH KACA DAN UPAYA MITIGASI DALAM BIDANG MANUFAKTUR FABRIKASI

Dela Kurniawati

ABSTRAK

Pemanasan global merupakan permasalahan lingkungan yang ditandai oleh peningkatan suhu bumi akibat emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari berbagai aktivitas manusia. Penelitian ini dilakukan pada industri manufaktur fabrikasi bidang *engineering* pembuatan *spare part* mesin dengan tujuan menginventarisasi emisi GRK serta merumuskan upaya mitigasi yang sesuai. Perhitungan emisi mengacu pada Pedoman Inventarisasi GRK Nasional dan IPCC 2019 dengan pendekatan Tier 1, meliputi emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari sektor energi dan limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah B3 berupa oli bekas, kain majun bekas, dan kemasan bekas B3. Emisi utama didominasi oleh penggunaan energi listrik sebesar 15.562 kg CO₂-eq/tahun dan bahan bakar minyak untuk transportasi sebesar 6.882 kg CO₂-eq/tahun, sedangkan emisi lainnya berasal dari tabung gas CO₂ untuk pengelasan, sampah domestik, *septic tank*, dan limbah B3. Total emisi GRK pada industri manufaktur sebesar 27.582,71 kg CO₂-eq/tahun. Upaya mitigasi yang direkomendasikan meliputi pemasangan panel surya yang mampu menurunkan emisi listrik sebesar 33,6% dengan investasi PLTS diperkirakan mencapai titik impas (*payback period*) dalam waktu 4,83 tahun.. penerapan optimasi rute transportasi yang menurunkan emisi sekitar 20%, serta penambahan ruang terbuka hijau (RTH) melalui penanaman vegetasi penyerap karbon untuk meningkatkan penyerapan CO₂. Strategi tersebut berpotensi mendukung pengurangan emisi GRK secara efektif dan berkelanjutan pada industri manufaktur skala kecil.

Kata Kunci : Gas Rumah Kaca, Inventarisasi Emisi, Industri Manufaktur, Panel Surya, *Smart Drive*.

Halaman Sengaja Dikosongkan

ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSION POTENTIAL AND MITIGATION EFFORTS IN THE FABRICATION MANUFACTURING SECTOR

Dela Kurniawati

ABSTRACT

Global warming is an environmental issue characterized by the increase in Earth's average temperature due to greenhouse gas (GHG) emissions from human activities. This study was conducted in a fabrication manufacturing industry specializing in the engineering and production of machine spare parts to inventory GHG emissions and formulate appropriate mitigation strategies. GHG emissions were calculated in accordance with the Indonesian National Greenhouse Gas Inventory Guidelines and the 2019 IPCC Guidelines using the Tier 1 approach. The assessment covered CO₂, CH₄, and N₂O emissions from the energy and waste sectors. The results showed that the industry generated hazardous waste, including used lubricating oil, contaminated rags, and hazardous waste packaging. The primary emission sources were electricity consumption, which produced 15,562 kg CO₂-eq/year, and fuel consumption for transportation, which produced 6,882 kg CO₂-eq/year. Additional emissions originated from CO₂ shielding gas used in welding, domestic solid waste, septic tanks, and hazardous waste management. Total GHG emissions were estimated at 27,582.71 kg CO₂-eq/year. The proposed mitigation measures include installing a 4.4 kWp solar photovoltaic (PV) system, which could reduce electricity-related emissions by 33.6%, optimizing transportation routes to reduce transportation emissions by 19.45%, and expanding green open spaces through carbon-sequestering vegetation. These measures have the potential to effectively and sustainably reduce GHG emissions in small-scale fabrication manufacturing industries.

Keywords: Greenhouse Gas, Emission Inventory, Manufacturing Industry, Photovoltaic, Smart Drive.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	5
2.1.1 Proses Utama	7
2.1.2 Produk Utama	10
2.1.3 Proses Penunjang	16
2.2 Pencemaran Udara.....	20
2.3 Pemanasan Global dan Efek Rumah Kaca	21
2.4 Jenis – Jenis Gas Rumah Kaca.....	22
2.4.1 Karbon Dioksida (CO ₂)	22
2.4.2 Metana (CH ₄).....	22
2.4.3 Nitrogen Oksida (N ₂ O).....	23
2.5 Faktor Emisi.....	23
2.6 <i>Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)</i>	24
2.6.1 Sektor Energi	25

2.6.2 Sektor Sampah Domestik	27
2.6.3 Sektor Limbah Cair (Septic tank)	29
2.6.4 Sektor Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun	30
2.7 Strategi Mitigasi Gas Rumah Kaca	32
2.8 Energi Terbarukan sebagai Strategi Mitigasi Perubahan Iklim.....	33
2.9 Vegetasi dan Daya serap pohon terhadap ruang terbuka hijau (RTH) ...	34
2.10 Penelitian Terdahulu	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Kerangka Penelitian.....	39
3.2 Melakukan Studi Lapangan	42
3.3 Melakukan Perumusan Masalah dan Tujuan	42
3.4 Mengusulkan ide Penelitian	43
3.5 Melakukan Studi Literatur	43
3.6 Mengurus Perizinan dan Permohonan data.....	44
3.7 Pengumpulan Data.....	44
3.8 Melaksanakan Penelitian	45
3.9 Melakukan Pengolahan Data.....	45
3.10 Menyusun Pembahasan, Kesimpulan dan Saran	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Inventarisasi Limbah B3	47
4.2 Analisis Emisi Gas Rumah Kaca di Lokasi Studi pada Industri Fabrikasi ..	50
4.2.1 Listrik pada pada Industri Fabrikasi.....	50
4.2.2 Gas Tabung CO2	67
4.2.3 Transportasi (Kendaraan).....	70
4.2.4 Sampah domestik	77
4.2.5 <i>Septic Tank</i>	80
4.2.6 Limbah B3	82
4.3 Akumulasi Emisi	84
4.4 Upaya Mitigasi	85
4.4.1 Ruang Terbuka Hijau.....	85
4.4.2 Upaya Mitigasi pada Sektor Energi Listrik	87
4.4.3 Upaya Mitigasi pada Sektor Transportasi	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93

5.1 Kesimpulan.....	93
5.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN A	97
LAMPIRAN B	99
LAMPIRAN C	105
LAMPIRAN D	107
LAMPIRAN E.....	109
LAMPIRAN F.....	111
LAMPIRAN G	113
BIODATA PENULIS.....	115

Halaman Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil pengamatan	42
Tabel 4. 1 Logbook LB3 Masuk	48
Tabel 4. 2 Logbook LB3 Keluar	49
Tabel 4. 3 Kebutuhan Daya Listrik Tiap Produk	51
Tabel 4. 4 Total Emisi GRK ROLL PANJANG CONVEYOR	53
Tabel 4. 5 Total Emisi GRK ANCHOR BOLT - J	54
Tabel 4. 6 Total Emisi GRK ANCHOR BOLT - LURUS	55
Tabel 4. 7 Total Emisi GRK COMPACTOR SHAFT ROLLER COMPACT	57
Tabel 4. 8 Total Emisi GRK L-CLOSING CONE FILLER.....	58
Tabel 4. 9 Total Emisi GRK RANTAI CRUSHER	59
Tabel 4. 10 Total Emisi GRK PULLEY ROLL BELT ROUGHTOP WITH BEARING SULEPACK.....	61
Tabel 4. 11 Konsumsi Daya Tiap Unit Alat Elektronik	62
Tabel 4. 12 Total Emisi GRK	66
Tabel 4. 13 Total Emisi GRK Rantai crusher	69
Tabel 4. 14 Total Emisi GRK Pulley roll back rough top	69
Tabel 4. 15 Rute Kendaraan 1	70
Tabel 4. 16 Rute Kendaraan 2	72
Tabel 4. 17 Total Emisi GRK	75
Tabel 4. 18 Data jarak tempuh kendaraan pengangkut LB3	76
Tabel 4. 19 Komposisi timbunan sampah	78
Tabel 4. 20 Total Emisi GRK	79
Tabel 4. 21 Jumlah Limbah B3.....	82
Tabel 4. 22 Total Emisi GRK Kain majun bekas.....	83
Tabel 4. 23 Total Emisi GRK Oli bekas.....	83
Tabel 4. 24 Total Emisi GRK Kemasan bekas B3	84
Tabel 4. 25 Pemangkasan Rute Kendaraan	90
Tabel 4. 26 Total Penurunan Emisi	92

Halaman Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Angkur Baja.....	6
Gambar 2. 2 Lokasi Studi Penelitian Tampak Atas	6
Gambar 2. 3 Proses Bubut.....	8
Gambar 2. 4 Proses Milling.....	9
Gambar 2. 5 Proses pengelasan	10
Gambar 2. 6 diagram alir proses produksi roll panjang conveyor.....	11
Gambar 2. 7 diagram alir proses produksi Anchor bolt - J	12
Gambar 2. 8 diagram alir proses produksi Anchor bolt - Lurus.....	13
Gambar 2. 9 diagram alir proses produksi Compactor shaft roller compact.....	13
Gambar 2. 10 diagram alir proses produksi L-Closing cone filler	14
Gambar 2. 11 diagram alir proses produksi Rantai crusher	15
Gambar 2. 12 diagram alir proses produksi Pulley roll belt rough top.....	16
Gambar 2.13 Kegiatan Listrik Kantor	18
Gambar 2. 14 moda transportasi.....	18
Gambar 2. 15 Kain majun bekas	20
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian.....	42

Halaman Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global adalah permasalahan yang kian dialami dan dirasakan oleh seluruh masyarakat di dunia. Ditandai oleh kondisi peningkatan suhu yang semakin panas dan kondisi cuaca yang tidak menentu merupakan tanda – tanda terjadi pemanasan global (Wahyuni & Suranto, 2021). Pemanasan global bersumber dari berbagai aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, kegiatan industri, dan penggundulan hutan besar-besaran. Hal ini menimbulkan emisi karbon yang menyebabkan efek rumah kaca dan berdampak jangka panjang terhadap kehidupan. Sehingga diharuskan dalam mengurangi aktivitas yang dapat merusak hutan atau kegiatan yang mampu menimbulkan emisi (Prabandari, 2020). Hal ini sejalan dengan Adhi (2010) yang menyatakan bahwa peningkatan GRK terjadi karena aktivitas manusia melebihi kemampuan lingkungan memulihkan diri. Secara alami, GRK dapat didaur ulang oleh lingkungan sehingga jumlahnya seimbang. Menurut IPCC (2006), gas-gas utama yang dikategorikan sebagai gas rumah kaca dan berpotensi menyebabkan permasalahan global adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Emisi gas karbondioksida (CO₂) adalah penyumbang emisi terbesar yang ada di atmosfer.

Emisi gas rumah kaca akan terus bertambah seiring dengan meningkatnya pendukung pembangunan ekonomi sosial contohnya sektor industri. Berdasarkan data Kemenperin, emisi GRK sektor industri tahun 2022 mencapai 238,1 juta ton CO₂e, meningkat dari 222,9 juta ton CO₂e pada 2021. Aktivitas manusia yang paling besar menyumbang emisi gas rumah kaca adalah aktivitas industri. Tingkat emisi GRK sektor industri di Indonesia sepanjang 2015-2022 sebesar 8-20 persen dibandingkan dengan total emisi GRK nasional. Adapun, komposisi sumber emisi sektor manufaktur tahun 2022 paling besar yakni energi industri (64 persen), limbah industri (24 persen) dan *Industrial Process and Product Use* (12 persen). Perusahaan sebagai pelaku ekonomi yang menjalankan aktivitas industri memiliki peluang besar menghasilkan emisi gas rumah kaca. Komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca juga dapat dilihat dari

dikeluarkannya Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021. Peraturan tersebut berisi tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. Pada Pasal 46 ayat (2) Perpres No. 98 Tahun 2021 disebutkan bahwa pelaku usaha turut berperan dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca. Upaya pengurangan emisi gas rumah kaca yang dilakukan oleh perusahaan sebagai pelaku usaha dapat diketahui dari pengungkapan emisi karbon (Prifitri & Zulaikha, 2016).

Lokasi studi penelitian merupakan industri dan badan usaha yang bergerak di bidang manufaktur *engineering* pembuatan *spare part* mesin untuk industri. Lokasi studi penelitian menyediakan solusi rekayasa yang disesuaikan dengan kebutuhan klien untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keandalan proses produksi. Lokasi studi penelitian ini meliputi proses perancangan, pengembangan, dan pembuatan berbagai jenis mesin industri sesuai kebutuhan pelanggan. Di Negara Indonesia sektor industri manufaktur adalah suatu sektor yang mengalami perkembangan sangat pesat. Sektor industri manufaktur sangat penting bagi pembangunan ekonomi karena kontribusinya terhadap PDB dan peningkatan nilai tambah nasional (Ananda dkk., 2023).

Aktivitas pada industri manufaktur fabrikasi berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari berbagai sumber, meliputi sektor energi dan sektor limbah. Sumber emisi tersebut mencakup penggunaan energi listrik pada proses produksi dan fasilitas pendukung, konsumsi bahan bakar untuk operasional dan transportasi, pengelolaan limbah cair domestik melalui septic tank, timbunan sampah domestik, serta limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Oleh karena itu, diperlukan inventarisasi emisi GRK untuk mengidentifikasi besarnya kontribusi emisi dari setiap sumber sehingga dapat diketahui sektor yang menjadi penyumbang emisi terbesar. Bentuk komunikasi dan tanggung jawab perusahaan terkait kinerja lingkungan salah satunya adalah dengan pengungkapan emisi gas rumah kaca (Prifitri & Zulaikha, 2016). Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi yang tepat guna menurunkan emisi GRK melalui penerapan langkah-langkah yang efektif dan berkelanjutan pada industri manufaktur fabrikasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi

upaya mitigasi yang mendukung pengurangan emisi GRK, meningkatkan kinerja lingkungan perusahaan, serta berkontribusi terhadap pencapaian pembangunan industri yang berkelanjutan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana inventarisasi Limbah B3 pada lokasi studi penelitian?
2. Berapa nilai emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh industri fabrikasi manufaktur ?
3. Bagaimana upaya mitigasi Gas Rumah Kaca yang dapat diterapkan untuk pengendalian emisi Gas Rumah Kaca di industri fabrikasi manufaktur?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun logbook inventarisasi Limbah B3 di industri fabrikasi manufaktur.
2. Menganalisis dan menghitung emisi Gas Rumah Kaca di industri fabrikasi manufaktur.
3. Menganalisis upaya mitigasi emisi Gas Rumah Kaca di industri fabrikasi manufaktur.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi industri
 - a. Memberikan informasi mengenai besaran emisi dari emisi gas rumah kaca dari aktivitas yang dihasilkan dari proses utama dan penunjang di industri tersebut.
 - b. Sebagai bahan evaluasi bagi perusahaan dalam menentukan langkah langkah terbaik atau upaya mitigasi untuk tahun berikutnya.
 - c. Sebagai bahan referensi dalam pemantauan rutin kondisi aktual.

2. Bagi Mahasiswa

- a. Sebagai referensi atau literatur untuk mahasiswa khususnya yang ada di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- b. Sebagai informasi ilmiah dan menambah kajian literatur mengenai besaran beban emisi gas rumah kaca dari aktivitas yang dihasilkan dari proses utama dan penunjang di industri tersebut.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Parameter emisi yang di ukur adalah CO_2 , CH_4 dan N_2O .
2. Data yang di ambil merupakan data dari kegiatan perusahaan pada bulan April 2025 – Maret 2026 (data selama satu tahun)
3. Data inventarisasi pada logbook Limbah B3 pada bulan Januari – Mei 2026
4. Parameter besaran emisi gas rumah kaca dari proses utama dan penunjang serta pekerja yang ada di lokasi studi penelitian menghasilkan emisi CO_2 , CH_4 dan N_2O . kecuali kegiatan limbah cair domestik (*septic tank*) dan sampah domestik.
5. Perhitungan emisi pada sektor transportasi berdasarkan kecerundangan trip pada bulan Januari 2026
6. Perhitungan pada sektor listrik penunjang, limbah padat domestik dan limbah cair domestik (*septic tank*) berdasarkan pada hari kerja efektif, tidak termasuk hari libur,
7. Perhitungan terhadap emisi karbon menggunakan formula IPCC 2019 (*Intergovernmental Panel On Climate Change*), dan Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di area workshop lokasi studi penelitian yang berlokasi di Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur. Lokasi studi penelitian merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang fabrikasi dan *repair machining* dalam pembuatan spare part mesin industri, meliputi pembuatan unit conveyor, roda gigi dan sproket *custom*, *mechanical seal*, angkur baja, serta roda *polyurethane* (PU). Perusahaan ini berdiri sejak tahun 2009 dan pada awal operasionalnya hanya melayani beberapa kontraktor besar dalam pembuatan angkur baja dengan kapasitas produksi yang masih terbatas. Seiring dengan komitmen perusahaan dalam menjaga kualitas produk dan ketepatan waktu produksi, perusahaan mengalami perkembangan yang signifikan hingga mampu meningkatkan kapasitas produksi menjadi sekitar 30.000 unit angkur per bulan.

Perkembangan tersebut mendorong perusahaan menjadi salah satu pemasok *spare part* berpresisi tinggi (*high precision spare parts*) bagi berbagai perusahaan ternama di Indonesia. Sebagai perusahaan besar di bidang fabrikasi, lokasi studi penelitian memiliki pengalaman dalam menangani berbagai proyek berskala besar di beragam sektor, antara lain industri pupuk, sistem pintu air irigasi, industri otomotif, manufaktur, serta proyek industri lainnya. Aktivitas produksi yang dilakukan mencakup berbagai proses pemesinan, fabrikasi, pengelasan, dan perakitan yang berpotensi menggunakan energi dan bahan pendukung dalam jumlah besar.



Gambar 2. 1 Angkur Baja

Sumber : Dokumentasi perusahaan

Secara geografis, lokasi studi penelitian terletak di Desa Durungbedug, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. Lokasi ini berada di kawasan padat penduduk, sehingga keberadaan fasilitas industri menuntut perhatian khusus terhadap aspek lingkungan. Fasilitas yang tersedia di lokasi studi penelitian meliputi area workshop produksi, kantor administrasi, serta sarana dan prasarana pendukung lainnya. Tata letak fasilitas dirancang untuk mendukung kelancaran proses produksi sekaligus menunjang aktivitas operasional perusahaan. Berikut disajikan gambar layout lokasi studi penelitian tampak atas yang menggambarkan pembagian area kerja dan fasilitas penunjang yang tersedia.



Gambar 2. 2 Lokasi Studi Penelitian Tampak Atas

Sumber : *Google Earth*

2.1.1 Proses Utama

Lokasi studi penelitian merupakan perusahaan yang bergerak di bidang engineering pembuatan *spare part* mesin industri dengan sistem *workshop fabrication*, yaitu proses fabrikasi yang berlangsung di dalam sebuah bangunan bengkel yang dilengkapi dengan berbagai peralatan dan mesin pemrosesan dari bahan mentah menjadi barang jadi atau setengah jadi tergantung permintaan dari konsumen atau mitranya.

Raw material atau bahan baku merupakan material utama yang digunakan dalam proses produksi untuk menghasilkan barang jadi, di mana bahan tersebut secara fisik menyatu dan menjadi bagian dari produk akhir (Ramdhani dkk., 2020). Dalam industri fabrikasi, penggunaan bahan baku sering kali disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pelanggan melalui proses *modification by request*, yaitu kegiatan modifikasi atau perubahan produk berdasarkan ketentuan, spesifikasi teknis, atau permintaan dari konsumen maupun mitra kerja. Adapun beberapa proses dari modifikasi antara lain:

a) *Turning Process* (Pembubutan)

Proses bubut di bengkel bubut merupakan teknik pemesinan dasar yang bertujuan menghasilkan bentuk silindris dengan tingkat presisi tertentu melalui proses pemutaran benda kerja pada spindle mesin bubut, sementara pahat bermata tunggal menyayat permukaan benda kerja secara kontinu. Tahapan utama dalam proses ini meliputi persiapan awal berupa pemasangan benda kerja pada cekam, pengaturan parameter pemesinan seperti kecepatan putar (RPM), gerak maju (*feed*), dan kedalaman potong, yang kemudian dilanjutkan dengan proses pemotongan lurus (*turning*) atau *facing* untuk menghilangkan material secara bertahap hingga mencapai dimensi yang diinginkan.

Pada lokasi studi penelitian, proses bubut dilakukan menggunakan dua jenis mesin, yaitu mesin bubut manual (*manual turning*) dan mesin bubut berbasis *Computer Numerical Control* (CNC turning). Mesin bubut manual dioperasikan secara langsung oleh operator, di mana pengaturan parameter dan pergerakan pahat

dilakukan secara manual sehingga tingkat ketelitian sangat bergantung pada keterampilan operator. Sementara itu, mesin bubut CNC dikendalikan oleh program komputer yang memungkinkan proses pemesinan berlangsung secara otomatis dengan tingkat presisi dan konsistensi yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, terdapat 17 unit mesin bubut manual dan 2 unit mesin bubut CNC yang digunakan untuk mendukung kebutuhan produksi dengan variasi tingkat kompleksitas dan volume pekerjaan. Salah satu proses yang terdapat pada industri fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses Bubut

b) *Milling Process*

Proses *milling* merupakan teknik pemesinan subtraktif dimana alat potong berputar (cutter) pada spindle mesin frais mengikis material dari benda kerja yang tercekam pada meja bergerak untuk menghasilkan permukaan datar, alur, atau bentuk kompleks dengan presisi tinggi. Benda kerja digerakkan secara relatif pada sumbu X, Y, dan Z terhadap cutter yang berputar cepat, dengan parameter seperti kecepatan spindle (RPM), feed rate, dan kedalaman potong disesuaikan sesuai material untuk membuang serpihan secara

efisien. *Coolant* digunakan selama proses untuk mendinginkan dan memperpanjang umur cutter, menghasilkan komponen berkualitas siap pakai dalam manufaktur.

Pada lokasi studi penelitian, proses milling dilakukan menggunakan dua jenis mesin, yaitu mesin milling manual dan mesin milling berbasis *Computer Numerical Control* (CNC). Mesin milling manual dioperasikan secara langsung oleh operator, sehingga pengaturan pergerakan meja dan parameter pemesinan sangat bergantung pada keterampilan dan pengalaman operator. Sebaliknya, mesin *milling* CNC dikendalikan oleh program komputer yang memungkinkan proses pemesinan berlangsung secara otomatis dengan tingkat akurasi, konsistensi, dan efisiensi yang lebih tinggi, khususnya untuk pembuatan komponen dengan bentuk kompleks dan toleransi ketat. Secara keseluruhan, lokasi studi penelitian memiliki 11 unit mesin *milling* manual dan 2 unit mesin milling CNC. Proses *milling* yang terdapat pada industri fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Proses Milling

c) *Welding Process*

Proses *Welding* teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau

tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue*. Lokasi studi memiliki beberapa macam alat las MIG, diantaranya adalah :

1. Mesin las 250A sebanyak 4 unit
2. Mesin las 3 phase 250A sebanyak 3 unit
3. Mesin las 1 phase 160A sebanyak 11 unit

Proses pengelasan yang terdapat pada industri fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Proses pengelasan

d) *Grinding Process*

Proses grinding dalam kegiatan bengkel bubut merupakan tahap finishing presisi yang menggunakan roda gerinda abrasif untuk menghaluskan permukaan benda kerja setelah proses bubut utama. Proses ini berfungsi untuk mengikis material secara minimal guna menghilangkan bekas pahat dan meningkatkan kekasaran permukaan.

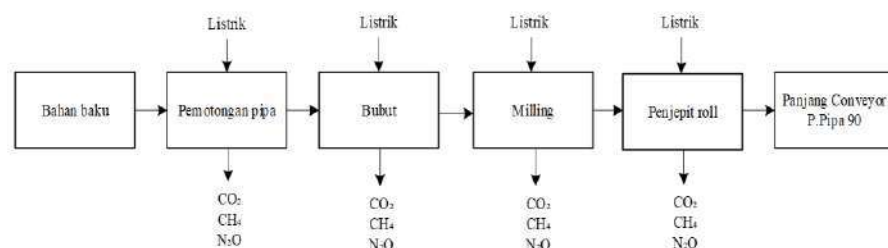
2.1.2 Produk Utama

Pada lokasi studi penelitian menyediakan berbagai produk dan jasa layanan utama di bidang *engineering* dan manufaktur untuk memenuhi kebutuhan industri. Aktivitas tersebut berpotensi menimbulkan emisi gas rumah kaca, baik secara langsung maupun tidak langsung. Produk yang dihasilkan meliputi pembuatan dan fabrikasi spare part mesin industri dengan tingkat presisi tinggi, seperti :

1. Roll Panjang Conveyor

Proses pembuatan roll panjang conveyor dari pipa Ø900 mm diawali dengan persiapan material utama berupa pipa baja sebagai badan roll, poros (*shaft*), bearing, *end cap*, serta seal. Seluruh material terlebih dahulu diperiksa secara visual dan dimensional untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi teknis. Pipa baja Ø900 mm kemudian dipotong sesuai panjang roll conveyor yang direncanakan, dan bagian ujungnya dirapikan agar tegak lurus sehingga memudahkan proses perakitan dan menjamin keseimbangan putaran. Setelah proses pemotongan, pipa menjalani proses machining menggunakan mesin bubut. Pada tahap ini dilakukan perataan ujung pipa serta penyesuaian diameter bagian dalam untuk pemasangan *end cap*. Proses pembubutan bertujuan untuk memperoleh tingkat presisi yang tinggi, menjaga keselarasan komponen, dan mengurangi potensi getaran saat roll beroperasi. End cap yang berfungsi sebagaiudukan bearing dan penghubung antara pipa dan poros dibuat secara terpisah melalui proses pembubutan, kemudian dipasang pada kedua ujung pipa.

Tahap selanjutnya adalah pemasangan poros (*shaft*) yang dimasukkan melalui kedua sisi end cap. Posisi poros harus benar-benar lurus dan berada di tengah agar beban terdistribusi secara merata. Setelah poros terpasang, bearing dan seal dipasang dan dijepit padaudukan end cap. Bearing berfungsi sebagai elemen pemutar, sedangkan seal berperan melindungi bearing dari masuknya debu, air, dan kotoran yang dapat mempercepat keausan. Seluruh sistem bearing kemudian diberi pelumasan sesuai standar. Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.6.

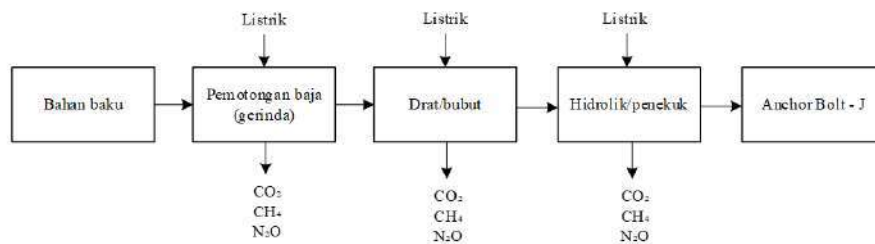


Gambar 2. 6 diagram alir proses produksi roll panjang conveyor

2. Anchor Bolt – J

Proses pembuatan anchor bolt tipe J diawali dengan persiapan material berupa baja batang (round bar) dengan diameter dan panjang yang disesuaikan dengan spesifikasi desain. Setelah proses pemotongan, batang baja dibengkokkan menggunakan mesin hidrolik hingga membentuk lengkungan menyerupai huruf J sesuai ukuran dan radius yang ditentukan.

Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan drat (ulir), pada ujung anchor bolt menggunakan mesin bubut dengan pahat ulir atau mesin pembuat drat (threading machine). Ulir dibuat sesuai standar yang ditentukan, baik metrik maupun inci, agar dapat dipasangkan dengan mur secara tepat. Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.7.



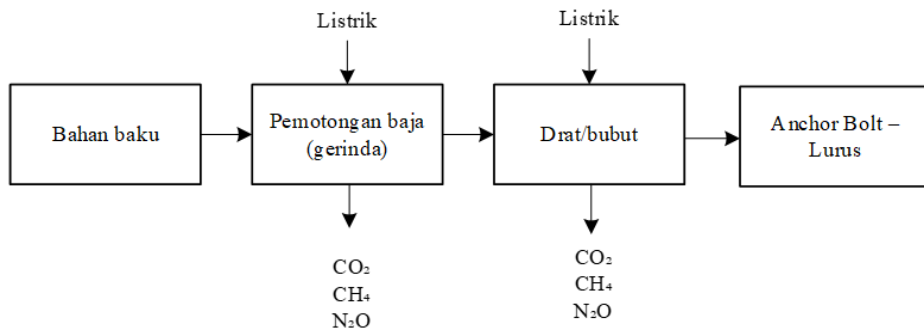
Gambar 2. 7 diagram alir proses produksi Anchor bolt - J

3. Anchor Bolt – Lurus

Proses pembuatan anchor bolt tipe J diawali dengan persiapan material berupa baja batang (round bar) dengan diameter dan panjang yang disesuaikan dengan spesifikasi desain.

Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan drat (ulir), pada ujung anchor bolt menggunakan mesin bubut dengan pahat ulir atau mesin pembuat drat (threading machine). Ulir dibuat sesuai standar yang ditentukan, baik metrik maupun inci, agar dapat dipasangkan dengan mur secara tepat.

Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.8.

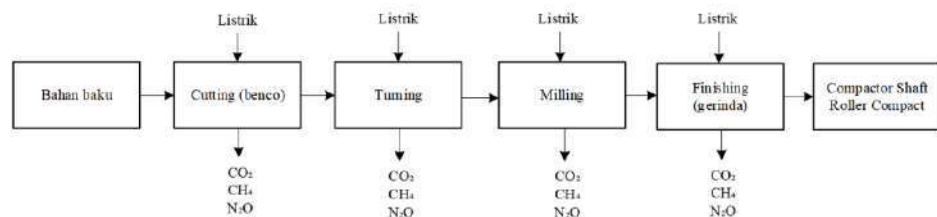


Gambar 2. 8 diagram alir proses produksi Anchor bolt - Lurus

4. *Compactor Shaft Roller Compact*

Proses pembuatan *compactor shaft roller compact* diawali dengan persiapan material utama berupa baja paduan atau baja karbon berkekuatan tinggi yang digunakan sebagai poros (*shaft*) dan badan roller. Batang baja kemudian dipotong sesuai panjang yang telah ditentukan berdasarkan desain *compactor*, dengan mempertimbangkan toleransi untuk proses machining selanjutnya.

Setelah pemotongan, material poros dijepit secara kuat dan presisi pada mesin bubut. Proses pembubutan (*machining*) dilakukan untuk membentuk diameter shaft sesuai spesifikasi, meratakan permukaan, serta memastikan keselarasan sumbu (*concentricity*). Pada tahap ini juga dapat dilakukan pembuatan bahu (*shoulder*), alur, atau dudukan bearing sesuai kebutuhan desain roller *compactor*. Setelah proses bubut selesai, komponen dilanjutkan ke proses milling. Pada tahap ini, shaft atau badan roller dijepit pada mesin frais (*milling machine*) menggunakan ragam atau jig khusus. Tahap berikutnya adalah proses finishing menggunakan gerindra. Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.9.

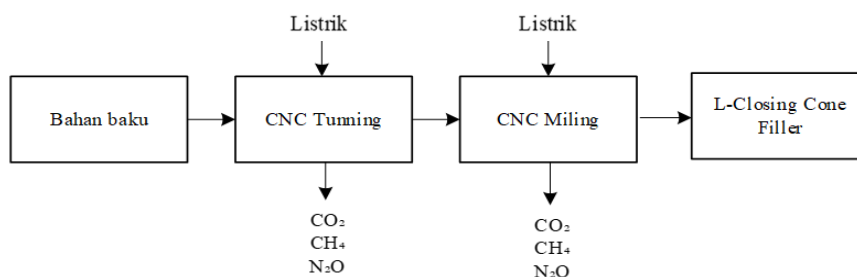


Gambar 2. 9 diagram alir proses produksi Compactor shaft roller compact

5. *L-Closing Cone Filler*

Proses diawali dengan persiapan material dipotong menjadi ukuran awal (blank) sesuai panjang yang dibutuhkan. Tahap selanjutnya adalah proses CNC turning (pembubutan CNC). Material dijepit dengan presisi pada chuck mesin CNC turning untuk memastikan posisi lurus dan stabil. Proses ini dilakukan untuk membentuk geometri utama cone filler, seperti diameter luar, diameter dalam, sudut kerucut (cone), serta panjang komponen sesuai desain. CNC turning memungkinkan pembentukan profil kerucut dengan tingkat akurasi tinggi dan hasil permukaan yang halus. Pada tahap ini juga dapat dilakukan pembentukan bahu (shoulder), chamfer, atau lubang sumbu jika diperlukan.

Setelah bentuk dasar cone terbentuk melalui CNC turning, komponen dilanjutkan ke proses CNC milling. Pada tahap ini, L-Closing Cone Filler dijepit menggunakan jig atau fixture khusus pada mesin CNC milling untuk menjaga ketepatan posisi terhadap sumbu. Proses milling digunakan untuk membuat fitur tambahan seperti alur (slot), lubang baut, lubang pengunci, bidang datar, atau bentuk huruf “L” yang menjadi fungsi utama mekanisme closing. CNC milling memastikan dimensi dan posisi fitur tersebut presisi serta konsisten sesuai gambar teknik. Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.10.

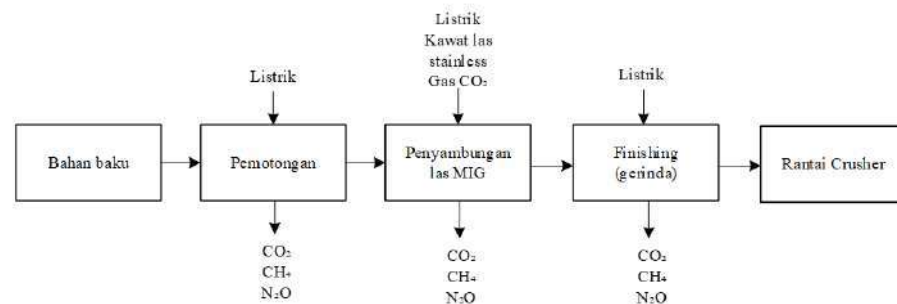


Gambar 2. 10 diagram alir proses produksi L-Closing cone filler

6. Rantai *Crusher*

Proses pembuatan rantai crusher diawali dengan persiapan material utama berupa plat baja yang kemudian dipotong sesuai ukuran masing-masing komponen rantai, seperti mata rantai dan pin penghubung.

Setelah pemotongan, komponen mata rantai dibentuk sesuai desain menggunakan mesin bubut untuk memperoleh dimensi dan lubang pin yang presisi. Lubang pada mata rantai dibuat dengan toleransi ketat agar pin dapat terpasang dengan baik dan tidak menimbulkan kelonggaran berlebih saat beroperasi. Tahap selanjutnya adalah proses perakitan rantai menggunakan pengelasan MIG. Mata rantai disusun dan dihubungkan menggunakan pin atau shaft pengunci. Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.11.



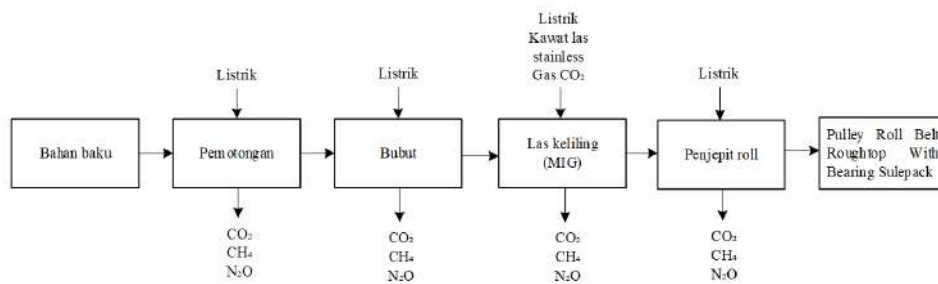
Gambar 2. 11 diagram alir proses produksi Rantai crusher

7. *Pulley Roll Belt Roughtop with Bearing Sulepack*

Proses pembuatan *pulley roll belt roughtop* dengan bearing sulepack diawali dengan persiapan material utama berupa pipa baja atau silinder baja sebagai badan pulley, poros (shaft), bearing, housing bearing tipe sulepack, serta material pelapis roughtop (karet bermotif). Seluruh material terlebih dahulu diperiksa untuk memastikan tidak terdapat cacat dan sesuai dengan spesifikasi desain, karena pulley berfungsi sebagai komponen pemutar utama pada sistem belt conveyor. Tahap berikutnya adalah proses machining badan pulley dan shaft. Badan pulley dibentuk dari pipa atau blok baja yang kemudian dipasang dan dijepit pada mesin bubut untuk dilakukan pembubutan guna mendapatkan diameter luar, diameter dalam, serta permukaan yang rata dan konsentris. Pada saat yang sama, shaft dibubut untuk membentuk diameter poros, bahu (*shoulder*), dan dudukan bearing agar sesuai dengan toleransi yang ditentukan. Proses pembubutan ini sangat penting untuk menjamin keselarasan sumbu dan kestabilan putaran pulley.

Setelah proses bubut selesai, badan pulley dan shaft dirakit. Shaft dipasang ke badan pulley melalui proses *press fitting* atau pengelasan, tergantung desain. Selama proses perakitan, digunakan jig atau alat penjepit untuk menjaga posisi shaft tetap lurus dan berada di tengah badan pulley.

Diagram alir proses produksi disajikan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 diagram alir proses produksi Pulley roll belt rough top

2.1.3 Proses Penunjang

Proses penunjang yang di maksud di dalam kegiatan di lokasi studi penelitian adalah proses pendukung yang di lakukan di lokasi studi penelitian selama 1 tahun mulai dari Listrik kantor sebagai pendukung kegiatan di dalam kantor mulai dari pemakaian lampu, AC, printer, maupun komputer, ada juga bahan bakar transportasi yang di gunakan untuk mobilitas pengiriman produk kepada pelanggan dan ada juga kegiatan pendukung lainnya yaitu sampah domestik, limbah cair (*septic tank*) dan limbah B3.

a. Listrik Kantor

Kegiatan operasional yang dilakukan di area perkantoran pada lokasi studi penelitian sebagian besar memanfaatkan energi listrik sebagai sumber energi utama. Penggunaan energi listrik tersebut meliputi pengoperasian lampu, air conditioner (AC), komputer, mesin pencetak (printer), serta peralatan elektronik lainnya yang digunakan untuk mendukung aktivitas administrasi dan operasional perusahaan. Penggunaan berbagai peralatan elektronik tersebut berkontribusi terhadap konsumsi

energi listrik yang selanjutnya menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) secara tidak langsung dari penggunaan listrik.

Peralatan elektronik yang digunakan pada area perkantoran di lokasi studi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Kegiatan Listrik Kantor

b. Transportasi

Kendaraan operasional berupa mobil box berjumlah dua unit digunakan sebagai sarana pendukung kegiatan distribusi dan mobilitas pengiriman barang pesanan kepada pelanggan. Kendaraan ini berperan penting dalam menunjang kelancaran proses logistik perusahaan, khususnya dalam pengiriman produk hasil fabrikasi dan *repair machining* ke berbagai lokasi pelanggan. Penggunaan mobil box tersebut melibatkan konsumsi bahan bakar fosil yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga aktivitas transportasi ini termasuk dalam sumber emisi tidak langsung yang perlu diperhitungkan dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca perusahaan. Moda transportasi yang terdapat di industri fabrikasi seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 moda transportasi

c. Kegiatan Sampah Domestik

Sampah domestik yang dimaksud dalam lokasi studi penelitian merupakan limbah yang dihasilkan dari kegiatan penunjang operasional industri, baik yang berasal dari aktivitas konsumsi maupun dari proses produksi. Sampah tersebut meliputi sisa makanan hasil konsumsi makan siang para pekerja, yang tergolong sebagai sampah organik, serta sampah anorganik yang dihasilkan dari aktivitas proses utama dan penunjang, seperti potongan kayu, kertas, kertas/kardus, dan plastik. Timbulan sampah domestik ini dihasilkan secara rutin seiring dengan berlangsungnya aktivitas operasional harian industri dan berpotensi berkontribusi terhadap pembentukan emisi gas rumah kaca, terutama apabila pengelolaannya belum dilakukan secara optimal. Oleh karena itu, identifikasi dan pengelompokan jenis sampah domestik menjadi penting sebagai dasar dalam perhitungan emisi serta penyusunan strategi pengelolaan dan mitigasi yang lebih efektif.

d. Limbah Cair Domestik (*septic tank*)

Kegiatan limbah cair pada lokasi studi penelitian berfokus pada pengelolaan limbah yang berasal dari septic tank, yaitu limbah domestik yang dihasilkan oleh aktivitas para pekerja berupa buangan kotoran manusia. Limbah cair ini berasal dari fasilitas sanitasi yang digunakan sehari-hari oleh tenaga kerja selama jam operasional perusahaan. Meskipun bersifat domestik, limbah dari septic tank tetap berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca, terutama gas metana (CH_4) yang terbentuk dari proses penguraian bahan organik secara anaerob. Oleh karena itu, pengelolaan limbah cair domestik melalui septic tank perlu diperhatikan dan dicatat sebagai bagian dari inventarisasi sumber emisi gas rumah kaca di lokasi studi penelitian.

e. Kegiatan Limbah B3

Inventarisasi limbah B3 melalui logbook sistematis merupakan langkah awal yang krusial dalam pengelolaan lingkungan dan perhitungan dampak emisi gas rumah kaca (GRK) pada usaha fabrikasi manufaktur. Logbook berfungsi sebagai data aktivitas primer yang mendokumentasikan

jenis limbah B3, sumber kegiatan, jumlah timbulan, waktu kegiatan, cara pengelolaan, serta alur pengolahan atau pemusnahan limbah. Data ini menjadi titik awal dalam menghitung emisi GRK karena perhitungan emisi selalu didasarkan pada data aktivitas yang valid, akurat, dan tercatat secara berkala. Tanpa pencatatan yang baik, estimasi emisi bisa menjadi tidak akurat, tidak konsisten, dan sulit dipertanggungjawabkan secara ilmiah maupun administratif. Menurut Affandi dkk. (2020), menegaskan bahwa inventarisasi limbah yang sistematis sangat berpengaruh terhadap akurasi perhitungan emisi GRK, karena inventarisasi menjadi dasar untuk input dalam model perhitungan emisi.

Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dihasilkan pada lokasi studi penelitian terutama berasal dari kegiatan pemeliharaan mesin. Jenis limbah B3 tersebut meliputi oli bekas, pelumas sisa, serta kain majun yang terkontaminasi oli dari aktivitas perawatan dan pengoperasian peralatan produksi. Salah satu contoh timbulan Limbah B3 yang ada pada industri fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Kain majun bekas

2.2 Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 mendefinisikan pencemaran udara sebagai masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam Udara Ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan, akibatnya udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Menurut Indrawati dalam Marlina dkk. (2018), pencemaran udara merupakan masalah lingkungan yang serius dan dapat memberikan ancaman terhadap kualitas udara sehingga terjadi perubahan iklim secara global dan hujan asam. Hal itu diperkuat oleh penelitian Pramudiyanto & Suedy (2020), bahwa terjadinya perubahan iklim yang ekstrem dan beberapa bencana alam seperti bencana alam puting beliung dipicu oleh pencemaran udara.

2.3 Pemanasan Global dan Efek Rumah Kaca

Pemanasan Global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan fosil dan kegiatan alih guna lahan. Kegiatan tersebut menghasilkan gas-gas yang semakin lama semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO_2) dan gas gas lainnya melalui proses yang disebut efek rumah kaca. Sedangkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*) merupakan istilah yang cukup erat kaitannya dengan pemanasan global. Disebut dengan efek rumah kaca karena adanya peningkatan suhu bumi akibat suhu panas yang terjebak di dalam atmosfer bumi. Penyebab terbentuknya efek rumah kaca yaitu karena adanya hasil pemanasan bumi yang dilepaskan ke atmosfer, hal ini di sebut Gas Rumah Kaca (GRK) (Riebeek 2010). Efek rumah kaca ini terbentuk dikarenakan oleh meningkatnya emisi gas-gas, seperti karbondioksida (CO_2), dinitrooksida (N_2O), chlorofluorocarbons (CFC), metana (CH_4), dan lain-lain, sehingga menyebabkan energi matahari yang masuk kedalam atmosfer. Prosesnya mirip seperti rumah kaca yang berfungsi untuk menjaga kehangatan suhu tanaman di dalamnya. Peningkatan suhu dalam rumah kaca terjadi karena adanya pantulan sinar matahari oleh benda benda yang ada di dalam rumah kaca yang terhalang oleh dinding kaca, sehingga udara panas tidak dapat keluar (Mulyani,2021).

Menurut Pratama (2019), Meningkatnya gas rumah kaca tersebut berkontribusi oleh hal-hal berikut:

- a. Energi, Pemanfaatan berbagai macam bahan bakar fosil atau BBM berkontribusi besar terhadap naiknya konsentrasi gas rumah kaca, terutama CO_2 dan N_2O .

- b. Kehutanan, Salah satu fungsi hutan adalah sebagai penyerap emisi gas rumah kaca. Karena hutan dapat mengubah CO₂ menjadi O₂. Sehingga pengrusakan hutan akan memberi kontribusi terhadap naiknya emisi gas rumah kaca.
- c. Peternakan dan Pertanian, Di sektor ini emisi gas rumah kaca dihasilkan dari pemanfaatan pupuk, pembusukan sisa-sisa pertanian dan pembusukan kotoran - kotoran ternak, serta pembakaran sabana. Pada sektor pertanian, gas metan (CH₄) yang paling banyak dihasilkan.
- d. Sampah, Sampah sebagai salah satu kontributor terbesar bagi terbentuknya gasmetan (CH₄), karena aktifitas manusia sehari-hari.

2.4 Jenis – Jenis Gas Rumah Kaca

Menurut Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca yang selanjutnya disebut GRK adalah gas yang terkandung dalam atmosfer baik alami maupun antropogenik, yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. dimana hal ini akan menjadikan suhu permukaan bumi 17 menjadi hangat. Akan tetapi jika gas-gas tersebut mengalami peningkatan maka akan menyebabkan suhu permukaan bumi mengalami kenaikan (Rahmadania, 2022).

Adapun gas-gas yang mampu untuk meningkatkan pemanasan global yang tergolong sebagai gas rumah kaca adalah CO₂, CH₄, N₂O, Hidrofloro Karbon (HFC), Perfloro Karbon (PFC), dan Sulfur Heksaklorida (SF₆) (Muhamad Iqbal & Ruhaeni, 2022).

2.4.1 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida, CO₂, adalah gas rumah kaca yang paling umum dan paling dikenal. Ini adalah hasil dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, serta aktivitas manusia seperti deforestasi. Akumulasi CO₂ di atmosfer meningkatkan kemampuannya untuk menjebak panas matahari di bumi, yang mengakibatkan pemanasan global dan perubahan iklim yang signifikan.

2.4.2 Metana (CH₄)

Metana merupakan gas yang terbentuk dari proses dekomposisi anaerob sampah organik yang juga sebagai salah satu penyumbang gas rumah kaca yang memiliki potensi pemanasan global 25 kali lipat bila

dibandingkan dengan gas CO₂. Total produksi tergantung kepada komposisi sampah yang secara teori bahwa setiap kilogram sampah dapat memproduksi 0,5 m³ gas metan, sumbangannya terhadap pemanasan global sebanyak 15% (Sudarman, 2010).

Metana (CH₄) adalah komponen utama gas alam yang terbentuk akibat peristiwa alami maupun akibat aktivitas manusia. Metana merupakan salah satu emisi gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya penipisan lapisan ozon. Metan yang terbentuk akibat peristiwa alami diemisikan oleh lahan basah, sumber geologi dan rayap dan akibat dari aktivitas manusia berasal dari kegiatan budidaya padi, peternakan, dan ekstraksi bahan bakar fosil (Artadi, 2013)

2.4.3 Nitrogen Oksida (N₂O)

Nitrogen oksida (N₂O) adalah gas alam yang terdiri dari dua atom nitrogen dan satu atom oksigen. Di atmosfer bumi, N₂O juga dikenal dengan sebutan “gas kacang-kacangan” karena sifatnya yang kurang reaktif dan inersia kimianya. Gas ini memiliki masa hidup yang cukup panjang di atmosfer, yaitu sekitar 114 tahun, yang berarti N₂O dapat berdiam di atmosfer untuk jangka waktu yang lama sebelum terurai.

Dinitrogen oksida memiliki konsentrasi rata-rata yang terus meningkat dari tahun 1978 hingga tahun 2010 pada angka 0,2 sampai 0,3% setiap tahunnya. Aktivitas yang mendukung naiknya konsentrasi dinitrogen oksida di atmosfer antara lain pemupukan tanah, penggunaan lahan, pembakaran biomassa, serta pembakaran bahan bakar fosil (Artadi, 2013).

2.5 Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan suatu nilai representatif yang menghubungkan antara kuantitas polutan yang dibuang ke atmosfer per satuan unit penghasil emisi. Faktor tersebut biasanya dirumuskan dengan pembagian antara berat polutan dengan unit berat, volume, jarak atau durasi aktivitas yang mengemisikan polutan. Faktor emisi seperti suatu faktor untuk memperkirakan besarnya emisi dari satu sumber polusi udara. Dalam banyak kasus, faktor ini merupakan rata – rata dari semua data yang tersedia yang menggambarkan kualitas udara dan umumnya diasumsikan sebagai

rata – rata representatif dalam jangka waktu yang lama untuk berbagai sumber kategori (Agustina, 2009).

Perhitungan beban emisi dengan menggunakan faktor emisi diperlukan 3 data masukan yaitu informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2013).

2.6 *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dalam Bahasa Indonesia yaitu Panel Antar pemerintah tentang Perubahan Iklim. IPCC adalah suatu organisasi antarpemerintah ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan seluruh dunia yang bekerja sama untuk memajukan pemahaman tentang perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) merupakan lembaga ilmiah yang dibentuk oleh Organisasi Meteorologi Dunia dan Lembaga PBB dalam program lingkungan. Perubahan iklim global membutuhkan kebijakan secara menyeluruh dengan memperhatikan aspek lingkungan dan sosial ekonomi masyarakat. Perubahan iklim yang semakin mengkhawatirkan membutuhkan organisasi yang netral yang dapat memberikan pencerahan mengenai adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Terkait dengan keputusan mengenai suatu kebijakan IPCC berada dalam posisi netral sehingga diharapkan segala hal yang diputuskan oleh IPCC dapat diterima dan diakui oleh semua negara (Risnandar, 2008).

Pada penelitian ini akan digunakan IPCC Guideline tahun 2019 Volume 2 mengenai sektor energi, dan Volume 5 mengenai sektor limbah. IPCC menyediakan beberapa faktor emisi untuk gas rumah kaca. Gas Rumah kaca yang dapat dihitung menggunakan IPCC Guideline 2016 adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Dalam IPCC telah dikelompokkan kategori kegiatan dengan sumber dan penyerap gas rumah kaca pada sektor energi, industri, dan limbah.

Berdasarkan IPCC 2019, ketelitian penghitungan tingkat emisi GRK dalam kegiatan inventarisasi dikelompokkan dalam 3 tingkat ketelitian. Tingkat ketelitian perhitungan ini dikenal sebagai “Tier”. Tingkat ketelitian perhitungan terkait

dengan data dan metoda perhitungan yang digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini:

a) Tier 1

Estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC. Pada Tier 1, estimasi tingkat emisi GRK menggunakan sebagian besar data aktivitas dan parameter default IPCC 2019.

b) Tier 2

Estimasi berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (country specific/plant specific). Pada Tier 2, estimasi tingkat emisi GRK menggunakan beberapa parameter default, tetapi membutuhkan data aktivitas dan parameter terkait (faktor emisi, karakteristik limbah, dan lain-lain) dengan kualitas yang lebih baik.

c) Tier 3

Estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (country specific/plant specific). Pada Tier 3, estimasi tingkat emisi GRK didasarkan pada data aktivitas spesifik suatu negara (lihat Tier 2) dan menggunakan salah satu metoda dengan parameter kunci yang dikembangkan secara nasional atau pengukuran yang diturunkan dari parameter parameter spesifik-suatu negara. Memiliki tingkat kesalahan lebih rendah. Penentuan Tier sangat ditentukan oleh ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau industri dalam hal penelitian. Di Indonesia, sumber emisi sektor/kegiatan utama pada inventarisasi GRK menggunakan Tier 1, yaitu berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC.

2.6.1 Sektor Energi

Sektor energi merupakan kontributor penyumbang utama dalam adanya emisi karbon di Indonesia dan di negara lain (Prakoso & Windarta, 2021). Sektor energi melibatkan berbagai sumber daya dan teknologi, mulai dari pembangkit listrik tenaga fosil seperti pembangkit listrik batu bara dan gas alam. Penyediaan energi yang bersih dan berkelanjutan adalah salah satu tujuan utama dalam mengurangi emisi karbon.

Sektor energi yang disebabkan oleh aktivitas kegiatan utama dan proses penunjang di lokasi studi penelitian dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Faktor Emisi} \times \text{Konsumsi Listrik} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

Konsumsi Listrik : Listrik yang dikonsumsi
: (kWh)

Faktor emisi : 0,774388897Kg CO₂/K Wh (Ecomatrica, 2011)

Selain dari listrik, bahan bakar kendaraan operasional yang dimiliki oleh lokasi studi penelitian untuk kegiatan pengiriman barang juga menghasilkan emisi. Cara menentukannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{FC} \times \text{EF} \times \text{NCV} \times \text{GWP} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

FC : Konsumsi bahan bakar

EF : Faktor Emisi

NCV : Nilai Net Calorific per Volume bahan bakar

GWP : *Global Warming Potential*

Tabel 2.1 merupakan nilai NCV dan Faktor Emisi dari emisi CO₂, CH₄, dan N₂O untuk bahan bakar.

Tabel 2. 1 Nilai NVC dan Faktor Emisi Bahan Bakar

Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (Kg /TJ)	Faktor Emisi CH ₄ (Kg /TJ)	Faktor Emisi N ₂ O (Kg /TJ)	NCV (Nilai Kalor)
Bensin (motor gasoline)	69300 Kg /TJ	3 Kg /TJ	0,6 Kg /TJ	33x10 ⁻⁶ TJ/Kg

Sumber: KLHK, 2012

Selain menggunakan energi listrik sebagai sumber utama pengoperasian mesin las, proses pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) juga memanfaatkan sumber energi dan material pendukung berupa tabung karbon dioksida (CO₂). Gas CO₂ berfungsi sebagai gas pelindung (*shielding gas*) yang melindungi area las dari kontaminasi udara luar selama proses pengelasan berlangsung. Penggunaan tabung CO₂ ini tidak hanya berperan

dalam menjaga kualitas hasil pengelasan, tetapi juga berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca karena CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dikategorikan sebagai emisi langsung. Oleh karena itu, dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca, penggunaan listrik diklasifikasikan sebagai emisi tidak langsung, sedangkan konsumsi tabung CO₂ pada proses pengelasan MIG dicatat sebagai sumber emisi langsung.

2.6.2 Sektor Sampah Domestik

Di Indonesia hanya 60 - 70% sampah yang masuk ke TPA, sementara sisanya 30-40% akan dibuang di sungai, dibakar atau dikelola secara mandiri oleh komunitas masyarakat (Damanhuri *et al.*, 2019). TPA adalah tempat sampah berada dalam tahap terakhir pengelolaannya yang dimulai dari sumber, pemilahan, pewadahan, pengumpulan, pengangkutan, hingga pengolahan (Prabowo dkk., 2019). Emisi gas rumah kaca dari pengelolaan sampah di TPA umumnya berupa CH₄ dan CO₂, dimana CH₄ memiliki global warming potensial 28 kali dari CO₂ (Lourero *et al.*, 2020).

Sampah yang dibuang Pihak ke – 3 di (TPA) dapat dihitung emisinya berdasarkan jumlah sampah yang dihasilkan. Emisi dari sampah yang dibuang Pihak ke – 3 di TPA juga bisa digunakan untuk menghitung emisi dari sampah yang didaur ulang. Proses daur ulang yaitu mengolah kembali sampah atau produk habis pakai menjadi produk baru yang bermanfaat. Emisi CH₄ dari sampah yang didaur ulang yaitu dihitung dengan cara pengurangan dari emisi karbon sampah yang dibuang ke Pihak ke – 3 di (TPA) dikurangi dengan emisi karbon sampah yang dapat dilakukan daur ulang menggunakan rumus persamaan 2.3 sampai persamaan 2.7 :

$$DDOC_m = W \times MCF \times DOC \times DOC_f \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\text{Jumlah CH}_4 \text{ (Lo)} = DDOC_m \times 16/12 \times F \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{Total Emisi CH}_4 = (\text{Jumlah Metana} - R) \times (1 - OX) \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Total Emisi CH}_4 \times ((1-F)/F+OX) \times MR \text{ CO}_2 / MR \text{ CH}_4 \dots \dots (2.6)$$

$$\text{Total Emisi} = (\text{Total Emisi CH}_4 + \text{Emisi CO}_2) \times 365 \text{ hari} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

MCF : Faktor koreksi metana 0,8

DOC : Degradasi Organic Carbon, nilai default IPCC

DDOCm : Massa decomposable DOC

DOCF : Nilai default DOCF untuk Indonesia adalah 0,5

F : Nilai default 0,5 untuk fraksi gas metana di TPA

R : 0, Indonesia belum memiliki alat pengolahan CH₄

OX : Nilai default 0,1 faktor oksidasi

16/12 : Rasio berat molekul CH₄/CO₂

GWP : 28

Berikut merupakan Angka Default DOC dari masing-masing komponen sampah dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 DOC (Degradasi Organic Carbon)

Komposisi Sampah	Kandungan bahan kering (% berat basah)	DOC dalam Berat Basah (%)		DOC dalam Berat Kering (%)	
	Default	Default	Rentang	Default	Rentang
Kertas/Kardus	90	40	36 – 45	44	20 – 50
Tekstil	80	24	20 – 40	30	25 - 55
Sampah Makanan	40	15	8 – 20	38	20 – 50
Kayu	85	43	39 – 46	50	46 – 54
Sampah kebun	40	20	18 – 22	49	45 – 55
Diapers	40	24	18 – 32	60	44 – 80
Kulit dan karet	84	39	39	47	47
Plastik	100	-	-	-	-
Logam	100	-	-	-	-
Gelas	100	-	-	-	-
Lain-lain, sampah sulit terurai	90	-	-	-	-

Sumber: *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2019

2.6.3 Sektor Limbah Cair (Septic tank)

Aktivitas kegiatan domestik masyarakat kota yang padat, akan menghasilkan produk samping berupa polutan yang dapat merusak lingkungan, salah satunya adalah gas buang berupa gas rumah kaca. Gas rumah kaca ini dapat menyebabkan efek rumah kaca yang akan berakibat kepada perubahan iklim dan pemanasan global (Kristanto, 2019). Bidang limbah menyumbang sekitar 10% atau sebesar 120.191 GgCO₂e/tahun untuk total emisi GRK Indonesia pada tahun 2017 (KLHK, 2018). Termasuk didalamnya adalah emisi GRK dari bidang air limbah domestik. Pengelolaan limbah secara terpadu dan berkesinambungan dilakukan sesuai dengan Peraturan Presiden No.61 Tahun 2011 Tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (Priadie dan Pirngadi, 2014).

Perhitungan emisi gas CH₄ dari aktivitas domestik dengan menggunakan dua perhitungan. Pertama menggunakan perhitungan berdasarkan populasi penduduk dan populasi ekivalen. Selanjutnya digunakan perhitungan berdasarkan IPCC.

Emisi yang dihasilkan dari *septic tank* pada penelitian ini digunakan untuk menghitung nilai emisi CH₄ yang akan di konversi ke CO₂ menggunakan persamaan berikut:

$$\text{BOD harian} = \text{Kadar BOD} \times \text{Debit air limbah domestik} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Total beban BOD} = P \times \text{BOD harian} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Emisi CH}_4 = \text{BOD} \times B_0 \times \text{MCF} \dots\dots\dots(2.10)$$

Kemudian konversi CH₄ ke CO₂ menggunakan rumus berikut:

$$\text{CO}_2\text{-eq} = \text{Emisi CH}_4 \times \text{GWP} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

P : Jumlah Orang

B₀ : Kapasitas produksi CH₄ maks. (kg CH₄/kg BOD. Default kapasitas produksi CH₄ maksimum 0.6 kg (kg CH₄/kg BOD)

Kadar BOD : Konsentrasi kadar BOD pada *septic tank*

Debit air limbah domestik = 150 L/orang/hari (IPCC, 2019)

MCF_j : Faktor koreksi CH₄ (dapat dilihat pada Tabel 2.3.)

Tabel 2. 3 Nilai MCF

Tipe Pengolahan dan Jalur Sitem Pembuangan	Penjelasan	MCF	Range	EF (kg CH ₄ /kg BOD)	EF (kg CH ₄ /kg COD)
Sistem pengolahan air limbah					
Reaktor Anaerobik	Pemulihan CH ₄ tidak dipertimbangkan disini	0,8	0,8 - 1,0	0,48	0,2
Septic Tank	Tangki septik mengeluarkan CH ₄	0,5	0,4 - 0,72	0,3	0,125
Septic Tank+bidang sebaran tanah	Tangki septik mengeluarkan CH ₄ ; emisi yang dapat diabaikan berasal dari bidang sebaran tanah	0,5	0,4 - 0,72	0,3	0,125

Sumber: IPCC,2019

2.6.4 Sektor Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Perhitungan emisi GRK dan limbah B3 ditentukan dari karakteristik limbah B3 yang diolah. Limbah B3 yang dihasilkan perusahaan terdiri dari majun bekas dan minyak pelumas bekas. Perhitungan emisi GRK dari limbah B3 ditentukan dari pengolahan proses Insenerasi.

Nilai Fraksi karbon dalam *dry matter* dan Nilai Fraksi karbon fosil disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Nilai fraksi karbon

Jenis Limbah	Fraksi <i>dry matter</i>	Fraksi karbon fosil
Limbah B3 Padat	0,50	0,90
Limbah B3 Cair		1,00

Sumber: IPCC 2019

Berdasarkan Tabel 2.5 diketahui nilai fraksi *dry matter* dan nilai fraksi karbon fosil tiap jenis limbah berbeda. Kemudian dapat kita hitung dengan persamaan berikut :

Perhitungan Emisi CO₂ Tier 1 (LB3 Padat)

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44/12) \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

CO₂ : emisi CO₂ yang dihasilkan tiap tahun (Ton)

SW_i : total berat (basah) limbah padat yang dibakar (Ton)

dm_i : fraksi *dry matter* di dalam limbah (basis berat basah)

CF_i : fraksi karbon di dalam dry matter (kandungan karbon total)

FCF_i : fraksi karbon fosil di dalam karbon total

OF_i : faktor oksidasi (fraksi)

44/12 : faktor konversi C menjadi CO₂

Perhitungan Emisi CH₄ Tier 1 (LB3 Padat)

$$\text{Emisi CH}_4 = \sum_i (IW_i \times EF_i) \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

CH₄ : emisi CH₄ yang dihasilkan tiap tahun (kg)

IW_i : total berat (basah) limbah padat yang dibakar (kg)

EF_i : faktor emisi CH₄ (kg CH₄/kg limbah)

10⁻⁶ : Konversi Massa (Gigagram)

Perhitungan Emisi N₂O Tier 1 (LB3 Padat)

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

N₂O : emisi N₂O yang dihasilkan tiap tahun (kg)

IW_i : total berat (basah) limbah padat yang dibakar (kg)

EF_i : faktor emisi CH₄, kgCH₄/ kg limbah

10⁻⁶ : Konversi Massa (Gigagram)

Perhitungan Emisi CO₂ dengan Tier 1 (untuk LB3 Cair)

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum_i (AL_i \times CL_i \times OF_i) \times (44/12) \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

CO₂ : emisi CO₂ dari limbah B3 cair yang dihasilkan tiap tahun (kg)

AL_i : massa limbah B3 cair yang diolah dengan insinerasi (kg)

CL_i : fraksi karbon fosil limbah B3 cair (fraksi)

OF_i : faktor oksidasi (fraksi)

44/12 : faktor konversi dari C menjadi CO₂

2.7 Strategi Mitigasi Gas Rumah Kaca

Mitigasi GRK merupakan bentuk intervensi manusia yang bertujuan untuk menurunkan emisi atau meningkatkan kemampuan untuk menyerap dan mengkonversi GRK. Selain bermanfaat dalam aspek lingkungan, mitigasi GRK biasanya memiliki dampak positif bagi aspek sosial dan ekonomi (Wahyudi, 2016).

Menurut Simpson *et al*, (2008), terdapat 4 strategi utama penerapan mitigasi emisi GRK:

1. Eliminasi, menghindari aktivitas dan penggunaan alat-alat yang dapat menghasilkan emisi GRK, contohnya mematikan lampu saat tidak digunakan. Hambatan dari strategi ini adalah pada kesadaran masyarakat tentang perilaku hemat energi. Studi di London, Inggris menunjukkan konsumsi listrik pada sampel rumah tangga mengalami penurunan drastis ketika mereka mengetahui bahwa konsumsi listrik di rumah mereka dipantau dan menjadi sampel penelitian perilaku hemat energi oleh pemerintah (Levermore, 1985).
2. Pengurangan, dilakukan dengan melakukan efisiensi energi pada setiap aktivitas, contohnya pemilihan peralatan elektronik yang lebih hemat listrik. Studi di Cina menunjukkan bahwa apabila setiap kulkas yang telah habis pakai diganti dengan kulkas hemat energi maka akan tercapai penghematan energi sebesar 20% dalam 15 tahun ke depan. Namun hambatannya adalah produk hemat energi bukanlah menjadi alasan utama bagi konsumen di Cina saat membeli produk elektronik. Konsumen lebih mempertimbangkan faktor merek terkenal dan harga sebagai alasan pertama dan kedua saat membeli produk elektronik (Ma *et al.*, 2011).
3. Substitusi, yaitu strategi untuk mengganti teknologi atau merubah perilaku yang menyebabkan munculnya emisi GRK yang besar dengan teknologi atau merubah perilaku yang rendah emisi. Contohnya penggunaan biogas untuk menggantikan energi fosil atau energi dari biomasa. Peralihan penggunaan kayu bakar, arang, minyak tanah dan LPG ke penggunaan biogas di Tanzania mampu mencegah terjadinya emisi GRK sebesar 5.825 kg CO₂- eq/tahun/keluarga (Laramée & Davis, 2013).

2.8 Energi Terbarukan sebagai Strategi Mitigasi Perubahan Iklim

Sumber daya alam adalah semua komponen alam yang meliputi unsur hayati dan fisik yang digunakan dalam pemenuhan kebutuhan hidup manusia sehingga bisa menyejahterakan kehidupan manusia (Amalia et al., 2021). Menurut Undang-undang No. 4 Tahun 1982 Pasal (5), sumber daya alam merupakan unsur lingkungan hidup yang terdiri dari sumber daya manusia, sumber daya hayati, sumber daya non-hayati serta sumber daya buatan. Sumber daya alam energi merupakan sumber daya alam yang dimanfaatkan energinya, misal batu bara, minyak bumi, gas bumi, air terjun, sinar matahari, kincir angin, dan sebagainya. Energi ialah kemampuan untuk melakukan kerja. Pada dasarnya terdapat dua pengelompokan jenis-jenis energi, yaitu berdasarkan ketersediaannya dan berdasarkan asalnya.

Energi primer ialah energi yang langsung berasal dari alam apa adanya sesuai wujud aslinya (Adellea, 2022). Contoh energi primer adalah matahari, air, nuklir, minyak, batu bara, kayu dan angin (Hadimuljono Rahardjo, 2019). Energi primer dapat dikonversi menjadi energi sekunder untuk memberikan manfaat lebih banyak dalam kehidupan manusia, misalnya energi listrik. Indonesia merupakan konsumen energi terbesar di kawasan Asia Tenggara yang menempati urutan kelima di Asia Pasifik dalam konsumsi energi primer (Afriyanti et al., 2018). Sumber daya alam sekunder merupakan konversi dari sumber daya alam primer (S. Sayuti, 2017). Tujuan dari pengubahan ini untuk memberikan nilai manfaat yang lebih besar dari hasil pemrosesan menjadi energi baru (Soeparman, 2015). Jenis energi sekunder yang paling banyak diubah dari berbagai jenis energi primer adalah energi Listrik (Ensiklopedia Dunia, 2023).

Energi terbarukan merupakan energi yang ketersediaannya melimpah di alam dan dapat diperbarui serta dimanfaatkan secara berkelanjutan, sedangkan energi tak terbarukan adalah sumber daya energi yang diambil dari alam yang proses pembentukannya memerlukan waktu selang berjuta-juta tahun. Penggunaan energi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh penggunaan energi tak terbarukan yang berasal dari fosil, seperti minyak bumi dan batu bara (Azhar dkk., 2018). Batu bara merupakan batuan sedimen yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang mengalami panas dan tekanan geologis

selama berjuta-juta dengan kandungan utama batu bara adalah karbon (Rahma *et al.*, 2022). Batubara memberi dampak negatif terhadap lingkungan, dimana pertambangan dapat merusak air tanah dan permukaan, sementara pembakaran Batubara menghasilkan CO₂ yang merupakan gas rumah kaca utama yang menyebabkan pemanasan global, serta berdampak juga pada kondisi sosial ekonomi masyarakat disekitar kawasan pertambangan (Apriyanto & Harini, 2021).

Saat ini, energi sekunder yang paling dibutuhkan masyarakat Indonesia adalah energi listrik. Pada peman Energi alternatif baru terbarukan merupakan energi pengganti yang sifatnya dapat dimanfaatkan secara terus menerus yang tersedia di alam. Penggunaan energi alternatif baru terbarukan ini telah diatur oleh pemerintah melalui Perpres No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional tahun 2006-2025 yang menjelaskan bahwa dalam pasokan energi harus dipenuhi 17% energi terbarukan. Bentuk energi baru dan terbarukan (EBT) yang tersedia di Indonesia diantaranya panas bumi, air, biomassa, dan energi surya. gkit listrik berbahan batu bara, terdapat kelemahan yang akan dihasilkan, yaitu getaran mesin dan radiasi karena suara bising dari pendingin, dan polusi udara (Prakoso *et al.*, 2016). Oleh karena itu, energi tak terbarukan perlu dikurangi penggunaannya dan diusahakan untuk diganti dengan energi baru terbarukan.

2.9 Vegetasi dan Daya serap pohon terhadap ruang terbuka hijau (RTH)

Vegetasi merupakan kumpulan dari beberapa tumbuhan yang hidup pada kawasan tertentu, dalam hal ini vegetasi bisa berupa pohon, semak, rerumputan, atau tanaman lainnya. Peran vegetasi sebagai penyerap gas- gas polutan pencemar udara dan menjaga kualitas udara disekitarnya baik. Sesuai dengan jenis kegiatan yang ada, vegetasi melakukan berbagai tugas dan fungsi di setiap area Ruang Terbuka Hijau. Adanya vegetasi harus sesuai dengan letak dan fungsinya (Naufal dkk., 2023). Daya serap tumbuhan terhadap polutan di ruang terbuka hijau diperoleh dari perhitungan menggunakan pendekatan jumlah dan masing- masing jenis pohon yang ada di kawasan tersebut. Daya serap dari masing- masing jenis pohon dikalikan dengan jumlah pohon tiap jenis dalam satuan kilogram per tahun (Kg/tahun) (Suryaningsih dkk., 2015).

Ruang terbuka hijau merupakan upaya pembangunan lingkungan yang bertujuan menjaga keseimbangan pada lingkungan di suatu daerah utamanya di perkotaan yang memiliki populasi padat penduduk. Ruang terbuka hijau bisa dikatakan sebagai kerangka struktur dalam pembentukan suatu perkotaan (Maulina & Suheri, 2020). Fungsi dari adanya ruang terbuka hijau yakni sebagai penjaga keseimbangan bangunan perkotaan, selain itu sebagai bentuk mitigasi terhadap adanya perubahan iklim dalam produksi oksigen serta untuk ruang estetik sebagai perantara kenyamanan bagi aktivitas manusia (Pratama & Susetyaningsih, 2021).

Sumber lain menyatakan bahwasanya kemampuan dari masing-masing jenis vegetasi dalam satuan kilogram per tahun (Kg/tahun) dapat dihitung melalui pendekatan daya serap pohon terhadap polutan dalam satuan kilogram per hekta per tahun (Kg/ha/hari) (Laksono & Damayanti, 2014). Kemampuan penyerapan karbon dioksida (CO₂) berbeda pada setiap jenis tanaman. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik dan luas tajuk masing-masing tanaman sehingga memengaruhi besarnya daya serap terhadap emisi CO₂. Data beberapa jenis tanaman beserta kemampuan penyerapannya disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Tanaman yang memiliki daya serap

No	Jenis Tumbuhan	Nama Ilmiah	Daya serap CO ₂ (kg/pohon/tahun)
1	Mengkudu ¹	<i>Morinda citrifolia</i>	13,48
2	Flamingo ¹	<i>Anthurium andraeanum</i>	0,10
3	Binahong ¹	<i>Anredera cordifolia</i>	4,65
4	Ketapang kencana ¹	<i>Terminalia mantaly</i>	23,48
5	Mangga ¹	<i>Mangifera indica</i>	455,17
6	Lidah buaya ¹	<i>Aloe barbandesis</i>	0,78
7	Daun Kupu-kupu ¹	<i>Bauhinia purpurea</i>	1.331,38
8	Palem Kuning ¹	<i>Dypsis lutescens</i>	0,39
9	Palem Ekor Tupai ¹	<i>Wodyetia bifurcata</i>	0,39
10	Bambu Cina ²	<i>Bambusa multiplex</i>	0,39
11	Belimbing buah ²	<i>Averrhoa carambola</i>	6,33
12	Bougenvil ²	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	0,25
13	Bambu grasena ²	<i>Dracaena</i>	0,39
14	Melati ²	<i>Jasminum</i>	24,75

No	Jenis Tumbuhan	Nama Ilmiah	Daya serap CO2 (kg/pohon/tahun)
15	Kelengkeng ²	<i>Dimocarpus longan</i>	0,40
16	Ekor tupai ²	<i>Asparagus densiflorus</i>	12,77
17	Kamboja ³	<i>Plumeria</i>	44
18	Jeruk ³	<i>Citrus</i>	0,87
19	Pakis ³	<i>Cycas</i>	-
20	Kaktus ³	<i>Ferocactus pilosus</i>	17,76
21	Cabai ³	<i>Capsium frutescens</i>	0,18
22	Rumput gajah ³	<i>Pennisetum purpureum</i>	61,95
23	Sawo Manila ⁴	<i>Manilkara zapota</i>	96,9
24	Ketapang ⁴	<i>Terminalia catappa</i>	105,87
25	Trembes ⁴	<i>Samanea saman</i>	28.488,39
26	Kersen/Ceri ⁴	<i>Muntingia calabura</i>	136,70
27	Jambu biji ⁴	<i>Psidium guajava L.</i>	12865,56
28	Ceremai ⁴	<i>Phyllanthus acidus (L.) Skeells</i>	8040,98
29	Bintaro ⁴	<i>Cerbera manghas</i>	289.475,29
30	Pandan Kipas ⁴	<i>Pandanus amaryllifolius</i>	6432,78

Sumber: ¹(Suryaningsih dkk, 2015), ²(Laksono & Damayanti, 2014),
³(Roshintha & Mangkoedihardjo, 2016), ⁴(Milantara & Gustin, 2023)

Evaluasi terhadap ruang terbuka hijau bisa dilakukan dengan menghitung sisa emisi, Tabel 2.6 menjelaskan daya serap masing-masing jenis pohon terhadap emisi CO2. Jenis pohon yang tidak terdapat pada Tabel 2.5 daya serap terhadap CO2 bisa dihitung dengan rumus berikut (Ambarsari dkk., 2007)

$$\sum DS = \sum \text{Jenis pohon} \times DS_{\text{Pohon}} \times L \text{ tajuk} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

DS_{pohon} : Kemampuan laju serap pohon

Tabel 2. 6 Daya Serap CO2

No	Tipe Penutupan	Daya Serap CO2 (kg/ha/jam)
1	Pohon	129,92
2	Semak Belukar	12,56
3	Padang Rumput	2,74

Sumber: (Dyah Prinajati, 2019)

2.10 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu ini digunakan sebagai bahan perbandingan dan acuan. Teori yang telah dikaji juga dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang muncul pada saat pelaksanaan penelitian. Sehingga dalam dasar teori ini peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu dan dapat dilihat dan dijabarkan pada tabel 2.7.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Lingkup Penelitian	Emisi	Mitigasi	Sumber Referensi
1.	Emisi sektor transportasi, industri, dan rumah tangga di Kota Ungaran.	Proyeksi emisi sektor energi tahun 2030 mencapai 156,46 Gg CO ₂ e, dengan kebutuhan reduksi sebesar 17,21 Gg CO ₂ e.	Strategi pembangunan mampu mereduksi emisi sebesar 12,35 Gg CO ₂ e dan direkomendasikan penambahan program substitusi bahan bakar transportasi.	Carolina, T. R., & Dewi. (2021).
2.	Inventarisasi emisi GRK dan polutan pada unit produksi pupuk PT Petrokimia Gresik.	Emisi sektor energi sebesar 172,18 ton CO ₂ /tahun, $8,4 \times 10^{-6}$ ton CH ₄ /tahun, serta emisi SO ₂ , NO _x , dan CO. Emisi sektor limbah sebesar $3,95 \times 10^{-5}$ ton CH ₄ /tahun, sedangkan sektor industri menghasilkan 0,167 ton CO ₂ /tahun beserta emisi polutan lainnya.	-	Aulia, D., Azmi, & Sarjono. (2017).
3.	Emisi GRK pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Piyungan, Bantul.	Emisi CH ₄ dan CO ₂ meningkat sekitar 39,465% selama periode 2012–2016, dengan rata-rata faktor emisi sebesar 5,874 ton CH ₄ /jiwa dan 17,768 ton CO ₂ e/jiwa.	Mitigasi yang direkomendasikan meliputi penerapan 3R, optimalisasi pengomposan, peningkatan pengoperasian TPA, serta pemanfaatan gas metana yang terkumpul.	Damayanti, I. P. (2023).
4.	Kajian reduksi emisi CO ₂ transportasi jalan melalui penataan ruang hijau di Surabaya.	Emisi CO ₂ pada Jalan Kapasan sebesar 508.408,38 g/jam, Jalan Kembang Jepun 412.355,92 g/jam, dan Jalan Rajawali 373.762,71 g/jam.	Penataan ruang hijau dan vegetasi mampu mereduksi emisi CO ₂ pada koridor jalan.	Aziz, G. A. (2018). Arahan Penataan Ruang Hijau pada Koridor Jalan Kapasan hingga Jalan Rajawali

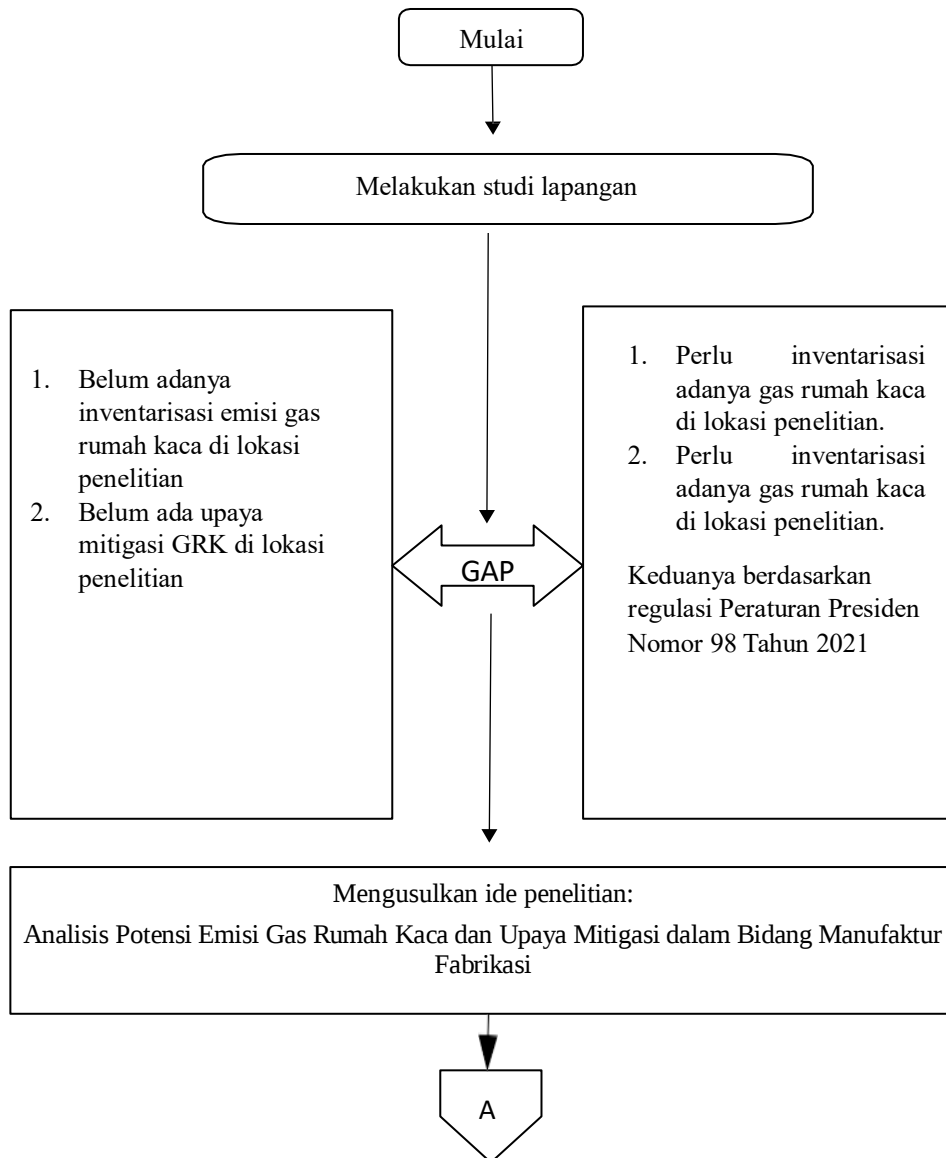
No	Lingkup Penelitian	Emisi	Mitigasi	Sumber Referensi
				untuk Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (CO ₂) dari Kegiatan On-Road Transportation.
5.	Emisi sektor domestik rumah tangga di Kota Tegal.	Skenario BAU menunjukkan emisi tahun 2031 sebesar 257,6 Gg CO ₂ e.	Strategi prioritas berupa substitusi LPG dengan kompor listrik, pembangunan MCK komunal, dan pembangunan IPAL komunal.	Novanto, K. D. (2023).
6.	Emisi GRK sektor transportasi, persampahan, dan domestik di Kota Pekalongan.	Proyeksi emisi tahun 2032 sebesar 455,084 Gg CO ₂ e (transportasi), 27,88 Gg CO ₂ e (persampahan), dan 27,97 Gg CO ₂ e (domestik).	Strategi mitigasi meliputi optimalisasi RTH, peningkatan layanan persampahan dan TPS3R, pemanfaatan biogas sampah organik, serta pengembangan biogas ternak.	Durrotunnisa, I. M., Amani, I. H., & Febriana, T. F. (2023).
7.	Kegiatan operasional migas di PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore (WMO), Gresik.	Beban emisi GRK pada sektor energi sebesar 28,7674 ton CO ₂ e selama 5 tahun dan sektor limbah sebesar 0,3931 ton CO ₂ e selama 5 tahun. Selain itu, dihasilkan emisi polutan udara sebesar 0,00007 ton SO _x dan 0,0381 ton NO _x selama 5 tahun.	Alternatif mitigasi yang diusulkan adalah pembangunan Ruang Terbuka Hijau (RTH) seluas 616,3 m ² (0,061 ha) yang ditanami pohon trembesi, mahoni, dan kiara payung sebagai penyerap emisi CO ₂ .	Rahmawati, I. (2017).

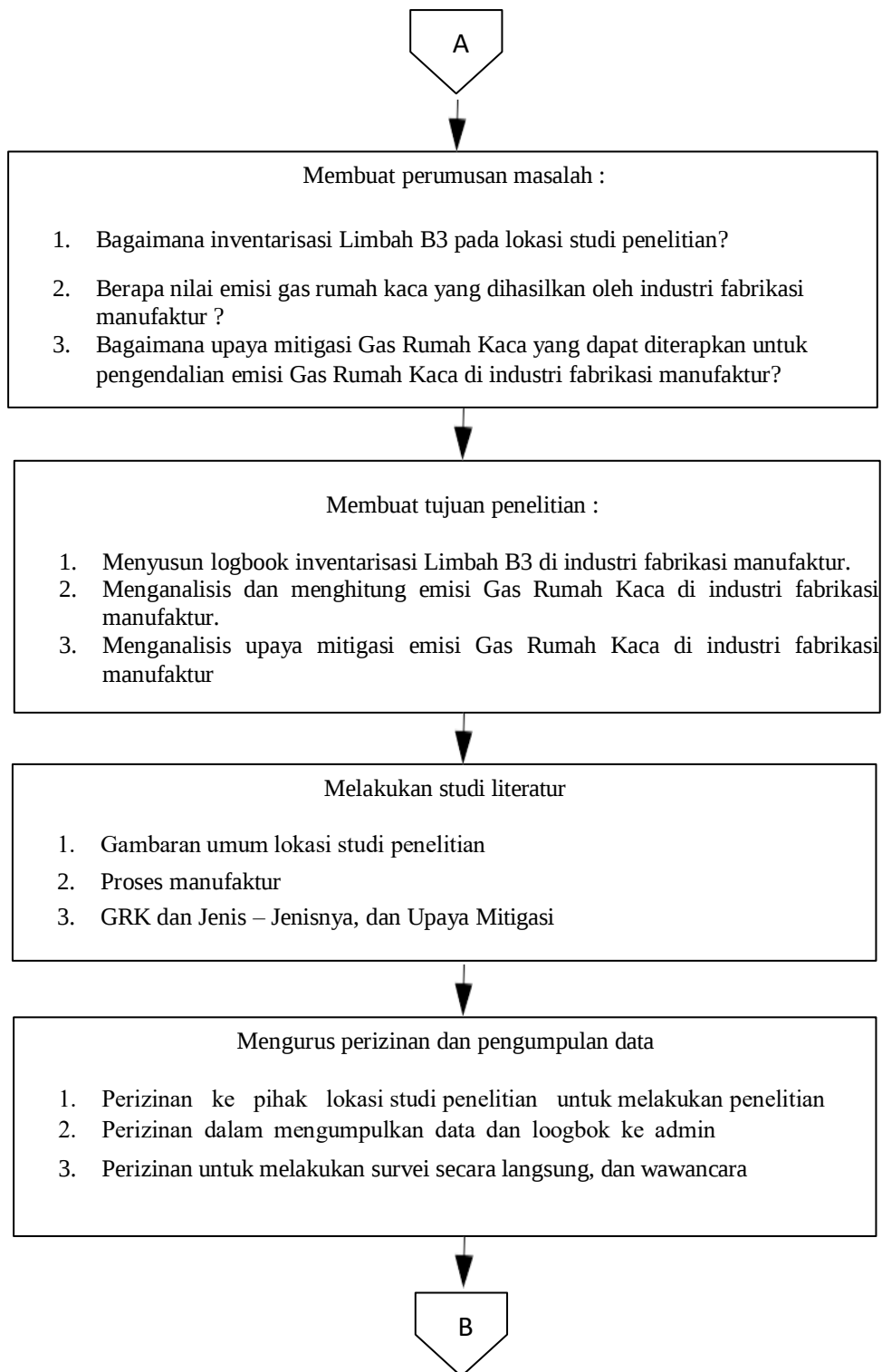
BAB III

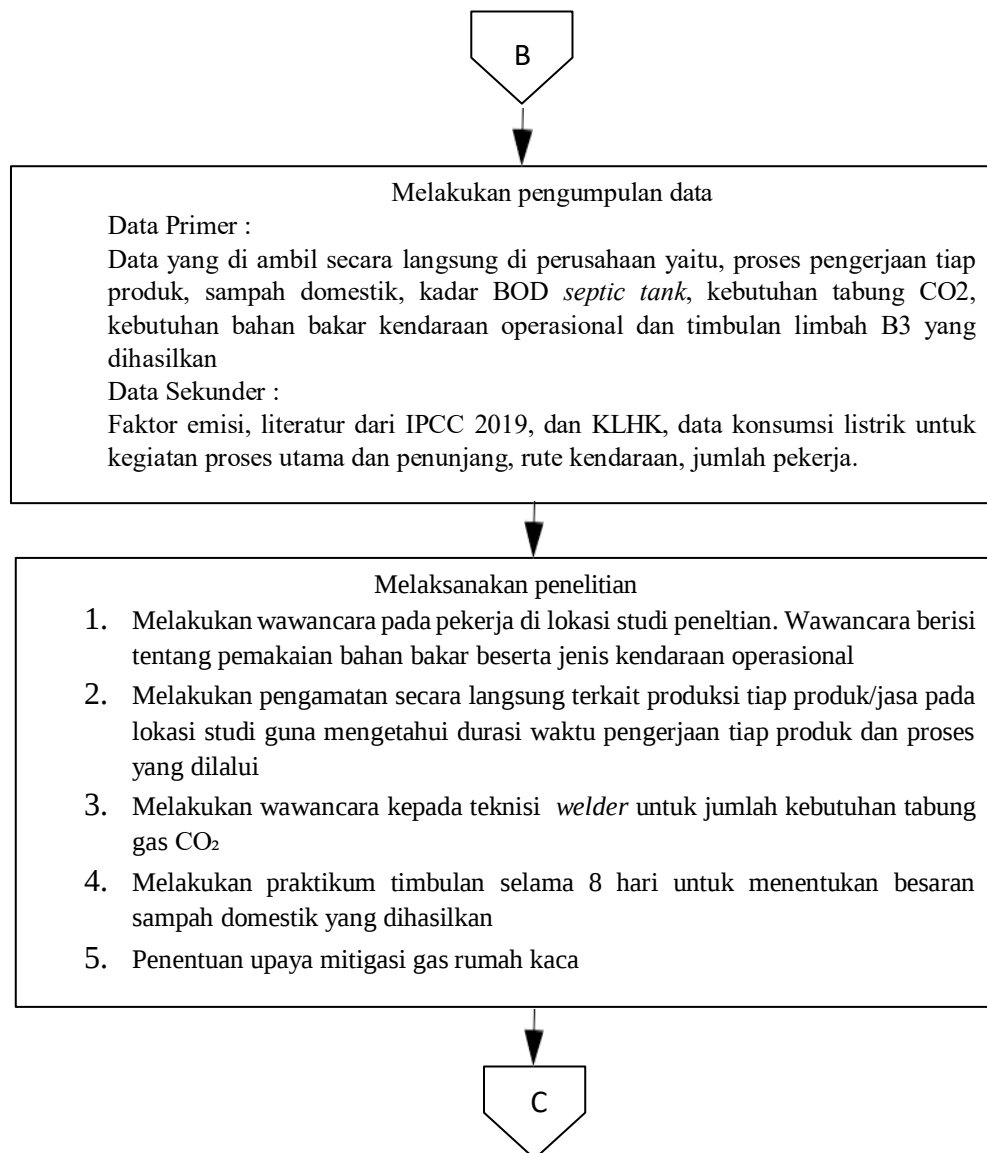
METODOLOGI PENELITIAN

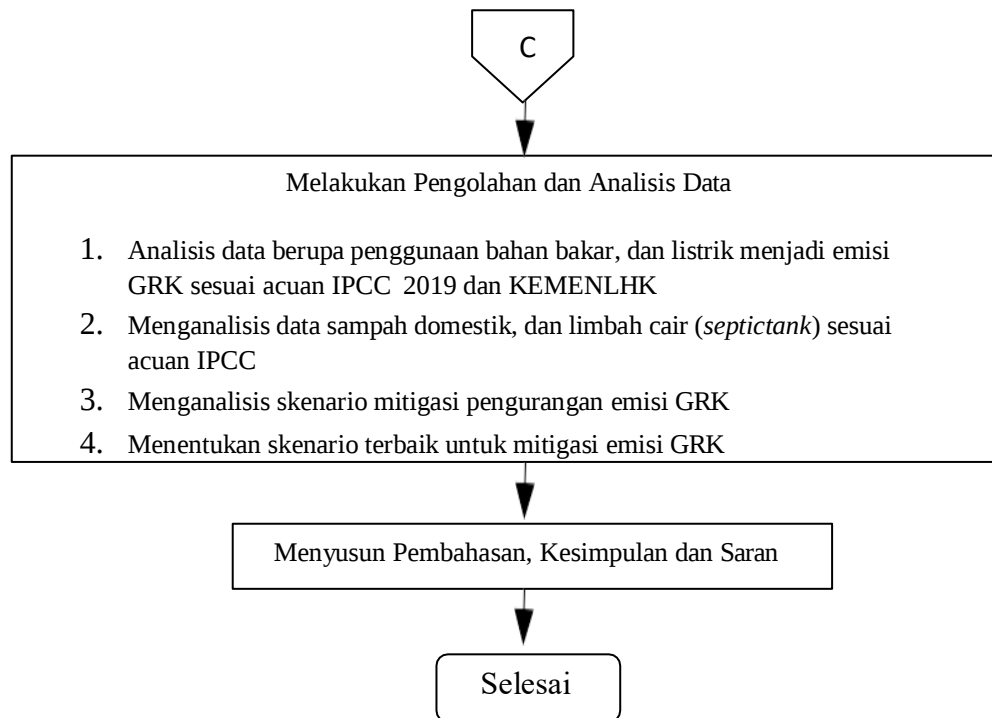
3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berisikan tahapan-tahapan yang dilakukan saat menjalankan suatu penelitian. Untuk memberikan gambaran yang sistematis mengenai tahapan pelaksanaan penelitian, disusun diagram alir penelitian yang menunjukkan urutan kegiatan mulai dari tahap persiapan, pengumpulan data, analisis data, hingga penyusunan kesimpulan. Diagram alir penelitian tersebut disajikan pada Gambar 3.1.









Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2 Melakukan Studi Lapangan

Studi lapangan pada penelitian ini dilakukan di. Pada tahap ini dilakukan dengan wawancara, dan survey pengamatan langsung yang dilakukan di lokasi penelitian dengan tujuan mengetahui kondisi nyata dari suatu objek yang akan diteliti. Studi lapangan yang dibutuhkan adalah gambaran mengenai semua proses utama dan penunjang serta penentuan upaya mitigasi emisi Gas Rumah Kaca. Adapun tabel yang digunakan dalam pengamatan secara langsung proses produksi tiap produk/layanan jasa sebagai berikut ;

Tabel 3. 1 Hasil pengamatan

No.	Nama Produk		Proses/mesin yang digunakan	Durasi (menit)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

3.3 Melakukan Perumusan Masalah dan Tujuan

Tahap ini melakukan perumusan masalah dan tujuan penelitian yang didapat dari studi lapangan. Permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini antara lain

menghitung dan menganalisis nilai emisi karbon yang dihasilkan dari proses utama dan penunjang serta merekomendasikan bentuk pengendalian untuk meminimasi adanya emisi karbon.

3.4 Mengusulkan ide Penelitian

Lokasi studi penelitian merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang fabrikasi dan *repair machining* dalam pembuatan spare part mesin industri, meliputi pembuatan unit conveyor, roda gigi dan sproket *custom, mechanical seal*, angkur baja, serta roda *polyurethane* (PU). Dalam proses utama dan penunjang mengakibatkan terjadinya peningkatan emisi karbon. Konsentrasi emisi karbon yang melebihi standar baku mutu dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi manusia, hewan, serta dapat mengurangi produktivitas tumbuhan. Dalam pengupayaan penanggulangan dampak emisi yang kian meningkat setiap tahunnya pemerintah menerapkan penghijauan untuk mereduksi emisi karbon yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Minimnya informasi mengenai emisi karbon penelitian ini membantu untuk memberikan informasi mengenai emisi karbon serta memberikan rekomendasi untuk mengurangi besarnya emisi karbon.

3.5 Melakukan Studi Literatur

Studi literatur merupakan rujukan yang bersumber dari jurnal, peraturan perundang – undangan, text book dan lain – lain. digunakan sebagai tinjauan pustaka dan pedoman dasar penelitian dalam mendukung jalanya penelitian. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh tinjauan pustaka yang jelas dan kuat sehingga dapat membantu analisis data dan pembahasan. Pelaksanaan studi literatur yaitu dengan cara mengumpulkan data atau informasi yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini yang berbentuk pustaka. Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Gambaran Umum,
2. Kegiatan dari Proses Utama dan Penunjang
3. Pencemaran Udara
4. Pemanasan Global dan Efek Rumah Kaca
5. Jenis – Jenis GRK
6. Karbon Dioksida (CO₂)
7. Metana (CH₄)

8. Dinitrogen Oksida (N₂O)
9. IPCC
10. Vegetasi dan Daya Serap Pohon
11. Penelitian Terdahulu

3.6 Mengurus Perizinan dan Permohonan data

Perizinan penelitian dan permohonan data dilakukan untuk mendapatkan izin melakukan pengukuran dalam pengambilan sampel seperti logbook pemakaian listrik dan bahan bakar mulai dari sarana dan pra-sarana, dan limbah cair. Surat izin penelitian dibuat atas nama Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) yang ditujukan kepada industri tersebut. Setelah mendapat izin penelitian dari pihak perusahaan maka segera bisa melaksanakan pengambilan sampel.

3.7 Pengumpulan Data

Pengambilan data bertujuan sebagai bahan utama untuk melaksanakan analisa analisa yang akan dilakukan saat berjalannya penelitian. Terdapat 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang di dapat di perusahaan secara langsung dengan melakukan pengukuran-pengukuran di lapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang di dapat dari sumber atau literatur lain dan wawancara terhadap pihak yang mempunyai lisensi yang dapat menunjang penelitian yang akan di lakukan. Data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah:

1. Data Primer
 - a. Proses tahapan tiap produk dan durasi pengerjaan tiap produk
 - b. Jumlah produksi Januari – Maret 2026
 - c. Jenis dan jumlah kendaraan yang digunakan dalam kegiatan operasional yang ada di lokas studi penelitian
 - d. Data jarak tempuh dan kebutuhan bahan bakar kendaraan yang digunakan untuk menghitung jumlah emisi GRK pada sektor transportasi
 - e. Jumlah dan komposisi sampah domestik yang diserahkan ke pihak ke – 3
 - f. Kadar BOD *septic tank*
 - g. Jumlah timbulan Limbah B3 yang dihasilkan
 - h. kebutuhan tabung gas CO₂

2. Data Sekunder

- a. Jumlah produksi April - Desember 2025
- b. Data supplier
- c. Data rute perjalanan kendaraan pada bulan Januari 2026
- d. Nilai daya listrik setiap mesin dan alat elektronik
- e. Jumlah karyawan dan penghasilan untuk menghitung jumlah emisi GRK pada sektor limbah cair (*septic tank*)
- f. Faktor emisi yang digunakan dalam inventarisasi emisi GRK

3.8 Melaksanakan Penelitian

Pada tahap ini melakukan wawancara untuk mendapatkan data yang diinginkan yang berisi tentang pertanyaan-pertanyaan yang mengarah pada data yang diinginkan. Wawancara ini diisi oleh pekerja yaitu admin yang ada di Lokasi studi penelitian selaku penanggung jawab data Perusahaan dan teknisi yang ada di lokasi studi penelitian, selain itu survey secara langsung juga melakukan sampling timbunan sampah domestik dan Limbah B3 serta tentang upaya penentuan mitigasi emisi GRK juga dilakukan pada tahap ini untuk merekomendasikan mitigasi Emisi GRK yang akan di pilih.

3.9 Melakukan Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui emisi CO₂, CH₄, N₂O dari aktivitas di lokasi studi penelitian. Tahap pengolahan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca sebagai persamaan (2.1 – 2.16)

3.10 Menyusun Pembahasan, Kesimpulan dan Saran

Menyusun pembahasan, kesimpulan, dan saran merupakan langkah terakhir dalam penelitian ini. Pada tahap ini menjelaskan hasil yang diperoleh selama penelitian berlangsung dan memberikan semua informasi yang sudah didapatkan, kemudian setelah pembahasan dijelaskan dapat mengambil langkah selanjutnya yaitu memberikan kesimpulan dan saran, kesimpulan mengandung inti dari semua pembahasan sedangkan saran merupakan masukan untuk penelitian selanjutnya agar penelitian ini bisa berkembang.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV menyajikan hasil penelitian mengenai inventarisasi limbah B3, inventarisasi emisi GRK, serta penyusunan upaya mitigasi pada industri manufaktur fabrikasi. Pembahasan diawali dengan inventarisasi limbah B3 untuk mengidentifikasi jenis, sumber, dan jumlah limbah yang dihasilkan dari setiap aktivitas operasional perusahaan. Hasil inventarisasi tersebut menjadi dasar dalam menganalisis potensi emisi GRK yang berasal dari pengelolaan limbah B3. Selanjutnya dilakukan inventarisasi emisi GRK secara menyeluruh yang mencakup sektor energi dan sektor limbah, meliputi penggunaan energi listrik, konsumsi bahan bakar, limbah cair domestik (*septic tank*), sampah domestik, serta limbah B3. Berdasarkan hasil inventarisasi tersebut, dilakukan analisis kontribusi emisi dari setiap sumber untuk mengidentifikasi sektor yang menjadi penyumbang emisi terbesar. Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan beberapa upaya mitigasi yang disesuaikan dengan karakteristik proses produksi dan aktivitas operasional perusahaan, sehingga rekomendasi yang dihasilkan dapat mendukung pengurangan emisi GRK serta meningkatkan kinerja lingkungan industri manufaktur fabrikasi.

4.1 Inventarisasi Limbah B3

Menurut Affandi dkk. (2020), inventarisasi limbah yang dilakukan secara sistematis sangat berpengaruh terhadap akurasi perhitungan emisi GRK, karena data inventarisasi menjadi dasar dalam proses perhitungan emisi. Berdasarkan pentingnya ketersediaan data aktivitas yang akurat, penelitian ini bertujuan untuk menyusun dan merancang logbook limbah B3 yang terstruktur dan aplikatif sebagai dasar dalam menghitung besaran emisi GRK pada industri fabrikasi manufaktur. Logbook tersebut memuat informasi mengenai jenis, jumlah, sumber, serta periode timbulan limbah B3 yang dihasilkan dari aktivitas operasional perusahaan. Data limbah masuk digunakan sebagai dasar dalam analisis timbulan limbah B3 dan perhitungan potensi emisi GRK. Data logbook limbah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari dokumen pencatatan limbah perusahaan sebagai data sekunder. *Logbook* limbah tersebut disajikan secara lengkap pada Lampiran A. Data

pencatatan limbah B3 yang dihasilkan dan masuk ke tempat penyimpanan sementara (TPS) Limbah B3 selama periode pengamatan tersaji pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Logbook LB3 Masuk

MASUKNYA LIMBAH B3 KE TPS INDUSTRI FABRIKASI					
NO	Jenis Limbah B3 Masuk	KODE	Tanggal Masuk Limbah B3	Sumber Limbah B3	Jumlah Limbah B3
1.	Kain majun bekas	B110d	10/01/2026	<i>Workshop</i>	12 Kg
2.	Oli bekas	B105d	16/01/2026	<i>Workshop</i>	25 L
3.	Kain majun bekas	B110d	19/01/2026	<i>Workshop</i>	5 Kg
4.	Kemasan bekas B3	B301	19/01/2026	<i>Workshop</i>	3 Kg
5.	Oli bekas	B105d	28/01/2026	<i>Workshop</i>	25 L
6.	Kain majun bekas	B110d	4/02/2026	<i>Workshop</i>	7 Kg
7.	Oli bekas	B105d	10/02/2026	<i>Workshop</i>	25 L
8.	Oli bekas	B105d	27/02/2026	<i>Workshop</i>	25 L
9.	Kain majun bekas	B110d	27/02/2026	<i>Workshop</i>	12 Kg
10.	Oli bekas	B105d	10/03/2026	<i>Workshop</i>	25 L
11.	Oli bekas	B105d	24/03/2026	<i>Workshop</i>	25 L
12.	Kain majun bekas	B110d	24/03/2026	<i>Workshop</i>	12 kg
13.	Kain majun bekas	B110d	7/04/2026	<i>Workshop</i>	5 Kg
14.	Kemasan bekas B3	B301	7/04/2026	<i>Workshop</i>	4,5 Kg
15.	Oli bekas	B105d	14/04/2026	<i>Workshop</i>	25 L
16.	Oli bekas	B105d	27/04/2026	<i>Workshop</i>	25 L
17.	Kain majun bekas	B110d	27/04/2026	<i>Workshop</i>	7 kg
18.	Oli bekas	B105d	8/05/2026	<i>Workshop</i>	25 L
19.	Kain majun bekas	B110d	11/05/2026	<i>Workshop</i>	6 Kg
20.	Kain majun bekas	B110d	25/05/2026	<i>Workshop</i>	6 Kg
21.	Oli bekas	B105d	29/05/2026	<i>Workshop</i>	25 L
22.	Kain majun bekas	B110d	07/06/2026	<i>Workshop</i>	7 Kg
23.	Oli bekas	B105d	12/06/2026	<i>Workshop</i>	25 L
24.	Kain majun bekas	B110d	18/06/2026	<i>Workshop</i>	4 Kg

MASUKNYA LIMBAH B3 KE TPS INDUSTRI FABRIKASI					
NO	Jenis Limbah B3 Masuk	KODE	Tanggal Masuk Limbah B3	Sumber Limbah B3	Jumlah Limbah B3
25.	Kemasan bekas B3	B301	18/06/2026	<i>Workshop</i>	2 Kg

Setelah dilakukan pencatatan limbah B3 yang masuk ke Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3, perusahaan juga melakukan pendataan terhadap limbah B3 yang dikeluarkan dari TPS untuk diserahkan kepada pihak ketiga yang memiliki izin pengelolaan limbah B3. Pencatatan limbah keluar bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh limbah B3 yang dihasilkan telah dikelola sesuai dengan ketentuan yang berlaku, serta sebagai bentuk pengendalian terhadap jumlah limbah yang tersimpan di TPS. Informasi yang dicatat meliputi jenis limbah, tanggal pengeluaran, jumlah limbah yang diserahkan, tujuan pengelolaan, dan pihak pengelola limbah B3. Data limbah keluar ini juga berfungsi sebagai dokumen pendukung dalam evaluasi pengelolaan limbah B3 serta verifikasi kesesuaian antara jumlah limbah yang masuk dan keluar dari TPS. Adapun data limbah B3 keluar dari TPS selama periode pengamatan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Logbook LB3 Keluar

KELUARNYA LIMBAH B3 KE TPS INDUSTRI FABRIKASI				
No.	Tanggal Keluar Limbah B3	Jenis Limbah B3 Keluar	Jumlah Limbah B3 Keluar	Tujuan Penyerahan
1.	2/03/2026	Kain majun bekas	36 Kg	PT. BPP Jabon
2.	2/03/2026	Wadah bekas B3	3 Kg	PT. BPP Jabon
3.	6/03/2026	Oli bekas	100 L	Waru, Sidoarjo
4.	15/05/2026	Oli bekas	125 L	Waru, Sidoarjo
5.	22/05/2026	Kain majun bekas	30 Kg	PT. BPP Jabon
6.	22/05/2026	Wadah bekas B3	4,5 Kg	PT. BPP Jabon

Data logbook pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pencatatan rutin oleh pihak industri terkait pengelolaan limbah B3. Tabel 4.1 menyajikan data limbah B3 masuk yang dihasilkan dari aktivitas operasional dan disimpan di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3,

sedangkan Tabel 4.2 menyajikan data limbah B3 keluar yang telah diserahkan kepada pihak ketiga berizin untuk dilakukan pengelolaan lebih lanjut. Dari data tersebut limbah oli bekas merupakan jenis limbah B3 yang paling mendominasi dibandingkan jenis limbah lainnya.

4.2 Analisis Emisi Gas Rumah Kaca di Lokasi Studi pada Industri Fabrikasi

4.2.1 Listrik pada pada Industri Fabrikasi

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran emisi GRK, yang meliputi CO₂, CH₄, dan N₂O, yang dihasilkan dari berbagai aktivitas operasional di Lokasi studi penelitian, khususnya pada proses utama dan proses penunjang. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menyusun rekomendasi upaya mitigasi guna meminimalkan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan bengkel fabrikasi tersebut. Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui survei langsung di lokasi studi untuk memperoleh data terkait penggunaan energi, durasi pengoperasian peralatan, serta aktivitas produksi yang berpotensi menjadi sumber emisi gas rumah kaca. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder yang berasal dari proses pemesinan, pengelasan, pemotongan material, serta penggunaan peralatan listrik dan bahan bakar lainnya.

Dalam tahapan proses utama yang dilakukan di bengkel fabrikasi sebagai lokasi studi penelitian, kegiatan produksi mencakup pembuatan berbagai jenis item fabrikasi yang dikerjakan melalui beberapa tahapan proses. Proses utama tersebut meliputi pemotongan material, pembentukan, pemesinan, pengelasan, hingga proses perakitan, yang masing-masing memerlukan pengoperasian mesin dan peralatan berbasis energi listrik.

Analisis kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan untuk setiap produk yang diproduksi perlu dilakukan pengamatan secara langsung pada setiap proses pembuatan tiap produknya. Pengamatan ini dilakukan untuk mendapatkan data proses/mesin yang digunakan beserta besaran daya dari mesin tersebut dan durasi pada setiap proses, dengan demikian dapat ditentukan total kebutuhan Listrik untuk setiap jenis produksinya. Berikut merupakan hasil pengamatan produksi tiap produk dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 3 Kebutuhan Daya Listrik Tiap Produk

Jenis Produksi	Proses dan mesin yang digunakan	Daya (kW)	Durasi pengerjaan (jam)	Kebutuhan Listrik (kWh/produk)	Total Kebutuhan Listrik (kWh/produk)
Roll Panjang conveyor	Cutting benco	2,2	0,0917	0,20174	0,9498
	Turning	3	0,0625	0,1878	
	Milling	4	0,1203	0,41812	
	Penjepit roll	2	0,0397	0,0794	
Anchor BOLT - J	Cutting gerinda	1,2	0,0139	0,01668	0,5653
	Turning	3	0,1125	0,3375	
	Penekuk hidrolik	4	0,0528	0,2112	
Anchor BOLT - Lurus	Cutting gerinda	1,2	0,0139	0,01668	0,354
	Turning	3	0,1125	0,3375	
Compactor shaft roller compact	Cutting benco	2,2	0,1006	0,22132	0,9
	Turning	3	0,0808	0,2424	
	Milling	4	0,075	0,3	
	Finishing (gerinda)	1,2	0,1136	0,13632	
L-Cosing cone filler	CNC Turning	4	0,0597	0,2388	1,171
	CNC Milling	15	0,0622	0,933	
Rantai crusher	Cutting benco	2,2	0,0947	0,20834	0,73
	Las MIG	7,6	0,0542	0,41192	
	Finishing (gerinda)	1,2	0,0942	0,11304	
Pulley roll belt rough top with bearing sulepack	Cutting benco	2,2	0,0803	0,17666	1,164
	Turning	3	0,1161	0,3483	
	Las MIG	7,6	0,0725	0,551	
	Penjepit roll	2	0,0444	0,0888	

Penentuan besaran emisi gas rumah kaca (GRK) dalam penelitian ini didasarkan pada jumlah produksi yang dihasilkan selama periode April 2025 hingga Maret 2026, sebagaimana tercantum pada Lampiran B. Jumlah produksi setiap item menjadi parameter utama dalam mengestimasi emisi GRK, karena besarnya emisi yang dihasilkan berbanding lurus dengan intensitas kegiatan produksi, penggunaan energi. Data produksi bulanan tersebut selanjutnya dikombinasikan dengan nilai konsumsi energi listrik per unit produk dan faktor emisi yang digunakan, sehingga diperoleh besaran emisi GRK yang dihasilkan pada masing-masing periode. Hasil analisis emisi GRK yang diperoleh dari sumber energi listrik pada masing – masing jenis produksi tersaji pada contoh perhitungan dan Tabel 4.4 – 4.10.

1. Roll Panjang Conveyor

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 240 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,94984 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 240 buah x 0,94984 KWh
= 227,96 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 227,96 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1

$$= 176,53 \text{ CO}_2 \text{ (Kg CO}_2\text{Eq)}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= 227,96 \text{ KWh/bulan} \times 0,00001594341 \text{ Kg /kWh} \times 21 \\ &= 0,076 \text{ CH}_4 \text{ (Kg CO}_2\text{Eq)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi N}_2\text{O} &= 227,96 \text{ KWh/bulan} \times 0,00000876813 \text{ Kg /kWh} \times 310 \\ &= 0,62 \text{ N}_2\text{O (Kg CO}_2\text{Eq)} \end{aligned}$$

Tabel 4. 4 Total Emisi GRK Roll Panjang Conveyor

Bulan	ROLL PANJANG CONVEYOR			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
	CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	176,531	0,076	0,620	177,227
Mei	404,550	0,175	1,420	406,145
Juni	551,659	0,239	1,936	553,834
Juli	176,531	0,076	0,620	177,227
Agustus	404,550	0,175	1,420	406,145
September	220,664	0,095	0,775	221,534
Oktober	220,664	0,095	0,775	221,534
November	404,550	0,175	1,420	406,145
Desember	176,531	0,076	0,620	177,227
Januari	154,465	0,067	0,542	155,074
Februari	114,010	0,049	0,400	114,459
Maret	367,773	0,159	1,291	369,223
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN				3385,772

2. Anchor Bolt – J

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 200 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,5653KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 200 buah x 0,5653KWh
= 113,07 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 113,07 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 87,564 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 113,07 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21
= 0,037 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 113,07 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310
= 0,31 N₂O (Kg CO₂Eq)

Tabel 4. 5 Total Emisi GRK ANCHOR BOLT - J

Bulan	Tahun	ANCHOR BOLT - J			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	87,56479892	0,03785915	0,30735417	87,9100122
Mei	2025	65,67359919	0,02839436	0,23051562	65,9325091
Juni	2025	105,0777587	0,04543098	0,36882500	105,492014
Juli	2025	65,67359919	0,02839436	0,23051562	65,9325091
Agustus	2025	43,78239946	0,01892957	0,15367708	43,9550061
September	2025	109,4559986	0,04732394	0,38419271	109,887515
Oktober	2025	109,4559986	0,04732394	0,38419271	109,887515
November	2025	131,3471984	0,05678873	0,46103125	131,865018
Desember	2025	148,8601582	0,06436056	0,52250209	149,447020
Januari	2026	78,80831903	0,03407324	0,27661875	79,1190110
Februari	2026	91,94303886	0,03975211	0,32272188	92,3055128
Maret	2026	87,56479892	0,03785915	0,30735417	87,9100122
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1129,64365

3. ANCHOR Bolt – Lurus

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 150 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,3541 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 150 buah x 0,3541 KWh

= 53,127 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 53,127 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1

= 41,14 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 53,127 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21

= 0,0177 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 53,127 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310

= 0,4 N₂O (Kg CO₂Eq)

Tabel 4. 6 Total Emisi GRK ANCHOR BOLT - LURUS

Bulan	Tahun	ANCHOR BOLT - LURUS			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	41,14095893	0,01778753	0,40771804	41,5664645
Mei	2025	72,68236078	0,03142464	0,72030188	73,4340873
Juni	2025	47,99778542	0,02075212	0,47567105	48,4942086
Juli	2025	71,31099548	0,03083173	0,70671127	72,0485384
Agustus	2025	49,36915072	0,02134504	0,48926165	49,8797574
September	2025	47,99778542	0,02075212	0,47567105	48,4942086
Oktober	2025	68,56826488	0,02964589	0,67953007	69,2774408
November	2025	68,56826488	0,0296458	0,67953007	69,2774408
Desember	2025	104,2237626	0,045061759	1,032885714	105,3017101
Januari	2026	27,42730595	0,011858358	0,27181203	27,71097634
Februari	2026	72,68236078	0,031424648	0,72030188	73,43408731
Maret	2026	43,06087035	0,01861762	0,42674488	43,5062328

Bulan	Tahun	ANCHOR BOLT - LURUS			Total Emisi (Kg CO2 Eq)
		CO2 (Kg CO2Eq)	CH4 (Kg CO2 Eq)	N2O (Kg CO2 Eq)	
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					722,425153

4. *Compactor Shaft Roller Compact*

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 95 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,9 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 95 buah x 0,9 KWh
= 85,503 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 85,503 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 66,213 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 85,503 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21
= 0,02 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 85,503 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310
= 0,23 N₂O (Kg CO₂Eq)

Tabel 4. 7 Total Emisi GRK COMPACTOR SHAFT ROLLER COMPACT

Bulan	Tahun	COMPACTOR SHAFT ROLLER COMPACT			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	66,2131933	0,02862766	0,23240961	66,4742306
Mei	2025	55,7584786	0,02410750	0,19571336	55,9782995
Juni	2025	73,1830032	0,03164110	0,25687378	73,4715180
Juli	2025	80,1528130	0,03465454	0,28133795	80,4688055
Agustus	2025	104,547147	0,04520157	0,36696254	104,959311
September	2025	76,6679081	0,03314782	0,26910586	76,9701618
Oktober	2025	69,698098	0,03013438	0,24464169	69,9728743
November	2025	104,547147	0,04520157	0,36696254	104,959311
Desember	2025	66,2131933	0,02862766	0,23240961	66,4742306
Januari	2026	69,6980989	0,03013438	0,24464169	69,9728743
Februari	2026	73,1830032	0,03164110	0,25687378	73,4715180
Maret	2026	76,6679081	0,03314782	0,26910586	76,9701618
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					920,143298

5. L-Closing Cone Filler

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 150 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 1,1718 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 150 buah x 1,1718 KWh
= 175,77 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 175,77 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 136,11 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 175,77 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21
= 0,059 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 175,77 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310
= 0,478 N₂O (Kg CO₂Eq)

Tabel 4. 8 Total Emisi GRK L-CLOSING CONE FILLER

Bulan	Tahun	L-CLOSING CONE FILLER			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Mei	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
Juni	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Juli	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Agustus	2025	181,486	0,078	0,637	182,201
September	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
Oktober	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
November	2025	179,671	0,078	0,631	180,379
Desember	2025	163,337	0,071	0,573	163,981
Januari	2026	181,486	0,078	0,637	182,201
Februari	2026	149,726	0,065	0,526	150,316
Maret	2026	108,891	0,047	0,382	109,321
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1651,654

6. Rantai *Crusher*

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 95 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,733 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 95 buah x 0,733 KWh
= 69,663 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

E = KE Pemakaian listrik x FE Pemakaian listrik x GWP

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 69,663 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 53,94 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 69,663 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21
= 0,023 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 69,663 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310
= 0,189 N₂O (Kg CO₂Eq)

Tabel 4. 9 Total Emisi GRK RANTAI CRUSHER

Bulan	Tahun	RANTAI CRUSHER 22KW			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	53,947	0,023	0,189	54,159
Mei	2025	68,143	0,029	0,239	68,412
Juni	2025	56,786	0,025	0,199	57,010
Juli	2025	102,215	0,044	0,359	102,618
Agustus	2025	56,786	0,025	0,199	57,010
September	2025	51,107	0,022	0,179	51,309
Oktober	2025	136,286	0,059	0,478	136,824
November	2025	73,822	0,032	0,259	74,113
Desember	2025	70,982	0,031	0,249	71,262
Januari	2026	101,079	0,044	0,355	101,477
Februari	2026	73,822	0,032	0,259	74,113
Maret	2026	70,982	0,031	0,249	71,262
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					919,568

7. Pulley Roll Belt Roughtop with Bearing Sulepack

Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dimana :

Jumlah produksi = 75 buah
 Bulan = April 2025
 Total daya/produk = 1,1647 KWh
 Kebutuhan Listrik/bulan = 75 buah x 1,1647 KWh
 = 87,357 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO_2 , CH_4 , N_2O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

$FE \text{ } CO_2 = 0,774388897 \text{ Kg /kWh}$ (Ecometrica,2011)

$FE \text{ } CH_4 = 0,00001594341 \text{ Kg /kWh}$ (Ecometrica,2011)

$FE \text{ } N_2O = 0,00000876813 \text{ Kg /kWh}$ (Ecometrica,2011)

$GWP \text{ } CO_2 = 1$ (IPCC,2019)

$GWP \text{ } CH_4 = 21$ (IPCC,2019)

$GWP \text{ } N_2O = 310$ (IPCC,2019)

$Emisi \text{ } CO_2 = 87,357 \text{ KWh/bulan} \times 0,774388897 \text{ Kg /kWh} \times 1$
 $= 67,648 \text{ } CO_2 \text{ (Kg } CO_2Eq)$

$Emisi \text{ } CH_4 = 87,357 \text{ KWh/bulan} \times 0,00001594341 \text{ Kg /kWh} \times 21$
 $= 0,029 \text{ } CH_4 \text{ (Kg } CO_2Eq)$

$Emisi \text{ } N_2O = 87,357 \text{ KWh/bulan} \times 0,00000876813 \text{ Kg /kWh} \times 310$
 $= 0,237 \text{ } N_2O \text{ (Kg } CO_2Eq)$

Tabel 4. 10 Total Emisi GRK PULLEY ROLL BELT ROUGHTOP WITH BEARING SULEPACK

Bulan	Tahun	PULLEY ROLL BELT ROUGHTOP WITH BEARING SULEPACK			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	67,648	0,029	0,237	67,915
Mei	2025	85,688	0,037	0,301	86,026
Juni	2025	90,198	0,039	0,317	90,553
Juli	2025	85,688	0,037	0,301	86,026
Agustus	2025	72,158	0,031	0,253	72,443
September	2025	92,002	0,040	0,323	92,364
Oktober	2025	81,178	0,035	0,285	81,498
November	2025	94,708	0,041	0,332	95,081
Desember	2025	86,590	0,037	0,304	86,931
Januari	2026	81,178	0,035	0,285	81,498
Februari	2026	99,217	0,043	0,348	99,609
Maret	2026	94,708	0,041	0,332	95,081
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1035,024

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi GRK, setiap produk yang diproduksi memberikan kontribusi emisi yang berbeda-beda sesuai dengan tahapan proses produksi, jenis mesin yang digunakan, lama waktu operasi, serta konsumsi energi dan bahan pendukung. Perbedaan tersebut menyebabkan besarnya emisi yang dihasilkan oleh masing-masing produk tidak sama. Produk *Roll Panjang Conveyor* menghasilkan emisi GRK sebesar 3.385,772 kg CO₂-eq, *Anchor BOLT - J* sebesar 1.129,643 kg CO₂-eq, *Anchor BOLT - Lurus* sebesar 722,425 kg CO₂-eq, *Compator Shaft Roller Compact* sebesar 920,143298 kg CO₂-eq, *L-Closing Cone Filler* sebesar 1651,654 kg CO₂-eq, Rantai *Crusher* sebesar 919,568 kg CO₂-eq, dan *Pulley Roll Belt Roughtop* sebesar 1.035,024 kg CO₂-eq. Besarnya emisi tersebut dipengaruhi oleh kebutuhan energi listrik pada setiap tahapan proses pemotongan, pembubutan, pengelasan, pengeboran, perakitan, hingga proses finishing. Semakin tinggi konsumsi energi dan semakin lama waktu operasi mesin, maka semakin besar pula emisi GRK yang dihasilkan selama proses produksi.

Energi listrik dari penunjang pun juga sangat penting sebagai sarana dan prasarana di dalam *office* seperti lampu sebagai penerangan, maupun AC sebagai pendingin ruangan dan lain-lain dalam sehari-hari, untuk penggunaan listrik dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Konsumsi Daya Tiap Unit Alat Elektronik

Nama Unit	Jumlah Unit	Daya (W)	lama pemakaian (jam)	kebutuhan listrik (kWh/hari)
Lampu LED	8	11	8	0,704
AC 1,5 Pk	2	1150	8	18,4
komputer	2	150	8	2,4
CPU	2	100	8	1,6
Printer	1	12	8	0,096
telepon selular	1	3	8	0,024
Dispenser	1	250	8	2
Kipas Angin	4	80	8	2,56

Selain itu dalam penggunaan listrik *office* ini di lakukan juga pengukuran secara langsung yaitu menghitung emisi karbon yang di klasifikasikan berdasarkan sisa konsumsi listrik abisa dilihat pada perhitungan dan tabel di bawah ini:

Contoh perhitungan:

- Lampu LED

Jumlah Unit = 8 Unit

Daya/unit = 11 W

Daya total unit = 8 x 11 W
= 88 W
= 0,088 kW

Lama pemakaian = 8 jam

Jumlah pemakaian perhari = Daya total unit x Lama pemakaian
= 0,088 kW x 8 jam
= 0,704 kWh

Jumlah hari kerja pada bulan April = 18 hari

Jumlah Listrik perbulan = 0,704 kWh x 18 hari

$$=12,6725 \text{ kWh/bulan}$$

- AC 1,5 Pk

$$\text{Jumlah Unit} = 2 \text{ Unit}$$

$$\text{Daya/unit} = 1.150 \text{ W}$$

$$\text{Daya total unit} = 2 \times 1.150 \text{ W}$$

$$= 2.300 \text{ W}$$

$$= 2,3 \text{ kW}$$

$$\text{Lama pemakaian} = 8 \text{ jam}$$

$$\text{Jumlah pemakaian perhari} = \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$$

$$= 2,3 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$$

$$= 18,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Jumlah hari kerja pada bulan April} = 18 \text{ hari}$$

$$\text{Jumlah Listrik perbulan} = 18,4 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$$

$$=331,2 \text{ kWh/bulan}$$

- Komputer

$$\text{Jumlah Unit} = 2 \text{ Unit}$$

$$\text{Daya/unit} = 150 \text{ W}$$

$$\text{Daya total unit} = 2 \times 150 \text{ W}$$

$$= 300 \text{ W}$$

$$= 0,3 \text{ kW}$$

$$\text{Lama pemakaian} = 8 \text{ jam}$$

$$\text{Jumlah pemakaian perhari} = \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$$

$$= 0,3 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$$

$$= 2,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Jumlah hari kerja pada bulan April} = 18 \text{ hari}$$

$$\text{Jumlah Listrik perbulan} = 2,4 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$$

$$=43,2 \text{ kWh/bulan}$$

- CPU

$$\text{Jumlah Unit} = 2 \text{ Unit}$$

$$\text{Daya/unit} = 100 \text{ W}$$

$$\text{Daya total unit} = 2 \times 100 \text{ W}$$

$$= 200 \text{ W}$$

$= 0,2 \text{ kW}$
 Lama pemakaian $= 8 \text{ jam}$
 Jumlah pemakaian perhari $= \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$
 $= 0,2 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$
 $= 1,6 \text{ kWh}$
 Jumlah hari kerja pada bulan April $= 18 \text{ hari}$
 Jumlah Listrik perbulan $= 1,6 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$
 $= 28,8 \text{ kWh/bulan}$

- Printer

Jumlah Unit $= 1 \text{ Unit}$
 Daya/unit $= 12 \text{ W}$
 Daya total unit $= 1 \times 12 \text{ W}$
 $= 12 \text{ W}$
 $= 0,012 \text{ kW}$
 Lama pemakaian $= 8 \text{ jam}$
 Jumlah pemakaian perhari $= \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$
 $= 0,012 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$
 $= 0,096 \text{ kWh}$
 Jumlah hari kerja pada bulan April $= 18 \text{ hari}$
 Jumlah Listrik perbulan $= 0,096 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$
 $= 1,728 \text{ kWh/bulan}$

- Telepon selular

Jumlah Unit $= 1 \text{ Unit}$
 Daya/unit $= 3 \text{ W}$
 Daya total unit $= 1 \times 3 \text{ W}$
 $= 3 \text{ W}$
 $= 0,003 \text{ kW}$
 Lama pemakaian $= 8 \text{ jam}$
 Jumlah pemakaian perhari $= \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$
 $= 0,003 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$
 $= 0,024 \text{ kWh}$
 Jumlah hari kerja pada bulan April $= 18 \text{ hari}$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Listrik perbulan} &= 0,024 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari} \\ &= 0,43 \text{ kWh/bulan}\end{aligned}$$

- Dispenser

$$\text{Jumlah Unit} = 1 \text{ Unit}$$

$$\text{Daya/unit} = 250 \text{ W}$$

$$\text{Daya total unit} = 1 \times 250 \text{ W}$$

$$= 250 \text{ W}$$

$$= 0,25 \text{ kW}$$

$$\text{Lama pemakaian} = 8 \text{ jam}$$

$$\text{Jumlah pemakaian perhari} = \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$$

$$= 0,25 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$$

$$= 2 \text{ kWh}$$

$$\text{Jumlah hari kerja pada bulan April} = 18 \text{ hari}$$

$$\text{Jumlah Listrik perbulan} = 2 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$$

$$= 36 \text{ kWh/bulan}$$

- Kipas angin

$$\text{Jumlah Unit} = 4 \text{ Unit}$$

$$\text{Daya/unit} = 80 \text{ W}$$

$$\text{Daya total unit} = 4 \times 80 \text{ W}$$

$$= 320 \text{ W}$$

$$= 0,32 \text{ kW}$$

$$\text{Lama pemakaian} = 8 \text{ jam}$$

$$\text{Jumlah pemakaian perhari} = \text{Daya total unit} \times \text{Lama pemakaian}$$

$$= 0,32 \text{ kW} \times 8 \text{ jam}$$

$$= 2,56 \text{ kWh}$$

$$\text{Jumlah hari kerja pada bulan April} = 18 \text{ hari}$$

$$\text{Jumlah Listrik perbulan} = 2,56 \text{ kWh} \times 18 \text{ hari}$$

$$= 46,08 \text{ kWh/bulan}$$

Perhitungan kebutuhan energi listrik untuk masing-masing peralatan elektronik secara lengkap disajikan pada Lampiran C. Selanjutnya menentukan besaran emisi GRK yang dihasilkan dapat dilihat pada perhitungan dan Tabel 4.12.

Contoh Perhitungan:

$$E = \sum KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$$

Dengan :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh

GWP CO₂ = 1

GWP CH₄ = 21

GWP N₂O = 310

penggunaan listrik office di bulan April 2025

Emisi CO₂ = 500,11 kWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 387,281Kg CO₂

Emisi CH₄ = 500,11 kWh/bulan x 0,00001594341 x 21
= 0,167 Kg CO₂

Emisi N₂O = 500,11 kWh/bulan x 0,00000876813 x 310
= 1,359 Kg CO₂

Tabel 4. 12 Total Emisi GRK

Bulan	Tahun	CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
April	2025	387,281	0,167	1,359	388,808
Mei	2025	473,344	0,205	1,661	475,210
Juni	2025	430,312	0,186	1,510	432,009
Juli	2025	580,922	0,251	2,039	583,212
Agustus	2025	559,406	0,242	1,964	561,612
September	2025	566,388	0,245	1,988	568,621
Oktober	2025	580,922	0,251	2,039	583,212
November	2025	537,891	0,233	1,888	540,011
Desember	2025	516,375	0,223	1,812	518,411
Januari	2026	415,152	0,179	1,457	416,788
Februari	2026	380,556	0,165	1,336	382,056

Bulan	Tahun	CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
Maret	2026	345,960	0,150	1,214	347,324
Total Emisi 1 Tahun					5797,273

Besaran emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik pada setiap bulan menunjukkan nilai yang bervariasi. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jumlah hari efektif operasional pada masing-masing bulan. Semakin banyak hari efektif kerja, semakin lama mesin dan peralatan listrik beroperasi sehingga konsumsi energi listrik meningkat dan menghasilkan emisi CO₂ yang lebih besar. Sebaliknya, bulan dengan jumlah hari efektif yang lebih sedikit cenderung memiliki konsumsi listrik dan emisi yang lebih rendah.

Lismiyah dkk. (2024), pada penelitiannya menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara konsumsi energi listrik dan emisi karbon, yang mana peningkatan total penggunaan listrik berkorelasi positif dengan peningkatan emisi CO₂. Hubungan ini terutama kuat pada sistem kelistrikan yang masih didominasi oleh pembangkit berbasis bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas alam. Dalam kondisi tersebut, setiap tambahan konsumsi listrik akan diikuti oleh peningkatan pembakaran bahan bakar fosil untuk memenuhi permintaan energi, sehingga menghasilkan emisi CO₂ yang bersifat akumulatif. Oleh karena itu, semakin besar intensitas dan durasi penggunaan energi listrik—baik pada skala rumah tangga, komersial, maupun industri—maka semakin besar pula kontribusinya terhadap total emisi gas rumah kaca.

4.2.2 Gas Tabung CO₂

Selain menggunakan energi listrik sebagai sumber utama pengoperasian mesin las untuk memproduksi *Rantai Crusher* dan *Pulley Roll Back Roughtop*, proses pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) juga memanfaatkan sumber energi dan material pendukung berupa tabung karbon dioksida (CO₂). Gas CO₂ berfungsi sebagai gas pelindung (*shielding gas*) yang melindungi area las dari kontaminasi udara luar selama proses pengelasan berlangsung. Penggunaan tabung CO₂ ini tidak hanya berperan dalam menjaga kualitas hasil pengelasan, tetapi juga berkontribusi

terhadap emisi gas rumah kaca karena CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dikategorikan sebagai emisi langsung.

Kebutuhan gas CO₂ pada masing-masing produk diperoleh berdasarkan data primer hasil wawancara dengan operator pengelasan (*welder*). Berdasarkan hasil wawancara, diketahui bahwa satu tabung gas CO₂ berkapasitas 25 Kg dapat menghasilkan :

1. Rantai crusher = 120 pcs

2. Pulley roll back rough top = 80 pcs

Informasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menghitung kebutuhan gas CO₂ per unit produk. Perhitungan dilakukan dengan membagi kapasitas gas CO₂ dalam satu tabung (25 kg) dengan jumlah produk yang dapat dihasilkan menggunakan satu tabung tersebut. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Rantai crusher

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Gas CO}_2 &= 25 \text{ Kg} / 120 \text{ pcs} \\ &= 0,2 \text{ Kg/pcs}\end{aligned}$$

2. Pulley roll back rough top

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Gas CO}_2 &= 25 \text{ Kg} / 80 \text{ pcs} \\ &= 0,31 \text{ Kg CO}_2 / \text{pcs}\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai kebutuhan gas CO₂ untuk masing-masing produk, selanjutnya dapat menentukan total emisi GRK yang dihasilkan selama 1 tahun masa produksi. Menurut pedoman IPCC 2019, emisi gas rumah kaca harus dihitung berdasarkan jumlah aktual CO₂ yang dilepaskan, dan CO₂ yang tidak berasal dari pembakaran bahan bakar termasuk dalam emisi proses industri (IPCC, 2019). Hasil emisi GRK tersaji pada contoh perhitungan dan Tabel 4.13 – 4.14.

Contoh perhitungan :

1. Rantai crusher

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Kebutuhan gas CO}_2 \times \text{Jumlah terproduksi bulan April 2025} \\ &= 0,2 \times 95 \\ &= 19,8 \text{ Kg CO}_2\end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Total Emisi GRK Rantai *crusher*

Rantai crusher		
Bulan	Jumlah terproduksi (pcs)	Total emisi (Kg CO ₂ Eq)
April	95	19,8
Mei	120	25,0
Juni	100	20,8
Juli	180	37,5
Agustus	100	20,8
September	90	18,8
Oktober	240	50,0
November	130	27,1
Desember	125	26,0
Januari	178	37,1
Februari	130	27,1
Maret	125	26,0

2. Pulley roll back rough top

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= \text{Kebutuhan gas CO}_2 \times \text{Jumlah terproduksi bulan April 2025} \\
 &= 0,3 \text{ Kg CO}_2 \times 75 \text{ pcs} \\
 &= 23,4 \text{ Kg CO}_2
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 14 Total Emisi GRK *Pulley roll back rough top*

Pulley roll back rough top		
Bulan	Jumlah terproduksi	Total emisi (Kg CO ₂ Eq)
April	75	23,4
Mei	95	29,7
Juni	100	31,3
Juli	95	29,7
Agustus	80	25,0
September	102	31,9
Oktober	90	28,1
November	105	32,8
Desember	96	30,0
Januari	90	28,1
Februari	110	34,4
Maret	105	32,8

4.2.3 Transportasi (Kendaraan)

Transportasi merupakan layanan jasa yang berguna untuk memindahkan atau membawa orang maupun barang dari satu tempat menuju ke tempat lain. Transportasi adalah sarana fasilitas yang sering digunakan oleh masyarakat untuk menunjang segala aktivitasnya yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan sehari-harinya (Nova, D. D. R., & Widiastuti, N. 2019).

Jenis kendaraan merupakan mobil operasional yang digunakan untuk mobilitas pengiriman barang pada customer, pengiriman surat *invoice* serta pembelian bahan material. Terdapat 2 unit mobil dengan spesifikasi yang sama yakni mobil Daihatsu Grand Max Pick Up.

Selain kendaraan operasional tersebut, kegiatan transportasi yang termasuk dalam inventarisasi emisi GRK juga mencakup pengangkutan limbah B3 dari lokasi industri menuju fasilitas pengelolaan limbah yang berizin. Aktivitas ini menggunakan bahan bakar kendaraan selama proses pengangkutan sehingga menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Oleh karena itu, emisi dari transportasi pengangkut limbah B3 turut diperhitungkan sebagai bagian dari inventarisasi emisi GRK sektor transportasi karena merupakan aktivitas pendukung operasional perusahaan yang berkontribusi terhadap total emisi yang dihasilkan.

Kendaraan operasional perusahaan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) dari pembakaran bahan bakar yang digunakan selama kegiatan operasional. Perhitungan emisi dilakukan berdasarkan data jarak tempuh kendaraan operasional yang diperoleh dari catatan mobilitas kedua kendaraan pada bulan Januari 2026. Data jarak tempuh tersebut digunakan sebagai dasar untuk menghitung konsumsi bahan bakar dan besarnya emisi GRK yang dihasilkan. Rincian jarak tempuh masing-masing kendaraan operasional disajikan pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4. 15 Rute Kendaraan 1

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 1	Jarak (Km)
02/01/2026	1	PT BRONSON PRIMA INDUSTRI	29
	2	Lokasi Studi Penelitian	29

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 1	Jarak (Km)
03/01/2026	1	PT ASIAN BEARINDO JAYA	33,5
	2	Lokasi Studi Penelitian	33,5
04/01/2026	1	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	17
	2	Lokasi Studi Penelitian	17
05/01/2026	1	PT PANCA WANGSA KRETYA MULIA	55
	2	Lokasi Studi Penelitian	55
06/01/2026	1	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	19
	1	PT KOBIN KERAMIK INDUSTRI	12
	2	Lokasi Studi Penelitian	20
07/01/2026	1	PT HIKARI TEKNOLOGI INDONESIA	54
	2	Lokasi Studi Penelitian	54
08/01/2026	1	PT KARUNIA ALAM SEGAR	54
	2	Lokasi Studi Penelitian	54
09/01/2026	1	PT PUPUK LAPAN HARSA	20
	2	PT AGRINDO	8,9
	3	Lokasi Studi Penelitian	28
10/01/2026	1	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	17
	2	Lokasi Studi Penelitian	17
12/01/2026	1	PT RANTAI JARINGAN SUKSES	8
	2	PT NETANIA KASIH KARUNIA	32
	3	Lokasi Studi Penelitian	34
13/01/2026	1	PT SURYA RENGGO CONTAINERS	19
	2	PT PUPUK LAPAN HARSA	5,3
	3	Lokasi Studi Penelitian	20
14/01/2026	1	PT SURYA RENGGO CONTAINERS	19
	2	Lokasi Studi Penelitian	19
15/01/2026	1	PT WINGS SURYA	31
15/01/2026	2	PT SURYA PRATISTA HUTAMA	28
	3	Lokasi Studi Penelitian	5,4
19/01/2026	1	CV DUTA PERKASA	27
19/01/2026	2	PT MULTIPACK UNGGUL	19
	3	Lokasi Studi Penelitian	32
20/01/2026	1	PT HANAMPI SEJAHTERA KAHURIPAN	56
20/01/2026	2	PT HARUM ALAM SEGAR	2,9
	3	Lokasi Studi Penelitian	54
21/01/2026	1	SENTRAL BAUT	8,4

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 1	Jarak (Km)
21/01/2026	2	PT ELSON BERNARDI	19
	3	Lokasi Studi Penelitian	18
22/01/2026	1	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	19
	2	Lokasi Studi Penelitian	19
23/01/2026	1	PT PANCA WANGSA KRETYA MULIA	7,8
23/01/2026	2	PT SARANA ANUGERAHTAMA LESTARI	18
	3	Lokasi Studi Penelitian	25
24/01/2026	1	PT ROMAN CERAMIC INTERNATIONAL	20
	2	Lokasi Studi Penelitian	20
26/01/2026	1	PT PUPUK LAPAN HARSA	20
	2	Lokasi Studi Penelitian	20
27/01/2026	1	PT TATA RAPIKA GLOBALINDO	11
27/01/2026	2	PT ROMAN CERAMIC INTERNATIONAL	33
	3	Lokasi Studi Penelitian	20
28/01/2026	1	PT YANAPRIMA HASTAPERSADA	5,9
28/01/2026	2	PT INDOLAKTO	32
	3	Lokasi Studi Penelitian	29
29/01/2026	1	PT WINGS SURYA	31
29/01/2026	2	PT MITRA ALAM SEGAR	53
	3	Lokasi Studi Penelitian	27
30/01/2026	1	PT SURYA PRATISTA HUTAMA	4,7
	2	Lokasi Studi Penelitian	4,7
31/01/2026	1	CV PERDANA TEKNIK MAKMUR JAYA	36
	2	Lokasi Studi Penelitian	36
Total jarak tempuh			1.576

Tabel 4. 16 Rute Kendaraan 2

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 2	Jarak (Km)
02/01/2026	1	AMG Tower	21
	2	Lokasi Studi Penelitian	21
03/01/2026	1	PT HIKARI TEKNOLOGI INDONESIA	36
	2	Lokasi Studi Penelitian	36
04/01/2026	1	PT BHINNEKA BAJANAS	33
	2	Lokasi Studi Penelitian	33

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 2	Jarak (Km)
05/01/2026	1	PT MULTIPACK UNGGUL	31
	2	Lokasi Studi Penelitian	31
06/01/2026	1	PT HARUM ALAM SEGAR	54
	2	Lokasi Studi Penelitian	54
07/01/2026	1	PT FERTILIZER INTI TECHNOLOGY	59
	2	Lokasi Studi Penelitian	59
08/01/2026	1	AMG Tower	21
08/01/2026	2	PT TATA RAPIKA GLOBALINDO	11
	3	Lokasi Studi Penelitian	11
09/01/2026	1	PT SARASWANTI MAKMUR INDAH Tbk	74
	2	Lokasi Studi Penelitian	74
10/01/2026	1	PT ADYABUANA PERSADA	31
	2	Lokasi Studi Penelitian	31
12/01/2026	1	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	19
	2	Lokasi Studi Penelitian	19
13/01/2026	1	PT SUTINDO SURYA SEJAHTERA	36
	2	Lokasi Studi Penelitian	36
14/01/2026	1	PT INDOFOOD CBP SUKSES MAKMUR Tbk	18
14/01/2026	2	PT MITRA ALAM SEGAR	8,7
	3	Lokasi Studi Penelitian	27
15/01/2026	1	PT PUPUK LAPAN HARSA	20
	2	Lokasi Studi Penelitian	20
19/01/2026	1	PT WIETPANDA LESTARI STEEL	36
	2	Lokasi Studi Penelitian	36
20/01/2026	1	PT ASIAN BEARINDO JAYA	34
	2	Lokasi Studi Penelitian	34
21/01/2026	1	AMG Tower	21
	2	Lokasi Studi Penelitian	21
22/01/2026	1	PT SARASWANTI MAKMUR INDAH Tbk	74
	2	Lokasi Studi Penelitian	74
23/01/2026	1	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	17
23/01/2026	2	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	1,3
	3	Lokasi Studi Penelitian	19
24/01/2026	1	SENTRAL BAUT	8,4
24/01/2026	2	PT ELSON BERNARDI	19
	3	Lokasi Studi Penelitian	18
26/01/2026	1	PT KARUNIA ALAM SEGAR	54

TANGGAL	Ket. Lokasi	SOPIR 2	Jarak (Km)
26/01/2026	2	PT LION WINGS	2,1
	3	Lokasi Studi Penelitian	57
27/01/2026	1	PT KARYAINDAH ALAM SEJAHTERA	55
27/01/2026	2	PT HANAMPI SEJAHTERA KAHURIPAN	6,2
	3	Lokasi Studi Penelitian	54
28/01/2026	1	PT INDOFOOD CBP SUKSES MAKMUR Tbk	18
28/01/2026	2	PT ELSON BERNARDI	8,3
	3	Lokasi Studi Penelitian	19
29/01/2026	1	PT YANAPRIMA HASTAPERSADA	36
	2	Lokasi Studi Penelitian	36
30/01/2026	1	CV DUTA PERKASA	27
30/01/2026	2	PT KARYAINDAH ALAM SEJAHTERA	36
	3	Lokasi Studi Penelitian	55
31/01/2026	1	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	17
31/01/2026	2	CV SEMBADA INDONESIA	38
	3	Lokasi Studi Penelitian	16
Total jarak tempuh			1.910

Diketahui jenis kendaraan pada Lokasi studi merupakan Daihatsu Grand Max Pick Up yang diperkirakan konsumsi bahan bakarnya adalah 14 Km/L (Sumber spesifikasi unit). Selanjutnya dapat kita analisa untuk emisi GRK yang dihasilkan oleh sektor transportasi pada contoh perhitungan dan Tabel 4.17.

Jarak tempuh Kendaraan = 1.576 Km

Konsumsi Bahan Bakar = 14 Km/L

Nilai Kalor Bensin = 0,000033 TJ/L KLHK,2012

FE CO₂ = 69300 Kg/TJ KLHK,2012

FE CH₄ = 3 Kg/TJ KLHK,2012

FE N₂O = 0,6 Kg/TJ KLHK,2012

Nilai GWP CO₂ = 1 (IPCC, 2019)

Nilai GWP CH₄ = 28 (IPCC, 2019)

Nilai GWP N₂O = 273 (IPCC, 2019)

Konsumsi bahan bakar dan konsumsi energi harus diketahui terlebih dahulu sebelum menghitung besaran emisi CO₂, CH₄, dan N₂O yang dihasilkan,

perhitungannya dikalikan 12 (bulan selama 1 tahun) dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi Bahan Bakar (L/tahun)} &= \frac{\text{Jarak tempuh (Km/bulan)}}{\text{Konsumsi Bahan Bakar (Km/L)}} \times 12 \text{ Bulan} \\ &= \frac{1.576 \text{ Km/hari}}{14 \text{ Km/L}} \times 12 \text{ Bulan} \\ &= 1.350 \text{ L/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fuel a (TJ)} &= \text{Konsumsi BB (L/tahun)} \times \text{Nilai Kalor TJ/Liter} \\ &= 1.350 \text{ L/Tahun} \times 0,000033 \text{ TJ/Liter} \\ &= 0,044 \text{ TJ/Tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fuel Emission (CO}_2\text{)} &= \text{Fuel a} \times \text{Ef}_a \text{ (kg CO}_2\text{/TJ)} \times \text{Nilai GWP CO}_2 \\ &= 0,04 \text{ TJ/Tahun} \times 69300 \text{ kg CO}_2\text{/TJ} \times 1 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 3089,27 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fuel Emission (CH}_4\text{)} &= \text{Fuel a} \times \text{Ef}_a \text{ (kg CH}_4\text{/TJ)} \times \text{Nilai GWP CH}_4 \\ &= 0,04 \text{ TJ/Tahun} \times 3 \text{ kg CH}_4\text{/TJ} \times 28 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 3,7 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Fuel Emission (N}_2\text{O)} &= \text{Fuel a} \times \text{Ef}_a \text{ (kg N}_2\text{O/TJ)} \times \text{Nilai GWP N}_2\text{O} \\ &= 0,04 \text{ TJ/Tahun} \times 0,6 \text{ kg N}_2\text{O /TJ} \times 273 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 7,3 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun}\end{aligned}$$

Tabel 4. 17 Total Emisi GRK

Jenis Kendaraan	CO2 (KgCO2 Eq)	CH4 (KgCO2 Eq)	N2O (KgCO2Eq)	Total Emisi (kg CO ₂ eq/tahun)
Daihatsu Grand Max Pick Up (mobil 1)	3089,2752	3,744576	7,3019232	3100,322
Daihatsu Grand Max Pick Up (mobil 2)	3743,982	4,53816	8,849412	3757,37
Total Emisi dalam 1 Tahun				6.857,7

Selain kendaraan operasional perusahaan, inventarisasi emisi GRK pada sektor transportasi juga mencakup kegiatan pengangkutan limbah B3. Pengangkutan limbah B3 dilakukan oleh pihak ketiga yang memiliki izin pengelolaan limbah B3 untuk membawa limbah dari lokasi industri menuju fasilitas pengolahan atau pemanfaatan akhir. Perhitungan emisi GRK dari transportasi pengangkut limbah B3 dilakukan berdasarkan data Logbook limbah B3 yang memuat informasi lokasi tujuan pengangkutan serta jarak tempuh kendaraan. Rincian jarak tempuh kendaraan pengangkut Limbah B3 disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Data jarak tempuh kendaraan pengangkut LB3

No.	Tanggal	Tujuan pengangkutan	Jarak (KM)	Jumlah Trip	Total jarak tempuh (KM)
1.	02/03/2026	PT. BPP Jabon	18	2	36
2.	06/03/2026	Waru, Sidoarjo	24	2	48
3.	15/05/2026	Waru, Sidoarjo	24	2	48
4.	22/05/2026	PT. BPP Jabon	18	2	36
Total jarak tempuh					168

Diketahui jenis kendaraan pengangkut Limbah B3 merupakan truk yang diperkirakan konsumsi bahan bakarnya adalah 14 Km/L. Selanjutnya dapat kita analisa untuk emisi GRK yang dihasilkan oleh sektor transportasi pada contoh perhitungan dan Tabel 4.1.

Jarak tempuh Kendaraan = 168 Km

Konsumsi Bahan Bakar = 14 Km/L

$$\begin{aligned}
 \text{Konsumsi Bahan Bakar} &= \frac{\text{Jarak tempuh (Km/bulan)}}{\text{Konsumsi Bahan Bakar (Km/L)}} \\
 &= \frac{168 \text{ Km/hari}}{14 \text{ Km/L}} \\
 &= 12 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Fuel a (TJ) = Konsumsi BB x Nilai Kalor TJ/Liter

$$= 12 \text{ L} \times 0,000033 \text{ TJ/Liter}$$

$$= 0,00036 \text{ TJ/Tahun}$$

Fuel Emission (CO₂) = *Fuel a* x Ef_a (kg CO₂/TJ) x Nilai GWP CO₂

$$= 0,00036 \text{ TJ} \times 69300 \text{ kg CO}_2/\text{TJ} \times 1 \text{ CO}_2\text{eq}$$

$$= 24,98 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Fuel Emission (CH}_4\text{)} &= \text{Fuel } a \times \text{Ef}_a \text{ (kg CH}_4\text{/TJ)} \times \text{Nilai GWP CH}_4 \\
 &= 0,00036 \text{ TJ} \times 3 \text{ kg CH}_4\text{/TJ} \times 28 \text{ CO}_2\text{eq} \\
 &= 0,03 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun} \\
 \text{Fuel Emission (N}_2\text{O)} &= \text{Fuel } a \times \text{Ef}_a \text{ (kg N}_2\text{O/TJ)} \times \text{Nilai GWP N}_2\text{O} \\
 &= 0,00036 \text{ TJ} \times 0,6 \text{ kg N}_2\text{O /TJ} \times 273 \text{ CO}_2\text{eq} \\
 &= 0,05 \text{ Kg CO}_2\text{/Tahun}
 \end{aligned}$$

Emisi GRK untuk transportasi pengangkut Limbah B3 yakni sebesar 25,06 Kg CO₂/Tahun. Sehingga total akumulasi dari sektor transportasi sebesar 6.882,8 Kg CO₂/Tahun.

Dari hasil analisis emisi GRK tersebut menyatakan bahwa kendaraan 2 merupakan penghasil emisi tertinggi dari sektor transportasi. Hasil ini sejalan dengan penelitian Erza Guspita Sari (2021), yang mengungkapkan bahwa jarak tempuh kendaraan memiliki korelasi positif terhadap besaran emisi CO₂, yang mana semakin tinggi jarak perjalanan maka semakin besar konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan.

4.2.4 Sampah domestik

Sampah adalah segala sesuatu yang tidak lagi memiliki kegunaan atau manfaat dan perlu dibuang. Sampah yang dihasilkan sebagai bagian dari aktivitas manusia telah merugikan lingkungan (Dobiki, 2018). Sampah yang dibuang di TPA akan menghasilkan gas akibat terjadinya proses degradasi anaerobic dari sampah biodegradable. CH₄ dan CO₂ merupakan komponen utama gas yang dihasilkan dari proses tersebut. Sampah yang diterima di TPA akan dipilah menjadi beberapa jenis seperti sampah kayu, sampah plastik, dan sampah kardus atau kertas.

Namun secara khusus sampah domestik yang ada di lokasi studi penelitian adalah sampah dari hasil sisa penunjang dari semua aktivitas manusia. Emisi CH₄ yang dihasilkan dari sampah domestik dihitung berdasarkan jumlah timbulan dan komposisi sampah yang dibuang. Data berat dan komposisi sampah diperoleh melalui kegiatan sampling yang dilakukan mengacu pada SNI 19-3964-1994 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan

Komposisi Sampah Perkotaan, sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik sampah domestik yang dihasilkan pada lokasi penelitian. Hasil pengukuran timbulan dan komposisi sampah tersebut selanjutnya digunakan sebagai data aktivitas dalam perhitungan emisi CH₄ dari sektor persampahan. Data komposisi sampah domestik yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 19 Komposisi timbulan sampah

Jenis sampah	Rata - rata timbulan (Kg)
Sisa Makanan	2,013
Kayu/Daun kering	0,598
Plastik	0,465
Kertas/Kardus	0,092

Contoh Perhitungan:

Berat komposisi Sisa Makanan (W) : 2,01375 Kg/hari

Faktor koreksi metana (MCF) : 0,8 (IPCC,2019)

Degradable Organic Carbon (DOC) : 15%

= 0,15 (sisa makanan) default 100 % IPCC, 2019

Fraksi dari DOC (DOCf) : 0,5

Fraksi CH₄ (F) : 0,5

Recovery CH₄ (R) : 0

Faktor oksidasi (OX) : 0,1

Rasio berat molekul CH₄/C : 16/12

GWP : 28 (IPCC, 2019)

Contoh Perhitungan:

$$DDOCm = W \times MCF \times DOC \times DOCf$$

$$= 2,01375 \times 0.8 \times 15\% \times 0.5$$

$$= 0,12$$

$$\text{Jumlah CH}_4 \text{ (Lo)} = DDOCm \times F \times 16/12$$

$$= 0,12 \times 0,5 \times 16/12$$

$$= 0,08$$

$$\text{Total Emisi CH}_4 = (\text{Jumlah Metana} - R) \times (1 - OX)$$

$$\begin{aligned}
&= (0,08 - 0) \times (1 - 0,1) \\
&= 0,0724 \text{ Kg CH}_4 \text{ eq} \\
\text{Emisi CO}_2 &= \text{Total Emisi CH}_4 \times ((1 - F) / F + \text{OX}) \times \text{GWP} \\
&= 0,0724 \times ((1 - 0,5) / 0,5 + 0,1) \times 28 \\
&= 2,231 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \\
\text{Total emisi} &= (\text{Total Emisi CH}_4 + \text{Emisi CO}_2) \times 280 \\
&= (0,0724 + 2,231) \times 280 \text{ hari} \\
&= 645,094 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq / tahun}
\end{aligned}$$

Tabel 4. 20 Total Emisi GRK

Jenis Sampah	Total Emisi (kg CO ₂ eq/tahun)
Sisa Makanan	645,0948
Kayu/Daun kering	550,187064
Plastik	993,6864
Kertas/Kardus	78,853824

Perhitungan komposisi sampah untuk setiap jenis sampah lainnya disajikan secara lengkap pada Lampiran E. Menurut Setyo Prabowo dkk. (2019), *Degradable Organic Carbon* (DOC) akan berpengaruh pada tingkat emisi CH₄ yang dihasilkan sampah. Semakin tinggi kandungan DOC dalam suatu jenis sampah, maka semakin besar pula potensi pembentukan gas metana yang dapat dilepaskan ke lingkungan. Besarnya nilai DOC pada setiap jenis sampah umumnya ditentukan oleh komposisi sampah berdasarkan persentase berat, yang mana masing-masing fraksi sampah memiliki karakteristik kandungan karbon yang berbeda. Sampah organik seperti sisa makanan, kertas, dan kayu cenderung memiliki nilai DOC yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampah anorganik seperti plastik, logam, dan kaca. Oleh karena itu, variasi komposisi sampah akan secara langsung memengaruhi nilai DOC total dan tingkat emisi CH₄ yang dihasilkan.

4.2.5 Septic Tank

Menurut Natsir dkk. (2021), *black water* adalah limbah cair yang berasal toilet, dan *septic tank*. *Septic tank* atau biasa disebut *black water* menghasilkan gas CH_4 . Gas CH_4 merupakan salah satu gas emisi karbon yang bisa menyebabkan GRK apabila tidak digunakan atau tidak memanfaatkan. Sebagian besar gas CH_4 yang berasal dari *septic tank* di permukiman tidak dimanfaatkan sebagai sumber energi bahan bakar.

Perhitungan dalam menentukan emisi CO_2 dari *septic tank* adalah dengan mengkonversi nilai emisi CH_4 ke CO_2 . Menurut IPCC (2019) faktor yang paling menentukan untuk menghitung emisi dari *septic tank* adalah konsentrasi kadar BOD pada *septic tank* dan jumlah penghuni namun dalam jumlah penghuni diganti dengan jumlah pekerja.

Nilai konsentrasi BOD yang digunakan sebagai data aktivitas diperoleh melalui pengambilan sampel air limbah domestik pada saluran menuju septic tank dan dianalisis secara langsung di laboratorium. Proses pengambilan sampel dilakukan mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah, sedangkan pengujian parameter BOD mengacu pada SNI 6989.72:2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD). Dengan demikian, nilai BOD yang digunakan dalam perhitungan emisi merupakan hasil pengukuran aktual di lokasi penelitian sehingga dapat menggambarkan karakteristik air limbah domestik yang dihasilkan. Laporan hasil uji BOD secara lengkap disajikan pada Lampiran F.

Perhitungan emisi CO_2 dari septic tank pada lokasi studi menggunakan Persamaan (2.8) sampai dengan Persamaan (2.11).

Emisi yang dihitung terlebih dahulu berupa emisi CH_4 berdasarkan nilai BOD dan jumlah pekerja, kemudian dikonversi menjadi emisi CO_2 -ekuivalen menggunakan nilai GWP sesuai pedoman IPCC (2019).

$$\text{Bo} = 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BoD} \quad (\text{IPCC, 2019})$$

$$\text{MCF} = 0,5 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

$$\text{GWP} = 28 \quad (\text{IPCC, 2019})$$

$$\text{P} = 41 \text{ Orang}$$

Kadar BOD = 23,8 mg/L

Debit air limbah domestik = 150 L/orang/hari (IPCC, 2019)

Maka,

$$\begin{aligned}\text{BOD harian} &= 23,8\text{mg/L} \times 150\text{L/orang/hari} \\ &= 3.570\text{mg/orang/hari} \\ &= 3,57\text{g/orang/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total beban BOD} &= P \times \text{BOD harian} \\ &= 41 \times 3,57\text{g/orang/hari} \\ &= 146,37\text{gram/hari} \\ &= 0,14637 \text{ kg BOD/hari}\end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai Total beban BOD harian, langkah selanjutnya yaitu menentukan nilai emisi CH₄ dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\text{Emisi CH}_4 &= \text{BOD} \times B_0 \times \text{MCF} \\ &= 0,14637 \times 0,6 \times 0,5 \times 280 \\ &= 12,295 \text{ kg CH}_4/\text{tahun}\end{aligned}$$

Nilai 280 merupakan jumlah hari kerja pada bulan April 2025 – Maret 2026. Besarnya nilai total kandungan organik pada air limbah dipengaruhi oleh jumlah pekerja (P) dalam lokasi studi penelitian. Langkah selanjutnya mengkonversi nilai emisi CH₄ ke CO₂ menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{-eq} &= \text{Emisi CH}_4 \times \text{GWP} \\ &= 12,295 \text{ kg CH}_4 \times 28 \\ &= 344,26 \text{ kg CO}_2\text{-eq}\end{aligned}$$

Dapat dilihat dari perhitungan di atas untuk emisi GRK yang dikeluarkan oleh *septic tank* pada 1 tahun sebesar 344,26 kg CO₂-eq. Jumlah emisi gas CH₄ dan CO₂ dari *septic tank* ini berbanding lurus dengan jumlah penduduk yang menggunakan septic tank pada suatu daerah. Menurut Sasmita (2022), semakin banyak yang menggunakan septic tank maka akan semakin tinggi pula emisi gas CH₄ dan CO₂ yang dihasilkan. Hal ini selaras dengan jumlah emisi gas rumah kaca dari *septic tank* dengan jumlah penduduk atau pekerja yang berada di Lokasi studi penelitian.

4.2.6 Limbah B3

Permasalahan limbah B3 merupakan salah satu permasalahan penting dalam lingkungan industri yang perlu mendapat perhatian (Sitogasa & Alim, 2023). Semakin besar industri (kegiatan/usahanya), maka semakin banyak pula limbah B3 yang dihasilkan. Limbah B3 merupakan salah satu penyumbang emisi lingkungan terbesar pada industri kering. Limbah B3 sebagian besar dihasilkan dari penggunaan bahan, produk, dan produk samping dari proses produksi utama serta fasilitas pendukungnya.

Data Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3) dalam penelitian ini diperoleh melalui pengukuran secara langsung yang tercatat dalam logbook dibantu oleh karyawan di Industri fabrikasi selama bulan Januari sampai bulan Juni. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Jumlah Limbah B3

Bulan	Jumlah timbulan (Kg)		
	Kain majun bekas	Oli bekas	Kemasan bekas B3
Januari	17	42,5	3
Februari	19	42,5	-
Maret	12	42,5	-
April	12	42,5	4,5
Mei	12	21,25	-
Juni	11	21,25	2

Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai emisi GRK yang dihasilkan dari timbulan LB3. Penentuan nilai emisi GRK timbulan LB3 dilakukan berdasarkan persamaan 2.12 – 2.14 yang disajikan pada Tabel 4.22 – 4.24.

Contoh perhitungan :

1. Kain majun bekas

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum (SW_i \times dmi \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44/12) \text{ Kg CO}_2$$

$$\text{Emisi CO}_2 = (17 \text{ kg} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1) \times (44/12)$$

$$= 25,24 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{Emisi CH}_4 = (25,24 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \times 0,2) \times 10^{-6} \text{ Kg CH}_4$$

$$= 0,000005048 \text{ Kg CH}_4$$

$$\text{Emisi N}_2\text{O} = (25,24 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \times 1) \times 10^{-6} \text{ Kg N}_2\text{O}$$

$$= 0,00002524 \text{ Kg N}_2\text{O}$$

Sedangkan untuk mencari CO₂ Eq (*Ekuivalen*) atau biasa yang disebut satuan pengukuran yang digunakan untuk menstandarisasi dampak iklim berbagai gas rumah kaca harus dikalikan dengan nilai *Global Potential Warming (GWP)* untuk menyetarakan emisi menjadi CO₂ Eq (*Ekuivalen*) dengan menggunakan rumus :

$$\text{CO}_2 \text{ Eq} = \text{Emisi GRK} \times \text{GWP}$$

Dengan :

$$\text{GWP CO}_2 = 1$$

$$\text{GWP CH}_4 = 21$$

$$\text{GWP N}_2\text{O} = 310$$

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ ke CO}_2 \text{ Eq} &= 25,24 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq} \times 1 \\ &= 25,24 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ ke CO}_2 \text{ Eq} &= 0,000005048 \text{ Kg CH}_4 \times 21 \\ &= 0,000106029 \text{ Kg CO}_2\text{Eq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2\text{O ke CO}_2\text{Eq} &= 0,00002524 \text{ Kg N}_2\text{O} \times 310 \\ &= 0,00782 \text{ Kg CO}_2\text{Eq} \end{aligned}$$

Tabel 4. 22 Total Emisi GRK Kain majun bekas

Bulan	Kain majun bekas				
	Jumlah timbulan	CO ₂ (KgCO ₂ Eq)	CH ₄ (KgCO ₂ Eq)	N ₂ O (KgCO ₂ Eq)	Total Emisi (KgCO ₂ Eq)
Januari	17	25,245	0,000106029	0,007826	25,25293
Februari	19	28,215	0,000118503	0,008747	28,22387
Maret	12	17,82	0,000074844	0,005524	17,8256
April	12	17,82	0,000074844	0,005524	17,8256
Mei	12	17,82	0,000074844	0,005524	17,8256
Juni	11	16,335	0,000068607	0,005064	16,34013

Tabel 4. 23 Total Emisi GRK Oli bekas

Bulan	Oli bekas				
	Jumlah timbulan	CO ₂ (KgCO ₂ Eq)	CH ₄ (KgCO ₂ Eq)	N ₂ O (KgCO ₂ Eq)	Total Emisi (KgCO ₂ Eq)
Januari	42,5	155,83	-	-	155,83
Februari	42,5	155,83	-	-	155,83

Bulan	Oli bekas				
	Jumlah timbunan	CO2 (KgCO2 Eq)	CH4 (KgCO2 Eq)	N2O (KgCO2Eq)	Total Emisi (KgCO2Eq)
Maret	42,5	155,83	-	-	155,83
April	42,5	155,83	-	-	155,83
Mei	21,25	77,916	-	-	77,916
Juni	21,25	77,916	-	-	77,916

Tabel 4. 24 Total Emisi GRK Kemasan bekas B3

Bulan	Kemasan bekas B3				
	Jumlah timbunan	CO2 (KgCO2 Eq)	CH4 (KgCO2 Eq)	N2O (KgCO2Eq)	Total Emisi (KgCO2Eq)
Januari	3	4,455	0,000018711	0,00138105	4,456
Februari	-	-	-	-	-
Maret	-	-	-	-	-
April	4,5	6,6825	2,80665E-05	0,002071575	6,684
Mei	-	-	-	-	-
Juni	2	2,97	0,000012474	0,0009207	2,97

Karena data timbunan limbah B3 yang diperoleh hanya mencakup periode 6 bulan, estimasi emisi tahunan dilakukan dengan mengalikan hasil perhitungan tersebut dengan faktor dua. Pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa aktivitas operasional dan pola timbunan limbah berlangsung relatif konstan sepanjang tahun, serta sesuai dengan pedoman IPCC 2019 yang memperbolehkan proyeksi data periodik menjadi tahunan apabila bersifat representatif.

Untuk memperoleh estimasi emisi tahunan, data 6 bulan tersebut dapat dikonversi ke nilai tahunan dengan mengalikan 2, selama asumsi bahwa aktivitas operasional dan karakteristik limbah relatif konsisten sepanjang tahun. Dengan demikian,

$$\text{Emisi Tahunan Limbah B3} = 916,57 \times 2 = 1.833,14 \text{ kg CO}_2\text{-eq/tahun}$$

4.3 Akumulasi Emisi

Akumulasi emisi gas rumah kaca (GRK) pada kegiatan industri ini berasal dari proses utama dan proses penunjang, yang jika digabungkan menunjukkan kontribusi emisi yang cukup signifikan dari berbagai sektor. Emisi GRK didominasi oleh sektor energi listrik sebesar 15.562 kg CO₂/tahun, sektor gas tabung CO₂ sebesar 693,23 kg CO₂/tahun, sektor transportasi sebesar 6.882,75 kg CO₂/tahun, sampah domestik sebesar 1.274,14 kg CO₂, limbah cair domestik sebesar 344,26 kg

CO₂, dan limbah bahan berbahaya dan beracun (LB3) sebesar 1.883,14 kg CO₂, sehingga total akumulasi emisi GRK dari seluruh kegiatan mencapai 27.582,71kg CO₂/tahun. Hasil akumulasi ini menunjukkan bahwa sektor energi listrik dan penggunaan BBM merupakan kontributor utama emisi, sehingga keduanya menjadi prioritas dalam upaya mitigasi dan pengurangan emisi gas rumah kaca.

Berdasarkan data di atas emisi karbon sebesar 27.582,71 kg CO₂ per tahun. Angka tersebut pada industri manufaktur fabrikasi tergolong relatif rendah jika dibandingkan dengan emisi industri fabrikasi skala menengah hingga besar (S. Kumar, 2023). Nilai ini menunjukkan bahwa aktivitas produksi masih berada pada skala kecil dengan konsumsi energi yang terbatas.

4.4 Upaya Mitigasi

Potensi peningkatan emisi seiring dengan bertambahnya kapasitas dan intensitas produksi. Melakukan minimalisasi jejak karbon di industri fabrikasi dengan memberikan alternatif berupa kebijakan dan perubahan perilaku dan pembuatan Jalur Hijau Adapun Alternatif yang dapat dilakukan. Upaya mitigasi emisi GRK pada sektor industri memiliki beberapa manfaat penting. Pertama, mitigasi membantu menurunkan intensitas karbon dari proses produksi, sehingga mengurangi kontribusi sektor industri terhadap emisi nasional. Kedua, penerapan strategi mitigasi seperti peningkatan efisiensi energi, penggunaan sumber energi terbarukan, dan optimasi operasi dapat meningkatkan daya saing industri melalui pengurangan biaya energi dalam jangka panjang (Smith *et al.*, 2020).

4.4.1 Ruang Terbuka Hijau



Gambar 4. 1 Layout industri Fabrikasi Tampak Atas

Industri fabrikasi ini memiliki ruang terbuka hijau (RTH) dengan skala rumahan yang berada di sekitar area operasional industri. Meskipun luasnya relatif terbatas, keberadaan vegetasi pada RTH tetap berperan dalam menyerap karbon dioksida (CO₂), yang merupakan gas rumah kaca (GRK) dengan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global, melalui proses fotosintesis. Menurut IPCC (2019), peningkatan tutupan vegetasi merupakan salah satu bentuk *carbon sink* yang berfungsi menyerap CO₂ dari atmosfer sehingga dapat mengurangi konsentrasi GRK. Sejalan dengan itu, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 menyatakan bahwa ruang terbuka hijau memiliki fungsi ekologis sebagai penyerap karbon dan pendukung kualitas lingkungan perkotaan. Oleh karena itu, dilakukan analisis terhadap kemampuan daya serap RTH di lokasi studi untuk mengetahui besarnya potensi penyerapan CO₂ yang dapat mengimbangi sebagian emisi GRK yang dihasilkan dari aktivitas industri fabrikasi. Perhitungan daya serap RTH dilakukan berdasarkan jenis vegetasi dan luas tajuk pohon yang terdapat di lokasi penelitian. Adapun besarnya daya serap RTH dihitung menggunakan persamaan 2.15.

$$\sum DS = \sum \text{Jenis pohon} \times \text{DSPohon} \times \text{L tajuk}$$

Dengan,

Jumlah pohon	= 5 pohon
DSPohon	= 129,92 Kg/Ha/jam
Asumsi diameter tajuk	= 4 m
L tajuk	= $3,14 \times (2)^2$ = 12,56 m ²

$$\begin{aligned} \sum DS &= 5 \times 129,92 \text{ Kg/Ha/jam} \times 12,56 \text{ m}^2 \\ &= 0,8159 \text{ kg CO}_2/\text{jam} \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai daya serap karbon yang semula dinyatakan dalam satuan kg CO₂/jam dikonversi ke satuan kg CO₂/tahun agar memiliki satuan yang sama dengan hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) pada penelitian ini.

$$0,8159 \text{ kg CO}_2/\text{jam} \times 8.760 \text{ jam/tahun} = 7.146,07 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, ruang terbuka hijau (RTH) yang terdapat di lokasi penelitian dengan jumlah 5 pohon dan luas tajuk total sebesar 62,80 m² memiliki kemampuan menyerap karbon dioksida (CO₂) sebesar 7.146,07 kg CO₂/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa vegetasi yang tersedia di kawasan industri memberikan kontribusi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang mampu mengurangi sebagian emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari aktivitas operasional perusahaan.

4.4.2 Upaya Mitigasi pada Sektor Energi Listrik

Kebijakan mitigasi dampak gas rumah kaca (GRK) yang paling prioritas adalah mengurangi emisi CO₂. Penggunaan panel surya (PLTS) merupakan salah satu upaya strategis dalam mereduksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK), khususnya emisi CO₂ yang berasal dari konsumsi listrik berbasis bahan bakar fosil. Energi surya termasuk energi terbarukan yang menghasilkan listrik tanpa proses pembakaran, sehingga hampir tidak menimbulkan emisi langsung selama tahap operasional (Akhil Kadiyala dkk., 2017). Laporan *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* yang disusun oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2019, secara komprehensif menyatakan bahwa perluasan penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya memiliki potensi besar untuk menggantikan energi fosil di sektor pembangkit listrik, sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) secara substansial dalam skala sistem energi nasional dan global.

Perhitungan kebutuhan panel surya dapat dilihat pada contoh perhitungan berikut:

Total Konsumsi Listrik/tahun	=	18.350,8	kWh/tahun
Nilai 1 kWp	=	1.400	kWh/tahun
Kapasitas panel	=	550	Wp
Rencana jumlah pemasangan panel	=	8	unit
Total kapasitas terpasang	=	4.400	Wp
	=	4,4	kWp
Total produksi energi	=	total kapasitas terpasang x nilai 1 kWp	
	=	6.160	kWh/tahun
Sisa kebutuhan listrik yang masih dipasok PLN	=	12.190,8	kWh/tahun

$$\begin{aligned}\text{Persentase reduksi} &= 0,33568 \\ &= 33,60\% \quad \text{Per tahun}\end{aligned}$$

Pengaplikasian panel surya (PLTS) pada industri ini dilakukan dengan memasang delapan unit panel surya berkapasitas 550 Wp, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 4,4 kWp. Dengan kapasitas tersebut, sistem PLTS mampu memproduksi energi listrik sebesar 6.160 kWh per tahun, yang setara dengan pengurangan kebutuhan listrik dari jaringan konvensional sebesar 33,6% dari total konsumsi listrik tahunan industri. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian kebutuhan energi telah dipenuhi oleh sumber energi terbarukan, sehingga ketergantungan terhadap listrik yang dipasok oleh PLN yang masih didominasi pembangkit berbasis bahan bakar fosil dapat ditekan secara signifikan. Dampaknya, emisi gas rumah kaca dari penggunaan listrik turut berkurang; berdasarkan perhitungan, sisa emisi CO₂ setelah penerapan PLTS adalah sebesar 10.338 kg CO₂/tahun. Dengan demikian, pemasangan 8 unit panel surya berkapasitas 550 Wp tidak hanya meningkatkan kemandirian energi industri, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam upaya mitigasi emisi CO₂ secara berkelanjutan. Spesifikasi unit panel surya dapat dilihat pada Lampiran G.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *payback period* untuk mengetahui waktu pengembalian investasi PLTS.

Perhitungan *payback period*:

Komponen	Estimasi Biaya
8 panel surya (8 × Rp2.510.000)	Rp20.080.000
Inverter 5 kW	Rp10.000.000
Rangka pemasangan	Rp5.000.000
Kabel, konektor, dan proteksi	Rp3.000.000
Biaya instalasi dan pengujian	Rp5.000.000
Total investasi	Rp43.080.000

- Penghematan biaya listrik per tahun

$$\begin{aligned}\text{Penghematan biaya} &= \text{Total produksi energi} \times \text{Harga Listrik/kWh} \\ &= 6.160 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp1.445/kWh} \\ &= \text{Rp 8.901.200/tahun}\end{aligned}$$

- Perhitungan *Payback Period*

$$\begin{aligned}
 \text{Payback Period} &= \frac{\text{Penghematan biaya listrik/tahun}}{\text{Total investasi}} \\
 &= \frac{\text{Rp 8.901.200 / tahun}}{\text{Rp 43.080.000}} \\
 &= 4,84 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ekonomi, investasi PLTS diperkirakan mencapai *payback period* selama 4,84 tahun sebelum biaya investasi dapat kembali.

Upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dari sektor penggunaan listrik penunjang dapat dilakukan melalui penerapan penghematan energi pada sistem pendingin ruangan (*air conditioner/AC*). Salah satu langkah eliminasi yang dapat diterapkan adalah mematikan AC selama kurang lebih satu jam pada waktu istirahat, sehingga konsumsi listrik dapat dikurangi secara langsung tanpa mengganggu aktivitas operasional. Selain itu, langkah pengurangan emisi juga dapat dilakukan dengan mengatur suhu ruangan minimal pada 25°C sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 31 Tahun 2005 tentang Tata Cara Penghematan Energi. Menurut Widyastuti, L. R. (2018), pengaturan suhu AC pada batas tersebut dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, mengurangi beban kerja peralatan, serta menurunkan konsumsi listrik secara signifikan. Dengan berkurangnya konsumsi listrik, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkitan energi listrik juga dapat ditekan, sehingga berkontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim.

4.4.3 Upaya Mitigasi pada Sektor Transportasi

Sektor industri merupakan salah satu sektor yang memiliki kontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), terutama akibat penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil dalam proses operasionalnya. Salah satu subsektor yang turut berkontribusi adalah industri fabrikasi, yang umumnya operasional. Kondisi tersebut menyebabkan adanya potensi peningkatan emisi CO₂ yang tidak hanya berasal dari proses produksi, tetapi juga dari aktivitas pendukung seperti penggunaan kendaraan operasional di lingkungan industri. Berbagai upaya mitigasi emisi GRK pada sektor industri

dapat dilakukan melalui pendekatan teknis maupun non-teknis. Menurut Avrilla Rosie dkk. (2026), dalam penelitiannya menyatakan bahwa implementasi *smart driving* menjadi salah satu strategi mitigasi yang efektif dalam menurunkan emisi GRK melalui penerapan pola berkendara yang efisien, antara lain menjaga kestabilan kecepatan dan melakukan perawatan kendaraan secara berkala. Pernyataan ini selaras dengan kajian yang dilakukan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2013), penerapan metode ini berpotensi menurunkan emisi GRK hingga 20%, sehingga relevan untuk diterapkan di Lokasi studi dengan tingkat aktivitas kendaraan bermotor yang intensitasnya cukup tinggi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca pada skenario mitigasi di Lokasi studi mencapai sebesar 6.857,7 Kg CO₂eq/tahun. Setelah diterapkan strategi *smart driving*, total emisi mengalami penurunan menjadi 5.468,2 Kg CO₂eq/tahun, sehingga diperoleh pengurangan emisi sebesar 1.371,5 Kg CO₂eq/tahun. Penurunan ini mengindikasikan bahwa perubahan perilaku berkendara dapat memberikan kontribusi nyata dalam menekan emisi GRK dari sektor transportasi.

Upaya lain mitigasi sektor transportasi dapat dilakukan dengan merancang ulang pola perilaku mobilitas masyarakat dan logistik, salah satunya melalui pengalihan sistem pembelian ke sistem pengiriman (*delivery*) yang lebih terintegrasi. Dengan demikian, industri fabrikasi tidak lagi melakukan perjalanan pribadi untuk membeli barang secara langsung, tetapi menggantinya dengan layanan pengiriman terpusat. Hal tersebut dapat mengurangi jumlah perjalanan kendaraan pribadi serta jarak tempuh total moda transportasi, sehingga berpotensi memangkas emisi karbon dioksida (CO₂) dari kegiatan mobilitas (Susanne Feichtinger, 2021).

Pemangkasan rute transportasi dalam skenario mitigasi ini dapat diidentifikasi dan dianalisis melalui data lokasi dan distribusi *supplier* pada Lampiran D. Hasil pengurangan jarak tempuh disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Pemangkasan Rute Kendaraan Operasional

Jenis Kendaraan	Total jarak semula (Km)	Total jarak sesudah pemangkasan (Km)
Kendaraan 1	1.576	1.243,2
Kendaraan 2	1910	1564,6

Selanjutnya dapat kita analisa untuk emisi GRK yang dihasilkan pada contoh perhitungan dan Tabel 4.26.

$$\text{Jarak tempuh Kendaraan} = 1.243,2 \quad \text{Km}$$

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = 14 \quad \text{Km/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi Bahan Bakar (L/tahun)} &= \frac{\text{Jarak tempuh (Km/bulan)}}{\text{Konsumsi Bahan Bakar (Km/L)}} \times 12 \text{ Bulan} \\ &= \frac{1.243,2 \text{ Km/hari}}{14 \text{ Km/L}} \times 12 \text{ Bulan} \\ &= 1.350 \text{ L/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel } a \text{ (TJ)} &= \text{Konsumsi BB (L/tahun)} \times \text{Nilai Kalor TJ/Liter} \\ &= 1.243,2 \text{ L/Tahun} \times 0,000033 \text{ TJ/Liter} \\ &= 0,035 \text{ TJ/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel Emission (CO}_2\text{)} &= \text{Fuel } a \times \text{Ef}_a \text{ (kg CO}_2\text{/TJ)} \times \text{Nilai GWP CO}_2 \\ &= 0,035 \text{ TJ/Tahun} \times 69300 \text{ kg CO}_2\text{/TJ} \times 1 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 2.436,9 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel Emission (CH}_4\text{)} &= \text{Fuel } a \times \text{Ef}_a \text{ (kg CH}_4\text{/TJ)} \times \text{Nilai GWP CH}_4 \\ &= 0,035 \text{ TJ/Tahun} \times 3 \text{ kg CH}_4\text{/TJ} \times 28 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 2,95 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fuel Emission (N}_2\text{O)} &= \text{Fuel } a \times \text{Ef}_a \text{ (kg N}_2\text{O/TJ)} \times \text{Nilai GWP N}_2\text{O} \\ &= 0,035 \text{ TJ/Tahun} \times 0,6 \text{ kg N}_2\text{O /TJ} \times 273 \text{ CO}_2\text{eq} \\ &= 5,7 \text{ KgCO}_2\text{/Tahun} \end{aligned}$$

Tabel 4. 26 Total Penurunan Emisi

Jenis Kendaraan	CO2 (KgCO2 Eq)	CH4 (KgCO2 Eq)	N2O (KgCO2Eq)	Total Emisi (kg CO₂eq/tahun)
Daihatsu Grand Max Pick Up (mobil 1)	2.436,92	2,95	5,7	2.445,63
Daihatsu Grand Max Pick Up (mobil 2)	3.066,92	3,71	7,249	3077,89
Total Emisi dalam 1 Tahun				5.523,5

Penurunan emisi pada sektor transportasi melalui metode pemangkasan rute menunjukkan hasil yang signifikan. Penerapan strategi ini mampu menurunkan jarak tempuh kendaraan operasional sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih efisien. Dengan berkurangnya penggunaan bahan bakar fosil, emisi gas rumah kaca yang dihasilkan juga ikut menurun. Berdasarkan hasil perhitungan, penerapan metode pemangkasan rute mampu menurunkan emisi sektor transportasi sebesar 19,45%, sehingga emisi berkurang dari 6.857,7 kg CO₂eq/tahun menjadi 5.523,5 kg CO₂eq/tahun.. Hal ini menunjukkan bahwa pengalihan sistem pembelian menjadi delivery, merupakan upaya mitigasi yang efektif dalam menekan emisi GRK dari sektor transportasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Industri fabrikasi menghasilkan limbah B3 berupa kain majun bekas, oli bekas, dan kemasan bekas B3. Oli bekas menjadi limbah yang paling dominan dengan timbulan sebesar 750 L selama 6 bulan, sehingga sektor limbah B3 menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 1.833,1 kg CO₂-eq.
2. Total emisi Gas Rumah Kaca (GRK) eksisting yang dihasilkan oleh fasilitas manufaktur fabrikasi berasal dari sektor energi listrik, bahan bakar minyak transportasi, sampah domestik, septic tank dan Limbah B3 adalah sebesar 27.582,71 Kg CO₂eq/tahun dan kontributor terbesar berasal dari konsumsi sumber energi listrik dengan sumbangan sebesar 59% dari total emisi.
3. Upaya mitigasi yang direkomendasikan meliputi pemasangan panel surya, optimasi rute transportasi, dan penambahan ruang terbuka hijau (RTH) untuk penyerapan emisi langsung. Pemasangan panel surya mampu menurunkan emisi listrik sebesar 33,6% atau setara 5.224 kg CO₂-eq/tahun.

5.2 Saran

1. Perhitungan serta pemantuan maupun (logbook) pada penelitian selanjutnya wajib melakukan secara rinci dan detail sehingga emisi di setiap kegiatan bisa terekap secara baik.
2. Penelitian ini dapat diperinci dengan perhitungan neraca massa per unit proses.
3. Dilakukan studi lebih lanjut tentang titik *hotspot* pada seluruh kegiatan yang terdapat pada industri fabrikasi

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L.M. 2009. Penentuan Faktor Emisi HC, CO, Dan CO₂ Pada Pembakaran Sampah Secara Terbuka. *Tugas Akhir Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Dhea, C., Mardhatillah, U., & Jingga, F. P. (2022). Greenhouse Effect Triggers Of Global Warming And Countermeasures. 328–340.
- IPCC. 2019. “IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems”.
- IPCC. 2019. “2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Workbook” (Volume 2 Energy). <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI. 2016. “Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi”. Cetakan I. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup RI. 2012. “Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional”. Buku II – Vol. Deputi Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup dan Perubahan Iklim Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Volume ke- 1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2012). Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Buku II Volume 4 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup.
- Laksono, B. A., & Damayanti, A. (2014). Analisis kecukupan jumlah vegetasi dalam menyerap karbon monoksida (CO) dari aktivitas kendaraan bermotor di jalan Ahmad Yani Surabaya. *Jurnal Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Mulyana, A., & Wirahadikusumah, R. D. (2017). Analisis Konsumsi Energi dan Emisi Gas Rumah Kaca pada Tahap Konstruksi Studi Kasus: Konstruksi Jalan Cisumdawu. *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 24(3), 269-280.
- Rahmadania, N. (2022). Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penanggulangannya. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(3).

- Subiantoro, D. (2008). Pemanasan Global untuk Pemula. *Yogyakarta: Penambahan*.
Diakses dari <http://books.google.com/books>.
- Sudarman, S. (2010). Meminimalkan Daya Dukung Sampah Terhadap Pemanasan Global. *Profesional: Jurnal Ilmiah Populer dan Teknologi Terapan*, 8(1), 161388.
- Efi, Lismiyah., Marselina. (2024). *The Causality Between Energy Consumption and Carbon Emission in Indonesia*. *Jurnal Riset Ilmu Ekonomi*, Vol 4 (1).
- Andi, M., & Praditya, S. (2024). Estimasi Dampak *Global Warming Potential* Limbah B3 Tambang *Limestone* Pabrik Semen dengan Sistem Pengolahan Insinerasi Menggunakan Metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). *EnviroUS* Vol.4, No. 2.
- Wahyu, P. (2019). Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Sektor Sampah Perkotaan di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol.10, No. 1.
- Setyo, P., & Pranoto, (2019). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) di Jawa Tengah. *Bioeksperimen*, Vol. 5, No. 1.
- Djoko, S., & Iman, B, (2022). Analisa Kebijakan Mitigasi Dampak dan Strategi Penurunan Gas Rumah Kaca di PT XYZ Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, Volume 22, Nomor 2.
- Avrilla, Rosnie., & Erika, Herliana, (2025). Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Transportasi dan Kapasitas Penyerapan Karbon Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Buahitu Kota Bandung. *Prosiding SINERGI* Volume 2.
- Dzackirendy, Springfield, (2025). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Transportasi Pelaksanaan Mudik Gratis Bus dan Bus Trans Jatim. *Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains* Vol. 4, No. 1.
- Dewi, Handayani. (2022). Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus *Journal of Tropical Environmental Research* (2022) 24 (1): 29–36.Kabupaten Magetan).
- Aryo, Sasmita., & Elvi, Yenie. (2022). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Limbah Padat dan Air Limbah Domestik di Kota Pekanbaru. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Volume 14, Nomor 1.
- Susanne, F., & Manfred, G. (2021). *The Environmental Impact of Transport Activities for Online and In-Store Shopping: A Systematic Literature Review to Identify Relevant Factors for Quantitative Assessments*. *Sustainability* 2021, 13, 2981.



CV TRI STAR PERDANA TEKNIK General Engineering Contractor
Office & Workshop : Ds Durung Bedug RT 05 RW 01 Kec. Candi – Sidoarjo
Telp / Fax : 031 – 8853214 / 031 – 8853214

LAMPIRAN A

Logbook Limbah B3 Lokasi Studi Penelitian

LOGBOOK LIMBAH B3 2026 CV TRI STAR PERDANA TEKNIK

MASUKNYA LIMBAH B3 KE TPS					KELUARNYA LIMBAH B3 DARI TPS			
NO	Jenis Limbah B3 Masuk	KODE	Tanggal Masuk Limbah B3	Sumber Limbah B3	Jumlah Limbah B3 (Kg/L)	Tanggal Keluar Limbah B3	Jumlah Limbah B3 (Kg/L)	Sisa Limbah B3 yang Ada di TPS
1.	Majun		10 - 1 - 2026		12 kg	2/3/26		
2.	Oli		16 - 1 - 2026		25 l	6/3/2026		
3.	Majun		19 - 1 - 2026		5 kg	2/3/26		
4.	wadiah B3		"		3 "	2/3/26		
5.	Oli		28/1/2026		25 l	6/3/2026		
6.	Majun		4 - 2 - 2026		7 kg	2/3/26		
7.	Oli		10 - 2 - 2026		25 l	6/3/2026		
8.	Oli		27 - 2 - 2026		25 l	6/3/2026		
9.	Majun		"		12 kg	2/3/26		
10.	Oli		10 - 3 - 2026		25 l	15/3/2026		
11.	Oli		24 - 3 - 2026		25 l	"		
12.	Majun		24 - 3 - 2026		12 kg	29 Mei		

13.	Majin		7/4/2026		5 kg	72 Mi		
14.	Watak		--		4.5 kg	--		
15.	Oli		4-4-2026		25 L	15/5/2026		
16.	Oli		27/4/2026		25 L	"		
17.	Majin		27/4/2026		7 kg	28 Mei		
18.	Oli		8-5-2026		25 L	15/5/2026		
19.	Majin		11/5 ²⁶		6 kg	22 Mei		
20.	Majin		25-5-26		6 kg			
21.	Oli		29-5-26		25 L			
22.	Majin		7/6/26		7 kg			
23.	Oli		12-6-2026		25 L			
24.	Majin		18-6-2026		4 kg			
25.	Kemayan		18-6-2026		2 kg			
26.								
27.								
28.								
29.								
30.								
31.								
32.								
33.								

LAMPIRAN B

Jumlah Produksi Periode 1 Tahun dan Perhitungan Emisi/produk/tahun



CV TRI STAR PERDANA TEKNIK General Engineering Contractor

Office & Workshop : Ds Durung Bedug RT 05 RW 01 Kec. Candi – Sidoarjo

Telp / Fax : 031 – 8853214 / 031 – 8853214

Masa Produksi	Tahun	ROLL PANJANG CONVEYOR P. PIPA 900MM	Jumlah Produksi (PCS)				
			ANCHOR BOLT - J	ANCHOR BOLT - LURUS	COMPACTOR SHAFT ROLLER COMPACT	L-CLOSING CONE FILLER	RANTAI CRUSHER 22KW
							PULLEY ROLL BELT ROUGHTOP WITH BEARING SULEPACK
April	2025	240	200	150	95	150	95
Mei	2025	550	150	265	80	100	120
Juni	2025	750	240	175	105	150	100
Juli	2025	240	150	260	115	150	95
Agustus	2025	550	100	180	150	200	80
September	2025	300	250	175	110	100	102
Oktober	2025	300	250	250	100	100	90
November	2025	550	300	250	150	198	105
Desember	2025	240	340	380	95	180	96
Januari	2026	210	180	100	100	200	90
Februari	2026	155	210	265	105	165	110
Maret	2026	500	200	157	110	120	105



Contoh Perhitungan :

Kebutuhan Listrik/bulan = Jumlah Produk/bulan x total daya/produk

Dengan :

Jumlah ROLL PANJANGCONVEYOR = 240 buah

Bulan = April 2025

Total daya/produk = 0,94984 KWh

Kebutuhan Listrik/bulan = 240 buah x 0,94984 KWh
= 227,96 KWh/bulan

Perhitungan Emisi GRK :

$E = KE \text{ Pemakaian listrik} \times FE \text{ Pemakaian listrik} \times GWP$

Dimana :

E = Emisi (CO₂, CH₄, N₂O)

KE = Konsumsi Energi dalam kWh

FE = Faktor Emisi dalam (Kg /kWh)

FE CO₂ = 0,774388897 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE CH₄ = 0,00001594341 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

FE N₂O = 0,00000876813 Kg /kWh (Ecometrica,2011)

GWP CO₂ = 1 (IPCC,2019)

GWP CH₄ = 21 (IPCC,2019)

GWP N₂O = 310 (IPCC,2019)

Emisi CO₂ = 227,96 KWh/bulan x 0,774388897 Kg /kWh x 1
= 176, 53 CO₂ (Kg CO₂Eq)

Emisi CH₄ = 227,96 KWh/bulan x 0,00001594341 Kg /kWh x 21
= 0,076 CH₄ (Kg CO₂Eq)

Emisi N₂O = 227,96 KWh/bulan x 0,00000876813Kg /kWh x 310
= 0,62 N₂O (Kg CO₂Eq)

bulan	tahun	ANCHOR BOLT - J			Total Emisi (Kg CO2Eq)
		CO2 (Kg CO2Eq)	CH4 (Kg CO2Eq)	N2O (Kg CO2Eq)	
April	2025	87,56479892	0,037859158	0,307354171	87,91001225
Mei	2025	65,67359919	0,028394368	0,230515628	65,93250918
Juni	2025	105,0777587	0,045430989	0,368825005	105,4920147
Juli	2025	65,67359919	0,028394368	0,230515628	65,93250918
Agustus	2025	43,78239946	0,018929579	0,153677086	43,95500612
September	2025	109,4559986	0,047323947	0,384192714	109,8875153
Oktober	2025	109,4559986	0,047323947	0,384192714	109,8875153
November	2025	131,3471984	0,056788736	0,461031257	131,8650184
Desember	2025	148,8601582	0,064360568	0,522502091	149,4470208
Januari	2026	78,80831903	0,034073242	0,276618754	79,11901102
Februari	2026	91,94303886	0,039752115	0,32272188	92,30551286
Maret	2026	87,56479892	0,037859158	0,307354171	87,91001225
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1129,643657

bulan	tahun	ANCHOR BOLT - LURUS			Total Emisi (Kg CO2Eq)
		CO2 (Kg CO2Eq)	CH4 (Kg CO2Eq)	N2O (Kg CO2Eq)	
April	2025	41,14095893	0,017787536	0,407718045	41,56646451
Mei	2025	72,68236078	0,031424648	0,72030188	73,43408731
Juni	2025	47,99778542	0,020752126	0,475671053	48,4942086
Juli	2025	71,31099548	0,03083173	0,706711278	72,04853849
Agustus	2025	49,36915072	0,021345044	0,489261654	49,87975741
September	2025	47,99778542	0,020752126	0,475671053	48,4942086
Oktober	2025	68,56826488	0,029645894	0,679530075	69,27744085
November	2025	68,56826488	0,029645894	0,679530075	69,27744085
Desember	2025	104,2237626	0,045061759	1,032885714	105,3017101
Januari	2026	27,42730595	0,011858358	0,27181203	27,71097634
Februari	2026	72,68236078	0,031424648	0,72030188	73,43408731
Maret	2026	43,06087035	0,018617621	0,426744887	43,50623286
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					722,4251532

bulan	tahun	COMPACTOR SHAFT ROLLER COMPACT			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	66,21319337	0,028627665	0,232409615	66,47423065
Mei	2025	55,75847863	0,024107507	0,19571336	55,9782995
Juni	2025	73,1830032	0,031641103	0,256873784	73,47151809
Juli	2025	80,15281303	0,034654542	0,281337954	80,46880552
Agustus	2025	104,5471474	0,045201576	0,366962549	104,9593116
September	2025	76,66790811	0,033147823	0,269105869	76,97016181
Oktober	2025	69,69809829	0,030134384	0,244641699	69,97287437
November	2025	104,5471474	0,045201576	0,366962549	104,9593116
Desember	2025	66,21319337	0,028627665	0,232409615	66,47423065
Januari	2026	69,69809829	0,030134384	0,244641699	69,97287437
Februari	2026	73,1830032	0,031641103	0,256873784	73,47151809
Maret	2026	76,66790811	0,033147823	0,269105869	76,97016181
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					920,143298

bulan	tahun	L-CLOSING CONE FILLER			Total Emisi (Kg CO ₂ Eq)
		CO ₂ (Kg CO ₂ Eq)	CH ₄ (Kg CO ₂ Eq)	N ₂ O (Kg CO ₂ Eq)	
April	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Mei	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
Juni	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Juli	2025	136,114	0,059	0,478	136,651
Agustus	2025	181,486	0,078	0,637	182,201
September	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
Oktober	2025	90,743	0,039	0,319	91,101
November	2025	179,671	0,078	0,631	180,379
Desember	2025	163,337	0,071	0,573	163,981
Januari	2026	181,486	0,078	0,637	182,201
Februari	2026	149,726	0,065	0,526	150,316
Maret	2026	108,891	0,047	0,382	109,321
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1651,654

bulan	tahun	RANTAI CRUSHER 22KW			Total Emisi (Kg CO2Eq)
		CO2 (Kg CO2Eq)	CH4 (Kg CO2Eq)	N2O (Kg CO2Eq)	
April	2025	53,947	0,023	0,189	54,159
Mei	2025	68,143	0,029	0,239	68,412
Juni	2025	56,786	0,025	0,199	57,010
Juli	2025	102,215	0,044	0,359	102,618
Agustus	2025	56,786	0,025	0,199	57,010
September	2025	51,107	0,022	0,179	51,309
Oktober	2025	136,286	0,059	0,478	136,824
November	2025	73,822	0,032	0,259	74,113
Desember	2025	70,982	0,031	0,249	71,262
Januari	2026	101,079	0,044	0,355	101,477
Februari	2026	73,822	0,032	0,259	74,113
Maret	2026	70,982	0,031	0,249	71,262
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					919,568

bulan	tahun	PULLEY ROLL BELT ROUGHTOP WITH BEARING SULEPACK			Total Emisi (Kg CO2Eq)
		CO2 (Kg CO2Eq)	CH4 (Kg CO2Eq)	N2O (Kg CO2Eq)	
April	2025	67,648	0,029	0,237	67,915
Mei	2025	85,688	0,037	0,301	86,026
Juni	2025	90,198	0,039	0,317	90,553
Juli	2025	85,688	0,037	0,301	86,026
Agustus	2025	72,158	0,031	0,253	72,443
September	2025	92,002	0,040	0,323	92,364
Oktober	2025	81,178	0,035	0,285	81,498
November	2025	94,708	0,041	0,332	95,081
Desember	2025	86,590	0,037	0,304	86,931
Januari	2026	81,178	0,035	0,285	81,498
Februari	2026	99,217	0,043	0,348	99,609
Maret	2026	94,708	0,041	0,332	95,081
TOTAL EMISI DALAM 1 TAHUN					1035,024

LAMPIRAN C

Pehitungan Kebutuhan Listrik Office/Bulan

Contoh perhitungan

AC 1,5 Pk

Jumlah Unit = 2 Unit

Daya/unit = 1.150 W

Daya total unit = 2 x 1.150 W

= 2.300 W

= 2,3 kW

Lama pemakaian = 8 jam

Jumlah pemakaian perhari = Daya total unit x Lama pemakaian

= 2,3 x 8 jam

= 18,4 kWh

Jumlah Listrik perbulan = 18,4 kWh x 18 hari (jumlah hari kerja pada bulan April)

=331,2 kWh/bulan

Time	tahun	Jumlah hari	Kebutuhan listrik (kWh/bulan)								Total Kebutuhan listrik (kWh/bulan)
			lampu LED	AC 1,5 Pk	komputer	CPU	Printer	telepon selular	Dispenser	Kipas Angin	
April	2025	18	12,672	331,2	43,2	28,8	1,728	0,432	36	46,08	500,112
Mei	2025	22	15,488	404,8	52,8	35,2	2,112	0,528	44	56,32	611,248
Juni	2025	20	14,08	368	48	32	1,92	0,48	40	51,2	555,68
Juli	2025	27	19,008	496,8	64,8	43,2	2,592	0,648	54	69,12	750,168
Agustus	2025	26	18,304	478,4	62,4	41,6	2,496	0,624	52	66,56	722,384
September	2025	25	17,6	496,8	60	40	2,4	0,6	50	64	731,4
Oktober	2025	27	19,008	496,8	64,8	43,2	2,592	0,648	54	69,12	750,168
November	2025	25	17,6	460	60	40	2,4	0,6	50	64	694,6
Desember	2025	24	16,896	441,6	57,6	38,4	2,304	0,576	48	61,44	666,816
Januari	2026	24	16,896	310,8864	57,6	38,4	2,304	0,576	48	61,44	536,1024
Februari	2026	22	15,488	284,9792	52,8	35,2	2,112	0,528	44	56,32	491,4272
Maret	2026	20	14,08	259,072	48	32	1,92	0,48	40	51,2	446,752

LAMPIRAN D
Daftar Supplier dan Rute Kendaraan
a. daftar supplier

TRI STAR	CV TRI STAR PERDANA TEKNIK General Engineering Contractor
Perdana Teknik	Office & Workshop : Ds Durung Bedug RT 05 RW 01 Kec. Candi – Sidoarjo Telp / Fax : 031 – 8853214 / 031 – 8853214

NO	DAFTAR SUPPLIER
1	PT SUTINDO SURYA SEJAHTERA
2	PT ASIAN BEARINDO JAYA
3	PT WIETPANDA LESTARI STEEL
4	PT BHINNEKA BAJANAS
5	PT PANCA WANGSA KRETYA MULIA
6	CV DUTA PERKASA
7	PT TATA RAPIKA GLOBALINDO
8	PT SARANA ANUGERAHTAMA LESTARI
9	PT BREINDO JAYA TEHNIK
10	PT PELUMAS PETROASIA INDONESIA
11	PT RANTAI JARINGAN SUKSES
12	SENTRAL BAUT
13	CV PERDANA TEKNIK MAKMUR JAYA
14	CV SEMBADA INDONESIA

Approved by,

Retno Ayu N.
Administrasi

b. rute kendaraan

TRI STAR	CV TRI STAR PERDANA TEKNIK General Engineering Contractor
Perdana Teknik	Office & Workshop : Ds Durung Bedug RT 05 RW 01 Kec. Candi – Sidoarjo
	Telp / Fax : 031 – 8853214 / 031 – 8853214

TANGGAL	SOPIR 1	TANGGAL	SOPIR 2
02/01/2026	PT BRONSON PRIMA INDUSTRI	02/01/2026	AMG Tower
03/01/2026	PT ASIAN BEARINDO JAYA	03/01/2026	PT HIKARI TEKNOLOGI INDONESIA
04/01/2026	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	04/01/2026	PT BHINNEKA BAJANAS
05/01/2026	PT PANCA WANGSA KRETYA MULIA	05/01/2026	PT MULTIPACK UNGGUL
06/01/2026	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	06/01/2026	PT HARUM ALAM SEGAR
06/01/2026	PT KOBIN KERAMIK INDUSTRI	07/01/2026	PT FERTILIZER INTI TECHNOLOGY
07/01/2026	PT HIKARI TEKNOLOGI INDONESIA	08/01/2026	AMG Tower
08/01/2026	PT KARUNIA ALAM SEGAR	08/01/2026	PT TATA RAPIKA GLOBALINDO
09/01/2026	PT PUPUK LAPAN HARSA	09/01/2026	PT SARASWANTI MAKMUR INDAH Tbk
09/01/2026	PT AGRINDO	10/01/2026	PT ADYABUANA PERSADA
10/01/2026	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk	12/01/2026	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI
12/01/2026	PT RANTAI JARINGAN SUKSES	13/01/2026	PT SUTINDO SURYA SEJAHTERA
12/01/2026	PT NETANIA KASIH KARUNIA	14/01/2026	PT INDOFOOD CBP SUKSES MAKMUR Tbk
13/01/2026	PT SURYA RENGU CONTAINERS	14/01/2026	PT MITRA ALAM SEGAR
13/01/2026	PT PUPUK LAPAN HARSA	15/01/2026	PT PUPUK LAPAN HARSA
14/01/2026	PT SURYA RENGU CONTAINERS	19/01/2026	PT WIETPANDA LESTARI STEEL
15/01/2026	PT WINGS SURYA	20/01/2026	PT ASIAN BEARINDO JAYA
15/01/2026	PT SURYA PRATISTA HUTAMA	21/01/2026	AMG Tower
19/01/2026	CV DUTA PERKASA	22/01/2026	PT SARASWANTI MAKMUR INDAH Tbk
19/01/2026	PT MULTIPACK UNGGUL	23/01/2026	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk
20/01/2026	PT HANAMPI SEJAHTERA KAHURIPAN	23/01/2026	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI
20/01/2026	PT HARUM ALAM SEGAR	24/01/2026	SENTRAL BAUT
21/01/2026	SENTRAL BAUT	24/01/2026	PT ELSON BERNARDI
21/01/2026	PT ELSON BERNARDI	26/01/2026	PT KARUNIA ALAM SEGAR
22/01/2026	PT DUPAN ANUGERAH LESTARI	26/01/2026	PT LION WINGS
23/01/2026	PT PANCA WANGSA KRETYA MULIA	27/01/2026	PT KARYAINDAH ALAM SEJAHTERA
23/01/2026	PT SARANA ANUGERAHTAMA LESTARI	27/01/2026	PT HANAMPI SEJAHTERA KAHURIPAN
24/01/2026	PT ROMAN CERAMIC INTERNATIONAL	28/01/2026	PT INDOFOOD CBP SUKSES MAKMUR Tbk
26/01/2026	PT PUPUK LAPAN HARSA	28/01/2026	PT ELSON BERNARDI
27/01/2026	PT TATA RAPIKA GLOBALINDO	29/01/2026	PT YANAPRIMA HASTAPERSADA
27/01/2026	PT ROMAN CERAMIC INTERNATIONAL	30/01/2026	CV DUTA PERKASA
28/01/2026	PT YANAPRIMA HASTAPERSADA	30/01/2026	PT KARYAINDAH ALAM SEJAHTERA
28/01/2026	PT INDOLAKTO	31/01/2026	PT SARASWANTI ANUGERAH MAKMUR Tbk
29/01/2026	PT WINGS SURYA	31/01/2026	CV SEMBADA INDONESIA
29/01/2026	PT MITRA ALAM SEGAR		
30/01/2026	PT SURYA PRATISTA HUTAMA		
31/01/2026	CV PERDANA TEKNIK MAKMUR JAYA		



LAMPIRAN E
Perhitungan emisi sampah domestik

jenis sampah	rata -rata timbulan (Kg)	MCF	DOC	DOCf	F	R	OX	DDOCm	Jumlah CH4 (Lo)	Total Emisi CH4	Emisi CO2	Total emisi KgCO2/tahun
								$W \times MCF \times DOC \times DOCf$	$DDOCm \times F \times 16/12$	$(Lo - R) \times (1 - OX)$	$\frac{\text{Total Emisi CH4} \times ((1 - F) / F + OX) \times \text{GWP}}$	$(\text{Total Emisi CH4} + \text{Emisi CO2}) \times 280 \text{ hari}$
Sisa Makanan	2,0125	0,8	15%	0,5	0,5	0	0,1	0,12075	0,0805	0,07245	2,23146	645,0948
Kayu	0,59875	0,8	43%	0,5	0,5	0	0,1	0,102985	0,068656667	0,061791	1,9031628	550,187064
Plastik	0,465	0,8	0%	0,5	0,5	0	0,1	0,186	0,124	0,1116	3,43728	993,6864
Kertas/Kardus	0,09225	0,8	40%	0,5	0,5	0	0,1	0,01476	0,00984	0,008856	0,2727648	78,853824

LAMPIRAN F

Hasil Uji Kadar BOD

No Analisa : 2026P02902
Tanggal Pengujian : 22 Mei - 09 Juni 2026
Hasil Uji :

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1	BOD ₅	mg/L	23.8	SNI 6988-72-2009

Catatan :

- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- Pengiriman contoh tidak dilengkapi dengan BAPC
- Laboratorium tidak melakukan pengambilan contoh tersebut, sehingga laboratorium tidak bertanggung jawab atas pengambilan dan pengiriman contoh
- Laporan hasil uji tidak dapat digunakan untuk tujuan pemenuhan regulasi terkait lingkungan hidup

Laboratorium
Karya dan Laju Kunging
Rizka
Audikuningsih Rika Liani, ST, MT
NIP. 157009232005022081

Halaman : 32

Perhatian :
• Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk kondisi di atas
• Laporan Hasil Uji ini tidak dapat digunakan, kecuali jika memenuhi persyaratan yang tertera di atas
• Dokumen ini hanya diberikan secara gratis kepada pelanggan yang telah melakukan transaksi dengan kami
• Kode Doc : RM_E 26 02

LAPORAN HASIL UJI

TESTING REPORT

No. B02302BSPUI-Surabaya/MS.08.02.01/MT/2026

Nomor Analisa : 2026P02902
Analyze Number :
Produk / Komoditi : Air Limbah Lumpur Septic Tank
Product / Commodity :
Merek :
Brand :
Tipe :
Type :
Pelanggan : DELAKURNIAWATI
Customer :
Alamat : Desa Baring Kajian RT. 09 / RW. 03, Kec. Krian, Kab. Sidoarjo, Prov. Jawa Timur
Address :
Metode Uji : Terlampir
Testing Method :
Metode Pengambilan Contoh : Sesuai Nomor BAPC :
Sampling Method :
Tangki Pengambilan Contoh :
Pelugas Pengambilan Contoh :
Terlampir

Surabaya, 09 Juni 2026
Ketua Tim Pengujian, Inspeksi dan Kalibrasi

[Signature]
Sumanadi Sukaca, ST
NIP. : 198508152006041002



Perhatian :

- Laporan Hasil Uji hanya berlaku untuk kondisi di atas
- Laporan Hasil Uji ini tidak dapat digunakan, kecuali jika memenuhi persyaratan yang tertera di atas
- Dokumen ini hanya diberikan secara gratis kepada pelanggan yang telah melakukan transaksi dengan kami
- Kode Doc : RM_E 26 02

LAMPIRAN G

Perhitungan kebutuhan, Spesifikasi Unit Panel Surya & Payback Period

ICA550-72HMI	
Monocrystalline 550Wp	
	
Electrical Specifications	
Max. Power at STC, P _{max} (W)	STC NOCT
Max. Power Voltage, V _{mp} (V)	36.00 41.30
Max. Power Current, I _{mp} (A)	12.38 10.58
Open Circuit Voltage, V _{oc} (V)	44.20 49.30
Short Circuit Current, I _{sc} (A)	13.82 11.17
Efficiency (%)	21.29
Power Tolerance (W)	0 +5
Max. Temperature Coefficient (1/°C)	-0.33
V _{oc} Temperature Coefficient (1/°C)	-0.27
I _{sc} Temperature Coefficient (1/°C)	+0.06
Maximum System Voltage (VDC)	1500
Maximum Series Fuse Rating (A)	25
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +55
NOCT (°C)	45±2
Mechanical Specifications	
Cell Type	Monocrystalline 182 x 91mm
Number of Cells	144 (6x24)
Dimension of Module (mm)	2279 x 1134 x 35
Weight (kg)	28.50
Glass	3.2mm tempered low iron glass
Aluminum Frame	Anodized aluminum
Junction Box	Split junction box (IP68, three nodes)
Connectors	MC4 compatible
Output Cables	4.0mm ² , >300mm, 300mm (customized length)
Packing Configurations	
Container	40'
Pieces per Pallet	31
Pallets per Container	30
Pieces per Container	930

tokopedia	
Kategori Cari di Tokopedia	
Komputer & Laptop > Komponen Komputer > UPS > Solar Panel 5...	
	
Solar Panel Solarcell ICA Solar 550WP Monocrystalline Half Cut 550wp mono	
Terjual 13 x 5 (3 rating)	
Rp2.510.000	
Detail Produk Spesifikasi Info Penjual	
Kondisi Baru	
Berat Satuan: 29,5 kg	
Min. Beli: 1 Buah	
Kategori: UPS	
Etalase: Panel Surya	
Solar Panel Surya Solarcell ICA Solar 550 Monocrystalline Half Cut Solar Panel 550wp mono	
- Garansi Output 15 Tahun - Barang dijamin baru dan original - Barang di cek terlebih dahulu sebelum di kirim ke customer - Untuk keamanan bersama & agar diterima di...	
Unit Solingkapnya	

TOTAL KONSUMSI LISTRIK/TAHUN	=	18350,8	kWh/tahun
Perhitungan Nilai 1 kWp	=	1400	kWh/tahun
Kapasitas panel	=	550	Wp
Rencana jumlah pemasangan panel	=	8	unit
Total kapasitas terpasang	=	4400	Wp
	=	4,4	kWp
Total produksi energi	=	total kapasitas terpasang x nilai 1 kWp	
	=	6160	kWh/tahun
Sisa kebutuhan listrik yang masih dipasok PLN	=	12190,8	
Persentase reduksi	=	0,33568	
	=	33,60%	

Perhitungan *payback period* :

Komponen	Estimasi Biaya
8 panel surya (8 × Rp2.510.000)	Rp20.080.000
Inverter 5 kW	Rp10.000.000
Rangka pemasangan	Rp5.000.000
Kabel, konektor, dan proteksi	Rp3.000.000
Biaya instalasi dan pengujian	Rp5.000.000
Total investasi	Rp43.080.000

- Penghematan biaya listrik per tahun

$$6.160 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp}1.445/\text{kWh} = \text{Rp } 8.901.200/\text{tahun}$$

- Perhitungan Payback Period

$$\begin{aligned} \text{Payback Period} &= \frac{\text{Rp } 8.901.200}{\text{Rp } 43.080.000} \\ &= 4,84 \text{ tahun} \end{aligned}$$

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Dela Kurniawati, lahir di Sidoarjo, 21 Desember 2003. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal, dimulai dari Sekolah Dasar di MI Babussalam Krian tahun 2016, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 3 Krian tahun 2019, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Hang Tuah 5 Sidoarjo tahun 2022. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi seperti menjadi Menteri Kementerian Bisnis dan Kemitraan BEM Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis juga telah menyelesaikan *On The Job Training* (OJT) di beberapa tempat, yang pertama di CV Anisa Nature Jombang di bidang konsultan lingkungan, yang kedua di Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, yang ketiga di PT ANTAM UBPE Pongkor di bidang HSSE dan berfokus pada Environmental, dan yang keempat di PT PERTAMINA EP ASSET 4 POLENG FIELD di bidang HSSE dan berfokus pada Environmental. Selain itu penulis juga mengikuti magang kerja di PT SARASWANTI pada divisi pupuk pada bidang *purchasing machine spare part* yang terintegritas dengan salah satu bengkel fabrikasi di wilayah Sidoarjo yang merupakan tempat penulis melakukan pengambilan data dan penelitian dengan judul "Analisis Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dan Upaya Mitigasi dalam bidang Manufaktur Fabrikasi" dan menyelesaikan penelitian pada bulan Juli 2026, Bagi Pembaca yang memiliki saran dan kritik terkait penelitian ini bisa menghubungi melalui email delakurnia2112@gmail.com.