



TUGAS AKHIR (WT 43250)

ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA DAN EFISIENSI ENERGI PROSES PRODUKSI SIRUP SEBELUM DAN SESUDAH IMPLEMENTASI ENERGI TERBARUKAN

Balqist Iqfirlana Khayumi

NRP. 1022040035

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Mirna Apriani, S.T.,M.T.

Sekarsari Wibowo, S.T.,M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

SURABAYA

2026

Halaman ini sengaja dikosongkan



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT 43250)

**ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA DAN EFISIENSI
ENERGI PROSES PRODUKSI SIRUP SEBELUM DAN
SESUDAH IMPLEMENTASI ENERGI TERBARUKAN**

Balqist Iqfirlana Khayumi
NRP. 1022040035

DOSEN PEMBIMBING:
Dr. MIRNA APRIANI, S.T., M.T.
SEKARSARI WIBOWO, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA DAN EFISIENSI ENERGI PROSES PRODUKSI SIRUP SEBELUM DAN SESUDAH IMPLEMENTASI ENERGI TERBARUKAN

Disusun Oleh:

Balqist Iqfirlana Khayumi

1022040035

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 : 2 Juli 2026

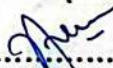
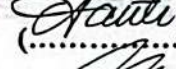
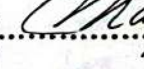
Periode Wisuda : Oktober 2026

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 Setlawan, S.T., M.T.
NIP. 1977081922005011001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,


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

Halaman ini sengaja dikosongkan



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021
Date : 3 Nopember 2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Baiqist Iqirlana Khayumi

NRP. : 1022040035

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal / D4 Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca dan Efisiensi Energi Proses Produksi Sirup Sebelum dan Sesudah Implementasi Energi Terbarukan

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

Apabila dikemudian 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, 20 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Baiqist Iqirlana Khayumi)
NRP.1022040035

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul **“Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Dan Efisiensi Energi Proses Produksi Sirup Sebelum Dan Sesudah Implementasi Energi Terbarukan”**. Penyusunan tugas akhir ini sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Sarjana Terapan Teknik Pengolahan Limbah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penulis menyadari bahwa penelitian hingga penyusunan laporan tugas akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, arahan, dan masukan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta almarhum Bapak Rogip Adigunarso dan Ibu Yantini, kedua orang yang sangat berjasa dalam hidup penulis, dua orang yang selalu mengusahakan anak tunggalnya ini untuk bisa meraih pendidikan setinggi – tingginya meski beliau tidak pernah merasakannya. Terima kasih atas doa, pengorbanan, dukungan, perjuangan, dan jerih payah untuk mampu menghantarkan anaknya ini hingga lulus bangku perkuliahan.
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, S.T., M.T selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran, dan masukan kepada penulis, sehingga pengerjaan Tugas Akhir dapat selesai tepat waktu.
5. Ibu Sekarsari Wibowo, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran, dan masukan kepada penulis, sehingga pengerjaan Tugas Akhir dapat selesai tepat waktu.

6. Ibu Tanti Utami Dewi, S.Si., M.Sc selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun pada Laporan Tugas Akhir.
7. Ibu Mar'atus Sholihah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun pada Laporan Tugas Akhir.
8. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengolahan Limbah.
9. Seluruh karyawan industri sirup di Jawa Timur atas ketersediannya dalam membantu dan mengizinkan pengambilan data untuk Tugas Akhir.
10. Teman – teman penulis yang telah menemani perjalanan selama 4 tahun di bangku perkuliahan ini. Terima kasih telah membantu, dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Terkhususnya teman dekat penulis, Delia Arinanda serta Deul Tirtayuda, terima kasih telah banyak meluangkan waktu serta tenaga untuk menemani dalam penyusunan dan membantu tiap proses penyelesaian Tugas Akhir.
12. Anak perempuan dan satu – satunya harapan orang tuanya, Balqist Iqfirlana. Apresiasi sebesar – besarnya untuk diri sendiri yang telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih kepada diri sendiri telah berjuang dan bertahan sejauh ini.
13. Semua pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir masih terapat kekurangan, karena itu penulis mohon maaf apabila terapat kesalahan yang disengaja atau tidak disengaja dalam tugas akhir ini. Kritik dan saran pembaca sangat dinantikan penulis untuk perbaikan kualitas dalam penyusunan tugas akhir selanjutnya. Tugas akhir ini diharapkan bahwa dapat bermanfaat bagi pihak yang bersangkutan dan pembaca.

Surabaya, 16 Juli 2026

Balqist Iqfirlana Khayumi

ANALISIS EMISI GAS RUMAH KACA DAN EFISIENSI ENERGI PROSES PRODUKSI SIRUP SEBELUM DAN SESUDAH IMPLEMENTASI ENERGI TERBARUKAN

Balqist Iqfirlana Khayumi

ABSTRAK

Industri sirup merupakan sektor manufaktur padat energi berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) signifikan. Penelitian ini bertujuan menganalisis inventarisasi emisi GRK dan efisiensi energi produksi sirup. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi energi terbarukan. Pendekatan *gate – to – gate* digunakan berdasarkan IPCC 2006, *GHG Protocol*, dan faktor emisi Kementerian ESDM. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan, inventarisasi peralatan, serta dokumentasi konsumsi energi periode 2021–2025. Total emisi karbon tercatat sebesar 5.468,61 ton CO₂ per tahun. Sektor bahan bakar boiler dan generator set menjadi kontributor terbesar, yaitu 3.919,47 ton CO₂ per tahun. Substitusi batu bara menjadi biomassa pada Boiler 3 menurunkan emisi fosil hingga 73,09%. Mitigasi prioritas difokuskan pada sektor boiler, listrik, dan limbah cair produksi sebagai penyumbang emisi tertinggi. Rekomendasi tersebut meliputi efisiensi termal boiler, optimalisasi penggunaan listrik, dan pengolahan limbah cair berkelanjutan. Strategi ini menjadi dasar dekarbonisasi industri sirup menuju operasional rendah emisi.

Kata kunci : Dekarbonisasi, Efisiensi energi, Energi terbarukan, Industri sirup, Inventarisasi gas rumah kaca.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND ENERGY EFFICIENCY IN A SYRUP PRODUCTION PROCESS BEFORE AND AFTER THE IMPLEMENTATION OF RENEWABLE ENERGY

Balqist Iqfirlana Khayumi

ABSTRACT

The syrup industry consumes substantial thermal energy, electricity, and fuel, generating significant greenhouse gas (GHG) emissions. This study analyzes GHG emission inventories and evaluates energy efficiency in syrup production before and after implementing renewable energy. It applies a gate-to-gate approach based on the IPCC (2006) guidelines, the GHG Protocol, and emission factors from the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM). Researchers collected activity data from 2021 to 2025 through field observations, equipment inventories, direct measurements, and records of energy consumption, fuel use, internal transportation, and waste management. The findings reveal that stationary combustion, particularly generator set operations, produces the largest share of emissions, followed by boiler operations, energy consumption, waste management, and internal transportation. Substituting coal with biomass in Boiler 3 significantly reduced fossil carbon emissions and improved operational energy efficiency. Partially electrifying the forklift fleet further reduced direct emissions from internal transportation. Recommended mitigation strategies include expanding renewable energy use, improving boiler thermal efficiency, electrifying vehicle fleets, and optimizing waste management systems. These findings provide a foundation for developing decarbonization strategies that support a low-emission, sustainable syrup industry.

Keywords: Decarbonization, Energy efficiency, Greenhouse gas inventory, Renewable energy, Syrup manufacturing industry.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Industri Sirup.....	7
2.1.1 Proses Produksi Sirup	8
2.1.2 Proses Pengemasan Sirup.....	10
2.2 Utilitas dan Aktivitas Penunjang Produksi.....	11
2.3 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK).....	13
2.3.1 Jenis – jenis Emisi Gas Rumah Kaca.....	14
2.3.2 Faktor Emisi	15

2.4	Klasifikasi Sektor Emisi Menurut IPCC.....	17
2.5	<i>Life Cycle Inventory</i> (LCI).....	18
2.6	Metodologi Perhitungan Emisi	18
2.6.1	Emisi Pembakaran Stasioner (<i>Stationary Combustion</i>)	19
2.6.2	Emisi Pembakaran Bergerak (<i>Mobile Combustion</i>)	21
2.6.3	Emisi Energi Listrik (<i>Indirect Emmission</i>).....	22
2.6.4	Emisi Limbah	23
2.7	Analisis Efisiensi Energi.....	28
2.8	Analisis Komparasi dan Identifikasi Hotspot	28
2.9	Penelitian Terdahulu	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	35
3.2	Kerangka Pelaksanaan Penelitian	36
3.3	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	39
3.3.1	Identifikasi Masalah	39
3.3.2	Studi Literatur.....	40
3.3.3	Penentuan Tujuan dan Rumusan Masalah.....	40
3.3.4	Pengumpulan Data.....	41
3.4	Batasan Sistem (<i>System Boundary</i>) dan Identifikasi Emisi	42
3.5	Tahapan Analisis <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI).....	42
3.6	Interpretasi	43
3.6.1	Identifikasi Isu Penting.....	43
3.6.2	Evaluasi Data.....	44
3.7	Menyusun Alternatif Mitigasi	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1	Analisis Perhitungan Emisi Karbon.....	47

4.1.1	Perhitungan Emisi Karbon dari Limbah Produksi Industri.....	48
4.1.2	Perhitungan Emisi Karbon dari Limbah B3 Industri	57
4.1.3	Perhitungan Emisi Karbon <i>Septic Tank</i>	62
4.1.4	Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Bahan Bakar	64
4.1.5	Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Transportasi	80
4.1.6	Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Listrik.....	87
4.1.7	Perhitungan Total Emisi Karbon Industri Sirup	101
4.1.8	Neraca Alir Proses Produksi Sirup.....	104
4.2	Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Energi Terbarukan	105
4.2.1.	Analisis Perbandingan Emisi Bahan Bakar Boiler	105
4.2.2.	Analisis Perbandingan Emisi Bahan Bakar Forklift	107
4.3	Analisis Rekomendasi Strategi Mitigasi	109
4.3.1.	Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Boiler	109
4.3.2.	Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Penggunaan Listrik....	119
4.3.3.	Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Limbah Cair Produksi	120
4.3.4.	Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon Kendaraan Aset Forklift ...	122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		125
5.1	KESIMPULAN	125
5.2	SARAN	126
DAFTAR PUSTAKA		127
LAMPIRAN 1.....		147
LAMPIRAN 2.....		151
LAMPIRAN 3.....		155
LAMPIRAN 4.....		159
LAMPIRAN 5.....		163

LAMPIRAN 6	167
LAMPIRAN 7	217
LAMPIRAN 8	221
LAMPIRAN 9	225
LAMPIRAN 10	229
LAMPIRAN 11	233
LAMPIRAN 12	237
LAMPIRAN 13	241
LAMPIRAN 14	245
LAMPIRAN 15	267
LAMPIRAN 16	271
LAMPIRAN 17	275
BIOGRAFI PENULIS.....	281

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Limbah Cair Produksi Sirup.....	8
Tabel 2. 2 Faktor Konversi GWP.....	19
Tabel 2. 3 Nilai Faktor Emisi (FE) GRK Peralatan Tak Bergerak	20
Tabel 2. 4 Nilai Kalor Bahan Bakar Indonesia	20
Tabel 2. 5 Data Faktor Emisi Nasional untuk Metode Tier 2	21
Tabel 2. 6 Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor Nasional.....	22
Tabel 2. 7 Nilai Default MCF dan Hasil EF Berdasarkan Sistem Pengolahan.....	24
Tabel 2. 8 Data Limbah B3 Industri Sirup	27
Tabel 2. 9 Data Nilai Fraksi Karbon dan Nilai Fraksi Karbon Fosil	27
Tabel 2. 10 Perbandingan Penelitian Terdahulu	31
Tabel 3. 1 Data Primer	41
Tabel 3. 2 Data Sekunder	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alur Proses Sirup	9
Gambar 2. 2 Alur Proses Assembling.....	10
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	37
Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian	39
Gambar 4. 1 Grafik Timbulan Sampah Proses Produksi Sirup.....	51
Gambar 4. 2 Grafik Tren Bulanan Air Limbah 2025.....	55
Gambar 4. 3 Total Emisi Karbon CO ₂ Limbah B3 Proses Produksi	61
Gambar 4. 4 Grafik Konsumsi LNG Boiler 1 pada Tahun 2021 – 2025	67
Gambar 4. 5 Grafik Konsumsi LNG Boiler 2 pada Tahun 2021 – 2022	69
Gambar 4. 6 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Boiler 3 pada Tahun 2021 – 2025..	71
Gambar 4. 7 Grafik Konsumsi Solar Generator Set pada Tahun 2021 – 2025.....	74
Gambar 4. 8 Grafik Total Emisi CO ₂ Bahan Bakar Boiler per Tahun.....	76
Gambar 4. 9 Grafik Total Emisi CO ₂ dari Bahan Bakar Boiler	77
Gambar 4. 10 Grafik Total Emisi CO ₂ dari Bahan Bakar Generator Set	79
Gambar 4. 11 Grafik Emisi CO ₂ Kendaraan Truk Aset	82
Gambar 4. 12 Grafik Total Emisi CO ₂ Penggunaan Forklift Tahun 2025.....	87
Gambar 4. 13 Diagram Alir Kegiatan Utama Proses Produksi.....	88
Gambar 4. 14 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Produksi.....	91
Gambar 4. 15 Grafik Total Emisi CO ₂ Penggunaan Listrik Unit Produksi	91
Gambar 4. 16 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Pengemasan	94
Gambar 4. 17 Grafik Total Emisi CO ₂ Penggunaan Listrik Unit Pengemasan	95
Gambar 4. 18 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Produksi.....	98
Gambar 4. 19 Grafik Total Emisi CO ₂ Penggunaan Listrik Unit Produksi	99

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industrialisasi telah menyebabkan pertumbuhan dan kemajuan teknologi yang belum pernah terjadi sebelumnya, tetapi juga memiliki dampak lingkungan yang signifikan (Judijanto *et al.*, 2023). China, Amerika Serikat, India, Uni Eropa – 27, Rusia, dan Indonesia merupakan penghasil emisi GRK terbesar dunia tahun 2024. Secara kolektif, negara – negara ini mencakup 51,4% populasi, 62,5% PDB, 64,2% konsumsi fosil, dan 61,8% emisi global. Pada 2024, China, India, Rusia, dan Indonesia meningkatkan emisi, dengan Indonesia mencatat kenaikan relatif terbesar 5,0% (Crippa *et al.*, 2025).

Sebagai bagian dari perkembangan industri, industri minuman memiliki berbagai produk yang diminati masyarakat. Salah satunya produk sirup yang identik dengan karakteristik kental dan manis (Masriatini, 2018). Proses produksi sirup meliputi pemanasan, pelarutan gula, pencampuran, pasteurisasi, filtrasi, dan penyimpanan membutuhkan energi cukup besar (Faiza & Kumalasari, 2024) . Kondisi tersebut mendorong perlunya penilaian menyeluruh terhadap sumber emisi dalam produksi sirup.

Intensitas energi produksi sirup sangat signifikan karena kebutuhan panas ekstensif (Kis *et al.*, 2019; Taylor *et al.*, 2023). Industri memerlukan kombinasi energi listrik serta pemanasan termal pada berbagai tahapan produksinya. Tahapan proses menciptakan aliran material kompleks yang menghasilkan emisi di berbagai titik (Wong *et al.*, 2021). Pemahaman rinci distribusi emisi sangat diperlukan untuk menentukan kontribusi setiap proses produksi. Penggunaan energi terbarukan di sektor makanan dan minuman kini menjadi strategi yang semakin umum untuk mengurangi emisi karbon (Wibowo, 2024). Transisi ke energi terbarukan dalam sektor manufaktur melibatkan beberapa pertimbangan penting. Ini termasuk mengevaluasi kelayakan teknologi dari berbagai sumber energi terbarukan, menilai implikasi finansial dari

penerapan teknologi tersebut, dan memahami dampaknya terhadap efisiensi produksi serta kinerja lingkungan (Saputra, 2024).

Berbagai jenis energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan biomassa menawarkan alternatif yang lebih bersih dan berkelanjutan dibandingkan energi fosil yang dominan (Wibowo, 2024). Industri telah mengadopsi beberapa energi terbarukan seperti penggantian bahan bakar fosil menjadi biomassa untuk energi termal, penggunaan solar panel untuk energi listrik, dan lainnya. Industri memiliki peran sentral dalam pengembangan solusi rendah karbon karena memproduksi teknologi energi terbarukan, kendaraan bersih, dan bangunan hemat energi. Oleh sebab itu, pengurangan emisi operasional industri menjadi penting seiring perannya menyediakan teknologi dan infrastruktur transisi berkelanjutan. Pendekatan ini perlu selaras dengan upaya pencapaian nol emisi industri (Rissman *et al.*, 2020).

Namun, efektivitasnya perlu dibuktikan melalui evaluasi berbasis data agar perusahaan dapat menentukan sejauh mana teknologi ini berkontribusi pada pengurangan emisi (Hendriadi *et al.*, 2023). Tanpa komparasi berbasis data inventarisasi yang valid, klaim penurunan emisi menjadi sulit dibuktikan secara ilmiah (Liu *et al.*, 2023). Penelitian ini bertujuan memberikan evaluasi menyeluruh pengaruh teknologi terhadap indikator kinerja utama konsumsi energi dan emisi karbon. Dengan melakukan perbandingan antara sebelum dan sesudah penggunaan energi terbarukan dari fasilitas manufaktur. Penelitian ini berupaya mengidentifikasi baik manfaat maupun tantangan yang terkait dengan transisi ini (Saputra, 2024).

Hal digunakan untuk menilai kinerja sistem manufaktur yang terintegrasi dengan energi terbarukan, menyajikan hasil analisis, dan membahas implikasinya bagi praktik industri. Dengan mengeksplorasi aspek – aspek ini, studi ini bertujuan untuk menawarkan wawasan berharga mengenai peran energi terbarukan dalam memajukan manufaktur yang berkelanjutan dan memberikan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti bagi perusahaan untuk dipertimbangkan lebih lanjut (Saputra, 2024).

Perusahaan belum mengevaluasi perbandingan data emisi antara pra dan pasca penerapan energi terbarukan, sehingga perbandingan penggunaan energi terbarukan serta emisi yang dihasilkan belum terukur valid. Hal ini relevan dengan temuan bahwa perubahan teknologi tanpa optimasi proses seringkali tidak berdampak signifikan (Sukaryono, 2020). Ketiadaan analisis tren ini turut menghambat penyelarasan strategi keberlanjutan dengan peta jalan nasional (Hendriadi *et al.*, 2023). Oleh sebab itu, analisis komparatif pada produksi sirup menjadi krusial untuk memvalidasi kinerja energi terbarukan secara terukur dan akurat.

Penelitian ini penting dilakukan sebagai langkah evaluasi untuk memvalidasi efektivitas transisi energi yang telah berjalan di perusahaan. Selain itu untuk mendorong adopsi lebih luas terhadap inisiatif energi terbarukan. Analisis ini memberikan landasan terukur bagi perusahaan untuk menyempurnakan strategi keberlanjutan dan optimalisasi proses jangka panjang.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana distribusi sumber dan beban emisi gas rumah kaca pada setiap tahapan proses produksi sirup yang dihitung menggunakan pendekatan *Life Cycle Inventory* (LCI) dan metode IPCC 2006?
2. Bagaimana perbandingan emisi gas rumah kaca antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan, serta seberapa efektif penerapannya dalam menurunkan emisi?
3. Bagaimana strategi mitigasi yang dapat digunakan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca pada proses produksi sirup berdasarkan tahapan proses dengan kontribusi emisi tertinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi sumber emisi dan menganalisis distribusi beban emisi gas rumah kaca pada setiap tahapan proses produksi sirup melalui pendekatan

Life Cycle Inventory (LCI) serta perhitungan menggunakan metode IPCC 2006.

2. Menganalisis perubahan emisi gas rumah kaca antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan pada sistem energi industri serta menilai tingkat penurunan emisi yang dihasilkan.
3. Merumuskan strategi mitigasi penurunan emisi gas rumah kaca berdasarkan hasil identifikasi tahapan proses dengan kontribusi emisi tertinggi pada produksi sirup.

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini sebagai berikut :

a. Bagi Mahasiswa

1. Mengimplementasikan ilmu dan pengetahuan perkuliahan dalam studi kasus nyata di sector industri.
2. Mengembangkan kompetensi dalam analisis emisi gas rumah kaca melalui pendekatan LCI dan metode IPCC.
3. Menambah pemahaman ilmiah mengenai kontribusi emisi pada proses produksi sirup.

b. Bagi Masyarakat

1. Memberikan informasi mengenai besaran emisi gas rumah kaca dari aktivitas produksi sirup.
2. Menjadi referensi terkait praktik industri berkelanjutan dan upaya mitigasi lingkungan.

Meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya pengurangan emisi pada sektor industri minuman.

c. Bagi Perusahaan

1. Menjadi dasar ilmiah dalam perumusan strategi mitigasi emisi dan peningkatan efisiensi energi.
2. Menyediakan data kuantitatif emisi gas rumah kaca pada setiap tahapan proses produksi sirup.
3. Menyediakan informasi kondisi emisi pada skenario kondisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan.

4. Meningkatkan akuntabilitas perusahaan dalam mendukung rantai pasok rendah emisi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Batas sistem yang digunakan adalah *gate to gate*, yaitu mencakup proses produksi dari penerimaan bahan baku hingga pengiriman produk jadi ke gudang tanpa memperhitungkan distribusi produk ke konsumen.
2. Analisis dilakukan menggunakan metode *Life Cycle Inventory* (LCI).
3. Perhitungan terhadap emisi karbon hanya menggunakan formula IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).
4. Data penelitian terdiri atas data primer (hasil observasi lapangan dan wawancara langsung) serta data sekunder (dokumen internal dan *logsheet* resmi perusahaan). Pengambilan data secara umum mencakup rentang waktu 5 tahun (periode tahun 2021 hingga 2025) untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi energi terbarukan.
5. Khusus untuk data volume limbah cair produksi, frekuensi transportasi pengiriman produk, dan konsumsi bahan bakar *forklift*, inventarisasi dibatasi hanya pada rentang waktu 1 tahun, yaitu pada tahun 2025.
6. Data aktivitas yang terakumulasi secara gabungan antara dua komoditas produk berbeda, alokasi pemisahan data dihitung secara proporsional berdasarkan volume produksi tahun 2025 (sebagai tahun dengan basis produksi terbesar). Dalam hal ini, proses produksi sirup ditetapkan memiliki proporsi sebesar 40% dari total basis produksi gabungan tersebut.
7. Jenis emisi yang dihitung meliputi CO₂ dan CH₄ yang berasal dari konsumsi energi listrik, penggunaan bahan bakar pada sektor transportasi, bahan bakar boiler dan genset, serta pengelolaan limbah cair dan limbah padat sampah, serta limbah B3 (oli pelumas, *solvent/ink*, lampu TL, kain majun) yang dihasilkan.
8. Perhitungan emisi dari air limbah domestik menggunakan data yang merepresentasikan seluruh kawasan perusahaan, sedangkan air limbah

produksi dibatasi hanya pada aktivitas proses produksi sirup sesuai batas sistem penelitian.

9. Aksi mitigasi yang direkomendasikan dilakukan berdasarkan studi literatur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Sirup

Industri sirup merupakan sektor manufaktur minuman yang melibatkan proses pencampuran gula, air, dan perisa sintetis (Wróbel-Jędrzejewska *et al.*, 2024). Proses utamanya membutuhkan energi panas untuk pelarutan bahan dan sterilisasi produk dalam tangki. Selain itu, energi listrik digunakan secara intensif untuk menggerakkan mesin pengaduk dan jalur pengemasan. Konsumsi energi fosil dalam tahapan ini berkontribusi langsung terhadap pelepasan emisi karbon (Sihombing *et al.*, 2017). Efisiensi penggunaan energi menjadi kunci utama dalam menekan dampak lingkungan dari kegiatan produksi.

Karakteristik bahan baku utama dalam produksi sirup didominasi oleh penggunaan gula yang merupakan senyawa karbon organik. Residu bahan baku menyebabkan air limbah industri sirup berkadar organik terlarut tinggi sehingga memicu aktivitas dekomposisi biologis yang intensif pada sistem pengolahan limbah. Sebagaimana dijelaskan oleh Bakti *et al.*, (2024), proses penguraian biologis pada material organik limbah berpotensi besar menghasilkan emisi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk sampingan.

Limbah cair dari industri sirup memiliki karakteristik beban organik tinggi akibat sisa gula. Proses penguraian bahan organik ini berpotensi melepaskan gas metana jika tidak dikelola dengan tepat (IPCC, 2019). Pemantauan parameter COD sangat krusial untuk mengestimasi besaran potensi emisi gas metana tersebut. Perhitungan beban emisi harus mengacu pada faktor emisi standar yang berlaku (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Untuk memberikan gambaran kuantitatif mengenai karakteristik limbah cair yang dihasilkan, Tabel 2. 1 menyajikan parameter utama limbah cair produksi sirup.

Tabel 2. 1 Karakteristik Limbah Cair Produksi Sirup

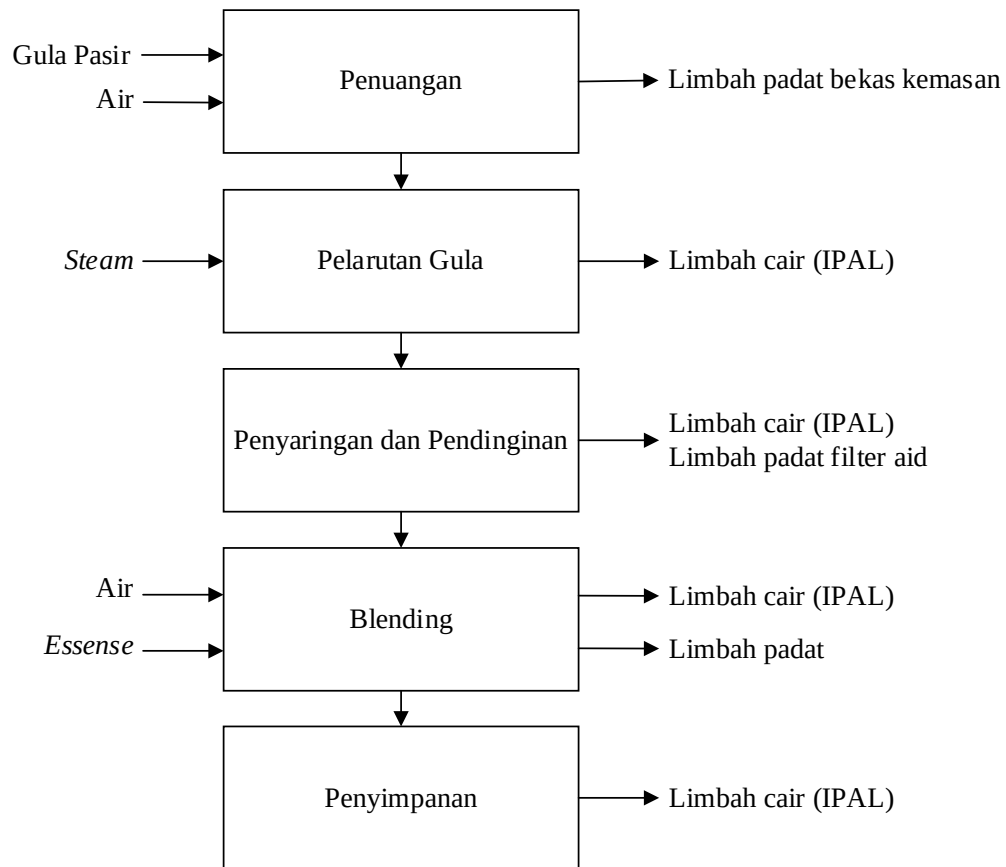
Parameter	Satuan	Kisaran Umum	Keterangan
Debit Limbah	m ³ /hari	500 – 300	Tergantung kapasitas produksi
pH	-	4,5 – 7,5	Dipengaruhi sisa gula dan bahan tambahan
COD	mg/L	3.000 – 10.000	Indikator utama beban organik
BOD ₅	mg/L	1.500 – 6.000	Umumnya ±50 – 70% COD
TSS	mg/L	200 – 1.000	Padatan tersuspensi
Minyak dan Lemak	mg/L	< 100	Biasanya rendah
Suhu	°C	25 – 40	Dipengaruhi proses pemanasan
Kandungan karbon organik	kg C/m ³	0,3 – 1,0	Digunakan dalam estimasi CH ₄
Potensi Pembentukan CH ₄	kg CH ₄ /kg COD	0,25 – 0,35	Mengacu pedoman IPCC

Penerapan produksi bersih diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sumber daya dan meminimalkan timbulan limbah. Analisis emisi gas rumah kaca membantu perusahaan mengidentifikasi tahapan proses dengan konsumsi energi dan kontribusi emisi tertinggi dalam rantai produksi. Data emisi yang akurat menjadi dasar pengambilan keputusan untuk meningkatkan kinerja lingkungan industri (Daeli, 2024). Langkah ini mendukung strategi keberlanjutan industri serta kepatuhan terhadap regulasi lingkungan nasional.

2.1.1 Proses Produksi Sirup

Secara garis besar, tahapan operasional pembuatan sirup, mulai dari input bahan baku hingga output limbah, diilustrasikan dalam diagram alir pada Gambar 2. 1.

ALUR PROSES SIRUP



Gambar 2. 1 Alur Proses Sirup

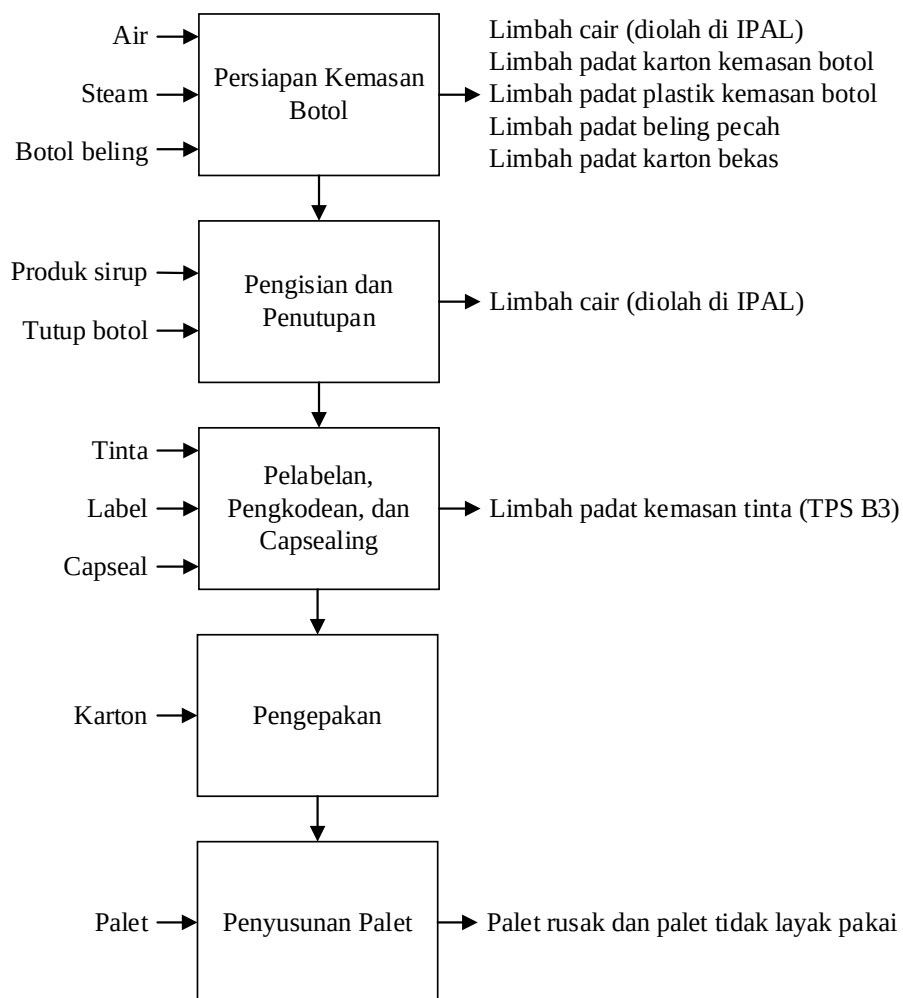
Berdasarkan tahapan proses produksi sirup, digunakan berbagai peralatan untuk menunjang kualitas produk. Berikut alat – alat yang digunakan dalam proses pembuatan sirup :

- Tangki Dissolving
- Prefilter
- Mesin Filter
- Mesin PCE
- Tangki Blending
- Tangki Stock Syrup
- Daily Tank Syrup

2.1.2 Proses Pengemasan Sirup

Hasil dari tahapan produksi, sirup pastinya akan dikemas. Proses pengemasan sirup atau proses assembling dilakukan menggunakan beberapa alat dan tahapan. Kemasan sirup menggunakan botol kaca dan tutup ulir plastik (Polietilena/PE atau Polipropilena/PP) dengan tipe tonikum serta ada juga yang menggunakan tutup botol tipe crown cap (aluminium/baja). Berikut tahapan proses pengemasan sirup dapat dilihat pada Gambar 2. 2.

Alur Proses Assembling



Gambar 2. 2 Alur Proses Assembling

Berikut merupakan alat – alat pengemasan sirup :

- a. Mesin Rinser
- b. Mesin Filler (Flip dan ROPP)
- c. Mesin *Cap Sealing*
- d. Mesin Labeling
- e. Mesin X-ray
- f. Mesin *Carton Erector*
- g. Mesin *Pick and Place*

2.2 Utilitas dan Aktivitas Penunjang Produksi

Sistem utilitas merupakan unit pendukung yang vital untuk menjamin keberlangsungan operasional pabrik, mulai dari penyediaan energi panas hingga manajemen logistik internal. Unit utilitas sering kali menjadi konsumen energi terbesar dibandingkan proses pencampuran utama, sehingga berkontribusi signifikan terhadap total emisi GRK (Wróbel-Jędrzejewska *et al.*, 2024). Identifikasi sumber emisi pada unit – unit ini sangat krusial untuk memastikan kelengkapan data inventarisasi karbon, baik dari lingkup 1 (pembakaran langsung) maupun lingkup 2 (konsumsi listrik).

Berikut adalah rincian aktivitas penunjang yang terdapat dalam sistem produksi sirup :

1. Ketel Uap (*Boiler*)

Boiler berfungsi menghasilkan uap panas (*steam*) bertekanan yang digunakan untuk proses pelarutan gula dan sterilisasi jalur produksi. Unit ini menggunakan sistem pembakaran dengan dua jenis bahan bakar, yaitu gas alam cair (*Liquefied Natural Gas/LNG*) dan biomassa cangkang kemiri yang merupakan substitusi dari batu bara. Penggunaan LNG dan batu bara menghasilkan emisi CO₂ dari pembakaran fosil, sementara pembakaran cangkang kemiri termasuk dalam kategori bahan bakar biogenik yang memiliki karakteristik faktor emisi berbeda (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Efisiensi pembakaran di unit ini sangat menentukan besaran beban emisi dari Sektor Energi (Scope 1).

2. Generator Set (*Genset*)

Unit *Genset* berperan sebagai sumber daya listrik cadangan (*backup power*) untuk memastikan operasional pabrik tetap berjalan saat terjadi pemadaman dari jaringan PLN atau untuk mengatasi beban puncak. Mesin ini umumnya menggunakan bahan bakar solar (diesel) yang menghasilkan emisi gas buang CO₂, dan CH₄ secara langsung (Scope 1). Meskipun waktu operasionalnya mungkin tidak seintensif boiler, faktor emisi solar yang tinggi menjadikan unit ini sumber emisi yang tidak boleh diabaikan dalam inventarisasi (IPCC, 2006).

3. Mesin Pendingin (*Chiller*)

Unit *chiller* bertugas menurunkan suhu air proses yang digunakan untuk mendinginkan produk sirup sebelum masuk ke tahap pengemasan (*filling*). Sistem ini bekerja menggunakan kompresor yang mengonsumsi energi listrik dalam jumlah besar (Scope 2). Selain konsumsi listrik, *chiller* juga memiliki potensi emisi langsung berupa kebocoran gas refrigeran (freon) yang memiliki nilai *Global Warming Potential* (GWP) tinggi (IPCC, 2019). Pemantauan kebocoran dan efisiensi listrik pada *chiller* menjadi fokus utama dalam audit energi.

4. Sistem Pompa (*Pumps*)

Pompa digunakan secara ekstensif untuk memindahkan fluida, baik berupa air hasil pengolahan (WTP) maupun produk sirup antar tangki. Pompa digerakkan oleh motor listrik yang beroperasi hampir terus-menerus selama jam produksi. Meskipun satu unit pompa mungkin terlihat kecil konsumsinya, akumulasi penggunaan seluruh pompa di pabrik memberikan kontribusi beban listrik yang signifikan (Sihombing *et al.*, 2017). Efisiensi pompa sangat dipengaruhi oleh perawatan rutin dan kesesuaian kapasitas motor dengan beban kerja.

5. Transportasi Internal (*Material Handling*)

Kegiatan industri logistik dan transportasi ini memberikan dampak lingkungan yang negatif dan parah terutama untuk proses transportasinya. Pada industri logistik memunculkan akibat negatif terhadap lingkungan semacam

pencemaran udara, konsumsi bahan bakar fosil, pembuangan limbah padat dan lain – lainnya (Evangelista *et al.*, 2017).

Sektor transportasi mencakup kendaraan operasional di dalam area pabrik seperti forklift. Terdapat 2 jenis forklift yang digunakan yaitu forklift mesin dan forklift elektrik. Forklift mesin digunakan untuk penggunaan luar ruangan atau beban berat. Forklift mesin yang berbahan bakar solar memberikan kontribusi signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂). Sedangkan, forklift elektrik yang ideal untuk dalam ruangan karena bersih dan minim kebisingan. Forklift elektrik tidak menghasilkan emisi secara langsung saat beroperasi. Namun, sebagian emisi dari forklift elektrik berasal dari produk listrik yang digunakan, seperti pengisian baterai, yang dapat menyumbang lebih dari 90% emisi karbon (Setiawan & Siallagan, 2025).

Selain itu, sektor ini juga meliputi armada logistik yang memindahkan produk jadi dari lini produksi ke gudang penyimpanan. Moda transportasi yang digunakan umumnya berupa kendaraan angkutan barang (truk) berbahan bakar solar (diesel). Menurut Luthfi *et al.*, (2024) karakteristik pergerakan angkutan barang dengan beban muatan berat ini berkontribusi signifikan terhadap emisi gas buang, khususnya CO₂. Besaran emisi yang dihasilkan berbanding lurus dengan jarak tempuh ke gudang, volume konsumsi bahan bakar solar, serta efisiensi mesin kendaraan (Putri *et al.*, 2024). Oleh karena itu, inventarisasi emisi pada tahap pengiriman ke gudang penting dalam perhitungan total emisi gas rumah kaca proses produksi.

2.3 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Menurut Lin *et al.*, (2023) gas rumah kaca adalah komponen atmosfer yang bertanggung jawab atas efek rumah kaca. Gas ini memiliki kemampuan untuk menyerap dan memancarkan radiasi infra merah, yang menyebabkan efek rumah kaca (Daeli, 2024). Efek rumah kaca muncul ketika radiasi panas terperangkap dan tidak dapat keluar dari atmosfer. Gas seperti karbon dioksida, metana, dan dinitrogen oksida memiliki kemampuan menyerap radiasi lebih kuat dibanding gas lainnya (Irma *et al.*, 2024). Gas rumah kaca yang paling umum di atmosfer bumi meliputi Uap Air (H₂O), Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄),

dan Dinitrogen Oksida (N_2O), Gas fluorkarbon (HFC), Perfluorkarbon (PFC), dan Sulfur heksafluorkarbon (SF_6) (Dewi *et al.*, 2017).

Proses penahanan panas ini menjaga suhu bumi tetap stabil sehingga kehidupan dapat berlangsung. Tanpa keberadaan gas rumah kaca, suhu rata – rata bumi akan jauh lebih rendah, namun peningkatan konsentrasi gas – gas tersebut menyebabkan terjadinya pemanasan global. Hubungan antara peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia dan kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi dapat ditunjukkan melalui visualisasi tren historis, yang memperlihatkan korelasi positif antara keduanya. Efek alami ini menjadi dasar terbentuknya keseimbangan temperatur atmosfer (Fresilia *et al.*, 2024).

Emisi gas rumah kaca yang kemungkinan timbul dari kegiatan maupun aktivitas industri makanan dan minuman yaitu CO_2 , CH_4 , dan N_2O . Kontributor utama emisi gas rumah kaca berasal dari pembakaran energi fosil, aktivitas industri, transportasi, pertanian, serta penggunaan lahan (Daeli, 2024). Sektor energi menjadi penyumbang terbesar karena tingginya penggunaan bahan bakar fosil dalam proses operasional. Laporan nasional menunjukkan bahwa pembakaran energi menjadi sumber emisi terbesar di Indonesia (KESDM, 2020). Penyumbang terbesar peningkatan konsentrasi emisi gas carbon disebabkan oleh kelistrikan menyumbang (42%), sektor transportasi menyumbang (24%), industri menyumbang (20%), kependudukan serta penggunaan barang komersial menyumbang (14%) (Muryani, 2018).

Industri pangan, peternakan, dan manufaktur juga menambah jumlah emisi melalui konsumsi energi dan proses pengolahan (Moja *et al.*, 2024; Tubiello *et al.*, 2021). Emisi dari limbah padat dan cair turut menambah kontribusi gas seperti CH_4 (Daeli, 2024). Kombinasi berbagai aktivitas ekonomi menyebabkan akumulasi gas rumah kaca terus meningkat (Irma *et al.*, 2024). Kondisi ini menjadikan pemahaman GRK penting dalam analisis industri pengolahan. Oleh sebab itu, identifikasi jenis – jenis gas rumah kaca diperlukan untuk memahami kontribusi masing – masing gas.

2.3.1 Jenis – jenis Emisi Gas Rumah Kaca

Jenis emisi gas rumah kaca memberikan kontribusi yang tidak sama terhadap peningkatan efek rumah kaca karena perbedaan sumber dan potensi

pemanasannya. Oleh sebab itu, pembahasan berikut menguraikan dua gas utama yang paling berperan dalam membentuk emisi, yaitu CO₂ dan CH₄.

a. Karbon Dioksida (CO₂)

CO₂ merupakan gas utama penyebab efek rumah kaca yang berperan dalam pemanasan global, terkumpul di atmosfer yang dikarenakan oleh aktivitas manusia. Manusia berkontribusi pada peningkatan CO₂ atmosfer melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, serta gas alam (Wang *et al.*, 2024). Laporan industri menegaskan bahwa CO₂ mendominasi total emisi sektor energi (KESDM, 2020). Besarnya konsumsi energi membuat CO₂ menjadi gas paling signifikan dalam sektor industri.

b. Metana (CH₄)

Metana adalah gas rumah kaca dengan kemampuan pemanasan lebih tinggi daripada CO₂ dalam jangka pendek. Gas ini dilepaskan dari proses biologis, pembusukan bahan organik, dan aktivitas industri tertentu (Irma *et al.*, 2024). Sifatnya yang mudah terbakar menghasilkan karbon dioksida sebagai produk sampingan. Aktivitas manusia telah meningkatkan jumlah metana yang dilepaskan ke atmosfer (Akinbi *et al.*, 2022).

CH₄ memiliki konsentrasi lebih kecil tetapi dampaknya lebih kuat. Gas ini berperan penting dalam peningkatan panas atmosfer jangka pendek. Konsentrasinya meningkat seiring intensifikasi aktivitas manusia. Selain itu, gas ini muncul dari proses pembakaran yang tidak sempurna dan beberapa proses industri. Studi menunjukkan bahwa CH₄ dapat dilepas dari proses pengolahan pangan atau pembakaran bahan bakar tertentu (Moja *et al.*, 2024).

2.3.2 Faktor Emisi

Faktor emisi didefinisikan sebagai nilai koefisien yang menguantifikasi emisi gas per unit aktivitas. Nilai ini menghubungkan data aktivitas operasional dengan besaran gas rumah kaca yang dilepaskan ke atmosfer (IPCC, 2006). Faktor emisi menjadi komponen fundamental dalam inventarisasi karena menentukan akurasi hasil perhitungan akhir (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Penggunaan faktor emisi yang tepat sangat bergantung pada ketersediaan data spesifik di lokasi penelitian. Menurut Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional, dalam proses inventarisasi emisi GRK, tingkat

keakuratan perhitungan dikenal sebagai "Tier". Tingkat keakuratan ini berkaitan dengan penggunaan data dan metode hitungan yang digunakan, seperti yang dijelaskan berikut :

1. Tier 1 : Sesuai dengan kegiatan dan faktor emisi (EF) standar IPCC.
2. Tier 2 : Sesuai dengan kegiatan yang lebih rinci dan menggunakan EF standar IPCC, atau faktor emisi khusus negara atau pabrik tertentu.
3. Tier 3 : Sesuai dengan kaidah khusus negara dengan kegiatan yang sangat rinci (pengujian langsung telah dilakukan) dan ketentuan khusus negara atau pabrik dalam menentukan EF.

Tier yang ditetapkan dalam pencatatan gas rumah kaca sangat bergantung pada tingkat adanya informasi dan keberlanjutan salah satu negara atau pabrik dalam mengembangkan metode atau memastikan EF yang spesifik dan dapat diterapkan pada negara atau pabrik tersebut. Setelah data lapangan itu diperoleh, Selain itu, perkiraan emisi gas rumah kaca dihitung menggunakan metode Tier 1 dan Tier 2 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Tier 1 dengan menggunakan faktor emisi default yang disediakan oleh IPCC. Pendekatan ini dipilih karena keterbatasan ketersediaan faktor emisi spesifik lokal maupun nasional yang terverifikasi untuk seluruh unit utilitas pabrik, khususnya pada sistem energi listrik, bahan bakar alternatif, dan pengelolaan limbah. Meskipun merupakan metode estimasi dasar, Tier 1 tetap direkomendasikan oleh IPCC untuk inventarisasi awal dan analisis komparatif emisi. Pendekatan ini mampu memberikan gambaran potensi emisi yang representatif apabila didukung oleh data aktivitas operasional yang akurat dan konsisten (IPCC, 2019; Wróbel-Jędrzejewska *et al.*, 2024).

Dalam konteks industri makanan dan minuman, faktor emisi bahan bakar fosil dan listrik memegang peranan vital. Variasi nilai kalor bahan bakar sangat mempengaruhi besaran faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan (Pusdatin ESDM, 2020). Oleh karena itu, konsistensi dalam memilih referensi faktor emisi sangat diperlukan untuk validitas data.

2.4 Klasifikasi Sektor Emisi Menurut IPCC

Pedoman 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories mengelompokkan sumber emisi Gas Rumah Kaca ke dalam kategori-kategori spesifik untuk memudahkan inventarisasi. Dalam konteks operasional industri manufaktur sirup, identifikasi sumber emisi difokuskan pada sektor – sektor berikut :

1. Sektor Energi

Menurut klasifikasi IPCC, sektor energi mencakup emisi yang timbul dari pembakaran bahan bakar fosil secara stasioner (*Stationary Combustion*). Pada industri sirup, emisi ini bersumber dari operasional mesin utilitas seperti *boiler* (pembangkit uap) dan *genset* yang menggunakan bahan bakar solar, gas alam, atau biomassa. Selain itu, emisi tidak langsung dari penggunaan energi listrik (*grid electricity*) juga masuk dalam lingkup perhitungan energi yang krusial (IPCC, 2006).

2. Sektor Transportasi

Sektor ini mencakup emisi dari pembakaran internal mesin kendaraan operasional. Dalam batasan sistem *gate to gate*, aktivitas ini tidak hanya terbatas pada penggunaan *forklift* di area produksi, tetapi juga meliputi armada logistik (truk) yang bertugas memindahkan produk jadi menuju gudang penyimpanan. Truk angkutan barang umumnya menggunakan bahan bakar solar (diesel) yang memiliki karakteristik emisi tinggi. Menurut Luthfi *et al.*, (2024) pergerakan kendaraan angkutan barang dengan beban muatan berat berkontribusi signifikan terhadap peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (CO₂). Besaran total emisi dari aktivitas transportasi ini berbanding lurus dengan volume konsumsi bahan bakar yang dipengaruhi oleh jarak tempuh dan efisiensi mesin kendaraan (Putri *et al.*, 2024).

3. Sektor Limbah

Sektor limbah mencakup emisi GRK yang dilepaskan dari proses pengolahan dan pembuangan limbah. Proses degradasi material organik dalam limbah cair industri maupun domestik secara anaerobik berpotensi melepaskan gas metana (CH₄) (IPCC, 2006). Dalam batasan penelitian, sumber emisi ini terpusat pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pabrik serta fasilitas

pengolahan limbah domestik. Proses dekomposisi biologis pada kondisi anaerobik menjadi pemicu utama terbentuknya gas metana yang memiliki potensi pemanasan global jauh lebih tinggi dibandingkan karbon dioksida (Bakti *et al.*, 2024).

2.5 **Life Cycle Inventory (LCI)**

Life Cycle Inventory (LCI) merupakan tahap kedua dan paling krusial dalam kerangka kerja penilaian daur hidup. Tahap ini melibatkan pengumpulan dan kuantifikasi seluruh input dan output dalam batasan sistem yang ditentukan (Sihombing *et al.*, 2017). Input mencakup bahan baku dan energi, sedangkan output meliputi produk, limbah, dan emisi. Keakuratan data LCI sangat menentukan validitas hasil analisis dampak lingkungan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Dalam batasan *gate to gate* pabrik sirup, LCI fokus pada aliran material di dalam area pabrik. Data yang dikumpulkan meliputi konsumsi listrik, penggunaan bahan bakar, dan volume air untuk proses produksi maupun kegiatan domestik. Tantangan utama dalam LCI biasanya berkaitan dengan ketersediaan data historis yang rapi dan terukur (KLHK, 2024). Kualitas data LCI harus memenuhi prinsip kelengkapan, konsistensi, dan akurasi waktu. Data yang tidak lengkap dapat menyebabkan *underestimation* atau perhitungan emisi yang terlalu rendah dari kenyataan (Wróbel-Jędrzejewska *et al.*, 2024).

2.6 **Metodologi Perhitungan Emisi**

Metode IPCC menyediakan panduan standar global untuk menghitung inventarisasi gas rumah kaca nasional maupun sektoral. Metode ini berbasis pada perkalian antara data aktivitas manusia dengan faktor emisi yang relevan. Pendekatan ini dirancang agar fleksibel dan dapat diterapkan pada skala negara hingga level korporasi. IPCC membagi sumber emisi ke dalam beberapa kategori utama, termasuk energi, proses industri, dan limbah (IPCC, 2006).

Prinsip dasar perhitungan emisi GRK adalah mengkonversi seluruh jenis gas menjadi satuan CO₂ ekuivalen. Hal ini dilakukan dengan mengalikan beban emisi gas tertentu dengan nilai GWP masing – masing. GWP digunakan untuk mengonversi gas CH₄ dan N₂O menjadi satuan CO₂ ekuivalen (CO₂e) agar total

beban emisi dapat dijumlahkan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Rumus umum yang digunakan untuk estimasi emisi adalah sebagai berikut:

Rumus dasar perhitungan emisi :

$$Emisi_{GRK} = data\ aktivitas \times faktor\ emisi \times GWP \quad (2.1)$$

Tabel 2. 2 Faktor Konversi GWP

Nilai <i>Global Warming Potential</i> (GWP)	
CO ₂ (eq)	1
CH ₄ (eq)	25

Sumber : (IPCC 4th assessment)

Penerapan metode ini membutuhkan kedisiplinan dalam menetapkan batasan sistem dan asumsi perhitungan. Konsistensi penggunaan satuan dan faktor konversi energi juga harus diperhatikan dengan seksama (KLHK, 2012). Kesalahan kecil dalam konversi satuan dapat menyebabkan deviasi hasil yang signifikan.

2.6.1 Emisi Pembakaran Stasioner (*Stationary Combustion*)

Emisi dari pembakaran bahan bakar stasioner merupakan sumber emisi langsung (Lingkup 1) dalam industri manufaktur. Sumber utama biasanya berasal dari operasional boiler atau generator listrik (genset) (IPCC, 2006). Proses pembakaran ini melepaskan gas CO₂ sebagai produk utama. Besarnya emisi sangat bergantung pada jenis bahan bakar dan efisiensi teknologi pembakaran yang digunakan (Bakti *et al.*, 2024).

Pada industri sirup, boiler digunakan untuk menghasilkan uap panas bagi proses pelarutan gula dan pasteurisasi. Substitusi bahan bakar fosil ke biomassa akan mengubah karakteristik perhitungan emisi secara signifikan. Emisi CO₂ dari biomassa sering dianggap netral, namun emisi CH₄ tetap harus diperhitungkan. Perhitungan harus memisahkan emisi berdasarkan jenis gas sebelum dikonversi ke CO₂e (KLHK, 2012).

Rumus Emisi Pembakaran Stasioner (*Stationary Combustion*):

1. Emisi dari Pembakaran (Scope 1)

a. Perhitungan Emisi GRK dari Bahan Bakar

$$Emisi\ GRK = FC \times NCV \times EFi \quad (2.2)$$

Keterangan :

FC = Konsumsi bahan bakar (ton)

NCV = Nilai kalor bersih (TJ/unit)

EF_i = Faktor emisi spesifik (kg/TJ)

Tabel 2. 3 Nilai Faktor Emisi (FE) GRK Peralatan Tak Bergerak

Jenis Bahan Bakar	FE IPCC (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Bumi / BBG	56.100	1	0,1
NGL	64200	3	0,6
Premium (tanpa katalis)	-	-	-
Diesel (IDO/ADO)	74.100	3	0,6
Industrial / Residual Fuel Oil	77.400	3	0,6
Marine Fuel Oil (MFO)	-	-	-
Batubara (sub-bituminous)*	96.100	10	1,5
Wood / Wood Waste	112.000	132.000	4
Other Primary Solid Biomass	100.000	117.000	4

Sumber : IPCC, 2006

Tabel 2. 4 Nilai Kalor Bahan Bakar Indonesia

Bahan Bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium*	33×10^{-6} Tj/Liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)	36×10^{-6} Tj/Liter	Kendaraan bermotor, Pembangkit listrik
Minyak Diesel (IDO)	38×10^{-6} Tj/Liter	Boiler industri, pembangkit listrik
MFO	40×10^{-6} Tj/Liter 4.4×10^{-2} Tj/ton	Pembangkit listrik
Gas Bumi	1.055×10^{-6} Tj/SCF 38.5×10^{-6} Tj/Nm ³	Industri, rumah tangga, restoran
LPG	47.3×10^{-6} Tj/kg	Rumah tangga, restoran
Batu Bara	18.9×10^{-3} Tj/ton	Pembangkit listrik, industri
Liquid Natural Gas (LNG)	21.6×10^{-6} Tj/Liter	
Other primary solid biomass (Biomassa padat lainnya)	1.6×10^{-6} Tj/ton	
Catatan: *) termasuk Pertamina, Pertamina Plus HSD: High Speed Diesel ADO: Automotive Diesel Oil IDO: Industrial Diesel Oil		

Sumber : (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

2.6.2 Emisi Pembakaran Bergerak (*Mobile Combustion*)

Emisi ini bersumber dari kendaraan operasional yang menggunakan mesin pembakaran dalam berbahan bakar Solar (Diesel). Unit yang termasuk dalam kategori ini adalah *Forklift* Diesel (untuk area luar/berat) dan Truk Logistik (untuk pengiriman ke gudang). Perhitungan beban emisi rumah kaca mengacu pada IPCC pada metode Tier 2 dengan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (vehicle kilometer travelled – VKT atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun).

Rumus perhitungan emisi pembakaran solar untuk kategori transportasi :

$$Emisi\ CO_2 = VKT \times FC \times EF_{CO_2} \times (100 - C)/100 \quad (2.3)$$

Keterangan :

VKT = Total jarak tempuh kendaraan (km)

FC = Konsumsi bahan bakar (L/km)

EF_{CO_2} = Faktor emisi spesifik

C = Efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi lokal yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Tabel faktor emisi dapat dilihat pada Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Data Faktor Emisi Nasional untuk Metode Tier 2

Kategori Perhitungan Pencemar Udara	Parameter		
	CO ₂ (g/Kg)	CH ₄ (g/Kg)	N ₂ O (g/Kg)
Sepeda Motor	3180	0,26	0,002
Mobil Bensin	3180	0,07	0,005
Mobil Solar	3180	0,01	0,014
Bus	3180	0,06	0,013
Truk	3180	0,01	0,031

Sumber : (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010)

Perhitungan emisi CO₂ tergantung pada ekonomi bahan bakar per jenis kendaraan. Karena nilai VKT total akan dibagi dengan ekonomi bahan bakar per jenis kendaraan dan dikalikan dengan densitas bahan bakar, baru dikalikan dengan faktor emisi. Ekonomi bahan bakar sebagaimana telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 seperti pada. Densitas bahan bakar solar adalah 0,8 kg/L (Harahap *et al.*, 2021).

Tabel 2. 6 Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor Nasional

Kategori	Km/liter
Sedan	9,8
Minibus/Van	8
Taksi	8,7
Angkot	7,5
Bis Sedang	4
Bis Besar	3,5
Pick up	8,5
Truk 2 engkel	4,4
Truk 3 engkel	4
Jeep	8
Sepeda Motor	28

Sumber : (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010)

2.6.3 Emisi Energi Listrik (*Indirect Emmission*)

Emisi dari penggunaan energi listrik dikategorikan sebagai emisi tidak langsung atau Lingkup 2. Emisi ini terjadi di lokasi pabrik pengguna listrik tersebut. Namun, pengguna listrik bertanggung jawab atas emisi tersebut karena permintaan energinya. Besarnya emisi dihitung berdasarkan konsumsi listrik dikalikan dengan faktor emisi grid wilayah setempat (Chiang *et al.*, 2019).

Pada umumnya emisi gas rumah kaca (GRK) adalah perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi. Faktor emisi listrik menggunakan faktor JAMALI (Jawa, Madura, dan Bali) menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Kelistrikan pada tahun 2019 adalah sebesar 0,87 ton CO₂/MWh (Pusdatin ESDM, 2020). Industri dapat mengurangi emisi ini dengan melakukan efisiensi peralatan listrik seperti forklift, pompa, dan

pendingin. Pemasangan panel surya atap juga dapat mengurangi ketergantungan pada listrik yang tinggi karbon.

Rumus Emisi Konsumsi Listrik (*Grid Electricity*):

1. Emisi dari Konsumsi Listrik (Scope 2)

$$E_{listrik} = EC \times EF \quad (2.4)$$

Keterangan :

- $E_{listrik}$ = Emisi listrik (ton CO₂/tahun)
- EC = Total konsumsi listrik (MWh/tahun).
- EF = Faktor Emisi (ton CO₂/MWh).

Catatan Komparasi Energi Terbarukan : Jika pabrik menggunakan Solar Panel (PV), maka EF untuk porsi kWh dari PV adalah 0. Pengurangan emisi dihitung dari selisih pemakaian Grid sebelum dan sesudah ada PV.

2.6.4 Emisi Limbah

Kegiatan domestik karyawan dan pengolahan limbah industri berpotensi menghasilkan emisi gas metana (CH₄). Air limbah industri sirup mengandung bahan organik tinggi yang ditunjukkan oleh nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD). Jika limbah ini diolah dalam kondisi anaerobik (tanpa oksigen), bakteri akan mengalami kematian (Hanarisyanty & Pratama, 2022). Metana memiliki potensi pemanasan global 25 – 28 kali lebih kuat daripada CO₂ (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

Selain limbah industri, limbah domestik dari toilet karyawan juga berkontribusi terhadap emisi pabrik. Perhitungan emisi ini didasarkan pada jumlah karyawan dan faktor emisi per kapita atau beban organik per orang. Pengelolaan lumpur limbah yang tepat dapat meminimalkan pelepasan metana ke atmosfer. Pada sistem tier yang lebih tinggi, pengambilan gas metana untuk energi (*biogas recovery*) dapat menjadi faktor pengurang emisi (IPCC, 2006).

Selain limbah cair produksi industri dan sampah produksi dari proses produksi maupun proses assembling juga berkontribusi terhadap emisi pabrik. Perhitungan emisi sampah produksi didasarkan pada jumlah timbulan limbah dan jenis sampah. Pengelolaan sampah produksi yang tepat, seperti pemilahan dan pengurangan limbah ke tempat pembuangan akhir, dapat menekan pembentukan

gas metana. Pada sistem tier yang lebih tinggi, penerapan pemanfaatan gas dari limbah padat atau pengolahan lanjutan berpotensi menjadi faktor pengurang emisi sesuai pedoman IPCC (IPCC, 2006).

Rumus Emisi Pengolahan Limbah Cair (*Wastewater Treatment*):

1. Emisi dari *Septic Tank* – CH₄ (Scope 1)

$$Total\ kebutuhan\ air\ bersih = (N \times Hari\ Kerja \times standar\ keb.\ air\ bersih) \quad (2.5)$$

Keterangan :

- N = Jumlah populasi (jiwa)
- Standar kebutuhan air bersih = 50 Liter/orang/hari

Perhitungan Beban Organik Total (TOW)

$$TOW = Debit\ air\ limbah\ cair \times konsentrasi\ BOD \quad (2.6)$$

Keterangan :

- TOW = Beban organik total (m³/tahun)

Penentuan nilai faktor emisi (EF) dalam perhitungan CH₄ menggunakan rumus berikut :

$$EF = B_0 \times MCF \quad (2.7)$$

Keterangan :

- EF = Faktor emisi (kg CH₄/kg BOD)
- Bo = Kapasitas produksi CH₄ maks. (kg CH₄/kg BOD).
Default kapasitas produksi CH maksimum 0.6 kg (kg CH₄/kg BOD)
- MCF = Faktor koreksi CH₄ (dapat dilihat pada Tabel 2. 7)

Tabel 2. 7 Nilai Default MCF dan Hasil EF Berdasarkan Sistem Pengolahan

Tipe Pengolahan dan Jalur Sistem Pembuangan	Penjelasan	MCF	Range	EF (kg CH ₄ /kg BOD)	EF (kg CH ₄ /kg BOD)
Sistem Pengolahan Air Limbah					
Reaktor Anaerobik	Pemulihan CH ₄ tidak dipertimbangkan disini	0,8	0,8 – 0,10	0,48	0,2
<i>Septic Tank</i>	Tangki <i>Septic Tank</i> mengeluarkan CH ₄	0,5	0,4 – 0,72	0,3	0,126

Tipe Pengolahan dan Jalur Sistem Pembuangan	Penjelasan	MCF	Range	EF (kg CH ₄ /kg BOD)	EF (kg CH ₄ /kg BOD)
Septic Tank + bidang sebaran tanah	Tangki <i>Septic Tank</i> mengeluarkan CH ₄ emisi yang diabaikan berasal dari bidang sebaran tanah	0,5	0,4 – 0,72	0,3	0,125

Sumber : (IPCC, 2019)

Kemudian menghitung emisi CH₄ tahunan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Emisi\ CH_4 = TOW \times EF \quad (2.8)$$

Keterangan :

- TOW = Total organik dalam air limbah (kg BOD/tahun)
- EF = Faktor emisi (kg CH₄/kg BOD)

Kemudian dilakukan konversi ke kesetaraan karbon dioksida (CO₂) menggunakan nilai GWP metana yakni 21, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Emisi\ CO_2 = Emisi\ CH_4 \times 21 \quad (2.9)$$

2. Emisi dari Limbah Produksi Cair - CH₄ (Scope 1)

$$E_{CH_4} = \sum [(TOW - S) \times EF - R] \quad (2.10)$$

$$TOW = P_i \times W_i \times COD$$

$$EF = B_0 \times MCF$$

Keterangan :

- E_{CH_4} = Emisi CH₄ (kg CH₄/tahun)
- TOW = Total material degradable organic dalam limbah cair (kg COD/tahun)
- W_i = Jumlah limbah cair yang dihasilkan (m³/ton produk)
- COD = Chemical Oxygen Demand (kg COD/m³)

- S = Komponen organik yang dihilangkan sebagai lumpur dalam tahun inventori (kg COD/tahun)
- EF = Faktor Emisi (kg CH₄/kg COD)
- R = Jumlah dari pemulihan CH₄ dalam tahun inventori (kg CH₄/kg COD)
- B₀ = Kapasitas maksimal gas metana (kg CH₄/kg COD)
- MCF = Faktor koreksi metana

Rumus Emisi Pengolahan Limbah Padat (*Wastewater Treatment*):

1. Emisi dari Limbah Padat – CH₄ (Scope 1)

$$E_{CH_4} = \text{Limbah yang dihasilkan} \times FE \quad (2.11)$$

Keterangan :

- E_{CH_4} = Emisi CH₄ (kg CH₄/tahun)
- FE = Faktor emisi

Perhitungan Emisi CO₂

$$E_{CO_2} = E_{CH_4} \times \frac{44}{16} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- E_{CO_2} = Total Emisi CH₄ (Ton/Tahun)
- E_{CH_4} = Total Emisi CO₂ (Ton/Tahun)
- FE = Faktor emisi (1,09 CH₄)
- $\frac{44}{16}$ = MR CH₄ / MR CO₂

2. Emisi dari Limbah Padat B3 – CH₄ (Scope 1)

Dalam penelitian ini, acuan perhitungan mengacu pada ketentuan Kementerian Lingkungan Hidup (2012) serta pedoman IPCC (2006) yang digunakan untuk memperkirakan besarnya potensi pemanasan global yang ditimbulkan. Limbah B3 yang dapat diolah melalui teknologi insinerasi dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama, yaitu limbah B3 padat, limbah medis atau klinis yang memiliki karakteristik infeksius dan toksik, serta limbah B3 cair yang berasal dari bahan berbasis fosil. Estimasi dampak *Global Warming Potential* (GWP) dari kegiatan pengolahan limbah B3

tersebut dilakukan berdasarkan data manifes limbah B3 dengan metode insinerasi melalui tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan jenis limbah B3 sesuai 3 karakteristik

Tabel 2. 8 Data Limbah B3 Industri Sirup

Limbah Padat B3	Limbah B3 Infeksius	Limbah B3 Cair (Fosil)
Lampu TL		Solar
Kain Majun		Pelumas (Oli)
		Limbah Laboratorium

Sumber : (Data Perusahaan, 2025 ; Kementrian Lingkungan Hidup, 2012)

2. Menentukan emisi fraksi (dmi) di dalam limbah B3, emisi default yang digunakan yaitu 0,90
3. Menentukan fraksi karbon (Cfi) dan menentukan fraksi karbon fosil (FCFi)

Tabel 2. 9 Data Nilai Fraksi Karbon dan Nilai Fraksi Karbon Fosil

Jenis Limbah	Fraksi Dry Matter (Cfi)	Fraksi Karbon Fosil (FCFi)
Limbah B3 Padat	0.50	0.90
Limbah B3 Klinik	-	-
Limbah B3 Cair	-	1.0

Sumber : (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012)

4. Menentukan fraksi faktor oksidasi (OFi) di dalam limbah B3, emisi default yang digunakan yaitu 1,0
5. Perhitungan emisi CO₂ dengan Tier 1 (Limbah B3 Padat)

$$E_{CO_2} = \sum (SW_i \times dmi \times Cfi \times FCFi \times OFi) \times \frac{44}{12} \quad (2.13)$$

Keterangan:

- E_{CO_2} = Emisi CO₂ dalam tahun inventori (Ton)
- SW_i = Total berat (basah) limbah B3 yang dibakar (Ton)
- Dmi = Fraksi emisi limbah B3 (berat basah)
- Cfi = Fraksi karbpn limbah B3 (Karbon Total)
- $FCFi$ = Fraksi karbon fosil limbah B3
- OFi = Fraksi Oksidasi
- $\frac{44}{12}$ = Faktor konversi karbon

6. Perhitungan emisi CH₄ dengan Tier 1 (Limbah B3 Padat)

$$E_{CH_4} = \sum (IWi \times EFi) \times 10^{-6} \quad (2.14)$$

Keterangan:

- E_{CH_4} = Emisi CH₄ dalam tahun inventori (Ton)
- IWi = Total berat (basah) limbah B3 yang dibakar (Ton)
- EFi = Fraksi emisi metana
- 10^{-6} = Konversi massa (Ton)

7. Perhitungan emisi CO₂ dengan Tier 1 (Limbah B3 Cair)

$$E_{CO_2} = \sum (ALi \times CLi \times OFi) \times \frac{44}{12} \quad (2.15)$$

Keterangan:

- E_{CO_2} = Emisi CO₂ dalam tahun inventori (Ton/Tahun)
- ALi = Total berat (basah) limbah B3 yang dibakar (Ton)
- OFi = Fraksi oksidasi
- $\frac{44}{12}$ = Faktor konversi karbon

2.7 Analisis Efisiensi Energi

Analisis efisiensi energi dilakukan dengan menghitung nilai *Specific Energy Consumption* atau SEC pada proses produksi. Metode ini mengukur jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan produk sirup secara akurat. Perbandingan nilai SEC antara kedua skenario menunjukkan tingkat produktivitas penggunaan energi di perusahaan tersebut. Penurunan nilai SEC mengindikasikan bahwa implementasi energi terbarukan berhasil meningkatkan efisiensi operasional pabrik.

$$SEC = \frac{\text{Total Konsumsi Energi} \left(\frac{MJ}{kWh} \right)}{\text{Total Produksi} \left(\frac{Ton}{Liter} \right)} \quad (2.16)$$

2.8 Analisis Komparasi dan Identifikasi Hotspot

Analisis komparasi dilakukan untuk membandingkan beban emisi serta efisiensi energi pada dua skenario berbeda. Skenario sebelum mencerminkan kondisi awal sebelum implementasi teknologi energi terbarukan dilakukan secara menyeluruh (Sukaryono, 2020). Data aktual mewakili performa sistem setelah

perusahaan mengintegrasikan panel surya dan biomassa cangkang kemiri. Identifikasi kontribusi emisi tertinggi sangat krusial untuk menemukan titik operasional dengan kontribusi gas rumah kaca terbesar. Penentuan prioritas ini membantu manajemen mengarahkan investasi teknologi pada sektor yang paling kritis. Batasan sistem yang konsisten sangat diperlukan agar hasil perbandingan memiliki tingkat validitas ilmiah tinggi.

Peralihan bahan bakar boiler dari batubara menuju biomassa cangkang kemiri dan solar menuju LNG, penggunaan solar panel, dan lainnya terbukti menurunkan emisi gas rumah kaca secara signifikan. Konsep *avoided emissions* mengukur selisih beban karbon yang tidak lagi dilepaskan ke atmosfer bumi. Perhitungan emisi yang dihindari menjadi parameter penting dalam pelaporan keberlanjutan industri manufaktur modern. Persentase penurunan emisi merupakan indikator utama keberhasilan perusahaan dalam mencapai target dekarbonisasi industri (Liu *et al.*, 2023). Penggunaan energi bersih pada boiler dan forklift elektrik secara langsung mengurangi ketergantungan energi fosil. Hal ini memperkuat posisi perusahaan dalam mendukung komitmen nasional mengenai penurunan emisi karbon global (Liu *et al.*, 2023).

Analisis intensitas emisi memberikan gambaran beban emisi per satuan volume produk sirup dan per tahun yang dihasilkan. Indikator ini sangat relevan untuk menilai kaitan antara efisiensi energi dengan beban emisi operasional. Penurunan intensitas emisi per unit produk menunjukkan efektivitas penggunaan energi baru yang lebih bersih. Hasil komparasi ini menjadi rujukan teknis untuk mengevaluasi keberhasilan program efisiensi energi secara total. Rekomendasi mitigasi selanjutnya akan didasarkan pada temuan empiris dari data intensitas emisi tersebut. Langkah ini memastikan bahwa setiap tindakan perbaikan memiliki dasar ilmiah yang kuat dan terukur. Berikut rumus presentase penurunan emisi.

Rumus Persentase Penurunan Emisi (*Emission Reduction*) :

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{\text{Emisi total baseline} - \text{Emisi total aktual}}{\text{Emisi total baseline}} \times 100\% \quad (2.17)$$

Rekomendasi mitigasi disusun berdasarkan hasil identifikasi hotspot emisi yang telah dianalisis sebelumnya. Langkah ini bertujuan untuk memberikan solusi teknis pada titik penyumbang emisi tertinggi secara tepat. Prioritas utama ditujukan pada sisa emisi dari penggunaan bahan bakar fosil yang masih tersedia. Evaluasi dilakukan terhadap operasional boiler LNG dan penggunaan forklift solar secara mendalam.

Strategi mitigasi ini difokuskan untuk menutup celah emisi yang belum tereduksi sepenuhnya. Optimalisasi teknologi ramah lingkungan diharapkan mampu memaksimalkan pengurangan beban emisi operasional perusahaan. Implementasi rekomendasi tersebut akan mendukung pencapaian target minimalisasi emisi secara jangka panjang. Hasil akhir penelitian ini memberikan panduan strategis menuju proses produksi yang lebih berkelanjutan.

2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 10 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No	Penulis (tahun)	Judul	Jenis Industri	Hasil Penelitian
1.	Saputra (2024)	Analisis Kinerja Sistem Manufaktur Berkelanjutan : Integrasi Teknologi Energi Terbarukan dalam Proses Produksi	Studi Manufaktur	Penelitian ini mengkaji kinerja sistem manufaktur yang menggunakan energi terbarukan serta dampaknya terhadap proses produksi. Melalui studi kasus fasilitas yang menerapkan tenaga surya dan angin, penelitian ini menilai perubahan efisiensi energi, biaya operasional, dan dampak lingkungan. Analisis dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi, biaya, dan emisi karbon sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan.
2.	Wibowo (2024)	Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon	Pembangkit Listrik	Metode tinjauan pustaka ini mengumpulkan, menganalisis, dan mensintesis literatur tentang kontribusi energi terbarukan dalam mengurangi emisi karbon. Hasil karya ini potensi energi terbarukan di Indonesia, terutama tenaga surya, angin, dan biomassa, sangat besar. Dengan dukungan yang tepat, energi terbarukan dapat signifikan mengurangi emisi karbon dan mendukung pertumbuhan ekonomi berkelanjutan.
3.	Wróbel-Jędrzejewska <i>et al.</i> (2024)	Analysis of Greenhouse Gas Emissions of a Mill According to the GHG Protocol	Industri Manufaktur (Penggilingan)	Menghitung emisi Lingkup 1 (bahan bakar) dan Lingkup 2 (listrik) menggunakan <i>GHG Protocol</i> . Hasil menunjukkan dominasi emisi dari konsumsi listrik mesin produksi dan merekomendasikan efisiensi energi.

No	Penulis (tahun)	Judul	Jenis Industri	Hasil Penelitian
4.	Judijanto <i>et al.</i> (2023)	Analisis Dampak Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Teknologi Hijau pada Pengurangan Emisi Karbon di Industri Manufaktur Kota Tangerang	Industri Manufaktur	Penelitian ini menyelidiki hubungan yang rumit antara penggunaan energi terbarukan, langkah-langkah efisiensi energi, adopsi teknologi ramah lingkungan, dan pengurangan emisi karbon di industri manufaktur di Kota Tangerang. Hasilnya menunjukkan adanya hubungan positif yang signifikan antara penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, dan adopsi teknologi ramah lingkungan, serta pengurangan emisi karbon yang substansial
5.	Taylor <i>et al.</i> (2023)	Comprehensive life cycle assessment of the corn wet milling industry	Industri Penggilingan Jagung (Pemanis)	Menyusun data inventarisasi (LCI) detail untuk produksi pemanis berbasis jagung. Menemukan bahwa proses evaporasi dan pengeringan merupakan titik konsumsi energi termal terbesar (<i>hotspot</i> energi).
6.	Kim <i>et al.</i> (2021)	Analysis of Greenhouse Gas Emissions for Carbonated Soft Drinks Using LCA Methodology	Industri Minuman Ringan	Menghitung total emisi GRK pada tahap pra-manufaktur hingga pembuangan. Menemukan bahwa kemasan (botol/kaleng) dan bahan baku adalah penyumbang beban karbon terbesar, bukan proses pengisian itu sendiri.
7.	Wong <i>et al.</i> (2021)	Modelling product carbon footprint of beverage merchandise	Rantai Pasok Minuman	Mengembangkan model <i>Input-Process-Output</i> untuk melacak beban emisi. Hasilnya berupa kerangka kerja untuk mengidentifikasi emisi di setiap tahapan rantai pasok minuman secara transparan.

No	Penulis (tahun)	Judul	Jenis Industri	Hasil Penelitian
8.	Rissman <i>et al.</i> (2020)	Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070	Berbagai Industri	Studi ini mengidentifikasi langkah-langkah terpadu yang berpotensi mencapai emisi industri nol bersih dalam jangka waktu yang ditargetkan. Teknologi kunci pada sisi pasokan meliputi peningkatan efisiensi energi, penangkapan karbon, elektrifikasi proses, serta pemanfaatan hidrogen nol karbon sebagai sumber energi dan bahan baku.
9.	Sukaryono (2020)	Pengaruh penerapan industri hijau terhadap emisi gas rumah kaca kegiatan industri di Indonesia	Industri Manufaktur Umum	Menganalisis data statistik emisi sebelum dan sesudah penerapan standar industri hijau. Menemukan korelasi positif dimana sertifikasi hijau mampu menurunkan intensitas emisi GRK sebesar 5,1% pada sektor energi manufaktur.
10.	Chiang <i>et al.</i> (2019)	A Benchmark-Based Low Carbon Performance Evaluation for Beverage Production	Industri Minuman	Membuat <i>benchmark</i> kinerja rendah karbon untuk lini produksi minuman. Fokus pada identifikasi inefisiensi mesin produksi untuk menurunkan intensitas emisi per unit produk.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian mengenai analisis emisi gas rumah kaca dan efisiensi energi proses produksi sirup sebelum dan sesudah implementasi energi terbarukan ini dilaksanakan pada Industri Sirup yang berlokasi di Jawa Timur. Perusahaan ini bergerak di bidang makanan dan minuman. Lokasi ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki lini produksi sirup sendiri yang lengkap, mulai dari penerimaan bahan baku, proses pengolahan, hingga pengemasan dan penyimpanan produk jadi. Fasilitas ini juga dilengkapi dengan unit utilitas seperti boiler, *chiller*, kompresor, dan *water treatment plant* yang mendukung kontinuitas proses produksi.

Industri Sirup ini memproduksi produk minuman berbahan dasar gula, sari buah, dan asam sitrat (*citric acid*), yang menghasilkan cita rasa menyegarkan. Produk ini memiliki berbagai variasi rasa, seperti jeruk florida, leci, nanas, mangga, anggur, sirsak, coco pandan, dan melon. Proses manufaktur di fasilitas ini menerapkan sistem produksi musiman (*seasonal production*) (Farizi, 2022).

Industri Sirup ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena proses produksinya memiliki karakteristik operasional yang terkonsentrasi pada periode waktu tertentu ini menyebabkan fluktuasi intensitas energi yang signifikan. Dengan penggunaan bauran energi yang meliputi biomassa, listrik, dan solar, serta sistem pendukung lainnya, kondisi ini menjadikan lokasi tersebut relevan untuk dilakukan analisis potensi emisi gas rumah kaca. Analisis dilakukan melalui perbandingan penggunaan energi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan guna menilai perubahan pola konsumsi energi dan efektivitas penurunan emisi, menggunakan pendekatan *Life Cycle Inventory* (LCI) dan metode IPCC. Pengambilan data secara umum mencakup rentang waktu 5 tahun (periode tahun 2021 hingga 2025) untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi energi terbarukan.

3.2 Kerangka Pelaksanaan Penelitian

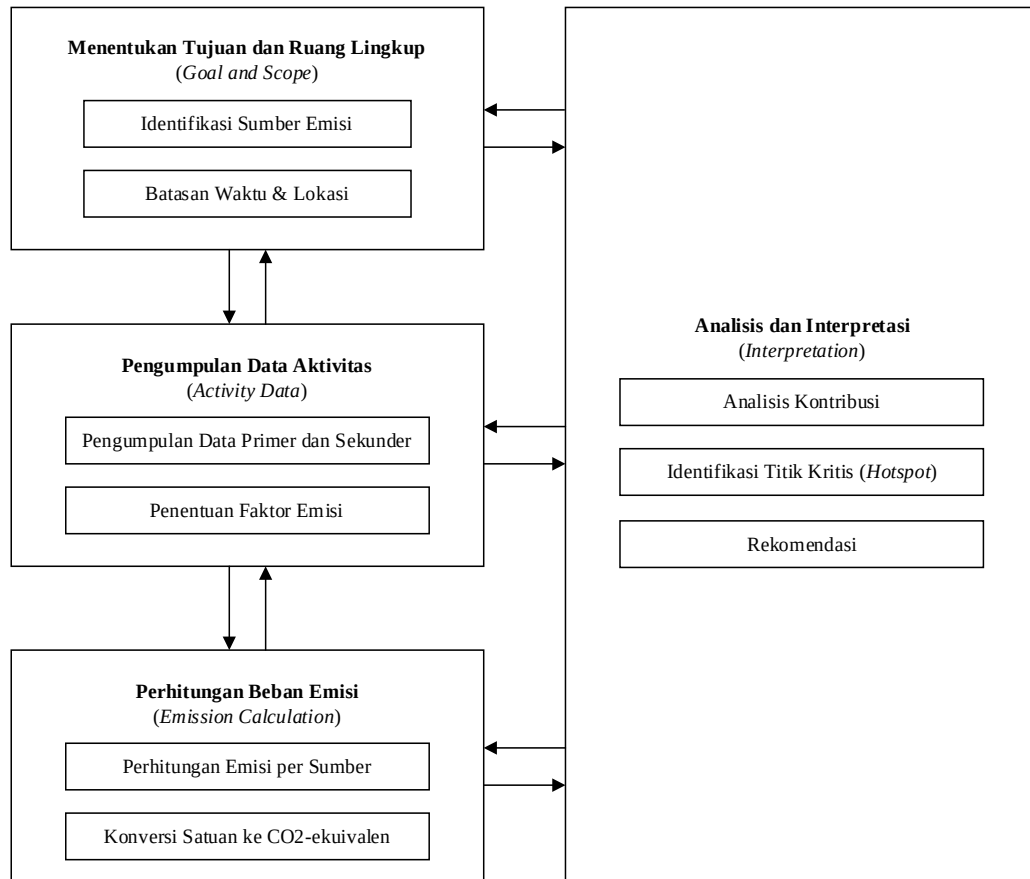
Kerangka pelaksanaan penelitian disusun untuk memberikan alur pemikiran yang jelas dalam setiap tahapan penelitian. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi emisi gas rumah kaca dari proses produksi sirup menggunakan pendekatan *Life Cycle Inventory*. Batas sistem penelitian ditetapkan secara *gate to gate* mulai penerimaan bahan baku hingga penyimpanan produk jadi. Perhitungan emisi dilakukan dengan pedoman IPCC 2006 untuk sumber energi listrik, termal, limbah cair, sampah produksi, limbah B3, dan transportasi. Penelitian ini juga membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan di Industri Sirup. Kerangka ini digunakan sebagai dasar pelaksanaan penelitian agar lebih terarah.

Tahapan penelitian diawali dengan observasi lapangan secara mendalam guna memetakan seluruh aliran proses operasional produksi sirup. Pengumpulan data dilakukan melalui inventarisasi menyeluruh terhadap penggunaan energi, bahan bakar, utilitas, serta volume limbah yang dihasilkan. Data yang digunakan dikategorikan menjadi dua jenis utama, yakni data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung melalui observasi lapangan, wawancara dengan tenaga ahli/operator, serta dokumentasi teknis pada alat produksi.

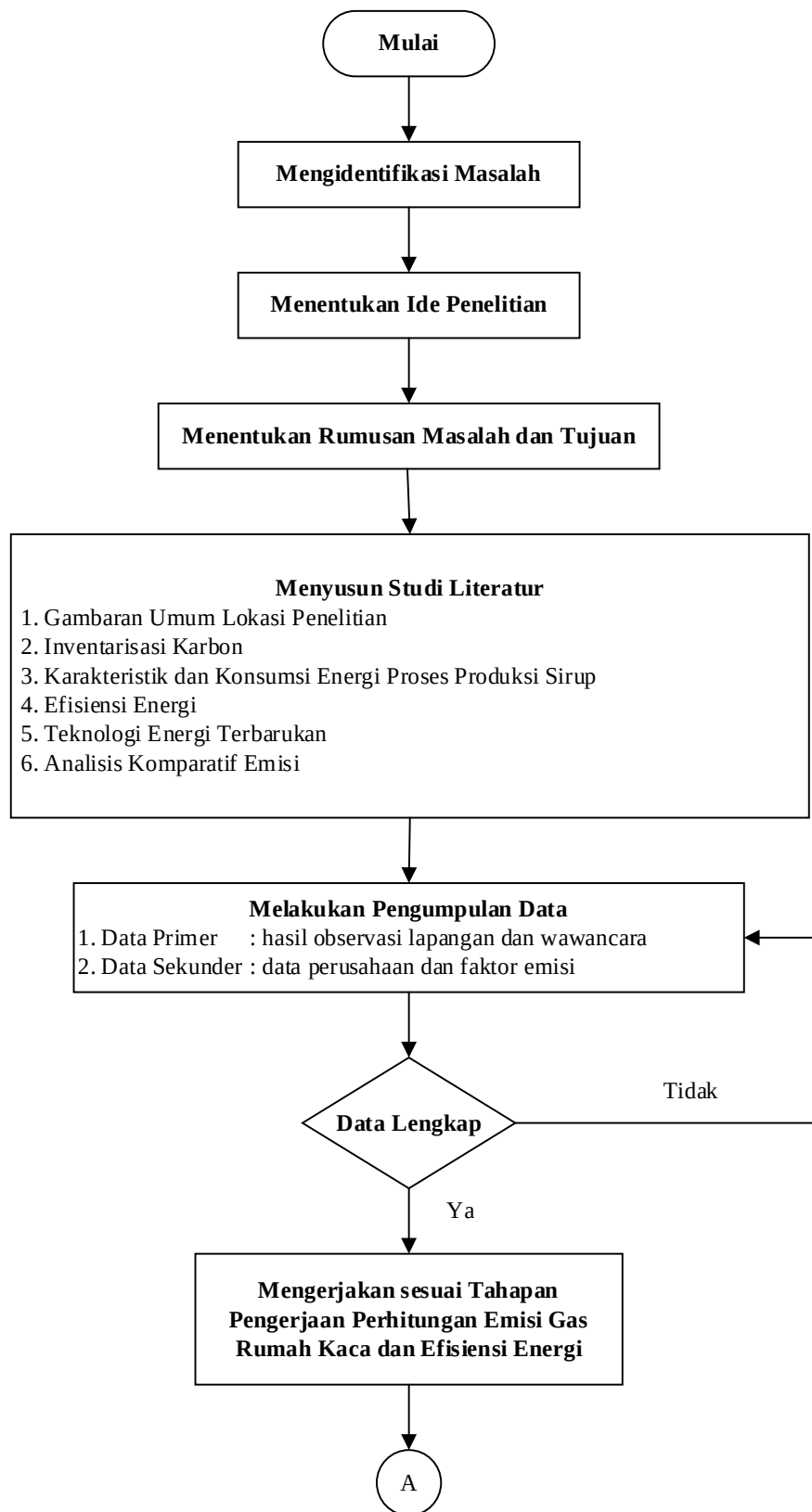
Sementara itu, data sekunder diperoleh melalui penelusuran data historis perusahaan yang mencakup *logsheet* produksi, *logsheet* utilitas, *logsheet* unit pengolahan limbah (WWTP), serta catatan logistik. Selain data internal, digunakan pula faktor emisi yang bersumber dari pedoman IPCC dan regulasi nasional sebagai referensi perhitungan. Seluruh data tersebut dianalisis menggunakan pendekatan LCI untuk menelusuri secara presisi aliran energi dan material pada setiap tahap. Analisis inventori ini menjadi kunci untuk menentukan kontribusi spesifik dari setiap unit proses terhadap total emisi yang dihasilkan.

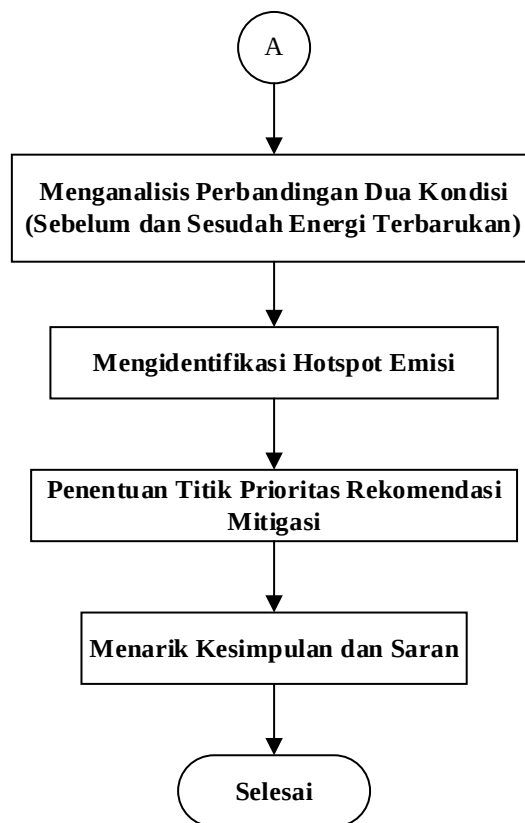
Perhitungan emisi gas rumah kaca dilakukan untuk CO₂ dan CH₄ berdasarkan metode IPCC 2006. Hasil perhitungan dianalisis untuk menemukan emisi tertinggi pada proses produksi sirup. Nilai emisi juga dibandingkan antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan. Tahap ini membantu perusahaan memahami distribusi emisi pada tiap unit proses. Hasil penelitian selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan prioritas mitigasi yang lebih

efektif. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. 1. Selain itu, kerangka berpikir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian





Gambar 3. 2 Kerangka Penelitian

3.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dirancang untuk memperjelas alur kerja penelitian melalui penjelasan deskriptif pada setiap kegiatan yang dilakukan. Tahapan ini mencakup langkah – langkah penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah, penentuan rumusan masalah serta tujuan penelitian, studi literatur, pengumpulan data, analisis data dan pembahasan, penentuan strategi penurunan emisi yang paling optimal, hingga penarikan kesimpulan dan penyusunan saran.

Penelitian yang dilakukan mengenai analisis emisi gas rumah kaca mengacu pada SNI ISO 14064 – 1:2018 tentang gas rumah kaca, IPCC *guidelines*, dan Peraturan Menteri LHK No. 73 Tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Langkah – langkah penelitian dapat dilihat pada uraian berikut ini :

3.3.1 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah merupakan tahapan awal untuk mengetahui permasalahan dari penelitian yang dilakukan. Tahap penelitian dimulai dengan

melakukan observasi pendahuluan terhadap tingginya konsumsi energi termal dan listrik pada proses produksi sirup yang berpotensi menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Masalah diidentifikasi berdasarkan kesenjangan (gap) antara upaya transisi energi terbarukan yang telah dilakukan perusahaan. Namun, perusahaan belum melakukan evaluasi kuantitatif mengenai efektivitas penurunan emisi tersebut. Identifikasi juga difokuskan pada penentuan mitigasi yang sesuai dengan perhitungan emisi tertinggi dalam batasan *gate to gate*. Hal ini guna memenuhi standar kepatuhan regulasi nasional (PERPRES 110, 2025).

3.3.2 Studi Literatur

Tahap ini dilakukan untuk membangun landasan teori dan kerangka metodologi yang kuat untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Penelitian ini menggunakan literatur sebagai sumber teori yaitu *text book*, jurnal penelitian, artikel. Kajian ini mengacu pada SNI ISO 14067:2018 dan SNI ISO 14044:2017. Selain itu juga menggunakan pedoman perhitungan emisi nasional Permen LHK No. 73 Tahun 2017 dan IPCC *Guidelines* 2006.

Literatur yang digunakan pada penelitian ini meliputi beberapa topik berikut ini :

1. Industri minuman
2. Sumber emisi gas rumah kaca industri
3. Inventarisasi emisi sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan
4. Efisiensi energi industri
5. Teknologi energi terbarukan

3.3.3 Penentuan Tujuan dan Rumusan Masalah

Tahapan ini berfokus pada penetapan rumusan masalah yang spesifik untuk mengarahkan alur penelitian. Rumusan masalah yang disusun berkaitan dengan identifikasi beban emisi yang ditimbulkan oleh seluruh tahapan proses produksi sirup serta penentuan strategi terbaik untuk menurunkan emisi. Selanjutnya, tujuan penelitian ditetapkan untuk menganalisis dampak perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah penggunaan energi

terbarukan, serta mengidentifikasi *hotspot* emisi. Target luaran dari tahapan ini adalah tersusunnya peta sebaran beban emisi yang aplikatif bagi perusahaan

3.3.4 Pengumpulan Data

Tahap ini merupakan tahap inventarisasi seluruh data baik data primer maupun sekunder yang akan menunjang pada proses penelitian. Data primer adalah data yang diperoleh peneliti secara langsung di lapangan. Data ini diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara, dan dokumentasi teknis perusahaan. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari dokumentasi yang sudah tersedia/tercatat sebelumnya. Data ini data ini mencakup logsheet produksi, faktor emisi dari pedoman IPCC dan regulasi nasional. Data primer dan sekunder inilah yang akan digunakan untuk memperkuat keakuratan penelitian ini.

Adapun data primer dan data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3. 1 dan Tabel 3. 2.

Tabel 3. 1 Data Primer

No.	Jenis	Data	Sumber Data
1.	Mesin Produksi	- Nama dan Fungsi Mesin - Kapasitas Produksi	Observasi lapangan dan wawancara
2.	Transportasi Produksi	- Jenis dan Fungsi Transportasi - Penggunaan Bahan Bakar	Observasi lapangan dan wawancara
3.	Listrik	Konsumsi listrik di setiap unit produksi	Pemantauan kembali pada panel

Tabel 3. 2 Data Sekunder

No	Jenis	Data	Sumber Data
1.	Bahan baku	Penggunaan bahan baku	Data perusahaan (logsheet produksi)
2.	Bahan bakar	Penggunaan bahan bakar (solar dan cangkang kemiri)	Data perusahaan (<i>logsheet utility</i>)
3.	Listrik	Penggunaan listrik	Data perusahaan (<i>logsheet utility</i>)
4.	Bahan Kimia	Penggunaan bahan kimia	Data perusahaan (<i>logsheet WWTP</i>)
5.	Air	Penggunaan air	Data perusahaan (<i>logsheet WTP</i>)
6.	Limbah cair dan padat	Volume limbah produksi maupun domestik	Data perusahaan (<i>logsheet WWTP</i>)

No	Jenis	Data	Sumber Data
7.	Penggunaan bahan bakar	Faktor emisi bahan bakar	IPCC 2006
8.	Penggunaan listrik	Faktor emisi listrik	Kementrian Lingkungan Hidup 2012

3.4 Batasan Sistem (*System Boundary*) dan Identifikasi Emisi

Batasan sistem yang dikaji dalam penelitian ini yaitu *gate to gate* yang mencakup seluruh aktivitas operasi internal dalam satu rantai proses produksi. Ruang lingkup kajian dimulai dari tahap penerimaan bahan baku hingga proses pengolahan, pengemasan, serta pengiriman produk jadi menuju gudang. Setiap tahapan dianalisis meliputi penggunaan energi, air, bahan bakar, serta pengelolaan limbah cair maupun padat yang dihasilkan. Batasan ini ditetapkan untuk memastikan perhitungan emisi gas rumah kaca fokus pada aktivitas operasional utama yang terkendali perusahaan.

Penelitian ini mengidentifikasi emisi CO₂ dan CH₄ dalam siklus hidup produksi sirup (Sihombing *et al.*, 2017). Sumber emisi mencakup pembakaran solar, penggunaan cangkang kemiri, serta konsumsi energi listrik (Wróbel-Jędrzejewska *et al.*, 2024).

3.5 Tahapan Analisis *Life Cycle Inventory* (LCI)

Kegiatan inventarisasi produksi sirup yaitu proses memasukkan data – data yang telah diperoleh sebelumnya. Data tersebut meliputi data input dan output berupa jumlah penggunaan bahan baku, energi, produk, dan emisi. Data pada tahap ini adalah data satu siklus produk selama satu tahun untuk data primer dan data sekunder. Pengolahan data awal dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan yang telah ditetapkan dengan bantuan *Microsoft Excel*. Total beban emisi dihitung dengan menjumlahkan emisi CO₂, dan CH₄ yang dikonversi ke satuan CO₂e menggunakan nilai *Global Warming Potential (GWP)*. Perhitungan emisi masing – masing gas dilakukan melalui perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi sesuai pedoman IPCC 2006.

Data inventori yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk menghitung emisi. Perhitungan ini menggunakan rumus perhitungan emisi gas

rumah kaca (GRK) berdasarkan IPCC 2006 *Guidelines* (Volume 2 untuk Energi dan Volume 5 untuk Limbah) serta diselaraskan dengan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Guna memperjelas analisis dan mempermudah identifikasi tren, baik data hasil perolehan data maupun hasil akhir perhitungan total emisi karbon diinterpretasikan secara komprehensif dalam bentuk grafik. Seluruh visualisasi dan pemodelan grafik dalam penelitian ini dikonstruksi menggunakan perangkat lunak *Origin 2018*.

3.6 Interpretasi

Tahap interpretasi menggabungkan temuan dari analisis inventarisasi dan penilaian dampak lingkungan (ISO, 2018). Tujuan utamanya adalah menarik kesimpulan yang konsisten dengan tujuan awal studi. Keterbatasan penelitian dan rekomendasi perbaikan juga dirumuskan pada tahap komprehensif ini. Interpretasi harus dilakukan secara transparan untuk menghindari bias dalam pengambilan keputusan.

Proses ini menghubungkan hasil teknis perhitungan dengan konteks manajerial perusahaan. Interpretasi menerjemahkan angka emisi CO₂e menjadi informasi yang dapat dipahami oleh pengambil keputusan. Hasil interpretasi akan menentukan validitas strategi penurunan emisi yang diusulkan. Tahapan ini mengacu pada kerangka kerja standar ISO 14044.

3.6.1 Identifikasi Isu Penting

Langkah ini bertujuan menentukan kontributor terbesar terhadap total beban emisi produk sirup. Analisis difokuskan pada proses yang memiliki nilai emisi atau dampak lingkungan tertinggi (Kim *et al.*, 2021). Identifikasi dilakukan menggunakan analisis kontribusi untuk menyoroti emisi tertinggi yang ditimbulkan. Emisi tertinggi ini merepresentasikan area prioritas untuk dilakukan reduksi emisi di pabrik.

Pada studi kasus ini, identifikasi membandingkan dua skenario produksi yang berbeda. Skenario pertama adalah kondisi sebelum penerapan energi terbarukan. Skenario kedua adalah kondisi sesudah penggunaan energi terbarukan pada utilitas pabrik. Perbandingan ini akan menunjukkan pergeseran

emisi tertinggi yang terjadi akibat perubahan sumber energi. Isu penting juga mencakup anomali data yang mungkin ditemukan selama inventarisasi.

Analisis dominansi digunakan untuk mengurutkan aktivitas berdasarkan besaran kontribusi emisinya. Tahap ini membantu peneliti memilah antara dampak signifikan dan dampak yang dapat diabaikan (Wong *et al.*, 2021). Hasil identifikasi ini menjadi dasar utama dalam penyusunan strategi mitigasi yang efektif.

3.6.2 Evaluasi Data

Evaluasi data dilakukan untuk memastikan keandalan dan validitas hasil perhitungan akhir. Proses ini mencakup pemeriksaan kelengkapan, pemeriksaan sensitivitas, dan pemeriksaan konsistensi data (ISO, 2018). Pemeriksaan kelengkapan memastikan seluruh aliran energi dan massa yang relevan telah terhitung. Pemeriksaan konsistensi memverifikasi keseragaman asumsi, metode, dan batasan sistem yang digunakan.

Analisis sensitivitas menguji pengaruh perubahan data input terhadap hasil akhir perbandingan beban emisi. Hal ini krusial untuk menilai dampak ketidakpastian faktor emisi energi terbarukan (Chiang *et al.*, 2020). Evaluasi ini juga menilai kualitas data primer yang diperoleh dari pabrik sirup. Jika ditemukan data yang kurang akurat, perbaikan asumsi atau pengambilan data ulang dilakukan. Hasil evaluasi menjamin bahwa kesimpulan penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.7 Menyusun Alternatif Mitigasi

Strategi mitigasi dirumuskan berdasarkan hasil evaluasi emisi tertinggi yang telah ditemukan sebelumnya. Fokus utama strategi adalah kelayakan teknis dan potensi capaian penurunan karbon. Strategi mencakup efisiensi penggunaan energi pada mesin produksi sirup (Sukaryono, 2020). Selain itu, substitusi bahan bakar fosil dengan energi terbarukan menjadi prioritas utama pembahasan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan skenario komparatif untuk memilih alternatif terbaik. Dampak lingkungan dari skenario *renewable energy* dibandingkan langsung dengan skenario konvensional. Analisis juga mempertimbangkan potensi pengurangan emisi dari sektor limbah dan

transportasi internal (Perpres No. 98, 2021). Rekomendasi teknis disusun secara hierarkis mulai dari pencegahan hingga pengendalian emisi. Strategi ini juga dapat mencakup modifikasi proses atau manajemen rantai pasok (Liu *et al.*, 2023). Tujuannya adalah memberikan peta jalan dekarbonisasi yang konkret bagi perusahaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis emisi gas rumah kaca sebelum dan sesudah penerapan energi terbarukan pada proses produksi sirup. Pada penelitian ini juga merumuskan strategi mitigasi yang berbasis pada hasil analisis tersebut. Pendekatan yang digunakan menekankan pada evaluasi komprehensif terhadap perubahan sumber energi dan kontribusinya terhadap beban emisi. Analisis tersebut menghasilkan gambaran tahapan proses dengan kontribusi emisi tertinggi sekaligus mengevaluasi efektivitas peralihan energi yang telah diterapkan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada kuantifikasi emisi, tetapi juga interpretasi pola perubahan emisi sebagai dasar pengendalian emisi.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder yang saling melengkapi. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi, wawancara dengan pihak perusahaan untuk memahami perubahan sistem bahan bakar dan penggunaan kendaraan aset (truk dan *forklift*), serta dokumentasi teknis yang mendukung analisis konsumsi energi dan bahan bakar. Selain itu, dilakukan pengujian sampel pada sektor *septic tank* untuk mengetahui nilai parameter BOD sebagai bagian dari potensi emisi tidak langsung. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumen internal perusahaan yang mencakup catatan penggunaan energi, konsumsi bahan bakar, serta jumlah timbulan limbah yang dihasilkan.

4.1 Analisis Perhitungan Emisi Karbon

Emisi CO₂ dalam penelitian ini merupakan hasil dari kegiatan utama dan kegiatan penunjang di industri sirup. Penggunaan listrik, konsumsi bahan bakar untuk proses produksi, penggunaan transportasi, timbulan sampah, dan limbah B3 dihitung berdasarkan data tahun 2021 – 2025. Penggunaan listrik dihitung dari total penggunaan listrik tahun 2021 – 2025, konsumsi bahan bakar produksi dihitung dari tahun 2021 – 2025 dan penggunaan transportasi dihitung dari frekuensi transportasi dan total jarak tempuh. Emisi dari timbulan sampah, limbah

B3 dan *septic tank* dikonversi dari CH₄ ke CO₂. Emisi CO₂ dan CH₄ dirumuskan menggunakan faktor emisi berdasarkan *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (2006).

4.1.1 Perhitungan Emisi Karbon dari Limbah Produksi Industri

Emisi CO₂ yang dihasilkan pada industri sirup diperoleh dari kegiatan pengelolaan limbah industri. Besarnya emisi CO₂ tergantung pada banyaknya timbulan limbah industri yang dihasilkan. Untuk memperoleh estimasi emisi CO₂ yang akurat, diperlukan data timbulan limbah industri. Oleh karena itu, dalam studi ini digunakan data timbulan limbah di industri sirup pada tahun 2021 – 2025. Data timbulan limbah industri sirup selama tahun 2021 – 2025 dapat dilihat pada Lampiran 1

Jumlah timbulan sampah produksi yang dihasilkan oleh industri sirup selama periode tahun 2021 – 2025, yakni sebesar 230,83 ton. Timbulan sampah industri di lokasi pabrik diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu sampah produksi dan limbah cair proses produksi. Pengukuran timbulan sampah mengacu pada standar SNI 3964:2025 selama 8 hari berturut – turut untuk mendapatkan estimasi komposisi sampah yang akurat. Data pengukuran timbulan sampah terdapat pada Lampiran 1.

Sampah produksi berasal dari aktivitas produksi di area proses, seperti kantor di masing – masing plant produksi. Jenis sampah ini umumnya terdiri dari kertas, kardus, karton, kayu pallet, karet, kemasan plastik produksi. Pengelolaan limbah di kawasan industri biasanya dilakukan dengan prinsip pemilahan, dan pemanfaatan kembali (*reuse/recycle*) untuk mengurangi beban Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (KLHK, 2024).

Emisi metana (CH₄) berpotensi terbentuk selama penimbunan sampah dalam kontainer, terutama pada limbah organik berkondisi tertutup. Selama penyimpanan, limbah berkadar air tinggi dan residu organik mengalami dekomposisi anaerob sehingga menghasilkan gas metana CH₄ (Febrianti *et al.*, 2023). Minimnya sirkulasi udara, suhu lingkungan yang relatif tinggi, serta kepadatan limbah di dalam kontainer yang mempercepat terbentuknya zona tanpa oksigen (Bunga *et al.*, 2025).

Meskipun demikian, emisi CH_4 dari penampungan sementara umumnya lebih rendah dibandingkan emisi dari tempat pemrosesan akhir. Namun, waktu penyimpanan limbah dalam kontainer relatif lama sehingga meningkatkan potensi terjadinya dekomposisi anaerob. Selain itu, tidak adanya pemisahan limbah organik dan anorganik menyebabkan potensi emisi CH_4 perlu diperhitungkan (Halomoan & Putri, 2025). Oleh karena itu, durasi penyimpanan dan karakteristik limbah menjadi faktor penting dalam menentukan besaran emisi metana yang dihasilkan.

Emisi CH_4 dari proses pengolahan limbah sangat dipengaruhi oleh jenis dan metode yang digunakan, seperti *sanitary landfill* atau sistem pengolahan biologis lainnya. Pada metode *sanitary landfill*, limbah yang tertimbun dalam kondisi minim oksigen akan mengalami degradasi oleh mikroorganisme anaerob. Kondisi ini yang menghasilkan gas metana dalam jangka waktu tertentu (Rokhmawati *et al.*, 2025). Oleh karena itu, estimasi emisi CH_4 perlu mempertimbangkan seluruh tahapan pengelolaan limbah, mulai penyimpanan sementara hingga pengolahan akhir. Pendekatan tersebut menghasilkan gambaran potensi emisi yang lebih komprehensif, representatif, dan sesuai kondisi pengelolaan limbah.

4.1.1.1 Perhitungan Emisi Karbon Sampah Produksi

Pengelolaan sampah produksi meliputi kertas, kardus, karton, kayu pallet, karet, kemasan plastik, serta drum dan jerigen bekas. Sampah tersebut berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca selama proses penyimpanan, pengangkutan, maupun pengolahan limbah. Emisi yang dihasilkan terutama berupa metana (CH_4), meskipun mekanisme pembentukannya berbeda dibandingkan limbah organik (Bunga *et al.*, 2025; Febrianti *et al.*, 2023). Presentase pembagian tiap komposisi sampah untuk produk sirup yakni 40%.

Emisi CH_4 dapat terjadi sejak tahap penampungan sementara di dalam Tempat Penampungan Sementara (TPS) hingga proses pengolahan akhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Pada tahap penampungan sementara, limbah kardus berbasis selulosa berpotensi mengalami degradasi biologis dalam kondisi minim oksigen. Potensi tersebut meningkat apabila

penyimpanan berlangsung lama dan kondisi limbah memiliki kelembapan yang tinggi. Sementara itu, limbah plastik serta drum atau jerigen bekas umumnya bersifat sulit terdegradasi, sehingga kontribusinya terhadap pembentukan CH_4 relatif lebih kecil (Baryła *et al.*, 2022).

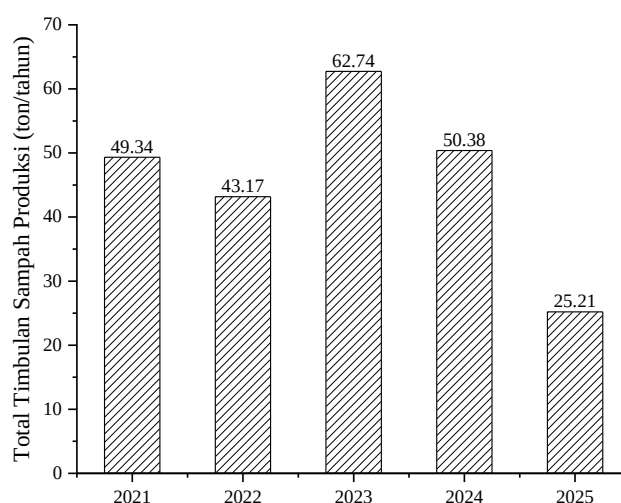
Pada tahap pengolahan akhir di TPA, potensi pembentukan CH_4 menjadi lebih signifikan dari fraksi limbah yang masih terurai. Kardus mengalami penimbunan jangka panjang pada kondisi anaerobik yang stabil sehingga meningkatkan pembentukan emisi metana (Halomoan & Putri, 2025). Dalam penelitian ini, estimasi emisi CH_4 dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah timbunan limbah dan komposisi material yang dihasilkan. Komposisi tersebut meliputi kardus, plastik, dan kemasan bekas serta sistem pengelolaan pada penyimpanan sementara dan penimbunan akhir.

Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Oktafayanza *et al.*, (2021) yang menyatakan bahwa proses penimbunan limbah secara biologis merupakan sumber utama emisi CH_4 . Emisi tersebut terutama berasal dari fraksi limbah yang masih mengandung material organik dan berpotensi mengalami degradasi biologis. Dengan demikian, perhitungan emisi difokuskan pada potensi pembentukan metana dari keseluruhan tahapan pengelolaan limbah untuk memperoleh estimasi yang lebih representatif.

Selain limbah domestik dan kemasan, penelitian ini juga menginventarisasi limbah padat sisa pembakaran dari utilitas boiler. Limbah tersebut terdiri atas *fly ash*, *bottom ash*, dan abu cangkang kemiri. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, FABA dari tungku industri non-PLTU batubara tergolong Limbah Non-B3 Terdaftar. Limbah abu cangkang kemiri dan FABA secara terintegrasi dalam sistem limbah padat industri. Berbeda dengan kardus dan kayu pallet, FABA tidak menghasilkan emisi melalui proses degradasi biokimia anaerobik di TPA. Abu cangkang kemiri dan FABA merupakan material anorganik hasil pembakaran yang tidak mengalami pembusukan organik signifikan.

Besarnya emisi CO_2 tergantung pada banyaknya timbunan sampah proses produksi yang dihasilkan. Untuk memperoleh estimasi emisi CO_2

yang akurat, diperlukan data timbunan sampah proses produksi. Oleh karena itu, dalam studi ini digunakan data timbunan sampah proses produksi di industri sirup pada tahun 2021 – 2025. Data timbunan sampah proses produksi industri industri sirup selama tahun 2021 – 2025 dapat dilihat pada Lampiran 1. Data timbunan limbah sampah proses produksi pada tahun 2021 – 2025 disajikan pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Grafik Timbunan Sampah Proses Produksi Sirup

Berikut adalah contoh perhitungan emisi dari penimbunan limbah menggunakan persamaan 2.11.

Data :

Jumlah timbunan = 46,17 Ton/Tahun

Perhitungan :

FE = 1,09 CH₄

Faktor konversi = $\frac{44}{16}$

E_{CH_4} = Jumlah Timbunan × FE
 = 46,17 Ton/Tahun × 1,09 CH₄
 = 50,32 Ton CH₄/ Tahun

E_{CO_2} = 20,13 Ton CH₄/ Tahun × $\frac{44}{16}$
 = 138,38 Ton CO₂/ Tahun

Untuk memastikan akurasi dan kesesuaian data aktivitas limbah padat, penelitian ini melakukan pengukuran langsung secara empiris di lapangan. Penelitian ini menentukan laju timbulan dan komposisi sampah industri berdasarkan hasil pengukuran tersebut. Metode pengambilan sampel mengacu pada SNI 3964:2025 tentang pengukuran timbulan dan komposisi sampah. Analisis karakteristik fisik limbah juga mengikuti ketentuan yang ditetapkan dalam standar nasional tersebut. Penerapan standar tersebut didasarkan pada klasifikasi operasional limbah yang dihasilkan kawasan industri. Limbah kemasan, sisa area assembling, dan limbah domestik pabrik dikategorikan sebagai sampah sejenis sampah rumah tangga (SSSRT).

Sesuai dengan ketentuan protokol standardisasi, kegiatan pengukuran dan pengambilan sampel dilaksanakan selama delapan hari berturut-turut (Hutagalung *et al.*, 2023). Namun, dikarenakan terdapat hari libur pada tiap hari Minggu, maka kegiatan pengukuran dan pengambilan sampel dilakukan di hari berikutnya. Durasi sampling delapan hari dirancang untuk menangkap fluktuasi timbulan sampah harian selama hari kerja dan akhir pekan. Melalui metode *stratified random sampling* harian, setiap komponen limbah padat diisolasi untuk diukur volume dan beratnya. Pengukuran tersebut digunakan untuk menentukan nilai densitas serta persentase fraksi limbah sebelum diangkut ke TPS (Anggraeny *et al.*, 2025).

Hasil pengukuran selama delapan hari berdasarkan SNI 3964:2025 memvalidasi bahwa fraksi sampah produk sirup sebesar 40% dari total timbulan terukur. Komposisi sampah seperti kertas, karton, plastik HDPE/LDPE, dan karet). Setiap fraksi sampah ditimbang menggunakan timbangan digital untuk memperoleh data massa sampah harian. Data hasil pengukuran digunakan untuk menghitung timbulan rata-rata harian, komposisi sampah berdasarkan persentase berat, dan timbulan tahunan. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai data aktivitas dalam perhitungan emisi gas rumah kaca sektor persampahan.

Penerapan metode observasi langsung berbasis SNI ini memberikan landasan ilmiah yang lebih kuat dibandingkan menggunakan data estimasi atau asumsi teoretis. Dengan data timbulan harian dan densitas sampah yang

akurat, potensi degradasi selulosa pada kardus dapat dihitung presisi. Pendekatan ini meminimalkan ketidakpastian perhitungan emisi CH₄ dan proyeksi emisi CO₂-eq tahunan industri sirup. Data tersebut juga menyediakan dasar yang andal untuk merancang strategi reduksi limbah langsung dari sumbernya.

Berikut adalah perhitungan emisi dari pengukuran dan pengambilan sampah kayu sesuai dengan SNI 3964:2025.

Data :

Berat Jenis Sampah = 7,6 kg/hari

Total Berat Jenis Kayu = 0,33 kg/hari

Perhitungan Komposisi Sampah :

$$\begin{aligned}\% \text{Komposisi} &= \frac{\text{Berat Jenis Sampah}}{\text{Total Berat Sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,33 \text{ kg/hari}}{7,6 \text{ kg/hari}} \times 100\% \text{ CH}_4 \\ &= 4,34 \%\end{aligned}$$

Perhitungan Timbulan Tahunan :

$$\begin{aligned}\text{Timbulan tahunan} &= \text{Berat Jenis Sampah} \times 365 \\ &= 7,6 \text{ kg/hari} \times 365 \\ &= 2.774 \text{ kg/tahun} \\ &= 2,77 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan Emisi :

$$\text{FE} = 1,09 \text{ CH}_4$$

$$\text{Faktor konversi} = \frac{44}{16}$$

$$\begin{aligned}E_{\text{CH}_4} &= \text{Jumlah Timbulan} \times \text{FE} \\ &= 2,77 \text{ Ton/Tahun} \times 1,09 \text{ CH}_4 \\ &= 3,02 \text{ Ton CH}_4 / \text{Tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E_{\text{CO}_2} &= 3,02 \text{ Ton CH}_4 / \text{Tahun} \times \frac{44}{16} \\ &= 8,3 \text{ Ton CO}_2 / \text{Tahun}\end{aligned}$$

Secara keseluruhan, estimasi emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas pengolahan limbah sampah produksi mencapai sekitar 55,36 ton CO₂/Tahun. Pendekatan perhitungan berbasis data primer SNI, diperoleh nilai

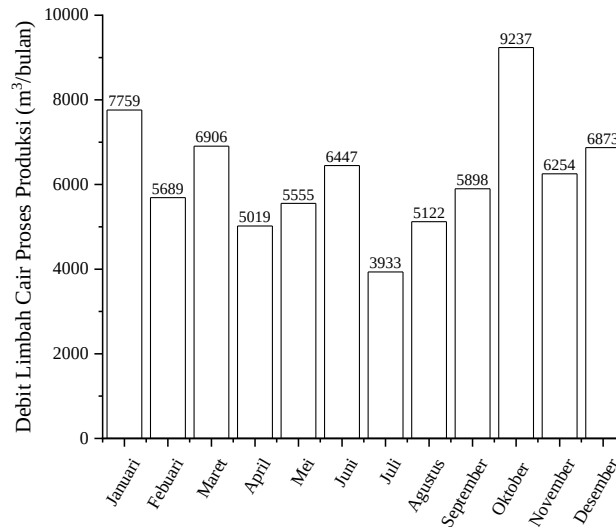
emisi karbon riil dari aktivitas limbah sampah produksi sirup sebesar 8,3 ton/tahun.

4.1.1.2 Perhitungan Emisi Karbon Limbah Cair Proses Produksi

Pengelolaan limbah cair industri ini memiliki karakteristik aliran langsung (*direct flow*). Air limbah dari proses produksi sirup dialirkan melalui jaringan pipa menuju unit pengolahan limbah (WWTP). Berdasarkan pengamatan lapangan, tidak terdapat bak penampungan antara (*holding tank*) yang bersifat tertutup. Limbah cair langsung masuk ke bak influen dengan kondisi permukaan terbuka. Hal ini mengindikasikan bahwa proses degradasi awal limbah berlangsung dalam kondisi aerobik atau cenderung tidak anaerobik. Kondisi ini berpotensi pembentukan gas metana (CH_4) menjadi lebih rendah dibandingkan sistem pengolahan tertutup (Gu *et al.*, 2023).

Limbah cair produksi pada perusahaan terakumulasi dari dua produk berbeda, perhitungan pembagian debit air limbah berdasarkan persentase produksi barang jadi. Persentase pembagian untuk produk sirup yakni sebesar 40% dari produk lainnya. Dalam penelitian ini, data debit inlet tahunan dan konsentrasi COD limbah cair hanya tersedia lengkap pada tahun 2025. Keterbatasan data historis untuk tahun – tahun sebelumnya terjadi karena terdapat data pengujian tidak lengkap. Hal ini dikarenakan data hasil pengujian laboratorium hilang dan belum direkap sebelum tahun 2025.

Oleh karena itu, perhitungan emisi gas rumah kaca untuk sektor limbah cair ini menggunakan basis data operasional tahun 2025. Data ini sebagai representasi baseline aktual perusahaan. Seluruh data pemantauan karakteristik air limbah tersebut dapat dilihat secara mendetail pada Lampiran 1. Berdasarkan Lampiran 1, total volume debit inlet akumulatif yang mengalir ke WWTP pada tahun 2025 adalah sebesar 29.876,8 m³/tahun. Untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai fluktuasi beban pencemaran organik sepanjang tahun 2025, tren data bulanan disajikan pada Gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 Grafik Tren Bulanan Air Limbah 2025

Perhitungan emisi difokuskan pada beban organik total untuk menghasilkan estimasi emisi yang representatif sesuai kondisi operasional perusahaan. Berikut adalah contoh perhitungan emisi dari pengelolaan limbah cair produksi menggunakan persamaan 2.10.

Data :

Debit Inlet = 29.876,8 m³/Tahun

Volume Produksi (Pi) = 20.225.520 ton/tahun

COD Inlet = 32,702 kg COD/m³

Perhitungan :

$$W_i = \frac{\text{Jumlah debit yang dihasilkan}}{P_i}$$

$$= \frac{29.876,8 \frac{\text{m}^3}{\text{tahun}}}{20.225.520 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}}$$

$$= 0,0015 \text{ m}^3/\text{ton produk}$$

$$\text{TOW} = P_i \times W_i \times \text{COD}$$

$$= 20.225.520 \text{ ton/tahun} \times 0,0015 \text{ m}^3/\text{ton produk} \times 32,702 \text{ kg COD/m}^3$$

$$= 977.037,09 \text{ kg COD/tahun}$$

$$\text{EF} = B_0 \times \text{MCF}$$

$$= 0,25 \text{ kg CH}_4/\text{kg COD} \times 0,1$$

$$= 0,025 \text{ kg CH}_4/\text{kg COD}$$

$$\begin{aligned}
\text{Emisi CH}_4 &= \sum[(TOW - S) \times EF - R] \\
&= \left[\left(977.037,09 \frac{\text{kg COD}}{\text{tahun}} - 0 \frac{\text{kg COD}}{\text{tahun}} \right) \times 0,025 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg COD}} - 0 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg COD}} \right] \\
&= 24.425,93 \text{ kg CH}_4/\text{tahun} \\
&= 24,43 \text{ ton CH}_4/\text{tahun}
\end{aligned}$$

Nilai emisi metana (CH₄) sebesar 24,43 ton/tahun yang dilepaskan dari sistem instalasi pengolahan limbah cair (*Wastewater Treatment Plant / WWTP*) tersebut selanjutnya dikonversikan ke dalam satuan kesetaraan karbon dioksida (CO₂). Langkah penyetaraan ini wajib dilakukan agar dampak pemanasan global (*Global Warming Potential / GWP*) dari gas metana dapat disetarakan dengan sektor emisi lainnya (seperti emisi listrik dan bahan bakar) di industri sirup ini. Mengacu pada ketentuan standar IPCC, nilai GWP untuk gas metana (CH₄) sebesar 25, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Emisi CO}_2 &= \text{Emisi CH}_4 \times 25 \\
&= 24,43 \text{ ton CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\
&= 610,75 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, total emisi karbon dari aktivitas pengolahan limbah cair proses produksi sirup mencapai 610,75 ton CO₂/tahun. Besarnya kontribusi emisi pada sektor ini dipengaruhi oleh tingginya beban organik total (*Total Organics in Wastewater* atau TOW) (Khairiyyah & Elvania, 2026). Beban organik tersebut berasal dari sisa sirup pekat, air bilasan tangki *dissolving*, dan pencucian tangki *blending*. Akumulasi gas metana memiliki dampak pemanasan global yang lebih besar dibandingkan gas karbon dioksida.

4.1.1.3 Perhitungan Total Emisi CO₂ Limbah Proses Produksi

Akumulasi emisi karbon dari pengelolaan limbah operasional industri sirup dianalisis secara terintegrasi dalam penelitian ini. Analisis mencakup sampah proses produksi serta limbah cair sisa proses produksi yang diolah pada WWTP. Penggabungan ini ditujukan untuk memetakan kontribusi total emisi gas rumah kaca (GRK) kategori limbah produksi (*waste sector*). Agar seluruh beban emisi dapat dievaluasi secara seragam, seluruh emisi dikonversikan ke satuan ton CO₂ per tahun.

Pada sektor limbah padat produksi, evaluasi emisi dikaji melalui dua skenario pendekatan guna membandingkan tingkat kepastian data. Data timbulan sampah dapat dilihat pada Lampiran 1. Berdasarkan skenario estimasi teoretis awal (*global stasioner*) dengan total timbulan sebesar 46,17 ton/tahun. Emisi metana yang terbentuk setara dengan 138,38 ton CO₂/tahun. Sementara itu, melalui skenario kedua yang berbasis data primer hasil sampling lapangan menggunakan SNI 3964:2025 selama delapan hari berturut-turut. Kuantitas timbulan riil fraksi sampah organik terurai adalah sebesar 2,77 ton/tahun. Sesuai dengan hasil kalkulasi, nilai emisi riil dari limbah padat produksi adalah sebesar 8,30 ton CO₂/tahun.

Di sisi lain, sektor pengolahan limbah cair pada unit WWTP memberikan kontribusi emisi yang jauh lebih besar. Berdasarkan parameter operasional harian, volume debit inlet tahunan mencapai 29.876,8 m³/tahun dan produksi sirup sebesar 20.225.520 ton/tahun. Sistem pengolahan limbah cair ini melepaskan emisi metana sebesar 24,43 ton CH₄/tahun. Melalui konversi menggunakan nilai potensi pemanasan global standar IPCC, beban emisi WWTP tersebut setara dengan 610,75 ton CO₂/tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan, instalasi pengolahan limbah cair (WWTP) menjadi kontributor emisi terbesar pada sektor limbah. WWTP menyumbang 81,53% dari total emisi karbon limbah proses produksi. Sementara itu, sampah produksi hanya menyumbang sekitar 18,47% terhadap total emisi karbon limbah proses produksi. Hasil ini menunjukkan bahwa fraksi anorganik memiliki volume timbulan yang cukup besar di area pabrik. Namun, kontribusinya terhadap emisi gas rumah kaca relatif kecil karena materialnya resisten terhadap pembusukan biologis.

4.1.2 Perhitungan Emisi Karbon dari Limbah B3 Industri

Selain limbah domestik dan limbah cair, aktivitas operasional pada unit produksi dan assembling industri sirup menghasilkan limbah B3. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) memerlukan penanganan khusus sesuai dengan regulasi lingkungan (Sari *et al.*, 2024). Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) pada sektor ini dilakukan untuk memantau potensi emisi yang timbul dari aktivitas pengelolaan limbah B3. Inventarisasi ini dimulai dari tahap timbulan di

area kerja hingga penyimpanan sementara di Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah B3.

Berdasarkan prosedur operasional perusahaan, limbah B3 dikumpulkan dan disimpan sementara di TPS Limbah B3. Penyimpanan dilakukan untuk memastikan keamanan lingkungan sebelum dilakukan pengangkutan. Frekuensi pengangkutan limbah B3 oleh pihak ketiga berizin dilakukan secara berkala (Zain *et al.*, 2024). Pengangkutan dilakukan sekitar dua hingga tiga kali dalam satu tahun, tergantung pada volume akumulasi limbah di dalam TPS. Data aktivitas perhitungan bersumber dari volume atau massa limbah yang terakumulasi di TPS. Data tersebut tercatat secara periodik dalam neraca limbah perusahaan selama periode 2021–2025.

4.1.2.1 Perhitungan Emisi Karbon Limbah B3 Padat

Aktivitas operasional unit produksi sirup dan unit assembling, serta operasional pendukung seperti mesin boiler, menghasilkan berbagai jenis limbah B3 padat. Inventarisasi gas rumah kaca sektor ini dilakukan untuk memantau potensi beban emisi dari pengelolaan limbah B3 tahun 2021 – 2025. Limbah B3 padat yang diidentifikasi dalam penelitian ini lampu TL bekas dari aktivitas pemeliharaan gedung. Selain itu, kain majun terkontaminasi dari aktivitas pembersihan mesin dan ceceran minyak/pelumas proses.

Dalam metodologi inventarisasi GRK menurut pedoman IPCC (2006), karakteristik material sangat menentukan besaran emisi yang dihasilkan. Limbah seperti lampu TL dikategorikan sebagai material anorganik stasioner. Sebaliknya, kain majun memiliki kandungan karbon fosil yang berasal dari serat kain sintetis serta minyak/solvent pembungkusnya.

Emisi karbon dari material kain majun padat ini dihitung di dalam inventarisasi perusahaan. Pertimbangan teknis ini didasarkan pada masa penyimpanan limbah di TPS yang berkisar antara dua hingga tiga bulan. Selama penyimpanan, kain majun terkontaminasi berpotensi melepaskan gas atau uap volatil melalui proses penguapan. Risiko pelepasan emisi meningkat

apabila terdapat celah pada wadah atau drum penyimpanan yang tidak tertutup rapat (Wardhani & Rafianto, 2021).

Berikut adalah contoh perhitungan emisi dari pengelolaan limbah B3 kain majun bekas menggunakan persamaan 2.13.

Data :

Massa Limbah B3 Padat = 0,028 ton/Tahun

Fraksi Berat (d_{mi}) = 0,9

Fraksi Karbon (C_{Fi}) = 0,5

Fraksi Karbon Fossil (FC_{Fi}) = 0,9

Fraksi Oksidasi (O_{Fi}) = 1

Faktor konversi = $\frac{44}{12}$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} E_{CO_2} &= \sum (SW_i \times d_{mi} \times C_{Fi} \times FC_{Fi} \times O_{Fi} i) \times \frac{44}{12} \\ &= \sum \left(0,028 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times 0,9 \times 0,5 \times 0,9 \times 1 \right) \times \frac{44}{12} \\ &= 0,042 \text{ ton CO}_2 / \text{tahun} \end{aligned}$$

4.1.2.2 Perhitungan Emisi Karbon Limbah B3 Cair

Selain limbah B3 padat, aktivitas operasional dan pendukung di industri sirup juga menghasilkan limbah B3 dalam fase cair. Inventarisasi GRK pada sektor ini bertujuan untuk mengidentifikasi emisi dari pengelolaan limbah cair yang memiliki konsentrasi karbon fosil tinggi. Jenis limbah B3 cair yang diinventarisasi dalam penelitian ini meliputi oli bekas hasil perawatan mesin produksi. Selain itu, sisa pelarut dan tinta (*solvent/ink*) pencetakan kemasan, dan limbah laboratorium dari aktivitas kontrol kualitas (*quality control*).

Sama seperti limbah B3 padat, limbah B3 cair dikumpulkan dalam wadah khusus (seperti drum atau *IBC tank*) sebelum disimpan di TPS. Proses pengangkutan limbah cair ini dilakukan oleh pihak ketiga yang memiliki izin pengolahan limbah B3 (Sari *et al.*, 2024). Frekuensi pengangkutan sekitar dua hingga tiga kali dalam satu tahun. Data aktivitas yang digunakan dalam perhitungan ini bersumber dari catatan volume atau massa limbah yang

terakumulasi di TPS, yang tercatat secara periodik dalam neraca limbah perusahaan tahun 2021 – 2025.

Berdasarkan pedoman IPCC (2006), limbah B3 cair seperti oli bekas dan *solvent* memiliki potensi emisi gas rumah kaca yang signifikan. Hal ini, dikarenakan seluruh komponen penyusunnya berasal dari produk minyak bumi (fosil). Perhitungan emisi limbah cair dilakukan untuk mengakomodasi transfer massa senyawa hidrokarbon selama penyimpanan sementara di TPS. Selama masa retensi penyimpanan dua hingga tiga bulan, cairan kimia organik pekat ini sangat rentan mengalami penguapan parsial (Escobar *et al.*, 2026).

Fenomena penguapan dipicu oleh fluktuasi suhu TPS serta kondisi segel drum yang kurang rapat, berkarat, atau rusak. Oleh karena itu, kuantifikasi emisi tetap dihitung untuk memproyeksikan potensi pelepasan senyawa karbon fasa uap tersebut ke atmosfer. Berikut adalah contoh perhitungan emisi dari pengelolaan limbah B3 oli bekas menggunakan persamaan 2.15.

Data :

Massa Limbah B3 Cair (ALi) = 0,180 ton/tahun

Farksi Karbon Fossil (CLi) = 1

Farksi Oksidasi (OF) = 1

Faktor konversi = $\frac{44}{12}$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} E_{CO_2} &= \sum (ALi \times CLi \times OFi) \times \frac{44}{12} \\ &= \sum \left(0,180 \frac{ton}{tahun} \times 1 \times 1 \right) \times \frac{44}{12} \\ &= 0,662 \text{ ton } CO_2 / \text{ tahun} \end{aligned}$$

4.1.2.3 Perhitungan Total Emisi CO₂ Limbah B3

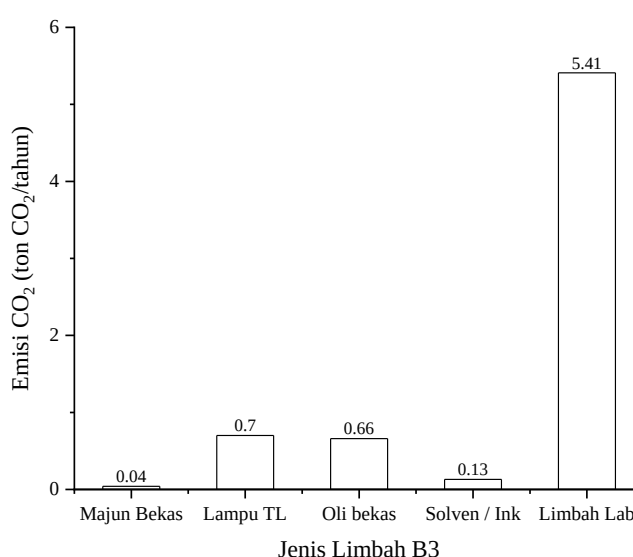
Akumulasi emisi karbon dari pengelolaan limbah B3 di industri sirup dihitung secara integratif dalam penelitian ini. Perhitungan mencakup limbah B3 padat serta limbah B3 cair yang dihasilkan dari berbagai aktivitas operasional. Rekapitulasi total ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak gas

rumah kaca (GRK) dari sektor limbah spesifik ini selama periode tahun 2021 – 2025.

Berdasarkan hasil kalkulasi, kontribusi emisi dari kompartemen limbah B3 padat diperoleh dari fraksi kain majun bekas. Proses oksidasi termal pada kain majun menghasilkan emisi karbon dioksida langsung sebesar 0,042 ton CO₂/tahun. Sementara itu, komponen material anorganik stasioner lainnya seperti lampu TL bekas, di dalam tabung kaca lampu TL terdapat uap merkuri. Jika selama fase penyimpanan di TPS terjadi tabung pecah, uap beracun tersebut dapat mencemari (Wardhani & Rafianto, 2021).

Pada kompartemen limbah B3 cair, material turunan minyak bumi seperti oli bekas dan pelarut kimia memicu emisi CO₂ tinggi. Hasil perhitungan contoh untuk pemantauan tahunan oli bekas menunjukkan pelepasan beban emisi karbon langsung sebesar 0,662 ton CO₂/tahun. Sama halnya dengan fasa padat, limbah B3 cair sisa pengujian laboratorium menyumbang variasi emisi yang dinamis. Variasi tersebut dipengaruhi fluktuasi reagen kimia yang digunakan pada unit kontrol kualitas (*quality control*).

Fluktuasi akumulasi emisi karbon yang dihasilkan dari sektor pengelolaan limbah B3 sepanjang periode pengamatan tahun 2021 hingga 2025 disajikan secara komprehensif pada Gambar 4. 3.



Gambar 4. 3 Total Emisi Karbon CO₂ Limbah B3 Proses Produksi

Visualisasi ini memperlihatkan korelasi antara dinamika volume timbunan kain majun dan oli bekas harian terhadap laju potensi pelepasan uap fasa volatil ke atmosfer lingkungan kerja.

Berdasarkan hasil perhitungan, total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pengelolaan limbah B3 sebesar 6,941 ton CO₂/tahun. Emisi didominasi oleh limbah B3 cair sebesar 6,201 ton CO₂/tahun (89,34%). Limbah B3 padat hanya memberikan kontribusi sebesar 0,740 ton CO₂/tahun (10,66%). Hal ini menunjukkan bahwa limbah B3 cair merupakan sumber emisi utama pada kategori limbah B3. Hal ini berpotensi menjadi prioritas dalam upaya pengurangan emisi.

4.1.3 Perhitungan Emisi Karbon *Septic Tank*

Sistem pengolahan air limbah domestik yang digunakan pada industri sirup yaitu menggunakan sistem *septic tank*. Sistem *septic tank* berfungsi sebagai instalasi pengolahan air limbah dari toilet berupa *black water*. Sistem ini memisahkan padatan dan menguraikan beban organik secara anaerob. Proses ini berkontribusi pada emisi GRK terutama CH₄ dari dekomposisi anaerobik bahan organik. Perhitungan emisi metana (CH₄) dari dekomposisi anaerobik di dalam *septic tank* mengacu pada pedoman IPCC (2006). Debit air limbah domestik dihitung secara tidak langsung menggunakan pendekatan konsumsi air bersih harian karyawan. Pendekatan ini mengacu pada SNI 03-7065-2005 dengan faktor konversi 80% air bersih menjadi air limbah.

Berdasarkan jumlah karyawan aktif sebanyak 258 jiwa. Berdasarkan SNI 03 – 7065 – 2005 kebutuhan air bersih industri sebesar 50 Liter/orang/hari. Periode operasional aktif selama 180 hari kerja, diperoleh total akumulasi debit air limbah tahunan sebesar 4.132,5 m³/tahun. Setelah dialokasikan sebesar 40% untuk lini produksi sirup, diperoleh debit air limbah black water sebesar 3.306 m³/tahun. Menggunakan data konsentrasi BOD hasil sampling langsung sebesar 179,1 mg/L (atau setara dengan 0,179 kg BOD/m³). Perhitungan total beban organik dapat menggunakan persamaan 2.5, sebagai berikut :

Data :

Jumlah populasi (N) = 258 jiwa

Hari kerja = 365 hari/tahun

Standar kebutuhan air bersih = 50 Liter/orang/hari

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Total kebutuhan air bersih} &= N \times \text{hari kerja} \times \text{standar kebutuhan air bersih} \\ &= 258 \text{ jiwa} \times 365 \text{ hari/tahun} \times 50 \text{ Liter/orang/hari} \\ &= 4.708.500 \text{ Liter/tahun} \\ &= 4.708,5 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

Debit air limbah cair (80% dari air bersih), maka

$$\begin{aligned}\text{Debit air limbah cair} &= \text{Total kebutuhan air bersih} \times 0,80 \\ &= 4.708,5 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 0,80 \\ &= 3.766,8 \text{ m}^3/\text{tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan BOD per kapita

Hasil sampling air limbah *septic tank* sebesar 179,1 mg/L yang dapat dilihat pada Lampiran 5. Nilai default IPCC untuk air limbah domestik yaitu sebesar 40 g BOD/orang/hari.

Konsentrasi BOD = 179,1 mg/L

$$\begin{aligned}\text{Debit limbah per orang per hari} &= 50 \text{ Liter/orang/hari} \times 0,8 \\ &= 40 \text{ Liter/orang/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}BOD_{\text{kapita}} &= \frac{179,1 \times 40}{1000} \\ &= 7,164 \text{ g BOD/orang/hari}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan BOD perkapita dari hasil pengujian sampling limbah cair septic tank yaitu 7,164 g BOD/orang/hari. Sedangkan, nilai default IPCC sebesar 40 g BOD/orang/hari. Maka dapat direpresentasikan nilai hasil pengujian lebih rendah dibandingkan nilai default IPCC. Sehingga digunakan nilai default IPCC sebesar 40 g BOD/orang/hari.

Perhitungan Beban Organik Total (TOW) dengan menggunakan nilai konsentrasi BOD. Maka total beban organik dapat dihitung menggunakan persamaan 2.6.

Data :

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi BOD} &= 40 \text{ g/orang/hari} \\ &= 40 \text{ g/orang/hari} \times 0,001 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$= 0,04 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{TOW} &= \text{Debit air limbah cair} \times \text{konsentrasi BOD} \\ &= 3.766,8 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 0,04 \text{ kg/m}^3 \\ &= 150,67 \text{ kg BOD/tahun} \end{aligned}$$

Penentuan nilai faktor emisi (EF) dalam perhitungan CH_4 menggunakan persamaan 2.7, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{EF} &= B_0 \times \text{MCF} \\ &= 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 0,5 \\ &= 0,3 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung emisi CH_4 tahunan menggunakan persamaan 2.8, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Emisi CH}_4 &= \text{TOW} \times \text{EF} \\ &= 150,67 \text{ kg BOD/tahun} \times 0,3 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \\ &= 45,202 \text{ kg CH}_4/\text{tahun} \\ &= 0,045 \text{ ton CH}_4/\text{tahun} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan konversi ke kesetaraan karbon dioksida (CO_2) menggunakan nilai GWP metana yakni 25, dengan menggunakan persamaan 2.9, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \text{Emisi CH}_4 \times 25 \\ &= 0,045 \text{ ton CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= 1,13 \text{ ton CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan emisi metana dari limbah cair domestik dilakukan menggunakan pendekatan *site-specific data* berdasarkan pedoman IPCC (2006). Nilai *Total Organics in Wastewater* (TOW) dihitung menggunakan konsentrasi BOD hasil pengujian laboratorium dan debit air limbah tahunan. Pendekatan ini dipilih karena data kualitas air limbah aktual tersedia sehingga dinilai lebih representatif dibandingkan penggunaan nilai default BOD per kapita IPCC.

4.1.4 Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Bahan Bakar

Penggunaan bahan bakar pada industri sirup tergolong beragam, khususnya pada unit penunjang operasional seperti boiler. Jenis bahan bakar

yang dimanfaatkan meliputi gas LNG, cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood pellet*, *wood chip*, serta batu bara. Boiler berfungsi sebagai unit pembangkit uap (steam) melalui proses pemanasan (Rosmiati & Kurnia, 2023). Selain itu, terdapat generator set (genset) yang digunakan sebagai sumber listrik cadangan ketika terjadi gangguan pasokan listrik dari PLN. Bahan bakar yang digunakan generator set berupa solar.

Penggunaan berbagai jenis bahan bakar tersebut, baik pada boiler maupun genset, berkontribusi terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses operasional. Data konsumsi bahan bakar diperoleh dari hasil monitoring penggunaan bahan bakar boiler dan genset selama periode 2021 – 2025. Data tersebut disajikan dalam Lampiran 6. Data tersebut merupakan hasil akumulasi konsumsi masing – masing jenis bahan bakar dalam setiap tahunnya. Informasi ini menjadi indikator penting dalam proses perhitungan emisi karbon, khususnya yang berasal dari sektor penggunaan energi berbasis bahan bakar.

4.1.4.1 Perhitungan Emisi Karbon Boiler

Unit boiler merupakan salah satu sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan dalam aktivitas produksi sirup. Boiler berfungsi sebagai penyedia energi panas (uap) yang dibutuhkan dalam proses pengolahan. Pada industri ini, jenis bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan boiler bersifat variatif. Bahan bakar yang digunakan berupa bahan bakar fosil maupun bahan bakar berbasis biomassa. Bahan bakar tersebut meliputi *Liquefied Natural Gas* (LNG), batu bara, serta berbagai jenis biomassa seperti abu cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood pellet*, dan *wood chip*. Rincian monitoring dari konsumsi bahan bakar tersebut terdapat pada Lampiran 6.

Inventarisasi emisi sektor ini difokuskan pada kuantifikasi gas karbon dioksida (CO₂) dari proses pembakaran di dalam ruang bakar boiler. Dalam metodologi perhitungan emisi GRK, terdapat perbedaan perlakuan antara bahan bakar fosil dan biomassa. Berdasarkan pedoman IPCC (2006), emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar fosil seperti LNG dan batu bara dihitung sebagai emisi bersih. Sementara itu, emisi dari pembakaran

biomassa (cangkang dan kayu) dicatat sebagai emisi biogenik yang dilaporkan secara terpisah.

Penggunaan bauran bahan bakar ini sangat mempengaruhi efisiensi operasional dan profil emisi unit boiler. Menurut penelitian Chin (2024), boiler berbahan bakar batu bara memiliki efisiensi rata – rata sebesar 82%, biomassa dengan efisiensi sekitar 80%. Efisiensi biomassa bergantung pada kandungannya, namun tetap lebih baik dalam mengurangi konsumsi bahan bakar dibanding batu bara murni. Penggunaan campuran biomassa tidak mengganggu pembakaran dan lebih baik dalam mengurangi konsumsi bahan bakar dibanding batu bara.

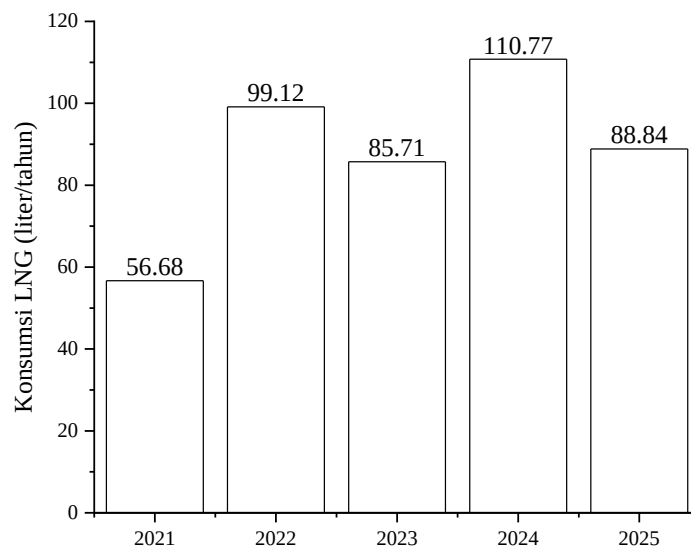
1. Perhitungan Emisi Karbon Boiler 1

Salah satu komponen utama dalam inventarisasi emisi gas rumah kaca pada fasilitas produksi ini adalah penggunaan *Liquefied Natural Gas* (LNG). Penggunaan LNG sebagai bahan bakar pada unit Boiler 1. Penggunaan LNG pada Boiler 1 merupakan strategi perusahaan memakai bahan bakar fosil lebih bersih untuk energi panas produksi sirup. Meskipun LNG memiliki emisi partikulat rendah, proses pembakarannya tetap menghasilkan karbon dioksida (CO₂) yang dihitung dalam emisi..

Metodologi yang digunakan dalam mengestimasi emisi dari Boiler 1 ini mengacu pada pendekatan karakteristik emisi yang dibahas oleh Kim *et al.*, (2021). Dalam penelitian tersebut, identifikasi karakteristik emisi boiler industri berbahan bakar gas bergantung pada konsumsi bahan bakar dan efisiensi pembakaran. Penggunaan LNG menghasilkan emisi CO₂ yang harus dikuantifikasi berdasarkan data aktivitas yang akurat. Data penggunaan LNG pada Boiler berasal dari data monitoring penggunaan LNG selama tahun 2021 – 2025. Satuan yang digunakan yaitu *Million British Thermal Units* (MBBTU). Total penggunaan LNG selama 5 tahun disajikan dalam Lampiran 6.

Nilai ini merupakan hasil akumulasi dari konsumsi LNG per unit boiler yang beroperasi pada tahun 2021 – 2025. Data ini menjadi indikator penting dalam perhitungan emisi karbon dari sektor energi

bahan bakar LNG. Dengan mengidentifikasi emisi pada Boiler 1, perusahaan dapat memantau efisiensi penggunaan LNG dibandingkan boiler berbahan bakar lain.



Gambar 4. 4 Grafik Konsumsi LNG Boiler 1 pada Tahun 2021 – 2025

Gambar 4. 4 mendeskripsikan mengenai nilai konsumsi LNG rata-rata yaitu sebesar 88,224 Liter/tahun. Penggunaan volume bahan bakar yang signifikan ini berkaitan erat dengan peran utama Boiler 1 dalam menyediakan energi panas. Energi panas tersebut berupa uap yang dipasok secara kontinu untuk mendukung proses produksi sirup.

Operasional Boiler 1 dilakukan secara rutin guna memastikan stabilitas suhu pada jalur produksi tetap optimal. Dengan mengidentifikasi total konsumsi selama lima tahun secara akumulatif, perusahaan dapat memantau intensitas penggunaan energi LNG. Pemantauan ini merupakan bagian dari strategi penggunaan bahan bakar fosil yang lebih bersih dibandingkan unit boiler lainnya.

Perhitungan emisi CO₂ dari Boiler yaitu konsumsi bahan bakar pertahun dikalikan dengan nilai kalor dan faktor emisi. Nilai kalor yang

digunakan adalah nilai kalor bahan bakar indonesia berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu sebesar $21,6 \times 10^{-6}$ Tj/Liter. Sedangkan untuk faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi yang tercantum pada IPCC *Guidelines* 2019 yaitu sebesar 64.200 kg/Tj. Berikut adalah perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan LNG pada Boiler 1 tahun 2021 menggunakan persamaan 2.2.

Data :

Konsumsi LNG = 56,68 liter

Emisi CO₂ = konsumsi energi $\times$ nilai kalor $\times$ faktor emisi

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= 56,68 \text{ liter/tahun} \times 21,6 \times 10^{-6} \text{ Tj/liter} \times 64.200 \text{ kg/Tj} \\ &= 78,60 \text{ kg/tahun} \\ &= 0,079 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Rincian hasil perhitungan emisi untuk Boiler 1 didapatkan hasil pada Lampiran 7.

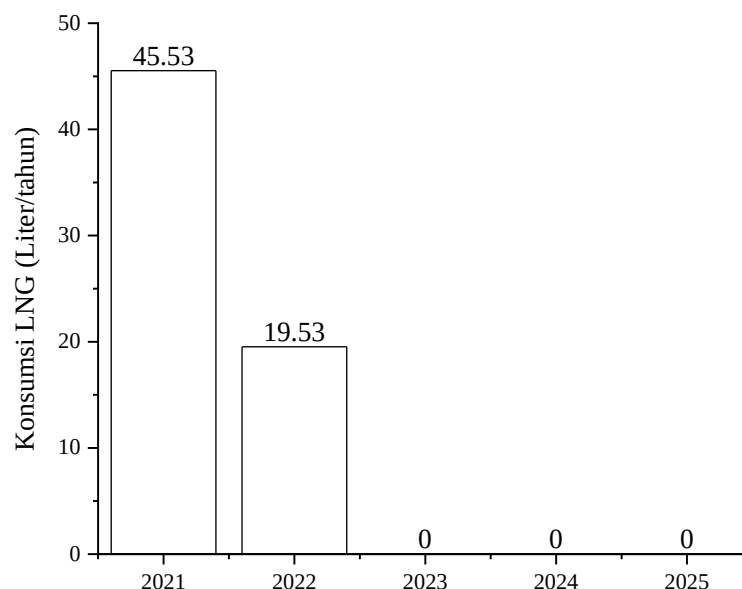
Hasil perhitungan total emisi CO₂ dari kegiatan operasional Boiler 1 yang menggunakan bahan bakar LNG adalah sebesar 0,612 ton CO₂/tahun. Emisi CO₂ pada proses pemanasan boiler merupakan hasil oksidasi kandungan karbon dalam LNG sebagai bahan bakar fosil. Meskipun LNG memiliki emisi lebih rendah dibandingkan bahan bakar cair atau padat, intensitas emisinya tetap dipengaruhi karakteristik fosil dan efisiensi pembakaran.

Pernyataan ini sejalan dengan analisis Restelli *et al.*, (2024) bahwa LNG menjadi benchmark energi karena efisiensi teknisnya. Namun, LNG tetap menimbulkan biaya sosial karbon signifikan akibat emisi gas rumah kaca yang tidak dapat dihindari sepenuhnya. Intensitas emisi karbon per satuan energi pada bahan bakar fosil juga lebih tinggi dibandingkan energi terbarukan. Hal ini diperkuat oleh studi Cao *et al.*, (2025) yang menyoroti bahwa transisi dari LNG menuju pembawa energi hijau seperti amonia. Amonia hijau tidak menghasilkan emisi CO₂ saat pemanfaatan, berbeda dengan LNG yang tetap melepaskan karbon ke atmosfer.

Oleh karena itu, emisi sebesar 0,612 ton CO₂/tahun pada Boiler 1 menunjukkan bahwa penggunaan LNG merupakan langkah moderat menekan pencemaran udara. Namun, ketergantungan pada energi fosil tetap berkontribusi terhadap beban emisi karbon industri sirup. Efisiensi termal boiler sangat menentukan jumlah LNG yang dibakar untuk menghasilkan uap panas. Semakin rendah efisiensi, semakin besar konsumsi LNG dan semakin tinggi akumulasi emisi karbon tahunan.

2. Perhitungan Emisi Karbon Boiler 2

Unit Boiler 2 pada fasilitas produksi ini memiliki karakteristik yang serupa dengan Boiler 1. Boiler 2 pada kegiatan operasionalnya menggunakan bahan bakar *Liquefied Natural Gas* (LNG) sebagai sumber energi panas. Namun, berdasarkan data inventarisasi energi perusahaan, penggunaan LNG pada Boiler 2 tidak lagi dilakukan mulai dari tahun 2023. Penghentian operasional dikarenakan terdapat kerusakan dari Boiler 2. Hal ini menyebabkan tidak adanya input data aktivitas konsumsi bahan bakar untuk unit tersebut pada periode tahun 2023 hingga 2025. Sehingga perhitungan emisi gas rumah kaca (CO₂) hanya pada periode aktif sebelumnya yaitu tahun 2021 dan 2022.



Gambar 4. 5 Grafik Konsumsi LNG Boiler 2 pada Tahun 2021 – 2022

Total penggunaan LNG pada unit Boiler 2 selama masa pengoperasian disajikan dalam Gambar 4. 5. Pada gambar menyatakan besarnya rata – rata konsumsi LNG yaitu 32,53 Liter/tahun. Nilai ini merupakan hasil akumulasi dari konsumsi LNG Boiler 2 yang beroperasi pada tahun 2021 – 2022.

Perhitungan emisi untuk periode aktif Boiler 2 tetap menggunakan parameter nilai kalor dan faktor emisi yang konsisten dengan Boiler 1. Data penggunaan LNG dalam satuan ton dikonversi menggunakan nilai kalor bahan bakar standar Indonesia sebesar $21,6 \times 10^{-6}$ Tj/Liter. Kemudian menggunakan faktor emisi IPCC 2019 sebesar 64.200 kg/Tj. Perhitungan ini memberikan gambaran komparatif mengenai kontribusi emisi antar unit boiler sebelum dilakukannya efisiensi penggunaan alat pada tahun – tahun berikutnya.

Perhitungan emisi CO₂ pada unit Boiler 2 juga menggunakan persamaan yang sama yaitu persamaan 2.2. Rincian hasil perhitungan emisi untuk Boiler 2 didapatkan hasil pada Lampiran 7.

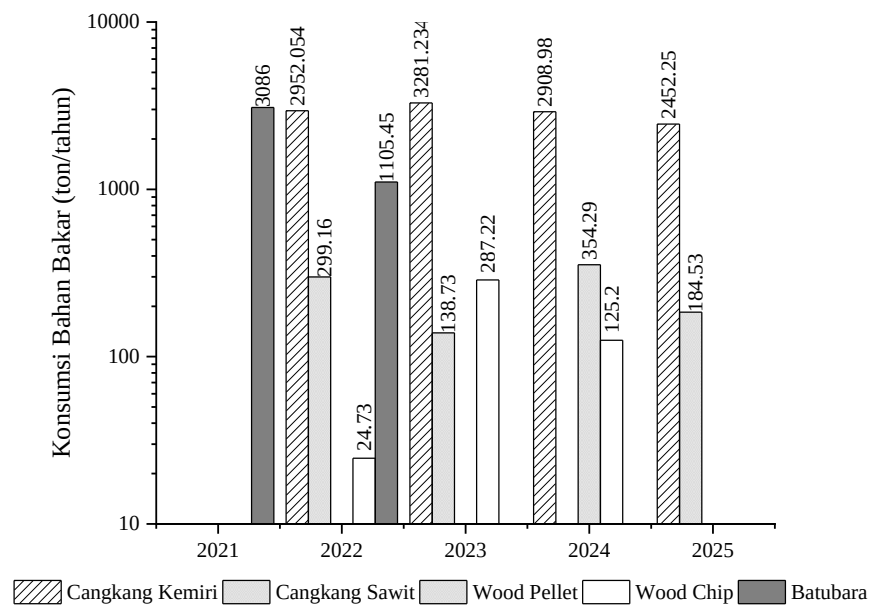
Berdasarkan hasil perhitungan, emisi CO₂ dari operasional Boiler 2 adalah sebesar 0,090 ton CO₂/tahun. Rendahnya akumulasi emisi ini disebabkan oleh berhentinya penggunaan unit secara total sejak tahun 2023 akibat kerusakan teknis. Restelli *et al.*, (2024) yang menyatakan bahwa setiap penggunaan LNG fosil tetap membawa konsekuensi "biaya sosial karbon" terlepas dari volume konsumsinya. Penghentian operasional Boiler 2 secara tidak langsung menjadi langkah mitigasi paksa yang menurunkan emisi.

3. Perhitungan Emisi Karbon Boiler 3

Unit Boiler 3 merupakan komponen krusial dalam sistem penyediaan energi panas perusahaan. Boiler 3 menunjukkan profil transisi energi paling dinamis dibandingkan unit lainnya. Pada periode 2021 – 2022, Boiler 3 menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama. Setelah tahun 2022, penggunaan batu bara dihentikan dan digantikan biomassa secara bertahap. Biomassa yang digunakan

mencakup cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood chip*, serta *wood pellet*.

Metodologi yang digunakan dalam mengestimasi emisi dari Boiler 3 ini mengacu pada pendekatan karakteristik emisi yang dibahas oleh Chin, (2024). Dalam penelitian tersebut, penggunaan biomassa sebagai substitusi batu bara pada boiler industri menurunkan dampak lingkungan. Namun, terdapat sedikit perbedaan pada efisiensi termal antara bahan bakar tersebut. Kuantifikasi emisi dilakukan berdasarkan data konsumsi bahan bakar dalam satuan ton yang akurat. Sesuai prinsip dekarbonisasi, emisi batu bara dikategorikan sebagai emisi fosil. Total konsumsi masing-masing bahan bakar pada Boiler 3 selama periode 2021 – 2025 disajikan dalam Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Boiler 3 pada Tahun 2021 – 2025

Gambar 4. 6 mendeskripsikan mengenai nilai konsumsi bahan bakar batubara 4.191,45 ton, cangkang kemiri yaitu sebesar 11.594,52 ton. Di lanjut dengan, cangkang sawit 622,42 ton, *wood pellet* 354,29 ton, dan *wood chip* 437,15 ton. Penggunaan volume bahan bakar yang signifikan ini berkaitan erat dengan peran utama Boiler 3 dalam menyediakan energi panas secara kontinu. Energi panas tersebut berupa

uap yang digunakan untuk mendukung proses produksi sirup secara berkelanjutan.

Operasional Boiler 3 dilakukan secara rutin guna memastikan stabilitas suhu pada jalur produksi tetap optimal. Dengan mengidentifikasi total konsumsi selama lima tahun secara akumulatif, perusahaan dapat memantau intensitas penggunaan energi biomassa. Pemantauan ini menjadi bagian dari strategi penggunaan bahan bakar yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil.

Perhitungan emisi CO₂ dari boiler yaitu konsumsi bahan bakar pertahun dikalikan dengan nilai kalor dan faktor emisi. Faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi yang tercantum pada IPCC Guidelines 2019 terdapat pada Tabel 2. 3. Sedangkan, untuk nilai kalor yang digunakan berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup yang terdapat pada Tabel 2. 4. Berikut perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan bahan bakar batu bara pada Boiler 3 tahun 2022 menggunakan persamaan 2.2.

Data :

Konsumsi batubara = 3.086 ton/tahun

Emisi GRK = konsumsi energi × nilai kalor × faktor emisi

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Emisi GRK} &= 3.086 \text{ ton/tahun} \times 18,9 \times 10^{-3} \text{ Tj/ton} \times 96.000 \text{ kg/Tj} \\ &= 5.599.238,4 \text{ kg/tahun} \\ &= 5.599,24 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan emisi CO₂ pada Boiler 3 yang lain menggunakan persamaan yang sama yaitu persamaan 2.2. Rincian hasil perhitungan emisi untuk Boiler 3 didapatkan hasil pada Lampiran 7.

Hasil perhitungan total emisi CO₂ Boiler 3 menunjukkan profil dinamis seiring kebijakan transisi energi perusahaan. Emisi merupakan akumulasi penggunaan batu bara pada periode awal yang kemudian digantikan biomassa secara bertahap. Biomassa tersebut meliputi cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood pellet*, dan *wood chip*. Intensitas emisi karbon sangat dipengaruhi karakteristik bahan bakar dan efisiensi termal pembakaran boiler.

Pernyataan ini sejalan dengan hasil tinjauan Rohkayati *et al.*, (2024) yang membandingkan emisi bahan bakar fosil dan biomassa. Emisi batu bara tercatat jauh lebih tinggi dibanding biomassa yang lebih ramah lingkungan. Tingginya emisi pada fase awal disebabkan oksidasi penuh karbon fosil saat pembakaran. Strategi substitusi biomassa merupakan langkah krusial dekarbonisasi industri. Hal ini ditegaskan oleh (Cao *et al.*, 2025) bahwa penggantian batu bara dengan biomassa menurunkan dampak lingkungan.

Total akumulasi emisi Boiler 3 menunjukkan transisi dari batu bara ke biomassa sebagai langkah strategis. Biomassa tetap menghasilkan emisi CO₂, tetapi karbon yang dilepaskan merupakan bagian dari siklus karbon alami. Maka dari itu, memiliki karakteristik yang berbeda dengan karbon yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (Brás *et al.*, 2025). Efisiensi termal boiler menentukan kebutuhan input bahan bakar untuk menghasilkan uap panas. Optimalisasi efisiensi pada Boiler 3 menjadi kunci menekan kontribusi emisi perusahaan di masa depan.

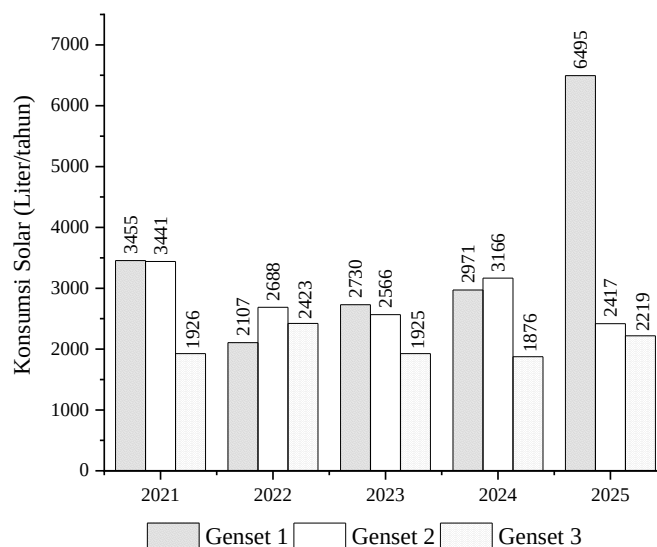
4.1.4.2 Perhitungan Emisi Karbon Generator Set

Selain unit boiler, fasilitas produksi sirup juga menggunakan bahan bakar solar untuk operasional genset. Perusahaan menyiagakan tiga unit genset sebagai pembangkit daya cadangan. Cadangan ini digunakan menjaga konsistensi suplai energi listrik apabila terjadi gangguan pada jaringan utama. Menurut (Musmuliadi *et al.*, 2023), sistem pembangkit cadangan penting untuk menjamin kontinuitas suplai listrik industri serta meminimalisir dampak kerugian akibat pemadaman. Stabilitas listrik menjadi faktor krusial dalam industri makanan dan minuman untuk menjaga kualitas produk.

Penggunaan solar pada tiga unit genset berkontribusi terhadap emisi CO₂ selama proses operasional. Emisi dihasilkan pada proses warming up dan saat genset memikul beban listrik pabrik. Data konsumsi solar diperoleh melalui pemantauan masing – masing unit selama periode penelitian. Perhitungan emisi dilakukan menggunakan nilai kalor dan faktor emisi IPCC

serta regulasi nasional terkait. Rincian monitoring konsumsi solar bulanan untuk ketiga unit genset tersebut dapat dilihat pada Lampiran 6.

Berdasarkan data tersebut, dari 3 unit generator set tercatat total konsumsi solar mencapai 42.405 Liter dengan rata – rata 2.827 Liter/tahun. Data penggunaan solar untuk ketiga unit genset selama tahun 2021 hingga 2025 disajikan secara akumulatif dalam Gambar 4. 7. Nilai ini merupakan hasil akumulasi dari konsumsi solar per unit generator yang dioperasikan untuk kegiatan perawatan rutin dan pemenuhan kebutuhan energi darurat. Data ini menjadi indikator penting dalam menghitung total beban emisi karbon dari sektor energi penunjang. Data juga dapat memberikan gambaran mengenai tingkat ketergantungan fasilitas produksi terhadap bahan bakar fosil cair di luar penggunaan gas alam.



Gambar 4. 7 Grafik Konsumsi Solar Generator Set pada Tahun 2021 – 2025

Berdasarkan data operasional periode 2021 – 2025, konsumsi bahan bakar solar pada ketiga unit generator set menunjukkan fluktuasi tahunan yang bervariasi. Penggunaan solar ini merupakan bagian dari aktivitas pemeliharaan rutin untuk menjaga keandalan sistem kelistrikan cadangan. Penelitian (Manihuruk & Samosir, 2022) yang menyatakan bahwa analisis pemeliharaan rutin, baik harian maupun bulanan. Sangat krusial untuk meningkatkan keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) agar selalu kondisi siap pakai saat terjadi kegagalan pasokan daya utama.

Meskipun aktivitas pemeliharaan bertujuan untuk mencegah kerusakan sistem, pembakaran bahan bakar solar selama proses tersebut tetap menghasilkan emisi CO₂. Sasmita *et al.*, (2021) yang menunjukkan bahwa durasi operasi dan besaran daya generator berkorelasi langsung terhadap peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan.

Perhitungan emisi CO₂ dari pemanasan generator dilakukan dengan mengalikan konsumsi solar dengan nilai kalor. Kemudian dikalikan dengan faktor emisi. Nilai kalor yang digunakan adalah nilai kalor bahan bakar indonesia berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup yaitu sebesar 36×10^{-6} Tj/Liter. Sedangkan untuk faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi yang tercantum pada IPCC *Guidelines* 2019 yaitu sebesar 74.100 kg/Tj. Berikut adalah perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan solar pada generator set 1 tahun 2021 menggunakan persamaan 2.2.

Data :

Konsumsi solar = 3.455 Liter/tahun

Emisi GRK = konsumsi energi $\times$ nilai kalor $\times$ faktor emisi

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Emisi GRK} &= 3.455 \text{ Liter/tahun} \times 36 \times 10^{-6} \text{ Tj/Liter} \times 74.100 \text{ kg/Tj} \\ &= 9.216,56 \text{ kg/tahun} \\ &= 9,216 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Perhitungan emisi CO₂ pada Boiler 3 yang lain menggunakan persamaan yang sama yaitu persamaan 2.2. Rincian hasil perhitungan emisi untuk Boiler 3 didapatkan hasil pada Lampiran 7.

Total emisi CO₂ dari operasional tiga unit generator set selama periode 2021 – 2025 merupakan akibat penggunaan bahan bakar solar. Solar memiliki intensitas emisi karbon yang relatif tinggi dibandingkan sumber energi lainnya. Studi oleh Ali *et al.*, (2018), besarnya pelepasan emisi CO₂ ke atmosfer berbanding lurus dengan volume konsumsi bahan bakar untuk memenuhi beban permintaan listrik. Karakteristik intrinsik solar sebagai bahan bakar fosil menyebabkan setiap liter pembakarannya melepaskan jumlah karbon yang signifikan. Sehingga akumulasi emisi pada ketiga unit

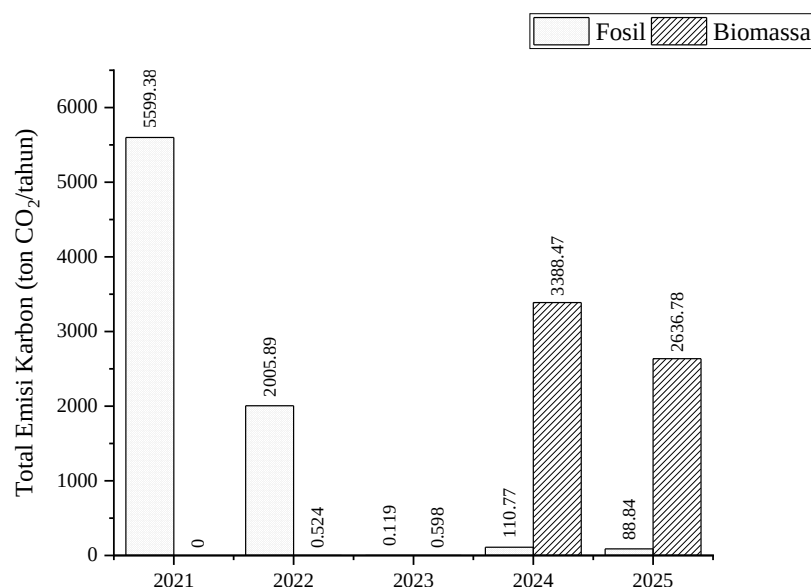
genset ini memberikan kontribusi nyata terhadap total emisi operasional fasilitas produksi.

Besarnya emisi CO₂ selama penggunaan generator merupakan konsekuensi langsung dari karakteristik bahan bakar solar yang memiliki intensitas karbon tinggi. Peningkatan intensitas emisi tersebut juga mengindikasikan adanya fluktuasi pada efisiensi termal selama proses pembakaran. Terjadi saat mesin harus bekerja memikul beban listrik cadangan maupun selama pemeliharaan rutin.

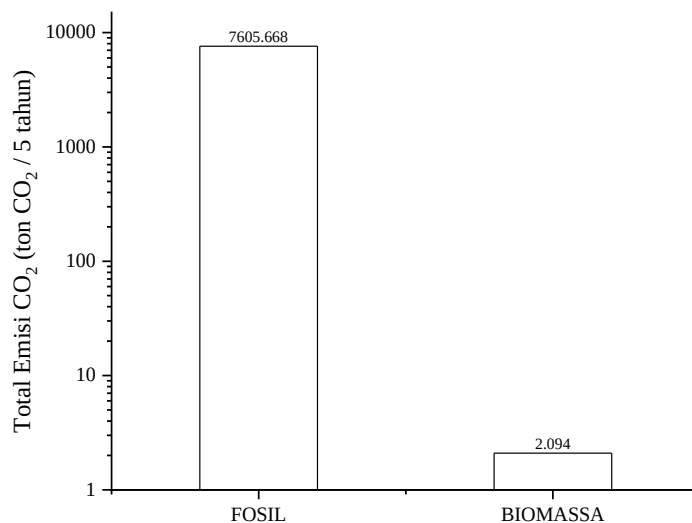
4.1.4.3 Perhitungan Total Emisi CO₂ dari Bahan Bakar Boiler

Total emisi CO₂ merupakan kalkulasi menyeluruh dari seluruh aktivitas pembakaran stasioner di fasilitas produksi sirup. Aktivitas tersebut mencakup operasional unit boiler selama periode 2021 – 2025. Perhitungan ini membandingkan kontribusi emisi dari bahan bakar fosil seperti LNG dan batu bara. Perbandingan juga mencakup biomassa seperti cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood pellet*, dan *wood chip*. Akumulasi emisi tersebut dihitung dalam satuan ton CO₂/tahun, sebagaimana rincian datanya disajikan dalam Lampiran 8.

Total emisi CO₂ dari penggunaan bahan bakar boiler disajikan dalam:



Gambar 4. 8 Grafik Total Emisi CO₂ Bahan Bakar Boiler per Tahun



Gambar 4. 9 Grafik Total Emisi CO₂ dari Bahan Bakar Boiler

Berdasarkan Gambar 4. 8 terlihat tren pergeseran beban emisi yang signifikan antara penggunaan bahan bakar fosil dan biomassa di setiap tahunnya. Pada periode awal (2021 – 2022), emisi dari bahan bakar fosil mendominasi total inventarisasi emisi perusahaan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan batu bara pada Boiler 3 yang memiliki intensitas karbon intrinsik sangat tinggi. Sebagaimana dijelaskan oleh Rohkayati *et al.*, (2024) emisi dari penggunaan batu bara tercatat jauh lebih besar dibandingkan dengan biomassa. Dikarenakan seluruh kandungan karbon fosilnya teroksidasi menjadi CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer.

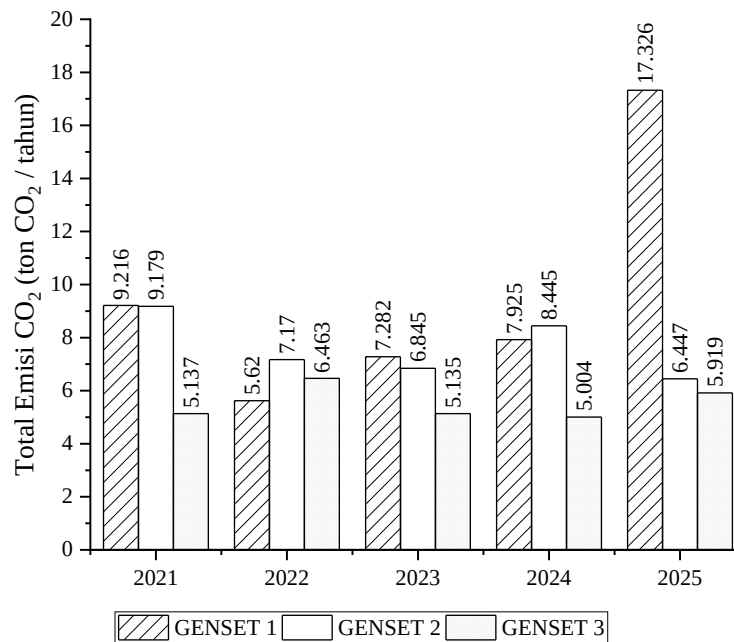
Memasuki periode 2023 – 2025, grafik menunjukkan penurunan drastis pada kontribusi emisi fosil yang dibarengi dengan penerapan bahan bakar biomassa secara penuh pada Boiler 3. Penurunan emisi fosil secara bertahap ini merupakan indikator keberhasilan strategi dekarbonisasi melalui substitusi energi. Menurut Chin, (2024) penggantian bahan bakar fosil dengan biomassa pada boiler industri tidak hanya menurunkan dampak lingkungan secara langsung, tetapi juga meningkatkan aspek keberlanjutan operasional. Meskipun penggunaan biomassa tetap menghasilkan emisi, emisi tersebut dikategorikan sebagai emisi biogenik yang merupakan bagian dari siklus karbon pendek, berbeda dengan emisi fosil yang menambah akumulasi karbon di atmosfer (Brás *et al.*, 2025).

Secara keseluruhan, perbandingan tahunan pada grafik tersebut menunjukkan bahwa meskipun volume produksi tetap berjalan, total beban emisi karbon berhasil ditekan melalui transisi bahan bakar. Optimalisasi efisiensi termal pada penggunaan biomassa seperti cangkang kemiri dan *wood chip* menjadi kunci utama bagi industri sirup ini dalam meminimalkan kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, sekaligus menunjukkan komitmen perusahaan dalam beralih dari vektor energi berbasis fosil menuju energi hijau yang lebih ramah lingkungan.

Emisi puncak batu bara tahun 2022 tercatat sebesar 5.599,24 ton CO₂/tahun pada Boiler 3. Setelah transisi penuh, emisi biomassa Boiler 3 turun menjadi 1.506,593 ton CO₂/tahun. Persentase penurunan emisi tercatat mencapai 73,09% pasca substitusi bahan bakar diterapkan. Capaian ini membuktikan efektivitas substitusi biomassa menekan beban karbon Boiler 3.

4.1.4.4 Perhitungan Total Emisi CO₂ dari Bahan Bakar Genset

Total emisi CO₂ yang dihasilkan dari operasional tiga unit generator set selama periode 2021 – 2025. Gambar 4. 7 merupakan hasil pembakaran bahan bakar solar untuk menjaga pasokan listrik sebagai listrik cadangan. Berdasarkan data yang tersaji di bawah ini, yang menunjukkan total nilai emisi karbon secara akumulatif .



Gambar 4. 10 Grafik Total Emisi CO₂ dari Bahan Bakar Generator Set

Terlihat bahwa profil emisi dari ketiga unit genset memiliki pola fluktuasi yang identik setiap tahunnya. Hal ini menunjukkan bahwa perusahaan menerapkan standarisasi prosedur pemeliharaan dan beban operasional yang seragam untuk seluruh unit pembangkit cadangan. Puncak emisi tertinggi terjadi pada tahun 2022. Total emisi dari tahun 2022 masing-masing genset memberikan kontribusi yang signifikan terhadap akumulasi karbon tahunan perusahaan.

Tingginya emisi CO₂ pada periode tersebut disebabkan oleh intensitas emisi karbon tinggi dari bahan bakar solar sebagai bahan bakar fosil cair. Sejalan dengan penelitian Ali *et al.*, (2018), besarnya emisi sangat dipengaruhi volume konsumsi bahan bakar yang ditentukan beban permintaan listrik. Meningkatnya emisi pada tahun-tahun puncak juga dipengaruhi efisiensi termal proses pembakaran. Ketika efisiensi menurun, konsumsi solar per satuan daya meningkat sehingga beban emisi karbon ke atmosfer juga bertambah.

Analisis tren ini juga menunjukkan pentingnya aspek pemeliharaan berkala untuk mengontrol profil emisi stasioner. Menurut Manihuruk & Samosir, (2022), rutinitas pemeliharaan sangat menentukan kinerja dan

keandalan generator agar selalu dalam kondisi siap pakai. Meskipun aktivitas pemanasan rutin (*warming up*) dilakukan untuk memastikan kesiapan operasional. Pengawasan terhadap konsumsi solar tetap menjadi kunci utama. Penurunan emisi yang terlihat pada tahun 2025 menunjukkan efisiensi dalam manajemen penggunaan energi cadangan.

4.1.5 Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Transportasi

Emisi CO₂ yang dihasilkan pada industri sirup diperoleh dari sektor transportasi pada kendaraan aset perusahaan. Kendaraan aset perusahaan mencakup truk pengiriman barang jadi serta forklift milik industri sirup. Data kendaraan aset berasal dari data kendaraan pengiriman internal sirup (Yunanik *et al.*, 2025).

4.1.5.1 Perhitungan Emisi Karbon Truk Kendaraan Aset

Data pengiriman internal sirup mencakup data frekuensi transportasi dan jarak rute lintasan dalam satuan kilometer (Km). Pemetaan rute lintasan kendaraan aset menggunakan aplikasi *Google Earth Pro* dapat dilihat pada Lampiran 9. Jarak rute lintasan dan frekuensi transportasi kendaraan dalam satu tahun mempengaruhi nilai total jarak tempuh (vkt). Total jarak tempuh adalah jarak tempuh aktual kendaraan yang digunakan sebagai dasar perhitungan emisi karbon. Jarak tempuh untuk kendaraan aset dapat dilihat pada Lampiran 9.

Berdasarkan jarak tempuh, sektor transportasi aset perusahaan menunjukkan pola distribusi beban kerja yang signifikan dalam rantai logistik industri sirup. Data pengiriman produk terbatas hanya pada tahun 2025. Data frekuensi pengiriman produk jadi dari gudang produksi ke gudang barang jadi tidak dapat diperoleh secara lengkap untuk periode sebelum tahun 2025. Hal ini dikarenakan perusahaan hanya memiliki catatan jumlah dan jenis produk yang dikirim dari gudang produksi. Namun, informasi mengenai kendaraan yang digunakan dan frekuensi pengiriman tidak direkapitulasi secara khusus. Maka dari itu, sulit dilakukan penelusuran dan pengolahan data historis secara menyeluruh.

Aktivitas pengiriman tertinggi tercatat pada armada jenis truk *wing box*, khususnya pada bulan September. Frekuensi pengiriman mencapai 449 perjalanan per bulan. Tingginya frekuensi tersebut mencerminkan banyaknya produk jadi yang di kirim ke gudang distributor. Dengan demikian, total emisi ditentukan oleh intensitas penggunaan kendaraan. Pendekatan berbasis aktivitas ini sejalan dengan penelitian Liu *et al.* (2021). Penelitian tersebut menyatakan bahwa estimasi emisi transportasi dapat direpresentasikan melalui kombinasi jarak tempuh dan frekuensi perjalanan. Selain itu, Marcilio *et al.* (2018) yang menegaskan adanya hubungan linear antara frekuensi pengiriman dan total emisi.

Mengingat tidak tersedianya data konsumsi bahan bakar secara pasti (*fuel-based*) dari setiap unit kendaraan. Pendekatan perhitungan emisi dilakukan menggunakan metode berbasis aktivitas (*activity-based*). Metodologi ini mengintegrasikan data frekuensi pengiriman dan jarak tempuh operasional. Kemudian dikombinasikan dengan Faktor Emisi (EF) yang relevan untuk sektor transportasi darat.

Pendekatan perhitungan emisi CO₂ pada transportasi aset perusahaan mengacu pada metodologi IPCC (2006) dengan pendekatan Metode Tier 2 (*Activity – Based*). Metode ini menggunakan integrasi data total jarak tempuh (VKT) yang dikalikan dengan faktor emisi spesifik jenis kendaraan. Faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi nasional berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 pada Tabel 2. 5. Berikut adalah perhitungan emisi CO₂ dari kendaraan aset pada bulan Januari menggunakan persamaan 2. 3.

Data :

$$\text{VKT} = 1.414,8 \text{ km/bulan}$$

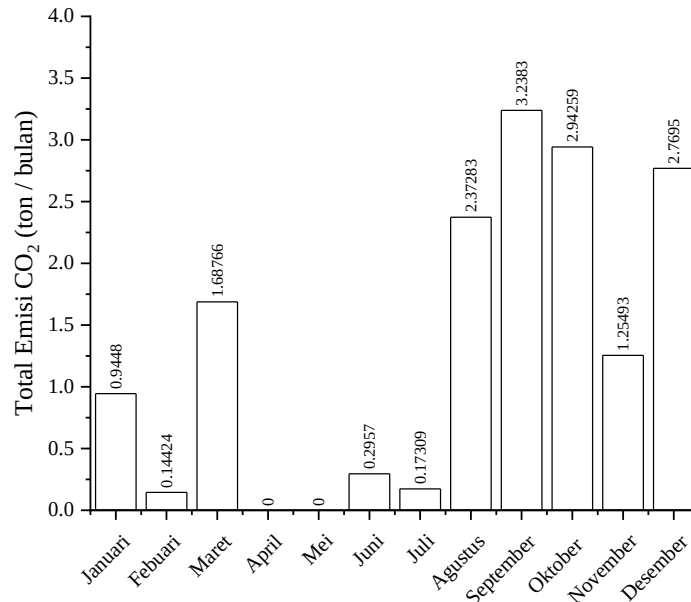
$$\text{EF CO}_2 = 3180 \text{ g/kg}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \text{VKT} \times \text{EF}_{\text{CO}_2} \times (100 - C)/100 \\ &= \frac{1.414,8 \text{ km/bulan}}{4 \text{ km/L}} \times 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 3180 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times (100 - 0)/100 \\ &= 944.803,44 \text{ g CO}_2/\text{bulan} \end{aligned}$$

= 0,945 ton CO₂/bulan

Perhitungan emisi CO₂ pada kendaraan karyawan dan pekerja yang lain juga menggunakan persamaan yang sama yaitu persamaan 2. 3, sehingga didapatkan hasil pada Gambar 4. 11.



Gambar 4. 11 Grafik Emisi CO₂ Kendaraan Truk Aset

Gambar 4. 11 mendeskripsikan mengenai emisi CO₂ pada kendaraan truk menyumbang sebesar 15,824 Ton CO₂/tahun. Hal ini dikarenakan pengiriman produk jadi pada industri sirup cukup tinggi. Fluktuasi emisi yang berbanding lurus dengan intensitas distribusi barang jadi. Puncak emisi tertinggi tercatat pada bulan September yang didorong oleh frekuensi pengiriman armada truk wing box mencapai 449 perjalanan.

Pendekatan berbasis aktivitas (*activity-based*) pada perhitungan ini mengombinasikan jarak tempuh dan frekuensi perjalanan akibat keterbatasan data konsumsi bahan bakar. Grafik ini secara jelas menunjukkan bahwa pola distribusi bulanan menjadi faktor penentu utama terhadap beban karbon yang dilepaskan ke atmosfer. Maka, volume pengiriman yang tinggi pada periode tertentu memberikan kontribusi signifikan terhadap total emisi dari sektor transportasi aset perusahaan.

4.1.5.2 Perhitungan Emisi Karbon Forklift Kendaraan Aset

Data penggunaan energi pada armada logistik internal pabrik berasal dari pencatatan log operasional forklift selama periode tahun 2021 – 2025. Dalam lima tahun terakhir, armada forklift yang dioperasikan pada proses produksi dan *assembling* sirup memiliki 2 variasi unit penggerak. Variasi tersebut yaitu forklift diesel yang memanfaatkan bahan bakar solar dan forklift elektrik yang mengandalkan konsumsi energi listrik.

Aktivitas operasional kedua jenis armada ini sepenuhnya terbatas di lingkungan pabrik. Area dalam ruangan (*indoor*) maupun luar ruangan (*outdoor*). Secara spesifik, forklift listrik dominan dialokasikan untuk aktivitas penataan dan pemindahan barang di dalam ruangan (*indoor*). Dikarenakan guna mencegah kontaminasi gas buang pada produk sirup. Forklift diesel dioperasikan di luar ruangan (*outdoor*) untuk memobilisasi material berat dan bahan baku dari area bongkar muat.

Menurut Sufi *et al.*, (2025), pembagian alokasi operasional bauran forklift di area industri manufaktur didasarkan pada keunggulan fungsional masing-masing penggerak. Forklift elektrik memiliki keunggulan mutlak dalam meniadakan emisi gas buang langsung di ruang tertutup. Jika forklift diesel diandalkan di area luar karena memiliki ketahanan waktu operasi yang lebih lama. Total unit forklift yang digunakan di industri sirup ini adalah sebanyak 8 unit, dengan komposisi seimbang yang terbagi menjadi 6 unit forklift diesel dan 2 unit forklift elektrik. Mengingat penggunaan forklift yang tersebar dari gudang penyimpanan bahan baku hingga lini penataan akhir (*assembling*).

Dominasi penggunaan forklift diesel pada industri sirup, berarti juga banyaknya bahan bakar yang digunakan. Menurut Pang *et al.*, (2021) emisi forklift diesel sangat berfluktuasi berdasarkan siklus kerja (*duty cycles*) seperti saat bergerak dan bekerja mengangkat beban. Maka konsumsi energi dan emisinya meningkat secara linear seiring bertambahnya frekuensi operasional. Oleh karena itu, pengoptimalan efisiensi mobilitas pada proses distribusi internal merupakan faktor penentu utama. Hal ini digunakan untuk menekan dampak akumulatif dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan.

Perhitungan emisi karbon berdasarkan data konsumsi bahan bakar solar secara pasti (*fuel-based*) dari setiap unit forklift diesel. Selain itu, ketiadaan kWh – meter mandiri untuk merekam daya pengisian baterai forklift elektrik. Maka pendekatan perhitungan emisi forklift elektrik dilakukan menggunakan metode berbasis aktivitas (*activity-based*). Metodologi ini mengintegrasikan data frekuensi pergerakan internal dan jarak tempuh operasional (VKT) yang kemudian dikombinasikan dengan Faktor Emisi (EF).

Pendekatan perhitungan emisi CO₂ pada armada forklift ini mengacu pada metodologi IPCC (2006) dengan pendekatan Metode Tier 2 (*Activity-Based*). Metode ini mengalikan nilai VKT variasi forklift dengan faktor emisi spesifik jenis kendaraan dan bahan bakar yang digunakan, yaitu :

1. Forklift Diesel

Beban emisi karbon dihitung sebagai emisi langsung dari hasil pembakaran bahan bakar fosil jenis solar. Total konsumsi solar dari forklift diesel dapat dilihat pada Lampiran 11. Perhitungan total emisi karbon dari total konsumsi bahan bakar solar forklift diesel menggunakan persamaan 2.2. Faktor emisi nasional berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 pada Tabel 2. 6. Berikut merupakan perhitungan total emisi karbon CO₂ dari data tahun 2025.

Data :

FC = 12.021 Liter

NCV = 0,000036 TJ/L

EF = 74.100 kg CO₂/TJ

Perhitungan :

Emisi CO₂ = FC × NCV × EF

= 12.021 L × 0,000036 TJ/L × 74.100 kg CO₂/TJ

= 32.067,22 kg CO₂/tahun

= 32,07 ton CO₂/tahun

Nilai emisi CO₂ terbesar pada sektor kendaraan aset berasal dari operasional forklift diesel, yaitu mencapai 32,07 ton CO₂/tahun.

Perhitungan emisi karbon CO₂ untuk tiap bulannya dapat dilihat pada Lampiran 13. Tingginya kontribusi emisi disebabkan konsumsi solar yang besar dan digunakan kontinu untuk memobilisasi material berat di area luar ruangan. Karakteristik emisi ini sejalan dengan penelitian Setiawan & Siallagan., (2025). Penelitian tersebut menyatakan bahwa konsumsi energi dan emisi karbon forklift konvensional meningkat secara linear mengikuti siklus kerja (*duty cycles*).

2. Forklift Elektrik

Beban karbonnya dikategorikan sebagai emisi tidak langsung dari pemakaian energi listrik grid regional. Forklift yang digunakan di Industri Sirup sebanyak dua. Forklift pertama (E1) digunakan di line assembling menuju gudang produksi. Forklift kedua (E4) digunakan di line produksi untuk mengangkat bahan produksi sirup.

Data konsumsi listrik dari forklift elektrik terbatas pada tahun 2025. Konsumsi listrik dari forklift elektrik dapat dilihat pada Lampiran 11. Konsumsi listrik dalam satu tahunnya sebesar 19,12 MWh untuk Forklift E1. Sedangkan, Forklift E4 sebesar 14,83 MWh. Berdasarkan data konsumsi terlihat Forklift E1 menggunakan listrik lebih banyak. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat pemakaian forklift.

Perhitungan emisi karbon CO₂ dari penggunaan forklift elektrik menggunakan persamaan 2.4. Konversi jarak tempuh dan konsumsi daya baterai spesifik dikonversikan menjadi satuan Megawatt-hour (MWh). Kemudian dikalikan dengan faktor emisi grid Jamali sebesar 0,87 ton CO₂/MWh. Maka perhitungan total konsumsi listrik forklift elektrik dalam tahun 2025 yaitu :

Data :

$$FC = 33,95 \text{ MWh}$$

$$EF = 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}$$

Perhitungan :

$$\text{Emisi CO}_2 = FC \times EF$$

$$= 33,95 \text{ MWh} \times 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}$$

$$= 29,54 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}$$

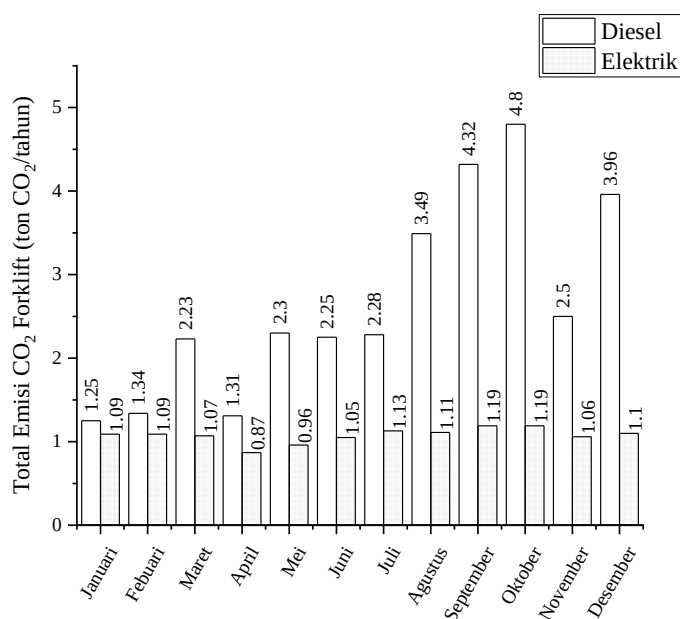
Forklift elektrik memberikan kontribusi emisi tidak langsung (Scope 2) sebesar 29,54 ton CO₂/tahun. Meskipun perangkat forklift charger beroperasi setiap hari dengan penarikan daya yang konstan, nilai emisinya tetap menjadi yang paling rendah dibandingkan moda diesel. Efisiensi reduksi emisi melalui elektrifikasi alat angkut ini diperkuat oleh teori dari Sufi *et al.*, (2025) yang menjelaskan bahwa bauran armada elektrik di ruang tertutup (*indoor*) tidak hanya berfungsi mencegah kontaminasi polutan pada produk, melainkan juga bertindak sebagai strategi dekarbonisasi logistik internal yang efektif karena mengeliminasi proses pembakaran langsung di dalam batas sistem pabrik.

4.1.5.3 Perhitungan Total Emisi Karbon CO₂ dari Kendaraan Aset

Aktivitas pengiriman barang jadi dari lokasi pabrik menuju lokasi gudang barang jadi memiliki frekuensi pengiriman yang cukup sering. Data frekuensi pengiriman mencapai 2.194 perjalanan pulang pergi dalam satu tahunnya. Total emisi CO₂ pada kendaraan truk menyumbang sebesar 15,824 Ton CO₂/tahun. Hal ini dikarenakan pengiriman produk jadi pada industri sirup cukup tinggi. Fluktuasi emisi yang berbanding lurus dengan intensitas distribusi barang jadi.

Perusahaan mengoperasikan armada forklift diesel sebanyak 6 unit. Alat angkut ini dominan digunakan untuk mobilisasi material di area luar ruangan. Total konsumsi bahan bakar solar mencapai 25.186 liter/tahun (IPCC, 2006). Aktivitas ini menghasilkan emisi karbon sebesar 32,07 ton CO₂/tahun. Karakteristik emisi ini sangat dipengaruhi oleh berat beban yang diangkut (Setiawan & Siallagan, 2025).

Perusahaan juga menggunakan 2 unit forklift elektrik di area dalam ruangan. Penempatan ini bertujuan mencegah kontaminasi gas buang pada produk sirup (Sufi *et al.*, 2025). Operasional forklift elektrik ini bersumber dari konsumsi energi listrik grid regional. Total emisi tidak langsung yang dihasilkan adalah sebesar 29,54 ton CO₂/tahun. Berikut grafik total emisi CO₂ tiap bulannya dari armada forklift.



Gambar 4. 12 Grafik Total Emisi CO₂ Penggunaan Forklift Tahun 2025

Berdasarkan Gambar 4. 12, akumulasi total emisi karbon dari forklift listrik jauh lebih sedikit daripada forklift diesel. Tingginya emisi forklift diesel disebabkan oleh besarnya faktor emisi pembakaran solar (IPCC, 2006). Jumlah armada diesel memang lebih banyak sehingga emisi kumulatifnya sangat besar. Namun, kontribusi emisi dari forklift listrik tetap memberikan dampak nyata dan tidak bisa diabaikan (Klassovskaya & Botnariuk, 2026).

Meskipun hanya berjumlah dua unit, tingkat penggunaan forklift listrik jauh lebih sering. Forklift listrik bekerja secara kontinu di lini produksi setiap hari. Sebaliknya, forklift diesel digunakan bergantian tergantung aktivitas bongkar muat luar ruangan. Pola operasional ini menjadi faktor penentu utama beban emisi karbon logistik (Marcilio *et al.*, 2018).

4.1.6 Perhitungan Emisi Karbon dari Penggunaan Listrik

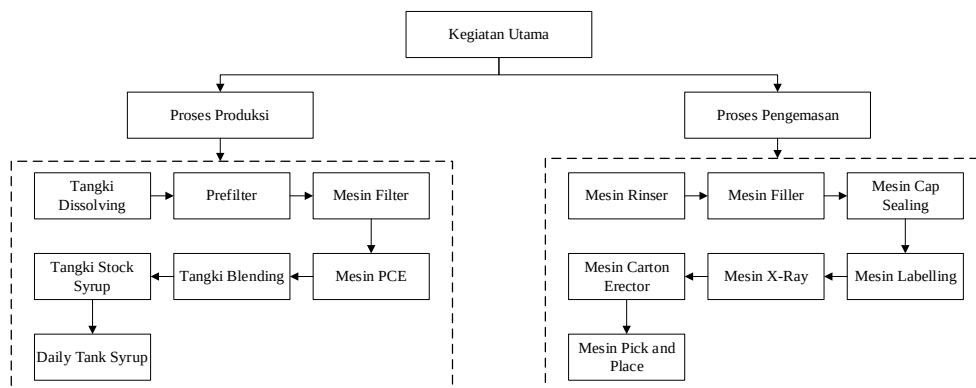
Emisi CO₂ yang dihasilkan pada industri sirup diperoleh dari penggunaan listrik pada kegiatan utama dan kegiatan penunjang. Inventarisasi emisi dikelompokkan menjadi kegiatan utama (proses produksi, boiler, pengemasan). Selanjutnya kegiatan penunjang (utilitas air, pengolahan limbah, dan logistik). Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi intensitas emisi pada setiap tahapan operasional.

Proses produksi sebagai kegiatan utama mencakup unit seperti tangki dissolving, prefilter, mesin filter, mesin PCE, tangki blending, tangki stock syrup. Semua unit menggunakan listrik untuk mengoperasikan mesin, pompa, dan agitator. Selain itu, kegiatan pengemasan mencakup mesin cuci botol, mesin tutup botol, mesin posimat, mesin *lepack*, mesin filler, mesin AMB. Selanjutnya, mesin label, mesin *seal applicator*, mesin *pack*, mesin *carton erector*, mesin *pick and place*, mesin *carton sealer*, mesin *beddo*. Kegiatan penunjang seperti lampu, kipas, serta stopkontak.

Penggunaan energi listrik berkontribusi terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan di industri sirup. Menurut Zaky & Sari, (2024) proses pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas alam sebagai sumber energi listrik. Proses pembakaran ini menghasilkan emisi CO₂ ke atmosfer.

4.1.6.1 Perhitungan Emisi Karbon Kegiatan Utama

Kegiatan utama industri sirup mencakup proses produksi yang memerlukan pasokan energi listrik untuk mengoperasikan mesin dan mendukung proses produksi sirup. Penggunaan energi listrik berkontribusi terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses produksi berlangsung. Diagram alir proses produksi dan pengemasan disajikan dalam bentuk bagan alir seperti Gambar 4. 13.



Gambar 4. 13 Diagram Alir Kegiatan Utama Proses Produksi

1. Perhitungan Emisi Karbon Penggunaan Listrik dari Kegiatan Produksi

Data penggunaan listrik pada proses produksi berasal dari data meteran listrik selama tahun 2021 – 2025. Pengukuran secara langsung berupa inventarisasi peralatan yang menggunakan listrik pada sub

distribusi panel (SDP) yang sama. Inventarisasi dilakukan untuk memperoleh estimasi data yang akurat mengenai kontribusi konsumsi energi listrik. Berasal dari masing – masing unit terhadap total beban SDP (KESDM, 2020).

Data meteran listrik pada proses produksi tahun 2021 – 2025 di industri diperoleh dari pencatatan daya aktif harian dalam satuan kWh. Data meteran listrik mencerminkan pemakaian energi listrik secara langsung dari aktivitas operasional harian. Data meteran penggunaan listrik di industri sirup selama tahun 2021 – 2025 dapat dilihat pada Lampiran 14. Nilai ini merupakan akumulasi dari konsumsi listrik per unit pada proses produksi sirup selama tahun 2021 – 2025. Data akumulasi tersebut memaparkan mengenai nilai meteran listrik pada proses produksi sirup.

Konsumsi energi tertinggi tercatat pada unit Tangki Dissolving dengan estimasi rata – rata tahunan mencapai 28.482,4 kWh (berdasarkan data periode 2021 – 2025). Hal ini dikarenakan tahapan dissolving merupakan fase awal proses produksi. Tahapan dissolving berfungsi untuk melarutkan gula dan bahan baku utama lainnya menjadi sirup mentah. Proses ini membutuhkan motor listrik pengaduk (agitator) berdaya besar yang beroperasi secara kontinu untuk memastikan homogenitas larutan dalam kapasitas tangki 10.000 liter.

Nilai konsumsi listrik signifikan selanjutnya ditemukan pada unit Mesin Filter dan Tangki Blending. Rata – rata masing – masing sebesar 25.893,4 kWh dan 25.893,2 kWh per tahun. Tingginya konsumsi pada unit filter disebabkan oleh penggunaan pompa tekanan tinggi. Pompa digunakan untuk mendorong viskositas sirup melewati media penyaring. Sedangkan pada unit blending, energi digunakan untuk mempertahankan stabilitas campuran sebelum dialirkan ke tahap penyimpanan.

Pendekatan inventarisasi ini sejalan dengan standar manajemen energi SNI ISO 50001:2018. Standar tersebut mengidentifikasi penggunaan energi sebagai dasar peningkatan efisiensi energi.

Inventarisasi ini mencakup identifikasi jenis peralatan pendukung (pompa/agitator), jumlah unit, daya terpasang, serta durasi operasional.

Hasil inventarisasi menunjukkan total daya terpasang dari motor pengaduk (agitator) dan sistem pompa memberikan kontribusi dominan terhadap fluktuasi meteran listrik. Fluktuasi tersebut dipengaruhi aktivitas operasional pada tangki produksi dan mesin riser. Selisih antara data meteran dan hasil inventarisasi dikategorikan sebagai *unmeasured load* atau beban tidak terukur. Beban ini mencakup lampu penerangan, sistem kontrol panel, serta kehilangan energi pada jaringan kabel (KESDM, 2020).

Data historis konsumsi listrik tahun 2021 hingga 2025 menunjukkan adanya tren penurunan konsumsi energi pada beberapa periode. Setelah diverifikasi melalui data inventarisasi, berkolerasi dengan optimalisasi durasi penggunaan mesin pada hari kerja produksi.

Pendekatan perhitungan emisi CO₂ pada proses produksi dapat menggunakan data meteran listrik sebagai baseline data aktivitas. Kemudian mengalikan dengan faktor emisi. Faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi listrik berdasarkan Kementerian Energi dan Sumber daya Mineral Direktorat Jenderal Kelistrikan. Wilayah Jamali menggunakan sebesar 0,87 ton CO₂/MWh. Berikut adalah perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan listrik di unit tangki dissolving pada tahun 2021 menggunakan persamaan 2.3.

Data :

$$\begin{aligned}\sum FC &= 24.106 \text{ kWh} \\ &= 24,106 \text{ MWh}\end{aligned}$$

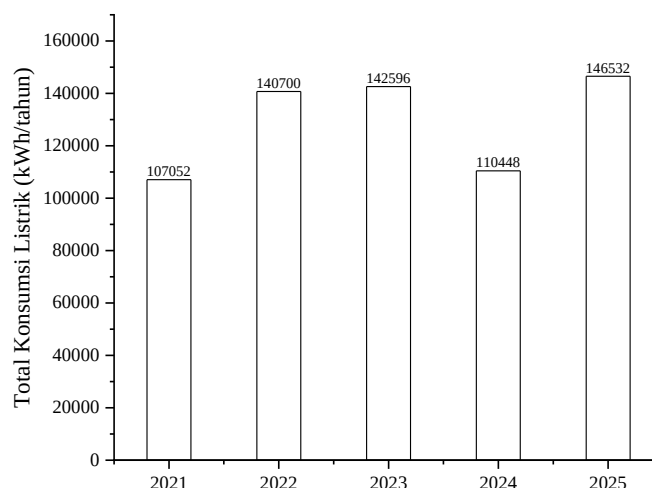
$$EF \text{ Jamali} = 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

Perhitungan :

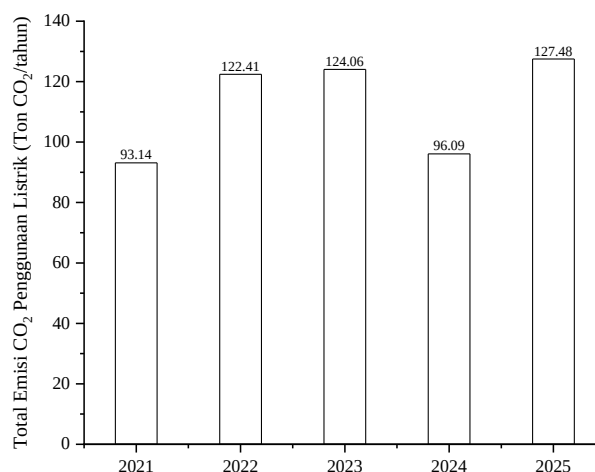
$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \sum FC \times EF \\ &= 24,106 \text{ MWh/tahun} \times 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh} \\ &= 20,97 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan emisi CO₂, selanjutnya dilakukan analisis terhadap tren emisi selama periode 2021 – 2025.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perubahan besaran emisi CO₂ yang dihasilkan setiap tahun. Oleh karena itu, peningkatan maupun penurunan konsumsi listrik akan berbanding lurus dengan besarnya emisi CO₂ yang dihasilkan. Grafik total emisi CO₂ disajikan pada Gambar 4. 15 sebagai dasar dalam mengevaluasi kontribusi energi listrik terhadap emisi gas rumah kaca.



Gambar 4. 14 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Produksi



Gambar 4. 15 Grafik Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Unit Produksi

2. Perhitungan Emisi Karbon Penggunaan Listrik dari Kegiatan Pengemasan

Kegiatan utama tahap akhir industri sirup adalah proses pengemasan (assembling) yang membutuhkan energi listrik intensif.

Energi listrik digunakan untuk mengoperasikan mesin otomatis pada Line A dan Line B. Penggunaan energi listrik ini berkontribusi signifikan terhadap emisi CO₂. Hal ini disebabkan banyaknya motor penggerak, sistem pneumatik, dan pemanas yang bekerja simultan.

Data penggunaan listrik berasal dari meteran listrik periode 2021–2025. Data tersebut diverifikasi melalui inventarisasi peralatan listrik pada Sub Distribusi Panel (SDP). Inventarisasi memecah beban listrik dari mesin riser, filler, *cap sealing*, hingga *pick & place*. Hal ini dilakukan untuk memperoleh estimasi kontribusi konsumsi energi listrik tiap unit secara lebih akurat (KESDM, 2020).

Data meteran listrik pada unit assembling selama tahun 2021 – 2025 diperoleh dari pencatatan daya aktif harian dalam satuan kilowatt-hour (kWh). Data ini mencerminkan pemakaian energi listrik langsung dari aktivitas pengemasan harian. Termasuk penggunaan energi untuk sistem pendukung seperti pompa air pada mesin riser dan sistem vakum pada carton erector. Berdasarkan data tersebut, unit assembling tercatat sebagai pengguna energi listrik terbesar dibandingkan unit produksi sirup. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan produksi dan durasi operasional mesin. Data meteran penggunaan listrik unit assembling periode 2021–2025 dapat dilihat pada Lampiran 14.

Nilai ini merupakan akumulasi dari konsumsi listrik per unit pada proses assembling (pengemasan) sirup selama tahun 2021 – 2025. Data akumulasi tersebut memaparkan mengenai nilai meteran listrik pada unit assembling. Konsumsi energi tertinggi tercatat pada unit Mesin Riser dengan rata-rata tahunan mencapai 82.564,1 kWh (berdasarkan data periode 2021 – 2025). Hal ini dikarenakan mesin riser beroperasi pada dua lini produksi (Line A dan B) yang berfungsi untuk melakukan pembersihan botol secara intensif. Proses ini membutuhkan energi listrik yang besar untuk menggerakkan pompa air bertekanan. Selain itu, sistem blower pengering secara terus-menerus guna memastikan kebersihan botol sebelum pengisian.

Nilai konsumsi listrik signifikan ditemukan pada unit Mesin Filler (Fliptop & ROPP) dan Mesin X – Ray. Rata-rata konsumsi masing-masing unit sebesar 61.923,1 kWh per tahun. Tingginya konsumsi pada unit filler disebabkan motor konveyor dan sistem pengisian presisi untuk dua jenis penutupan botol. Pada unit X – Ray, energi digunakan untuk sensor deteksi kontaminan dan sistem pendingin internal mesin.

Pendekatan inventarisasi ini sejalan dengan standar manajemen energi SNI ISO 50001:2018. Standar tersebut digunakan sebagai dasar identifikasi penggunaan energi untuk peningkatan efisiensi. Inventarisasi mencakup jenis peralatan, jumlah unit, daya terpasang, dan durasi operasional harian selama 180 hari produksi per tahun.

Hasil inventarisasi menunjukkan total daya terpasang dari pompa mesin riser dan sistem pneumatik pengemasan. Kedua komponen tersebut memberikan kontribusi dominan terhadap fluktuasi meteran listrik unit assembling. Selisih antara data meteran dan hasil inventarisasi dikategorikan sebagai unmeasured load. Beban ini mencakup lampu area pengemasan, sistem kontrol panel, dan kehilangan energi pada jaringan kabel (KESDM, 2020).

Data historis konsumsi listrik unit assembling tahun 2021–2025 menunjukkan tren penurunan pada beberapa periode. Konsumsi turun dari 444.372 kWh pada tahun 2021 menjadi 355.308 kWh pada tahun 2025. Hasil verifikasi inventarisasi menunjukkan korelasi dengan optimalisasi durasi penggunaan mesin. Selain itu, efisiensi pada hari kerja produksi juga berkontribusi terhadap penurunan tersebut.

Perhitungan emisi CO₂ pada proses assembling menggunakan data meteran listrik sebagai data aktivitas. Data tersebut kemudian dikalikan dengan faktor emisi listrik dari Kementerian ESDM. Faktor emisi wilayah Jamali yang digunakan adalah 0,87 ton CO₂/MWh. Berikut contoh perhitungan emisi CO₂ pada Mesin Riser tahun 2021 menggunakan Persamaan 2.3.

Data :

$$\sum FC = 70.922 \text{ kWh}$$

$$= 70,922 \text{ MWh}$$

$$EF \text{ Jamali} = 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

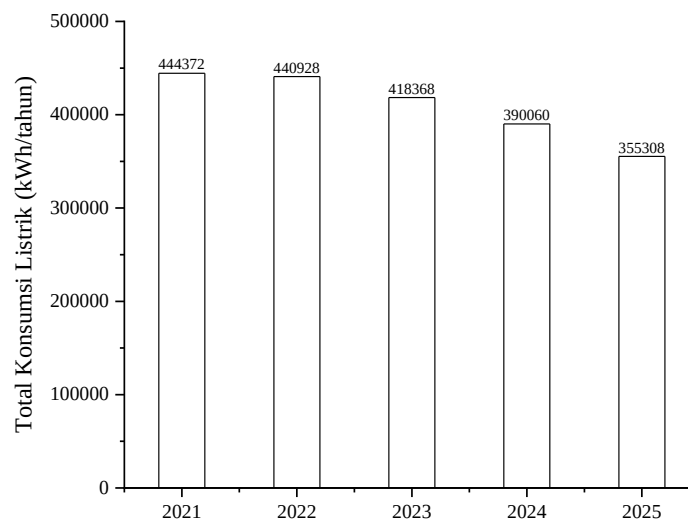
Perhitungan :

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum FC \times EF$$

$$= 70,922 \text{ MWh/tahun} \times 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

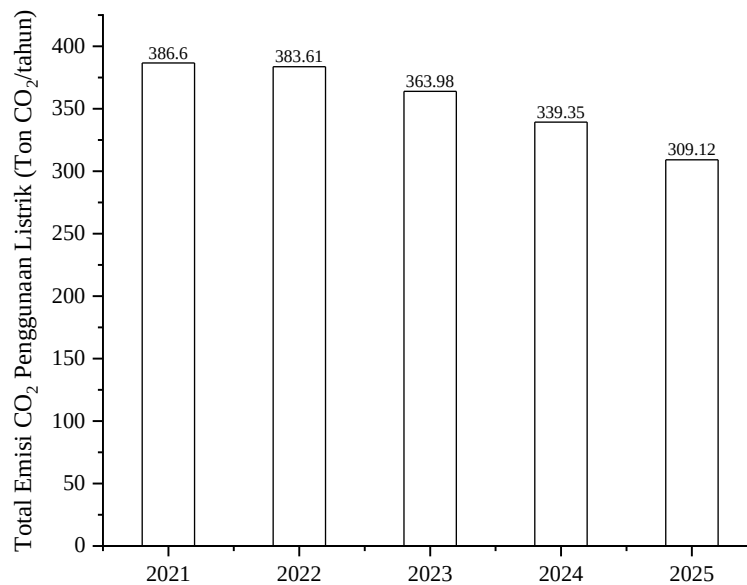
$$= 61,70 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}$$

Fluktuasi kumulatif dari penyerapan daya elektrik pada mesin yang mengolah bahan baku mentah menjadi produk antara disajikan pada Gambar 4. 16. Visualisasi tren tahunan ini mencerminkan besarnya energi mekanis dan termal yang terserap oleh rangkaian mesin. Dinamika naik-turunnya kurva konsumsi energi dalam satuan Kilowatt-hour (kWh) pada grafik ini berbanding lurus dengan intensitas jam kerja mesin.



Gambar 4. 16 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Pengemasan

Konversi dari konsumsi energi elektrik menjadi beban emisi karbon dioksida (CO₂) dapat dilihat pada Gambar 4. 16. Grafik ini memproyeksikan besarnya emisi karbon CO₂ dalam satuan metrik ton karbon dioksida (ton CO₂). Emisi karbon ini terlepas ke atmosfer akibat penggunaan listrik grid PLN di area produksi.



Gambar 4. 17 Grafik Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Unit Pengemasan

4.1.6.2 Perhitungan Emisi Karbon Kegiatan Penunjang

Selain konsumsi energi pada kegiatan utama, emisi gas rumah kaca tidak langsung juga berasal dari aktivitas penunjang (*auxiliary and plug loads*). Aktivitas ini mencakup beban dari motor induksi, agitator, dan sistem pompa di industri sirup. Berdasarkan SNI ISO 50001:2018 dan KESDM (2020), penguraian konsumsi listrik penunjang penting untuk memetakan *unmeasured load*. Hal ini dilakukan pada Sub Distribusi Panel (SDP) utama untuk meningkatkan akurasi inventarisasi energi.

Data penggunaan listrik penunjang berasal dari meteran listrik tahun 2021–2025. Data tersebut dilengkapi dengan inventarisasi peralatan penunjang pada Sub Distribusi Panel (SDP) yang sama. Inventarisasi bertujuan mengestimasi kontribusi tiap unit penunjang terhadap total beban listrik SDP. Selain itu, dilakukan penguraian beban tidak terukur (*unmeasured load*) dari pencatatan meteran listrik utama (KESDM, 2020).

Data meteran listrik industri sirup tahun 2021–2025 diperoleh dari pencatatan daya aktif harian dalam kWh. Data tersebut mencerminkan konsumsi energi langsung dari aktivitas operasional harian. Data kegiatan penunjang tidak tercatat rinci dan digabung dalam kategori “other” pada Lampiran 14.

Pendekatan inventarisasi alat penunjang ini sangat sejalan dengan standar manajemen energi SNI ISO 50001:2018. Standar ini mengenai identifikasi penggunaan energi terperinci sebagai dasar peningkatan efisiensi energi secara menyeluruh di pabrik. Inventarisasi mencakup peralatan domestik-kantor dan fasilitas higiene beserta jumlah unit dan daya terpasang.

Terdapat beberapa jenis alat elektronik yang digunakan dalam kegiatan penunjang proses produksi, yaitu :

a. Peralatan Elektronik Office Pabrik (*Plug Loads*)

Mencakup perangkat komputer dan mesin printer yang digunakan staf administrasi dan operator kontrol panel. Perangkat tersebut berada di ruang office plant produksi. Perangkat elektronik ini memiliki daya terpasang relatif besar sekitar 180 hingga 500 watt. Namun, seluruh perangkat digunakan secara simultan selama jam kerja kantor sekitar 8 jam per hari.

b. Sistem Pengkondisian Udara (*Cooling Load*)

Menggunakan unit *Air Conditioning* (AC) yang terpasang di ruang office dalam plant produksi. AC berfungsi menjaga temperatur lingkungan kerja staf dan mengondisikan suhu ruang kontrol panel. Hal ini mencegah komponen elektronik sensitif mengalami overheating. Beban termal AC memberikan kontribusi penarikan daya aktif yang signifikan dan konstan selama mesin produksi berjalan.

Selain *Air Conditioning* (AC) terdapat kipas angin. Kipas angin yang digunakan merupakan kipas angin dinding. Kipas angin ini digunakan meningkatkan sirkulasi udara lokal. Selain itu, guna menjaga kenyamanan termal bagi karyawan yang bertugas mengawasi jalannya proses produksi secara langsung. Pemasangan pada titik kendali operasional bertujuan mereduksi panas mesin produksi yang tidak terjangkau secara optimal oleh unit pendingin ruangan utama. Walaupun daya kipas angin relatif kecil daripada AC, intensitas pengoperasian selama *shift* kerja memberikan kontribusi akumulatif terhadap beban listrik pabrik.

c. Fasilitas Higiene Pabrik (*Fly Catcher*)

Mengingat komoditas yang diolah adalah sirup berbasis gula pekat sebagai atraktan alami serangga. Pemasangan alat penangkap lalat atau serangga berbasis lampu UV menjadi perangkat penunjang penjaminan mutu. Perangkat ini wajib dipasang di ruang produksi dan assembling. Alat tersebut beroperasi secara kontinu selama 24 jam untuk menjaga standar higiene ruang pengolahan pangan.

d. Sistem Penerangan Area (*Lighting Load*)

Meliputi lampu penerangan di ruang *office* menggunakan lampu LED (*Light Emitting Diode*) berdaya rendah. Selain itu, terdapat lampu TL (*Tubular Lamp*) Neon yang banyak digunakan di ruangan produksi maupun assembling. Selanjutnya terdapat beberapa lampu pencahayaan industri (*high bay lamps*) di ruang produksi dan lini assembling. Lampu tersebut tersebar di seluruh area produksi untuk mendukung aktivitas operasional. Lampu di area produksi beroperasi mengikuti sistem kerja hingga 24 jam per hari.

e. Forklift Charger

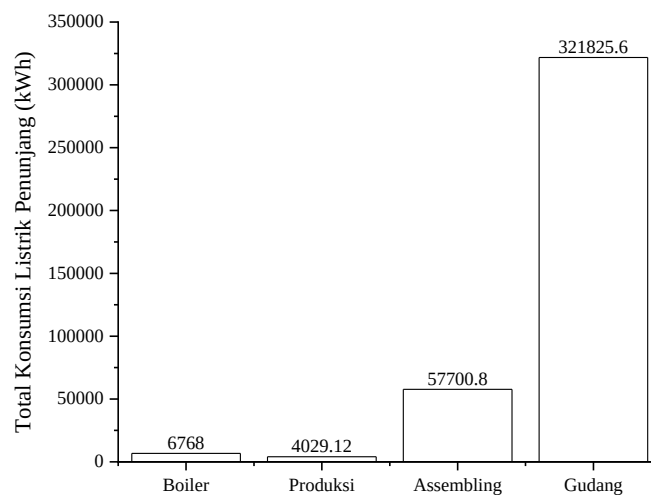
Forklift *charger* merupakan fasilitas penunjang untuk pengisian daya listrik armada forklift elektrik di area pabrik. Perusahaan mengoperasikan empat unit perangkat pengisian daya guna mendukung kelancaran aktivitas logistik setiap hari. Seluruh unit charger bekerja secara kontinu untuk memastikan kesiapan operasional alat angkut material tersebut.

Pengoperasian stasiun pengisian ini membutuhkan konsumsi energi listrik yang sangat besar dalam siklus produksinya. Tingginya daya listrik yang diserap berkontribusi signifikan terhadap akumulasi beban emisi tidak langsung pabrik. Oleh sebab itu, data konsumsi energi dari aktivitas ini tetap dihitung untuk analisis emisi karbon.

Karakteristik beban penunjang umumnya memiliki daya individu relatif kecil namun durasi operasional panjang dan konstan. Kondisi tersebut menghasilkan akumulasi emisi karbon yang signifikan pada profil lingkungan

perusahaan. Data historis konsumsi listrik 2025 menunjukkan tren penurunan pada beberapa periode. Hasil verifikasi inventarisasi menunjukkan korelasi dengan optimalisasi durasi penggunaan AC kantor. Selain itu, terdapat program transisi dari lampu TL Neon ke LED hemat energi di ruang produksi.

Berdasarkan data konsumsi listrik kegiatan penunjang dapat dilihat pada Gambar 4. 18. Aliran konsumsi energi listrik dalam grafik tahunan ini merepresentasikan beban kerja dari berbagai mesin pengemasan yang digunakan. Visualisasi ini menjadi indikator penting dalam memantau kestabilan sistem mekanisasi pengemasan produk sirup. Hal ini juga menunjukkan respons sistem terhadap fluktuasi aktivitas produksi.



Gambar 4. 18 Grafik Total Konsumsi Listrik Unit Produksi

Pendekatan perhitungan emisi CO₂ pada proses produksi menggunakan data meteran listrik sebagai baseline aktivitas. Data tersebut kemudian dikalikan dengan faktor emisi listrik dari Kementerian ESDM Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. Faktor emisi yang digunakan untuk wilayah Jamali adalah 0,87 ton CO₂ per MWh. Berikut perhitungan total emisi CO₂ dari penggunaan listrik kegiatan penunjang tahun 2025 menggunakan persamaan 2.3.

Data :

$$\sum FC = 390.323,52 \text{ kWh}$$

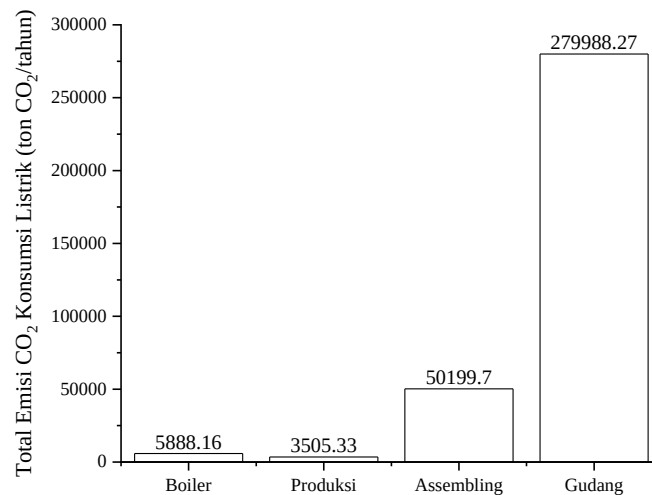
$$= 390,32 \text{ MWh}$$

$$\text{EF Jamali} = 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \sum FC \times EF \\ &= 390,32 \text{ MWh/tahun} \times 0,87 \text{ ton CO}_2/\text{MWh} \\ &= 339,58 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan listrik kegiatan penunjang dari tahun 2025, dapat dilihat pada Gambar 4. 19.



Gambar 4. 19 Grafik Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Unit Produksi

Grafik ini menggambarkan besarnya konversi beban karbon dalam satuan ton CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi listrik pada proses pegemasan. Jika berdasarkan data konsumsi listrik dari kegiatan penunjang didapatkan rata – rata sebesar 339,58 ton CO₂/tahun.

4.1.6.3 Perhitungan Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik

Perhitungan akumulasi emisi CO₂ dari konsumsi listrik industri sirup periode 2021 – 2025 menggunakan pendekatan dua sektor beban. Sektor tersebut terdiri dari beban kegiatan utama (*primary process load*) dan beban kegiatan penunjang (*auxiliary and plug loads*). Pembagian kluster ini digunakan untuk membedah seluruh pasokan daya aktif pada Sub Distribusi Panel (SDP) utama (KESDM, 2020).

Secara metodologis, data aktivitas berasal dari pencatatan harian meteran listrik dalam satuan kWh. Data tersebut dikombinasikan dengan inventarisasi daya terpasang serta durasi operasional alat selama 180 hari produksi per tahun. Beban emisi dihitung dengan mengalikan konsumsi

listrik tahunan (MWh) dengan faktor emisi Jamali dari KESDM. Faktor emisi yang digunakan adalah 0,87 ton CO₂/MWh.

1. Kontribusi Emisi Listrik dari Kegiatan Utama

Beban emisi listrik kegiatan utama mencerminkan konsumsi energi pada mesin penggerak dinamo lini proses inti sirup. Data historis 2021 – 2025 menunjukkan kontributor terbesar berasal dari unit Tangki Dissolving dengan 28.482,4 kWh per tahun. Beban karbon pada unit ini dipicu oleh motor pengaduk (agitator) berdaya besar yang bekerja kontinu. Motor tersebut digunakan untuk melarutkan gula dalam tangki berkapasitas 10.000 liter.

Kontribusi emisi signifikan juga berasal dari Mesin Filter sebesar 25.893,4 kWh per tahun. Hal ini disebabkan penggunaan pompa tekanan tinggi untuk menyaring sirup pekat melalui media filtrasi. Tangki Blending menyumbang 25.893,2 kWh per tahun untuk menjaga homogenitas produk sebelum pengemasan. Fluktuasi emisi kegiatan utama bersifat dinamis dan dipengaruhi volume produksi serta efisiensi kerja mesin.

2. Kontribusi Emisi Listrik dari Kegiatan Penunjang

Beban emisi listrik kegiatan penunjang diidentifikasi dari peralatan non – proses yang termasuk *unmeasured load* pada SDP utama (KESDM, 2020). Meskipun sering diabaikan dalam audit energi, inventarisasi menunjukkan kontribusi emisi yang konstan dan signifikan. Sektor ini mencakup perangkat elektronik kantor seperti komputer dan printer sebagai plug loads harian. Menurut (Reza *et al.*, 2024) pencatatan listrik peralatan kantor dan utilitas penting untuk menyusun basis data emisi yang akurat. Hal ini diperlukan untuk mengantisipasi perhitungan *Global Warming Potential* (GWP) secara menyeluruh pada fasilitas industri.

Kegiatan penunjang juga mencakup sistem pengkondisian udara (AC) di ruang kontrol dan assembling. Selain itu, terdapat alat penangkap serangga (*fly catcher* lampu UV) yang beroperasi 24 jam untuk menjaga

higiene produk. Sistem penerangan juga termasuk lampu ruang produksi, assembling, dan area kantor sebagai bagian dari beban energi penunjang.

3. Rekapitulasi Total Emisi Karbon Listrik Sektor Industri Sirup

Berdasarkan hasil perhitungan emisi karbon dari penggunaan listrik, baik kegiatan utama maupun penunjang telah dianalisis. Total emisi listrik kegiatan utama produksi sirup sebesar 2.364,67 ton CO₂ per tahun. Rata – rata total emisi kegiatan utama sebesar 472,3 ton CO₂/tahun. Sedangkan total emisi listrik kegiatan penunjang sebesar 339,58 ton CO₂/tahun.

Penggunaan energi listrik kegiatan utama memegang porsi kontribusi emisi paling dominan. Nilai emisi rata – rata sebesar 472,3 ton CO₂/tahun dipicu beban daya kontinu mesin inti produksi sirup. Mesin tersebut meliputi pengaduk industri, pompa viskositas tinggi, unit pasteurisasi, dan mesin pengemasan otomatis. Karakteristik proses yang membutuhkan stabilitas suhu dan mekanis membuat konsumsi energi berbanding lurus dengan produksi tahunan.

Kegiatan operasional penunjang menyumbang emisi sekunder sebesar 339,58 ton CO₂/tahun. Kontribusi ini tetap signifikan karena berasal dari penggunaan listrik fasilitas pendukung pabrik secara harian. Beban energi tersebar pada *forklift charger*, sistem pencahayaan, dan tata udara (AC).

4.1.7 Perhitungan Total Emisi Karbon Industri Sirup

Hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca seluruh tahapan proses produksi sirup, diperoleh total emisi sebesar 4.733,526 ton CO₂/tahun. Nilai tersebut merupakan akumulasi emisi dari sektor limbah, penggunaan bahan bakar pada utilitas produksi, transportasi, dan konsumsi energi listrik. Distribusi emisi menunjukkan bahwa memiliki kontribusi yang berbeda, bergantung pada jenis aktivitas, konsumsi energi, serta karakteristik sumber emisi yang dihasilkan. Hasil inventarisasi ini menjadi dasar dalam mengidentifikasi sektor dengan kontribusi emisi terbesar. Setelahnya, dapat ditentukan prioritas strategi mitigasi yang lebih efektif.

Pada sektor limbah, total emisi yang dihasilkan mencapai 757,201 ton CO₂/tahun atau 15,99% dari total emisi keseluruhan. Emisi terbesar berasal dari limbah cair produksi sebesar 610,75 ton CO₂/tahun (12,90%). Kemudian sampah domestik sebesar 138,38 ton CO₂/tahun (2,92%). Sementara itu, kontribusi dari limbah B3 cair dan limbah B3 padat relatif kecil. Pada masing – masing limbah tersebut sebesar 6,201 ton CO₂/tahun (0,13%) dan 0,740 ton CO₂/tahun (0,02%). Serta limbah *septic tank* sebesar 1,13 ton CO₂/tahun (0,02%). Besarnya kontribusi limbah cair produksi menunjukkan bahwa pengolahan air limbah menjadi prioritas dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca.

Pada sektor penggunaan bahan bakar boiler dan genset, total emisi mencapai 3.080,143 ton CO₂/tahun atau sekitar 65,08% dari total emisi. Sektor ini menjadi penyumbang emisi terbesar dalam proses produksi sirup. Emisi tersebut berasal dari boiler berbahan bakar fosil sebesar 1.560,99 ton CO₂/tahun atau 32,98% dari total emisi. Boiler berbahan bakar biomassa menghasilkan 1.506,593 ton CO₂/tahun atau 31,83% dari total emisi. Emisi generator set sebesar 12,56 ton CO₂/tahun atau 0,27% dari total emisi. Tingginya kontribusi sektor ini menunjukkan kebutuhan energi termal masih menjadi penyumbang utama emisi gas rumah kaca. Kondisi tersebut tetap terjadi meskipun perusahaan telah melakukan transisi menuju bahan bakar yang lebih rendah emisi.

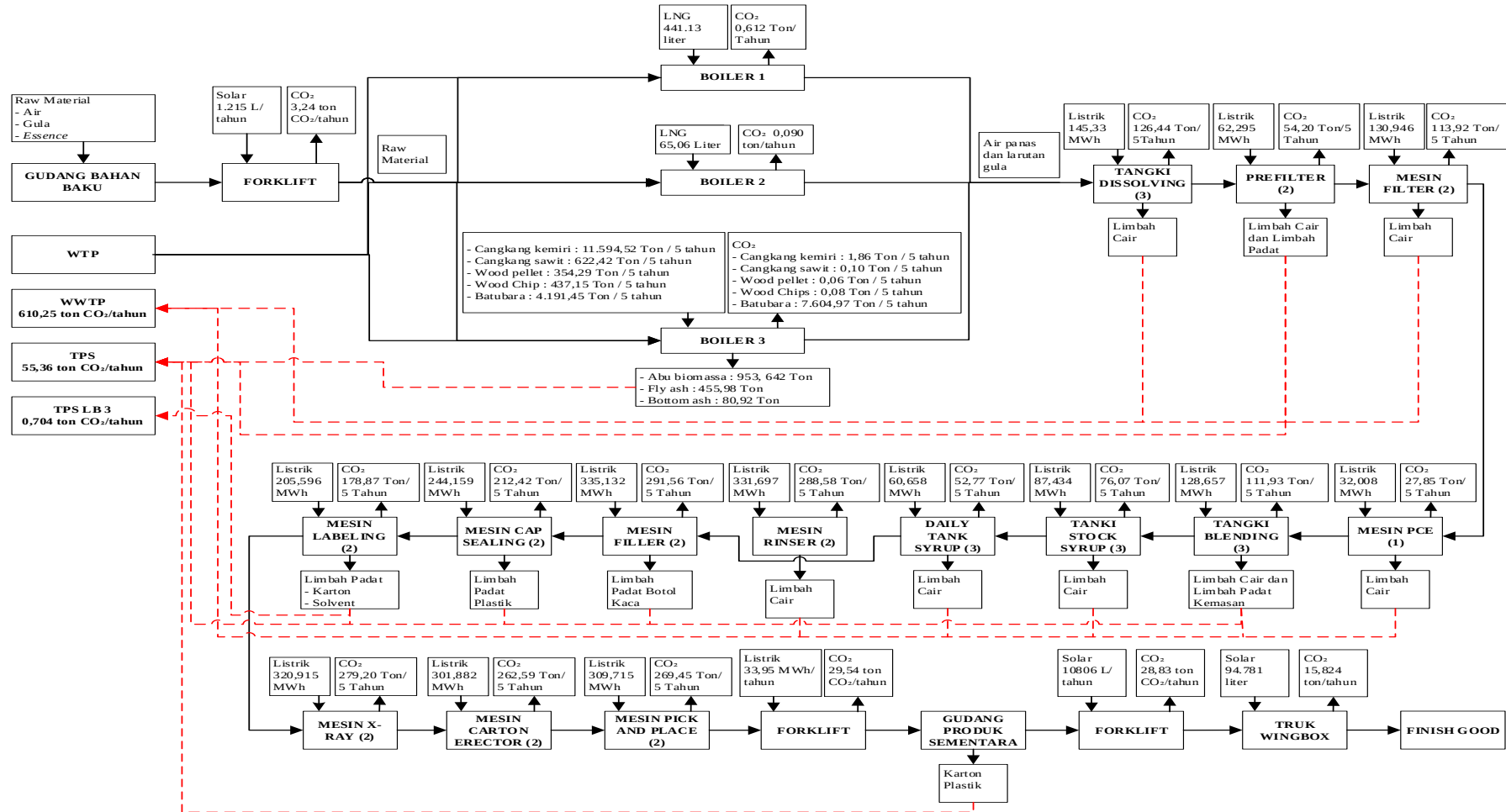
Pada sektor transportasi menghasilkan total emisi sebesar 77,434 ton CO₂/tahun atau 1,64% dari total emisi keseluruhan. Emisi tersebut berasal dari forklift diesel sebesar 32,07 ton CO₂/tahun atau 0,68% dari total emisi. Forklift elektrik sebesar 29,54 ton CO₂/tahun atau 0,62% dari total emisi. Truk diesel menghasilkan emisi sebesar 15,824 ton CO₂/tahun atau 0,33% dari total emisi. Dibandingkan dengan sektor lainnya, kontribusi emisi transportasi relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan forklift listrik berkontribusi menekan emisi dibandingkan penggunaan forklift berbahan bakar diesel secara penuh.

Pada sektor konsumsi energi listrik, total emisi tercatat sebesar 818,748 ton CO₂/tahun atau 17,30% dari total emisi keseluruhan. Emisi tersebut terdiri atas kegiatan utama dan kegiatan penunjang produksi. Kegiatan utama produksi menyumbang sebesar 479,168 ton CO₂/tahun atau 10,12% dari total emisi.

Kegiatan penunjang produksi sebesar 339,58 ton CO₂/tahun atau 7,17% dari total emisi. Kontribusi sektor listrik menunjukkan kebutuhan energi masih menjadi penyumbang penting emisi gas rumah kaca. Hal ini terjadi meskipun sebagian pasokan listrik telah berasal dari sumber energi terbarukan. Peningkatan efisiensi listrik dan pemanfaatan energi terbarukan masih berpotensi menurunkan emisi secara lebih signifikan.

Secara keseluruhan, sektor penggunaan bahan bakar boiler dan genset merupakan hotspot emisi dengan kontribusi lebih dari 65% terhadap total emisi. Sektor berikutnya adalah listrik sebesar 17,30%, sektor limbah sebesar 15,99%, dan sektor transportasi sebesar 1,64%. Temuan ini menunjukkan bahwa strategi mitigasi sebaiknya diprioritaskan pada peningkatan efisiensi sistem pembangkitan energi termal. Selain itu, juga melakukan optimalisasi penggunaan energi rendah emisi, serta pengelolaan limbah yang lebih efektif.

4.1.8 Neraca Alir Proses Produksi Sirup



4.2 Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Energi Terbarukan

4.2.1. Analisis Perbandingan Emisi Bahan Bakar Boiler

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi pada pembakaran stasioner, Gambar 4. 9 menunjukkan grafik tren akumulasi emisi CO₂ dari operasional boiler di industri sirup periode 2021 – 2025. Grafik tersebut memetakan kontribusi emisi dari bahan bakar fosil (LNG dan batu bara) serta biomassa (cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood chip*, dan *wood pellet*).

Secara umum, visualisasi Gambar 4. 9 memperlihatkan adanya dinamika pergeseran (*shifting*) beban emisi yang sangat signifikan. Hal ini mencerminkan tahapan transisi energi operasional perusahaan dari basis hidrokarbon fosil menuju pemanfaatan energi bersih rendah karbon.

1. Analisis Periode Awal (2021 – 2022): Dominasi Mutlak Emisi Fosil

Pada periode awal pengamatan, grafik pada Gambar 4. 8 dan Gambar 4. 9, profil emisi perusahaan didominasi oleh emisi dari bahan bakar fosil. Beban emisi fosil pada fase ini menjadi hotspot lingkungan terbesar dalam sistem operasional pabrik. Hal ini terutama disebabkan pengoperasian Unit Boiler 3 yang masih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama. Boiler tersebut digunakan untuk mendukung proses pemanasan dan pasteurisasi sirup.

Batu bara memiliki karakteristik karbon rantai panjang yang menghasilkan emisi tinggi saat oksidasi sempurna. Pada tahun 2022, konsumsi batu bara sebesar 3.086 ton menghasilkan emisi 5.599,24 ton CO₂ per tahun. Nilai ini dipengaruhi nilai kalor $18,9 \times 10^{-3}$ TJ/ton dan faktor emisi IPCC 96.000 kg/TJ.

Kontribusi fosil juga berasal dari penggunaan LNG pada Boiler 1 dan Boiler 2. Namun, emisi LNG relatif lebih rendah dan stabil dibandingkan batu bara. Boiler 2 mengalami kerusakan setelah 2022 sehingga berhenti beroperasi pada periode 2023 – 2025. Akibatnya, emisi LNG hanya berasal dari Boiler 1 pada tahun – tahun berikutnya.

2. Analisis Periode Pasca – Transisi (2023 – 2025): Reduksi Signifikan Emisi Karbon Fosil

Memasuki periode 2023 – 2025, tren pada Gambar 4. 9 menunjukkan perubahan struktur emisi yang signifikan. Emisi fosil mengalami reduksi tajam sebagai indikator keberhasilan dekarbonisasi perusahaan. Kondisi ini mencerminkan efektivitas penerapan bauran energi terbarukan melalui *full fuel-switching* pada Unit Boiler 3. Sejak 2023, penggunaan batu bara dihentikan sepenuhnya oleh manajemen pabrik.

Batu bara kemudian digantikan sepenuhnya oleh biomassa seperti cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood pellet*, dan *wood chip*. Substitusi tersebut menurunkan porsi emisi gas rumah kaca Scope 1 hingga titik terendah. Sisa emisi fosil pada periode ini hanya bersumber dari konsumsi LNG pada Boiler 1. Kontribusi LNG relatif kecil dan cenderung stabil dibandingkan periode sebelumnya

Reduksi emisi fosil ini membuktikan intervensi teknologi mampu mengubah profil keberlanjutan industri secara nyata. Kebijakan *fuel-switching* menjadi bukti komitmen perusahaan terhadap target penurunan emisi karbon jangka panjang. Keberhasilan ini memperkuat urgensi perluasan biomassa pada unit boiler lain di masa mendatang.

3. Kajian Emisi Netral Karbon dan Karbon Fosil (Pendekatan IPCC 2006)

Pemanfaatan biomassa pada periode 2023 – 2025 tetap menghasilkan emisi

CO₂ dari proses pembakaran di Boiler 3. Namun, Pedoman IPCC 2006 membedakan pelaporan inventarisasi emisi berdasarkan sumber karbonnya.

Emisi dari cangkang kemiri, cangkang sawit, dan kayu diklasifikasikan sebagai emisi netral karbon pada

Gambar 4. 9

Gambar 4. 9 Grafik Total Emisi CO₂ dari Bahan Bakar Boiler

.

Emisi CO₂ fosil dari batu bara dan LNG berasal dari karbon purba yang terlepas ke atmosfer. Kondisi ini meningkatkan konsentrasi gas rumah

kaca secara akumulatif dan bersifat permanen. Sebaliknya, emisi biomassa dianggap netral dalam siklus karbon jangka pendek. Karbon tersebut berasal dari fotosintesis tanaman selama masa pertumbuhannya. Saat dibakar, karbon kembali ke siklus alami dan diserap kembali oleh vegetasi baru.

Oleh karena itu, kenaikan grafik biomassa pada 2023–2025 tidak dikategorikan sebagai beban emisi bersih yang merusak lingkungan. Kenaikan tersebut justru dihitung sebagai capaian reduksi karbon fosil bernilai positif bagi target *Net Zero Emission*. Temuan ini memperkuat dasar ilmiah strategi dekarbonisasi melalui optimalisasi bauran energi biomassa berkelanjutan.

Secara keseluruhan, analisis pada menunjukkan efektivitas strategi dekarbonisasi melalui substitusi biomassa pada sistem pembangkitan uap industri sirup. Meskipun transisi dari batu bara ke biomassa menyebabkan perubahan volume input akibat variasi nilai kalor masing – masing material. Dari perspektif akuntansi karbon, kebijakan ini berhasil menurunkan ribuan ton emisi karbon fosil per tahun. Temuan ini diperkuat oleh Rohkayati *et al.*, (2024) dan Chin, (2024) sebagai dasar ilmiah yang valid. Hal ini memberikan pijakan bagi optimalisasi bauran energi biomassa menuju rantai pasok industri sirup rendah emisi yang berkelanjutan.

4.2.2. Analisis Perbandingan Emisi Bahan Bakar Forklift

Analisis komparatif tren emisi bulanan forklift diesel dan forklift elektrik menunjukkan perbedaan fluktuasi yang sangat kontras sepanjang tahun 2025. Secara kuantitatif, emisi forklift elektrik menunjukkan pola yang homogen dan stabil sepanjang periode pengamatan. Emisi tersebut juga tidak mengalami fluktuasi bulanan yang signifikan. Sebaliknya, emisi armada forklift diesel menunjukkan pola yang lebih dinamis.

Lonjakan dan penurunan emisi antarbulan terlihat cukup signifikan. Perbedaan nilai emisi tersebut terlihat jelas secara statistik maupun operasional. Total emisi forklift keseluruhan tercatat sebesar 61,61 ton CO₂/tahun, gabungan armada diesel dan elektrik. Forklift diesel menyumbang porsi lebih besar, yaitu

52,05% dari total emisi forklift. Forklift elektrik berkontribusi lebih rendah, sebesar 47,95% dari total emisi forklift.

Faktor utama yang menyebabkan perbedaan tren ini dapat dijelaskan melalui kondisi manajemen logistik di lapangan. Dua unit forklift elektrik digunakan untuk aktivitas internal pabrik (*indoor*). Operasionalnya terhubung langsung dengan jadwal batching proses produksi sirup. Lini produksi berjalan secara kontinu untuk memenuhi target produksi harian perusahaan. Kondisi tersebut menyebabkan ritme kerja forklift elektrik relatif konstan setiap hari. Akibatnya, konsumsi energi listrik bulanan cenderung stabil.

Sebaliknya, enam unit forklift diesel ditempatkan pada area penunjang luar ruangan (*outdoor*). Utilitasnya sangat dipengaruhi oleh dinamika rantai pasok eksternal. Faktor tersebut meliputi jadwal kedatangan truk bahan baku dan bahan penolong. Selain itu, aktivitas bongkar muat logistik juga memengaruhi intensitas operasional forklift diesel. Ketika pasokan material meningkat, intensitas kerja armada diesel ikut meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan konsumsi solar menjadi lebih tinggi. Akibatnya, fluktuasi emisi antarbulan menjadi lebih signifikan.

Secara teoritis, perbedaan stabilitas emisi dipengaruhi oleh karakteristik konversi energi masing – masing moda angkut. Forklift elektrik menghasilkan emisi tidak langsung (Scope 2). Emisi tersebut berasal dari konsumsi listrik saat pengisian daya baterai. Menurut Sufi *et al.*, (2025), sistem manajemen baterai menjaga konsumsi energi tetap stabil dan efisien. Sistem tersebut juga mengurangi perubahan konsumsi energi selama operasi. Stabilitas emisi Scope 2 diperkuat oleh faktor emisi jaringan listrik yang relatif tetap per kWh.

Sebaliknya, emisi forklift diesel dikategorikan sebagai emisi langsung (Scope 1). Emisi tersebut berasal dari proses pembakaran pada mesin diesel. (Pang *et al.*, 2021) melakukan penelitian menggunakan *Portable Emission Measurement System* (PEMS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi mesin diesel sangat sensitif terhadap variasi siklus kerja. Emisi juga dipengaruhi oleh peningkatan torsi saat mengangkat beban berat.

Oleh karena itu, fluktuasi aktivitas logistik luar ruangan memengaruhi besarnya emisi karbon secara langsung. Temuan tersebut sejalan dengan

penelitian Marcilio *et al.*, (2018). Pola emisi yang lebih berfluktuasi ini menunjukkan keunggulan ekologis forklift elektrik. Elektrifikasi armada dapat membantu mengurangi ketidakpastian emisi karbon perusahaan di masa mendatang. Temuan ini juga didukung oleh (Klassovskaya & Botnariuk, 2026).

4.3 Analisis Rekomendasi Strategi Mitigasi

4.3.1. Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Boiler

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi, unit boiler teridentifikasi sebagai kontributor emisi terbesar dalam sistem operasional pabrik sirup. Proses produksi sirup membutuhkan energi panas tinggi untuk dissolving, blending, hingga pasteurisasi. Hal ini menyebabkan fluktuasi intensitas energi yang berbanding lurus dengan tingginya emisi GRK. Oleh karena itu, mitigasi pada sektor pembakaran stasioner menjadi prioritas utama perusahaan. Strategi ini bertujuan menutup celah emisi yang belum tereduksi dan mendukung target dekarbonisasi nasional.

Rekomendasi strategi mitigasi emisi karbon pada unit boiler dibagi menjadi tiga pilar utama:

- substitusi bahan bakar berkelanjutan (*fuel switching*)
 - optimalisasi efisiensi termal mekanis
1. Optimalisasi dan Keberlanjutan Strategi Substitusi Bahan Bakar (*Fuel Switching*)

Langkah mitigasi paling efektif yang dilakukan perusahaan adalah penghentian total penggunaan batu bara pada Boiler 3. Batu bara kemudian digantikan dengan biomassa komposit seperti cangkang kemiri, cangkang sawit, *wood chip*, dan *wood pellet*. Kebijakan transisi energi ini secara empiris menurunkan beban emisi fosil Scope 1 secara signifikan. Konsep *avoided emissions* digunakan untuk menghitung selisih emisi fosil yang tidak lagi dilepaskan ke atmosfer.

Emisi CO₂ dari pembakaran biomassa merupakan karbon yang sebelumnya diserap melalui proses fotosintesis tanaman. Menurut Rohkayati *et al.*, (2024), emisi batu bara jauh lebih berdampak terhadap pemanasan global. Hal ini karena batu bara melepaskan karbon purba secara

permanen ke atmosfer. Sebaliknya, biomassa komposit mampu memutus rantai emisi fosil secara signifikan.

Keberhasilan program *fuel switching* ini direfleksikan melalui penurunan indikator intensitas emisi per unit produk sirup yang dihasilkan. Penurunan nilai intensitas emisi ini menjadi parameter validasi ilmiah bahwa perusahaan telah berhasil mencapai efisiensi lingkungan. Sejalan dengan peta jalan menuju *Net Zero Emission* industri manufaktur modern.

Selain memberikan manfaat lingkungan, penggunaan biomassa juga lebih menguntungkan dari aspek ekonomi apabila dibandingkan dengan LNG. Berdasarkan data konsumsi energi perusahaan, kebutuhan LNG sebesar 4.234,85 MMBTU/tahun. Dengan asumsi harga LNG sebesar 13 USD/MMBTU. Apabila menggunakan kurs Rp18.000/USD, maka perhitungan perbandingan menggunakan harga per GJ. Perhitungan konsumsi LNG :

$$\text{Harga LNG} = 13 \text{ USD/MMBTU} = \text{Rp } 234.000/\text{MMBTU}$$

$$\text{Energi} = 1,055 \text{ GJ}$$

Maka,

$$\text{LNG} = \frac{\text{Rp } 234.000}{1,055}$$

$$= \text{Rp } 221.800/\text{GJ}$$

Sementara itu, kebutuhan biomassa cangkang kemiri sebesar 2.898,63 ton/tahun atau setara dengan 2.898.630 kg/tahun. Dengan harga biomassa sebesar Rp1.400/kg, maka perhitungan perbandingan menggunakan harga per GJ. Perhitungan konsumsi Biomassa :

$$\text{Harga Biomassa} = \text{Rp } 1.400.000 / \text{ton}$$

$$\text{Energi} = 18,9 \text{ GJ/ton}$$

Maka,

$$\text{Biomassa} = \frac{\text{Rp } 1.400.000}{18,9}$$

$$= \text{Rp } 74.074/\text{GJ}$$

Berdasarkan analisis biaya per satuan energi, biomassa cangkang kemiri memiliki biaya sekitar Rp74.074/GJ, sedangkan LNG sebesar Rp221.800/GJ. Dengan demikian, biaya energi biomassa sekitar 66,6%

lebih rendah atau hampir tiga kali lebih ekonomis dibandingkan LNG. Oleh karena itu, strategi *fuel switching* dari LNG menuju biomassa tidak hanya berpotensi menurunkan emisi karbon, tetapi juga meningkatkan efisiensi biaya energi perusahaan.

2. Peningkatan Efisiensi Termal dan Penerapan Teknologi *Waste Heat Recovery* pada Boiler LNG

Meskipun Boiler 3 telah sepenuhnya beralih ke biomassa, Boiler 1 masih menggunakan *Liquefied Natural Gas* (LNG). Strategi mitigasi pada unit ini difokuskan pada optimalisasi efisiensi termodinamika sistem boiler. Hal ini dilakukan untuk meminimalkan sisa emisi dari penggunaan bahan bakar fosil yang masih digunakan. Menurut Chin, (2024), variasi bahan bakar pada boiler dapat mempengaruhi efisiensi termal akibat perbedaan nilai kalor. Oleh karena itu, diperlukan intervensi teknologi ramah lingkungan untuk meningkatkan kinerja pembakaran stasioner.

Salah satu teknologi yang direkomendasikan adalah pemasangan *economizer* pada saluran gas buang (*flue gas*) boiler. *Economizer* merupakan alat penukar panas (*heat exchanger*) yang memanfaatkan panas gas buang untuk memanaskan air umpan (*boiler feed water*) sebelum memasuki boiler. Pemanfaatan panas sisa tersebut meningkatkan temperatur air umpan sehingga kebutuhan energi pembakaran menjadi lebih rendah. Semakin tinggi suhu air umpan, semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan (Ibrahim & Faadhilah, 2026).

Peningkatan efisiensi pembakaran juga berkontribusi pada stabilitas operasi boiler. Pengendalian proses yang optimal mengurangi fluktuasi konsumsi energi akibat koreksi operasional berlebih (Parapat *et al.*, 2026). Penurunan konsumsi bahan bakar fosil berdampak langsung terhadap penurunan emisi CO₂ operasional. Hal ini konsisten dengan prinsip bahwa efisiensi pembakaran memengaruhi tingkat emisi gas buang (Yulia *et al.*, 2022).

Dengan demikian, pemasangan *economizer* pada Boiler 1 relevan untuk menekan sisa emisi pembakaran stasioner LNG. Berikut merupakan

rekomendasi *economizer* berdasarkan aspek lingkungan dan aspek kelayakan ekonomi.

1. Aspek Lingkungan

Studi pada boiler fire tube berbahan bakar LNG melaporkan peningkatan efisiensi termal dari 79,90% menjadi 85,54%, atau meningkat sekitar 7,06% dibandingkan kondisi awal. Peningkatan efisiensi tersebut diikuti oleh penurunan konsumsi LNG dari 149 kg/jam menjadi 135 kg/jam. Penurunan konsumsi setara dengan penghematan bahan bakar sekitar 9,40% (Masaji *et al.*, 2023).

Konsumsi bahan bakar LNG pada boiler 1 sebelum menggunakan *economizer* adalah sebesar 4234,85 MBBTU. Apabila menggunakan *economizer* maka penghematan bahan bakar LNG pada boiler 1 adalah sebagai berikut:

- Perhitungan bahan bakar LNG dengan penambahan *economizer* :

Penggunaan *economizer*

$$= (\text{konsumsi LNG} - (\text{konsumsi LNG} \times \% \text{efisiensi}))$$

$$= (4.234,85 \text{ MBBTU} - (4.234,85 \text{ MBBTU} \times 9,40 \, \%))$$

$$= 3.836,77 \text{ MBBTU}$$

- Emisi CO₂ Penggunaan *Economizer*

Konsumsi bahan bakar LNG dapat menghasilkan emisi CO₂ karena hasil dari proses pembakaran. Perhitungan emisi CO₂ dapat menggunakan persamaan 2.2. Berikut merupakan perhitungan CO₂ apabila menggunakan *economizer*.

Data :

$$\text{Konsumsi LNG tanpa } \textit{economizer} = 4.234,85 \text{ MBBTU}$$

$$= 88,23 \text{ liter}$$

$$\text{Konsumsi LNG dengan } \textit{economizer} = 3.836,77 \text{ MBBTU}$$

$$= 79,93 \text{ liter}$$

$$\text{Selisih} = 4.234,85 \text{ MBBTU} - 3.836,77 \text{ MBBTU}$$

$$= 398,08 \text{ MBBTU/tahun}$$

$$\begin{aligned}\text{Persentase penghematan biaya LNG} &= \frac{398,08}{4.234,85} \times 100\% \\ &= 9,40\%\end{aligned}$$

Emisi CO₂ = konsumsi energi × nilai kalor × faktor emisi

Perhitungan :

Emisi CO₂ tanpa *economizer* :

$$= 88,23 \text{ liter/tahun} \times 21,6 \times 10^{-6} \text{ Tj/liter} \times 64.200 \text{ kg/Tj}$$

$$= 122,35 \text{ kg/tahun}$$

$$= 0,122 \text{ ton CO}_2\text{/tahun}$$

Emisi CO₂ dengan *economizer* :

$$= 79,93 \text{ liter/tahun} \times 21,6 \times 10^{-6} \text{ Tj/liter} \times 64.200 \text{ kg/Tj}$$

$$= 110,84 \text{ kg/tahun}$$

$$= 0,11 \text{ ton CO}_2\text{/tahun}$$

- Penurunan CO₂ implementasi *economizer*

Efisiensi Penurunan :

$$= \text{Emisi CO}_2 \text{ tanpa } \textit{economizer} - \text{Emisi CO}_2 \text{ dengan } \textit{economizer}$$

$$= 0,122 \text{ ton/tahun} - 0,110 \text{ ton/tahun}$$

$$= 0,012 \text{ ton/tahun}$$

- Penghematan biaya LNG

$$\text{Harga LNG} = 13 \text{ USD/MBBTU}$$

$$= \text{Rp } 234.000/\text{MBBTU}$$

$$\text{Penghematan biaya tahunan} = 398,08 \text{ MBBTU/thn} \times \text{Rp } 234.000/\text{thn}$$

$$= \text{Rp } 93.150.720/\text{tahun}$$

2. Aspek Kelayakan Ekonomi

Analisis kelayakan ekonomi bertujuan menilai kelayakan ekonomi dari suatu rencana investasi teknis dengan melakukan pendalaman berbagai alternatif yang dianggap paling menguntungkan. Analisis kelayakan ekonomi terhadap pengadaan *economizer* terdapat indikator yang sering digunakan yaitu *Break Even Point* (BEP).

- **Fixed Cost**

Biaya tetap merupakan komponen penting dalam struktur biaya perusahaan, yang tetap konstan terlepas dari volume produksi

atau tingkat aktivitas operasional Biaya ini umumnya mencakup pengeluaran seperti sewa, pajak properti, asuransi, dan bunga (Rahmawati *et al.*, 2024). Metode imputasi rasional biaya tetap dapat diterapkan untuk menghilangkan pengaruh penyerapan biaya tetap dan meningkatkan pengawasan terhadap penyimpangan biaya lainnya (Chen *et al.*, 2020). Identifikasi biaya tetap dan variabel sangat penting bagi manajer untuk meramalkan total biaya dan mengambil keputusan yang terinformasi (Akram, 2020).

Fixed cost pada pengadaan *economizer* terdiri dari biaya alat *economizer* yang disajikan dalam Lampiran 16. Pada lampiran tersebut mengenai total biaya *fixed cost* sebesar Rp 146.000.000. Total harga *fixed cost* yang tertera tidak mengalami perubahan jika terjadi fluktuasi dalam aktivitas operasional perusahaan. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Rahmawati *et al.*, (2024) mengenai biaya tetap merupakan komponen penting dalam struktur biaya perusahaan. Hal ini tetap konstan terlepas dari volume produksi atau tingkat aktivitas operasional.

- ***Variable Cost***

Biaya variabel adalah komponen penting dari struktur biaya operasional, yang berubah secara proporsional dengan volume produksi. Hubungan antara biaya variabel dan tingkat output menjadikannya aspek krusial. Hal ini digunakan untuk menghitung titik impas dan membuat keputusan manajerial jangka pendek (Rojas, 2021). Analisis titik impas mengkaji hubungan antara biaya tetap, biaya variabel, dan tingkat keuntungan dalam suatu proses produksi. Analisis ini digunakan untuk menentukan jumlah produksi minimum agar seluruh biaya operasional tertutupi pada tingkat harga tertentu (Rojas, 2021).

Variable cost pada pengadaan *economizer* terdiri dari biaya operasional dan pemeliharaan rutin *economizer*. Dimana biaya operasional dan perawatan sebesar 1% sampai 2% dari biaya investasi (Rachmanita *et al.*, 2025). *Variable cost* pada pengadaan

economizer disajikan dalam Lampiran 16. Pada lampiran tersebut, memaparkan mengenai total biaya *variable cost* sebesar Rp 2.920.000.

- **Payback Period (PBP)**

Payback period merupakan indikator kelayakan investasi yang mengukur lama waktu pengembalian modal awal. Metode ini menghitung periode saat akumulasi manfaat menyamai biaya investasi yang dikeluarkan (Sapna *et al.*, 2025). Semakin singkat periode pengembalian, semakin rendah risiko finansial suatu proyek investasi. Analisis PBP banyak digunakan karena perhitungannya sederhana dan mudah dipahami manajemen (Arrasyid & Udjianto, 2024).

Payback period pada pengadaan *economizer* dihitung dari rasio fixed cost terhadap penghematan biaya tahunan. Penghematan tersebut berasal dari efisiensi konsumsi LNG setelah *economizer* beroperasi optimal. Perhitungan ini membandingkan total investasi awal dengan estimasi arus kas masuk tahunan (Sapna *et al.*, 2025). Nilai PBP yang dihasilkan menjadi acuan utama kelayakan waktu pengembalian proyek.

Analisis perhitungan PBP pada pengadaan *economizer* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{- Perhitungan PBP} &= \frac{\text{variable cost}}{\text{penghematan biaya LNG}} \\ &= \frac{\text{Rp 146.000.000}}{\text{Rp 93.150.720}} \\ &= 1,57 \text{ tahun} \approx 1 \text{ tahun 7 bulan} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan periode pengembalian investasi *economizer* tercapai dalam 1,57 tahun. Durasi tersebut tergolong cepat dibandingkan umur ekonomis alat selama sepuluh tahun. Kondisi ini mengindikasikan investasi *economizer* memiliki risiko finansial rendah dan menguntungkan (Abuk & Rumbino,

2020). Percepatan pengembalian modal memperkuat kelayakan proyek dari aspek waktu investasi.

- **Net Present Value (NPV)**

Net present value merupakan metode penilaian investasi berbasis nilai waktu uang. Metode ini menghitung selisih antara *present value* manfaat dan *present value* biaya (Rachmanita *et al.*, 2025). *Discount factor* digunakan untuk mengonversi arus kas masa depan menjadi nilai sekarang. Proyek dinyatakan layak apabila hasil NPV bernilai positif (Sapna *et al.*, 2025).

NPV pada pengadaan *economizer* dihitung dari *present value* penghematan biaya LNG dikurangi *fixed cost* investasi. *Present value* diperoleh melalui perkalian penghematan tahunan dengan faktor *present worth* selama sepuluh tahun. Suku bunga enam persen digunakan sebagai *discount rate* dalam perhitungan (Krishna *et al.*, 2022). Pendekatan ini memastikan nilai investasi memperhitungkan faktor waktu secara akurat. Kriteria pengambilan keputusan NPV menurut Sapna *et al.* (2025), pada *economizer* adalah sebagai berikut :

- NPV > 0 (Positif), maka menunjukkan bahwa proyek panel surya layak dari segi ekonomi dan proyek dikatakan dapat diterima
- NPV < 0 (Negatif), maka menunjukkan bahwa proyek panel surya tidak layak dari segi ekonomi dan proyek dikatakan tidak dapat diterima.

Data :

Penghematan biaya LNG = Rp 93.150.720

Umur ketahanan *economizer* = 10 tahun

Suku bunga = 6%

$$\begin{aligned}\text{Faktor present worth} &= \frac{1-(1+0,06)^{-10}}{0,06} \\ &= 7,3601\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Present value benefit} &= \text{penghematan biaya LNG} - \text{present worth} \\
 &= \text{Rp } 93.150,720 \times 7,3601 \\
 &= \text{Rp } 685.592.863 \\
 \text{NPV} &= \text{present value benefit} - \text{fixed cost} \\
 &= \text{Rp } 685.592.863 - \text{Rp } 146.000.000 \\
 &= \text{Rp } 539.592.863
 \end{aligned}$$

Nilai NPV pada 10 tahun mendatang sebesar Rp 539.592.863. Hasil perhitungan NPV menunjukkan bahwa nilai $\text{NPV} > 0$ sehingga proyek ini layak dari segi ekonomi dan proyek dapat diterima. NPV positif menandakan bahwa proyek ini dapat menghasilkan keuntungan bersih setelah memperhitungkan biaya investasi awal dan nilai waktu dari uang.

- **Benefit Cost Ratio (BCR)**

Benefit cost ratio adalah parameter kelayakan yang membandingkan total manfaat dengan total biaya investasi. Rasio ini menggambarkan besaran keuntungan dari setiap satuan biaya yang dikeluarkan (Rahmawati *et al.*, 2024). Proyek dikategorikan layak apabila nilai BCR lebih besar dari satu. Semakin tinggi rasio tersebut, semakin besar keuntungan relatif proyek.

Perhitungan BCR pada *economizer* membandingkan present value benefit terhadap total *fixed cost* investasi. *Present value benefit* diperoleh dari akumulasi penghematan biaya LNG selama umur ekonomis alat. Metode *cost benefit analysis* lazim digunakan untuk menilai kelayakan investasi berbasis efisiensi biaya (Agusdin & Aidil, 2022). Kriteria pengambilan keputusan BCR menurut Wieloch (2017), pada *economizer* adalah sebagai berikut :

- $\text{BCR} > 1$, maka proyek *economizer* layak dijalankan karena memberikan keuntungan positif.
- $\text{BCR} = 1$, maka proyek *economizer* impas, tidak mengalami keuntungan dan kerugian.
- $\text{BCR} < 1$, maka proyek tidak dapat dijalankan karena tidak memberikan kerugian negatif.

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \frac{\text{present value benefit}}{\text{fixed cost}} \\ &= \frac{\text{Rp } 685.592.863}{\text{Rp } 146.000.000} \\ &= 4,70 \end{aligned}$$

Nilai BCR yang didapatkan sebesar 4,70. Hasil perhitungan BCR menunjukkan bahwa $\text{BCR} > 1$ sehingga proyek *economizer* layak dijalankan karena memberikan keuntungan positif. Proyek *economizer* mengindikasikan *benefit cost* yang memadai dan memberikan pengembalian yang lebih besar dari biaya investasi awal.

- **Internal rate of Return (IRR)**

Internal rate of return merupakan tingkat suku bunga yang membuat nilai NPV sama dengan nol. Parameter ini menunjukkan tingkat pengembalian maksimum yang dapat dihasilkan investasi (Abuk & Rumbino, 2020). IRR banyak digunakan praktisi untuk menilai kelayakan finansial suatu proyek investasi (Albornoz *et al.*, 2018).

IRR pada pengadaan *economizer* diperoleh dari persamaan kesetimbangan *fixed cost* dengan penghematan biaya LNG tahunan. Persamaan tersebut diselesaikan hingga menghasilkan tingkat suku bunga ekuivalen investasi. Nilai IRR yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan *discount rate* sebagai acuan kelayakan. Selisih keduanya menentukan tingkat keuntungan relatif proyek *economizer* (Albornoz *et al.*, 2018). IRR diperoleh dari persamaan :

$$\text{Fixed cost} = \text{penghematan biaya LNG} \times \frac{1-(1+r)^{-10}}{r}$$

$$\text{Rp } 146.000.000 = \text{Rp } 93.150.720 \times \frac{1-(1+r)^{-10}}{r}$$

$$\text{IRR} = 63\%$$

$$\text{BI rate} = 6\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai IRR pengadaan *economizer* mencapai 63%. Angka tersebut jauh melampaui *BI rate*

sebesar enam persen sebagai acuan kelayakan. Selisih besar ini mengindikasikan proyek *economizer* sangat menguntungkan secara finansial (Rahmawati *et al.*, 2024). Tingginya IRR memperkuat kesimpulan bahwa investasi *economizer* layak direalisasikan. Maka proyek layak secara ekonomi.

4.3.2. Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Penggunaan Listrik

Penggunaan listrik pada industri sirup dikategorikan sebagai emisi tidak langsung (Scope 2). Kegiatan utama produksi menyumbang emisi rata-rata sebesar 472,3 ton CO₂/tahun. Kegiatan penunjang turut berkontribusi sebesar 339,58 ton CO₂/tahun terhadap total beban karbon. Faktor emisi Jamali sebesar 0,87 ton CO₂/MWh digunakan sebagai basis konversi (KESDM, 2020). Sistem penerangan menjadi salah satu komponen dominan pada beban kegiatan penunjang tersebut. Ruang produksi dan *assembling* masih didominasi lampu TL Neon konvensional. Oleh karena itu, optimalisasi penggunaan dan transisi ke lampu LED direkomendasikan sebagai strategi mitigasi utama.

Lampu LED memiliki efisiensi luminous jauh lebih tinggi dibandingkan lampu TL konvensional. Efisiensi LED tercatat mencapai 88,89 hingga 94,44 lumen per watt (Rohim *et al.*, 2025). Sebaliknya, lampu TL hanya menghasilkan efisiensi sekitar 75 lumen per watt. Perbedaan efisiensi ini berdampak langsung terhadap penurunan konsumsi daya listrik. Penggunaan lampu LED dapat menghemat energi hingga 45% dibandingkan lampu fluoresen konvensional (Ramadhan, 2025). Selain aspek efisiensi energi, LED juga memiliki umur pakai operasional lebih panjang. Karakteristik ini relevan bagi ruang produksi yang beroperasi kontinu hingga 24 jam. Oleh sebab itu, penggantian TL Neon ke LED sangat sesuai untuk kondisi operasional perusahaan ini.

Selain penggantian jenis lampu, optimalisasi durasi penggunaan turut menjadi strategi mitigasi relevan. Pengaturan jadwal operasional pencahayaan sesuai kebutuhan aktual dapat menekan pemborosan energi. Data historis perusahaan menunjukkan tren penurunan konsumsi listrik penunjang pada beberapa periode. Tren tersebut berkorelasi dengan optimalisasi durasi

penggunaan pendingin udara kantor. Program transisi TL Neon ke LED di ruang produksi turut berkontribusi pada tren tersebut. Optimalisasi semacam ini tidak memerlukan penambahan instalasi baru pada sistem kelistrikan pabrik. Pendekatan ini konsisten dengan prinsip efisiensi energi tanpa investasi modal besar (Baihaqi *et al.*, 2024).

Secara keseluruhan, optimalisasi penggunaan listrik dan retrofit LED mendukung penurunan emisi Scope 2 perusahaan. Strategi ini sejalan dengan pencapaian target *Net Zero Emission* nasional pada tahun 2060 (Ramadhan, 2025). Efisiensi energi pada sistem penerangan turut memperkuat penerapan prinsip *green industry* secara operasional. Kombinasi optimalisasi durasi pemakaian dan transisi teknologi lampu memberikan dampak berkelanjutan bagi perusahaan. Pendekatan tanpa penambahan instalasi ini realistis diterapkan pada industri sirup yang telah beroperasi. Dengan demikian, strategi ini memperkuat kontribusi sektor kelistrikan terhadap peta jalan dekarbonisasi industri secara menyeluruh.

4.3.3. Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon dari Limbah Cair Produksi

Limbah cair produksi menjadi kontributor emisi terbesar pada sektor limbah, mencapai 610,75 ton CO₂/tahun. Proses degradasi anaerobik bahan organik pada instalasi pengolahan limbah cair (WWTP) melepaskan metana sebesar 24,43 ton/tahun. Kontribusi WWTP mencapai 81,53% dari total emisi karbon sektor limbah. Metana merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang jauh lebih tinggi dibanding CO₂ (Song *et al.*, 2023). Kondisi ini menjadikan pengolahan limbah cair sebagai prioritas utama dalam strategi mitigasi emisi perusahaan.

Kondisi bak influen yang bersifat terbuka pada WWTP perusahaan cenderung mendukung proses degradasi aerobik. Kondisi aerobik terbuka ini secara alami menekan pembentukan gas metana dibandingkan sistem tertutup (Novia, 2021). Namun demikian, efisiensi transfer oksigen pada unit aerasi tetap perlu dioptimalkan secara berkala. Optimalisasi suplai oksigen mempercepat oksidasi bahan organik sebelum sempat terdekomposisi secara anaerobik. Studi menunjukkan bahwa pengolahan aerobik dapat menekan pembentukan metana

secara signifikan (Novia, 2021). Oleh karena itu, pemantauan konsentrasi oksigen terlarut pada unit aerasi perlu ditingkatkan frekuensinya. Penyesuaian debit udara aerasi berdasarkan fluktuasi beban organik bulanan juga direkomendasikan.

Pengendalian *Hydraulic Retention Time* (HRT) pada unit anaerobik turut menjadi strategi optimalisasi yang relevan. HRT yang tidak optimal dapat memperpanjang waktu kontak bahan organik dengan bakteri metanogenik. Optimalisasi suhu dan waktu retensi pada tahap anaerobik terbukti meningkatkan efisiensi penyisihan COD (Ghanimeh *et al.*, 2019). Peningkatan efisiensi penyisihan pada tahap anaerobik mengurangi beban organik residual masuk ke tahap aerobik. Pengendalian *Organic Loading Rate* (OLR) secara konsisten turut mencegah lonjakan pembentukan metana tak terkendali. Strategi ini tidak memerlukan penambahan reaktor, melainkan penyesuaian parameter operasional yang sudah ada.

Selain optimalisasi proses biologis, pengendalian beban organik dari sumbernya turut direkomendasikan. Pemisahan residu sirup pekat sebelum masuk saluran limbah dapat menurunkan konsentrasi COD inlet. Penurunan konsentrasi COD inlet secara langsung menurunkan nilai *Total Organics in Wastewater* (TOW). Nilai TOW yang lebih rendah berdampak proporsional terhadap penurunan estimasi emisi metana terhitung. Pendekatan pengendalian pada sumber ini konsisten dengan prinsip minimisasi limbah dalam produksi bersih (Ghanimeh *et al.*, 2019). Praktik ini juga mengurangi kebutuhan kapasitas pengolahan tanpa mengubah desain fisik WWTP.

Secara keseluruhan, optimalisasi unit aerobik dan anaerobik eksisting berpotensi menurunkan emisi metana WWTP. Penurunan emisi ini dicapai tanpa investasi instalasi tambahan yang membutuhkan biaya modal besar. Pendekatan operasional ini selaras dengan prinsip efisiensi biaya bagi perusahaan menuju rendah karbon. Optimalisasi berkelanjutan pada parameter aerasi, HRT, dan OLR mendukung stabilitas kinerja WWTP jangka panjang. Strategi ini juga memperkuat kontribusi sektor limbah cair terhadap target dekarbonisasi industri sirup secara menyeluruh.

4.3.4. Rekomendasi Mitigasi Emisi Karbon Kendaraan Aset Forklift

Langkah mitigasi utama yang paling berdampak adalah mengganti enam unit forklift diesel dengan forklift elektrik berbasis baterai. Forklift tersebut beroperasi pada area luar ruangan (*outdoor*). Berdasarkan hasil inventarisasi emisi, transisi ini dapat menghilangkan emisi langsung (Scope 1) secara penuh. Emisi yang dapat dihilangkan mencapai 32,07 ton CO₂/tahun. Emisi tersebut berasal dari pembakaran solar pada mesin pembakaran dalam.

Secara teoritis, elektrifikasi alat angkut berat merupakan strategi utama dalam upaya dekarbonisasi sektor industri. Strategi ini juga mendukung penerapan rantai pasok hijau dan operasional industri modern. Temuan tersebut didukung oleh (Haghi *et al.*, 2019; Khausar *et al.*, 2026). Emisi mesin diesel non-jalan cenderung tidak stabil dan berfluktuasi. Besarnya emisi dipengaruhi oleh variasi siklus kerja dan durasi idling. Emisi juga meningkat saat terjadi lonjakan torsi ketika mengangkat beban berat. Temuan ini dijelaskan oleh (Pang *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penggunaan sistem penggerak elektrik menjadi solusi yang efektif. Solusi ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil secara signifikan (Li *et al.*, 2019).

Dari aspek kesehatan lingkungan kerja, penggantian forklift memberikan manfaat yang penting. Penggantian ini tidak hanya menurunkan emisi karbon. Penggantian juga menghilangkan polutan udara berbahaya lainnya. Kondisi tersebut sangat penting bagi industri manufaktur sirup. Tujuannya adalah mengurangi risiko paparan polutan beracun bagi pekerja. Selain itu, langkah ini dapat mencegah kontaminasi gas buang pada area produksi dan penyimpanan (Sufi *et al.*, 2025).

Dari perspektif ekonomi teknik, armada elektrik menawarkan biaya operasional yang lebih rendah. Sistem penggerak listrik memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan mesin diesel. Akibatnya, biaya energi per jam operasi menjadi lebih rendah (Setiawan & Siallagan, 2025). Selain itu, forklift elektrik memiliki komponen mekanis yang lebih sederhana. Forklift elektrik tidak memerlukan sistem bahan bakar dan pelumas yang kompleks. Kondisi ini dapat menurunkan biaya perawatan secara signifikan. Pernyataan tersebut didukung oleh (Klassovskaya & Botnariuk, 2026). Dengan demikian, investasi

armada elektrik memberikan manfaat ekonomi jangka panjang. Manfaat tersebut diperoleh melalui efisiensi energi dan pengurangan biaya pemeliharaan selama umur aset.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Total emisi karbon industri sirup tahun 2025 tercatat sebesar 5.468,61 ton CO₂/tahun. Sektor bahan bakar boiler dan generator set menjadi penyumbang terbesar, yaitu 3.919,47 ton CO₂/tahun. Sektor energi listrik menyumbang 808,75 ton CO₂/tahun, limbah 667,44 ton CO₂/tahun, dan transportasi 72,95 ton CO₂/tahun. Bahan bakar fosil terbukti menjadi kontributor emisi paling dominan.
2. Sebelum penerapan energi terbarukan, seluruh kebutuhan energi bergantung penuh pada bahan bakar fosil dan listrik grid. Ketergantungan tersebut menghasilkan profil emisi tinggi dan fluktuatif akibat siklus kerja mesin diesel. Setelah penerapan energi terbarukan, kurva emisi menjadi lebih stabil dan konsumsi fosil menurun signifikan. Substitusi energi bersih juga mempercepat efisiensi energi spesifik pada lini produksi.
3. Strategi mitigasi diprioritaskan pada tiga sektor emisi tertinggi, yaitu boiler, listrik, dan limbah cair produksi. Sektor boiler dilakukan melalui substitusi biomassa pada Boiler 3 serta pemasangan *economizer* pada Boiler 1 berbahan bakar LNG. Sektor listrik dioptimalkan melalui penggantian lampu TL Neon dengan lampu TL LED. Sektor limbah cair produksi difokuskan pada optimalisasi proses aerobik – anaerobik WWTP melalui pengendalian HRT dan OLR. Ketiga strategi tersebut secara kolektif menjadi fondasi utama pencapaian target dekarbonisasi industri sirup.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan dan diharapkan dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk memperluas batasan sistem evaluasi (*system boundary*) dari pendekatan *Gate – to – Gate* (hanya di kawasan pabrik) menjadi pendekatan *Cradle – to – Grave*. Jika menggunakan pendekatan yang sama dapat menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) guna menghitung emisi siklus hidup produk sirup secara menyeluruh dari bahan baku hulu hingga pengelolaan pasca – konsumsi di hilir.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuk, G.M. dan Rumbino, Y. (2020). Analisa Kelayakan Ekonomi Menggunakan Metode Net Present Value (NPV), Metode Internal Rate of Return (IRR) Payback Period (PBP) pada Unit Stone Crusher di CV. X Kab. Kupang Prov. NTT. **Jurnal Ilmiah Teknologi FST Undana**, 14(2).
- Agusdin, R.P. dan Aidil, N.N. (2022). Feasibility Analysis of Information Technology Investment Using Cost Benefit Analysis Method. **Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi**, 19(2), pp.254-258.
- Akinbi, G.O., Ngatia, L.W., Grace, J.M., Fu, R., Tan, C., Olaborode, S.O., Abichou, T. dan Taylor, R.W. (2022). Organic Matter Composition and Thermal Stability Influence Greenhouse Gases Production in Subtropical Peatland under Different Vegetation Types. **Heliyon**, 8(11).
- Akram, H. (2020). Evaluation and Profitability Management of Investment Programs of Small and Medium-Sized Business Enterprises by the Breathless Criterion. **Economic Analysis**, 30(3), pp.156-165.
- Albornoz, V.A.C.De, Galera, A.L. dan Millán, J.M. (2018). Is It Correct to Use the Internal Rate of Return to Evaluate the Sustainability of Investment Decisions in Public Private Partnership Projects? **Sustainability (Switzerland)**, 10.

Ali, W., Nasir, M.S., Nasir, A., Rashid, H., Ayub, I., Gillani, S.H. dan Latif, M.J. (2018). Assessment of Carbon Footprints in Terms of CO₂ of Diesel Generator. **Earth Sciences Pakistan**, 2(1), pp.5-14.

Anggraeny, R.D., Rini, I.D.W.S. dan Ariani, I.K. (2025). Studi Potensi Emisi Gas Rumah Kaca Menggunakan Metode IPCC serta Arahana Pemanfaatan Sampah Organik yang Dihasilkan Berdasarkan Aspek Teknis di Kecamatan Balikpapan Barat. **Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)**, 7(2).

Arrasyid, I.A. dan Udjianto, D.W. (2024). Analisis Metode Kelayakan Ekonomis terhadap Pertambangan Berdasarkan Literature Review. **Jurnal Geomine**, 12(1), pp.62-73.

Baihaqi, M.A., Abdillah, H., Asrori, T., Muhammad, A., Suharsono, J. dan Candra, S.D. (2024). Energy Saving with LED Lights Sustainable Lighting Solution for Wonoasih Probolinggo Village Community. **Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat**, 2(2).

Bakti, R.M., Joyosemito, I.S. dan Meilani, S.S. (2024). Analisis Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca dan Potensi Energi Listrik antara Insinerasi dan Proses Biologi (Studi Kasus Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Merah Putih). **Jurnal Jaring SainTek**, 6(21).

Baryła, I.W., Bernat, K. dan Zaborowska, M. (2022). Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and

Indirect Environmental Effects. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 19(20).

Brás, I., Fabbicino, M., Ferreira, J., Silva, E. dan Mignano, V. (2025). Sustainable Heat Production for Fossil Fuel Replacement—Life Cycle Assessment for Plant Biomass Renewable Energy Sources. **Sustainability (Switzerland)**, 17(7).

Bunga, S., Rahendaputri, C.S., Yorika, R., Rini, I.D.W.S. dan Maulana, M.T. (2025). Greenhouse Gas Emissions Analysis from Waste Management at Institut Teknologi Kalimantan Using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Methodology. **SPECTA Journal of Technology**, 9(3), pp.253-265.

Cao, C., Wen, B., Fang, Y., Hou, Z., Wang, Q., Zhang, T., Huang, L., Chen, Q., Zhang, L., Zhao, Y. dan Lüddeke, C.T. (2025). A Comprehensive Comparison of Green Ammonia and Green Methanol from a Full Chain: Production, Transportation, Storage and Utilization. **Carbon Neutral Systems**, 1(1).

Chen, H., Jory, S., Mishra, T. dan Ngo, N. (2020). Firms' Cost Structure and Stock Return Volatility. **Managerial Finance**.

Chiang, T.A., Che, Z.H. dan Liu, C.H. (2020). A Benchmark-Based Low Carbon Performance Evaluation and Improvement Approach for Beverage Production. **Computers and Industrial Engineering**, 139.

Chin, J. (2024). Analysis of Mixing Coal and Biomass Fuels on Industrial Boiler Performance. **Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri**, 15(2), pp.59-66.

Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M. dan Schaaf, E. (2025). **GHG Emissions of All World Countries: JRC Science for Policy Report**. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Daeli, I.S. (2024). Strategi Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca untuk Mengatasi Konflik Global akibat Perubahan Iklim. **Environment Conflict**, 1(2), pp.72-82.

Dewi, Y.P., Sihombing, M. dan Setiawan, Y. (2017). Inventarisasi Sumber Emisi Gas Rumah Kaca (Greenhouse Gas) dari Kegiatan Eksplorasi dan Eksploitasi Minyak dan Gas Bumi PT. MNO. Dalam: **Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017"**. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta.

Escobar, C.C., Gutiérrez, J.M., Moreno, R.R., Velázquez, E.P., Cayetano, F.C. dan Grados, V.D. (2026). Environmental Risks and Sustainable Management Pathways for Used Lubricating Oils: A Structured Review with Conceptual Spill Risk Analysis. **Recycling**, 11(3).

Evangelista, P., Colicchia, C. dan Creazza, A. (2017). Is Environmental Sustainability a Strategic Priority for Logistics Service Providers? **Journal of Environmental Management**, 198, pp.353-362.

Faiza, A. dan Kumalasari, I.D. (2024). Analisis Karakteristik Fisik dan Mikrobiologi pada Sirup. **Sainteks**, 21(1), p.25.

Farizi, S.Al. (2022). *Proses Pengawasan Mutu pada Mutu Produk Sirup Squash di PT. Heinz ABC-Pasuruan Plant*. Laporan Kerja Praktik.

Febriani Irma, M. dan Gusmira, E. (2024). Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia. **JSSIT: Jurnal Sains dan Dains Terapan**, 2.

Febrianti, N., Prambudi, D.A. dan Anggraeny, R.D. (2023). *Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengelolaan Sampah Organik (Studi Kasus: ITF Kota Hijau Balikpapan)*.

Fresilia, D., Sudarti dan Yushardi (2024). Mekanisme Terbentuknya Lapisan Gas Rumah Kaca. **JPST: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi**, 3(2), pp.306-313.

Ghanimeh, S., Khalil, C.A., Angelucci, D.M. dan Tomei, M.C. (2019). Anaerobic-Aerobic Sequential Treatment: Temperature Optimization and Cost Implications. **Journal of the Air and Waste Management Association**, 69(10), pp.1170-1181.

Gu, D., Liu, Y., Zhao, W., Qiu, S., Cui, N., Hu, X. dan Zhao, P. (2023). Status of Research on Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Collection Systems. **Water (Switzerland)**, 15(14).

Haghi, E., Shamsi, H., Dimitrov, S., Fowler, M. dan Raahemifar, K. (2019). Assessing the Potential of Fuel Cell-Powered and Battery-Powered Forklifts for Reducing GHG Emissions Using Clean Surplus Power; A Game Theory Approach. **International Journal of Hydrogen Energy**, 45(59), pp.34532-34544.

Halomoan, N. dan Putri, A.R. (2025). Potensi Emisi Gas Rumah Kaca di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Cikundul, Kota Sukabumi. **Journal of Environmental Engineering Innovations**, 2(2), pp.80-88.

Hanarisanty, L. dan Pratama, B.A. (2022). Calculation of Greenhouse Gas Emissions (CH₄, CO₂, and N₂O) in Kasihan District in the Agricultural Sector Using the IPCC Application. **Journal of Engineering Science and Technology Management**, 2(2).

Harahap, M.R., Abrasyi, R. dan Tobing, H.L.vander (2021). *Penentuan Flash Point, Densitas dan Warna Biosolar (B30) TOO7 FT Sabang dan SPBU CV. Tosaka Abadi Sabang Menggunakan Metode ASTM D-93.*

Hendriadi, A., Benyamin, B., Jusuf Djafar, M., Yohanes, H., Badrul Jamal, I., Koeslulat, E.E., Sumarno, L., Budiyanto, A., Purna Raharjo, Y. dan Hadipernata, M. (2023). Carbon Footprint in the Agri-Food Industry in

Indonesia: An Analysis of Current Trends and Future Directions. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 1358(1).

Hutagalung, W.L.C., Ariska, E. dan Rinaldi (2023). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca dari Proses Pengelolaan Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Kerinci. **Jurnal Daur Lingkungan**, 6(1), p.73.

Ibrahim, I.M. dan Faadhilah, J. (2026). Pra-Rancangan Alat Economizer untuk Meningkatkan Efisiensi Termal Boiler melalui Pemanfaatan Panas Flue Gas Sistem Preheating Feedwater. **Chemical Engineering Journal Storage**, 6(1), pp.42-56.

IPCC (2006). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disunting oleh S. Engglestone, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara dan K. Tanabe. Vol.1-5. IGES, Jepang.

IPCC (2006). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste**. Disunting oleh H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara dan K. Tanabe. IPCC.

IPCC (2019). **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 5: Waste**. Disunting oleh E. Calvo Buendia, K. Tanabe, A. Kranjc, J. Baasansuren, M. Fukuda, S. Ngarize, A. Osako, Y. Pyrozhenko, P. Shermanau dan S. Federici. IPCC.

ISO (2018). **ISO 14067:2018 Greenhouse Gases — Carbon Footprint of Products — Requirements and Guidelines for Quantification**. International Organization for Standardization, Geneva.

Judijanto, L., Karina Putri, V. dan Ansori, T. (2023). Analisis Dampak Penggunaan Energi Terbarukan, Efisiensi Energi, dan Teknologi Hijau pada Pengurangan Emisi Karbon di Industri Manufaktur Kota Tangerang. **Jurnal Multidisiplin West Science**, 2(12), pp.1127-1138.

Kementerian Lingkungan Hidup (2010). *Akibat Peningkatan Sumber Pencemar Udara oleh Kegiatan Manusia sehingga Perlu Dilakukan Upaya Pengendalian Pencemaran Udara*. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup (2012). **Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional – Buku II Volume 1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca – Pengadaan dan Penggunaan Energi**. Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.

Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia (2012). **Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional – Buku II Volume 1: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca – Pengadaan dan Penggunaan Energi**. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta.

KESDM (2020). *Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.

Khairiyyah, N.N. dan Elvania, N.C. (2026). Analisis Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Air Limbah Industri Pengilangan. **Jurnal Teknik Silitek**, 6(1).

Khausar, M.A., Suwondo dan Sumiarsih, E. (2026). Strategi Potensi Pengurangan Emisi Karbon dari Aktivitas Perkebunan dan Pabrik Kelapa Sawit. **Jurnal Zona**, 10(1), pp.87-94.

Kim, J.H., Yu, J.H., Song, J., Lee, D.Y., Yu, M.S., Hwang, I.J., Kim, J.S. dan Kim, J.H. (2021). Emission Characteristics of PM (PM_{total}, PM₁₀, PM_{2.5}), NO_x, CO and VOCs Emitted from LNG-Fired Gas Turbine and Small Domestic Boiler. **Asian Journal of Atmospheric Environment**, 15(4).

Kim, J., Lim, N.H., Shin, Y., Park, K. dan Han, I.S. (2021). Analysis of Greenhouse Gas Emissions for Carbonated Soft Drinks Using LCA Methodology. **Journal of Korean Society of Environmental Engineers**, 43, pp.1-9.

Kis, F., Maravić, N., Kertesz, S. dan Šereš, Z.I. (2019). Life Cycle Assessment of Liquid Inverted Sugar and High-Fructose Corn Syrup. **Analecta Technica Szegedinensia**, 13(1), pp.28-39.

Klassovskaya, M.I. dan Botnariuk, A.Yu. (2026). Comparative Technical and Economic Analysis of Diesel and Electric Forklifts Taking into Account Environmental Aspects. **Economic Vector**, 1(44), pp.30-35.

KLHK (2024). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) 2023*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.

Krishna, M., Mahapatra, S., L, F.D.J., Perumal, T., Raj, S. dan Prabhakaran, P. (2022). Economic Feasibility Studies of Simple and Discounted Payback Periods for 1 MWp Ground Mounted Solar PV Plant at Tirupati Airport. Dalam: **Smart Grids and Microgrids**, pp.59-73

Li, J., Lutzemberger, G., Poli, D. dan Scarpelli, C. (2019). *Simulation and Experimental Validation of a Hybrid Forklift Truck*.

Lin, X., Yang, R., Zhang, W., Zeng, N., Zhao, Y., Wang, G., Li, T. dan Cai, Q. (2023). An Integrated View of Correlated Emissions of Greenhouse Gases and Air Pollutants in China. **Carbon Balance and Management**, 18(19).

Liu, H., Huang, F., Deng, F., Luo, Z., Zhao, H. dan He, K. (2021). Road Freight Emission in China: From Supply Chain Perspective. **Environmental Pollution**, 285.

Liu, T.C., Wu, Y.C. dan Chau, C.F. (2023). An Overview of Carbon Emission Mitigation in the Food Industry: Efforts, Challenges, and Opportunities. **Processes**, 11.

Luthfi, M.A., Firdausiyah, N. dan Yudono, A. (2024). Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Kendaraan Angkutan Barang di Jalan Sunandar Priyo Sudarmo Kota Malang. **Planning for Urban Region and Environment**, 13(2).

Manihuruk, J. dan Samosir, N.T. (2022). Analisis Pemeliharaan Berkala dengan Kinerja Generator Set 670 kVA dan 530 kVA di PT. Ramayana Sentosa Pematang Siantar. **SKYLANDSEA Profesional Jurnal Ekonomi, Bisnis dan Teknologi**, 2.

Marcilio, G.P., Rangel, J.J.de A., Souza, C.L.M.de, Shimoda, E., Silva, F.F.da dan Peixoto, T.A. (2018). Analysis of Greenhouse Gas Emissions in the Road Freight Transportation Using Simulation. **Journal of Cleaner Production**, 170, pp.298-309.

Masaji, M., Aisha, N. dan Soeprijanto (2023). Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat Economizer sebagai Pre-Heater Steam. **Jurnal Teknik**, 12(3).

Masriatini, R. (2018). Penambahan Gula terhadap Mutu Sirup Mangga. 3(1).

- Moja, A.I., Pădureanu, V., Canja, C., Brănescu, G.R. dan Calefariu, G. (2024). Consequences of Increasing Greenhouse Gas Emissions: Case Study on the Impact of the Food Industry. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**, 30(2), pp.179-186.
- Muryani (2018). Produksi Bersih dan Model Kerjasama sebagai Upaya Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Industri. **Dialektika**, 13(1), pp.48-65.
- Musmuliadi, Mado, I., Budiman, A., Subariato, S. dan Rantepadang, A. (2023). Dampak Keandalan Generator Set 3 Fase terhadap Kontinuitas Suplai Listrik saat Terjadi Pemadaman. **Editor: Jurnal Teknik Elektro**, 22(2), pp.144-151.
- Novia, F. (2021). Potensi Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengolahan Air Limbah Domestik di Instalasi Pengolahan Air Limbah Bojongsoang, Kabupaten Bandung. **Jurnal Dampak**, 18(1), pp.40-44.
- Oktafayanza, F., Mahyudin, R.P. dan Firmansyah, M. (2021). Studi Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Kupang Banjarbaru Kalimantan Selatan. **Media Ilmiah Teknik Lingkungan**, 6(2), pp.65-73.
- Pang, K., Zhang, K. dan Ma, S. (2021). Tailpipe Emission Characterizations of Diesel-Fueled Forklifts under Real-World Operations Using a Portable Emission Measurement System. **Journal of Environmental Sciences (China)**, 100, pp.34-42.

Parapat, R.Y., A, A.R.N., Bayyanu, B.P., Ngainul, K., Putri, S.R. dan Della, S.A. (2026). Pengendalian Proses Efisiensi Energi: Strategi Pengurangan Konsumsi Energi dan Emisi. **Integrative Perspectives of Social and Science Journal (IPSSJ)**, 3(1).

Republik Indonesia (2021). **Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021**. Sekretariat Negara Republik Indonesia, Jakarta.

Republik Indonesia (2025). **Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional**. Sekretariat Negara Republik Indonesia, Jakarta.

Putri, N.S., Budiarti, E., Huboyo, H.S. dan Haryanti, N. (2024). Perencanaan Strategi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Energi (Greenhouse Gas Emission Reduction Strategy Planning in the Energy Sector). **Jurnal Teknologi Riset Terapan (JATRA)**, 2(1), pp.37-53.

Rachmanita, R.E., Rojib, S., Faizin, N. dan Fahriannur, A. (2025). Analisis Kelayakan Pembangunan PLTS pada Kafe Pondok Juice. **Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik**, 3(3), pp.52-65.

Rahmawati, A., Carina, A.A., Putri, F.A., S, J.T.U.T. dan Ramadhana, Z.A. (2024). Perilaku Biaya: Analisis Komparatif melalui Pendekatan Teoritis dan Praktik pada Biaya Tetap. **CEMERLANG: Jurnal Manajemen dan Ekonomi Bisnis**, 4(3), pp.166-178.

Ramadhan, A.R. (2025). Analisis Efisiensi Energi pada Sistem Penerangan Gedung Bertingkat. **Journal of Engineering and Technological Science**, 1(2), pp.40-46.

Restelli, F., Gambardella, M. dan Pellegrini, L.A. (2024). Green vs Fossil-Based Energy Vectors: A Comparative Techno-Economic Analysis of Green Ammonia and LNG Value Chains. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 12(1).

Reza, E.Y., Pradiva, A.P., Widyaningsih, T.wahyu dan Fauziah (2024). Analisis Emisi Karbon pada Kendaraan dan Peralatan Listrik Rumah Tangga untuk Mengantisipasi GWP (Global Warming Potential). **Techno.COM**, 23(3), pp.658-667.

Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow, W.R., Zhou, N., Elliott, N., Dell, R., Heeren, N., Huckestein, B., Cresko, J., Miller, S.A., Roy, J., Fennell, P., Cremmins, B., Koch Blank, T., Hone, D., Williams, E.D., de la Rue du Can, S. dan Helseth, J. (2020). Technologies and Policies to Decarbonize Global Industry: Review and Assessment of Mitigation Drivers through 2070. **Applied Energy**, 266.

Rohim, A., Dewi, A.Y. dan Erhaneli (2025). Analisis Kinerja Sistem Penerangan LED terhadap Konsumsi Daya Listrik Gedung D Institut Teknologi Padang. **Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran**, 8(1).

Rohkayati, E., Ratna, R. dan Ar, S. (2024). **Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Seri 02 Fakultas Sains dan Teknologi**, Vol.1(2). Universitas Terbuka.

Rojas, J.L. (2021). Short-Term Cost-Volume-Benefit Decision Making. **Estudios de Economía Aplicada**, 39(8).

Rokhmawati, Y., Firatama, A.D., Triono, I.W. dan Fawaid, M.Y.N. (2025). Analisa Pemanfaatan Gas Metana dari Dekomposisi Sampah Organik pada Sanitary Landfill (Studi Kasus: TPA Wonokerto Kabupaten Pasuruan). **Live and Applied Science**, 5.

Rosmiati dan Kurnia, D. (2023). Perhitungan Neraca Energi pada Unit Boiler pada Proses Produksi Minyak Kelapa Sawit di Pabrik Kelapa Sawit PT. XYZ. **Reprokimia**, pp.1-7.

Sapna, S., Ramadhan, I.C. dan Margana, R.R. (2025). Analisis Kelayakan Investasi Mesin menggunakan Metode NPV, IRR, dan Payback Period di Salah Satu UMKM Pabrik Roti di Bandung. **Jurnal Teknik Industri ITN Malang**.

Saputra, A. (2024). Analisis Kinerja Sistem Manufaktur Berkelanjutan: Integrasi Teknologi Energi Terbarukan dalam Proses Produksi. **Jurnal Teknik dan Teknologi Tepat Guna**, 3(1), pp.13-19.

Sari, S.M., Renilaili dan Kusmindari, C.D. (2024). Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di PT. Tanjung Enim Lestari Pulp and Paper. **Jurnal Altifani Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat**, 4(6), pp.470-478.

Sasmita, A., Yohanes, Y. dan Widyanto, A.R. (2021). Pengaruh Waktu Operasi dan Daya Mesin Diesel Dongfeng R175 Berbahan Bakar Oli Bekas terhadap Emisi CO, CO₂, HC, dan Opasitas. **Dinamika Teknik Mesin**, 11(2), p.124.

Setiawan, B. dan Siallagan, M.P.S. (2025). Analysis of Investment Strategy Composition in Rental of Electric Forklift and Diesel Forklift (Case Study of PT XYZ). **COMSERVA: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat**, 5(1), pp.1-19.

Sihombing, M., Dewi, Y.P. dan Setiawan, Y. (2017). Dalam: **Prosiding Seminar Nasional XII "Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017"**. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta.

Song, C., Zhu, J.J., Willis, J.L., Moore, D.P., Zondlo, M.A. dan Ren, Z.J. (2023). Methane Emissions from Municipal Wastewater Collection and Treatment Systems. **Environmental Science and Technology**, 57, pp.2248-2261.

Sufi, R.I., Syaifuddin dan Ariefin (2025). Analysis of the Efficiency of Production Mobility between the Use of Diesel and Electric Forklifts at PT Ima Montaz Sejahtera. **Journal of Mechanical Engineering and Fabrication**, 2(1).

Sukaryono, I.D. (2020). Pengaruh Penerapan Industri Hijau terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Industri di Indonesia. Dalam: **Sciences and Technology (GCSST), Seminar Nasional I Baristand Industri Padang (Semnas I BIPD)**, Vol.5, pp.85-95.

Taylor, C., Maroccia, J., Masterson, M. dan Rosentrater, K.A. (2023). Comprehensive Life Cycle Assessment of the Corn Wet Milling Industry in the United States. **Frontiers in Energy Research**, 11.

Tubiello, F.N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Xueyao, P., Obli-Laryea, G., Wanner, N., Qiu, S.Y., Barros, J.De, Flammini, A., Mencos-Contreras, E., Souza, L., Quadrelli, R., Heioarsdóttir, H.H., Benoit, P., Hayek, M. dan Sandalow, D. (2021). Greenhouse Gas Emissions from Food Systems: Building the Evidence Base. **Environmental Research Letters**, 16(6).

Wang, J., Han, Y., Zhou, C., Xu, T., Qu, Z., Ma, B., Yuan, M., Wang, L., Liu, Y., Li, Q., Ding, X., Qian, C. dan Ma, B. (2024). Effects of Depth of Straw Returning on Maize Yield Potential and Greenhouse Gas Emissions. **Frontiers in Plant Science**, 15.

Wardhani, E. dan Rafianto, M.V. (2021). Pengelolaan LB3 di Perusahaan Listrik Negara Pusharlis UP2 WIII Bandung. **Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan**, 5(3), pp.267-280.

Wibowo, K. (2024). Kontribusi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan dalam Mengurangi Emisi Karbon. **Journal of Social Science Research**, (6).

Wieloch, H.G. (2017). Project Net Present Value Estimation under Uncertainty. **Central European Journal of Operations Research**, 27, pp.179-197.

Wong, E.Y.C., Ho, D.C.K., So, S. dan Poo, M.C.P. (2021). Sustainable Consumption and Production: Modelling Product Carbon Footprint of Beverage Merchandise Using a Supply Chain Input-Process-Output Approach. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 29, pp.1-14.

Wróbel-Jędrzejewska, M., Włodarczyk, E. dan Przybysz, Ł. (2024). Analysis of Greenhouse Gas Emissions of a Mill According to the Greenhouse Gas Protocol. **Sustainability (Switzerland)**, 16(24).

Yulia, F., Sinaga, G., Daris, M., Ra'if, K., Dzar, Z., Tegar, I., Ashari.Fikri, Wahyuni, F. dan Rizal, R. (2022). Peningkatan Efisiensi Boiler dalam Penghematan Energi dan Pengurangan Emisi Gas Buang. Dalam: **Prosiding SNTTM XX**.

Yunanik, Sono, Bagus Pratama, R. dan Kushariyadi (2025). Appraisal Aset Berupa Armada Mobil Tangki (AMT) pada Sektor Industri Migas Provinsi Jawa Tengah. **Jurnal Impresi Indonesia**.

Zain, A.S., Novembrianto, R. dan Harmoko, F.D. (2024). Dampak Emisi Gas Rumah Kaca dari Pengangkutan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun pada Perusahaan Transmisi Listrik Menggunakan Metode International

Panel on Climate Change (IPCC). **Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran**, 7.

Zaky, R.F.M. dan Sari, D.A. (2024). Upaya Pereduksian Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Indonesia melalui Analisis Integrasi Power-to-Gas dengan PLTU Batubara. 5(2).

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1
DATA TIMBULAN LIMBAH PROSES INDUSTRI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Timbulan Sampah Produksi Sirup

NO	TANGGAL	JENIS LIMBAH (kg/bulan)			
		Limbah Proses & Pengemasan	Limbah Padat Sisa Pembakaran Boiler		
		Sampah Proses & Sampah AMB	Abu Cangkang Kemiri	Fly Ash	Bottom Ash
1	Januari 2021	2.500	0	6.160	30.000
2	Febuari 2021	3.250	0	1.030	15.000
3	Maret 2021	2.355	0	4.980	30.000
4	April 2021	2.050	0	9.070	14.000
5	Mei 2021	1.375	0	0	30.000
6	Juni 2021	4.900	0	4.280	15.000
7	Juli 2021	4.085	0	0	0
8	Agustus 2021	4.500	0	5.190	30.000
9	September 2021	4.895	0	1.040	15.000
10	Oktober 2021	3.570	0	7.380	45.000
11	November 2021	6.058	0	4.000	30.000
12	Desember 2021	9.800	0	4.920	16.000
13	Januari 2022	2.800	0	1.500	19.980
14	Febuari 2022	3.600	0	11.790	32.000
15	Maret 2022	2.700	0	7.730	49.000
16	April 2022	2.100	0	4.910	40.000
17	Mei 2022	1.400	0	0	0.000
18	Juni 2022	5.150	0	5.200	38.000
19	Juli 2022	3.600	0	7.900	37.000
20	Agustus 2022	4.200	0	5.760	60.000
21	September 2022	4.960	0	8.150	47.230
22	Oktober 2022	3.600	62.790	0	0
23	November 2022	3.750	64.960	0	0
24	Desember 2022	5.305	56.660	0	0
25	Januari 2023	11.455	48.790	0	0
26	Febuari 2023	3.870	30.220	0	0
27	Maret 2023	6.175	40.000	0	0
28	April 2023	3.630	24.650	0	0
29	Mei 2023	4.805	34.450	0	0
30	Juni 2023	2.295	31.962	0	0
31	Juli 2023	4.894	33.790	0	0
32	Agustus 2023	3.360	31.840	0	0
33	September 2023	5.710	35.580	0	0
34	Oktober 2023	3.495	25.890	0	0
35	November 2023	8.889	43.350	0	0
36	Desember 2023	4.165	36.180	0	0
37	Januari 2024	5.395	32.630	0	0
38	Febuari 2024	4.276	34.420	0	0
39	Maret 2024	4.554	24.030	0	0
40	April 2024	5.960	27.480	0	0
41	Mei 2024	6.517	26.880	0	0
42	Juni 2024	4.101	25.720	0	0
43	Juli 2024	2.700	18.900	0	0
44	Agustus 2024	4.184	9.100	0	0
45	September 2024	2.723	18.020	0	0
46	Oktober 2024	3.428	18.010	0	0
47	November 2024	3.846	7.590	0	0
48	Desember 2024	2.696	8.810	0	0

NO	TANGGAL	JENIS LIMBAH (kg/bulan)			
		Limbah Proses & Pengemasan	Limbah Padat Sisa Pembakaran Boiler		
		Sampah Proses & Sampah AMB	Abu Cangkang Kemiri	Fly Ash	Bottom Ash
49	Januari 2025	3.329	10.110	0	0
50	Febuari 2025	3.360	0	0	0
51	Maret 2025	3.569	20.830	0	0
52	April 2025	536	0	0	0
53	Mei 2025	1.912	9.100	0	0
54	Juni 2025	3.291	10.650	0	0
55	Juli 2025	1.254	10.780	0	0
56	Agustus 2025	1.023	7.550	0	0
57	September 2025	3.007	8.450	0	0
58	Oktober 2025	1.414	8.140	0	0
59	November 2025	1.156	7.430	0	0
60	Desember 2025	1.355	7.900	0	0

2. Data Pengukuran Timbulan Sampah Produksi Sirup

NO	TANGGAL	JENIS SAMPAH (gram)						TOTAL (g/hari)
		Kayu	Kertas	Karton dan Kardus	Plastik LDPE	Plastik HDPE	Karet	
1	6 Februari 2026	290	1580	1862	1620	1614	234	12415
2	7 Februari 2026	385	1980	2331	1760	2020	537	15540
3	9 Februari 2026	398	1715	2275	1930	1971	507	15165
4	10 Februari 2026	315	1510	1803	1605	1563	176	12020
5	11 Februari 2026	550	2685	3215	2720	2787	475	21435
6	12 Februari 2026	355	1780	2120	1745	1837	360	14135
7	13 Februari 2026	245	1360	1589	1415	1375	158	10590
8	14 Februari 2026	85	455	538	510	466	28	3589

3. Data Limbah Cair Proses Produksi Sirup

Bulan	Debit Inlet (m ³ /bulan)	COD Inlet (mg/L)
Januari	7.759	9.606,2
Febuari	5.689	7.739,1
Maret	6.906	7.699,4
April	5.019	6.948,8
Mei	5.555	7.311,5
Juni	6.447	9.851,5
Juli	3.933	3.330,4
Agustus	5.122	7.585,8
September	5.898	10.970,1
Oktober	9.237	3.911,3
November	6.254	1.579,9
Desember	6.873	5.221,5
Total	74.692	81.755,5
Total Timbulan Industri Sirup	29.876,8	32.702,2

LAMPIRAN 2
DATA INVENTARISASI LIMBAH SAMPAH PROSES PRODUKSI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Inventarisasi Timbunan Limbah Sampah Produksi

NO	TANGGAL	JENIS LIMBAH (kg/bulan)							
		Limbah Proses & Pengemasan		Limbah Padat Sisa Pembakaran Boiler					
		Sampah Proses & Sampah AMB		Abu Cangkrang Kemiri		Fly Ash		Bottom Ash	
		(kg/tahun)	(ton/tahun)	(kg/tahun)	(ton/tahun)	(kg/tahun)	(ton/tahun)	(kg/tahun)	(ton/tahun)
1	2021	49.338		0	0	48.050	48,05	270.000	270
2	2022	43.165	43,17	184.410	184,41	52.940	52,94	323.210	323,21
3	2023	62.743	62,74	416.702	416,70	0	0	0	0
4	2024	50.380	50,38	251.590	251,59	0	0	0	0
5	2025	25.206	25,21	100.940	100,94	0	0	0	0

2. Data Inventarisasi Timbunan Sampah Produksi

NO	TANGGAL	JENIS SAMPAH (kg)						TOTAL (kg/hari)
		Kayu	Kertas	Karton dan Kardus	Plastik LDPE	Plastik HDPE	Karet	
1	6 Febuari 2026	0,29	1,58	1,86	1,62	1,61	0,23	7,20
2	7 Febuari 2026	0,39	1,98	2,33	1,76	2,02	0,54	9,01
3	9 Febuari 2026	0,4	1,72	2,28	1,93	1,97	0,51	8,80
4	10 Febuari 2026	0,32	1,51	1,80	1,61	1,56	0,18	6,97
5	11 Febuari 2026	0,55	2,69	3,22	2,72	2,79	0,48	12,43
6	12 Febuari 2026	0,36	1,78	2,12	1,75	1,84	0,36	8,20
7	13 Febuari 2026	0,25	1,36	1,59	1,42	1,38	0,16	6,14
8	14 Febuari 2026	0,09	0,46	0,54	0,51	0,47	0,03	2,08
Rata - rata		0.33	1.63	1.97	1.66	1.70	0.31	7.60

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 3
DATA TIMBULAN LIMBAH B3 INDUSTRI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Timbunan Limbah B3 Padat

JENIS LIMBAH B3	BERAT LIMBAH (ton/tahun)				
	2021	2022	2023	2024	2025
Kain Majun	0.027	0.019	0.035	0.012	0.050
Lampu TL	0.200	0.600	0.750	0.400	0.400

2. Data Timbunan Limbah B3 Cair

JENIS LIMBAH B3	BERAT LIMBAH (ton/tahun)				
	2021	2022	2023	2024	2025
Oli Bekas	0.077	0.230	0.288	0.154	0.154
Solvent / Ink	0.033	0.038	0.023	0.081	0.008
Limbah Laboratorium	2.073	1.075	1.459	1.382	1.382

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 4
DATA INVENTARISASI LIMBAH B3 INDUSTRI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Inventarisasi Limbah B3 Padat

JENIS LIMBAH B3	RATA – RATA BERAT LIMBAH (ton/tahun)	Emisi CO₂ (ton CO₂/tahun)
Kain Majun	0,028	0,042
Lampu TL	0,470	0,698

2. Data Inventarisasi Limbah B3 Cair

JENIS LIMBAH B3	RATA – RATA BERAT LIMBAH (ton/tahun)	Emisi CO₂ (ton CO₂/tahun)
Oli Bekas	0,180	0,662
Solvent / Ink	0,037	0,134
Limbah Laboratorium	1,474	5,405

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 5
DATA HASIL PENGUJIAN LIMBAH CAIR *SEPTIC TANK*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PENGANTAR LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nomor: LHP VI/2026/0602

Bersama ini terlampir disampaikan laporan hasil pengujian, untuk:

Nama Pelanggan : Ryan Syehan

Personil Penghubung : -

Alamat Lengkap : Perum GSA Blok D2/14 Kramat Jeru, Sidoarjo

Tujuan Pengujian : Pengujian Kualitas Lingkungan untuk Penelitian

INFORMASI SAMPEL

Nomor Sampel	Jenis Sampel	Lokasi Pengambilan Sampel	Tanggal Sampling	Jam Pengambilan Sampel	Tanggal Sampel Diterima	Jam Sampel Diterima
ALI/VI/2026/0602/1	Air limbah	Septictank Industri Kecap	11 Juni 2026	13.50	11 Juni 2026	15.20

Surabaya, 23 Juni 2026
PT Axo Green Laboratory
Direktur,

(M. FUROIDDUN NAIS, ST., MT.)

CATATAN

Pada Laporan Hasil Pengujian untuk parameter yang tidak diakreditasi diberi penandaan khusus (tanda *).

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nomor Sampel : LHP/ALI/VI/2026/0602/1

Informasi Pelanggan

Nama Pelanggan : Reyhan Syehan Tujuan Pengujian : Pengujian Kualitas Lingkungan untuk Penelitian

Alamat : Perum GSA Blok D2/14 Keramat Jenu, Sidoarjo

Tanggal Sampel Diterima : 11 Juni 2026 Tanggal Sampel Diuji : 12 Juni 2026 sd 23 Juni 2026

Jenis Industri / Usaha : Email : -

Rincian Informasi Sampel

Instansi Pengirim Sampel : Reyhan Syehan

Alamat Pengirim Sampel : Perum GSA Blok D2/14 Keramat Jenu, Sidoarjo

Jenis Sampel : Air Limbah

Petugas Pengambil Sampel :

Tanggal / Jam Pengambilan Sampel : 11 Juni 2026/ 13.50 WIB

Tanggal / Jam Diterima Laboratorium : 11 Juni 2026/ 15.20 WIB

Lokasi / Titik Pengambilan Sampel : Septictank Industri Kecap

Koordinat : S (LS)
E (BT)

Metode Sampling :

Pengukuran Lapangan

a. t_{air} °C : °C

b. Cuaca :

c. Debit Rata-rata Limbah Selama Pemantauan : m³ / hari

d. Kapasitas Penggunaan Bahan Baku Rata-rata Selama Bulan Pemantauan : - Ton / hari

Hasil Pengujian					
No	Parameter ¹⁾	Satuan	Hasil ²⁾	BML	Metode
1	BCD	mg/L	179.1	-	SNI 6389.72-2009

Keterangan:

¹⁾ Parameter sesuai permintaan pelanggan

²⁾ Sampel dikirim ke laboratorium, hasil tidak dapat dibandingkan dengan baku mutu lingkungan

Surabaya, 23 Juni 2026
PT Axo Green Laboratory
Manager Teknis

(Giang Noval A.)

Catatan :

1. Hasil hanya berhubungan dengan contoh yang diuji
2. Laporan ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya

LAMPIRAN 6

DATA KONSUMSI BAHAN BAKAR BOILER DAN GENERATOR SET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Penggunaan Bahan Bakar Boiler 2021

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JANUARI	1	0.00	0.00				
	2	0.00	0.00				15.10
	3	0.00	22.04				13.20
	4	0.00	0.00				13.50
	5	0.00	0.00				13.00
	6	0.00	0.00				12.80
	7	46.01	76.80				8.90
	8	69.43	209.57				
	9	0.00	209.57				6.00
	10	0.00	0.00				10.00
	11	0.00	0.00				11.00
	12	0.00	0.00				11.50
	13	0.00	0.00				13.50
	14	0.00	0.00				13.20
	15	0.00	0.00				13.70
	16	0.00	0.00				13.70
	17	0.00	0.00				8.50
	18	0.00	0.00				12.20
	19	0.00	0.00				12.60
	20	0.00	0.00				13.10
	21	0.00	0.00				12.50
	22	0.00	0.00				11.50
	23	0.00	0.00				13.40
	24	0.00	0.00				8.80
	25	0.00	0.00				11.40
	26	0.00	0.00				12.20
	27	0.00	0.00				11.60
	28	0.00	0.00				12.50
	29	0.00	0.00				13.60
	30	0.00	0.00				14.00
	31	0.00	0.00				10.00
FEBUARI	1	0.00	0.00				13.00
	2	0.00	0.00				14.80
	3	0.00	0.00				14.30
	4	0.00	0.00				13.80
	5	0.00	0.00				14.10
	6	46.76	0.00				9.60
	7	0.00	0.00				9.80
	8	0.00	0.00				10.20
	9	0.00	0.00				12.10
	10	0.00	0.00				13.50
	11	0.00	0.00				11.00
	12	0.00	0.00				10.20
	13	14.04	31.52				7.10
	14	0.00	47.38				5.10
	15	0.00	0.00				12.30
	16	0.00	0.00				12.80
	17	0.00	0.00				13.00
	18	0.00	0.00				10.50
	19	0.00	0.00				13.00
	20	0.00	0.00				12.00
	21	0.00	0.00				4.80
	22	0.00	0.00				9.80
	23	0.00	0.00				9.80
	24	0.00	0.00				9.70
	25	0.00	0.00				9.30
	26	0.00	0.00				9.80
	27	0.00	0.00				10.50
	28	0.00	0.00				0.50
MARET	1	0.00	0.00				9.50
	2	0.00	0.00				9.10
	3	0.00	0.00				10.10
	4	0.00	0.00				9.50
	5	0.00	0.00				10.00
	6	0.00	28.13				
	7	26.12	0.00				
	8	0.00	0.00				5.00
	9	0.00	0.00				2.00

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MARET	10	0.00	0.00				2.00
	11	0.00	0.00				2.00
	12	15.81	0.00				1.00
	13	0.00	0.00				
	14	14.54	0.00				1.00
	15	0.00	0.00				4.00
	16	0.00	0.00				4.00
	17	0.00	0.00				4.00
	18	0.00	0.00				2.00
	19	0.00	0.00				4.00
	20	0.00	0.00				4.00
	21	15.79	0.00				
	22	0.00	0.00				5.50
	23	0.00	0.00				6.50
	24	0.00	0.00				6.00
	25	0.00	0.00				6.20
	26	0.00	0.00				6.10
	27	20.85	0.00				4.80
	28	70.71	18.39				
	29	43.88	0.00				5.00
	30	0.00	0.00				5.10
	31	49.17	0.00				5.00
APRIL	1	0.00	0.00				4.80
	2	0.00	20.84				
	3	0.00	0.00				
	4	0.00	0.00				6.50
	5	0.00	0.00				6.50
	6	0.00	0.00				6.30
	7	0.00	0.00				6.80
	8	0.00	0.00				6.00
	9	0.00	0.00				7.20
	10	0.00	0.00				4.50
	11	30.57	20.83				
	12	0.00	0.00				4.00
	13	0.00	0.00				6.90
	14	0.00	0.00				8.90
	15	0.00	0.00				8.80
	16	0.00	0.00				7.80
	17	56.46	0.00				5.20
	18	9.03	26.48				
	19	0.00	0.00				6.50
	20	0.00	0.00				7.00
	21	0.00	0.00				7.20
	22	0.00	0.00				8.00
	23	0.00	0.00				6.60
	24	0.00	0.00				6.90
	25	0.00	25.12				2.40
	26	20.26	8.20				7.20
	27	0.00	0.00				7.50
	28	0.00	22.16				11.30
	29	0.00	41.15				9.20
	30	0.00	28.51				4.00
MEI	1	0.00	0.00				
	2	30.48	0.00				5.00
	3	0.00	0.00				6.20
	4	35.30	0.00				9.80
	5	0.00	0.00				9.20
	6	0.00	0.00				9.10
	7	0.00	0.00				9.20
	8	0.00	0.00				7.00
	9	0.00	45.17				
	10	36.72	0.00				
	11	0.00	0.00				
	12	0.00	0.00				
	13	0.00	0.00				
	14	0.00	0.00				
	15	0.00	0.00				
	16	0.00	0.00				
	17	0.00	0.00				
	18	0.00	0.00				

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MEI	19	32.99	0.00				5.00
	20	0.00	0.00				5.00
	21	0.00	0.00				4.50
	22	63.84	0.00				2.00
	23	0.00	45.75				
	24	0.00	0.00				4.00
	25	21.41	0.00				4.00
	26	0.00	0.00				4.00
	27	0.00	0.00				4.00
	28	0.00	0.00				4.00
	29	0.00	0.00				3.50
JUNI	30	0.00	0.00				
	31	0.00	0.00				4.00
	1	0.00	0.00				4.50
	2	0.00	0.00				8.70
	3	0.00	0.00				6.90
	4	0.00	0.00				8.70
	5	0.00	0.00				7.30
	6	0.00	0.00				
	7	0.00	10.79				7.10
	8	0.00	0.00				7.00
	9	0.00	0.00				7.10
	10	0.00	41.10				7.10
	11	0.00	12.08				7.10
	12	0.00	0.00				7.50
	13	0.00	22.43				2.80
	14	0.00	0.00				8.20
	15	0.00	0.00				7.50
	16	0.00	46.63				8.40
	17	0.00	0.00				9.50
	18	0.00	164.81				7.20
	19	0.00	274.68				8.00
	20	0.00	0.00				
	21	0.00	0.00				9.00
	22	0.00	0.00				10.60
	23	0.00	0.00				10.90
	24	0.00	0.00				10.60
	25	68.20	0.00				10.90
	26	0.00	0.00				8.90
	27	0.00	0.00				
	28	43.04	0.00				10.00
	29	0.00	0.00				10.00
	30	49.27	0.00				10.00
JULI	1	32.50	0.00				8.00
	2	0.00	0.00				6.00
	3	0.00	0.00				4.00
	4	0.00	0.00				
	5	0.00	0.00				9.50
	6	0.00	0.00				9.50
	7	0.00	0.00				9.50
	8	0.00	0.00				9.50
	9	0.00	0.00				7.00
	10	0.00	0.00				5.00
	11	0.00	0.00				
	12	0.00	0.00				9.50
	13	0.00	0.00				9.50
	14	0.00	0.00				9.50
	15	0.00	0.00				10.50
	16	0.00	0.00				10.50
	17	0.00	0.00				10.50
	18	0.00	0.00				4.00
	19	0.00	0.00				
	20	0.00	0.00				
	21	44.63	0.00				9.00
	22	0.00	0.00				9.00
	23	0.00	0.00				7.70
	24	95.59	0.00				6.00
	25	0.00	0.00				
	26	0.00	0.00				9.00
	27	0.00	0.00				9.00

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JULI	28	0.00	0.00				9.00
	29	0.00	0.00				8.00
	30	115.58	0.00				2.00
	31	34.35	0.00				4.00
AGUSTUS	1	0.00	0.00				
	2	0.00	0.00				8.50
	3	0.00	0.00				8.50
	4	0.00	0.00				7.00
	5	0.00	0.00				8.50
	6	0.00	0.00				7.20
	7	34.85	0.00				4.50
	8	0.00	0.00				3.20
	9	0.00	0.00				
	10	0.00	0.00				
	11	0.00	0.00				8.50
	12	0.00	0.00				8.00
	13	0.00	0.00				8.50
	14	0.00	0.00				9.00
	15	0.00	0.00				6.00
	16	28.17	0.00				
	17	0.00	0.00				
	18	0.00	0.00				10.00
	19	0.00	0.00				11.00
	20	0.00	0.00				10.00
	21	19.28	0.00				4.00
	22	0.00	0.00				
	23	33.73	0.00				7.00
	24	80.02	0.00				7.00
	25	18.69	0.00				7.00
	26	0.00	0.00				1.80
	27	0.00	0.00				
	28	32.63	0.00				
	29	0.00	0.00				
	30	10.00	0.00				12.00
	31	28.70	0.00				9.00
SEPTEMBER	1	0.00	0.00				9.00
	2	0.00	0.00				9.00
	3	0.00	0.00				9.00
	4	0.00	0.00				1.50
	5	0.00	0.00				
	6	0.00	0.00				10.50
	7	0.00	0.00				10.00
	8	0.00	0.00				10.50
	9	0.00	0.00				10.00
	10	0.00	0.00				11.00
	11	0.00	0.00				10.00
	12	59.14	0.00				
	13	0.00	0.00				10.50
	14	32.96	0.00				11.50
	15	0.00	0.00				11.50
	16	329.62	0.00				13.00
	17	0.00	0.00				15.00
	18	0.00	0.00				12.50
	19	46.90	0.00				4.00
	20	0.00	0.00				14.00
	21	0.00	0.00				15.00
	22	0.00	0.00				15.00
	23	0.00	0.00				16.00
	24	0.00	0.00				15.00
	25	35.35	0.00				7.00
	26	0.00	0.00				2.00
	27	0.00	0.00				15.00
	28	0.00	0.00				15.00
	29	0.00	0.00				17.00
	30	86.95	41.87				15.00
OKTOBER	1	0.00	0.00				15.00
	2	0.00	0.00				12.00
	3	0.00	0.00				10.00
	4	0.00	0.00				16.40
	5	0.00	27.40				18.70

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
OKTOBER	6	0.00	0.00				18.00
	7	0.00	0.00				17.60
	8	0.00	0.00				15.30
	9	0.00	0.00				14.00
	10	0.00	0.00				9.30
	11	0.00	0.00				16.00
	12	0.00	0.00				14.20
	13	0.00	0.00				15.80
	14	0.00	0.00				15.20
	15	0.00	0.00				17.90
	16	0.00	0.00				15.80
	17	0.00	0.00				8.00
	18	0.00	60.91				16.00
	19	0.00	0.00				15.00
	20	0.00	45.70				17.00
	21	0.00	0.00				17.00
	22	0.00	0.00				17.00
	23	0.00	0.00				15.00
	24	0.00	0.00				9.00
	25	0.00	0.00				16.00
	26	0.00	0.00				16.00
	27	0.00	0.00				16.00
	28	0.00	0.00				16.00
	29	0.00	0.00				16.00
	30	0.00	0.00				9.00
	31	0.00	153.12				7.00
NOVEMBER	1	0.00	0.00				12.00
	2	0.00	0.00				15.00
	3	0.00	0.00				15.00
	4	0.00	0.00				11.00
	5	0.00	0.00				12.00
	6	0.00	0.00				12.00
	7	0.00	0.00				10.00
	8	0.00	0.00				14.00
	9	0.00	0.00				14.80
	10	0.00	0.00				14.70
	11	0.00	0.00				15.00
	12	0.00	0.00				10.00
	13	0.00	0.00				8.00
	14	0.00	0.00				8.00
	15	0.00	0.00				9.00
	16	0.00	0.00				11.00
	17	0.00	0.00				11.00
	18	0.00	0.00				11.00
	19	0.00	124.54				9.00
	20	0.00	0.00				9.00
	21	0.00	0.00				
	22	0.00	0.00				13.00
	23	0.00	0.00				12.00
	24	0.00	0.00				12.00
	25	0.00	0.00				12.00
	26	0.00	71.83				12.00
	27	0.00	0.00				9.00
	28	0.00	91.26				3.50
	29	0.00	0.00				14.00
	30	0.00	0.00				13.40
DESEMBER	1	0.00	0.00				13.10
	2	0.00	0.00				12.00
	3	0.00	0.00				12.00
	4	0.00	0.00				12.00
	5	0.00	0.00				
	6	0.00	0.00				15.80
	7	178.74	0.00				2.70
	8	179.25	68.74				5.60
	9	0.00	0.00				11.00
	10	0.00	0.00				14.10
	11	0.00	0.00				3.40
	12	76.63	0.00				6.00
	13	0.00	0.00				14.00
	14	0.00	0.00				15.00

BULAN DAN TANGGAL		2021					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
DESEMBER	15	57.04	0.00				15.00
	16	0.00	0.00				15.00
	17	0.00	0.00				15.00
	18	0.00	0.00				13.00
	19	0.00	0.00				4.50
	20	0.00	0.00				14.90
	21	0.00	0.00				13.60
	22	5.27	0.00				12.30
	23	0.00	0.00				13.40
	24	0.00	0.00				17.00
	25	0.00	0.00				17.00
	26	0.00	0.00				8.80
	27	28.15	0.00				
	28	50.79	0.00				18.60
	29	0.00	0.00				11.80
	30	0.00	0.00				12.60
	31	14.79	0.00				6.00

2. Data Penggunaan Bahan Bakar Boiler 2022

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JANUARI	1	14.79	0.00				6.00
	2	0.00	0.00				
	3	19.73	0.00	2.60			
	4	12.13	0.00	13.00			
	5	14.58	0.00	16.10			
	6	16.10	0.00	17.40			
	7	0.00	0.00	3.17			13.70
	8	0.00	0.00				8.60
	9	0.00	0.00				2.80
	10	0.00	0.00				
	11	17.91	0.00				13.30
	12	0.00	0.00				10.20
	13	0.00	0.00				12.00
	14	0.00	0.00				10.00
	15	0.00	0.00				11.60
	16	0.00	0.00				9.60
	17	0.00	0.00				
	18	0.00	0.00				
	19	16.20	0.00				
	20	0.00	0.00				
	21	0.00	0.00	7.00			6.70
	22	21.17	0.00	20.20			
	23	14.58	0.00	16.00			
	24	21.97	0.00	12.20			
	25	21.97	0.00	19.20			
	26	21.97	0.00	21.80			
	27	10.99	0.00				17.60
	28	0.00	0.00				15.00
	29	0.00	0.00				15.20
	30	10.99	0.00				11.10
	31	43.95	0.00				3.20
FEBUARI	1	50.49	0.00				10.00
	2	20.07	0.00				16.40
	3	11.50	0.00				17.20
	4	7.33	0.00				16.40
	5	6.63	0.00				15.30
	6	0.00	0.00				11.70
	7	41.97	0.00				
	8	28.85	0.00	14.90			3.80
	9	0.00	0.00	18.80			
	10	15.14	0.00	20.60			
	11	0.00	0.00	20.10			
	12	0.00	0.00	3.40			6.30
	13	20.48	0.00				13.40
	14	0.00	0.00				10.60
	15	20.04	0.00				17.00
	16	29.16	0.00				17.10
	17	17.00	0.00				17.00
	18	11.02	0.00				17.80
	19	13.35	0.00				17.20
	20	40.49	0.00				17.00
	21	0.00	0.00				10.20
	22	22.78	0.00				15.00
	23	24.04	0.00				15.30
	24	21.73	0.00				16.70
	25	21.97	0.00				17.50
	26	21.97	0.00				13.00
	27	5.81	0.00				11.00
	28	0.00	0.00				
MARET	1	0.00	0.00				
	2	7.92	0.00	7.30			2.60
	3	0.00	0.00	13.10			
	4	0.00	0.00	14.00			
	5	0.00	0.00	15.70			
	6	0.00	0.00	4.20			
	7	25.74	0.00				
	8	12.89	0.00	20.10			
	9	9.67	0.00				16.90

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MARET	10	14.06	0.00				16.30
	11	14.33	0.00				16.90
	12	23.34	0.00				15.60
	13	9.48	0.00				15.30
	14	18.41	0.00				5.50
	15	0.00	11.08				16.50
	16	0.00	9.58				16.20
	17	0.00	5.56				9.90
	18	0.00	12.95				15.70
	19	0.00	56.06				15.00
	20	0.00	0.00				4.00
	21	25.75	0.00				
	22	45.90	0.00				19.10
	23	17.54	0.00				18.20
	24	0.00	0.00				15.10
	25	21.62	0.00				16.10
	26	31.45	0.00				17.50
	27	3.88	0.00				14.90
	28	0.00	0.00				7.10
	29	0.00	0.00				21.10
	30	0.00	0.00				21.70
	31	12.50	0.00				22.10
APRIL	1	8.03	0.00				16.40
	2	0.00	0.00	14.90			
	3	22.90	0.00				13.60
	4	3.05	0.00				10.80
	5	2.69	0.00				15.10
	6	0.00	0.00				14.90
	7	0.00	0.00				11.50
	8	0.00	0.00				14.40
	9	0.00	0.00				14.30
	10	27.14	0.00				11.80
	11	5.96	26.79				5.10
	12	19.54	0.00				13.70
	13	13.80	0.00				7.40
	14	6.35	0.00				10.40
	15	0.00	0.00				8.90
	16	9.19	0.00				
	17	0.00	0.00				
	18	31.14	0.00	3.50			10.00
	19	5.50	0.00	13.20			
	20	0.00	0.00	13.60			
	21	0.00	0.00	13.10			
	22	8.37	0.00	12.10			
	23	5.58	0.00	15.60			
	24	0.00	0.00	5.60			
	25	9.58	0.00				
	26	4.18	0.00	12.90			
	27	8.10	0.00	10.70			
	28	53.44	0.00				
	29	46.92	0.00				
	30	0.00	0.00				
MEI	1	0.00	0.00				
	2	0.00	0.00				
	3	0.00	0.00				
	4	0.00	0.00				
	5	0.00	0.00				
	6	0.00	0.00				
	7	0.00	0.00				
	8	0.00	0.00				
	9	0.00	0.00				
	10	19.32	0.00	2.50			5.90
	11	0.00	0.00				11.40
	12	9.34	0.00				11.20
	13	0.00	0.00				10.40
	14	0.00	0.00				9.20
	15	48.90	0.00				4.90
	16	8.87	0.00				
	17	5.42	0.00	11.70			
	18	0.00	0.00	4.40			

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MEI	19	4.20	0.00	12.30			
	20	15.54	0.00	6.16			
	21	7.76	0.00	12.50			
	22	10.80	0.00	6.50			
	23	0.00	0.00				
	24	17.88	0.00	13.72			
	25	12.27	0.00	13.90			
	26	24.18	0.00	13.20			
	27	8.75	0.00	1.50			
	28	16.96	0.00	13.60			
	29	0.00	0.00	2.50			
JUNI	30	0.00	0.00				
	31	41.08	70.96	10.70			
	1	0.00	0.00	14.80			
	2	21.80	0.00	16.20			
	3	22.33	0.00	15.40			
	4	12.98	0.00	13.50			
	5	0.00	0.00	13.50			
	6	0.00	0.00				
	7	17.20	0.00	13.80			
	8	14.24	0.00	13.00			
	9	0.00	0.00	13.00			
	10	0.00	0.00	14.00			
	11	12.43	0.00	13.00			
	12	10.19	0.00	10.50			
	13	9.09	0.00				
	14	0.00	0.00	13.50			
	15	15.13	0.00	13.60			
	16	20.70	0.00				10.20
	17	0.00	0.00				10.70
	18	0.00	0.00				10.80
	19	0.00	0.00				10.60
	20	0.00	0.00				3.05
	21	0.00	0.00	14.80			
	22	0.00	0.00	14.60			
	23	0.00	0.00	13.50			
	24	0.00	0.00	13.50			
	25	0.00	0.00	12.40			
	26	0.00	0.00	12.00			
	27	14.38	0.00				
	28	0.00	0.00	12.40			
	29	0.00	0.00	12.20			
	30	0.00	0.00	8.90			
JULI	1	0.00	0.00	11.60			
	2	0.00	0.00	10.90			
	3	0.00	0.00	5.70			
	4	0.00	0.00				
	5	16.65	0.00	11.00			
	6	18.56	0.00	8.50		1.60	
	7	15.69	0.00	9.50		2.80	
	8	5.59	0.00	10.00		2.40	
	9	0.00	0.00	9.00		2.50	
	10	0.00	0.00				
	11	40.98	0.00				
	12	23.89	0.00	13.00			
	13	0.00	0.00	12.00			
	14	15.24	0.00	9.50			
	15	0.00	0.00	11.60			
	16	0.00	0.00	12.10			
	17	26.18	0.00	11.20			
	18	0.00	0.00				
	19	46.51	0.00	12.00			
	20	16.03	0.00	11.20			
	21	0.00	0.00	12.20			
	22	10.66	0.00	12.80			
	23	0.00	0.00	7.40			
	24	24.95	0.00				
	25	21.97	0.00				
	26	30.85	0.00	9.30			
	27	18.94	0.00	9.00			

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JULI	28	0.00	0.00	12.50			
	29	0.00	0.00	13.00			
	30	0.00	0.00	13.00			
	31	0.00	0.00	11.00			
AGUSTUS	1	0.00	0.00	5.50			
	2	0.00	0.00	18.00			
	3	0.00	0.00	14.00			
	4	0.00	0.00	13.50		2.00	
	5	0.00	0.00	13.80		2.50	
	6	0.00	0.00	16.80		1.00	
	7	0.00	0.00	13.00		1.30	
	8	7.79	0.00				
	9	17.11	0.00	15.00		1.00	
	10	18.41	0.00	14.20		1.00	
	11	10.27	0.00	12.00	3.90	0.22	
	12	0.00	0.00	5.00	11.80		
	13	13.96	0.00	2.56	13.32		
	14	7.82	0.00	10.60		0.22	
	15	0.00	0.00				
	16	0.00	0.00	16.80		0.22	
	17	0.00	0.00	15.20		0.22	
	18	7.94	0.00				
	19	16.79	0.00	17.20		0.22	
	20	0.00	0.00	16.40		0.88	
	21	0.00	0.00	11.00		0.66	
	22	16.68	0.00				
	23	7.65	0.00	16.80		0.20	
	24	17.72	0.00	14.20		0.20	
	25	9.05	0.00	17.20		0.20	
	26	0.00	0.00	16.43		0.75	
	27	8.76	0.00	17.68		0.75	
	28	0.00	0.00	7.14		0.60	
	29	0.00	0.00				
	30	104.34	0.00	12.24		0.69	
	31	131.50	0.00	10.54		0.60	
SEPTEMBER	1	125.75	14.31	10.20			
	2	31.51	4.37	20.02			
	3	7.48	0.00	15.45			
	4	0.00	0.00	8.16			
	5	16.60	0.00				
	6	4.66	0.00	19.80			
	7	10.40	0.00	17.16			
	8	0.00	0.00	17.82			
	9	0.00	0.00	17.09			
	10	8.21	0.00	16.98			
	11	0.00	0.00	11.98			
	12	27.46	0.00	1.84			
	13	6.26	0.00	11.69	4.80		
	14	0.00	0.00	14.00	1.44		
	15	10.20	0.00	13.23	2.98		
	16	5.10	0.00		17.86		
	17	25.38	0.00	9.65	5.69		
	18	0.00	0.00	15.94			
	19	30.38	0.00				
	20	0.00	0.00	16.33	3.63		
	21	32.26	0.00	0.68	16.29		
	22	198.46	48.20	3.12	1.70		
	23	158.87	138.71	6.12	1.70		
	24	13.83	0.00	11.99	6.80		
	25	0.00	0.00	11.26	3.40		
	26	0.00	0.00				
	27	0.00	0.00	9.90	8.78		
	28	0.00	0.00	9.24	5.03		
	29	0.00	0.00	13.60	4.95		
	30	0.00	6.11	16.18	4.62		
OKTOBER	1	20.26	0.00	17.40			
	2	4.85	0.00	13.77			
	3	1.96	0.00	1.60			
	4	0.00	0.00	12.86	3.63		
	5	9.10	0.00	12.76	10.39		

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
OKTOBER	6	0.00	0.00	3.63	13.20		
	7	4.69	0.00		18.81		
	8	7.90	0.00		15.46		
	9	12.32	0.00				
	10	7.78	0.00				
	11	6.99	0.00	13.00	7.04		
	12	0.00	0.00	2.08	16.23		
	13	0.00	0.00	14.17	7.59		
	14	0.00	0.00	20.50			
	15	0.00	0.00	3.30	17.49		
	16	0.00	0.00	13.80			
	17	21.67	0.00				
	18	0.00	0.00	13.53	5.28		
	19	0.00	0.00	14.52	5.10		
	20	5.79	0.00	15.00	4.00		
	21	0.00	0.00	15.00	3.00		
	22	0.00	0.00	17.50			
	23	6.94	0.00	18.00			
	24	0.00	0.00	13.86			
	25	0.00	0.00	20.79			
	26	0.00	0.00	20.22			
	27	0.00	0.00	20.22			
	28	0.00	0.00	19.91			
	29	0.00	0.00	8.92	12.00		
	30	187.84	69.06	4.30			
	31	132.41	0.00				
NOVEMBER	1	23.45	0.00	21.30			
	2	0.00	0.00	19.84			
	3	0.00	0.00	18.81			
	4	0.00	0.00	20.48			
	5	0.00	0.00	20.80			
	6	0.00	0.00	19.18			
	7	0.00	0.00	9.75			
	8	0.00	0.00	21.45			
	9	5.97	0.00	19.80			
	10	0.00	0.00	20.13			
	11	12.15	0.00	20.46			
	12	24.20	0.00	20.50			
	13	10.94	0.00				
	14	146.50	0.00				
	15	212.36	59.55				
	16	199.25	82.37				
	17	149.50	110.82				
	18	80.19	167.68	6.27			
	19	4.16	0.00	20.46			
	20	0.00	0.00	20.13			
	21	0.00	0.00	22.44			
	22	29.76	0.00	19.47			
	23	10.71	0.00	19.14			
	24	5.58	0.00	20.13			
	25	16.31	0.00	19.80			
	26	0.00	20.58	19.14			
	27	24.46	0.00	13.20	4.95		
	28	45.04	0.00	4.95	0.66		
	29	0.00	0.00	17.16			
	30	0.00	0.00	15.51			
DESEMBER	1	0.00	0.00	13.86	2.64		
	2	10.75	0.00	13.86	3.30		
	3	0.00	0.00	14.52	4.62		
	4	0.00	0.00	10.23	5.28		
	5	0.00	22.64	2.97			
	6	0.00	0.00	12.87	6.93		
	7	0.00	0.00	15.84	3.30		
	8	0.00	0.00	13.86	4.95		
	9	0.00	0.00	16.50	3.30		
	10	0.00	0.00	17.49			
	11	29.80	0.00	9.90			
	12	19.54	0.00				
	13	0.00	0.00	19.14			
	14	0.00	0.00	17.49			

BULAN DAN TANGGAL		2022					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
DESEMBER	15	0.00	0.00	16.83	1.32		
	16	17.90	0.00	17.49			
	17	13.24	0.00	19.80			
	18	0.00	0.00	14.52			
	19	17.04	0.00				
	20	0.00	0.00	16.83			
	21	0.00	0.00	11.55			
	22	13.11	0.00	14.85			
	23	0.00	0.00	17.16			
	24	0.00	0.00	17.16			
	25	0.00	0.00	8.91			
	26	9.12					
	27	16.46					
	28	0.00		19.14			
	29	0.00		19.47			
	30	0.00		17.16			
	31	0.00		17.16			

3. Data Penggunaan Bahan Bakar Boiler 2023

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JANUARI	1	0.00		18.90			
	2	0.00		10.23			
	3	32.75					
	4	0.00		17.05			
	5	0.00		17.05			
	6	0.00		13.02			
	7	0.00		17.98			
	8	0.00		16.74			
	9	0.00		13.64			
	10	0.00					
	11	0.00		17.16			
	12	0.00		16.50			
	13	0.00		11.90			
	14	25.60		16.80			
	15	0.00		16.50			
	16	0.00		5.28			
	17	0.00					
	18	0.00		14.70			
	19	0.00		11.00			
	20	0.00		12.70			
	21	0.00		11.30			
	22	0.00		8.30			
	23	14.74		4.80			
	24	10.40					
	25	0.00		9.70			
	26	108.27		5.50			
	27	0.00		9.70			
	28	8.89		13.80			
	29	0.00		13.20			
	30	0.00		8.60			
	31	0.00					
FEBUARI	1	8.59		15.70			
	2	0.00		12.00			
	3	0.00		7.80			
	4	6.47		12.70			
	5	0.00		9.00			
	6	0.00		5.20			
	7	12.35					
	8	14.18		16.10			
	9	72.76		10.30			
	10	34.32		13.70			
	11	0.00		14.10			
	12	33.61		11.90			
	13	0.00					
	14	18.55					
	15	0.00		14.30			
	16	0.00		18.00			
	17	0.00		18.50			
	18	0.00		17.50			
	19	0.00		17.30			
	20	0.00		11.50			
	21	0.00					
	22	0.00			14.00		
	23	133.30			14.30		
	24	0.00			14.00		
	25	0.00			11.80		
	26	0.00			11.00		
	27	0.00			5.00		
	28	0.00					
MARET	1	0.00			12.70		
	2	17.45		10.99	0.51		
	3	0.00		13.00			
	4	0.00		11.50			
	5	0.00		2.00			
	6	0.00					
	7	24.13		10.70			
	8	0.00		13.00			
	9	0.00		12.00			

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MARET	10	0.00		11.50			
	11	0.00		14.00			
	12	0.00		13.00			
	13	0.00		11.00			
	14	35.63					
	15	0.00		13.80			
	16	0.00		12.00			
	17	0.00		11.90			
	18	0.00		13.80			
	19	0.00		12.20			
	20	0.00		12.30			
	21	41.31					
	22	11.29		12.70			
	23	0.00		10.00		1.50	
	24	175.63		7.80		4.00	
	25	0.00		3.50		2.50	
	26	0.00		9.40		2.00	
	27	0.00		4.50		1.00	
	28	0.00					
	29	0.00		9.80		4.50	
	30	0.00		9.30		4.20	
	31	23.40		10.00		1.58	
APRIL	1	0.00		12.70			
	2	0.00		12.30			
	3	0.00					
	4	0.00					
	5	0.00		12.50			
	6	0.00		10.00			
	7	0.00		12.00			
	8	0.00		12.00			
	9	0.00		10.50			
	10	0.00		6.50			
	11	0.00					
	12	43.38		9.30		4.50	
	13	0.00		5.60		2.40	
	14	48.49					
	15	0.00					
	16	0.00					
	17	0.00					
	18	0.00					
	19	0.00					
	20	0.00					
	21	36.79		6.50		3.00	
	22	0.00		8.50		3.80	
	23	83.44		8.60		4.50	
	24	38.14		3.10		1.20	
	25	51.20					
	26	0.00					
	27	0.00		8.90		3.80	
	28	0.00		8.20		3.40	
	29	0.00		8.30		3.40	
	30	0.00		12.34		3.66	
MEI	1	0.00		4.70			
	2	0.00					
	3	17.74		16.50			
	4	0.00		14.70			
	5	0.00		12.40			
	6	0.00		12.50			
	7	0.00		12.60			
	8	0.00		3.40			
	9	10.77					
	10	0.00		13.50		1.10	
	11	0.00		11.40		1.00	
	12	0.00		10.60		0.80	
	13	0.00		10.40		0.90	
	14	0.00					
	15	11.16					
	16	0.00					
	17	12.29		12.10		1.60	
	18	0.00		10.80		1.40	

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MEI	19	10.99		9.30		2.10	
	20	9.17		9.70		2.20	
	21	32.96		9.90		2.50	
	22	17.54		0.80		0.30	
	23	0.00					
	24	29.72		9.70		2.50	
	25	124.63		7.90		2.00	
	26	0.00		10.00		2.40	
	27	0.00		3.90		1.00	
	28	0.00		10.30		2.60	
	29	0.00		2.30		2.20	
JUNI	30	8.41					
	31	0.00		7.50		7.40	
	1	0.00		8.40		3.60	
	2	0.00		8.90		3.80	
	3	0.00		9.20		4.00	
	4	0.00		8.70		3.70	
	5	0.00		4.90		2.10	
	6	0.00					
	7	16.99		15.20		0.50	
	8	0.00		12.40		1.40	
	9	28.74		11.30		1.30	
	10	0.00		11.40		1.30	
	11	0.00		12.60		1.40	
	12	0.00		12.50		1.40	
	13	0.00					
	14	0.00		16.20		1.00	
	15	0.00		15.80		1.00	
	16	0.00		13.30		0.80	
	17	0.00		13.60		1.00	
	18	12.08		11.20		0.00	
	19	0.00					
	20	0.00		7.80			
	21	0.00		13.60			
	22	0.00		12.80		1.50	
	23	0.00		10.00		1.20	
	24	24.89					
	25	258.63		6.60			
	26	0.00		11.40		1.30	
	27	10.00					
	28	0.00		12.30		1.30	
	29	0.00		11.30		1.30	
	30	19.16		12.30		1.30	
JULI	1	12.51		13.10		1.50	
	2	0.00		12.20		1.40	
	3	12.99		12.40		1.40	
	4	56.88					
	5	0.00		15.00		1.60	
	6	11.77		14.50		1.50	
	7	15.15		14.00		1.40	
	8	19.94		12.10		1.80	
	9	8.88		10.00		1.20	
	10	0.00		10.20		1.20	
	11	21.91		11.00		1.10	
	12	0.00		14.30		1.50	
	13	12.56		9.20		1.00	
	14	9.32					
	15	8.88		15.90		1.70	
	16	10.99		13.90		1.50	
	17	10.99		11.90		1.30	
	18	31.51					
	19	14.74		15.90		1.80	
	20	0.00		15.30		1.80	
	21	12.57		15.30		1.70	
	22	0.00		14.80		1.70	
	23	8.45			15.30	1.70	
	24	37.74			11.34	1.30	
	25	5.39			3.40	0.40	
	26	11.99			13.40	1.50	
	27	0.00			7.20	7.20	

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JULI	28	0.00			4.78	10.32	
	29	0.00		12.60		2.30	
	30	0.00		12.60		2.30	
	31	0.00		6.22		1.90	
AGUSTUS	1	33.38					
	2	0.00		12.71		2.39	
	3	0.00		15.50			
	4	0.00		16.10			
	5	0.00		13.50			
	6	0.00		13.20			
	7	5.49		12.00			
	8	0.00					
	9	0.00		11.70			
	10	0.00		11.50			
	11	0.00		8.00			
	12	20.33					
	13	0.00		12.90			
	14	5.49		11.30			
	15	23.97					
	16	0.00		14.40			
	17	0.00		13.00			
	18	0.00		11.90			
	19	0.00		11.40			
	20	0.00		8.40			
	21	0.00		5.10			
	22	6.20					
	23	0.00		11.50			
	24	0.00		7.70			
	25	182.72					
	26	37.63		5.50			
	27	0.00		11.80			
	28	0.00		6.20			
	29	15.17					
	30	0.00		14.90			
	31	0.00		13.50			
SEPTEMBER	1	0.00		13.70			
	2	0.00		12.70			
	3	5.49		12.20			
	4	3.55		7.30			
	5	0.00					
	6	0.00		9.40		4.10	
	7	7.34		9.00		4.00	
	8	0.00		9.80		3.90	
	9	0.00		6.60		2.40	
	10	0.00		6.30		2.30	
	11	5.49		3.20		1.50	
	12	8.00					
	13	0.00		13.70			
	14	0.00		13.10			
	15	0.00		13.20			
	16	0.00		14.10			
	17	0.00		13.60			
	18	5.49		11.70			
	19	14.72					
	20	0.00		12.70			
	21	0.00		10.50			
	22	0.00		9.20			
	23	10.99					
	24	218.66					
	25	60.64		5.00			
	26	0.00					
	27	0.00		16.80		0.90	
	28	0.00		15.20		0.90	
	29	0.00		15.50		0.90	
	30	0.00		9.20		0.50	
OKTOBER	1	0.00		14.70		0.80	
	2	5.49		5.70		0.30	
	3	0.00					
	4	0.00		15.70		0.90	
	5	0.00		15.20		0.80	

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
OKTOBER	6	0.00		15.70		0.80	
	7	0.00		14.60		0.80	
	8	5.49		14.40		0.80	
	9	59.69					
	10	14.95					
	11	9.25		15.60		0.90	
	12	0.00		14.10		0.80	
	13	0.00		14.20		0.80	
	14	0.00		14.80		0.80	
	15	0.00		14.70		0.60	
	16	5.49		10.90		0.40	
	17	0.00					
	18	0.00		13.20		3.30	
	19	0.00		12.70		3.20	
	20	0.00		11.90		3.00	
	21	0.00		11.20		2.90	
	22	0.00		11.60		3.00	
	23	0.00		10.92		1.68	
	24	71.16					
	25	122.18		8.70		1.00	
	26	62.08		12.00		1.40	
	27	0.00		14.70		1.70	
	28	0.00		12.00		3.00	
	29	0.00		12.60		3.00	
	30	0.00		11.80		3.00	
	31	16.57					
NOVEMBER	1	0.00		12.30		0.30	
	2	0.00		12.20		0.30	
	3	0.00		13.00		0.30	
	4	0.00		14.50		0.30	
	5	0.00		15.30		0.40	
	6	5.49		12.10		0.20	
	7	37.93		13.70		0.30	
	8	0.00		14.70		0.30	
	9	0.00		15.90		0.40	
	10	0.00		15.00		0.40	
	11	0.00		15.80		0.40	
	12	0.00		13.30		2.20	
	13	5.49		12.50		2.10	
	14	76.92					
	15	0.00		15.50		2.00	
	16	0.00		14.70		1.90	
	17	15.11		14.80		1.80	
	18	0.00		14.90		1.90	
	19	0.00		14.50		1.80	
	20	5.49		14.00		1.70	
	21	0.00		8.90		0.50	
	22	0.00		12.70		0.70	
	23	0.00		14.70		0.80	
	24	43.09		14.90		0.80	
	25	142.20		13.30		0.70	
	26	0.00		11.30		0.70	
	27	0.00		10.00		0.70	
	28	0.00					
	29	0.00		13.30		1.20	
	30	0.00		14.50		1.30	
DESEMBER	1	0.00		15.00		1.40	
	2	0.00		13.00		1.20	
	3	0.00		13.90		1.20	
	4	5.49		12.30		0.50	
	5	18.45					
	6	25.81		14.20		1.20	
	7	40.82		10.80		0.90	
	8	0.00		10.30		0.80	
	9	23.64		14.30		1.10	
	10	0.00		7.90		0.70	
	11	0.00					
	12	23.91					
	13	15.16		13.00		1.20	
	14	0.00		12.60		1.00	

BULAN DAN TANGGAL		2023					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
DESEMBER	15	0.00		11.20		0.90	
	16	0.00		10.90		0.90	
	17	24.97		12.00		1.10	
	18	19.17					
	19	0.00					
	20	0.00		3.50		1.09	
	21	17.54		13.30			
	22	0.00		11.90			
	23	42.95					
	24	49.70		11.00			
	25	42.44		3.60			
	26	0.00					
	27	0.00					
	28	19.03					
	29	153.50		11.80			
	30	0.00		5.50			
	31	60.76		11.70			

4. Data Penggunaan Bahan Bakar Boiler 2024

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
JANUARI	1	0.00		9.00				
	2	10.99		10.70				
	3	14.50						
	4	0.00		13.80				
	5	0.00		12.20				
	6	0.00		8.00				
	7	0.00		12.00				
	8	0.00		12.59			0.72	
	9	0.00		6.79			0.41	
	10	11.06						
	11	0.00		12.09			0.91	
	12	0.00		10.79			0.81	
	13	0.00		11.68			0.92	
	14	0.00		11.53			0.87	
	15	0.00		11.07			0.83	
	16	54.94		9.04			0.76	
	17	0.00						
	18	0.00		12.00			0.90	
	19	0.00		10.32			0.78	
	20	58.89		11.64			0.88	
	21	0.00		8.93			0.67	
	22	0.00		11.25			0.85	
	23	0.00		7.07			0.53	
	24	21.97						
	25	0.00		14.88			1.12	
	26	0.00		13.21			0.99	
	27	39.77		13.30			1.00	
	28	40.08		13.67			1.03	
	29	44.56		13.95			1.05	
	30	70.71		10.32			0.78	
	31	0.00						
FEBUARI	1	0.00		14.42			1.09	
	2	0.00		14.23			1.07	
	3	0.00		16.65			1.25	
	4	0.00		16.00			1.00	
	5	0.00		17.67			1.33	
	6	50.05						
	7	0.00						
	8	0.00						
	9	0.00						
	10	0.00		8.28			0.62	
	11	33.03		6.42			0.48	
	12	0.00		12.56			0.95	
	13	20.12		2.33			0.18	
	14	0.00						
	15	0.00		7.91			0.60	
	16	0.00		7.81			0.59	
	17	0.00		7.91			0.60	
	18	0.00		7.72			0.58	
	19	0.00		7.44			0.56	
	20	0.00		5.58			0.42	
	21	9.62						
	22	0.00		8.56			0.64	
	23	0.00		8.84			0.67	
	24	47.88		8.46			0.64	
	25	49.49		7.35			0.55	
	26	11.25		12.28			0.92	
	27	51.62		11.16			0.84	
	28	46.85		2.98			0.22	
MARET	1	15.56		11.35			0.85	
	2	0.00		7.53			0.57	
	3	9.20		11.63			0.88	
	4	9.77		11.16			0.84	
	5	0.00		10.88			0.82	
	6	22.94		1.86			0.14	
	7	12.48						
	8	17.14		11.07			0.83	
	9	0.00		10.32			0.78	

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
MARET	10	0.00		10.88			0.82	
	11	0.00		4.65			0.35	
	12	0.00		8.65			0.65	
	13	54.35						
	14	15.32						
	15	0.00		11.25			0.85	
	16	0.00		9.95			0.75	
	17	0.00		10.42			0.78	
	18	0.00		10.51			0.79	
	19	0.00		10.51			0.79	
	20	59.33		2.33			0.18	
	21	20.75						
	22	6.23		11.44			0.86	
	23	0.00		10.79			0.81	
	24	0.00		10.14			0.76	
	25	0.00		9.21			0.69	
	26	0.00		8.03			0.67	
	27	3.79					1.05	
	28	17.20					1.05	
	29	0.00		13.90			0.98	
	30	109.49		10.40			0.95	
	31	219.94					0.63	
APRIL	1	198.60						
	2	204.92						
	3	126.94						
	4	0.00						
	5	0.00						
	6	14.56						
	7	0.00						
	8	0.00						
	9	0.00						
	10	0.00						
	11	0.00						
	12	0.00		11.20				
	13	0.00		6.70				
	14	6.91		11.10				
	15	0.00		8.50				
	16	0.00		13.20				
	17	14.73		6.00				
	18	19.77						
	19	6.80		11.30				
	20	0.00		11.40				
	21	0.00		12.00				
	22	0.00		10.50				
	23	0.00		10.80				
	24	0.00		10.50				
	25	52.77		4.00				
	26	0.00		9.00				
	27	3.71		9.50				
	28	0.00		6.50				
	29	0.00		11.00				
	30	0.00		11.50				
MEI	1	67.57		6.00				
	2	0.00						
	3	0.00		11.81			0.89	
	4	0.00		9.49			0.71	
	5	0.00		10.97			0.83	
	6	0.00		3.91			0.29	
	7	0.00		10.42			0.78	
	8	31.89						
	9	0.00						
	10	0.00		12.46			0.94	
	11	0.00		11.44			0.86	
	12	0.00		11.44			0.86	
	13	0.00		11.44			0.86	
	14	0.00		11.72			0.88	
	15	74.02		11.44			0.86	
	16	0.00						
	17	0.00		11.53			0.87	
	18	0.00		9.58			0.72	

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
MEI	19	0.00		11.44			0.86	
	20	32.96						
	21	0.00		10.42			0.78	
	22	0.00		4.65			0.35	
	23	37.59						
	24	0.00		10.97			0.83	
	25	0.00		10.97			0.83	
	26	0.00		11.25			0.85	
	27	0.00		10.51			0.79	
	28	99.87		6.51				
	29	0.00		2.79				
JUNI	30	32.96						
	31	0.00		10.79			0.81	
	1	0.00		11.44			0.86	
	2	0.00		9.95			0.75	
	3	10.99		4.37			1.13	
	4	0.00		10.14			0.76	
	5	10.99		5.77			0.93	
	6	10.99						
	7	17.58		11.07			0.83	
	8	0.00		9.77			0.74	
	9	0.00		10.70			0.81	
	10	0.00		9.67			0.73	
	11	0.00		8.74			0.66	
	12	42.85		7.44			0.56	
	13	0.00						
	14	0.00						
	15	0.00		12.56			0.95	
	16	0.00		11.16			0.84	
	17	0.00		11.53			0.87	
	18	10.99		11.25			0.85	
	19	0.00		12.00			0.90	
	20	0.00						
	21	0.00		9.67			0.73	
	22	0.00		9.49			0.71	
	23	0.00		7.63			0.57	
	24	0.00		8.65			0.65	
	25	0.00		8.65			0.65	
	26	236.23						
	27	0.00		8.37			0.63	
	28	43.95						
	29	0.00		12.09			0.91	
	30	0.00		9.49			0.71	
JULI	1	0.00		11.53			0.87	
	2	0.00		11.07			0.83	
	3	0.00		10.04			0.76	
	4	24.72						
	5	0.00		11.63			0.88	
	6	0.00		10.04			0.76	
	7	0.00		11.25			0.85	
	8	0.00		10.70			0.81	
	9	0.00		11.07			0.83	
	10	0.00		8.84			0.67	
	11	21.97						
	12	0.00		10.97			0.83	
	13	0.00		8.00			0.56	
	14	0.00		10.42			0.78	
	15	0.00		9.77			0.74	
	16	0.00		11.72			0.88	
	17	0.00		7.30			0.50	
	18	32.96						
	19	13.51		14.69				
	20	0.00		14.14			1.11	
	21	0.00		14.23			1.06	
	22	0.00		14.42			1.07	
	23	11.21		4.65		10.00	1.09	
	24	32.96				10.00	0.35	
	25	5.49						
	26	170.30				5.22		
	27	0.00		13.95			1.05	

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
JULI	28	16.48		13.95			1.05	
	29	21.97		13.02				
	30	43.95		12.56				
	31	65.92		8.37				
AGUSTUS	1	0.00		13.95			1.05	
	2	0.00				17.90		
	3	0.00		9.94		5.96		
	4	0.00		14.60			1.10	
	5	0.00		14.42			1.09	
	6	0.00		14.14			1.06	
	7	0.00		10.00			0.70	
	8	10.99		12.09			0.91	
	9	0.00		14.51			1.09	
	10	0.00		14.23			1.07	
	11	0.00		13.95			1.05	
	12	0.00		13.11			0.99	
	13	0.00		12.56			0.95	
	14	32.96						
	15	10.99		13.02			0.98	
	16	10.99		15.00			1.00	
	17	0.00		14.79			1.11	
	18	0.00		14.69			1.11	
	19	0.00		15.30				
	20	0.00		15.80				
	21	10.99		15.30				
	22	17.58		3.50			0.30	
	23	0.00		14.47			1.13	
	24	0.00		11.59			0.91	
	25	10.99		6.66			0.54	
	26	0.00		11.75			0.85	
	27	130.75		15.60				
	28	0.00		15.60				
	29	10.99		15.00				
	30	0.00		15.20				
	31	0.00		14.00				
SEPTEMBER	1	0.00				14.50		
	2	54.94				15.00		
	3	54.94		12.50				
	4	0.00		12.20				
	5	10.99		4.00				
	6	10.99		14.00				
	7	0.00		3.33		10.67		
	8	0.00				14.00		
	9	0.00				14.50		
	10	0.00				14.00		
	11	21.97				12.00		
	12	27.47		3.20				
	13	0.00		5.80				
	14	0.00		11.50				
	15	0.00		10.90				
	16	0.00		11.00				
	17	0.00		12.80				
	18	16.48		12.00				
	19	21.97		15.50				
	20	0.00		15.90				
	21	0.00		15.20				
	22	0.00		15.10				
	23	15.38		15.40				
	24	10.99		11.80		3.50		
	25	138.44				20.00		
	26	0.00		12.00				
	27	0.00		16.00				
	28	0.00		15.00				
	29	0.00		14.30				
	30	0.00		14.20				
OKTOBER	1	0.00		14.50				
	2	50.54		7.00				
	3	32.96						
	4	5.49		16.90				
	5	0.00		16.70				

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
OKTOBER	6	0.00		16.50				
	7	0.00		16.60				
	8	16.48		16.40				
	9	10.44		16.80				
	10	87.35		10.00				
	11	0.00		15.60				
	12	0.00		15.00				
	13	0.00		15.70				
	14	0.00		14.80				
	15	5.49		15.00				
	16	0.00		12.60				
	17	0.00				7.30		
	18	0.00				16.40		
	19	0.00				15.40		
	20	0.00				15.10		
	21	10.99						
	22	448.06						
	23	21.97						
	24	49.55				9.00		
	25	0.00				16.60		
	26	0.00				17.50		
	27	0.00				16.70		
	28	0.00				15.00		
	29	0.00				13.92		
	30	0.00						
	31	0.00						
NOVEMBER	1	0.00		12.00				
	2	0.00		13.00				
	3	0.00		13.00				
	4	219.75		7.00				
	5	219.75		4.00				
	6	5.49		8.00				
	7	13.73						
	8	0.00		14.50				
	9	0.00		15.00				
	10	0.00		12.10				
	11	0.00		14.00				
	12	0.00		12.40				
	13	0.00		12.00				
	14	0.00						
	15	0.00		12.80				
	16	0.00		13.30				
	17	0.00		13.30				
	18	132.84		7.40				
	19	0.00		13.00				
	20	5.49		8.50				
	21	0.00						
	22	0.00				14.72		
	23	0.00				13.20		
	24	0.00						
	25	0.00				12.70		
	26	0.00		0.70		3.50		
	27	12.75		2.40				
	28	71.42		2.00				
	29	0.00		11.70				
	30	0.00		4.60				
DESEMBER	1	0.00		11.90				
	2	0.00		11.60				
	3	6.59		10.00				
	4	5.49		3.00				
	5	21.97						
	6	0.00		8.70				
	7	0.00		10.90				
	8	0.00		10.00				
	9	0.00		6.10				
	10	32.96		8.30				
	11	43.95						
	12	0.00						
	13	0.00		5.70				
	14	0.00		11.50				

BULAN DAN TANGGAL		2024						
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	WOOD PELLET	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
DESEMBER	15	0.00						
	16	0.00						
	17	0.00						
	18	0.00						
	19	0.00						
	20	0.00						
	21	0.00						
	22	0.00						
	23	0.00						
	24	0.00						
	25	0.00						
	26	0.00		11.8				
	27	0.00		13				
	28	0.00		6.6				
	29	0.00						
	30	0.00		10				
	31	0.00		13				

5. Data Penggunaan Bahan Bakar Boiler 2025

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JANUARI	1	0.00		9.00			
	2	0.00		8.00			
	3	21.07					
	4	21.07		14.30			
	5	21.07		15.40			
	6	10.54		15.00			
	7	42.15		10.50			
	8	42.15		11.00			
	9	31.61		5.50			
	10	0.00					
	11	0.00		12.10			
	12	0.00		11.20			
	13	0.00		12.10			
	14	0.00		7.70			
	15	0.00		8.30			
	16	10.54					
	17	0.00					
	18	10.54		11.00			
	19	0.00		11.50			
	20	0.00		11.30			
	21	0.00		10.90			
	22	0.00					
	23	10.54					
	24	0.00					
	25	0.00					
	26	14.75		9.60			
	27	0.00		9.30			
	28	0.00		7.40			
	29	59.01					
	30	0.00					
	31	21.07					
FEBUARI	1	10.54		13.00			
	2	0.00		13.10			
	3	0.00		12.70			
	4	0.00		12.00			
	5	0.00		9.70			
	6	10.54					
	7	10.54					
	8	0.00		11.70			
	9	0.00		11.90			
	10	52.69					
	11	52.69					
	12	5.27		7.90			
	13	10.54		2.30			
	14	10.54					
	15	0.00		10.80			
	16	0.00		6.90			
	17	52.69					
	18	0.00		10.30			
	19	0.00		8.30			
	20	26.34					
	21	0.00					
	22	0.00		11.90			
	23	0.00		10.80			
	24	0.00		10.70			
	25	0.00		9.90			
	26	68.49		13.00			
	27	0.00		15.00			
	28	21.07					
MARET	1	21.07		15.00			
	2	0.00		15.40			
	3	0.00		14.70			
	4	0.00		14.30			
	5	15.81		14.50			
	6	21.07					
	7	21.07					
	8	21.07		14.20			
	9	10.54		14.10			

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MARET	10	10.54		14.60			
	11	10.54		13.40			
	12	10.54		13.60			
	13	21.07		12.10			
	14	21.07					
	15	10.54		13.60			
	16	10.54		12.60			
	17	10.54		12.90			
	18	10.54		7.70			
	19	0.00		11.40			
	20	0.00		12.90			
	21	10.54		10.00			
	22	5.27		9.30			
	23	42.15		9.50			
	24	0.00		9.40			
	25	0.00					
	26	0.00					
	27	0.00					
	28	0.00					
	29	0.00					
	30	0.00					
	31	0.00					
APRIL	1	42.15		8.60			
	2	0.00		10.40			
	3	10.54		9.00			
	4	31.61					
	5	0.00		9.00			
	6	0.00		13.30			
	7	0.00		4.70			
	8	0.00		8.40			
	9	0.00		3.90			
	10	52.69					
	11	0.00					
	12	10.54		12.00			
	13	0.00		10.70			
	14	0.00		10.80			
	15	0.00		9.60			
	16	31.61		9.80			
	17	10.54					
	18	0.00					
	19	0.00		12.00			
	20	0.00		9.30			
	21	0.00		7.60			
	22	63.22					
	23	21.07		9.20			
	24	21.07					
	25	0.00					
	26	0.00		10.50			
	27	21.07					
	28	21.07		7.20			
	29	0.00					
	30	0.00		9.00			
MEI	1	0.00		7.50			
	2	21.07					
	3	10.54		10.80			
	4	0.00		10.30			
	5	0.00		12.10			
	6	0.00		11.60			
	7	15.81		11.90			
	8	15.81		6.00			
	9	10.54					
	10	0.00					
	11	0.00		12.60			
	12	0.00		11.70			
	13	15.81		10.30			
	14	10.54		11.00			
	15	15.81		1.10			
	16	10.54					
	17	0.00		12.80			
	18	0.00		10.10			

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
MEI	19	0.00		9.20			
	20	42.15		3.20			
	21	0.00		11.50			
	22	24.24		2.50			
	23	10.54					
	24	0.00		11.40			
	25	0.00		9.10			
	26	0.00		12.40			
	27	0.00		12.50			
	28	0.00		11.50			
	29	123.28					
JUNI	30	0.00					
	31	0.00		11.10			
	1	3.70		9.80			
	2	35.06		3.90			
	3	22.89		3.60			
	4	0.00					
	5	5.27					
	6	0.00		10.70			
	7	0.00		11.60			
	8	136.02		1.50			
	9	0.00		11.10			
	10	0.00		9.80			
	11	0.00		10.10			
	12	11.07		6.40			
	13	7.69					
	14	0.00		12.70			
	15	0.00		8.80			
	16	0.00		9.90			
	17	0.00		8.90			
	18	5.34		6.30			
	19	32.49					
	20	0.00		4.20			
	21	0.00		12.10			
	22	0.00		10.30			
	23	0.00		8.90			
	24	0.00		10.60			
	25	0.00		8.00			
	26	73.76		9.80			
	27	59.43					
	28	0.00		1.80			
	29	0.00		10.90			
	30	0.00		9.40			
JULI	1	12.22		9.40			
	2	0.00		9.40			
	3	17.97		1.70			
	4	26.44					
	5	0.00		11.30			
	6	0.00		11.40			
	7	0.00		10.60			
	8	14.34		1.90			
	9	0.00		9.60			
	10	19.89					
	11	6.64					
	12	0.00		11.80			
	13	31.82		11.20			
	14	0.00		10.80			
	15	0.00		5.50			
	16	0.00		11.80			
	17	0.00		9.30			
	18	0.00					
	19	0.00		11.50			
	20	53.22					
	21	0.00		11.60			
	22	11.70		4.50			
	23	0.00		10.00			
	24	0.00					
	25	0.00					
	26	10.22					
	27	0.00		10.30			

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
JULI	28	29.66					
	29	118.96		4.00			
	30	0.00		12.00			
	31	0.00					
AGUSTUS	1	0.00					
	2	7.10		10.30			
	3	0.00		10.00			
	4	24.10		6.00			
	5	13.34		9.70			
	6	10.54		9.50			
	7	10.54		7.60			
	8	10.54		7.00			
	9	19.78		14.10			
	10	29.61		14.50			
	11	0.00		14.50			
	12	0.00		14.70			
	13	11.27		14.80			
	14	10.54		14.10			
	15	9.48		6.10			
	16	19.92		14.90			
	17	0.00		14.80			
	18	0.00		10.50			
	19	0.00		15.00			
	20	0.00		10.80			
	21	0.00		9.80			
	22	0.00		9.70			
	23	20.14		14.40			
	24	0.00		2.40			
	25	18.13		8.50			
	26	0.00		12.60			
	27	0.00		10.00			
	28	0.00		8.11			
	29	162.31					
	30	0.00		14.80			
	31	0.00		11.60			
SEPTEMBER	1	0.00		10.10			
	2	21.88		15.20			
	3	10.58		15.10			
	4	6.32		13.20			
	5	10.54		10.30			
	6	26.13		15.20			
	7	0.00		4.00	14.30		
	8	0.00			14.20		
	9	23.24			14.80		
	10	13.70			14.30		
	11	10.54			14.26		
	12	42.68		15.60			
	13	0.00		16.30			
	14	21.07		16.20			
	15	0.00		16.00			
	16	21.07		11.00			
	17	13.70		16.00			
	18	0.00		12.00			
	19	10.54		11.00			
	20	21.07		16.00			
	21	0.00		12.00			
	22	0.00			8.00		
	23	0.00			14.50		
	24	0.00			14.80		
	25	21.07			11.00		
	26	105.37			6.40		
	27	0.00		5.64	9.66		
	28	10.54		10.90			
	29	0.00		14.80			
	30	0.00		15.80			
OKTOBER	1	21.07		15.00			
	2	0.00		15.90			
	3	21.07		10.60			
	4	10.54		15.70			
	5	10.54		16.00			

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
OKTOBER	6	10.54		15.80			
	7	10.54		9.80			
	8	10.54		14.80			
	9	31.61		7.80			
	10	0.00		6.60			
	11	0.00		12.90			
	12	0.00		6.30			
	13	11.59		13.10			
	14	0.00		8.50			
	15	0.00		8.20			
	16	0.00		7.30			
	17	21.07					
	18	28.98					
	19	34.46					
	20	8.22					
	21	7.69					
	22	0.00					
	23	0.00					
	24	69.02					
	25	38.36					
	26	0.00					
	27	0.00					
	28	0.00					
	29	44.05					
	30	52.69					
	31	0.00					
NOVEMBER	1	0.00					
	2	26.87		11.10			
	3	33.19		10.70			
	4	9.90		4.70			
	5	8.22		9.60			
	6	0.00					
	7	0.00					
	8	24.76		8.20			
	9	42.36		7.20			
	10	19.18		6.00			
	11	18.12					
	12	0.00					
	13	0.00					
	14	16.86					
	15	39.41		7.00			
	16	0.00		6.30			
	17	0.00		5.60			
	18	14.01		7.70			
	19	8.96		7.40			
	20	12.12					
	21	0.00					
	22	0.00		6.50			
	23	0.00		6.50			
	24	0.00		12.00			
	25	0.00		10.00			
	26	0.00		10.00			
	27	42.15		3.00			
	28	0.00					
	29	45.94					
	30	49.10		0.00			
DESEMBER	1	22.44		0.00			
	2	17.07		0.00			
	3	39.20		8.50			
	4	0.00		0.00			
	5	82.08					
	6	38.14		2.20			
	7	28.45		2.10			
	8	0.00		2.10			
	9	0.00		2.20			
	10	0.00		2.10			
	11	0.00					
	12	0.00					
	13	0.00					
	14	0.00					

BULAN DAN TANGGAL		2025					
BULAN	TANGGAL	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3			
		GAS PGN	GAS PGN	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD CHIP	BATUBARA
		MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON
DESEMBER	15	10.54					
	16	10.54					
	17	10.54					
	18	10.54					
	19	10.54					
	20	0.00					
	21	0.00					
	22	0.00					
	23	0.00					
	24	0.00					
	25	0.00					
	26	0.00					
	27	0.00			5.00		
	28	0.00			8.00		
	29	0.00			9.00		
	30	21.07		5.00	10.81		
	31	0.00		13.00	15.50		

6. Data Penggunaan Bahan Bakar Generator Set 2021 dan 2022

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1 SOLAR	GENSET 2 SOLAR	GENSET 3 SOLAR	GENSET 1 SOLAR	GENSET 2 SOLAR	GENSET 3 SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
JANUARI	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7	118.00	133.00	23.00			
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15				399.00	345.00	89.00
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
FEBUARI	1						
	2						
	3	138.00	163.00	30.00			
	4						
	5						
	6						
	7				94.00	69.00	5.00
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
MARET	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
MARET	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23	127.00	157.00	300.00			
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
APRIL	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11				359.00	275.00	78.00
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30	236.00	260.00	42.00			
MEI	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9	225.00	271.00	53.00			
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
MEI	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
JUNI	31						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11				176.00	141.00	320.00
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
JULI	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
A G S E	1						
	2						

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
AGUSTUS	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9				363.00	331.00	82.00
	10						
	11						
	12	42.00	55.00	130.00			
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24	88.00	148.00	21.00			
	25						
	26						
	27	71.00	46.00	170.00			
	28						
	29						
	30						
	31						
SEPTEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12	240.00	294.00	63.00			
	13						
	14						
	15						
	16				331.00	286.00	63.00
	17						
	18						
	19				166.00	126.00	36.00
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
OKTOBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5				216.00	194.00	41.00
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13	43.00	75.00	170.00			

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
OKTOBER	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24				3.00		129.00
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
NOVEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21					921.00	1580.00
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
DESEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8	333.00	341.00	630.00			
	9						
	10						
	11						
	12	875.00	704.00	115.00			
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21	514.00	448.00	102.00			
	22						
	23						
	24						

BULAN DAN TANGGAL		2021			2022		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
DESEMBER	25	151.00	131.00	29.00			
	26						
	27	254.00	215.00	48.00			
	28						
	29						
	30						
	31						

7. Data Penggunaan Bahan Bakar Generator Set 2023 dan 2024

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1 SOLAR	GENSET 2 SOLAR	GENSET 3 SOLAR	GENSET 1 SOLAR	GENSET 2 SOLAR	GENSET 3 SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
JANUARI	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14				300.00		
	15						
	16						
	17						
	18	735.00	259.00	960.00			
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28	350.00	398.00				
	29						
	30						
	31						
FEBUARI	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8				468.00	638.00	900.00
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17	497.00	450.00	350.00			
	18				50.00	59.00	
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
MARET	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
MARET	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27				75.00	172.00	17.00
	28						
	29						
	30						
	31						
APRIL	1						
	2						
	3						
	4				67.00	67.00	170.00
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22				148.00	135.00	
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29				42.00		140.00
	30						
MEI	1						
	2						
	3						
	4					250.00	
	5						
	6				526.00	1250.00	
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22	171.00	231.00	370.00			

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
MEI	23						
	24						
	25						
	26				74.00	15.00	
	27	26.00	60.00	140.00			
	28						
	29						
	30						
JUNI	31						
	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
JULI	1	162.00	200.00	52.00	539.00		124.00
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
A G S E	1						
	2						

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
AGUSTUS	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12				153.00	40.00	
	13						
	14						
	15	141.00	155.00	30.00			
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
SEPTEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11				230.00	310.00	
	12						
	13				71.00	50.00	
	14						
	15						
	16	547.00	630.00				
	17						
	18						
	19						525.00
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
OKTOBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
OKTOBER	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21	141.00	155.00	30.00			
	22						
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
NOVEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11				228.00	180.00	
	12						
	13						
	14						
	15						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22	547.00	630.00				
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
DESEMBER	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	11						
	12						
	13						
	14						
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						
	21						
	22						
	23						
	24						

BULAN DAN TANGGAL		2023			2024		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER	LITER	LITER	LITER
DESEMBER	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						

8. Data Penggunaan Bahan Bakar Generator Set 2025

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
JANUARI	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22	350.00	350.00	
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
FEBUARI	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21	150.00		110.00
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
MARET	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
MARET	12			
	13			
	14	41.00		30.00
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28	2.00	7.00	
	29			
	30			
	31			
APRIL	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8	425.00		
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18	32.00	47.00	4.00
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
MEI	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9	45.00	33.00	
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16	120.00		
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
MEI	23	100.00		
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
JUNI	31			
	1			
	2	394.00		290.00
	3			
	4			
	5			
	6	175.00		150.00
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13	175.00		145.00
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20	135.00		185.00
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27	125.00	145.00	
	28			
	29			
	30			
JULI	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12	300.00		
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19	350.00		
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25	170.00		
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
A G S T	1			
	2			

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
AGUSTUS	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8	175.00	165.00	
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	15	156.00	167.00	
	16	125.00		
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22		183.00	165.00
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29	125.00	140.00	
	30			
	31			
SEPTEMBER	1			
	2			
	3			
	4			
	5	208.00	173.00	
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12	205.00	187.00	
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19	195.00	220.00	
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26	235.00	208.00	
	27			
	28			
	29			
	30			
OKTOBER	1			
	2			
	3	187.00	211.00	
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10	192.00	181.00	
	11			
	12			
	13			

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
OKTOBER	14			
	15			
	16			
	17	221.00		
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24	218.00		
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31	70.00		6.00
NOVEMBER	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7	159.00		173.00
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14	25.00		8.00
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21	213.00		223.00
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28	225.00		207.00
	29			
	30			
DESEMBER	1			
	2			
	3			
	4			
	5	163.00		173.00
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12	131.00		181.00
	13			
	14			
	15			
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			
	21			
	22			
	23			
	24			

BULAN DAN TANGGAL		2025		
BULAN	TANGGAL	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
		SOLAR	SOLAR	SOLAR
		LITER	LITER	LITER
DESEMBER	25			
	26	178.00		169.00
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			

9. Data Rekapitulasi Penggunaan Bahan Bakar Boiler

TAHUN	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
	GAS LNG	GAS LNG	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD PELLET	WOOD CHIP	BATUBARA
	MMBTU	MMBTU	TON	TON	TON	TON	TON
2021	2.721,00	2.185,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3.086,00
2022	4.757,78	937,37	2.952,05	299,16	0,00	24,73	1.105,45
2023	4.114,30	0,00	3.281,23	138,73	0,00	287,22	0,00
2024	5.316,77	0,00	2.908,98	0,00	354,29	125,20	0,00
2025	4.264,42	0,00	2.452,25	184,53	0,00	0,00	0,00

10. Data Rekapitulasi Penggunaan Bahan Bakar Generator Set

TAHUN	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
	LITER	LITER	LITER
2021	3.455	3.441	1.926
2022	2.107	2.688	2.423
2023	2.730	2.566	1.925
2024	2.971	3.166	1.876
2025	6.495	2.417	2.219

LAMPIRAN 7
DATA INVENTARISASI BAHAN BAKAR BOILER DAN GENERATOR
SET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Inventarisasi Bahan Bakar Boiler

TAHUN	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
	FOSIL			BIOMASSA			
	GAS LNG	GAS LNG	BATUBARA	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD PELLET	WOOD CHIP
	LITER	LITER	TON	TON	TON	TON	TON
2021	56,69	45,53	3.086,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	99,12	19,53	1.105,45	2.952,05	299,16	0,00	24,73
2023	85,71	0,00	0,00	3.281,23	138,73	0,00	287,22
2024	110,77	0,00	0,00	2.908,98	0,00	354,29	125,20
2025	88,84	0,00	0,00	2.452,25	184,53	0,00	0,00

2. Data Inventarisasi Bahan Bakar Generator Set

TAHUN	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
	LITER	LITER	LITER
2021	3.455	3441	1926
2022	2.107	2688	2423
2023	2.730	2566	1925
2024	2.971	3166	1876
2025	6.495	2417	2219

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 8
DATA EMISI KARBON CO₂ BAHAN BAKAR BOILER DAN
GENERATOR SET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Total Emisi Karbon CO₂ Bahan Bakar Boiler

TAHUN	BOILER 1	BOILER 2	BOILER 3				
	FOSIL			BIOMASSA			
	GAS LNG	GAS LNG	BATUBARA	CANGKANG KEMIRI	CANGKANG SAWIT	WOOD PELLET	WOOD CHIP
	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun
2021	0,079	0,063	5.599,238	0,000	0,000	0,000	0,000
2022	0,137	0,027	2.005,728	0,472	0,048	0,000	0,004
2023	0,119	0,000	0,000	0,525	0,022	0,000	0,051
2024	0,154	0,000	0,000	0,465	0,000	0,063	0,022
2025	0,123	0,000	0,000	0,392	0,030	0,000	0,000
TOTAL	0,612	0,090	7.604,967	1,854	0,100	0,063	0,078
	7.605,219			2,095			

2. Data Total Emisi Karbon CO₂ Bahan Bakar Generator Set

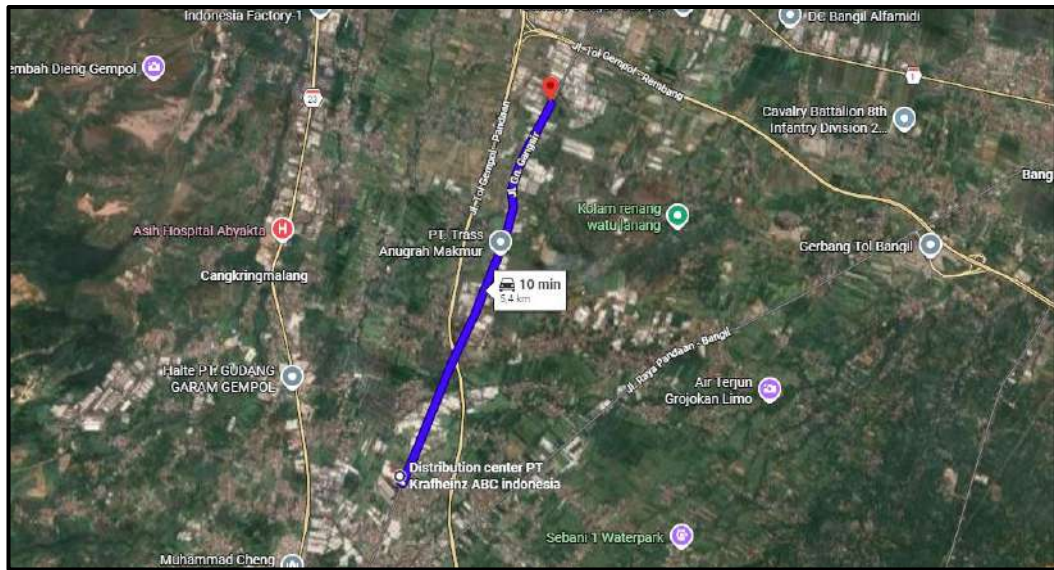
TAHUN	GENSET 1	GENSET 2	GENSET 3
	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun	Ton CO ₂ /tahun
2021	9,216	9,179	5,137
2022	5,620	7,170	6,463
2023	7,282	6,845	5,135
2024	7,925	8,445	5,004
2025	17,326	6,447	5,919

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 9
RUTE LINTASAN TRUK KENDARAAN ASET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Rute Lintasan Truk Kendaraan Aset Industri Sirup



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 10
DATA FREKUENSI KENDARAAN ASET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Frekuensi Penggunaan Truk Kendaraan Aset

BULAN	TOTAL PENGIRIMAN
Januari	131
Febuari	20
Maret	234
April	0
Mei	0
Juni	41
Juli	24
Agustus	329
September	449
Oktober	408
November	174
Desember	384

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 11
DATA KONSUMSI BAHAN BAKAR KENDARAAN ASET PERUSAHAAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Konsumsi Bahan Bakar Solar Forklift Diesel

Bulan	Forklif Boiler (Liter)	Forklift Samping (Liter)	Forklift Produksi (Liter)		Forklift Pengemasan (Liter)	
	7665	12	476	7145	166	7663
Januari	0	70	185	115	100	0
Febuari	40	25	175	130	145	0
Maret	0	75	355	295	110	0
April	0	20	260	160	50	0
Mei	100	20	295	195	220	30
Juni	0	0	340	270	30	205
Juli	0	0	340	345	0	170
Agustus	90	185	420	540	0	75
September	0	200	615	665	0	140
Oktober	0	205	610	760	0	225
November	0	20	400	340	0	175
Desember	100	65	551	595	0	175

2. Data Konsumsi Listrik Forklift Elektrik

Bulan	Forklift (kWh)		Total (kWh/bulan)
	E1	E4	
Januari	1.526,94	1.249,32	2.776,26
Febuari	1.411,93	1.252,09	2.664,02
Maret	1.500,34	1.227,55	2.727,90
April	1.710,81	1.004,76	2.715,57
Mei	1.595,34	1.108,63	2.703,97
Juni	1.599,76	1.206,84	2.806,60
Juli	1.585,50	1.297,22	2.882,72
Agustus	1.761,34	1.275,45	3.036,79
September	1.601,44	1.364,19	2.965,62
Oktober	1.609,34	1.370,92	2.980,26
November	1.613,71	1.217,36	2.831,06
Desember	1.601,98	1.258,70	2.860,68

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 12
DATA INVENTARISASI KENDARAAN ASET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Inventarisasi Truk Kendaraan Aset

BULAN	TOTAL PENGIRIMAN	JARAK LINTASAN PULANG PERGI	VKT	KONSUMSI BAHAN BAKAR	DENSITAS	EF
		(km)	(km/bulan)	(km/liter)	(kg/liter)	(g/kg)
Januari	131	10,8	1414.80	4,00	0,84	3.180
Febuari	20		216.00			
Maret	234		2527.20			
April	0		0.00			
Mei	0		0.00			
Juni	41		442.80			
Juli	24		259.20			
Agustus	329		3553.20			
September	449		4849.20			
Oktober	408		4406.40			
November	174		1879.20			
Desember	384		4147.20			

2. Data Inventarisasi Forklift Elektrik

Bulan	E1 (MWh)	E4 (MWh)	EF CO ₂ (ton CO ₂ / MWh)
Januari	3,05	2,50	0,87
Febuari	2,70	2,39	
Maret	3,00	2,46	
April	3,27	1,92	
Mei	3,34	2,32	
Juni	3,20	2,41	
Juli	3,32	2,71	
Agustus	3,96	2,87	
September	4,19	3,57	
Oktober	3,93	3,35	
November	4,15	3,13	
Desember	3,93	3,09	

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 13
DATA TOTAL EMISI CO₂ KENDARAAN ASET

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Total Emisi Karbon CO₂ Truk Kendaraan Aset

BULAN	Emisi CO ₂	
	g/tahun	ton/tahun
Januari	944.803,44	0,945
Febuari	144.244,80	0,144
Maret	1.687.664,16	1,688
April	0,00	0,000
Mei	0,00	0,000
Juni	295.701,84	0,296
Juli	173.093,76	0,173
Agustus	2.372.826,96	2,373
September	3.238.295,76	3,238
Oktober	2.942.593,92	2,943
November	1.254.929,76	1,255
Desember	2.769.500,16	2,770

2. Data Total Emisi Karbon CO₂ Forklift Listrik Kendaraan Aset

Bulan	Total Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /bulan)		Total Akumulasi Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /bulan)
	E1	E4	
Januari	1,33	1,09	1,25
Febuari	1,23	1,09	1,37
Maret	1,31	1,07	2,23
April	1,49	0,87	1,31
Mei	1,39	0,96	2,29
Juni	1,39	1,05	2,25
Juli	1,38	1,13	2,28
Agustus	1,53	1,11	3,49
September	1,39	1,19	4,32
Oktober	1,40	1,19	4,80
November	1,40	1,06	2,49
Desember	1,39	1,10	3,96

3. Data Total Emisi Karbon CO₂ Forklift Diesel Kendaraan Aset

Bulan	Total Konsumsi Solar (Liter)	NCV (TJ/kg)	EF (kg CO ₂ /TJ)	Emisi CO ₂ (kg CO ₂ /bulan)	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /bulan)
Januari	470	0,000036	74.100	1.253,77	1,25
Febuari	515			1.373,81	1,37
Maret	835			2.227,45	2,23
April	490			1.307,12	1,31
Mei	860			2.294,14	2,29
Juni	845			2.254,12	2,25
Juli	855			2.280,80	2,28
Agustus	1.310			3.494,56	3,49
September	1.620			4.321,51	4,32
Oktober	1.800			4.801,68	4,80
November	935			2.494,21	2,49
Desember	1.486			3.964,05	3,96

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 14
DATA PENGGUNAAN LISTRIK

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Penggunaan Listrik Tahun 2021 dan 2022

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
JANUARI	1	744.00	696.00	1560.00	360.00
	2	492.00	-36.00	180.00	156.00
	3	324.00	1175.00	144.00	168.00
	4	156.00	2285.00	1476.00	372.00
	5	516.00	1670.00	1668.00	420.00
	6	588.00	1800.00	1692.00	204.00
	7	432.00	3515.00	1956.00	636.00
	8	816.00	1715.00	708.00	300.00
	9	757.20	1675.00	204.00	468.00
	10	1045.20	730.80	69.60	290.40
	11	2856.00	576.00	2882.40	141.60
	12	1836.00	948.00	1140.00	132.00
	13	1488.00	648.00	1080.00	408.00
	14	4692.00	156.00	1320.00	504.00
	15	0.00	506.40	384.00	456.00
	16	996.00	681.60	516.00	60.00
	17	2412.00	612.00	300.00	732.00
	18	408.00	960.00	240.00	432.00
	19	2376.00	864.00	120.00	360.00
	20	3168.00	264.00	480.00	120.00
	21	1824.00	720.00	720.00	120.00
	22	1548.00	420.00	504.00	456.00
	23	1824.00	504.00	1536.00	120.00
	24	3156.00	420.00	1200.00	192.00
	25	810.00	438.00	1740.00	156.00
	26	1479.60	584.40	1596.00	156.00
	27	2246.40	225.60	3288.00	120.00
	28	2136.00	264.00	252.00	132.00
	29	2172.00	276.00	1776.00	168.00
	30	1944.00	216.00	732.00	156.00
	31	1692.00	204.00	1080.00	120.00
FEBUARI	1	2088.00	672.00	984.00	120.00
	2	1764.00	300.00	2016.00	1200.00
	3	1752.00	408.00	2184.00	1416.00
	4	1428.00	804.00	936.00	888.00
	5	1188.00	180.00	2028.00	156.00
	6	2160.00	192.00	2064.00	456.00
	7	612.00	156.00	900.00	84.00
	8	1380.00	516.00	1368.00	240.00
	9	1704.00	624.00	1332.00	660.00
	10	1593.60	614.40	1620.00	372.00
	11	1826.40	261.60	1464.00	792.00
	12	1176.00	744.00	1596.00	249.60
	13	456.00	480.00	1584.00	602.40
	14	756.00	324.00	1056.00	504.00
	15	1008.00	48.00	1068.00	852.00
	16	2100.00	324.00	2184.00	288.00
	17	1752.00	480.00	1716.00	276.00
	18	1920.00	384.00	708.00	324.00
	19	2100.00	492.00	2556.00	108.00
	20	1236.00	60.00	1536.00	288.00
	21	1020.00	396.00	708.00	972.00
	22	1932.00	468.00	2532.00	708.00
	23	2076.00	444.00	948.00	252.00
	24	2196.00	444.00	1404.00	372.00
	25	1704.00	672.00	984.00	216.00
	26	632.40	855.60	1164.00	396.00
	27	1203.60	212.40	1908.00	132.00
	28	1284.00	180.00	504.00	888.00
MARET	1	2172.00	252.00	228.00	732.00
	2	1332.00	228.00	1068.00	204.00
	3	1296.00	72.00	1128.00	288.00
	4	1200.00	24.00	1200.00	360.00
	5	2592.00	24.00	1296.00	192.00
	6	840.00	24.00	1179.60	212.40
	7	156.00	36.00	812.40	27.60
	8	1368.00	360.00	708.00	156.00
	9	1548.00	228.00	648.00	120.00
	10	1680.00	216.00	1344.00	360.00
	11	1320.00	168.00	3420.00	1356.00

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
MARET	12	1344.00	48.00	1392.00	696.00
	13	207.60	296.40	1044.00	420.00
	14	104.40	111.60	864.00	240.00
	15	1200.00	48.00	1116.00	180.00
	16	1152.00	24.00	1776.00	480.00
	17	672.00	168.00	1704.00	456.00
	18	2052.00	1116.00	1908.00	636.00
	19	1824.00	360.00	1332.00	348.00
	20	1668.00	84.00	420.00	732.00
	21	1068.00	180.00	349.20	466.80
	22	2256.00	264.00	1666.80	133.20
	23	852.00	132.00	1668.00	276.00
	24	1356.00	60.00	1236.00	204.00
	25	1452.00	228.00	1356.00	132.00
	26	1524.00	228.00	804.00	621.60
	27	1320.00	240.00	1200.00	566.40
	28	396.00	276.00	468.00	453.60
	29	864.00	576.00	912.00	110.40
	30	924.00	204.00	2076.00	732.00
	31	924.00	228.00	1368.00	456.00
APRIL	1	1332.00	204.00	948.00	468.00
	2	1032.00	168.00	720.00	408.00
	3	264.00	72.00	852.00	108.00
	4	516.00	36.00	832.80	247.20
	5	876.00	84.00	1219.20	196.80
	6	1176.00	72.00	312.00	648.00
	7	1680.00	168.00	528.00	312.00
	8	2160.00	24.00	1668.00	324.00
	9	972.00	12.00	3360.00	120.00
	10	1299.60	92.40	924.00	252.00
	11	1184.40	351.60	468.00	108.00
	12	300.00	844.80	1104.00	240.00
	13	1104.00	343.20	1236.00	84.00
	14	1116.00	204.00	756.00	156.00
	15	1164.00	204.00	1572.00	372.00
	16	984.00	288.00	768.00	432.00
	17	744.00	96.00	408.00	360.00
	18	288.00	168.00	576.00	168.00
	19	864.00	216.00	420.00	156.00
	20	1128.00	144.00	626.40	213.60
	21	1440.00	96.00	621.60	218.40
	22	1284.00	420.00	936.00	168.00
	23	1248.00	96.00	1944.00	192.00
	24	696.00	120.00	1056.00	144.00
	25	120.00	144.00	564.00	108.00
	26	1788.00	324.00	2004.00	84.00
	27	648.00	288.00	468.00	108.00
	28	1788.00	444.00	444.00	228.00
	29	1920.00	480.00	888.00	192.00
	30	1587.60	332.40	180.00	0.00
MEI	1	116.40	99.60	0.00	0.00
	2	360.00	0.00	0.00	0.00
	3	588.00	12.00	0.00	0.00
	4	2196.00	804.00	0.00	0.00
	5	996.00	180.00	0.00	0.00
	6	1104.00	72.00	0.00	0.00
	7	840.00	360.00	120.00	0.00
	8	1044.00	36.00	0.00	0.00
	9	972.00	12.00	0.00	0.00
	10	465.60	62.40	888.00	0.00
	11	134.40	273.60	804.00	228.00
	12	0.00	0.00	1092.00	252.00
	13	0.00	0.00	1176.00	288.00
	14	0.00	0.00	1068.00	228.00
	15	0.00	0.00	984.00	216.00
	16	0.00	0.00	72.00	120.00
	17	96.00	24.00	1020.00	156.00
	18	144.00	24.00	900.00	276.00
	19	96.00	72.00	708.00	204.00
	20	540.00	204.00	504.00	216.00
	21	984.00	120.00	468.00	516.00
	22	960.00	144.00	372.00	12.00

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
MEI	23	624.00	96.00	48.00	0.00
	24	1056.00	72.00	1020.00	372.00
	25	1179.60	68.40	1188.00	204.00
	26	1676.40	75.60	1212.00	180.00
	27	1296.00	336.00	1272.00	216.00
	28	1512.00	144.00	912.00	216.00
	29	1032.00	72.00	1080.00	120.00
	30	564.00	84.00	0.00	144.00
	31	228.00	60.00	1200.00	384.00
	1	816.00	48.00	1104.00	120.00
JUNI	2	1440.00	96.00	1116.00	396.00
	3	1620.00	12.00	1080.00	360.00
	4	1740.00	36.00	1044.00	324.00
	5	480.00	24.00	420.00	276.00
	6	939.60	44.40	276.00	36.00
	7	1472.40	15.60	1092.00	228.00
	8	1680.00	0.00	1116.00	228.00
	9	1680.00	24.00	1116.00	228.00
	10	1668.00	36.00	1200.00	240.00
	11	1668.00	156.00	1248.00	168.00
	12	312.00	168.00	864.00	144.00
	13	492.00	108.00	60.00	84.00
	14	1344.00	504.00	1080.00	48.00
	15	1152.00	480.00	528.00	24.00
	16	1152.00	72.00	1824.00	48.00
	17	1140.00	36.00	1320.00	48.00
	18	888.00	72.00	1092.00	36.00
	19	1320.00	144.00	996.00	60.00
	20	792.00	144.00	180.00	660.00
	21	1176.00	24.00	828.00	300.00
	22	960.00	144.00	288.00	168.00
	23	2100.00	132.00	1800.00	192.00
	24	552.00	144.00	1080.00	144.00
	25	756.00	516.00	1212.00	132.00
	26	348.00	972.00	1092.00	132.00
	27	240.00	192.00	420.00	348.00
	28	264.00	336.00	1128.00	1008.00
	29	1236.00	182.40	1248.00	288.00
	30	3108.00	81.60	1248.00	264.00
JULI	1	1404.00	12.00	1104.00	456.00
	2	1392.00	96.00	1452.00	228.00
	3	768.00	24.00	732.00	228.00
	4	732.00	60.00	696.00	120.00
	5	444.00	12.00	636.00	444.00
	6	1284.00	12.00	168.00	960.00
	7	1428.00	36.00	912.00	480.00
	8	1380.00	36.00	600.00	192.00
	9	1572.00	36.00	612.00	324.00
	10	648.00	48.00	1044.00	108.00
	11	408.00	48.00	2616.00	0.00
	12	1548.00	36.00	84.00	0.00
	13	1452.00	180.00	1140.00	876.00
	14	816.00	144.00	972.00	492.00
	15	2028.00	132.00	828.00	204.00
	16	876.00	132.00	1236.00	108.00
	17	264.00	96.00	924.00	276.00
	18	36.00	12.00	456.00	408.00
	19	120.00	144.00	924.00	228.00
	20	1248.00	120.00	1308.00	300.00
	21	1608.00	168.00	1308.00	156.00
	22	1452.00	84.00	1008.00	480.00
	23	636.00	12.00	1140.00	468.00
	24	1524.00	36.00	540.00	36.00
	25	384.00	744.00	156.00	252.00
	26	552.00	360.00	384.00	96.00
	27	648.00	48.00	468.00	348.00
	28	852.00	12.00	936.00	360.00
	29	384.00	24.00	996.00	180.00
	30	420.00	84.00	96.00	168.00
	31	1548.00	36.00	720.00	144.00
A G S T	1	132.00	84.00	444.00	588.00
	2	996.00	156.00	1740.00	604.80

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
AGUSTUS	3	1344.00	120.00	1080.00	367.20
	4	972.00	84.00	1332.00	684.00
	5	1332.00	60.00	2280.00	144.00
	6	492.00	156.00	1764.00	900.00
	7	348.00	84.00	1356.00	564.00
	8	444.00	252.00	192.00	744.00
	9	1128.00	24.00	2770.80	205.20
	10	120.00	72.00	2197.20	178.80
	11	864.00	240.00	492.00	684.00
	12	855.60	224.40	1716.00	636.00
	13	938.40	141.60	1740.00	516.00
	14	741.60	26.40	876.00	420.00
	15	596.40	51.60	132.00	636.00
	16	648.00	24.00	1284.00	300.00
	17	564.00	36.00	1395.60	260.40
	18	589.20	58.80	1472.40	135.60
	19	298.80	61.20	1452.00	828.00
	20	396.00	12.00	1800.00	192.00
	21	420.00	21.60	996.00	276.00
	22	192.00	710.40	792.00	144.00
	23	1140.00	108.00	1116.00	756.00
	24	348.00	84.00	1836.00	468.00
	25	456.00	96.00	1380.00	900.00
	26	540.00	132.00	2220.00	396.00
	27	948.00	36.00	1765.20	298.80
	28	144.00	48.00	1150.80	337.20
	29	120.00	96.00	216.00	336.00
	30	744.00	72.00	1488.00	192.00
	31	960.00	96.00	960.00	744.00
SEPTEMBER	1	936.00	96.00	840.00	1104.00
	2	900.00	180.00	1344.00	912.00
	3	912.00	96.00	252.00	1764.00
	4	588.00	180.00	1668.00	420.00
	5	120.00	72.00	984.00	696.00
	6	984.00	168.00	3996.00	0.00
	7	1104.00	216.00	1920.00	0.00
	8	1080.00	240.00	1344.00	984.00
	9	1104.00	120.00	2364.00	324.00
	10	1092.00	60.00	1632.00	384.00
	11	672.00	144.00	948.00	564.00
	12	132.00	372.00	696.00	192.00
	13	276.00	204.00	1884.00	276.00
	14	2160.00	120.00	1848.00	456.00
	15	1320.00	96.00	1860.00	612.00
	16	1680.00	96.00	1716.00	540.00
	17	1620.00	132.00	1657.20	718.80
	18	780.00	636.00	1606.80	577.20
	19	444.00	972.00	480.00	816.00
	20	2784.00	144.00	1344.00	480.00
	21	1620.00	468.00	2004.00	324.00
	22	1008.00	888.00	2652.00	139.20
	23	2568.00	120.00	1788.00	844.80
	24	1932.00	468.00	1836.00	636.00
	25	1740.00	324.00	1308.00	900.00
	26	408.00	120.00	1404.00	228.00
	27	1416.00	360.00	960.00	984.00
	28	1968.00	312.00	1308.00	300.00
	29	1368.00	552.00	2172.00	300.00
	30	1632.00	696.00	1848.00	120.00
OKTOBER	1	1668.00	492.00	1860.00	588.00
	2	1644.00	276.00	1620.00	444.00
	3	852.00	516.00	300.00	180.00
	4	2112.00	864.00	1140.00	972.00
	5	1728.00	432.00	2004.00	132.00
	6	1320.00	504.00	2040.00	744.00
	7	1464.00	552.00	1068.00	876.00
	8	2244.00	156.00	2544.00	144.00
	9	1596.00	804.00	1548.00	636.00
	10	1980.00	516.00	768.00	480.00
	11	1692.00	516.00	924.00	156.00
	12	1116.00	1044.00	1020.00	300.00
	13	732.00	468.00	1812.00	636.00

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
OKTOBER	14	2748.00	588.00	852.00	300.00
	15	2136.00	72.00	2028.00	852.00
	16	1704.00	528.00	1824.00	576.00
	17	1320.00	576.00	396.00	612.00
	18	1656.00	384.00	1548.00	324.00
	19	1812.00	588.00	2016.00	384.00
	20	1632.00	576.00	2280.00	528.00
	21	1692.00	588.00	936.00	360.00
	22	1776.00	384.00	1620.00	852.00
	23	624.00	696.00	1668.00	588.00
	24	2976.00	600.00	624.00	600.00
	25	1656.00	552.00	1656.00	216.00
	26	1728.00	528.00	1656.00	264.00
	27	1680.00	504.00	1668.00	156.00
	28	1620.00	516.00	2628.00	444.00
	29	1284.00	420.00	1332.00	516.00
	30	1284.00	420.00	1440.00	720.00
	31	1248.00	384.00	1632.00	120.00
NOVEMBER	1	1296.00	456.00	1464.00	192.00
	2	1380.00	396.00	720.00	1080.00
	3	756.00	828.00	1044.00	1092.00
	4	2064.00	192.00	2772.00	1548.00
	5	1416.00	216.00	1464.00	912.00
	6	1260.00	468.00	1332.00	900.00
	7	984.00	552.00	1008.00	456.00
	8	1476.00	564.00	2880.00	792.00
	9	936.00	384.00	1812.00	636.00
	10	1368.00	456.00	1965.60	506.40
	11	1188.00	468.00	1646.40	105.60
	12	1068.00	204.00	1740.00	252.00
	13	1224.00	552.00	756.00	420.00
	14	1128.00	360.00	900.00	684.00
	15	24.00	528.00	1440.00	240.00
	16	984.00	480.00	2052.00	708.00
	17	1824.00	168.00	1980.00	564.00
	18	1452.00	564.00	816.00	888.00
	19	1380.00	420.00	576.00	1416.00
	20	1140.00	444.00	1668.00	1884.00
	21	1128.00	216.00	1500.00	276.00
	22	1260.00	180.00	1428.00	876.00
	23	1332.00	324.00	3804.00	492.00
	24	1644.00	132.00	2508.00	612.00
	25	756.00	348.00	1596.00	684.00
	26	684.00	948.00	1092.00	756.00
	27	912.00	648.00	1812.00	756.00
	28	1068.00	372.00	1392.00	528.00
	29	1200.00	456.00	1800.00	456.00
	30	1116.00	516.00	1764.00	348.00
DESEMBER	1	1200.00	312.00	1596.00	132.00
	2	828.00	468.00	1848.00	384.00
	3	780.00	1476.00	1212.00	300.00
	4	1056.00	1176.00	1656.00	144.00
	5	1080.00	840.00	697.20	238.80
	6	2520.00	1008.00	1450.80	133.20
	7	2616.00	696.00	2280.00	144.00
	8	1320.00	360.00	2496.00	144.00
	9	1680.00	216.00	1356.00	132.00
	10	1800.00	264.00	1320.00	864.00
	11	720.00	96.00	1020.00	372.00
	12	1452.00	132.00	288.00	216.00
	13	1524.00	132.00	1872.00	288.00
	14	1716.00	60.00	1620.00	324.00
		1668.00	108.00	1404.00	324.00
	16	1716.00	228.00	720.00	840.00
	17	1584.00	24.00	3252.00	948.00
	18	1644.00	324.00	852.00	996.00
	19	960.00	624.00	612.00	228.00
	20	2088.00	192.00	1308.00	756.00
	21	1620.00	828.00	1968.00	120.00
	22	1872.00	336.00	1668.00	588.00
	23	1812.00	444.00	1620.00	420.00
	24	1869.60	530.40	1584.00	696.00

BULAN DAN TANGGAL		2021		2022	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
DESEMBER	25	1562.40	525.60	1092.00	252.00
	26	1200.00	312.00	0.00	0.00
	27	1512.00	384.00	0.00	0.00
	28	1440.00	480.00	1320.00	384.00
	29	1800.00	600.00	1404.00	492.00
	30	1800.00	360.00	1344.00	408.00
	31	1560.00	360.00	2688.00	648.00

2. Data Penggunaan Listrik Tahun 2023 dan 2024

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
JANUARI	1	1284.00	828.00	720.00	720.00
	2	1380.00	60.00	1044.00	300.00
	3	228.00	252.00	1344.00	408.00
	4	1584.00	552.00	1536.00	336.00
	5	996.00	564.00	1068.00	756.00
	6	2400.00	0.00	2232.00	504.00
	7	1416.00	720.00	1932.00	372.00
	8	1728.00	360.00	1512.00	504.00
	9	1068.00	636.00	1212.00	0.00
	10	276.00	372.00	756.00	0.00
	11	1032.00	120.00	1080.00	432.00
	12	2184.00	696.00	1320.00	1200.00
	13	1524.00	468.00	1030.80	1681.20
	14	1500.00	588.00	1477.20	130.80
	15	1596.00	588.00	1452.00	348.00
	16	1188.00	372.00	1416.00	312.00
	17	0.00	0.00	852.00	204.00
	18	1548.00	660.00	1140.00	444.00
	19	1320.00	528.00	1476.00	300.00
	20	1248.00	792.00	1584.00	528.00
	21	1296.00	384.00	1476.00	324.00
	22	1980.00	660.00	1404.00	588.00
	23	484.80	115.20	1296.00	624.00
	24	163.20	268.80	1164.00	468.00
	25	684.00	1356.00	1884.00	252.00
	26	924.00	516.00	1860.00	372.00
	27	1440.00	552.00	1704.00	336.00
	28	672.00	504.00	1980.00	348.00
	29	3204.00	132.00	1728.00	216.00
	30	1152.00	168.00	1116.00	348.00
	31	72.00	0.00	264.00	672.00
FEBUARI	1	1524.00	276.00	984.00	744.00
	2	1692.00	516.00	1680.00	240.00
	3	1284.00	396.00	1356.00	612.00
	4	1308.00	228.00	1560.00	600.00
	5	2136.00	720.00	684.00	588.00
	6	720.00	240.00	744.00	288.00
	7	1008.00	288.00	708.00	108.00
	8	1308.00	228.00	48.00	168.00
	9	228.00	612.00	60.00	156.00
	10	756.00	180.00	72.00	288.00
	11	4404.00	228.00	1236.00	324.00
	12	1632.00	312.00	1956.00	180.00
	13	156.00	372.00	528.00	408.00
	14	132.00	396.00	216.00	240.00
	15	1248.00	528.00	1068.00	396.00
	16	1356.00	708.00	1308.00	468.00
	17	1128.00	960.00	1356.00	228.00
	18	1272.00	504.00	1140.00	564.00
	19	2556.00	420.00	1236.00	420.00
	20	888.00	96.00	744.00	72.00
	21	528.00	48.00	732.00	60.00
	22	1296.00	24.00	1248.00	312.00
	23	1740.00	60.00	1188.00	180.00
	24	1764.00	84.00	1140.00	12.00
	25	1356.00	84.00	1164.00	300.00
	26	1008.00	144.00	540.00	324.00
	27	1020.00	492.00	828.00	156.00
	28	456.00	984.00	276.00	132.00
MARET	1	1080.00	408.00	1200.00	120.00
	2	1080.00	96.00	960.00	1176.00
	3	1212.00	516.00	984.00	312.00
	4	804.00	372.00	888.00	336.00
	5	528.00	360.00	960.00	312.00
	6	348.00	180.00	228.00	276.00
	7	504.00	264.00	96.00	192.00
	8	1584.00	144.00	456.00	216.00
	9	1056.00	192.00	648.00	384.00
	10	984.00	120.00	1116.00	348.00
	11	708.00	108.00	828.00	372.00

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
MARET	12	876.00	396.00	996.00	156.00
	13	996.00	132.00	552.00	120.00
	14	1236.00	252.00	156.00	372.00
	15	1368.00	312.00	504.00	240.00
	16	1188.00	180.00	1728.00	288.00
	17	1200.00	624.00	708.00	506.40
	18	1140.00	228.00	672.00	321.60
	19	1092.00	468.00	936.00	264.00
	20	996.00	300.00	396.00	348.00
	21	264.00	336.00	144.00	168.00
	22	1768.80	79.20	936.00	456.00
	23	991.20	88.80	648.00	456.00
	24	936.00	144.00	1080.00	432.00
	25	901.20	250.80	2376.00	312.00
	26	874.80	277.20	408.00	312.00
	27	192.00	360.00	468.00	252.00
	28	192.00	336.00	336.00	24.00
	29	1068.00	108.00	636.00	876.00
	30	1380.00	132.00	1320.00	216.00
	31	612.00	252.00	732.00	36.00
APRIL	1	1248.00	384.00	1044.00	492.00
	2	1176.00	288.00	1440.00	408.00
	3	720.00	288.00	888.00	192.00
	4	492.00	756.00	264.00	96.00
	5	924.00	156.00	360.00	336.00
	6	996.00	156.00	0.00	0.00
	7	1224.00	96.00	0.00	0.00
	8	1044.00	84.00	0.00	0.00
	9	1188.00	60.00	0.00	0.00
	10	1548.00	84.00	0.00	0.00
	11	480.00	120.00	0.00	0.00
	12	12.00	876.00	0.00	0.00
	13	1260.00	324.00	1764.00	300.00
	14	852.00	732.00	756.00	300.00
	15	0.00	0.00	1044.00	780.00
	16	0.00	0.00	744.00	912.00
	17	0.00	0.00	576.00	384.00
	18	0.00	0.00	876.00	84.00
	19	0.00	0.00	480.00	264.00
	20	504.00	24.00	1284.00	204.00
	21	0.00	0.00	864.00	475.20
	22	0.00	0.00	600.00	724.80
	23	672.00	696.00	684.00	636.00
	24	12.00	540.00	996.00	372.00
	25	1164.00	108.00	828.00	204.00
	26	216.00	192.00	1188.00	228.00
	27	1128.00	48.00	756.00	132.00
	28	1416.00	48.00	876.00	266.40
	29	1356.00	60.00	1092.00	141.60
	30	1260.00	36.00	1068.00	204.00
MEI	1	936.00	168.00	912.00	24.00
	2	276.00	276.00	1200.00	96.00
	3	1008.00	408.00	852.00	180.00
	4	1296.00	768.00	360.00	336.00
	5	1224.00	840.00	528.00	122.40
	6	1404.00	324.00	523.20	698.40
	7	1320.00	288.00	520.80	847.20
	8	1236.00	252.00	348.00	276.00
	9	360.00	96.00	888.00	120.00
	10	768.00	360.00	660.00	108.00
	11	876.00	636.00	660.00	228.00
	12	1032.00	264.00	60.00	1140.00
	13	828.00	732.00	1140.00	180.00
	14	432.00	144.00	876.00	348.00
	15	2316.00	60.00	948.00	348.00
	16	108.00	84.00	588.00	276.00
	17	1200.00	96.00	780.00	396.00
	18	1332.00	156.00	1068.00	276.00
	19	1176.00	528.00	528.00	600.00
	20	1380.00	36.00	1044.00	372.00
	21	960.00	432.00	960.00	336.00
	22	996.00	300.00	600.00	864.00

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
MEI	23	180.00	132.00	840.00	600.00
	24	1032.00	288.00	876.00	492.00
	25	1104.00	336.00	684.00	228.00
	26	1152.00	336.00	888.00	120.00
	27	1176.00	336.00	228.00	108.00
	28	1032.00	432.00	1080.00	96.00
	29	1116.00	180.00	240.00	168.00
	30	144.00	168.00	324.00	228.00
	31	900.00	516.00	228.00	36.00
JUNI	1	1068.00	108.00	240.00	168.00
	2	1296.00	312.00	930.00	270.00
	3	1236.00	348.00	822.00	234.00
	4	1044.00	564.00	888.00	72.00
	5	1092.00	204.00	337.20	118.80
	6	156.00	204.00	106.80	349.20
	7	1428.00	468.00	804.00	372.00
	8	1764.00	276.00	816.00	360.00
	9	1224.00	456.00	1104.00	384.00
	10	648.00	144.00	943.20	328.80
	11	888.00	144.00	549.60	266.40
	12	1908.00	84.00	451.20	340.80
	13	600.00	648.00	180.00	156.00
	14	2904.00	360.00	648.00	192.00
	15	1896.00	144.00	456.00	264.00
	16	1200.00	336.00	720.00	240.00
	17	1092.00	132.00	456.00	240.00
	18	996.00	348.00	924.00	468.00
	19	360.00	456.00	996.00	180.00
	20	720.00	864.00	756.00	180.00
	21	828.00	876.00	348.00	780.00
	22	1344.00	120.00	792.00	288.00
	23	1008.00	384.00	840.00	312.00
	24	384.00	168.00	828.00	228.00
	25	1008.00	360.00	1212.00	540.00
	26	444.00	444.00	732.00	348.00
	27	816.00	96.00	120.00	240.00
	28	1104.00	360.00	120.00	240.00
	29	1356.00	324.00	86.40	369.60
	30	672.00	436.80	273.60	566.40
JULI	1	1812.00	319.20	2136.00	192.00
	2	1056.00	168.00	636.00	204.00
	3	1080.00	432.00	420.00	420.00
	4	840.00	264.00	528.00	576.00
	5	1452.00	516.00	384.00	432.00
	6	1524.00	468.00	576.00	384.00
	7	1632.00	504.00	720.00	792.00
	8	1680.00	432.00	528.00	264.00
	9	1596.00	684.00	696.00	216.00
	10	792.00	792.00	708.00	324.00
	11	1200.00	408.00	756.00	516.00
	12	1320.00	192.00	564.00	636.00
	13	2748.00	300.00	344.40	471.60
	14	228.00	564.00	1899.60	212.40
	15	1548.00	516.00	1368.00	264.00
	16	2784.00	264.00	1800.00	240.00
	17	852.00	348.00	1560.00	480.00
	18	1452.00	252.00	120.00	216.00
	19	1140.00	924.00	1500.00	588.00
	20	2016.00	504.00	1632.00	552.00
	21	1524.00	516.00	1660.80	187.20
	22	1380.00	468.00	2113.20	382.80
	23	1584.00	720.00	1350.00	426.00
	24	1524.00	708.00	2124.00	492.00
	25	996.00	540.00	816.00	168.00
	26	528.00	504.00	1992.00	312.00
	27	0.00	3168.00	1800.00	144.00
	28	0.00	1800.00	708.00	120.00
	29	1080.00	120.00	1980.00	312.00
	30	2076.00	252.00	1176.00	312.00
	31	1428.00	348.00	1050.00	102.00
A G S T	1	900.00	732.00	1110.00	234.00
	2	684.00	516.00	1488.00	192.00

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
AGUSTUS	3	3312.00	0.00	1236.00	252.00
	4	228.00	0.00	1908.00	204.00
	5	1296.00	600.00	1524.00	156.00
	6	1392.00	840.00	924.00	132.00
	7	1212.00	36.00	2184.00	0.00
	8	132.00	396.00	1500.00	0.00
	9	264.00	336.00	1464.00	72.00
	10	3492.00	372.00	1788.00	132.00
	11	348.00	732.00	960.00	144.00
	12	120.00	840.00	2364.00	156.00
	13	1308.00	276.00	1200.00	168.00
	14	972.00	252.00	504.00	120.00
	15	672.00	648.00	852.00	132.00
	16	492.00	276.00	876.00	180.00
	17	924.00	588.00	732.00	108.00
	18	396.00	636.00	1116.00	108.00
	19	948.00	180.00	588.00	108.00
	20	888.00	120.00	5280.00	0.00
	21	1644.00	276.00	1692.00	0.00
	22	1068.00	204.00	1128.00	144.00
	23	1272.00	240.00	1548.00	132.00
	24	192.00	456.00	1596.00	108.00
	25	2208.00	552.00	1620.00	156.00
	26	1536.00	384.00	1560.00	168.00
	27	1320.00	648.00	1716.00	132.00
	28	1212.00	204.00	1476.00	180.00
	29	876.00	1308.00	1296.00	0.00
	30	1032.00	504.00	924.00	0.00
	31	1008.00	288.00	2652.00	12.00
SEPTEMBER	1	1356.00	156.00	1776.00	24.00
	2	1572.00	276.00	1596.00	0.00
	3	1032.00	384.00	540.00	0.00
	4	876.00	204.00	1032.00	120.00
	5	144.00	120.00	444.00	84.00
	6	972.00	468.00	1848.00	72.00
	7	768.00	1008.00	1764.00	420.00
	8	1848.00	24.00	3144.00	0.00
	9	1428.00	252.00	3276.00	0.00
	10	1464.00	264.00	1608.00	0.00
	11	816.00	360.00	1272.00	72.00
	12	372.00	204.00	396.00	0.00
	13	972.00	132.00	3120.00	0.00
	14	1572.00	1452.00	264.00	302.40
	15	1428.00	732.00	348.00	444.00
	16	1776.00	360.00	1576.80	127.20
	17	1284.00	804.00	1483.20	148.80
	18	876.00	804.00	1488.00	480.00
	19	468.00	636.00	420.00	204.00
	20	1248.00	528.00	2988.00	0.00
	21	1032.00	432.00	1644.00	0.00
	22	2208.00	312.00	1500.00	732.00
	23	1320.00	432.00	1572.00	108.00
	24	900.00	60.00	1260.00	180.00
	25	1260.00	204.00	984.00	216.00
	26	312.00	456.00	1044.00	156.00
	27	1165.20	274.80	2196.00	204.00
	28	1006.80	313.20	1896.00	168.00
	29	1104.00	240.00	2040.00	192.00
	30	780.00	924.00	456.00	168.00
OKTOBER	1	1116.00	180.00	1824.00	144.00
	2	1200.00	360.00	1536.00	168.00
	3	1308.00	228.00	1668.00	60.00
	4	1632.00	216.00	1320.00	120.00
	5	1836.00	516.00	984.00	144.00
	6	1584.00	264.00	1756.80	187.20
	7	1584.00	792.00	1963.20	76.80
	8	1188.00	300.00	1704.00	144.00
	9	1044.00	300.00	1308.00	60.00
	10	1020.00	420.00	2436.00	0.00
	11	1356.00	60.00	648.00	0.00
	12	1752.00	600.00	1848.00	0.00
	13	1008.00	432.00	1560.00	360.00

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
OKTOBER	14	2628.00	876.00	744.00	288.00
	15	1260.00	516.00	960.00	0.00
	16	2148.00	348.00	2160.00	0.00
	17	1032.00	720.00	1524.00	105.60
	18	1260.00	84.00	1356.00	108.00
	19	1116.00	180.00	3300.00	132.00
	20	2124.00	636.00	1848.00	96.00
	21	876.00	348.00	1800.00	72.00
	22	804.00	708.00	1692.00	108.00
	23	1692.00	852.00	1908.00	192.00
	24	948.00	492.00	1452.00	168.00
	25	1656.00	504.00	1380.00	156.00
	26	1500.00	564.00	1944.00	312.00
	27	1536.00	312.00	1584.00	168.00
	28	1416.00	312.00	1416.00	288.00
	29	1608.00	264.00	2316.00	1164.00
	30	1200.00	672.00	453.60	890.40
NOVEMBER	31	564.00	180.00	830.40	417.60
	1	936.00	144.00	642.00	1014.00
	2	1344.00	120.00	1117.20	778.80
	3	1512.00	312.00	676.80	1075.20
	4	2124.00	636.00	1932.00	612.00
	5	2076.00	708.00	828.00	828.00
	6	204.00	972.00	2520.00	384.00
	7	1836.00	612.00	3324.00	1884.00
	8	1752.00	600.00	2460.00	156.00
	9	1884.00	660.00	1584.00	144.00
	10	1020.00	852.00	1536.00	336.00
	11	1632.00	576.00	1344.00	192.00
	12	2832.00	384.00	682.80	589.20
	13	2016.00	312.00	2677.20	250.80
	14	996.00	516.00	636.00	420.00
	15	2286.00	210.00	744.00	600.00
	16	1578.00	966.00	2868.00	324.00
	17	1908.00	468.00	1716.00	588.00
	18	1764.00	924.00	1380.00	108.00
	19	1944.00	576.00	2532.00	756.00
	20	1564.80	475.20	1128.00	360.00
	21	1231.20	328.80	144.00	672.00
	22	1788.00	828.00	2292.00	372.00
	23	252.00	924.00	948.00	444.00
	24	3060.00	708.00	684.00	564.00
	25	984.00	912.00	804.00	1356.00
	26	2700.00	300.00	1596.00	276.00
	27	1800.00	792.00	564.00	564.00
	28	336.00	408.00	336.00	216.00
	29	1308.00	132.00	720.00	168.00
	30	1488.00	264.00	936.00	672.00
DESEMBER	1	1668.00	108.00	1356.00	156.00
	2	1884.00	204.00	792.00	456.00
	3	1572.00	276.00	1596.00	108.00
	4	1428.00	372.00	1272.00	264.00
	5	132.00	420.00	1032.00	24.00
	6	1224.00	528.00	1188.00	12.00
	7	1368.00	456.00	768.00	168.00
	8	1092.00	564.00	840.00	960.00
	9	2568.00	408.00	732.00	276.00
	10	1800.00	384.00	552.00	264.00
	11	744.00	168.00	852.00	324.00
	12	600.00	360.00	492.00	324.00
	13	1104.00	432.00	324.00	324.00
	14	1596.00	132.00	564.00	276.00
	15	1524.00	684.00	396.00	60.00
	16	1764.00	444.00	228.00	132.00
	17	732.00	228.00	516.00	108.00
	18	1272.00	168.00	192.00	240.00
	19	0.00	0.00	36.00	372.00
	20	0.00	0.00	36.00	300.00
	21	972.00	732.00	24.00	192.00
	22	1068.00	252.00	36.00	132.00
	23	1020.00	324.00	24.00	120.00
	24	1032.00	312.00	24.00	408.00

BULAN DAN TANGGAL		2023		2024	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP	ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH	KWH	KWH
DESEMBER	25	756.00	132.00	24.00	240.00
	26	756.00	132.00	468	276
	27	72.00	408.00	228	588
	28	60.00	204.00	408	528
	29	384.00	408.00	1884	324
	30	1476.00	564.00	1356	60
	31	1656.00	432.00	1476	132

3. Data Penggunaan Listrik Tahun 2025

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
JANUARI	1	1476.00	132.00
	2	1620.00	156.00
	3	672.00	360.00
	4	960.00	960.00
	5	876.00	1188.00
	6	1644.00	420.00
	7	1728.00	216.00
	8	1728.00	288.00
	9	696.00	240.00
	10	72.00	216.00
	11	924.00	564.00
	12	1452.00	180.00
	13	684.00	60.00
	14	1704.00	96.00
	15	828.00	36.00
	16	552.00	288.00
	17	312.00	192.00
	18	840.00	96.00
	19	310.80	193.20
	20	1057.20	142.80
	21	828.00	180.00
	22	912.00	168.00
	23	876.00	324.00
	24	768.00	216.00
	25	612.00	156.00
	26	624.00	264.00
	27	816.00	600.00
	28	96.00	1560.00
	29	420.00	252.00
	30	240.00	0.00
	31	144.00	312.00
FEBUARI	1	552.00	384.00
	2	732.00	180.00
	3	840.00	432.00
	4	816.00	312.00
	5	732.00	180.00
	6	636.00	348.00
	7	120.00	216.00
	8	624.00	240.00
	9	828.00	300.00
	10	684.00	300.00
	11	792.00	192.00
	12	528.00	408.00
	13	372.00	468.00
	14	240.00	288.00
	15	600.00	120.00
	16	192.00	120.00
	17	228.00	324.00
	18	660.00	300.00
	19	708.00	204.00
	20	516.00	180.00
	21	144.00	192.00
	22	432.00	360.00
	23	688.80	343.20
	24	595.20	196.80
	25	516.00	444.00
	26	720.00	432.00
	27	3216.00	312.00
	28	780.00	204.00
MARET	1	24.00	648.00
	2	1320.00	360.00
	3	720.00	720.00
	4	2220.00	348.00
	5	900.00	516.00
	6	936.00	216.00
	7	840.00	264.00
	8	1632.00	520.80
	9	948.00	475.20
	10	1800.00	384.00
	11	660.00	228.00

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
MARET	12	2280.00	408.00
	13	1404.00	468.00
	14	348.00	372.00
	15	1464.00	912.00
	16	1260.00	372.00
	17	1308.00	372.00
	18	900.00	108.00
	19	804.00	372.00
	20	756.00	204.00
	21	756.00	228.00
	22	468.00	276.00
	23	804.00	84.00
	24	408.00	864.00
	25	720.00	72.00
	26	0.00	0.00
	27	0.00	0.00
	28	0.00	0.00
	29	0.00	0.00
	30	0.00	0.00
	31	0.00	0.00
APRIL	1	0.00	0.00
	2	720.00	264.00
	3	480.00	216.00
	4	84.00	228.00
	5	780.00	468.00
	6	996.00	60.00
	7	972.00	228.00
	8	888.00	264.00
	9	732.00	228.00
	10	600.00	456.00
	11	0.00	0.00
	12	468.00	372.00
	13	600.00	216.00
	14	336.00	720.00
	15	504.00	504.00
	16	492.00	276.00
	17	480.00	312.00
	18	288.00	360.00
	19	556.80	187.20
	20	667.20	196.80
	21	804.00	156.00
	22	756.00	108.00
	23	684.00	156.00
	24	168.00	384.00
	25	204.00	45.60
	26	216.00	62.40
	27	324.00	252.00
	28	480.00	312.00
	29	168.00	360.00
	30	780.00	12.00
MEI	1	708.00	204.00
	2	444.00	108.00
	3	960.00	72.00
	4	792.00	168.00
	5	600.00	648.00
	6	744.00	120.00
	7	492.00	252.00
	8	300.00	636.00
	9	600.00	288.00
	10	648.00	216.00
	11	708.00	420.00
	12	708.00	420.00
	13	1056.00	168.00
	14	852.00	132.00
	15	936.00	240.00
	16	720.00	192.00
	17	876.00	324.00
	18	348.00	204.00
	19	1152.00	288.00
	20	852.00	348.00
	21	816.00	168.00
	22	456.00	192.00

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
MEI	23	168.00	192.00
	24	816.00	144.00
	25	1176.00	432.00
	26	564.00	804.00
	27	528.00	792.00
	28	324.00	516.00
	29	276.00	684.00
	30	204.00	588.00
JUNI	31	276.00	468.00
	1	156.00	468.00
	2	1200.00	240.00
	3	2568.00	0.00
	4	72.00	0.00
	5	120.00	168.00
	6	852.00	252.00
	7	936.00	264.00
	8	1056.00	216.00
	9	912.00	360.00
	10	973.20	322.80
	11	874.80	301.20
	12	672.00	216.00
	13	324.00	180.00
	14	408.00	288.00
	15	720.00	240.00
	16	480.00	240.00
	17	708.00	180.00
	18	1248.00	144.00
	19	768.00	120.00
	20	408.00	216.00
	21	648.00	720.00
	22	1212.00	446.40
	23	996.00	393.60
	24	1140.00	348.00
	25	804.00	300.00
	26	600.00	264.00
	27	84.00	84.00
	28	756.00	324.00
	29	852.00	252.00
	30	864.00	336.00
JULI	1	808.80	271.20
	2	799.20	88.80
	3	576.00	700.80
	4	252.00	55.20
	5	840.00	360.00
	6	552.00	432.00
	7	1392.00	240.00
	8	936.00	288.00
	9	792.00	288.00
	10	360.00	216.00
	11	60.00	180.00
	12	180.00	324.00
	13	228.00	396.00
	14	456.00	816.00
	15	540.00	396.00
	16	780.00	300.00
	17	888.00	144.00
	18	156.00	108.00
	19	348.00	60.00
	20	156.00	348.00
	21	144.00	264.00
	22	144.00	312.00
	23	144.00	408.00
	24	60.00	204.00
	25	120.00	240.00
	26	240.00	336.00
	27	504.00	192.00
	28	564.00	300.00
	29	600.00	408.00
	30	336.00	168.00
	31	1656.00	240.00
A G S T	1	288.00	168.00
	2	948.00	348.00

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
AGUSTUS	3	1128.00	576.00
	4	1128.00	768.00
	5	1560.00	168.00
	6	1380.00	516.00
	7	1584.00	384.00
	8	1620.00	828.00
	9	1704.00	624.00
	10	1488.00	624.00
	11	1668.00	684.00
	12	1320.00	816.00
	13	1932.00	444.00
	14	1236.00	564.00
	15	1692.00	468.00
	16	1728.00	648.00
	17	1188.00	516.00
	18	1788.00	588.00
	19	1116.00	516.00
	20	2676.00	612.00
	21	1884.00	564.00
	22	1740.00	516.00
	23	1440.00	504.00
	24	756.00	420.00
	25	1224.00	504.00
	26	1668.00	516.00
	27	1548.00	540.00
	28	912.00	1368.00
	29	1644.00	132.00
	30	2376.00	288.00
	31	1776.00	336.00
SEPTEMBER	1	1800.00	528.00
	2	1740.00	564.00
	3	1728.00	528.00
	4	1776.00	480.00
	5	780.00	924.00
	6	2724.00	12.00
	7	1800.00	264.00
	8	876.00	1116.00
	9	1656.00	264.00
	10	1464.00	552.00
	11	1728.00	456.00
	12	1620.00	564.00
	13	900.00	924.00
	14	1872.00	576.00
	15	2928.00	432.00
	16	1248.00	600.00
	17	300.00	972.00
	18	840.00	672.00
	19	2496.00	456.00
	20	1584.00	624.00
	21	1464.00	696.00
	22	1092.00	612.00
	23	1204.80	475.20
	24	1087.20	832.80
	25	1620.00	684.00
	26	1596.00	780.00
	27	1848.00	696.00
	28	1632.00	864.00
	29	1740.00	420.00
	30	1752.00	696.00
OKTOBER	1	1668.00	660.00
	2	1740.00	612.00
	3	1572.00	684.00
	4	1596.00	732.00
	5	1692.00	756.00
	6	708.00	948.00
	7	1944.00	648.00
	8	1608.00	360.00
	9	1344.00	600.00
	10	1428.00	516.00
	11	1464.00	648.00
	12	1632.00	600.00
	13	1548.00	636.00

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
OKTOBER	14	1440.00	576.00
	15	1752.00	1224.00
	16	1810.80	349.20
	17	1057.20	646.80
	18	1596.00	732.00
	19	1716.00	708.00
	20	1776.00	672.00
	21	1788.00	708.00
	22	1764.00	660.00
	23	1944.00	624.00
	24	1236.00	444.00
	25	1692.00	852.00
	26	1836.00	492.00
	27	1704.00	648.00
	28	1752.00	744.00
	29	1716.00	732.00
	30	1596.00	684.00
	31	60.00	276.00
NOVEMBER	1	360.00	288.00
	2	792.00	696.00
	3	1188.00	420.00
	4	1056.00	360.00
	5	564.00	324.00
	6	192.00	312.00
	7	276.00	84.00
	8	840.00	264.00
	9	1044.00	444.00
	10	912.00	192.00
	11	468.00	276.00
	12	24.00	120.00
	13	36.00	84.00
	14	12.00	36.00
	15	552.00	456.00
	16	1104.00	552.00
	17	1392.00	480.00
	18	1524.00	660.00
	19	1500.00	324.00
	20	696.00	312.00
	21	168.00	168.00
	22	852.00	300.00
	23	588.00	348.00
	24	972.00	660.00
	25	1788.00	636.00
	26	1884.00	564.00
	27	804.00	420.00
	28	60.00	372.00
	29	1572.00	420.00
	30	2028.00	732.00
DESEMBER	1	1920.00	816.00
	2	1920.00	672.00
	3	1560.00	696.00
	4	720.00	600.00
	5	60.00	228.00
	6	1644.00	588.00
	7	1848.00	312.00
	8	1800.00	912.00
	9	1992.00	432.00
	10	1716.00	780.00
	11	1944.00	480.00
	12	1512.00	480.00
	13	1668.00	660.00
	14	1824.00	672.00
		1800.00	744.00
	16	1740.00	276.00
	17	1416.00	1176.00
	18	1956.00	684.00
	19	1044.00	588.00
	20	1800.00	696.00
	21	1608.00	672.00
	22	1140.00	612.00
	23	48.00	216.00
	24	36.00	156.00

BULAN DAN TANGGAL		2025	
BULAN	TANGGAL	LISTRIK	LISTRIK
		ASSEMBLY	SYRUP
		KWH	KWH
DESEMBER	25	36.00	396.00
	26	696.00	720.00
	27	1476.00	612.00
	28	1704.00	432.00
	29	1956.00	516.00
	30	1404.00	204.00
	31	1860.00	588.00

4. Data Rekapitulasi Penggunaan Listrik Kegiatan Utama

TAHUN	ASSEMBLY	SYRUP
	MWH	MWH
2021	444,372	107,052
2022	440,928	140,700
2023	418,368	142,596
2024	390,060	110,448
2025	355,308	146,532

5. Data Penggunaan Listrik Unit Produksi Sirup

Nama Unit	Jumlah Unit	2021	2022	2023	2024	2025
		kWh				
Tangki Dissolving (Agitator)	3	24.106	30.775	30.927	25.782	33.740
Prefilter (Pompa Transfer)	2	11.447	12.830	12.875	11.942	13.201
Mesin Filter (Pompa High Press)	2	22.915	27.659	28.451	22.993	28.928
Mesin PCE (Pompa & Control)	1	5.787	6.765	6.876	5.726	6.854
Tangki Blending (Agitator)	3	21.362	27.913	28.587	22.130	28.665
Tangki Stock Syrup (Deli Pump)	3	11.240	21.461	21.494	11.473	21.766
Daily Tank Syrup (Agitator)	3	10.195	13.297	13.386	10.402	13.378
TOTAL PROSES SYRUP		107.052	140.700	142.596	110.448	146.532

6. Data Penggunaan Listrik Unit Pengemasan (Assembling)

Nama Unit	Jumlah Unit	2021	2022	2023	2024	2025
		kWh				
Mesin Rinser	2	70.922	70.831	68.002	62.910	59.032
Mesin Filler (Flip & ROPP)	2	71.282	71.120	69.242	63.238	60.250
Mesin Cap Sealing (Feeder)	2	53.324	53.270	50.187	46.253	41.125
Mesin Labeling Machine	2	46.137	45.677	41.350	38.821	33.611
Mesin X-Ray (Sensor & Cool)	2	69.951	68.462	65.224	61.327	55.951
Mesin Carton Erector	2	65.460	64.805	61.318	58.196	52.043
Mesin Pick & Place (Robotic)	2	67.296	66.763	63.045	59.315	53.296
TOTAL PROSES ASSEMBLING		444.372	440.928	418.368	390.060	355.308

7. Data Penggunaan Listrik Kegiatan Penunjang

Boiler	Unit	Watt	KW Total	Hari	Jam	Kwh/tahun
Lampu LED	5	10	0.05	180	24	216
Lampu TL	30	16	0.48	180	24	2073.6
Lampu Highbay	15	18	0.27	180	24	1166.4
Fly Catcher	0	20	0	180	24	0
Kipas	0	50	0	180	24	0
AC	2	900	1.8	180	8	2592
Printer	1	500	0.5	180	8	720

Produksi Sirup	Unit	Watt	KW Total	Hari	Jam	Kwh/tahun
Lampu LED	6	10	0.06	180	24	259.2
Lampu TL	13	16	0.208	180	24	898.56
Lampu Highbay	1	18	0.018	180	24	77.76
Fly Catcher	1	20	0.02	180	24	86.4
Kipas	2	50	0.1	180	24	432
AC	1	900	0.9	180	8	1296
Printer	1	500	0.5	180	8	720
Komputer + Monitor	1	180	0.18	180	8	259.2

Assembling	Unit	Watt	KW Total	Hari	Jam	Kwh/tahun
Lampu LED	19	10	0.19	180	24	820.8
Lampu TL	150	16	2.4	180	24	10368
Lampu Highbay	0	18	0	180	24	0
Fly Catcher	2	20	0.04	180	24	172.8
Kipas	10	50	0.5	180	24	2160
AC	2	15000	30	180	8	43200
Printer	1	500	0.5	180	8	720
Komputer + Monitor	1	180	0.18	180	8	259.2

Gudang Produksi	Unit	Watt	KW Total	Hari	Jam	Kwh/tahun
Lampu LED	21	10	0.21	180	24	907.2
Lampu TL	20	16	0.32	180	24	1382.4
Lampu Highbay	20	18	0.36	180	24	1555.2
Fly Catcher	4	20	0.08	180	24	345.6
Kipas	8	50	0.4	180	24	1728
AC	1	900	0.9	180	24	3888
Printer	1	500	0.5	180	8	720
Komputer + Monitor	1	180	0.18	180	8	259.2
Forklift Charger	4	18000	72	180	24	311040

8. Data Rekapitulasi Listrik Kegiatan Penunjang

Ruangan	Total Konsumsi Listrik (Kwh/tahun)
Boiler	6.768
Produksi Sirup	4.029,12
Assembling	57.700,8
Gudang Produksi	321.825,6

LAMPIRAN 15
DATA TOTAL EMISI CO₂ PENGGUNAAN LISTRIK

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Data Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Kegiatan Utama

a. Data Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Unit Produksi

Nama Unit	Jumlah Unit	2021	2022	2023	2024	2025
		(Ton CO ₂ /tahun)				
Tangki Dissolving (Agitator)	3	20,97	26,77	26,91	22,43	29,35
Prefilter (Pompa Transfer)	2	9,96	11,16	11,20	10,39	11,48
Mesin Filter (Pompa High Press)	2	19,94	24,06	24,75	20,00	25,17
Mesin PCE (Pompa & Control)	1	5,03	5,89	5,98	4,98	5,96
Tangki Blending (Agitator)	3	18,58	24,28	24,87	19,25	24,94
Tangki Stock Syrup (Deli Pump)	3	9,78	18,67	18,70	9,98	18,94
Daily Tank Syrup (Agitator)	3	8,87	11,57	11,65	9,05	11,64
TOTAL PROSES SYRUP		93,14	122,41	124,06	96,09	127,48

b. Data Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Unit Pengemasan (Assembling)

Nama Unit	Jumlah Unit	2021	2022	2023	2024	2025
		(Ton CO ₂ /tahun)				
Mesin Rinser	2	61,70	61,62	59,16	54,73	51,36
Mesin Filler (Flip & ROPP)	2	62,02	61,87	60,24	55,02	52,42
Mesin Cap Sealing (Feeder)	2	46,39	46,34	43,66	40,24	35,78
Mesin Labeling Machine	2	40,14	39,74	35,97	33,77	29,24
Mesin X-Ray (Sensor & Cool)	2	60,86	59,56	56,74	53,35	48,68
Mesin Carton Erector	2	56,95	56,38	53,35	50,63	45,28
Mesin Pick & Place (Robotic)	2	58,55	58,08	54,85	51,60	46,37
TOTAL PROSES ASSEMBLING		386,60	383,61	363,98	339,35	309,12

2. Data Total Emisi CO₂ Penggunaan Listrik Kegiatan Penunjang

Ruangan	Total Konsumsi Listrik (Kwh/tahun)	Total Emisi Listrik (ton CO₂/tahun)
Boiler	6.768	5.888,16
Produksi Sirup	4.029,12	3.505,33
Assembling	57.700,8	50.199,7
Gudang Produksi	321.825,6	279.988,27

LAMPIRAN 16
PERHITUNGAN PENERAPAN TEKNOLOGI *WASTE HEAT RECOVERY*
PADA BOILER LNG

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Perhitungan *Fixed Cost*

Keterangan	Harga	Jumlah Satuan	Satuan	Jumlah Akhir
<i>Economizer</i>	Rp 146.000.000	1	unit	Rp 146.000.000
Total Biaya				Rp 146.000.000

2. Perhitungan *Variable Cost*

Keterangan	Harga
Pemeliharaan Rutin <i>Economizer</i>	Rp 2.920.000
Total Biaya	Rp 2.920.000

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 17
DOKUMENTASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Pengukuran Timbulan Limbah Domestik Produksi Sirup

NO	TANGGAL	DOKUMENTASI
1.	5 Febuari 2026	
2.	6 Febuari 2026	
3.	7 Febuari 2026	
4.	9 Febuari 2026	
5.	10 Febuari 2026	

NO	TANGGAL	DOKUMENTASI
6.	11 Febuari 2026	
7.	12 Febuari 2026	
8.	13 Febuari 2026	

2. Pengambilan Sampel Air Limbah *Septic Tank*

NO	TANGGAL	DOKUMENTASI
1.	16 Juni 2026	

3. Pengambilan Data Perusahaan

NO	TANGGAL	DOKUMENTASI
1.	5 Febuari 2026	
2.	8 April 2026	
3.	21 Juni 2026	

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Balqist Iqfirlana Khayumi, lahir di Kota Kediri pada tanggal 2 Maret 2003. Riwayat pendidikan formal penulis diantaranya SDN Ngronggo 2, SMPN 1 Kota Kediri, dan SMAN 1 Kota Kediri. Penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah. Selama pendidikan berlangsung, penulis pernah mengikuti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar.

Penulis juga mempunyai pengalaman *On The Job Training* di PT Heinz ABC Indonesia dan PT Mitra Prima Enviro. Pada Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, penulis melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Analisis Emisi Gas Rumah Kaca dan Efisiensi Energi Proses Produksi Sirup Sebelum dan Sesudah Implementasi Energi Terbarukan”. Pembaca yang ingin menyampaikan kritik, saran, maupun pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email balqistiqfirlanak03@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan

