KAMPUS AKADEMIK PUBLISING
Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa
Vol.3, No.4 Agustus 2025
e-ISSN: 3025-5465; p-ISSN: 3025-7964, Hal 390-403
DOI : https://doi.org/10.61722/jipm.v3i4.1116

ANALISIS DAMPAK EMISI UDARA PERALATAN *FURNACE* PADA PROSES PENGOLAHAN MINYAK BUMI DI PT XYZ MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Rizky Fatihah A. Yabiy[1]
Universitas Teknologi Yogyakarta
Suseno[2]
Universitas Teknologi Yogyakarta
Irine Yulianingsih[3]
Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi

Alamat: Jl. Glagahsari No.63, Warungboto, Kec.Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55164
Korespondensi penulis: [1]rizkyfatihahyabiy@gmail.com, [2]suseno@uty.ac.id, [3]tanyairine@gmail.com

Abstract. *The oil and gas industry is one of the major contributors to greenhouse gas emissions, which have a significant impact on the environment. This study aims to analyze the environmental impact caused by air emissions from furnace equipment in the oil processing operations at PT XYZ using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. The LCA method is carried out through four main stages: Goal and Scope Definition, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and Interpretation. The emission data from both furnaces show substantial values. Furnace 1 emits CO_2 at 228.960 Mg/Nm³, NO_2 at 105.687 Mg/Nm³, SO_2 at 129.206 Mg/Nm³, CO at 16.819 Mg/Nm³, and particulates at 59.731 Mg/Nm³. Furnace 2 emits CO_2 at 217.800 Mg/Nm³, NO_2 at 148.392 Mg/Nm³, SO_2 at 74.547 Mg/Nm³, CO at 19.404 Mg/Nm³, and particulates at 72.014 Mg/Nm³. A gate-to-gate approach was applied in assessing the furnace process system. The analysis results using SimaPro software indicate that CO_2 contributes the most to Global Warming. Furthermore, the Eco-Indicator 99 and CML-IA Baseline methods reveal that the most significant environmental impacts occur in the categories of human health and ecosystem quality. This study recommends improving combustion efficiency and implementing emission control systems to minimize the environmental impacts.*

Keywords: *Furnace, Emission, crude oil, Life Cycle Assessment, Environmental Impact*

Abstrak. Industri minyak dan gas bumi merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca yang berdampak signifikan terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan dari emisi udara peralatan *furnace* pada proses pengolahan minyak bumi di PT XYZ menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Metode LCA dilakukan melalui empat tahap utama, yaitu penentuan *Goal and Scope*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan interpertasi. Data emisi yang dikeluarkan oleh kedua *furnace* cukup besar, pada *furnace* 1 menghasilkan emisi CO_2 sebesar 228.960 Mg/Nm³, NO_2 sebesar 105.687 Mg/Nm³, SO_2 sebesar 129.206 Mg/Nm³, CO sebesar 16.819 Mg/Nm³, dan partikulat sebesar 59.731 Mg/Nm³. Pada *furnace* 2 menghasilkan emisi CO_2 sebesar 217.800

Received Juni , 2025; Revised Juni , 2025; Agustus , 2025
*Corresponding author, e-mail address

Mg/Nm³, NO_2 sebesar 148.392 Mg/Nm³, SO_2 sebesar 74.547 Mg/Nm³, CO sebesar 19.404 Mg/Nm³, dan partikulat sebesar 72.014 Mg/Nm³. Menggunakan pendekatan *gate to gate* pada sistem proses *furnace*. Hasil analisis menggunakan software SimaPro menunjukkan bahwa CO_2 memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global. Selain itu, metode Eco-Indicator 99 dan CML-IA Baseline mengungkapkan bahwa dampak lingkungan paling besar terjadi pada kategori *human health* dan *ecosystem quality*. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan efisiensi pembakaran dan penerapan sistem pengendalian emisi untuk meminimalkan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Kata Kunci: *Furnace*, Emisi, Minyak Bumi, *Life Cycle Assessment*, Dampak Lingkungan

LATAR BELAKANG

Isu pencemaran udara akibat emisi gas buang industri menjadi salah satu tantangan serius dalam upaya menjaga kelestarian lingkungan sekitar. Sektor industri energi, khususnya pengolahan minyak bumi, dikenal sebagai penyumbang utama emisi gas rumah kaca dan polutan udara lainnya yang berdampak terhadap perubahan iklim, kesehatan manusia, serta kualitas lingkungan hidup. Dalam proses pengolahan minyak bumi, salah satu unit operasi yang berkontribusi signifikan terhadap emisi adalah *furnace*. *Furnace* digunakan untuk memanaskan minyak mentah agar mencapai kondisi optimal untuk proses distilasi dan pengolahan lanjutan, minyak mentah / *crude oil* yang sebelumnya memiliki suhu ±140°C dipanaskan menjadi ±330°C. Namun, pada proses pembakaran bahan bakar pada *furnace* menghasilkan berbagai jenis emisi seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_2), sulfur oksida (SO_2), karbon monoksida (CO), serta partikulat (PM).

PT XYZ merupakan salah satu institusi yang memiliki peran penting dalam pengembangan industri minyak dan gas di Indonesia. Lokasi PT XYZ ini terletak Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. PT XYZ mengolah minyak mentah atau *crude oil* yang berasal dari PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu menjadi Pertasol CA , Pertasol CB, Pertasol CC, Solar dan Residu, melalui *proses Crude Distillation Unit* (CDU) di unit Kilang. Di PT XYZ sendiri memiliki total 6 buah *furnace* tetapi yang beroperasi hingga saat ini hanya sebanyak 2 *furnace* yang digunakan dalam proses pengolahan *crude oil*. Kedua *furnace* ini memanfaatkan bahan bakar minyak (*fuel oil*) dan bahan bakar gas (fuel gas). Berdasarkan data yang diperoleh dari PT XYZ selama dua tahun terakhir menunjukkan bahwa rata-rata emisi tahunan dari unit *furnace* mencapai angka yang cukup signifikan emisi CO_2 sebesar 228.960 Mg/Nm³, NO_2 sebesar 105.687 Mg/Nm³, SO_2 sebesar 129.206 Mg/Nm³, CO sebesar 16.819 Mg/Nm³, dan partikulat sebesar 59.731 Mg/Nm³. Pada *furnace* 2 menghasilkan emisi CO_2 sebesar 217.800 Mg/Nm³, NO_2 sebesar 148.392 Mg/Nm³, SO_2 sebesar 74.547 Mg/Nm³, CO sebesar 19.404 Mg/Nm³, dan partikulat sebesar 72.014 Mg/Nm³. Emisi – emisi yang dihasilkan dari *furnace* ini cukup besar, tidak hanya dapat berpotensi merusak lingkungan, tetapi juga berisiko terhadap kesehatan pekerja dan masyarakat sekitar jika tidak dikelola dengan baik.

Setiap tahunnya, emisi udara diperkirakan berkontribusi terhadap sekitar 7 juta kematian dini di seluruh dunia, serta menyebabkan hilangnya jutaan tahun kehidupan sehat. Pada anak-anak, dampak ini dapat terlihat dari gangguan pada perkembangan dan fungsi paru-paru, peningkatan risiko infeksi saluran pernapasan, hingga memburuknya

gejala asma. Selain itu, bukti ilmiah juga mulai menunjukkan keterkaitan antara paparan polusi dengan penyakit seperti diabetes serta gangguan *neurodegeneratif* (World Health Organization, 2021). Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan bahwa sektor energi, termasuk industri Migas, merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca di Indonesia. Pada tahun 2016, emisi GRK dari sektor energi mencapai 506.473 ribu ton (CO_2e) (Kementerian ESDM, 2019). Gas CO_2 sendiri merupakan salah satu komponen utama dalam gas rumah kaca, diperkirakan sekitar 18,35 miliar ton CO_2 dilepaskan ke udara setiap tahunnya (Ulum, 2024). Akibatnya, efek gas rumah kaca menjadi berlebihan dan menyebabkan terjadinya suhu global naik (pemanasan global), yang berdampak pada perubahan iklim ekstrem, naiknya permukaan laut, serta terganggunya keseimbangan ekosistem (Irma & Gusmira, 2023). Pada emisi sulfur dioksida (SO_2) dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk iritasi pernapasan, serta berkontribusi terhadap pembentukan hujan asam dan kerusakan tanaman (Daffa & Ratni, 2024). Emisi gas buang seperti karbon monoksida (CO), dan nitrogen dioksida (NO_2) dapat menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi yang dikenal juga dengan pemanasan global (Machmud et., al, 2021).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai dampak lingkungan secara menyeluruh adalah *Life Cycle Assessment* (LCA). Metode LCA merupakan suatu pendekatan sistematis yang digunakan untuk menelusuri serta menghitung penggunaan material dan energi, guna mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari suatu proses (Yudha & Assomadi, 2022). Metode ini memungkinkan analisis kuantitatif terhadap berbagai tahapan siklus hidup suatu proses, termasuk dalam mengukur dan mengevaluasi dampak emisi dari peralatan *furnace*.

KAJIAN TEORITIS

Emisi Udara

Emisi udara / polusi udara terjadi akibat limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya, baik dalam bidang produksi maupun transportasi. Kegiatan ini mencakup pembakaran bahan bakar fosil pada industri, kendaraan bermotor, serta pemakaian produk yang mengandung zat kimia berbahaya (Zubaydah et al., 2024). Menurut Martono (2016), menjelaskan bahwa emisi gas pada industri minyak bumi secara umum berasal dari sumber-sumber pembakaran baik peralatan stasioner dan peralatan bergerak, proses emisi dan sumber terventilasi, sumber emisi fugitive, dan sumber tidak langsung. Sumber emisi dari kegiatan industri minyak dan gas bumi dari peralatan seperti mesin stasioner, pemanas, boiler, flare dan insinerator menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Jenis – jenis emisi udara diantaranya adalah karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_2), sulfur oksida (SO_2), karbon monoksida (CO), serta partikulat (PM).

Furnace

Furnace adalah peralatan yang umumnya digunakan di kilang minyak dan gas untuk memanaskan *crude oil* hingga mencapai temperatur yang dibutuhkan dalam proses pengolahan minyak bumi. *Furnace* memegang peran krusial dalam pengolahan minyak bumi karena berpengaruh langsung terhadap kualitas dan kuantitas produk akhir yang dihasilkan (Muhaimin, 2024). *Furnace* berfungsi sebagai perpindahan panas, *crude oil* yang sebelumnya memiliki suhu ±140°C dipanaskan menjadi ±330°C. Proses pemanasan ini bertujuan agar komponen-komponen dalam minyak mentah dapat dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Pada suhu-suhu tersebut sebagian fraksi – fraksi pada *crude oil* telah menguap kecuali residu.

Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment adalah metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari suatu proses tertentu sepanjang siklus hidupnya (Yudha & Fadli, 2022). Analisis LCA dimanfaatkan untuk mengidentifikasi besarnya konsumsi energi, biaya, serta dampak lingkungan yang muncul dari setiap tahapan siklus hidup produk, mulai dari proses pengambilan bahan baku hingga produk tersebut digunakan oleh konsumen. Tahapan – tahapan dalam melakukan pengukuran dampak lingkungan menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) terbagi menjadi 4, yaitu *Goal and Scope*, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan *Interpretation*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif, yaitu pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan atau mendeskripsikan fenomena tertentu secara numerik. Dalam metode ini, peneliti mengumpulkan data kuantitatif (berupa angka) dan menganalisisnya menggunakan statistik deskriptif seperti rata-rata, persentase, atau distribusi frekuensi. Objek penelitian ini adalah aktivitas proses produksi minyak dan gas bumi pada peralatan *furnace*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer dilakukan dengan melakukan wawancara secara langsung dengan pekerja yang ada di PT XYZ. Sedangkan, data sekunder didapatkan langsung dari PT XYZ, yaitu data tentang jumlah emisi yang dikeluarkan oleh peralatan *furnace* pada proses pengolahan minyak bumi

Pengolahan data dilakukan menggunakan software SimaPro dan menggunakan metode Eco indicator 99 dan CML – IA Baseline, kedua metode ini digunakan untuk menghitung dampak lingkungan yang dihasilkan dari emisi *furnace*. Lingkup analisis sistem proses adalah *gate to gate*, hanya berfokus pada peralatan *furnace*.

Output dari analisis LCA dimanfaatkan untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan guna menurunkan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data – data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Pada tabel 1 dan tabel 2 dilihat bahwa peralatan *furnace* menghasilkan beberapa senyawa emisi udara seperti SO_2, NO_2, CO_2, CO, dan partikulat (PM).

Tabel 1. Total Jumlah Emisi Udara *Furnace* 1

Emisi *Furnace* 1 (2023 – 2024)	
Parameter	Hasil (Mg/Nm^3)
Sulfur Dioksida (SO_2)	129.206
Nitrogen Dioksida (NO_2)	105.687
Karbon Dioksida (CO_2)	228.960
Karbon Monoksida (CO)	16.819

Partikulat	59.731

Tabel 2. Total Jumlah Emisi Udara *Furnace* 2

Emisi *Furnace* 2 (2023 - 2024)	
Parameter	Hasil (Mg/Nm^3)
Sulfur Dioksida (SO_2)	74.547
Nitrogen Dioksida (NO_2)	148.392
Karbon Dioksida (CO_2)	217.800
Karbon Monoksida (CO)	19.404
Partikulat	72.014

Bahan bakar yang digunakan pada peralatan *furnace* adalah *fuil oil*. *Fuil oil* yang digunakan pada peralatan *furnace* yang ada di PT XYZ adalah campuran antara solar dan residu, dengan perbandingan 70:30. Data bahan bakar yang dibutuhkan oleh *furnace* selama 1 hari dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah Bahan Bakar *Furnace* / Hari

Bahan Bakar	
Jenis Bahan Bakar	Jumlah / hari
Fuil Oil (Residu & Solar)	5 ton

Pengolahan *crude oil* yang ada di PT XYZ cukup besar, per harinya bisa mengolah hingga 280.000 – 300.000 L / hari.

Tabel 4. Jumlah Pengolahan *Crude oil* / Hari

Jumlah Pengolahan *Crude oil* / hari (Liter)
280.000 – 300.000 L

B. Pengolahan Data

Analisis *Life Cycle Assessment* dengan aplikasi SimaPro

1. Goal and Scoap

Pada tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang terjadi pada peralatan *furnace* pada proses produksi minyak bumi di PT XYZ. Pada penelitian ini, ruang lingkup yang dipilih adalah gate to gate yang hanya berfokus pada peralatan *furnace* proses produksi minyak bumi. Metode yang digunakan untuk menganalisis dampak yang terjadi adalah CML IA Baseline untuk pendekatan midpoint dan metode Eco Indicator 99 untuk pendekatan endpoint.

2. ***Life Cycle Inventory*** **(LCI)**

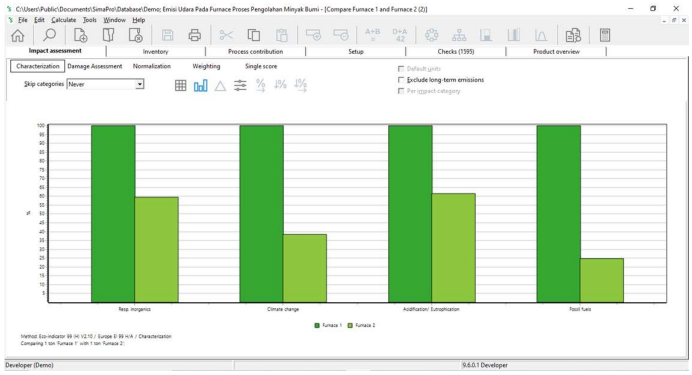
Dalam melakukan penilaian dampak dari proses yang dianalisis, dibutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan material antara data bahan baku yang digunakan dan data produk yang dihasilkan, energi yang digunakan, serta emisi yang dihasilkan. Data yang digunakan merupakan data produksi dalam 2 tahun, yang didapatkan dari PT XYZ. Tahapan terakhir dalam proses LCI adalah mengintegrasikan input bahan baku, proses produksi, dan emisi yang dihasilkan untuk membentuk suatu siklus hidup produk secara menyeluruh. Dari tahapan siklus tersebut nantinya akan diketahui proses yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan (Kautzar et al., 2015).

3. ***Life Cycle Impact Assessment*** **(LCIA)**

Pada tahap ini terbagi 4 penilaian dampak lingkungan, yaitu tahap karakterisasi, *damage assessment*, normalisasi, dan *single score*.

a. Tahap Karakterisasi (*characterization*)

Kategori pada karakterisasi / *characterization* lebih berorientasi pada masalah lingkungan tunggal (Utomo, 2020). Pada tahap ini akan dilakukan karakterisasi nilai-nilai dari *Life Cycle Inventory* sebelumnya ke dalam beberapa *environmental damage category* yang ada pada tiap metode yang dipilih (Bagaswara & Hadi, 2022).



Gambar 1. Diagram Karakterisasi Metode Eco Indicator 99

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa dampak dari *furnace* 1 lebih besar daripada *furnace* 2, hal ini dikarenakan pada *furnace* 1 lebih banyak melakukan pengolahan *crude oil* dibandingkan *furnace* 2.

Tabel 4. Penilaian Karakterisasi Metode Eco Indicator 99

Characterization	Unit	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Resp. inorganics	DALY	0,0000222	0,0000132
Climate Change	DALY	0,00000618	0,00000238
Acidification	PDF*m^{2}yr	0,82	0,504
Fossil fuels	MJ Surplus	625	154

Pada tabel 4 menunjukkan hasil keseluruhan penilaian dari 4 kategori dampak yang ditimbulkan. Penjelasan masing – masing dampak tersebut adalah

sebagai berikut.

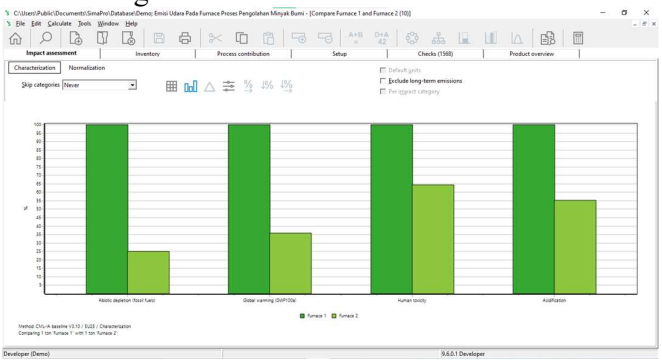
1. *Respiratory Inorganics* (Dampak sistem pernapasan akibat zat anorganik)
   Kategori ini mengukur dampak zat anorganik di udara (seperti partikulat, NO_2, SO_2, dan amonia) terhadap kesehatan manusia, khususnya gangguan pernapasan. Contoh emisi yang berkontribusi pada tahap ini yaitu NO_2 dan SO_2, dan partikulat. Satuan yang digunakan untuk meengukur dampak ini adalah DALY (*Disability-Adjusted Life Years*), yaitu satuan yang digunakan untuk mengukur beban penyakit akibat dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia. DALY mengukur jumlah tahun kehidupan sehat yang hilang karena penyakit, kecacatan, atau kematian dini akibat dampak lingkungan.
   Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa dampak *resp. inorganics* pada *furnace* 1 menghasilkan sebesar 0,0000222 DALY, yang berarti 0,0000222 tahun (±11,7 menit) kehidupan sehat yang dapat hilang dari seseorang. Sedangkan, pada *furnace* 2 menghasilkan sebesar 0,0000132 DALY, yang berarti 0,0000132 tahun (±6,93 menit) kehidupan sehat yang hilang dari seseorang. Hal ini disebabkan karena penyakit, kecacatan, atau kematian dini akibat dampak lingkungan yang ditimbulkan.
   Rumus untuk mengubah satuan DALY menjadi menit adalah sebagai berikut.
   - 1 DALY = 1 tahun kehidupan sehat yang hilang
   - 1 tahun = 365 hari x 24 jam x 60 menit = 525.600 menit

   Dari data diatas pada *resp. inorganics* menghasilkan sebesar 0,0000222 DALY, maka tinggal dikalikan: 0,0000222 x 525.600 = 11,7 menit.
2. *Climate Change* (Perubahan iklim)
   Kategori ini mengukur kontribusi terhadap pemanasan global, yang disebabkan oleh CO_2 dan mengakibatkan efek gas rumah kaca. Satuan yang digunakan untuk mengukur dampak ini DALY.
   Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa *furnace* 1 menghasilkan sebesar 0,00000618 DALY, yang berarti sekitar 0,00000618 tahun (±3,25 menit) kehidupan sehat yang yang hilang dari seseorang. Sedangkan, pada *furnace* 2 menghasilkan sebesar 0,00000238 DALY, yang berarti 0,00000238 tahun (±1,25 menit) kehidupan sehat yang hilang dari seseorang.
3. *Acidification* (Pengasaman)
   Kategori ini menghitung dampak emisi yang menyebabkan penurunan pH air dan tanah, atau dikenal sebagai hujan asam. Emisi yang mengakibatkan dampak ini yaitu SO_2 dan NO_2. Satuan PDF*m^2yr adalah yang digunakan untuk mengukur dampak ini. PDF*m2yr (Potentially Disappeared Fraction of species per square meter per year) adalah satuan yang menunjukkan berapa banyak spesies yang berpotensi hilang (punah sebagian) di suatu area seluas 1 meter persegi selama 1 tahun, akibat tekanan lingkungan seperti polusi, perubahan lahan, atau emisi zat beracun.
   Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa dampak lingkungan yang ditimbulkan dari *Furnace* 1 yaitu sebesar 0,820 PDF*m^2yr yang berarti menyebabkan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 0,820 m^2 dalam satu tahun. Sedangkan, pada *Furnace* 2 menghasilkan dampak sebesar 0,504 PDF*m^2yr yang berarti kerusakan ekosistem seluas 0,504 m^2 dalam satu tahun.

4. *Fossil fuels* (Penggunaan bahan bakar fosil)
   Kategori ini mengukur deplesi (pengurangan) sumber daya energi tak terbarukan, terutama bahan bakar fosil salah satunya minyak bumi. Emisi yang berkontribusi yaitu CO_2 dari proses pembakaran bahan bakar dan pengolahan *crude oil*.
   Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa dampak lingkungan yang ditimbulkan dari *Furnace* 1 yaitu sebesar 625 MJ Surplus, yang berarti sebanyak 625 megajoule jumlah energi yang hilang yang dibutuhkan untuk mengekstraksi suatu sumber daya alam. Sedangkan, pada *furnace* 2 menghasilkan dampak sebesar 154 MJ Surplus.

Berikut adalah nilai dampak yang dihasilkan pada tahap karakterisasi metode CML – IA Baseline, dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Diagram Karakterisasi Metode CML – IA Baseline



Tabel 5. Penilaian Karakterisasi Metode CML – IA Baseline

Characterization	Unit	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Abiotic depletion	MJ	4.390	1.100
Global Warming	kg CO_2 eq	32,3	11,6
Human Toxicity	kg 1,4-DB eq	105	67,3
Acidification	kg SO_2 eq	0,282	0,156

Pada tabel 5 menunjukkan hasil keseluruhan penilaian karakterisasi dari 4 kategori dampak yang ditimbulkan. Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa terdapat 4 dampak yang terjadi, yaitu *Abiotic depletion*, *Global Warming*, *Human Toxicity*, dan *Acidification*.

1. *Abiotic depletion* (*Fossil fuels*)
   Dampak ini mengukur pengurangan sumber daya alam tak terbarukan (non-renewable) seperti logam, mineral, dan bahan bakar fosil. Pada kategori ini *furnace* 1 menghasilkan dampak sebesar 4.390 MJ. Sedangkan, *furnace* 2 sebesar 1.100 MJ.
2. *Global Warming*
   Dampak ini mengukur kontribusi gas rumah kaca terhadap pemanasan global. Gas-gas seperti CO_2, NO_2 dinilai berdasarkan efeknya memerangkap panas di atmosfer. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan suhu global. Pada kategori

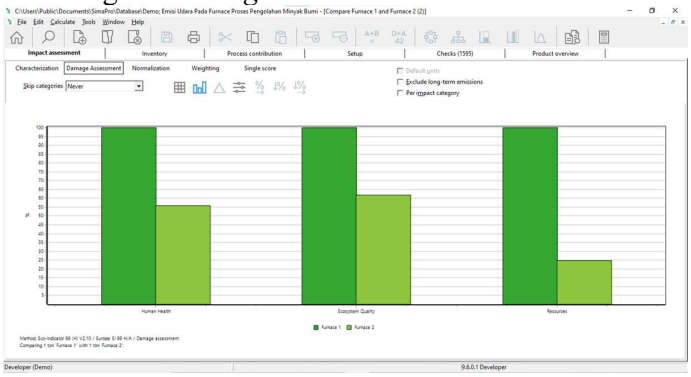
ini *furnace* 1 menghasilkan dampak sebesar 32,3 kg CO_2 eq. Sedangkan, *furnace* 2 sebesar 11,6 kg CO_2 eq.

3. *Human Toxicity*
   Mengukur potensi zat beracun dari emisi (ke udara, air, tanah) terhadap kesehatan manusia. Pada kategori ini *furnace* 1 menghasilkan dampak sebesar 105 kg 1,4-DB eq. Sedangkan, *furnace* 2 sebesar 67,3 kg 1,4-DB eq.
4. *Acidification*
   Dampak ini menghitung dampak emisi yang menyebabkan penurunan pH air dan tanah, atau dikenal sebagai hujan asam. Emisi yang mengakibatkan dampak ini yaitu SO_2 dan NO_2. Pada kategori ini *furnace* 1 menghasilkan dampak sebesar 0,282 kg SO_2 eq. Sedangkan, *furnace* 2 sebesar 0,156 kg SO_2 eq.

b. Tahap *Damage assessment*

Analisis *damage assessment* dilakukan untuk menilai tingkat kerusakan yang ditimbulkan berdasarkan hasil dari tahap karakterisasi. Hasil dari analisis ini dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan guna meningkatkan kondisi lingkungan (Bendiyasa et al., 2023).

Gambar 3. Diagram *Damage assessment* Metode Eco Indicator 99



Tabel 6. Penilaian *Damage assessment* Metode Eco Indicator 99

Damage assessment	Unit	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Human health	DALY	0,0000314	0,0000176
Ecosystem quality	PDF*m^2yr	0,931	0,577
Resources	MJ Surplus	625	154

Pada gambar 3 dan tabel 6 dapat dilihat bahwa terdapat 3 dampak yang terjadi, *human health*, *ecosystem quality*, dan *resources*.

1. *Human health*
   Kategori ini mengukur kerusakan terhadap kesehatan manusia akibat paparan zat berbahaya dari lingkungan, biasanya dihitung dalam satuan DALY. Dampak *human health* pada *furnace* 1 sebesar 0,0000314 DALY, yang berarti 0,0000314 tahun (±16,9 menit) kehidupan sehat yang yang hilang dari seseorang. Sedangkan, pada *furnace* 2 menghasilkan sebesar 0,0000176

DALY, yang berarti 0,0000176 tahun (±9,25 menit) kehidupan sehat yang hilang dari seseorang.

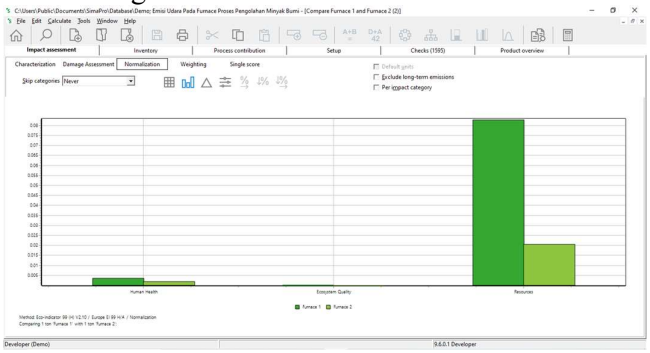
2. *Ecosystem quality*
   Mengukur kerusakan terhadap ekosistem alam (hutan, sungai, laut), dalam hal kehilangan spesies, gangguan rantai makanan, atau kematian makhluk hidup. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari *Furnace* 1 yaitu sebesar 0,931 PDF*m^2yr yang berarti menyebabkan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 0,931 m2 dalam satu tahun. Sedangkan, pada *Furnace* 2 menghasilkan dampak sebesar 0,577 PDF*m^2yr yang berarti kerusakan ekosistem seluas 0,577 m2 dalam satu tahun.
3. *Resources*
   Mengukur kerusakan akibat penggunaan sumber daya alam tak terbarukan seperti bahan bakar fosil dan mineral. Pada kategori *resources* dampak lingkungan yang ditimbulkan dari *Furnace* 1 yaitu sebesar 625 MJ Surplus, yang berarti sebanyak 625 megajoule jumlah energi yang hilang yang dibutuhkan untuk mengekstraksi suatu sumber daya alam. Sedangkan, pada *furnace* 2 menghasilkan dampak sebesar 154 MJ Surplus.

c. Tahap Normalisasi (*Normalization*)

Dampak yang ditimbulkan dari proses produksi minyak bumi akan dikonversi ke dalam satuan yang seragam pada tahap normalisasi. Tahapan ini bertujuan untuk menyeragamkan satuan menjadi satu unit yang sama, yaitu satuan per tahun, untuk setiap jenis dampak lingkungan yang telah dikelompokkan ke dalam tiga kategori pada hasil output dari damage assessment.

.

Gambar 4. Diagram Normalisasi Metode Eco Indicator 99



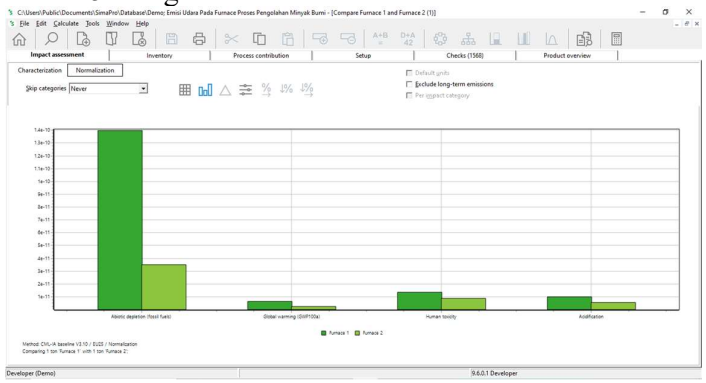
Tabel 7. Penilaian Normalisasi Metode Eco Indicator 99

Normalization	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Human health	0,0358	0,002
Ecosystem quality	0,000163	0,000101
Resources	0,828	0,0204

Pada gambar 4 dan tabel 7 dapat dilihat bahwa setelah dilakukan normalisasi mengalami penurunan dampak terhadap lingkungan. Hal ini disebabkan karena penurunan nilai yang terlihat setelah proses normalisasi bukan menunjukkan bahwa dampaknya benar-benar berkurang, melainkan karena nilai tersebut telah dikonversi menjadi bentuk perbandingan relatif terhadap standar referensi lingkungan yang lebih besar. Dengan demikian, normalisasi bertujuan untuk memberikan perspektif yang lebih bermakna terhadap hasil evaluasi lingkungan, terutama dalam konteks penentuan prioritas dan pengambilan kebijkan.

Diagram normalisasi menggunakan metode CML – IA Baseline dapat dilihat pada gambar 5.

Gambar 5. Diagram Normalisasi Metode CML – IA Baseline



Tabel 8. Penilaian Normalisasi Metode CML – IA Baseline

Normalization	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Abiotic depletion	1,4E-10	3,5E-11
Global Warming	6,42E-12	2,3E-12
Human Toxicity	1,35E-11	8,68E-12
Acidification	1E-11	5,6E-12

Pada gambar 5 dan tabel 8 dapat dilihat bahwa kategori tertinggi setelah dilakukan normalisasi terdapat pada *Abiotic depletion* (*Fossil fuels*). Dampak pada *Abiotic depletion* dari *furnace* 1 yaitu sebesar 1,4E-10, sedangkan pada *furnace* 2 sebesar 3,5E-11. Penjelasannya adalah sebagai berikut.

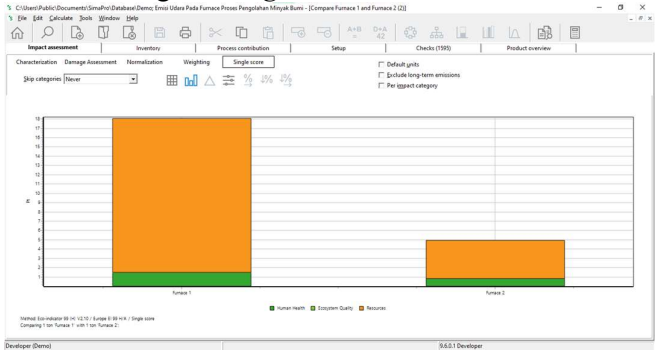
a. Dampak *Global Warming* dari *furnace* 1 yaitu sebesar 6,42E-12, sedangkan pada *furnace* 2 sebesar 2,3E-12.
b. Dampak *Human Toxicity* pada *furnace* 1 sebesar 1,35E-11, sedangkan pada *furnace* 2 sebesar 8,6E-12.
c. Dampak *acifidication* pada *furnace* 1 sebesar 1E-11, sedangkan pada *furnace* 2 sebesar 5,6E-12.

d. *Single score*

Tahap *single score* tidak memberikan perubahan pada perhitungan maupun nilai dari tahap pembobotan. Tahap *single score* menitik beratkan pada dampak yang

ditimbulkan dari masing-masing unit proses dalam satu sistem yang dianalisis untuk mengetahui unit yang memiliki nilai dampak terbesar terhadap lingkungan.

Gambar 6. Diagram *Single score* Metode Eco Indicator 99



Tabel 9. Penilaian *Single score* Metode Eco Indicator 99

Single score	Unit	*Furnace* 1	*Furnace* 2
Human health	Pt	1,43	0,801
Ecosystem quality	Pt	0,0651	0,0403
Resources	Pt	16,6	4,09
Total	Pt	18,1	4,93

Dari gambar 6 dan tabel 9 dapat dilihat bahwa dampak terbesar adalah terdapat pada bagian *resources*. Pada *furnace 1* bernilai 16,6 Pt dan *furnace* 2 bernilai 4,09. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan bakar berasal dari minyak bumi sehingga menyebabkan pencemaran yang besar terhadap lingkungan. Satuan yang digunakan pada tahap ini adalah Pt (*point*). Satuan ini bersifat abstrak dan tidak merujuk pada satuan fisik seperti kilogram atau liter. Pt adalah satuan indeks yang menggambarkan besarnya dampak lingkungan dalam bentuk angka poin yang terstandarisasi.

4. Rekomendasi Perbaikan

Berikut merupakan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi dampak emisi udara yang dihasilkan oleh *furnace*.

a. Pemasangan Alat Penangkap Emisi (*Electrostatic Precipitator*)

Electrostatic Precipitator (ESP) efektif mengurangi kandungan partikulat dari emisi udara yang dihasilkan oleh *furnace*. ESP merupakan sebuah teknologi yang digunakan untuk menangkap partikel padat seperti debu dan abu dengan memanfaatkan prinsip kerja elektrostatis. Mekanisme utamanya adalah menahan partikel-partikel halus hasil pembakaran melalui pemberian arus listrik searah (DC) dengan tegangan tinggi pada kawat elektroda yang bermuatan negatif. Proses ini menyebabkan abu/debu/partikel padat bermuatan negatif. Abu/debu/partikel padat yang bermuatan negatif akan

terikat oleh plat-plat yang bermuatan positif sehingga gas yang keluar ke atmosfer dari cerobong asap bersih (Sutrisno & Meilasari, 2024).

b. Optimasi sistem pembakaran *Furnace*
Pada peralatan *furnace* kandungan CO_2, NO_2 dan CO terbilang cukup tinggi, hal ini salah satunya disebabkan karena pembakaran yang tidak tidak sempurna. Dengan mengatur ulang suhu dan komposisi udara-bahan bakar (stoikiometri), efisiensi pembakaran bisa ditingkatkan. Perbaikan yang akan terjadi yaitu menurunnya kadar CO_2, NO_2 dan CO, serta efisiensi energi meningkat. Emisi gas rumah kaca juga bisa ditekan karena pembakaran jadi lebih sempurna.

KESIMPULAN

1. Dampak lingkungan dari emisi udara peralatan *furnace* di PT XYZ yang dianalisis menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pendekatan Eco Indicator 99 dan CML-IA Baseline menunjukkan bahwa kategori dampak utama berasal dari proses pembakaran pada *furnace* yang menghasilkan emisi seperti CO_2, CO, NO_2, SO_2 dan partikulat. Emisi ini memberikan kontribusi signifikan terhadap kategori dampak seperti perubahan iklim (*Climate Change*), pencemaran udara, dan kerusakan ekosistem. Hasil dari metode Eco Indicator 99 menunjukkan bahwa dampak dominan terdapat pada kategori *human health*, diikuti oleh *ecosystem quality*, dan *resources*, yang menunjukkan bahwa operasional *furnace* berisiko tinggi terhadap kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. Sedangkan, pada metode CML-IA Baseline, emisi udara dari *furnace* secara signifikan berkontribusi terhadap *Global Warming potential* (GWP), *Acidification*, dan *Human Toxicity*, yang memperkuat temuan bahwa sumber emisi utama berasal dari konsumsi bahan bakar fosil dengan efisiensi rendah.
2. Setelah dilakukan perhitungan seluruh kategori dampak lingkungan menunjukkan bahwa *furnace* 1 memiliki kontribusi emisi udara terbesar terhadap lingkungan dibandingkan *furnace* 2.
3. Rekomendasi pengendalian dampak lingkungan dari hasil analisis yaitu dengan menggunakan alat *Electrostatic Precipitator* dan Optimasi Sistem Pembakaran pada *furnace*.

DAFTAR REFERENSI

Ali, M.R.M., Suparno, S. and Listanti, A. (2024) 'Pengaruh Durasi Paparan Sansevieria trifasciata Terhadap Penurunan Kandungan Karbon Dioksida (CO_2) Dalam Ruangan', *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(3), pp. 320–325. Available at: https://doi.org/10.14710/jkli.23.3.320-325.

Bagas, P. and Aussie, A. (2023) *Metode Life Cycle Assessment (LCA) Sebagai Penilaian Terhadap Dampak Lingkungan pada Proses Produksi Pupuk ZA II Petrokimia Gresik*, *Environmental Science and Engineering Conference*.

Esfandeh, S. (2024) *Practical scenarios for modification of Japan 2030 electricity generation plan relying on Life Cycle Assessment (LCA) method to evaluate*

greenhouse gas mitigation and achieve maximum avoided CO 2 emission. Available at: https://ssrn.com/abstract=4956884.

Febriani Irma, M. and Gusmira, E. (2024) *Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca Di Indonesia*.

Irawati, R., Joko, T. and Raharjo, M. (2024) 'Penerapan Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Dalam Pengelolaan Limbah Medis Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Literatur)', *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(21), pp. 743–753. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.14504446.

Linares, R. *et al.* (2024) *Implementing Sustainable Practices in Olive Oil Production Using Life Cycle Assessment (LCA)*.

Maisarah, M. and Dian, R. (2024) 'Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Dalam Penilaian Dampak Lingkungan Industri Kelapa Sawit Untuk Kelapa Sawit Berkelanjutan', *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 2(1), pp. 15–23. Available at: https://doi.org/10.56211/tabela.v2i1.452.

Muhaimin, M.H. (2024) 'Evaluasi Efisiensi *Furnace* 01 Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PT XYZ Cepu)', *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 14(1), pp. 39–48. Available at: https://doi.org/10.37525/sp/2024-1/504.

Maisarah, M. and Dian, R. (2024) 'Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) Dalam Penilaian Dampak Lingkungan Industri Kelapa Sawit Untuk Kelapa Sawit Berkelanjutan', *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 2(1), pp. 15–23. Available at: https://doi.org/10.56211/tabela.v2i1.452.

Muhaimin, M.H. (2024) 'Evaluasi Efisiensi *Furnace* 01 Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu (PT XYZ Cepu)', *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 14(1), pp. 39–48. Available at: https://doi.org/10.37525/sp/2024-1/504.

Naufal, C.A., Wahyudianto, F.E. and Kuncoro, E.P. (2023) *Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Proses Produksi Gula Dengan Metode Life Cycle Assessment*. Available at: http://envirotek.upnjatim.ac.id/.

Saraswati, T.C. and Abdu Fadli, A. (2023) *Kajian Dampak Emisi Udara Terhadap Lingkungan Pada Proses Produksi Minyak Dan Gas Bumi Di PT. X Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*.

Suhariyanto, T.T. *et al.* (2023) *Penerapan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Pada Proses Produksi Downlight Aluminium (Studi Kasus Di UPT Logam Yogyakarta)*, *JITMI*.

Sutrisno, H. and Meilasari, F. (2024) *Teknologi Pengolahan Emisi dengan Menggunakan Electrostatic Presipitator (ESP)*, *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*.

Ulum, A.M. (2024) *Pemanasan Global: Penyebab, Dampak, dan Upaya Penanggulangannya*, *Jetrin Journal of Research Trends in Education*.

Yudha, A. and Assomadi, A.F. (2022) *Kajian Dampak Emisi Udara Pada Produksi Minyak Bumi Di Perusahaan 'A' Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*.