

## EVALUASI DAMPAK LINGKUNGAN PRODUKSI FERONIKEL DENGAN PENDEKATAN LCA DI PT. BMS

Hidayat Leoanak<sup>1)</sup>, Lamatinulu<sup>2)</sup>, Taufik Nur<sup>3)</sup>

<sup>123)</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email : [hidayatleoanak15@gmail.com](mailto:hidayatleoanak15@gmail.com)<sup>1)</sup>, [lamatinulu@umi.ac.id](mailto:lamatinulu@umi.ac.id)<sup>2)</sup>, [taufik.nur@umi.ac.id](mailto:taufik.nur@umi.ac.id)<sup>3)</sup>

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima:  
16/07/2024

Diperbaiki:  
09/08/2024

Disetujui:  
29/08/2024

Diterbitkan:  
30/09/2024

### ABSTRAK

**Tujuan:** Mengetahui dampak yang dihasilkan dari proses produksi feronikel, serta mengusulkan rekomendasi pengelolaan untuk mengurangi dampak yang dihasilkan dari proses produksi feronikel.

**Desain/Metodologi/Pendekatan:** Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk mengetahui nilai dampak lingkungan pada proses produksi feronikel *gate to gate*.

**Temuan/Hasil:** Hasil dari penelitian ini menunjukkan 4 *impact category human Health* dan 3 *impact category ecosystem quality*. *category human health* yang memiliki dampak terbesar adalah *respiratory inorganics* dengan satuan DALY sebesar 0,00426 untuk *impact category ecosystem quality* dengan satuan PAF\*m2yr sebesar 9,97E5.

**Dampak:** penerepan hasil penelitian di PT. bumi mineral sulawesi diharapkan dapat mengurangi jumlah partikel debu dan mengoptimalkan sistem operasional serta melakukan pengurangan energi.

**Kesimpulan:** dari penelitian ini menunjukkan 4 *impact category human Health* dan 3 *impact category ecosystem quality*. *category human health* yang memiliki dampak terbesar adalah *respiratory inorganics* dengan satuan DALY sebesar 0,00426 untuk *impact category ecosystem quality* dengan satuan PAF\*m2yr sebesar 9,97E5. Hal ini disebabkan pada 5 proses produksi feronikel *gate to gate* menggunakan meterial yang menghasilkan limbah dan emisi yang dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan.

**Kata kunci:** *Gate To Gate* Feronikel, Emisi, Limbah B3, LCA.



DOI: <https://doi.org/10.3926/japsi.v3i1.1617>

2024 The Author(s). This open-access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license.

Situs web: <https://jurnal.fti.umi.ac.id/index.php/JAPSI>

### 1. PENDAHULUAN

Industri feronikel merupakan salah satu sektor strategis yang mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia, terutama karena perannya dalam memenuhi kebutuhan bahan baku logam seperti stainless steel (Hendrik et al., 2024). Namun, produksi feronikel menghadirkan tantangan besar terhadap keberlanjutan lingkungan. Aktivitas industri ini menghasilkan berbagai dampak, seperti emisi gas rumah kaca, limbah padat, dan konsumsi energi tinggi (Cahyani, 2023). Tantangan utama bagi produsen adalah memastikan bahwa proses produksi tidak hanya berorientasi pada keuntungan finansial, tetapi juga bertanggung jawab terhadap masyarakat dan lingkungan sebagaimana diungkapkan dalam konsep pembangunan berkelanjutan (Asri & Sinardi, 2024; Mail et al., 2019; Nur et al., 2023). Dengan penerapan strategi produksi yang berkelanjutan, industri feronikel tidak hanya dapat mendukung

pertumbuhan ekonomi, tetapi juga memitigasi dampak negatifnya terhadap lingkungan, sekaligus menjamin keberlanjutan sumber daya bagi generasi mendatang (Sudaryanto et al., 2024).

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan nikel terbesar di dunia. Sumber daya nikel ini menjadi aset penting yang harus dikelola dengan bijak karena sifatnya yang tidak terbarukan (Nasution et al., 2024). Pemerintah telah memberlakukan kebijakan strategis yang melarang ekspor bijih nikel dengan kadar rendah untuk memastikan pasokan bahan baku smelter domestik tetap terjaga (Adiansyah, 2023). Pertumbuhan permintaan stainless steel secara global semakin mendorong perkembangan industri feronikel, namun hal ini menuntut evaluasi dampak lingkungan yang komprehensif (Santoso et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis seperti *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengidentifikasi dan memitigasi dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup produksi feronikel, sehingga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan di Indonesia (Corominas et al., 2020; Kusriani et al., 2020; Pandiyaswargo et al., 2021).

Pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya, mulai dari pengambilan bahan baku, produksi, distribusi, hingga tahap akhir (Hasan et al., 2024; Lamatinulu et al., 2021; Prasad et al., 2020). Dalam konteks industri feronikel, LCA dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai sumber emisi dan konsumsi energi pada setiap tahap proses produksi. Dengan menggunakan LCA, pelaku industri dapat mengidentifikasi peluang untuk mengurangi dampak lingkungan, misalnya dengan mengoptimalkan teknologi, menggunakan energi terbarukan, atau mendaur ulang limbah (Ahmad et al., 2023; Fuchsl et al., 2022; Malik et al., 2021).

PT. Bumi Mineral Sulawesi (PT. BMS) merupakan salah satu perusahaan terkemuka di Indonesia yang bergerak di sektor pertambangan dan pengolahan nikel, dengan fokus utama pada produksi feronikel. Perusahaan ini memanfaatkan potensi nikel yang melimpah di Sulawesi untuk memenuhi kebutuhan industri stainless steel, yang memiliki permintaan tinggi di pasar global. Sebagai bagian dari upaya hilirisasi, PT. BMS berperan penting dalam mengolah bijih nikel menjadi feronikel yang bernilai tambah tinggi. Meskipun memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional, kegiatan produksi feronikel membawa dampak lingkungan yang cukup besar. Proses produksi yang intensif mengeluarkan emisi gas rumah kaca, limbah padat, serta memerlukan konsumsi energi yang sangat tinggi. Oleh karena itu, penting bagi PT. BMS untuk mengidentifikasi dan mengurangi dampak negatif tersebut, agar operasional perusahaan tidak hanya menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga berkelanjutan dari sisi lingkungan (Fole, 2022; Fole & Kulsaputro, 2023). Evaluasi dampak lingkungan melalui pendekatan LCA menjadi alat yang efektif untuk menilai dan meminimalkan dampak lingkungan yang dihasilkan oleh proses produksi feronikel, sekaligus memberikan gambaran yang lebih komprehensif terkait efisiensi sumber daya dan teknologi yang digunakan dalam proses tersebut.

Penerapan pendekatan LCA pada PT. Bumi Mineral Sulawesi sangat relevan untuk menilai secara holistik dampak lingkungan yang timbul dari seluruh siklus hidup produksi feronikel. LCA merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan mulai dari tahap ekstraksi bahan baku, proses produksi, hingga distribusi dan pembuangan limbah (Ben-Alon et al., 2021). Dalam konteks PT. BMS, LCA dapat memberikan informasi mendalam mengenai emisi gas rumah kaca, penggunaan energi, serta potensi pengelolaan limbah yang dihasilkan dari proses produksi feronikel. Dengan mengevaluasi dampak lingkungan pada setiap tahap, PT. BMS dapat mengidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan perbaikan dan inovasi, baik dalam hal efisiensi energi, penggunaan bahan baku, maupun pengelolaan limbah (Karkour et al., 2021). Selain itu, penerapan LCA juga mendukung upaya perusahaan dalam memenuhi standar keberlanjutan yang semakin diperketat, baik di tingkat nasional maupun internasional (Maury et al., 2020). Dengan hasil evaluasi dari LCA, PT. BMS dapat merumuskan strategi yang lebih tepat untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan berkontribusi pada upaya pembangunan industri yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari proses produksi feronikel di PT. Bumi Mineral Sulawesi dengan menggunakan pendekatan LCA. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis berbagai dampak lingkungan yang timbul sepanjang siklus hidup produk feronikel, mulai dari tahap ekstraksi bijih nikel, pengolahan, hingga pembuangan limbah dan emisi yang dihasilkan. Melalui LCA, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai efisiensi penggunaan energi, emisi gas rumah kaca, serta pengelolaan limbah

dalam proses produksi feronikel. Hasil dari evaluasi ini akan digunakan untuk merumuskan rekomendasi strategis yang dapat membantu PT. BMS dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, sekaligus meningkatkan keberlanjutan operasional perusahaan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mendukung upaya PT. BMS dalam mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan lingkungan dalam setiap aspek produksi mereka.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan deskriptif kuantitatif dalam menyelesaikan permasalahan yang dilakukan pada PT Bumi Mineral Sulawesi (BMS) Kab Luwu, yang terletak di Desa bukit harapan, Kecamatan Bua, Provinsi Sulawesi Selatan. Jangka waktu penelitian yang akan dilaksanakan kurang lebih selama satu bulan. Proses analisis data dibagi menjadi dua tahapan yaitu pengumpulan data dan analisis data.

### 2.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan membagi kategori data dalam data primer berupa observasi, wawancara, dan melakukan pengumpulan data langsung pada PT. BMS berupa raw material yang digunakan, kebutuhan air, kebutuhan listrik, bahan bakar cair/padat, emisi udara dan limbah yang dihasilkan. Sedangkan data sekunder berupa hasil penelitian atau informasi dalam tinjauan pustaka pada artikel, makalah, dan penelitian dalam menunjang proses penyelesaian permasalahan di perusahaan.

### 2.2 Metode Analisis

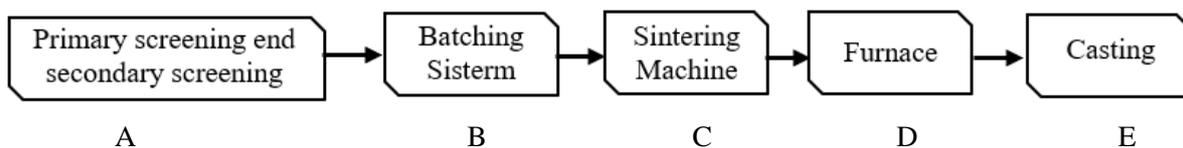
Penentuan metode analisis dilakukan dalam menyelesaikan evaluasi dampak lingkungan produksi feronikel dengan pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)*. Adapun tahapan dalam proses penyelesaian hasil analisis adalah sebagaiberikut.

- Penetapan Tujuan dan Ruang Lingkup menetapkan tujuan dari studi LCA dan batasan ruang lingkungnya, termasuk sistem produk dan batasan sistem.
- Life cycle inventory (LCI)* Mengumpulkan data tentang input (seperti bahan baku, energi) dan output (seperti limbah, emisi) selama siklus hidup produk.
- Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* Menghitung dampak lingkungan berdasarkan data inventarisasi. Ini melibatkan mengonversi data inventarisasi menjadi indikator dampak lingkungan seperti pemanasan global, penipisan ozon, dan lain-lain.
- Interpretasi menganalisis hasil LCIA untuk menarik kesimpulan dan membuat rekomendasi berdasarkan hasil.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Goal And Scope

Tujuan goal and scope untuk menganalisis dampak yang di timbulkan dari proses produksi feronikel (*gate to gate*) di PT. BMS. Tujuan dari melaksanakan penelitian menggunakan *eco indicator 99 EI*. metode *eco indicator 99 EI* merupakan pendekatan yang lebih lengkap serta menyeluruh jika dibandingkan dengan pendekatan lainnya dalam mengevaluasi dampak yang dihasilkan dari proses produksi feronikel terhadap lingkungan.



Gambar 1. Batasan Proses Produksi Feronikel (*gate to gate*)

Sumber : data diperoleh di PT. BMS (2024)

Pada gambar 1 diatas, dapat dilihat bahwa hasil penentuan *goal and scope* telah ditentukan terbagi menjadi 5 pada proses produksi feronikel di PT. Bumi Mineral Sulawesi. Ruang lingkup pada penelitian ini adalah *gate to gate* yang dimana analisis LCA ini hanya berfokus pada proses produksi feronikel saja. Unit fungsional yang digunakan dalam analisis yaitu 1000 Kg/ton.

### 3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Life cycle inventory dalam penelitian ini terbagi dalam 5 proses mulai dari Primary screening dan secondary screening sampai casting, serta seluruh bagian LCI akan meliputi tahapan proses. Pada tahap ini digunakan untuk mengetahui input material dan energi yang digunakan, serta emisi dan limbah yang dihasilkan dari proses produksi feronikel (*gate to gate*), setelah mengetahui *raw material* yang digunakan dan emisi serta limbah yang dihasilkan pada produksi feronikel (*gate to gate*) selanjutnya akan dianalisis kedalam *software SimaPro*.

Table 1. Hasil Penentuan Life Cycle Inventory (LCI)

Raw Material	Total	Satuan	Raw Material	Total	Satuan
Nickel ore	33,6	Kg	<b>Kebutuhan BB Padat :</b>		
Coal bituminous	21,1	Kg	Coal Bituminous	198	Kg
Limestone	8,8	Kg	<b>Emisi ke udara :</b>		
Titanium ore	16	Kg	Nickel refinery dust	1,5	Kg
Copper ore	6,7	Kg	Particulates spm	37,22	Kg
Leterite	23,9	Kg	Carbon dioxide	11,3	Kg
Iron ore	8,8	Kg	Nitrogen dioxide	95,8	Kg
Sinter product	23	kg	Sulfur dioxide	128,1	Kg
Fluorine	1	Kg	<b>Emisi Ke Air :</b>		
Clay	2,6	Kg	Organic substances, unspecified	24,9	Kg
Carbon	2,4	Kg	<b>Emisi Ke Tanah :</b>		
<b>Kebutuhan Air :</b>	62,6	m3	Cadium	7	Kg
<b>Kebutuhan energi listrik :</b>	225	kwh	Chromium	7,1	Kg
<b>Kebutuhan BB cair :</b>			<b>Limbah Yang Dihasilkan :</b>		
Diesel	20,1	Kg	Slag (terak)	660	Kg

Sumber : data diolah (2024)

Pada tabel 1 diatas, dapat dilihat bahwa data yang telah didapatkan di PT. bumi mineral Sulawesi berupa data material berupa raw material, kebutuhan air, kebutuhan energi listrik, bahan bakar cair dan padat, serta emisi udara, air, dan tanah, dan data limbah.

### 3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahapan ketiga yaitu LCIA adalah untuk melakukan penilaian dampak yang dihasilkan dari proses produksi feronikel (*gate to gate*) terhadap lingkungan sekitar. Beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian ini di lakukan penilaian dampak yaitu *characterization*, *normalization*, dan *single score*.

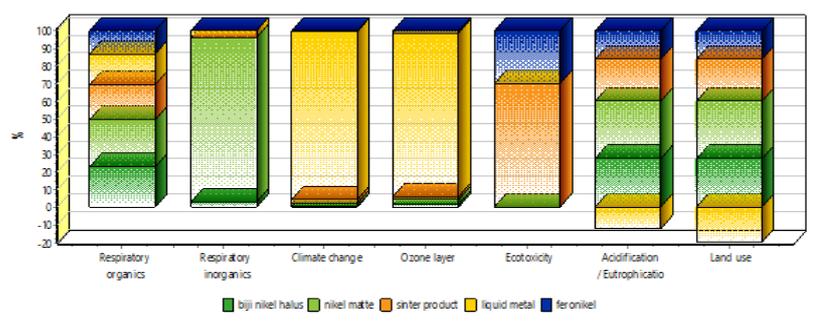
1. *Characterization* atau karakterisasi adalah proses untuk melakukan perbandingan dari hasil LCI setiap kategori yang ada. Metode dampak yang digunakan untuk menilai analisis dampak adalah metode *Eco Indicator 99* (EI 99). Terdapat 11 kategori pada metode EI 99 untuk mempermudah analisis pemilihan kategori akan dimeminalisir menjadi 7 kategori yaitu *Respiratory organics*, *Respiratory inorganics*, *Climate change*, *Ecotoxicity*, *Acidification/Eutrophication*, *land use*.

Tabel 2. Hasil Characterization Dampak Lingkungan

No	Impact category	Unit	Total
1.	Respiratory organics	DALY	1,71E-7 (0,000000171)
2.	Respiratory inorganics	DALY	0,00426
3.	Climate change	DALY	0,000125
4.	Ozone layer	DALY	1,28E-8 (0,0000000128)
No	Impact category	Unit	Total
1.	Ecotoxicity	PAF*m2yr	9,97E5 (99700)
2.	Acidification/Eutrophication	PDF*m2yr	0,27
3.	land use	PDF*m2yr	0,291

Sumber : data diperoleh dari hasil SimaPro (2024)

- DALY (*Disability Adjusted Life Year*): Satu DALY merupakan hilangnya hidup sehat dalam satu tahun.
- PAF\*m2yr (*Population Attributable Fraction*) menunjukkan persentase spesies terpapar konsentrasi berdasarkan *No Observed Effect Concentration* (NOEC).
- PDF\*m2yr (*Potentially Disappeared Fraction of Species per square meter per kg emisi*): Kerusakan ekosistem atau spesies seluas 1m<sup>2</sup> yang ada di permukaan bumi dalam waktu 1 tahun.



Gambar 2. Hasil *Characterization* Dampak Lingkungan  
Sumber: *SimaPro* (2025)

2. Normalization atau normalisasi merupakan tahap yang di mana dampak keseluruhan yang sudah dinilai akan dilakukan perbandingan dan disederhanakan yang dibuat atas dasar ukuran yang sama. Tujuan penilaian yaitu agar mendapatkan nilai komparatif yang sama untuk masing-masing jenis dampak yang ada sehingga memudahkan saat interpretasi yang lebih lanjut.

Tabel 3. Hasil *Normalization* Seluruh *Impact Category* Dampak Lingkungan

No	<i>Impact Category</i>	Total
1	<i>Respiratory organics</i>	1,93E-5 (0,0000193)
2	<i>Respiratory inorganics</i>	0,483
3	<i>Climate change</i>	1,0141
4	<i>Ozone layer</i>	1,45E-6 (0,00000145)
5	Ecotoxicity	17,4
6	<i>Acidification/Eutrophication</i>	4,73E-5 (0,0000473)
7	<i>land use</i>	5,09E-5 (0,0000509)

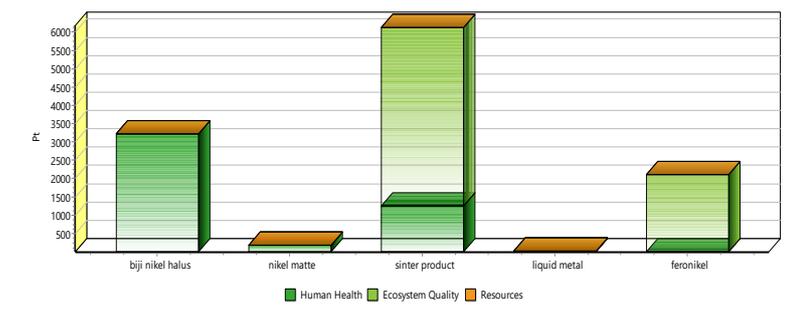
Sumber: *SimaPro* (2024)

3. Tahap single score seluruh *impact category* akan dikelompokkan berdasarkan *damage category*. Berdasarkan metode EI 99, *impact category* dari setiap kategori akan menghasilkan 3 *damage category* yaitu human health, ecosystem quality, dan resources. Pada tahapan ini akan memperlihatkan nilai yang dihasilkan dari masing masing proses terhadap *damage category*.

Tabel 4. Hasil *Single Score* Dampak Lingkungan

No	<i>Impact Category</i>	Unit	Total
1	<i>Respiratory organics</i>	DALY	1,71E-7 (0,000000171)
2	<i>Respiratory inorganics</i>	DALY	0,00426
3	<i>Climate change</i>	DALY	0,000125
4	<i>Ozone layer</i>	DALY	1,28E-8 (0,0000000128)
5	Ecotoxicity	PAF*m2yr	9,97E5 (99700)
6	<i>Acidification/Eutrophication</i>	PDF*m2yr	0,27
7	<i>land use</i>	PDF*m2yr	0,291

Sumber : *SimaPro* (2024)



Gambar 3. Hasil Single Score Dampak Lingkungan  
Sumber: SimaPro (2024)

### 3.4 Analisis Dampak Lingkungan Pada Setiap Damage

*Damage Assessment* kategori Human health. Pada kategori human health terdapat 4 jenis impact category yaitu, resp.organics, resp.inorganics, climate change, dan ozone layer. Unit yang digunakan pada kategori ini yaitu DALY (*Disabilty Adjusted Life years*), yang memiliki arti jumlah tahun yang hilang disebabkan gangguan kesehatan, cacat dan kematian dini. Satu DALY sama dengan satu tahun hilangnya hidup yang sehat.

- Resp.organics* dalam proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *resp.organics* yaitu proses biji nikel halus 23%, proses nikel *matte* 26,7%, proses sinter *product* 19,7 dan proses *liquid metal* 17,3%, proses feronikel 13,2%.
- Tahapan proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *resp.inorganics* yaitu proses biji nikel halus 3,22%, proses *nikel matte* 92,9%, proses *liquid metal* 3,74%, proses feronikel 0,04137%.
- Climate change* merupakan dampak emisi yang disebabkan karena terjadinya pemanasan global yang menyebabkan dampak negatif seperti terjadinya intensitas cuaca ekstrim, kenaikan suhu permukaan air laut, Tahapan proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *Climate change* yaitu. biji nikel halus 0,785%, proses *nikel matte* 1,67%, proses *sinter product* 1,82%, proses *liquid metal* 95,3%, dan proses feronikel 0,449%.
- Ozone layer* merupakan dampak yang disebabkan karena terjadinya penipisan lapisan ozon yang dapat menyebabkan berkurangnya kemampuan lapisan ozon untuk menahan sinar UV C agar tidak mencapai permukaan bumi. Tahapan proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *ozone layer*, yaitu biji nikel halus 2,09%, proses nikel *matte* 2,42%, proses *sinter product* 1,79%, proses *liquid metal* 92,5%, dan proses feronikel 1,19%.

Diketahui nilai dampak tertinggi untuk dampak pada kesehatan manusia yaitu *resp.inorganics* sebesar 0,00426 DALY. Kategori yang memiliki nilai paling rendah dampak terhadap kesehatan manusia adalah *ozone layer* sebesar  $1,28E-8$  (0,0000000128) DALY.

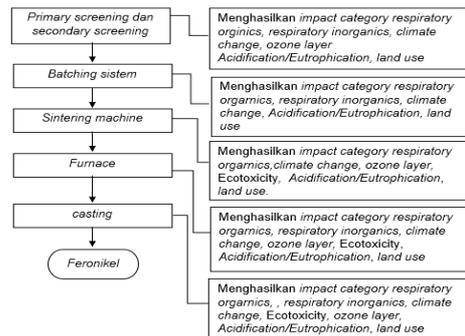
*Damage Assesmet Kategori Ecosystem Quality*. Pada kategori *ecosystem quality* terdapat 3 jenis impact assessment yaitu *acidification/eutrophication*, dan *land use*. Kategori ini menggunakan satuan *Potentially Disappeared Fraction* (PDF)  $PDF \cdot m^2 \cdot yr$  yang mengartikan bahwa 1 (satu)  $PDF \cdot m^2 \cdot yr$  atau sama dengan kerusakan ekosistem atau spesies seluas  $1m^2$  yang ada di permukaan bumi dalam waktu 1 tahun dan *PAF \cdot m^2 \cdot yr* (*Population Attributable Fractio*) menunjukkan persentase spesies terpapar konsentrasi.

- Ecotoxicity* merupakan kategori dampak yang dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem akibat dari zat ekotoksik ke udara, tanah dan air. Tahapan proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *ecotoxicity* yaitu, proses *sinter product* 69,8%, dan proses feronikel 30,2%.
- Acidification/Eutrophication* merupakan kategori dampak yang dapat menimbulkan kerusakan pada kualitas lingkungan yang terjadi akibat adanya pengasaman ke udara. Tahapan proses produksi feronikel yang menyumbang pada kategori *acidification/eutrophication* yaitu proses produksi biji nikel 27,9%, proses nikel *matte* 32,3%, proses *sinter product* 23,9%, proses *liquid metal* -12%, dan proses feronikel 15,9%.
- Land use* merupakan kategori dampak yang disebabkan adanya konservasi lahan atau penggunaan lahan yang berdampak seperti pada berkurangnya keanekaragaman spesies. Pada kategori ini, yang

menyumbang dampak land use yaitu pada proses produksi biji nikel halus 27,9% proses produksi nikel matte 32,3%, sinter produk 23,9%, liquid metal -19,7%, feronikel 49 15,9%.

Perhitungan hasil analisis dari *software SimaPro 9.5*, diketahui nilai dampak tertinggi untuk dampak pada kualitas ekosistem yaitu ecotoxicity sebesar  $9,97E5$  PAF\*m2yr (99700 *Population Attributable Fractio*) dan kategori yang memiliki nilai terendah adalah land use sebesar  $0,27$  PDF\*m2yr.

Analisis dari masing-masing *damage category* diketahui bahwa total nilai impact category dari dampak lingkungan pada proses produksi produksi feronikel pada kategori human health sebesar 0,103 DALY. *damage category ecosystem quality* diketahui bahwa total nilai impact category yaitu sebesar  $9,97E4$  PDF\*m2yr (99700 *Potentially Disappeared Fraction of Species per square meter per kg* emisi). Berdasarkan nilai *single score* kategori human health merupakan *damage category* terbesar yaitu  $4,68E3$  Pt, dan ecosystem quality sebesar  $6,97E3$  Pt. Tahap proses produksi produksi feronikel yang menyumbang dampak lingkungan dari setiap impact category dapat dilihat pada Gambar dibawah ini :



Gambar 4. Proses Produksi Feronikel dengan hasil *Impact Category*  
 Sumber: data diperoleh (2024)

Tabel 5. Perbandingan *Impact category* Produksi feronikel (*Gate to Gate*)

No	Impact category	Proses	Jumlah setiap proses	Kesimpulan	Jumlah total	Kesimpulan	Standar
<b>Human health</b>							
1.	Respiratory Organics	A	3,93E-8 (0,000000393)	Aman	1,71E-7 (0,000000171)	Nilai yang didapatkan untuk resp.organics kecil dan tidak Bersiko atau aman	Enviromental Protection Agency (EPA) untuk Air Unit Risk Inhalasi yaitu $7,8 \times 10^{-6} = 0,0000078$
		B	4,56E-8 (0,000000456)	Aman			
		C	3,37E-8 (0,000000337)	Aman			
		D	2,96E-8 (0,000000296)	Aman			
		E	2,24E-8 (0,000000224)	Aman			
2.	Respiratory Inorganics	A	0,000137	Tidak aman	0,00426	Nilai yang didapatkan dari diagram untuk resp.inorganics besar dan Bersiko atau Tidak Aman	Enviromental Protection Agency (EPA) untuk Air Unit Risk Inhalasi yaitu $7,8 \times 10^{-6} = 0,0000078$
		B	0,00396	Tidak aman			
		C	2,64E-6 (0,00000264)	Aman			
		D	0,00016	Tidak aman			
		E	1,76E-6 (0,00000176)	Aman			
3.	Climate change	A	0,000125	Tidak aman	0,000125	Total Nilai yang didapatkan dari diagram untuk climate change besar atau tidak aman	Enviromental Protection Agency (EPA) yang bisa diterima yaitu $1 \times 10^{-4} = 0,0001$
		B	9,78E-7 (0,000000978)	Aman			
		C	2,08E-6 (0,00000208)	Aman			
		D	0,000119	Tidak aman			
		E	5,59E-7 (0,000000559)	Aman			
4.	Ozone Layer	A	2,68E-10 (0,00000000268)	Aman	1,28E-8 (0,0000000128)	Nilai yang didapatkan dari diagram untuk ozone layer Kecil dan tidak Bersiko atau Aman	Enviromental Protection Agency (EPA) yang bisa diterima yaitu $1 \times 10^{-4} = 0,0001$
		B	3,11E-10 (0,00000000311)	Tidak aman			
		C	2,29E-10 (0,00000000229)	Aman			
		D	1,19E-8 (0,0000000119)	Tidak aman			
		E	1,53E-10 (0,00000000153)	Aman			
<b>Ecosystem quality</b>							
1.	Ecotoxicity	A	0,161	Aman	9,97E5 (99700)		

No	Impact category	Proses	Jumlah setiap proses	Kesimpulan	Jumlah total	Kesimpulan	Standar
		B				Nilai yang dapat untuk ecotoxicity besar dan mempengaruhi	PP No 82 Tahun 2001 nilai indeks pencemaran air jika < 0 IP < 1,0 tidak mempengaruhi pencemaran terhadap air
		C	0,186	Aman			
		D	6,96E5 (696.000)	Tidak aman			
		E	13,7	Tidak aman			
		A	3,01E5 (301.000)	Tidak aman			
2.	Acidification/ eutrophication	A	0,0856	Aman	0,27	Eutrofikasi dalam kondisi rendah dan tidak mempengaruhi	Acidification dan eutrophication termasuk kedalam kategori dampak lingkungan yang merusak ekosistem, kerusakannya dinyatakan dalam <i>potentially disappeared fraction (PAF)*m2 *years/kg</i>
		B	0,0993	Aman			
		C	0,0734	Aman			
		D	-0,0368	Aman			
		E	0,0489	Aman			
3.	Land use	A	0,101	Aman	0,291	Nilai yang didapatkan untuk <i>land use</i> kecil dan tanah dalam kondisi baik	Kerusakan akibat <i>land use</i> dinyatakan dalam <i>potentially disappeared fraction (PAF)*m2 *years</i> yang berarti potensial kehilangan spesies per m2 tiap tahunnya.
		B	0,117	Aman			
		C	0,0866	Aman			
		D	-0,0714	Aman			
		E	0,0578	Aman			

Sumber: *SimaPro* (2024)

### 3.5 Interpretation

Interpretation merupakan tahap terakhir dalam metode LCA yaitu memberikan solusi perbaikan pada produksi feronikel yang menghasilkan kontribusi dampak pada lingkungan yang besar. Pada penelitian ini solusi yang digunakan yaitu melakukan penerapan produksi yang bersih pada proses produksi feronikel dalam konsep produksi bersih yang digunakan yaitu 1E5R (*eliminasi, re-think, reduce, reuse recycle, dan recovery*).

Tabel 6. Saran penerapan produksi bersih di PT. Bumi Mineral Sulawesi

No	Produksi	Produksi Bersih
1	Primary screening dan secondary screening	Pengelolaan emisi debu ( <i>control dust</i> )
2	Batching system	Perbaikan pada <i>batching system</i> untuk mengurangi emisi atau limbah berfokus pada efisiensi operasional, pengurangan penggunaan energi, serta pemilihan bahan dan teknologi yang ramah lingkungan.
3	Sinter product	Pengendalian Emisi Gas CO <sub>2</sub> dan SO <sub>2</sub> , Penggunaan Bahan Bakar yang Lebih Bersih
4	Furnace	Mengurangi penggunaan batu bara <i>bituminous</i> sebagai energi pada proses <i>furnace</i>
5	Casting	Perbaikan dalam <i>casting</i> nikel untuk mengurangi emisi dan limbah memerlukan adopsi teknologi ramah lingkungan, efisiensi energi yang lebih baik, dan pengelolaan limbah yang efektif.

Sumber: data diperoleh (2024)

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *Life Cycle Assessment (LCA)*, dampak lingkungan terbesar dari industri feronikel di PT. Bumi Mineral Sulawesi teridentifikasi pada kategori dampak kesehatan manusia, khususnya pada respiratory inorganics dengan nilai 0,00426 DALY, dan pada kategori kualitas ekosistem, yaitu ecotoxicity sebesar 9,97E5 PAF\*m<sup>2</sup>yr. Temuan ini menunjukkan bahwa proses produksi, mulai dari primary dan secondary screening hingga casting, melibatkan penggunaan material yang berpotensi merusak lingkungan serta menghasilkan limbah dan emisi. Sebagai upaya perbaikan, disarankan penerapan pendekatan produksi bersih dengan mengontrol debu, mengoptimalkan sistem operasional, dan mengurangi penggunaan energi. Selain itu, pemilihan bahan baku dan teknologi yang ramah lingkungan, serta pengendalian emisi gas CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>, diharapkan dapat mengurangi emisi dan limbah, termasuk pengelolaan limbah terak (*slag*) untuk meningkatkan keberlanjutan proses produksi feronikel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiansyah, J. S. (2023). *Carbon footprint based analysis for estimating the potential pollution of nickel production in Indonesia*. 020115. <https://doi.org/10.1063/5.0120659>
- Ahmad, A., Herdianzah, Y., Safutra, N. I., Rauf, N., Gamgulu, R., & Nur, T. (2023). Workload analysis to determine the optimal number of workforce using the Work Load Analysis (WLA) method at PT. Harapan Jaya Multi Bisnis. *OPSI*, 16(2), 241–249. <https://doi.org/10.31315/opsi.v16i2.8967>

- Asri, R., & Sinardi. (2024). Analisis Perbandingan Desain Proses Produksi Terhadap Pengaruh Kadar Nikel Di Smelter Feronikel Maluku Utara. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(5), 9709–9717. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i5.15541>
- Ben-Alon, L., Loftness, V., Harries, K. A., & Cochran Hameen, E. (2021). Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110951. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110951>
- Cahyani, N. R. (2023). Kebijakan Pemberhentian Ekspor Biji Nikel Indonesia Tahun 2020. *Ganaya : Jurnal Ilmu Sosial Dan Humaniora*, 6(2), 423–436. <https://doi.org/10.37329/ganaya.v6i2.2463>
- Corominas, L., Byrne, D. M., Guest, J. S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., & Short, M. D. (2020). The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Research*, 184, 116058. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058>
- Fole, A. (2022). Peningkatan Kinerja Pada Industri Kerajinan Songko Recaa (Studi Kasus : UKM ISR Bone). <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/39404>
- Fole, A., & Kulsaputro, J. (2023). Implementasi Lean Manufacturing Untuk Mengurangi Waste Pada Proses Produksi Sirup Markisa. *Journal of Industrial Engineering Innovation*, 1(1), 23–29. <https://doi.org/10.58227/jiei.v1i1.59>
- Füchsl, S., Rheude, F., & Röder, H. (2022). Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review. *Cleaner Materials*, 5, 100119. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100119>
- Hasan, M. R., Lamatinulu, Chairany, N., & Fole, A. (2024). Evaluasi Efektivitas Metode Silver Meal dalam Optimalisasi Persediaan Tepung Roti pada UMKM Malihak Bakery Makassar. *Journal of Industrial Engineering Innovation*, 2(01), 21–27. <https://doi.org/10.58227/jiei.v2i01.119>
- Hendrik, H., Yani, S., & Yani, S. (2024). Co-Firing Limbah Biomassa Dan Charcoal Cocopeat Dengan Batubara Pada Industri Fero Nikel. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(6), 5629–5643. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i6.17147>
- Karkour, S., Rachid, S., Maaoui, M., Lin, C.-C., & Itsubo, N. (2021). Status of Life Cycle Assessment (LCA) in Africa. *Environments*, 8(2), 10. <https://doi.org/10.3390/environments8020010>
- Kusrini, E., Safitri, K. N., & Fole, A. (2020). Design Key Performance Indicator for Distribution Sustainable Supply Chain Management. *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application, DASA 2020*, 738–744. <https://doi.org/10.1109/DASA51403.2020.9317289>
- Lamatinulu, Dahlan, M., & Mardin. (2021). Packaging Design Concepts as Attributes of Product Diversification Using Kansei Engineering Approach in SMEs Scale Cocoa Industry in South Sulawesi. In *International Journal of Innovative Science and Research Technology* (Vol. 6, Issue 11). [www.ijisrt.com](http://www.ijisrt.com)
- Mail, A., Chairany, N., & Fole, A. (2019). Evaluation of Supply Chain Performance through Integration of Hierarchical Based Measurement System and Traffic Light System: A Case Study Approach to Iron Sheet Factory. *Int. J. Sup. Chain. Mgt Vol*, 8(5), 79-85. <https://doi.org/10.59160/ijscm.v8i5.2584>
- Malik, R., Afiah, I. N., Dahlan, M., Sabara Hw, Z., Nur, T., & Iswandi, R. (2021). Analysis Of Rating Scale Mental Effort (RSME) To Determine The Mental Workload Of Workers At Sugar Factory In South Sulawesi. *Jurnal Penelitian Dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, XV(2), 130–136. <https://doi.org/10.22441/pasti.2021.v15i2.002>
- Maury, T., Loubet, P., Serrano, S. M., Gallice, A., & Sonnemann, G. (2020). Application of environmental life cycle assessment (LCA) within the space sector: A state of the art. *Acta Astronautica*, 170, 122–135. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.01.035>
- Nasution, M. J., Tugiyono, Bakri, S., Setiawan, A., Murhadi, Wulandari, C., & Wahono, E. P. (2024). The Impact of Increasing Nickel Production on Forest and Environment in Indonesia: A Review. *Jurnal Sylva Lestari*, 12(3), 549–579. <https://doi.org/10.23960/jsl.v12i3.847>
- Nur, T., Hidayatno, A., Setiawan, A. D., Komarudin, K., & Suzianti, A. (2023). Environmental Impact Analysis to Achieve Sustainability for Artisan Chocolate Products Supply Chain. *Sustainability*, 15(18), 13527. <https://doi.org/10.3390/su151813527>

- Pandyaswargo, A. H., Wibowo, A. D., Maghfiroh, M. F. N., Rezqita, A., & Onoda, H. (2021). The Emerging Electric Vehicle and Battery Industry in Indonesia: Actions around the Nickel Ore Export Ban and a SWOT Analysis. *Batteries*, 7(4), 80. <https://doi.org/10.3390/batteries7040080>
- Prasad, S., Singh, A., Korres, N. E., Rathore, D., Sevda, S., & Pant, D. (2020). Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective. *Bioresource Technology*, 303, 122964. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122964>
- Santoso, R. B., Dermawan, W., & Moenardy, D. F. (2024). Indonesia's rational choice in the nickel ore export ban policy. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2400222. <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2400222>
- Sudaryanto, Sukamto, U., & Nugroho, I. C. (2024). Proses Produksi Feronikel dari Bijih Nikel Laterit dengan Metode Rotary Kiln – Electric Furnace (RKEF). *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 187–197. <https://doi.org/10.55606/juprit.v2i4.3456>