

KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN PROSES FABRIKASI BAJA MENGGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) DI PT. BAKRIE METAL INDUSTRIES

Farah Fahrunnisa ^{1)*}

¹⁾Farah Fahrunnisa /Fakultas Teknik Program Studi Teknik Industri / Universitas
Bhayangkara Jakarta Raya

*Corresponding Author farahfahrunnisa@student.ubharajaya.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan infrastruktur Pembangunan di Indonesia mendorong pertumbuhan industri manufaktur baja yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, terutama dari konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca. PT. Bakrie Metal Industries sebagai salah satu Perusahaan manufaktur baja yang memiliki proses fabrikasi yang kompleks dan intensif energi, sehingga diperlukan kajian dampak lingkungan yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses fabrikasi baja di PT. Bakrie Metal Industries menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA atau *Life Cycle Assessment*, adalah suatu pendekatan yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari sebuah produk atau aktivitas sepanjang siklus hidupnya. Proses ini mencakup berbagai tahap, mulai dari pengambilan bahan baku, diikuti oleh proses produksi, penggunaan, hingga tahap akhir yaitu pengolahan limbah (Handayani, 2022). Berdasarkan standar ISO 14040 dan ISO 14044. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada pendekatan *cradle to gate*, dengan objek penelitian meliputi produk *flex-beam guard rail*, *nestable flange e-100*, *multi plate*, *bridge deck*, dan jembatan baja. Tahapan LCA yang dilakukan meliputi penetapan tujuan dan ruang lingkup, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan *interpretasi* hasil. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro dengan metode *ReCiPe 2016 Midpoint (I)*. Setelah melakukan penilaian dampak lingkungan dengan menggunakan software SimaPro maka dibuatlah rekomendasi perbaikan. Berdasarkan hasil *Life Cycle Interpretation*, kategori dampak yang paling dominan pada proses fabrikasi lima produk baja adalah *Terrestrial Ecotoxicity*, *Global Warming*, Serta *Fossil Resource Scarcity*. Oleh karena itu, rekomendasi perbaikan difokuskan pada pengurangan konsumsi energi, optimalisasi material, serta pengendalian emisi dari proses hulu dan pendukung.

Kata Kunci: Kata kunci: Penilaian Siklus Hidup, Dampak Lingkungan, Fabrikasi Baja, SimaPro, ISO 14040

ABSTRACT

The increasing development of infrastructure in Indonesia has driven the growth of the steel manufacturing industry, which has the potential to generate environmental impacts, particularly related to energy consumption and greenhouse gas emissions. PT. Bakrie Metal Industries, as one of the steel manufacturing companies with complex and energy-intensive fabrication processes, requires a comprehensive environmental impact assessment. This study aims to analyze the environmental impacts of steel fabrication processes at PT. Bakrie Metal Industries using the Life Cycle Assessment (LCA) method in accordance with ISO 14040 and ISO 14044 standards. The scope of this study is limited to a cradle-to-gate approach, with the research objects including flex-beam guard rail, nestable flange E-100, multi plate, bridge deck, and steel bridge products. The LCA stages conducted in this study include goal and scope definition, Life Cycle Inventory (LCI), Life Cycle Impact Assessment (LCIA), and result interpretation. Data processing was carried out using SimaPro software with the ReCiPe 2016 Midpoint (I) method. After conducting an environmental impact assessment using SimaPro software, recommendations for improvement were made. Based on the results of the Life Cycle Interpretation, the most dominant impact categories in the fabrication process of five steel products were Terrestrial Eicotoxicity, Global Warming, and Fossil Resource Scarcity. Therefore, recommendations for improvement focused on reducing energy consumption, optimizing materials, and controlling emissions from upstream and supporting processes.

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment, Environmental Impact, Steel Fabrication, SimaPro, ISO 14040*

PENDAHULUAN

Industri manufaktur baja memiliki peran strategis dalam mendukung pembangunan infrastruktur nasional, namun di sisi lain berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Proses fabrikasi baja umumnya membutuhkan konsumsi energi yang tinggi serta menghasilkan emisi gas rumah kaca, limbah padat, dan residu proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengevaluasi dampak lingkungan secara menyeluruh dari seluruh tahapan proses produksi (Industri et al., 2019).

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan metode yang sistematis untuk menilai dampak lingkungan suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya. Metode ini telah banyak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam penerapan sistem manajemen lingkungan berbasis ISO 14001. PT. Bakrie Metal Industries sebagai perusahaan manufaktur baja dengan beragam produk fabrikasi memerlukan kajian LCA untuk mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi dampak lingkungan terbesar serta merumuskan strategi perbaikan berkelanjutan (Industri et al., 2019)..

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan proses fabrikasi baja di PT. Bakrie Metal Industries menggunakan metode LCA serta memberikan rekomendasi perbaikan lingkungan berdasarkan hasil analisis.

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus mengalami pertumbuhan pesat, terutama dalam sektor transportasi, energi, dan konstruksi. Untuk menunjang percepatan pembangunan tersebut, dibutuhkan dukungan dari industri manufaktur logam sebagai penyedia komponen utama konstruksi, seperti baja struktural, jembatan pipa, dan sistem pengaman jalan (Nafi, 2022). Dalam konteks ini, PT. Bakrie Metal Industries (BMI) menjadi salah satu perusahaan strategis yang memainkan peran penting dalam penyediaan produk baja berkualitas tinggi di Indonesia.

Salah satu sektor penting yang mendukung pembangunan tersebut adalah industri manufaktur logam, terutama yang memproduksi komponen baja seperti pipa, jembatan, dan sistem pengaman jalan. Produk-produk tersebut umumnya memiliki proses produksi yang kompleks dan memerlukan konsumsi energi yang cukup tinggi. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan pendekatan berkelanjutan dalam mengevaluasi dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup komponen ini, mulai dari tahap ekstraksi bahan baku hingga akhir masa pakainya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah *Life Cycle Assessment (LCA)* (Jenderal et al., 2021).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di PT. Bakrie Metal Industries, penelitian ini bertujuan untuk memahami secara mendalam proses produksi yang diterapkan, sistem pengendalian kualitas produk, serta menganalisis dan menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari setiap tahapan proses produksi sebagai dasar evaluasi dan perumusan upaya perbaikan lingkungan yang berkelanjutan. Dalam upaya untuk menilai dan meminimalkan dampak lingkungan dari proses produksi, metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dapat diterapkan sebagaimana didefinisikan dalam standar ISO 14040 dan ISO 14044, yaitu sebagai metode evaluasi dampak lingkungan suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi bahan baku hingga akhir masa pakai. *Life Cycle Assessment (LCA)* diterapkan melalui pendekatan siklus hidup produk untuk menganalisis dan menghitung total potensi dampak lingkungan secara menyeluruh. Penerapan metode LCA dilakukan berdasarkan kerangka kerja yang telah distandarkan dalam ISO 14040 dan ISO 14044, yang terdiri dari empat tahapan utama seperti *Goal and Scope Definition*, *Life Cycle Inventory*, *Life Cycle Impact Assessment*, dan Interpretasi dari suatu produk dalam setiap tahapan siklus hidupnya, yaitu mulai dari persiapan bahan mentah, proses produksi, penjualan dan transportasi, serta pembuangan produk (Iso, 2006).

Software SimaPro adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memfasilitasi analisis siklus hidup dengan memudahkan pengguna dalam pengumpulan, pengolahan, dan analisis data inventaris. Perangkat lunak ini telah menjadi salah satu alat paling populer di dunia dalam melakukan LCA karena menyediakan berbagai macam metode dan basis data, termasuk *ecoinvent*, *USLCI*, dan *European Reference Life Cycle Database (ELCD)* (Indah et al., 2024).

1.2 Tujuan Penelitian.

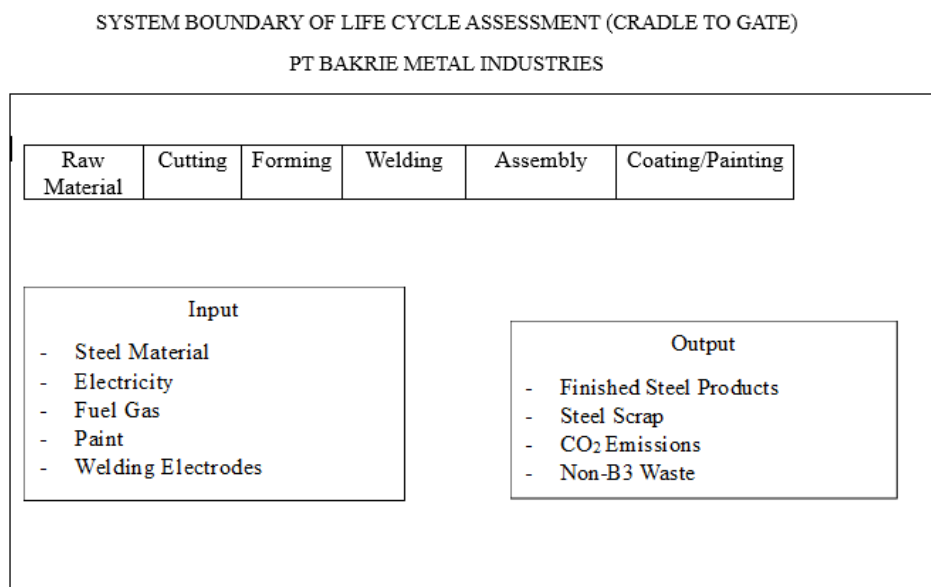
Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui tiap tahapan proses fabrikasi yang dilakukan oleh PT. Bakrie Metal Industries untuk masing-masing produk.
2. Mengetahui produk mana yang memberikan kontribusi pada dampak lingkungan terbesar berdasarkan hasil dari perhitungan LCA.
3. Memberikan rekomendasi untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Dengan menggunakan *Software* Simapro. Dalam pengolahannya terdapat beberapa langkah-langkah untuk menggunakan *software SimaPro*, yang pertama tentukan sistem batasan (proses produksi), masukan data input (bahan baku, dan energi mesin), masukan data output (produk, limbah, dan emisi energi CO₂). Jenis penelitian ini adalah jenis data kuantitatif yang di campur dengan kualitatif, yaitu jenis data yang campuran antara kuantitatif dan kualitatif sering disebut sebagai data campuran atau *mixed methods data*.

Dalam penelitian ini, metode yang akan digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA). Dimana dalam metode LCA terdapat empat tahapan yang harus dilakukan yaitu, menetapkan tujuan dan ruang lingkup, inventarisasi siklus hidup, penilaian dampak siklus hidup, dan interpretasi



Gambar 1 *Boundary system* PT. Bakrie Metal Industries

Pada Gambar 1 tersebut menunjukkan batasan sistem (*systemboundary*) pada kajian *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan pendekatan *cradle to gate* di PT Bakrie Metal Industries. Pendekatan *cradle to gate* berarti analisis hanya mencakup proses

mulai dari bahan baku masuk (*cradle*) hingga produk selesai keluar dari pabrik (*gate*) ,tanpa memasukkan tahap distribusi, penggunaan, dan akhir daur hidup produk. Dalam batasan sistem ini, proses produksi yang dijelaskan meliputi beberapa tahapan utama, yaitu bahan mentah, pemotongan, pembentukan, pengelasan, perakitan, serta pelapisan/pengecatan. Tahapan tersebut merepresentasikan alur proses fabrikasi baja yang terjadi di dalam area produksi perusahaan.

Bagian input pada sistem menunjukkan sumber daya dan material yang digunakan selama proses produksi, yang terdiri dari material baja, energi listrik, bahan bakar gas, cat, serta elektroda las. Seluruh masukan ini berkontribusi terhadap konsumsi energi dan potensi dampak lingkungan pada setiap tahapan proses. Sementara itu, bagian output menggambarkan hasil yang dihasilkan dari sistem produksi, yaitu produk baja jadi , *steel scrap* (limbah potongan baja) , emisi CO₂ ke udara , serta limbah non-B3 . Output-output ini menjadi dasar dalam perhitungan dampak lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca, konsumsi sumber daya, dan potensi polusi lingkungan.

Dengan adanya batasan sistem yang jelas seperti pada gambar tersebut, penelitian LCA dapat dilakukan secara terfokus dan terkendali , sehingga hasil analisis mampu menggambarkan kontribusi setiap proses produksi terhadap dampak lingkungan secara akurat dan sistematis.

Data inventori dikumpulkan dari data operasional perusahaan meliputi konsumsi energi listrik, gas, bahan baku baja, transportasi, dan *scrap* produksi. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro dengan metode ReCiPe 2016 Midpoint (I). Berikut contoh *inventory* data pada produk *Nestable Flange E-100*.

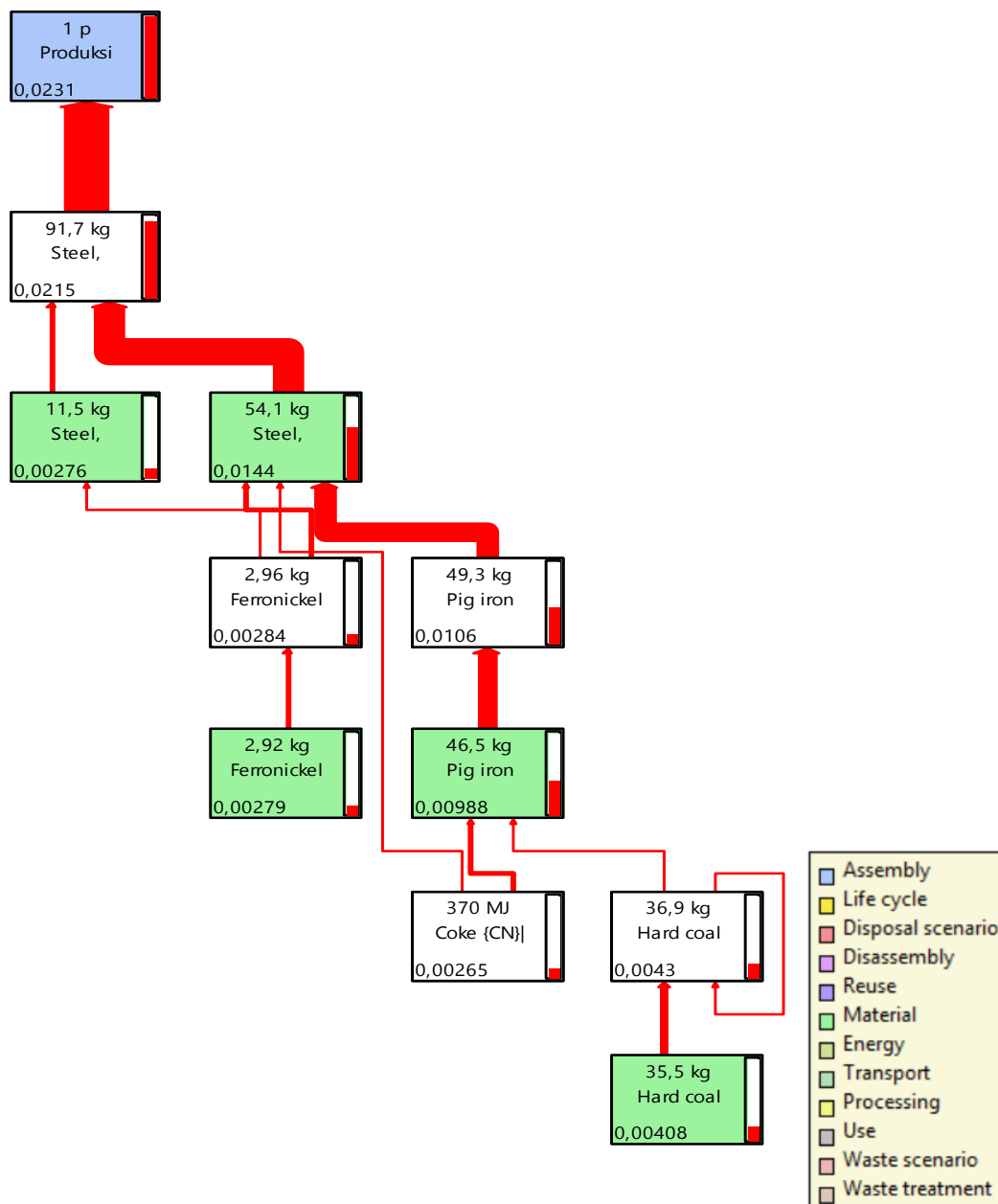
Tabel 1 Pengolahan Data Produk *Nestable Flange E-100*

Kategori	Input	Jumlah	Satuan
Bahan Baku Plat Baja	input	91.196	kg
Baut & Mur	input	10.004	Pasang
mesin <i>slitter</i>	input	16.683	kwh
mesin press rem <i>hidrolik</i>	input	8.341	kwh
mesin <i>punching</i>	input	5.561	kwh
mesin pembentukan gulungan	input	11.122	kwh
mesin <i>deburring</i>	input	1.112	kwh
mesin las	input	2.781	kwh

Kategori	Output	Jumlah	Satuan
Produk Utama	output	90.742	kg
<i>Scrap Nestable</i>	output	454	kg
Emisi Energi	output	38.760	Kg CO ₂

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap *Life cycle interpretation* ini menjelaskan tahap akhir dari metode *life cycle assessment* (LCA), di mana hasil analisis *life cycle inventory* (LCI) dan *life cycle impact assessment* (LCIA), dirangkum dan didiskusikan sebagai dasar kesimpulan, rekomendasi dan pengambilan keputusan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditetapkan (SNI ISO 14001). Dalam penelitian ini, data yang digunakan berasal dari data sekunder yang berupa konsumsi energi dan penggunaan bahan baku baja selama proses produksi. Oleh karena itu, strategi pengurangan dampak lingkungan sebaiknya difokuskan pada efisiensi energi, optimalisasi material, dan peningkatan penggunaan baja daur ulang.



Gambar 2 Hasil *Network Life Cycle Inventory*

Berdasarkan hasil dari *network* produk *nestable flange e-100* menunjukkan bahwa:

- Bahan baku baja (*steel*) merupakan contributor terbesar terhadap total dampak lingkungan. Hal ini ditunjukkan oleh alur yang paling tebal dari proses produksi menuju *Steel, I (91,7 kg)*, yang mengindikasikan bahwa penggunaan bahan baku baja mendominasi beban lingkungan dalam sistem produksi.
- Selanjutnya, aliran tebal dari *steel* ke *pig iron (49,3 kg)* serta ke *coke (370 MJ)* dan *hard coal (36,9 kg)* menunjukkan bahwa tahap produksi *pig iron* yang bergantung pada energi fosil memberikan kontribusi signifikan terhadap dampak lingkungan, terutama yang berkaitan dengan konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca. Ketebalan aliran ini mencerminkan tingginya intensitas energi dan penggunaan sumber daya fosil dalam proses tersebut.
- Sementara itu, aliran menuju *ferronickel (±2,9 kg)* terlihat lebih tipis dibandingkan aliran material utama, yang menandakan bahwa kontribusinya terhadap total dampak lingkungan relatif kecil dan tidak menjadi *hotspot* utama dalam sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *hotspot* lingkungan utama berada pada tahap penyediaan bahan baku baja dan proses metalurgi berbasis *pig iron*.

Hasil inventori menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik dan bahan baku baja merupakan input terbesar dalam proses fabrikasi. Produk *Nestable Flange E-100* memiliki konsumsi energi dan material tertinggi dibandingkan produk lainnya, sehingga berpotensi memberikan kontribusi dampak lingkungan yang lebih besar.

3.2 Life Cycle Impact Assessment

Impact category	Unit	Produksi Bridge Deck	Flex-Beam Guard Rail	Produksi Jembatan Baja	Produksi Multi Plate	Produksi Nestable Flange E-100
Water consumption	m ³	0,017388657	0,26440181	0,11461837	0,023096145	1,5776881
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,55728957	12,034702	3,1653764	1,4157565	57,109993
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,076667402	0,82679384	0,69031109	0,070351095	6,084584
Land use	m ² a crop eq	0,062762751	0,8644322	2,0398615	0,087807669	5,1762257
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,085391492	1,3345763	0,67889274	0,11166684	8,1966303
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,002091438	0,030818385	0,007987488	0,002351959	0,19739063
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,52596858	5,82873	0,72534771	0,48325536	42,509407
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,33555079	4,2545898	0,92625607	0,34825275	28,949646
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	203,87308	2179,683	224,472	183,29417	16188,642
Marine eutrophication	kg N eq	0,000170064	0,00337344	0,002513806	0,000212512	0,019579913
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,001335758	0,038950253	0,007650954	0,002027952	0,2029409
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	0,00671779	0,12920548	0,055900465	0,010198315	0,70794556
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NO _x eq	0,005600334	0,11469321	0,029811934	0,012385354	0,58800409
Fine particulate matter formation	kg PM _{2.5} eq	0,002080049	0,30999192	0,006859564	0,009191648	1,3448781
Ozone formation, Human health	kg NO _x eq	0,005450766	0,10767139	0,028290778	0,010496607	0,57452991
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,060221247	0,83574705	0,35744628	0,089922359	4,8528218
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2,39E-07	6,16E-06	6,16E-06	4,28E-07	2,64E-05
Global warming	kg CO ₂ eq	2,9310666	57,475203	14,456407	4,3509512	321,52393

Gambar 3 Hasil Karakterisasi Impact Assessment

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan metode ReCiPe 2016 Midpoint (I), kategori dampak yang dominan meliputi, *Global Warming Potential*, dan *Terrestrial Ecotoxicity*. Produk *Nestable Flange E-100* memberikan kontribusi terbesar pada hampir seluruh kategori dampak, sedangkan produk *Bridge Deck* dan *Multi Plate* menunjukkan nilai dampak yang relatif lebih rendah.

Pada kategori *terrestrial ecotoxicity*, kontribusi terbesar berasal dari Produksi *Nestable Flange E-100*, yang menunjukkan bahwa emisi zat berbahaya ke lingkungan darat memberikan tekanan lingkungan yang relatif tinggi dibandingkan kategori dampak lainnya. Tingginya nilai normalisasi ini menunjukkan bahwa meskipun satuannya berbeda dengan kategori lain, dampak ekotoksitas darat memiliki tingkat kepentingan lingkungan yang signifikan.

Sementara itu, kategori *global warming* juga menunjukkan nilai normalisasi yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa emisi gas rumah kaca, khususnya CO₂ yang dihasilkan selama proses produksi, merupakan isu lingkungan utama dalam sistem fabrikasi baja. Kategori lain seperti *fossil resource scarcity*, *human non-carcinogenic toxicity*, dan *water consumption* memiliki nilai normalisasi yang lebih rendah, namun tetap memberikan kontribusi terhadap total dampak lingkungan secara keseluruhan.

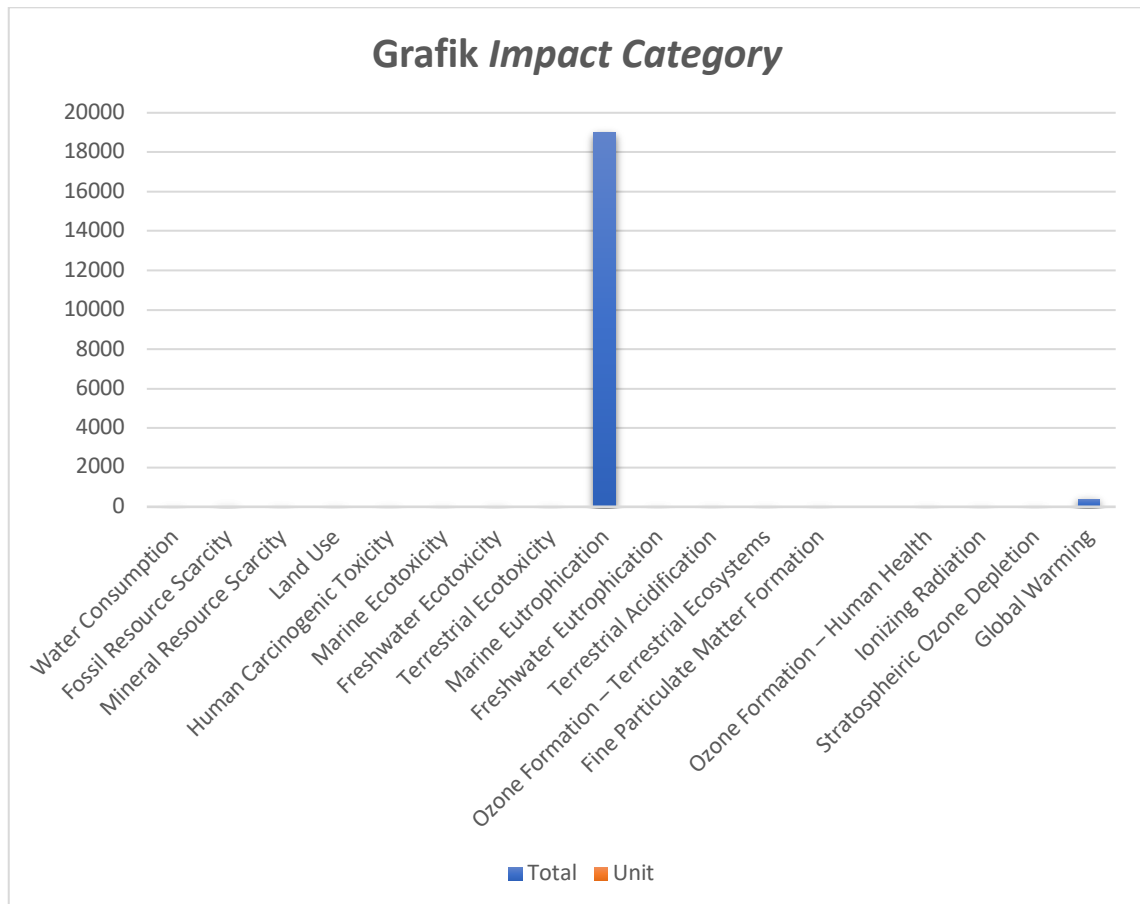
1.3 Interpretasi Hasil

Tahap *interpretation* merupakan tahap akhir dalam metode LCA yang bertujuan untuk menarik kesimpulan berdasarkan hasil *characterization* dan *normalization*, serta mengidentifikasi proses dan produk yang memberikan kontribusi dampak lingkungan terbesar. Pada tahap ini juga dilakukan evaluasi konsistensi hasil dan perumusan rekomendasi perbaikan lingkungan (*improvement analysis*).

Tabel 2 Total *Impact Category*

<i>Impact Category</i>	Total	Unit
<i>Water Consumption</i>	1,997	m ³
<i>Fossil Resource Scarcity</i>	74,28	kg oil eq
<i>Mineral Resource Scarcity</i>	7,75	kg Cu eq
<i>Land Use</i>	8,23	m ² a crop eq
<i>Human Carcinogenic Toxicity</i>	10,41	kg 1,4-DCB eq
<i>Marine Ecotoxicity</i>	0,241	kg 1,4-DCB eq
<i>Freshwater Ecotoxicity</i>	50,07	kg 1,4-DCB eq
<i>Terrestrial Ecotoxicity</i>	34,81	kg 1,4-DCB eq
<i>Marine Eutrophication</i>	18.979,96	kg N eq
<i>Freshwater Eutrophication</i>	0,0259	kgg P eq
<i>Terrestrial Acidification</i>	0,253	kg SO ₂ eq
<i>Ozone Formation – Terrestrial Ecosystems</i>	0,911	kg NO _x eq
<i>Fine Particulate Matter Formation</i>	0,750	kg PM2.5 eq

<i>Ozone Formation – Human Health</i>	0,726	kg NO _x eq
<i>Ionizing Radiation</i>	6,20	kBq Co-60 e q
<i>Stratospheric Ozone Depletion</i>	$3,92 \times 10^{-5}$	kg CFC-11 e q
<i>Global Warming</i>	400,74	kg CO ₂ e q



Gambar 4 Hasil Grafik Impact Category

Berdasarkan Pada Tabel 2 hasil dari *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* yang disajikan pada Gambar 4, sistem yang dikaji menunjukkan variasi kontribusi dampak lingkungan pada berbagai kategori dampak. Nilai *water consumption* sebesar 1.997 m³ mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat ketergantungan yang cukup tinggi terhadap sumber daya air, Laporan dari *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* menyatakan bahwa perubahan iklim diperkirakan mengurangi ketersediaan air bersih, yang akan meningkatkan tekanan atau *tekanan* terhadap sumber daya air di banyak wilayah di dunia — terutama yang sudah memiliki air terbatas. Ini karena perubahan iklim mengubah pola curah hujan, meningkatkan kekeringan, dan mempercepat evaporasi yang berkontribusi pada berkurangnya air yang tersedia.

Secara keseluruhan, hasil LCIA menunjukkan bahwa dampak lingkungan utama dari sistem yang dianalisis terletak pada *marine eutrophication*, *global warming*, konsumsi air, serta ekotoksitas air tawar dan darat. Temuan ini menunjukkan bahwa upaya perbaikan lingkungan sebaiknya difokuskan pada pengurangan emisi nutrisi ke perairan, efisiensi penggunaan air, serta penurunan emisi gas rumah kaca dan zat beracun.

3.4 Rekomendasi Perbaikan Lingkungan

Berdasarkan hasil analisis LCA, rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan antara lain:

1. Peningkatan efisiensi energi melalui optimalisasi penggunaan mesin dan perawatan berkala.
2. Penggunaan material baja daur ulang untuk menurunkan dampak kelangkaan sumber daya.
3. Optimalisasi desain produk untuk mengurangi kebutuhan material.
4. Pemantauan konsumsi energi secara berkala sebagai bagian dari sistem manajemen lingkungan ISO 14001.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai kajian dampak lingkungan pada proses fabrikasi baja dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) di PT. Bakrie Metal Industries, maka dapat ditarik beberapa Kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahapan proses fabrikasi baja di PT. Bakrie Metal Industries secara umum meliputi penerimaan dan persiapan bahan baku, proses pemotongan (*cutting*), pembentukan (*forming*), pengelasan (*welding*), perakitan (*assembling*), pelapisan/pengecatan (*coating/painting*), hingga pengemasan produk. Setaip tahapan proses tersebut melibatkan penggunaan energi listrik, material pendukung, serta menghasilkan output berupa produk utama, scrap logam, dan emisi lingkungan.
2. Hasil *Life Cycle Inventory* (LCI) menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik merupakan input terbesar dalam proses fabrikasi baja, khususnya pada penggunaan mesin-mesin utama seperti *roll forming*, *punching*, *slitter*, dan mesin las. Selain itu, proses produksi juga menghasilkan scarp logam baja yang berasal dari sisa pemotongan dan pembentukan material, yang meskipun dapat didaur ulang, tetap memberikan kontribusi terhadap beban lingkungan.
3. Hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dampak lingkungan terbesar berasal dari emisi CO₂ akibat penggunaan energi listrik dari jaringan PLN dan aktivitas transportasi. Dampak ini berkontribusi signifikan terhadap kategori dampak perubahan iklim (*Global Warming Potential*). Produk dengan konsumsi energi listrik paling tinggi menunjukkan kontribusi dampak lingkungan yang paling besar dibandingkan produk lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi kepada Ibu Dr. Ratih Kumalasari, S.pd., M.Si dan Bapak Ir. Alloysius Vendhi Prasmoro, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing atas arahan dalam penyusunan penelitian ini. Saya ucapkan terimakasih juga ditunjukkan kepada PT. Bakrie Metal Industrie atas izin dan data yang diberikan untuk kelancaran riset peneliti saya.

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani, L. (2022). *Peranan Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Dalam Menunjang Perolehan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan (Proper) Pada Industri Mineral Timah*. 7, 24–31.
- Indah, A. B. R., Bahri, S., Amar, K., Asmal, S., Hanafi, R., Hadijah, A. N. I., Sakti, F., & Afifudin, M. T. (2024). *Sosialisasi Penggunaan Software Simapro untuk Analisis Siklus Hidup dalam Konteks Keberlanjutan Lingkungan*. 7, 347–359.
- Industri, D. T., Darma, U., & Jakarta, P. (2019). *PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN LINGKUNGAN*. IX(2), 67–73.
- Iso, B. S. E. N. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. 3(1).
- Jenderal, D., Pencemaran, P., Lingkungan, K., Lingkungan, K., & September, K. (2021). *DAUR HIDUP*. September.
- Nafi, Z. (2022). *Ekonomi Sirukular dan Pembangunan Berkelanjutan*.