

Kajian Dampak Lingkungan Proses Produksi Emas PT Indo Muro Kencana menggunakan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*

Regina Ismudarisa Ragat¹, Alma Vita Sophia¹, dan Denny Dermawan^{1*}

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

*E-mail: denny.dermawan@ppns.ac.id

Abstrak

PT Indo Muro Kencana adalah perusahaan produksi emas yang berpotensi memunculkan dampak lingkungan karena menghasilkan limbah berupa *tailing* dari penggunaan bahan kimia pada proses ekstraksinya, dan emisi dari penggunaan bahan bakar dan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dari proses produksi emas PT Indo Muro Kencana dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Batasan sistem yang digunakan adalah *gate to gate* mulai dari pengumpulan bijih emas (*ore*) hingga menjadi *dore bullion*. Analisis dampak lingkungan menggunakan *software* SimaPro 9.0 dengan metode CML AI *Baseline*. Hasil penelitian menunjukkan besarnya nilai dampak untuk proses produksi emas *abiotic depletion potential (Fossil-Fuels)* sebesar 4,29E+02 MJ, *global warming potential (GWP100a)* sebesar 1,20E+07 kg CO₂ eq, *human toxicity* sebesar 2,06E+06 kg 1,4-DCB eq, *freshwater aquatic ecotoxicity* sebesar 3,25E+02 kg 1,4-DCB eq, *marine aquatic ecotoxicity* sebesar 1,96E+05 kg 1,4-DCB eq, *terrestrial ecotoxicity* sebesar 1,7E+01 kg 1,4-DCB eq, *photochemical oxidant* sebesar 1,07E+05 kg C₂H₄ eq, *acidification potential* sebesar 1,20E+06 kg SO₂ eq, dan *eutrophication potential* sebesar 5,28E-05 kg PO₄ eq. Titik hotspot pada proses produksi emas berada pada unit proses *elution* dengan dampak paling besar adalah *global warming potential (GWP100a)*. Aksi mitigasi terbaik yang diusulkan untuk menurunkan dampak GWP pada unit *elution* dari proses produksi emas PT Indo Muro Kencana yaitu dengan penambahan *economizer* sebagai *preheater steam* (uap pemanasan awal) untuk memanaskan air umpan sebelum memasuki *boiler*.

Keywords: CML-IA *Baseline*, *Global Warming Potential (GWP100a)*, LCA, Produksi Emas, SimaPro 9.0.

1. PENDAHULUAN

Emas merupakan logam dan mineral berharga yang lunak, mudah ditempa, berwujud padat dan warnanya kuning (Yanuar, 2015). Emas tersebut akan dipasarkan dan diperdagangkan hampir di semua pasar perdagangan emas dalam jumlah yang cukup besar. Namun proses pertambangan dan produksi emas selain menguntungkan juga dapat memberikan beberapa dampak negatif, salah satunya akan menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Berdasarkan penelitian dari Wei Chen, dkk (2018), proses produksi emas telah menimbulkan banyak masalah lingkungan dan kesehatan masyarakat di seluruh dunia. Dampak tersebut disebabkan karena emas tidak bereaksi dengan sebagian besar reaksi kimia, sehingga memerlukan bahan kimia dalam proses ekstraksinya. Ekstraksi dan pengolahan emas merupakan sumber bahan kimia berbahaya yang signifikan seperti sianida, merkuri dan aqua regia dan bahan lainnya yang menyebabkan dampak serius terhadap keanekaragaman hayati dan kesehatan manusia. Proses produksi emas juga memerlukan energi yang bersumber dari listrik dan penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan bakar dan listrik berpotensi menghasilkan CO₂, NH₄ dan N₂O (Jendral Direktorat Ketenagalistrikan ESDM, 2018).

PT Indo Muro Kencana adalah perusahaan yang bergerak dalam kegiatan penambangan dan produksi emas dan mineral pengikutnya yang berlokasi di Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Proses pertambangan dan produksi emas yang dilakukan oleh PT Indo Muro Kencana tentu memberikan beberapa dampak negatif bagi lingkungan karena menghasilkan limbah. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi emas tersebut memerlukan suatu metode pendekatan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan adalah dengan pendekatan daur hidup atau *Life Cycle Assessment (LCA)*.

LCA merupakan suatu metode untuk mengevaluasi input, output dan potensi dampak lingkungan pada daur hidup suatu sistem produk berdasarkan SNI ISO 14040 dan 14044. LCA juga merupakan metode untuk mengetahui secara menyeluruh sumber daya yang digunakan, konsumsi energi, biaya, dan menganalisis dampak lingkungan dalam satu siklus hidup (Harjanto, 2012).

2. METODE

Penelitian dilakukan di perusahaan produksi emas yaitu PT Indo Muro Kencana yang berlokasi di Muro Site, Dirung, Dirung Lingkin, Tanah Siang Selatan, Kabupaten Murung Raya, Kalimantan Tengah. Data yang digunakan berupa data primer dan sekunder yang diambil pada bulan Februari sampai Maret tahun 2024. Data primer didapatkan dari hasil dari observasi langsung serta wawancara dengan departemen terkait di perusahaan. Data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah jumlah bahan baku, jumlah bahan bakar, jumlah penggunaan listrik dan air, dan jumlah bahan kimia. Data sekunder berasal dari sumber literatur seperti penelitian terdahulu, artikel ilmiah dan peraturan pemerintah. Adapun data emisi GRK dari kegiatan peternakan, penggunaan listrik dan transportasi dihitung berdasarkan dengan mengikuti panduan yang dikeluarkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (Eggleston, 2006).

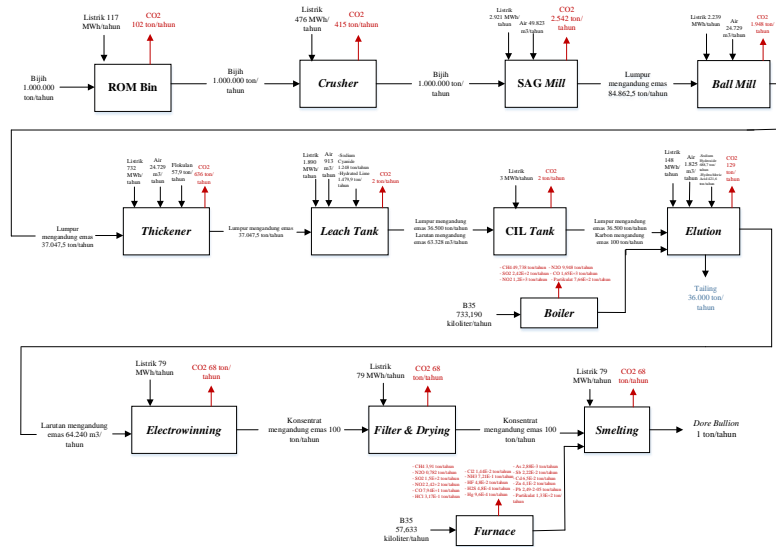
Metode yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan adalah Life Cycle Assessment (LCA) yang sesuai dengan *framework* ISO 14040 (2016). LCA merupakan teknik menilai aspek lingkungan dan dampak potensial yang terkait dengan suatu produk. Metode ini terdiri atas empat tahapan yaitu (1) penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*), bertujuan untuk merumuskan dan menggambarkan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan dan asumsi, (2) inventarisasi daur hidup (*life cycle inventory*), merupakan pengumpulan data kuantitatif untuk menentukan level atau tipe input energi maupun material pada suatu sistem industri dan hasil yang dilepaskan ke lingkungan, (3) penilaian dampak daur hidup (*life cycle impact assessment*), yaitu untuk menganalisis dampak suatu proses terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang telah didata secara kuantitatif pada penakaraninventori, (4) interpretasi hasil (*interpretation*), yaitu penarikan kesimpulan berdasarkan hasil inventarisasi dan penilaian dampak daur hidup. Analisis dilakukan menggunakan *software* SimaPro 9.0 menggunakan metode CML-IA *baseline*. Metode ini dikembangkan pada tahun 2001 oleh sekelompok peneliti di Pusat Ilmu Lingkungan Universitas Leiden, yang mengusulkan serangkaian metode karakterisasi dan kategori dampak untuk penilaian dampak lingkungan. Metode CML dapat memunculkan dampak lingkungan dari model sistem yang dievaluasi menggunakan 11 indikator titik tengah (*midpoint*), misalnya pemanasan global, penipisan ozon, pengasaman air, pembentukan oksidan fotokimia, dan eutrofikasi air (Lozano, 2019).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pada produksi emas terdiri dari 11 (sebelas) unit proses yaitu ROM bin, crusher, SAG mill, ball mill, thickener, leach tank, CIL tank, elution, electrowinning, filter & drying, dan smelting. Setiap unit proses yang dilakukan, menimbulkan beban emisi yang dapat berasal dari bahan baku, penggunaan listrik, penggunaan bahan bakar, penggunaan bahan kimia, dan penggunaan air. Kajian LCA dilakukan menggunakan *software* SimaPro 9.0 dengan metode CML-IA *baseline*. Hasil dari kajian ini akan menunjukkan dampak terbesar dari sebuah proses atau disebut juga titik *hotspot*.

3.1 Tujuan dan Ruang Lingkup

Penentuan tujuan dan ruang lingkup akan menjadi dasar dari kajian LCA untuk melakukan inventarisasi data hingga penilaian dampak lingkungan yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dan mitigasi berdasarkan titik *hotspot* dampak tersebut pada siklus produksi emas. Sedangkan lingkup yang dikaji dalam kajian ini yaitu *gate to gate* yang dimulai dari tempat pengumpulan biji emas (*ore*) pada ROM bin hingga peleburan emas di *smelting*. Ruang lingkup dan neraca massa proses produksi emas dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 23. Ruang Lingkup dan Neraca Massa Proses Produksi EMAS PT Indo Muro Kencana

3.2 Inventarisasi Daur Hidup

Kegiatan inventarisasi daur hidup pada produksi emas yaitu proses pemasukan data-data yang telah diperoleh sebelumnya. Data tersebut meliputi data input dan output yang berupa jumlah bahan baku, energi, produk, dan emisi. Data pada tahap ini adalah data satu siklus daur hidup produk selama satu tahun pada tahun 2023 untuk data sekunder yaitu faktor emisi untuk penggunaan listrik dan penggunaan bahan bakar. Sedangkan untuk data primer berupa hasil wawancara dan pengujian merupakan data yang digeneralkan untuk satu tahun. Pada tahap inventarisasi ini juga dilakukan perhitungan dan pengolahan data. Data inventori pada proses produksi emas PT Indo Muro Kencana dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 12. Data Inventori Proses Produksi Emas PT Indo Muro Kencana

Unit Proses	Input-Output	Data Inventori	Satuan	Jumlah
ROM Bin	Input	Ore	ton	1.000.000
		Listrik	MWh	117
	Output	Ore	ton	1.000.000
		Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂
Crusher	Input	Ore	ton	1.000.000
		Listrik	MWh	476
	Output	Ore	ton	415
		Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂
SAG Mill	Input	Ore	ton	1.000.000
		Listrik	MWh	2.921
		Penggunaan air	m ³	49.823
	Output	Slurry	ton	84.863
Ball Mill	Input	Slurry	ton	84.863
		Penggunaan air	m ³	24.729
		Listrik	MWh	2.239
	Output	Slurry	ton	37.048
Thickener	Input	Slurry	ton	37.048
		Listrik	MWh	732
		Flokulan	ton	57,9
	Output	Slurry	ton	37.048
Leach Tank	Input	Slurry	ton	37.048
		Listrik	MWh	1.890
		Sodium Cyanide	ton	1.248
	Output	Solution	m ³	63.328

		Slurry	ton	36.500
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	1.645
CIL Tank	Input	Solution	m ³	63.328
		Slurry	ton	36.500
		Listrik	MWh	3
	Output	Carbon	ton	100
		Slurry	ton	36.500
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	2
Elution	Input	Carbon	ton	100
		Slurry	ton	36.500
		Listrik	MWh	148
		B35	kiloliter	733,19
		Sodium Hydroxide	ton	688,7
		Hydrochloric Acid	ton	421,6
		Penggunaan air	m ³	1.825
	Output	Solution	m ³	64.240
		Tailing	ton	36.000
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	129
		CH ₄	ton CH ₄	49,738
		N ₂ O	ton N ₂ O	9,948
		SO ₂	ton SO ₂	242
CO		ton CO	1.650	
NO ₂		ton NO ₂	1.200	
	Partikulat	ton Partikulat	766	

Unit Proses	Input-Output	Data Inventori	Satuan	Jumlah
Electrowinning	Input	Solution	m ³	64.240
		Listrik	MWh	79
	Output	Konsentrat	ton	1
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	68
Filter & Drying	Input	Konsentrat	ton	1
		Listrik	MWh	79
	Output	Konsentrat	ton	1
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	68
Smelting	Input	Konsentrat	ton	1
		Listrik	MWh	79
		B35	kiloliter	57,633
	Output	Dore bullion	ton	1
	Emisi ke Udara	CO ₂	ton CO ₂	68.000
		CH ₄	ton CH ₄	3.910
		N ₂ O	ton N ₂ O	782
		SO ₂	ton SO ₂	158
		NO ₂	ton NO ₂	242
		CO	ton CO	79,40
		HCl	ton HCl	0,317
		Cl ₂	ton Cl ₂	0,014
		NH ₃	ton NH ₃	0,721
		HF	ton HF	0,048
		H ₂ S	ton H ₂ S	0,00048
Partikulat		ton Partikulat	133	
Hg	ton Hg	0,001		
As	ton As	0,003		
Sb	ton Sb	0,022		

3.3 Penilaian Dampak Daur Hidup

Penilaian dampak pada daur hidup produk emas dilakukan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan berdasarkan hasil analisis inventori. Data-data yang telah diinventarisasi tersebut kemudian diolah menggunakan *software* SimaPro 9.0. Penilaian dampak lingkungan dilakukan dengan menggunakan metode CML-IA *Baseline*. Hasil dampak yang dianalisis disajikan dalam bentuk deskriptif dan tabel agar hasil data lebih mudah dipahami dan terlihat perbandingannya.

a. Karakterisasi (*Characterization*)

Tahapan *characterization* kan faktor produksi yang didapat dari *life cycle inventory*. Selain itu, tahapan ini

juga adalah proses mengukur kontribusi dampak kegiatan pada setiap indikator dampak, dengan cara mengalikan senyawa yang berpengaruh pada *impact category* dengan *characterization factor* sehingga dapat menunjukkan kontributif relatif dari berbagai senyawa tersebut. Sebanyak 9 dari 11 kategori dampak pada metode CML-IA *Baseline* muncul dari hasil analisis ini. Hasil analisis *characterization* proses produksi emas PT Indo Muro Kencana dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 13. Hasil Analisis *Characterization* Proses Produksi Emas PT Indo Muro Kencana

Unit Proses	Kategori Dampak								
	<i>Abiotic Depletion Potential (Fossil)</i>	<i>Global Warming Potential (GWP100a)</i>	<i>Human Toxicity</i>	<i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>	<i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>	<i>Terrestrial Ecotoxicity</i>	<i>Photochemical Oxidant</i>	<i>Acidification Potential</i>	<i>Eutrophication Potential</i>
	MJ	kg CO ₂ eq	kg 1,4-DCBeq	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DCB eq	kg 1,4-DCB eq	kg C ₂ H ₄ eq	kg SO ₂ eq	kg PO ₄ eq
ROM Bin	1,17E+01	1,03E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Crusher	4,76E+01	4,15E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
SAG Mill	2,92E+02	2,54E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ball Mill	0,00E+00	1,95E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Thickener	7,32E+01	6,36E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Leach Tank	1,89E+02	1,65E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CIL Tank	2,66E-01	2,00E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Elution	1,48E+01	4,16E+06	1,46E+06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,02E+04	8,90E+05	1,59E+05
Electrowinning	7,90E+00	6,80E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Filter & Drying	7,90E+00	6,80E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Smelting	7,90E+00	3,85E+05	6,01E+05	3,25E+02	1,96E+05	4,70E+01	1,65E+04	3,11E+05	3,19E+04
Total	4,29E+02	1,20E+07	2,06E+06	3,25E+02	1,96E+05	4,70E+01	1,07E+05	1,20E+06	1,91E+05

Hasil analisis *characterization* pada Tabel 2 menunjukkan bahwa *global warming potential (GWP100a)* merupakan dampak paling besar yang ditimbulkan dari proses produksi emas PT Indo Muro Kencana dengan nilai dampak sebesar 1,20E+07 kg CO₂ eq.

b. Normalisasi (*Normalization*)

Normalisasi adalah tahap keseragaman unit untuk semua kategori dampak. Tujuan normalisasi adalah untuk memudahkan perbandingan antar kategori dampak (Palupi dkk., 2014). Tahap normalisasi ini juga dapat digunakan sebagai penentuan titik hotspot atau unit proses kegiatan mana yang berdampak paling besar terhadap lingkungan pada produksi emas. Hasil analisis normalisasi untuk tiap unit proses produksi emas PT Indo Muro Kencana dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 14. Hasil Analisis Normalisasi Proses Produksi Emas PT Indo Muro Kencana

Unit Proses	Kategori Dampak									
	Total	<i>Abiotic Depletion Potential (Fossil)</i>	<i>Global Warming Potential (GWP100a)</i>	<i>Human Toxicity</i>	<i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i>	<i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i>	<i>Terrestrial Ecotoxicity</i>	<i>Photochemical Oxidant</i>	<i>Acidification Potential</i>	<i>Eutrophication Potential</i>
ROM Bin	2,03E-08	3,73E-11	2,03E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Crusher	8,26E-08	1,52E-12	8,26E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
SAG Mill	5,06E-07	9,29E-12	5,06E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ball Mill	3,88E-07	0,00E+00	3,88E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Thickener	1,27E-07	2,33E-12	1,27E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Leach Tank	3,27E-07	6,01E-12	3,27E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CIL Tank	3,98E-10	8,46E-15	3,98E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Elution	5,52E-05	4,71E-13	8,27E-07	1,89E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,06E-05	1,16E-05	1,20E-05
Electrowinning	1,35E-08	2,51E-13	1,35E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

<i>Filter & Drying</i>	1,35E-08	2,51E-13	1,35E-08	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
<i>Smelting</i>	3,24E-05	2,51E-13	7,66E-08	7,75E-08	6,28E-10	1,68E-05	9,69E-10	1,95E-06	1,11E-05	2,42E-06
Total	8,91E-05	1,36E-11	2,38E-05	2,67E-07	6,28E-10	1,68E-05	9,69E-10	1,26E-05	2,27E-05	1,44E-05

Keterangan:

titik *hotspot* kategori dampak

nilai dampak terbesar masing-masing unit proses

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa unit proses *elution* memiliki nilai normalisasi yang paling tinggi yaitu 5,52E-05. Unit *elution* merupakan proses desorpsi atau pelepasan senyawa kompleks emas dari karbon aktif yang sudah mengadsorpsi senyawa kompleks emas. Unit ini memiliki kontribusi terbesar karena menghasilkan emisi GRK dari penggunaan listrik dan bahan bakar dalam prosesnya. Gambar dari unit proses *elution* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 24. Unit Proses *Elution*

Sedangkan kategori dampak *global warming potential* (GWP100a) menyumbang kontribusi paling besar dari seluruh kategori dampak yang dihasilkan yaitu sebesar 2,38E-05. Besarnya dampak GWP disebabkan juga karena penggunaan listrik maupun bahan bakar berupa B35 dalam proses produksi emas. Penggunaan energi tersebut memunculkan emisi GRK berupa karbon dioksida (CO₂), dinitrogen oksida (N₂O), dan metana (CH₄). Adanya gas-gas tersebut berakibat pada meningkatnya temperature di atmosfer (Irma, dkk., 2019).

3.4 Interpretasi Hasil

Interpretasi merupakan tahapan terakhir dari analisis LCA. Tahapan ini dilakukan evaluasi dan analisis terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan dalam upaya menentukan perbaikan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Tahap ini akan menghubungkan data inventori dan kategori dampak yang dikaji untuk menentukan dampak yang signifikan (*hotspot*) dan kesimpulan.

Analisis *hotspot* dilakukan dengan menentukan titik-titik *hotspot* atau titik yang menimbulkan dampak paling signifikan. Titik *hotspot* dampak berupa unit proses, kategori dampak, maupun substansi yang memiliki nilai tertinggi pada suatu rangkaian proses produksi. Hasil analisis normalisasi menggunakan *software* SimaPro 9.0 dengan metode CML-IA *Baseline* digunakan sebagai acuan untuk menentukan titik *hotspot*. Berdasarkan hasil normalisasi yang telah disajikan pada Tabel 3, dampak paling besar yang dihasilkan adalah *global warming potential* (GWP100a). Sehingga, kategori dampak GWP ini dapat dikatakan sebagai *hotspot* dampak dari proses produksi emas. Adapun titik *hotspot* pada unit proses terletak pada unit proses *elution* yang memiliki nilai normalisasi paling tinggi.

Aksi mitigasi terbaik yang diusulkan untuk menurunkan dampak GWP pada unit *elution* dari proses produksi emas PT Indo Muro Kencana yaitu pemasangan *economizer* sebagai *preheater steam* (uap pemanasan awal) untuk memanaskan air umpan sebelum memasuki *boiler* dapat menurunkan parameter CO₂ sebesar 2.524,116 ton CO₂/tahun, parameter CH₄ sebesar 1.345 ton CH₄/tahun, dan parameter N₂O sebesar 120,1 ton N₂O/tahun. Pemasangan *economizer* ini akan mengurangi konsumsi energi maupun emisi gas buang seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen monoksida (N₂O) (Masaji, dkk., 2023).

3.5 Evaluasi Data

Berdasarkan ISO SNI 14044:2017, evaluasi data merupakan unsur dalam tahap interpretasi daur hidup untuk meningkatkan reliabilitas penelitian. Evaluasi data penelitian ini mempertimbangkan aspek kelengkapan, analisis sensitivitas, dan pemeriksaan konsistensi. Evaluasi data dilakukan dengan tujuan untuk menetapkan tingkat kepercayaan terhadap hasil akhir penelitian siklus hidup dan membahasnya dengan lengkap dan akurat.

a. Completeness Check

Pemeriksaan kelengkapan dilakukan untuk memastikan bahwa semua informasi yang relevan dan data yang dibutuhkan untuk interpretasi tersedia dan lengkap. Hasil analisis kelengkapan tersebut terangkum pada Tabel 1.

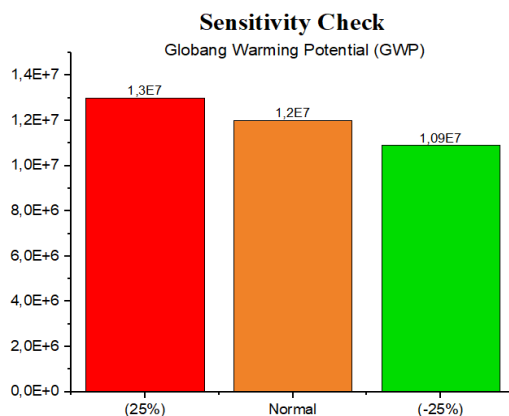
Tabel 15. Daftar *Check* Kelengkapan Sesuai ISO SNI 14044:2017

Parameter	Kelengkapan	Keterangan
Tujuan	✓	Telah sesuai dengan tujuan LCA
Ruang lingkup	✓	Telah memasukkan ruang lingkup yaitu <i>gate to gate</i>
Alur proses produksi	✓	Telah dibuat alur proses produksi emas
Mass balance	✓	Telah dibuat neraca massa sesuai dengan inventori
Bahan baku	✓	Telah memasukkan data bahan baku
Penggunaan energi/bahan bakar	✓	Telah memasukkan data pemakaian bahan bakar dan listrik
Bahan kimia	✓	Telah memasukkan data pemakaian bahan kimia
Waste/Emisi	✓	Telah memasukkan data emisi yaitu emisi ke udara dan tanah
Output (produk)	✓	Telah memasukkan data output (produk) berupa <i>dore bullion</i>
Klarifikasi data	✓	Telah dilakukan klarifikasi data ke pihak perusahaan yaitu PT Indo Muro Kencana
Observasi data	✓	Telah dilakukan observasi data langsung ke lapangan

Completeness check pada tabel 6 menjelaskan mengenai kelengkapan LCI. Perolehan data dilakukan dengan observasi dan inventarisasi perusahaan, data yang didapatkan telah di klarifikasi oleh pihak perusahaan. Klarifikasi data survey dari data keaslian perusahaan dibutuhkan untuk memastikan jumlah, perhitungan, kelengkapan dan pengolahan data yang dilakukan telah sesuai dan lengkap.

b. Sensitivity Check

Perhitungan *sensitivity check* dilakukan dengan menambahkan dan mengurangi data bahan baku atau input sebanyak 25% pada unit proses yang memiliki keterkaitan dampak pada *running* LCA. Setelah dilakukan penambahan dan pengurangan data *input* 25%. Hasil analisis sensitivitas tersaji pada Gambar 3 berikut.



Gambar 25. Grafik Analisis Sensitivitas

Berdasarkan Gambar 3 di atas, dapat dilihat perbandingan hasil nilai dampak setelah penambahan dan pengurangan data *inventory* sebesar 25% pada dampak GWP. Selanjutnya, akan dilakukan perhitungan deviasi dan didapatkan nilai deviasi total 0.

c. Consistency Check

Konsistensi pada asumsi, metode, dan data ini bertujuan untuk memudahkan pemahaman sehingga tidak terjadi multi-tafsir dalam analisis LCA. Hasil analisis *consistency check* terangkum pada Tabel 5.

Tabel 16. Hasil Analisis Pemeriksaan Konsistensi

Pemeriksaan	Konsistensi	Keterangan
Sumber data	Konsisten	Komposisi data yang digunakan adalah 78% data primer dan 22% data sekunder. Secara umum, kajian LCA menggunakan proporsi data tertinggi berasal dari sumber data primer (Miah, 2017).
Akurasi data	Konsisten	Akurasi data baik, karena ada bukti hasil monitoring perusahaan dan laboratorium eksternal.
Umur data	Konsisten	Data yang digunakan adalah data dalam 1 tahun produksi emas.
Cakupan waktu	Konsisten	Periode data yang digunakan adalah selama 1 tahun yaitu Januari – Desember 2023.
Cakupan teknologi	Konsisten	Unit proses yang dianalisis yaitu ROM Bin, Crusher, SAG Mill, Ball Mill, Thickener, Leach Tank, CIL Tank, Elution, Electrowinning, Filter & Drying, dan Smelting.
Metode yang digunakan	Konsisten	Menggunakan metode yang mencakup seluruh dampak lingkungan sesuai ketentuan PROPER yaitu CML IA Baseline, ReCiPe Midpoint (H) 2016, AWARE, dan Cumulative Energy Demand (LHV).
Cakupan geografis	Konsisten	Telah sesuai dengan cakupan geografis yang ada di Indonesia.

Berdasarkan Tabel 5 di atas dapat diketahui bahwa inkonsistensi kajian LCA ini terletak pada sumber data. Data primer 78% yaitu data hasil wawancara dan pengujian, sedangkan 22% data sekunder berupa faktor emisi penggunaan listrik dan bahan bakar. Pada sumber data, akurasi data, umur data, cakupan teknologi, metode yang digunakan, cakupan waktu, dan cakupan geografis adalah konsisten.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian LCA pada proses produksi emas di PT Indo Muro Kencana menggunakan *software* SimaPro 9.0 dihasilkan 9 kategori dampak besarta besarnya nilai dampak yang dihasilkan terhadap lingkungan diantaranya *abiotic depletion potential (Fossil-Fuels)* sebesar 4,29E+02 MJ, *global warming potential (GWP100a)* sebesar 1,20E+07 kg CO₂ eq, *human toxicity* sebesar 2,06E+06 kg 1,4-DCB eq, *freshwater aquatic ecotoxicity* sebesar 3,25E+02 kg 1,4-DCB eq, *marine aquatic ecotoxicity* sebesar 1,96E+05 kg 1,4-DCB eq, *terrestrial ecotoxicity* sebesar 1,7E+01 kg 1,4-DCB eq, *photochemical oxidant* sebesar 1,07E+05 kg C₂H₄ eq, *acidification potential* sebesar 1,20E+06 kg SO₂ eq, dan *eutrophication potential* sebesar 5,28E-05 kg PO₄ eq. Titik hotspot pada proses produksi emas PT Indo Muro Kencana terletak pada unit proses *elution* dengan nilai sebesar 5,52E-05. Kategori dampak paling besar adalah *Global Warming Potential (GWP100a)* dengan kontribusi sebesar 2,38E-05. Aksi mitigasi terbaik yang diusulkan untuk menurunkan dampak GWP pada unit *elution* dari proses produksi emas PT Indo Muro Kencana yaitu penambahan *economizer* sebagai *preheater steam* (uap pemanasan awal) untuk memanaskan air uap sebelum memasuki *boiler*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI ISO 14040: 2016 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Prinsip dan Kerangka Kerja*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. *SNI ISO 14044:2017 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Persyaratan dan Panduan – International Standard ISO 14044*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Chen, W., Geng, Y., Hong, J., Dong, H., Cui, X., Sun, M., & Zhang, Q. (2018). Life cycle assessment of gold production in China. *Journal of Cleaner Production*, 179(1), 143–150.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.114>

- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM . (2018). *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (Bidang Energi - Sub Bidang Ketenagalistrikan)*. Jakarta: Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 1(1), 1–124.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., & Tanabe, K. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Japan: Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- Harjanto, T.R., Fahrurrozi, M., & Made B., I. (2012). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa, *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), 51-58. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.4696>.
- Irma. M. F., & Eva., G. 2024. Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Gas Rumah Kaca di Indonesia. *Jurnal Sains dan Sains Terapan*, 2(1), 26-32.
- Lozano-Miralles, J. A., Hermoso-Orzáez, M. J., Gago-Calderón, A., & Brito, P. (2019). LCA case study to LED Outdoor Luminaries as a Circular Economy Solution to Local Scale. *Sustainability*, 12(1), 190.
- Masaji, M., Aisha, N., dan Soeprijanto. 2023. Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat *Economizer* Sebagai *Pre-Heater Steam*. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), F155-F160.
- Palupi, A. H., Tama, I. P., & Sari, R. A. 2014. Evaluasi dampak lingkungan produk kertas dengan menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytic Network Process (ANP) (Studi Kasus: PT X Probolinggo). *JRMSI*, 2(5), 1136–1147.