

PENENTUAN PROGRAM PERBAIKAN LINGKUNGAN TERHADAP DAMPAK EMISI PROSES PENAMBANGAN BATUBARA DENGAN METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Oleh:

Adhi Yuniarto ¹⁾

Dita Amalia ²⁾

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Kampus ITS Sukolilo, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

E-mail:

adhy@its.ac.id ¹⁾

ditamaliaa@gmail.com ²⁾

ABSTRACT

PT Berau Coal is a coal mining company that has a mining concession area of 108,009 ha located in Berau Regency, East Kalimantan and has a production capacity according to its environmental permit of up to 40,000,000 MT in 2020. Binungan Mine Operation which is one of the mining areas of PT Berau Coal has an existing coal production of 10,927,033.74 tons in 2020. The coal production process starts from the Land Clearing, Soil Removal, Drilling and Blasting, Material Removal, Coal Getting, Coal Hauling, Coal Crushing, Barging and Transshipment processes. All stages of the process rely on units that produce emissions, so it is undeniable that the production process has an impact on the environment. This study was conducted to evaluate the magnitude of the potential environmental impact resulting from the production process to then obtain a hotspot point which is used as a reference to determine environmental innovation programs that can reduce the impact of the resulting emissions. Environmental impact analysis was carried out with the help of openLCA software using the TRACI baseline method which includes the potential impacts of global warming, eutrophication, and acidification. The results of the assessment show that the production of 1 tonne of coal produces a global warming impact of 30,861 kg CO₂-oak/tonne of coal, eutrophication of 0.034 kg PO₄-oak/ton of coal, and acidification of 33,097 kg SO₂-oak/tonne of coal with the greatest impact being in Material Removal stage with a potential value of global warming impact of 23,102 kg CO₂-oak/tonne of coal, eutrophication of 0.026 kg PO₄-oak/ton of coal, and acidification of 25,642 kg SO₂-oak/tonne of coal. From the iteration results, the potential impact of these emissions can be reduced by using the Biodiesel B30 Program which can reduce 42.92% of the impact of global warming, 42.67% of the impact of eutrophication, and 37.57% of the impact of acidification..

Keywords: *Coal Production; Cradle to Gate; Life Cycle Assessment; global warming; eutrophication; acidification.*

ABSTRAK

PT Berau Coal adalah perusahaan pertambangan batubara yang memiliki area konsesi pertambangan seluas 108.009 ha yang terletak di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur dan memiliki kapasitas produksi sesuai izin lingkungannya hingga 40.000.000 MT pada tahun 2020. Binungan Mine Operation yang merupakan salah satu area penambangan PT Berau Coal memiliki produksi eksisting batubara sebesar 10.927.033,74 ton pada tahun 2020. Proses produksi batubara dimulai dari proses *Land Clearing, Soil Removal, Drilling and Blasting, Material Removal, Coal Getting, Coal Hauling, Coal Crushing, Barging* hingga *Transshipment*. Keseluruhan tahapan proses mengandalkan unit-unit yang menghasilkan emisi sehingga tidak dipungkiri proses produksi menimbulkan dampak emsii bagi lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi besaran potensi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi untuk kemudian didapatkan titik hotspot yang dijadikan acuan untuk menentukan program inovasi lingkungan yang dapat menurunkan dampak emisi yang dihasilkan. Analisis dampak lingkungan dilakukan dengan bantuan *software* openLCA menggunakan metode TRACI baseline yang meliputi potensi dampak *global warming*, *eutrophication*, dan *acidification*. Hasil penilaian menunjukkan bahwa produksi 1 ton batubara menghasilkan dampak *global warming* sebesar 30,861 kg CO₂-ek/ton batubara, *eutrophication* sebesar 0,034 kg PO₄-ek/ton batubara, dan *acidification* sebesar 33,097 kg SO₂-ek/ton batubara dengan dampak paling besar berada pada tahapan *Material Removal* dengan nilai potensi dampak *global warming* sebesar 23,102 kg CO₂-ek/ton batubara, *eutrophication* sebesar 0,026 kg PO₄-ek/ton batubara, dan *acidification* sebesar 25,642 kg SO₂-ek/ton batubara. Dari hasil iterasi, potensi dampak emisi ini dapat direduksi dengan Program Penggunaan Biodiesel B30 yang dapat menurunkan 42.92% dampak *global warming*, 42.67% dampak *eutrophication*, dan 37.57% dampak *acidification*.

Kata kunci: Produksi Batubara; *Cradle to Gate*; *Life Cycle Assessment*; *global warming*; *eutrophication*; *acidification*.

1. PENDAHULUAN

PT Berau Coal adalah perusahaan pertambangan batubara yang memiliki area konsesi pertambangan seluas 108.009 ha yang terletak di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur dan memiliki kapasitas produksi eksisting hingga 33.000.000MT pada tahun 2021. Berdasarkan surat Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 178.K/40.00/DJG/205 tanggal 7 April 2005 dan berlaku sampai dengan tahun 2005, PT Berau Coal memiliki tiga *site* yakni Binungan *Mine Operation* (BMO), Lati *Mine Operation* (LMO), dan Samarata *Mine Operation* (SMO).

Sistem penambangan di ketiga *site* dilaksanakan dengan cara penambangan terbuka (*open pit*) dengan metode penggalian dan penimbunan kembali (*back filling metode*) yang disesuaikan dengan desain dan pergerakan penambangan.

Penambangan batubara di area PT Berau Coal dilakukan dengan sistem peledakan untuk memberaikan lapisan tanah penutup (*overburden*) dan didukung oleh kombinasi peralatan *hydraulic excavator* (*backhoe dan shovel*), *bulldozer*, dan *dump truck*. Setelah batubara ditambang, proses logistik dilakukan melalui hauling road dengan jarak 17-45 km menuju ROM (*Run of Mine*) *stockpile* dan siap dilakukan

proses pemecahan sesuai dengan permintaan pelanggan pada *Coal Processing Plant* (CPP). Batubara kemudian didistribusikan kepada pelanggan melalui jalur laut.

PT Berau Coal bekerja sama dengan sebelas kontraktor penambangan utama dari proses Eksplorasi hingga *Shipping* yang melakukan proses operasional dengan menggunakan Berau Coal *Green Mining System* (BeGems). Sistem ini dibuat oleh PT Berau Coal sebagai pedoman penambangan ramah lingkungan yang disesuaikan dengan peraturan perundangan yang berlaku di Indonesia. Sistem ini pula yang menjadi dasar penentuan kebijakan lingkungan yang diterapkan pada area perusahaan.

Walau demikian tidak dapat dipungkiri aktifitas operasional pertambangan batubara tetap menghasilkan dampak bagi lingkungan. Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu adanya strategi alternative untuk menciptakan produk dengan proses yang lebih ramah lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA merupakan suatu metode analisis yang banyak digunakan untuk meneliti potensi dampak lingkungan dari

suatu produk di sepanjang siklus hidupnya (Brujin et al., 2002). LCA dapat digunakan untuk menganalisis beban lingkungan pada semua tahapan siklus hidup sebuah produk dari *cradle to grave* (Brujin et al., 2002).

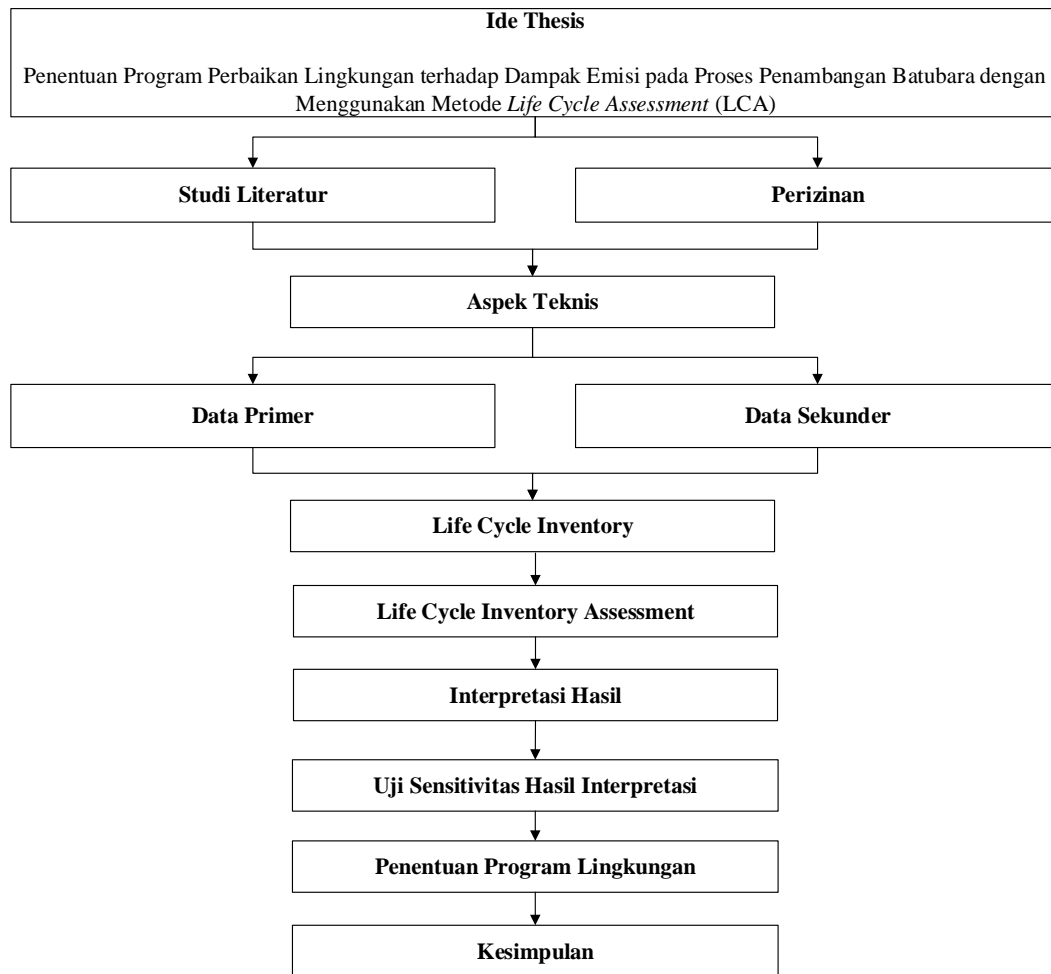
Hasil analisis LCA ini akan menghasilkan output berupa aktivitas atau proses yang memberikan nilai potensi dampak terhadap lingkungan paling besar (*hotspot*), dimana hasil tersebut bisa dijadikan acuan atau pedoman untuk melakukan peluang perbaikan dengan menciptakan program atau inovasi di bidang lingkungan yang ditimbulkan (Kautzar dkk., 2015). Dengan demikian, LCA dapat digunakan untuk membantu strategi dalam pembuatan kebijakan lingkungan pada perusahaan, untuk meningkatkan kualitas produk dan proses serta mempelajari aspek lingkungan suatu produk (Putri, 2017).

Menurut ISO (2006), *Life Cycle Assessment* (LCA) diartikan sebagai suatu kompilasi dan evaluasi aliran material dan energi, serta potensi dampak lingkungan dari siklus hidup suatu produk. Namun, pada industri pertambangan, khususnya batubara di Indonesia, penilaian lingkungan melalui metoda LCA masih cukup jarang dilakukan. LCA masih belum menjadi instrument penting dalam melakukan identifikasi potensi dampak dan pertimbangan dalam pengambilan keputusan di industri pertambangan. Selain itu, faktor kondisi topografi maupun sistem penambangan yang beragam juga membuat pelaksanaan LCA pada industri pertambangan belum memiliki standar dan ruang lingkup khusus seperti pada industri manufaktur.

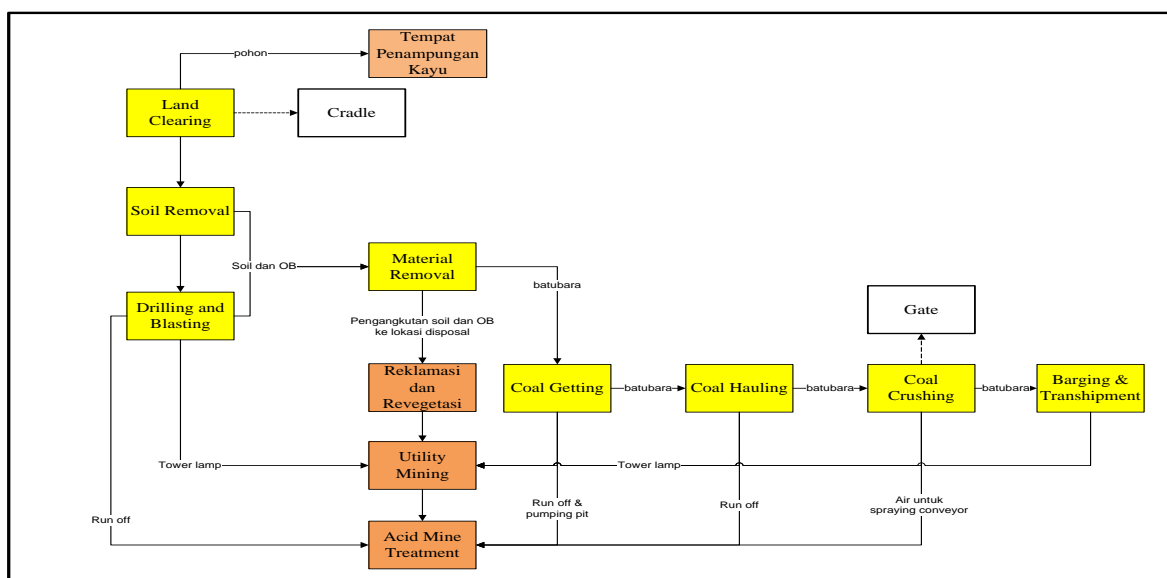
PT Berau Coal berkomitmen untuk selalu melakukan peningkatan kinerja lingkungan perusahaan, salah satu caranya adalah dengan melakukan identifikasi potensi dampak lingkungan yang berasal dari kegiatan operasional utama perusahaan. Untuk itu, PT Berau Coal melakukan perhitungan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang kemudian menjadi penguat dasar peningkatan kinerja lingkungan perusahaan untuk kemudian dapat diketahui potensi dampak yang paling signifikan dan dapat dilakukan perbaikan kinerja lingkungannya.

Analisa potensi dampak lingkungan terhadap proses penambangan batubara dengan metode LCA belum pernah dilakukan oleh perusahaan, sehingga dengan adanya penelitian ini diharapkan peluang perbaikan yang akan diberikan dapat mengurangi potensi dampak yang terjadi dan dapat menciptakan proses produksi yang lebih ramah lingkungan. Kajian evaluasi sumber dampak (*hotspot*) pada proses tambang batubara yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan dengan menggunakan ruang lingkup *cradle to gate* berdasarkan hasil penilaian potensi dampak lingkungan menggunakan metode LCA. Tujuan penelitian ini Melakukan evaluasi sumber dampak (*hotspot*) pada proses tambang batubara yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan dengan menggunakan ruang lingkup *cradle to gate* berdasarkan hasil penilaian potensi dampak lingkungan menggunakan metode LCA.

2. METODE PELAKSANAAN



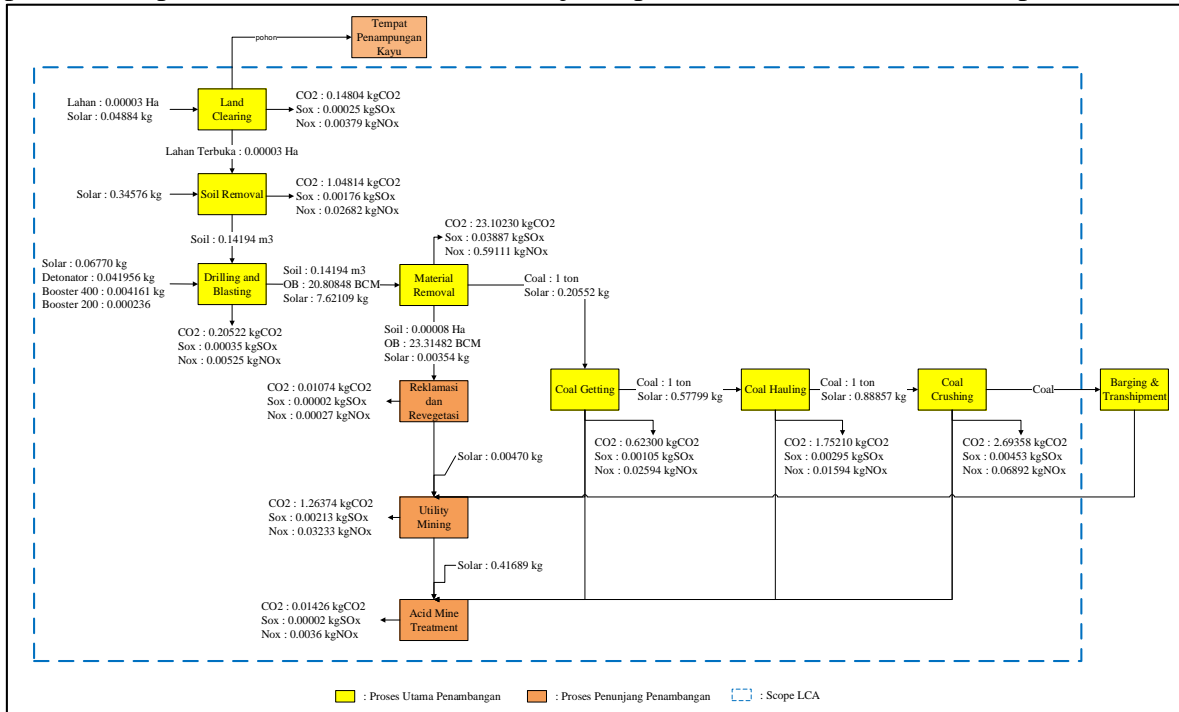
Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian



Gambar 2. Alur Penambangan Batubara PT Berau Coal Site Binungan dari *Cradle to Gate*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Input dan output pada setiap proses yang telah diidentifikasi dan dilengkapi dengan data perusahaan pada tahun 2020 kemudian disajikan pada tabel inventori daur hidup.



Gambar 3. Neraca Massa Inventori PT Berau Coal Site Binungan dari *Cradle to Gate*

1. Validasi

Validasi data pada inventori dilakukan untuk menilai kecukupan kualitas data untuk digunakan pada penilaian alur hidup sistem produk yang dikaji sesuai dengan tujuan dan lingkup yang ditetapkan. Pada kajian ini, validasi data akan dilakukan sesuai dengan pedoman SNI-ISO 14040 dan 14044, yaitu dengan metode neraca massa dan energi, pemeriksaan keandalan sumber data dan kelengkapan, serta pengecekan perlakuan atas data yang hilang.

a. Neraca Massa dan Energi

Data yang digunakan dalam kajian sudah memenuhi prinsip

kesetimbangan massa dan energi terutama untuk penggunaan bahan bakar dalam proses inti maupun penunjang.

b. Pemeriksaan Keandalan Sumber Data dan Kelengkapan

Penilaian kualitas data mengacu pada persentase data primer dan data sekunder yang digunakan pada sistem produk untuk menganalisis nilai kecukupan kualitas data yang digunakan dalam penilaian daur hidup. Hasil penilaian kualitas sumber data atau keandalan dan kelengkapan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 1 Pemeriksaan Kelengkapan dan Sumber Data

Jenis Data	Ketersediaan Data			Data Spesifik/Primer				Referensi
	Ada-Lengkap	Tidak Ada-Diestimasi	Tidak Ada-Tidak Dicapuk	Pengukuran		Kalkulasi/Estimasi		
				Jumlah	%	Jumlah	%	
Bahan Baku	100%	0%	0%	6	100%	0	0%	Laporan RKAB ESDM PT Berau Coal Tahun 2020
Bahan Bakar	100%	0%	0%	1	100%	0	0%	Laporan Bulanan Pemakaian Bahan Bakar PT Berau Coal Tahun 2020
Produk	100%	0%	0%	1	100%	0	0%	Laporan RKAB ESDM PT Berau Coal Tahun 2020
Emisi	100%	0%	0%	0	100%	3	100%	Laporan RKL-RPL PT Berau Coal 2020
Total	100%	0%	0%	8	73%	3	27%	

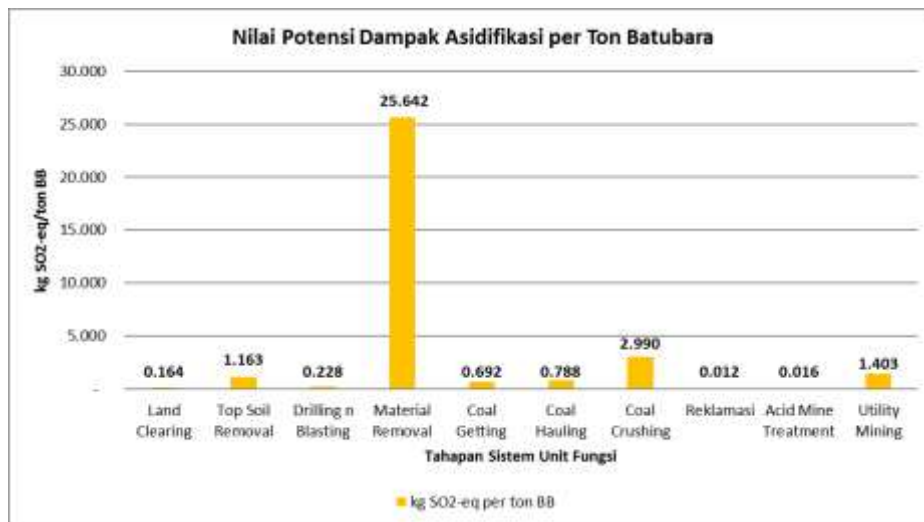
c. Pengecekan Perlakuan Atas Data yang Hilang

Berdasarkan penilaian ketersediaan data, diketahui bahwa data inventori pada kajian ini telah memenuhi kelengkapan 100% sesuai dengan masing-masing unit proses yang masuk dalam batasan sistem.

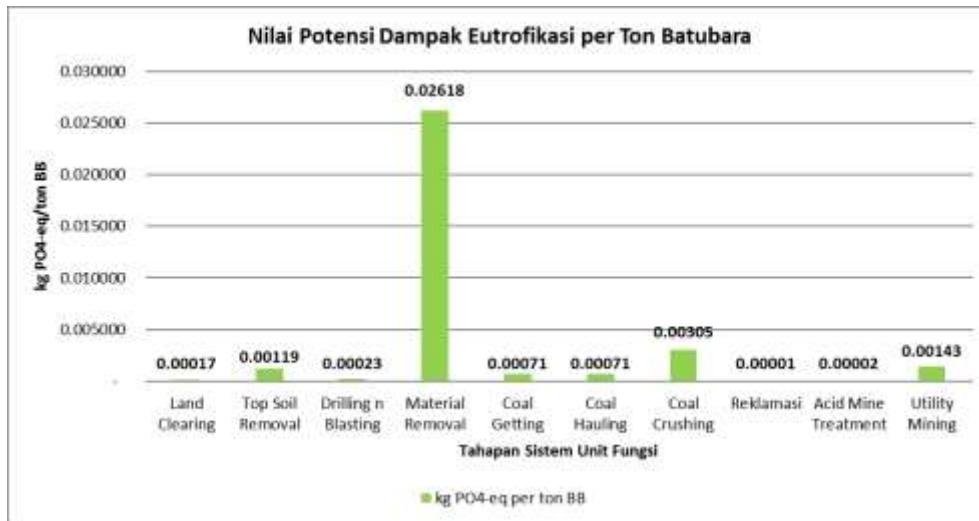
Oleh karena itu, tidak ada data yang hilang dalam data inventori yang digunakan dalam kajian ini.

2. Life Cycle Inventory Assessment (LCIA)

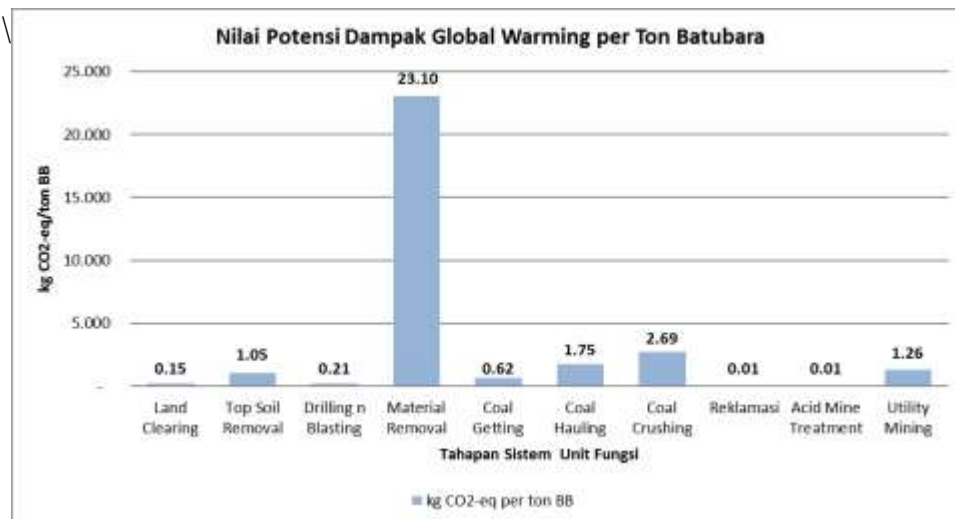
Setelah melakukan inventarisasi input dan output pada setiap tahapan sistem produk, data kemudian digunakan pada penilaian kategori dampak yang telah ditetapkan. Penilaian menggunakan *software* openLCA dan dengan metode TRACI. Dari hasil penilaian dengan *software*, didapatkan nilai potensi dampak seperti pada gambar .



Gambar 4. Potensi Dampak Asidifikasi



Gambar 5. Potensi Dampak Eutrofikasi



Gambar 6. Potensi Dampak *Global Warming*

4. *Life Cycle Assessment (LCA)*

Dari penilaian daur hidup penambangan batu bara sesuai dengan data yang didapatkan dari perusahaan pada tahun 2020 berupa laporan bulanan,

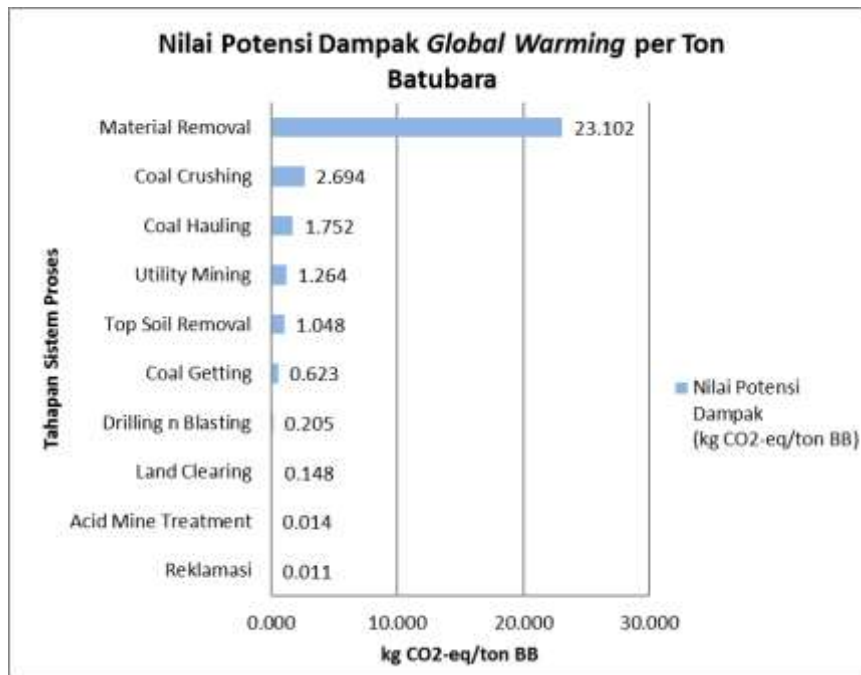
laporan triwulan, laporan RKL-RPL, dan laporan RKAB tahun 2020, dapat dilakukan pembobotan potensi dampak sebagai berikut :



Gambar 7. Urutan Nilai Potensi Dampak Asidifikasi per Ton Batubara Tahun 2020



Gambar 8. Urutan Nilai Potensi Dampak Eutrofikasi per Ton Batubara Tahun 2020



Gambar 9. Urutan Nilai Potensi Dampak Global Warming per Ton Batubara Tahun 2020
Berikut adalah ringkasan isu penting penambangan batubara PT Berau Coal Site Binungan pada tahun 2020. (*hotspot*) dari penilaian LCA pada proses

Tabel 2. Ringkasan Isu Penting (Hotspot) per Ton Batubara

Potensi Dampak	Unit Proses	Sumber Dampak	Nilai LCA	Satuan
<i>Acidification</i>	Material Removal	Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar	25.6422	kg SO ₂ -eq
<i>Eutrophication</i>	Material Removal	Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar	0.0262	kg PO ₄ -eq
<i>Global Warming Potential</i>	Material Removal	Emisi dari Pembakaran Bahan Bakar	23.1023	kg CO ₂ -eq

Dari hasil ringkasan isu penting disimpulkan bahwa titik tahapan yang paling signifikan menyumbang dampak emisi adalah tahapan Material Removal. Khusus pada penelitian ini, hal ini disebabkan oleh pemakaian bahan bakar fosil pada kendaraan pengangkut sebesar 94.631.739,29 L atau 78,05% dari total penggunaan seluruh tahapan penambangan. Pada penelitian serupa yang dilakukan oleh Damanik, dkk (2021), hasil yang disimpulkan juga sama bahwa tahapan yang menjadi hotspot atau penghasil emisi paling signifikan berada pada *Material Removal* dengan penggunaan bahan bakar fosil sebesar 90% dari total penggunaan.

5. Uji Sensitivitas

Pemeriksaan sensitivitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kepentingan data dan pengaruhnya terhadap hasil penelitian dampak. Pada kajian ini pemeriksaan sensitivitas dilakukan pada salah satu data yang menjadi hotspot proses, yaitu emisi yang dihasilkan dari proses *Material Removal*.

Data emisi yang dihasilkan pada proses *Material Removal* merupakan hasil perhitungan yang dilakukan oleh perusahaan dan menggunakan metode yang telah disepakati perusahaan kaitannya dengan bahan bakar/solar yang digunakan (ownuse). Oleh karena data

tersebut tidak didapatkan dari pengukuran kontinu atau rawan mengalami misdata. Untuk melakukan analisa sensitivitas dilakukan dengan memodifikasi data emisi mengurangi sebesar -20% dan -10%, menambah +10% dan +20% untuk menganalisis seberapa sensitive hasil penilaian dampak terhadap perubahan nilai hotspot.

Tabel 3. Hasil Analisis Sensitivitas Emisi *Material Removal*

Kategori	Indikator	Baseline	-20%	+10%	+20%
Asidifikasi	kg CO2-eq	25.64	23.14	28.01	28.01
	Perbedaan	%	-9.75%	5.00%	9.25%
Eutrofikasi	kg CO2-eq	0.03	0.02	0.03	0.03
	Perbedaan	%	-13.35%	5.27%	12.29%
Global Warming	kg CO2-eq	23.10	20.03	24.68	24.68
	Perbedaan	%	-13.31%	-6.49%	6.82%

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan nilai emisi tidak signifikan berdampak terhadap hasil potensi dampak yang dihasilkan. Dengan perubahan sebesar +/-20%, perubahan potensi dampak lebih kecil dari 20%, sehingga dapat disimpulkan metode pengambilan nilai emisi yang digunakan sudah cukup representatis dan dapat digunakan untuk penilaian awal kajian.

6. Program Inovasi Lingkungan

Hasil penilaian dampak emisi dengan metode *Life Cycle Assessment* menunjukkan bahwa tahapan *Material Removal* memiliki dampak emisi paling tinggi dibanding dengan tahapan penambangan lainnya dikarenakan jumlah penggunaan bahan bakar solar yang lebih banyak dibandingkan dengan tahapan lain. Selanjutnya tahapan *material removal* disebut sebagai titik hotspot.

Adanya inisiatif program inovasi lingkungan kemudian menjadi salah satu upaya perusahaan dalam melakukan pengurangan potensi dampak emisi yang

dapat memengaruhi kualitas lingkungan. Penentuan program inovasi lingkungan perusahaan dilakukan agar dapat ditentukan focus program lingkungan yang menjadi prioritas perusahaan dalam upaya pengurangan potensi dampak emisi ke lingkungan. Berikut ini beberapa inisiatif program pengurangan emisi oleh perusahaan.

6.1. Penggunaan Biodiesel B30

Sesuai dengan peraturan Menteri ESDM Nomor 32 tahun 2008 tentang

Penelitian dan Tata Bahan Bakar Nabati (biofuel) sebagai bahan bakar lain yang telah diubah terakhir dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015 mengharuskan penggunaan bahan bakar biodiesel pada kendaraan baik darat maupun laut sebanyak 30%. Biodiesel yang kemudian masuk dalam penelitian ini adalah biodiesel B30 atau B30. Menurut Anindjono (2018), komposisi biodiesel B30 terdiri dari bahan bakar solar 70% dan 30% FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) yang didapatkan dari pengolahan kelapa sawit (CPO).

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh perusahaan pada sampel unit yang digunakan pada proses *Material Removal*, didapati bahwa penggunaan volume fuel B30 meningkat 5.3% dibanding ketika menggunakan fuel B0. Hal ini disebabkan menurunnya kadar sulfur pada B30. Namun hasil pengujian hasil pembakaran menyatakan bahwa nilai CO mengalami penurunan sebesar 4.64%, NOx mengalami penurunan sebesar 14.29%, dan SOx mengalami penurunan sebesar 28.72% dibanding pemakaian B0. Hasil pengujian bisa dilihat lebih lengkap pada Lampiran penelitian ini.

6.2. Pembangunan Channel Dump untuk Mengurangi Jarak Tempuh Pengangkutan Material

Tujuan utama tahapan *material removal* adalah melakukan pengerukan, pengumpulan, dan pengangkutan material hasil dari tahapan drilling dan blasting yang berupa lapisan tanah keras ke lokasi disposal yang telah ditentukan. Pada lokasi

penelitian, sistem yang dipakai adalah output dump yang artinya penimbunan material dilakukan diluar area lubang tambang atau tidak menutup kembali lubang tambang aktif. Lokasi penimbunan yang disebut disposal memiliki jarak yang bervariasi, pada lokasi penelitian ini jarak yang total yang perlu ditempuh untuk melakukan penimbunan adalah 4.760 meter.

Proses material removal dilakukan dengan alat berat dengan jenis dump truck atau high dump berkapasitas 50 ton hingga 85 ton berbahan bakar solar. Pada tahun produksi 2020, tercatat sebanyak BCM material yang membutuhkan total L solar untuk diangkat dan ditimbun.

Channel Dump merupakan sebuah fasilitas infrastruktur yang dibuat untuk mengurangi jarak tempuh proses mobilisasi dan penimbunan material overburden. Bangunan ini mengadopsi sistem saluran drainase yang menggunakan prinsip gravitasi untuk menurunkan material overburden menuju elevasi tertentu yang telah direncanakan. Pada lokasi penelitian telah terbangun dua titik chanel dump untuk mendukung pengurangan jarak mobilisasi dan penimbunan material. Dengan berkurangnya jarak tempuh, maka konsumsi bahan bakar solar juga ikut berkurang pun emisi yang dihasilkan.

6.3. Ringkasan dan Penentuan Program Inovasi

Setelah dilakukan iterasi dengan software openLCA, dapat disimpulkan bahwa dari aspek pengurangan emisi Program Penggunaan Biodiesel B30 memiliki persentase pengurangan lebih tinggi dibandingkan dengan Program *Channel Dump* pada semua aspek potensi dampak.

Pada potensi dampak *Global Warming*, Program Penggunaan Biodiesel 30% (B30) menurunkan dampak emisi sebesar 42.92% sedangkan Program Pembangunan *Channel Dump* menurunkan dampak emisi sebesar 15,85%.

Pada potensi dampak Eutrofikasi, Program Penggunaan Biodiesel 30% (B30) menurunkan dampak emisi sebesar 42.67% sedangkan Program Pembangunan *Channel Dump* menurunkan dampak emisi sebesar 15,85%.

Pada potensi dampak Asidifikasi, Program Penggunaan Biodiesel 30% (B30) menurunkan dampak emisi sebesar 37.57% sedangkan Program Pembangunan *Channel Dump* menurunkan dampak emisi sebesar 15,85%.

4. SIMPULAN

1. Titik hotspot pada proses penambangan batubara di PT Berau Coal berada pada tahapan aktivitas *Material Removal* dengan nilai potensi dampak *global warming* sebesar 2.31E+01 kg CO₂-ek/ton batubara, *eutrophication* sebesar 2.62E+02 kg PO₄-ek/ton batubara, dan *acidification* sebesar 2.56E+01 kg SO₂-ek/ton batubara.
2. Program inovasi yang paling signifikan dalam menurunkan nilai emisi pada tahapan *Material Removal* adalah dengan Menggunakan Biodiesel sebesar 30% yang kemudian disebut B30. Program ini dapat menurunkan potensi dampak asidifikasi sebesar 37.57%, dampak eutrofikasi sebesar 42.67%, dan dampak pemanasan global sebesar 42.92%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Auwah-Offei, K., & Adekpedjou, A. (2011). Application of life cycle assessment in the mining industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(1), 82-89.
- Bruji, Hans De, Robbert van Duin., Mark A. J. Huijbregts. 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Kluwer Academic Publisher: New York.
- Christie, K.M. Rawnsley, R.P. dan Eckard, R.J. (2011). A Whole Farm Systems Analysis of Greenhouse

- Gas Emissions of 60 Tasmanian Dairy Farms. *Anim Feed Sci Technol.* 166-167:653-662.
- Dzuikhija, Sella. (2016). Isu Kegiatan Peternakan sebagai Penyumbang Terbesar Pemanasan Global – Dilema Antara Usaha Peningkatan Produktifitas Bahan Pangan Hewani dan Gerakan Cinta Lingkungan. Gama Cendekia Corporation.
- Fitriyanti, R. (2018). Pertambangan Batubara: Dampak Lingkungan, Sosial Dan Ekonomi. *Jurnal Redoks*, 1(1).
- GaBi Education. (2009). Handbook for Life Cycle Assessment (LCA), Using the GaBi Education Software Package.
- Hakim I. (2014). Dampak Kebijakan Pertambangan bagi Masyarakat Bengkuring Kelurahan Sempaja Selatan Kecamatan Samarinda Utara. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik. Universitas Mulawarman.
- International Organization for Standarization. (1997). ISO 14040 – *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. Geneva.
- International Organization for Standarization. 2006. ISO 14044 – *Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines*. Geneva.
- Hermawan, F., Puti F. M., Muhammad A., R. Driejana. 2013. Peran Life Cycle Analysis (LCA) pada Material Konstruksi dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca. Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Irwandy, A. (2014). Batubara Indonesia. *Jakarta: Gramedia Pustaka Utama*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. 2021. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 22.
- Kautzar, G. Z., Yeni S., Rahmi Y. 2015. Analisis Dampak Lingkungan pada Aktivitas Supply Chain Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP. *Jurnal Rekayasa dan Manaajemen Sistem Industri*, 3 (1): 200-211.
- Kupchella, C. E., & Hyland, M. C. (1993). *Environmental Science: Living within the system of nature*. Prentice Hall International.
- Luthfia, A., dkk. (2021). Penggunaan Life Cycle Assessment dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia. *Prosiding SATU BUMI*, 2(1).
- Martin, R. D., dkk. 2016. Evaluation of the Environmental Benefits of Recycling Materials in the Moving Parts of a Wind Turbine Using the Life Cycle Assessment (LCA). *International Journal of Applied Engineering Research*, (5): 2990-2995.
- Marriott, J. (2007). An Electricity-Focused Economic Input-Output Model: Life Cycle Assessment and Policy Implications of Future Electricity Generation Scenarios. *Civil and Environmental Engineering*, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.
- Mulyani, Agnes Sri. (2021). *Pemanasan Global, Penyebab, Dampak, dan Antisipasinya*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Kristen Indonesia.
- Nasihah, Mimatun. (2018). Efek Hujan Asam Terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Jurnal EnviScience Vol. 1 No. 1 September 2017*. ISSN No. 2597-9612
- Odum, E. P. (1996). *Basics of Ecology* (Yogyakarta)

- Purwaningsih, I.W. (2016). *Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Gula Tebu di PG Subang, Jawa Barat*. Institut Pertanian Bogor
- Purwanto, Rahmat Dwi. (2015). *Dampak Sosial Ekonomi dan Lingkungan Penambangan Batubara Ilegal di Desa Tanjung Lalang Kecamatan Tanjung Agung Kabupaten Muara Enim*. Skripsi. Universitas Sriwijaya
- Putri, H. P. (2017). *Life cycle assessment (lca) emisi pada proses produksi bahan bakar minyak (bbm) jenis bensin dengan pendekatan metode analytical hierarchy process (ahp)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang Nomor 4. Indonesia
- Raden, I. Soleh, P. Dahlan, M. Thamrin. 2010. *Kajian Dampak Penambangan Batubara terhadap Pengembangan Sosial Ekonomi dan Lingkungan di Kabupaten Kutai Kertanegara*. Laporan Penelitian. Kementerian Dalam Negeri. Jakarta.
- Sari, A. T. (2017). *Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Pada Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Solar Dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).
- Sari, M. S., Hadiyanto, H., & Muhammad, F. (2019). *Life Cycle Assessment Proses Hulu Produksi Minyak Bumi Area Geragai Dan Gas Bumi Area Betara Di Blok Jabung Kabupaten Tanjung Jabung Timur Dan Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi Oleh Petrochina International Jabung Ltd* (Doctoral Dissertation, School Of Postgraduate).
- Shaarai, A. H., Noor Z. M., dan Abdul H. S. 2010. *Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Using TRACI Methodology: an Analysis of Potential Impact on Polable Water Production*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4 (9): 4313-4322.
- Siahaan, R. H. (2019). *Evaluasi ketidak tercapaian spesifikasi hasil blending batubara di Bukit Asam coal Terminal Tarahan*. SKRIPSI-2018.
- Simbolon, A. R. 2016 *Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Cituis, Pesisir Tangerang*. Jurnal Pro-Life. Vol. 3. No. 2.
- Sukandarrumidi. (1995). *Batubara dan Gambut*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Gajah Mada University Press: Yogyakarta
- Utina, Ramli. (2012). *Pemanasan Global : Dampak dan Upaya Meminimalisasinya*. Jurusan Biologi FMIPA. Universitas Negeri Gorontalo.
- Victor M. (2010). *The Social and Environmental Consequences of Coal Mining in South Africa: A Case Study*. Environmental Monitoring Group. South Africa.
- Wibawa, B. S. 2019. *Kajian Dampak Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PT PJB UBJ O&M Probolinggo terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- World Business Council for Sustainable Development. (2002). *What LCA Can Tell Us About the Cement Industry*. Konrad Saur, Five Winds International, Germany.
- Yatim, E. M. (2007). *Dampak dan pengendalian hujan asam di Indonesia*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 2(1), 146-151.