

LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PRODUKSI BATU BARA DI PT. XYZ DI KALIMANTAN SELATAN DENGAN PENDEKATAN CRADLE-TO- GATE MENGGUNAKAN SOFTWARE OPENLCA

*LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) COAL PRODUCTION AT PT. XYZ IN SOUTH KALIMANTAN
WITH CRADLE-TO-GATE APPROACH USING OPENLCA SOFTWARE*

Muhammad Abrar Firdausy^{1*}, Muhammad Aulia Urrahman² dan Muhammad Firmansyah³

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Jend A. Yani Km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia

Email: 1710815310012@mhs.ulm.ac.id

ABSTRAK

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi yang dapat diandalkan sekaligus memainkan peran penting dalam kebutuhan energi dunia. batubara diproyeksikan akan tetap memenuhi sekitar 23% dari energi dunia sampai tahun 2035. Dibalik banyaknya keunggulan dari adanya batu bara, ada juga dampak negatif dibalik adanya industri pertambangan batu bara, salah satunya emisi yang dikeluarkan oleh mesin yang digunakan pada saat proses produksi batu bara. Seluruh kegiatan pertambangan menggunakan bahan bakar fosil sebagai penggerak mesin dimana pada tahapan awal yang dimulai dari pembersihan lahan hingga tahap pendistribusian batu bara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, dan N₂O) dan asidifikasi (SO₂) dimulai dari tahapan land clearing hingga tahapan coal barging serta menganalisis kontribusi dampak lingkungan berupa GWP100 dan acidification potential dari proses produksi 1 ton batu bara dengan menggunakan pendekatan life cycle assessment menggunakan software OpenLCA di PT. XYZ berdasarkan data pada tahun 2020. Hasil penelitian didapatkan nilai emisi Gas Rumah Kaca GRK dan asidifikasi yang dikeluarkan pada tahun 2020 sebesar 49.232,81 Ton CO₂, 2,44 Ton CH₄, 12,79 Ton N₂O, dan 62,66 Ton SO₂. Untuk proses produksi 1 ton batu bara menghasilkan nilai kontribusi dampak lingkungan GWP100 sebesar 24,11 kg CO₂ eq dan acidification potential sebesar 0,036 kg SO₂ eq. Tahapan overburden removal yang menghasilkan kontribusi dampak lingkungan yang paling tinggi diantara tahapan lainnya karena menggunakan alat berat yang paling banyak sehingga menggunakan bahan bakar yang lebih banyak juga. Rekomendasi perbaikan agar dapat meminimalkan kontribusi dampak lingkungan yaitu dengan penerapan eco-driving.

Kata Kunci: Asidifikasi, gas rumah kaca, life cycle assessment, openLCA, pertambangan.

ABSTRACT

Coal is a reliable energy resource and plays an important role in the world's energy needs. coal is projected to continue to meet around 23% of the world's energy until 2035. Behind the many advantages of coal, there are also negative impacts behind the coal mining industry, one of which is the emissions released by the machines used during the coal production process. All mining activities use fossil fuels as engine propulsion which is in the early stages starting from land clearing to the stage of distributing coal. This study aims to analyze the emission values of greenhouse gases (CO₂, CH₄, and N₂O) and acidification (SO₂) starting from the land clearing stage to the coal barging stage and analyze the environmental impact contribution in the form of GWP100 and acidification potential from the production process of 1 ton of coal. by using a life cycle assessment approach using OpenLCA software at PT. XYZ based on data in 2020. The results of the study showed that the value of GHG emissions and acidification released in 2020 was 49,232.81 Tons CO₂, 2.44 Tons CH₄,

12.79 Tons N₂O, and 62.66 Tons SO₂. For the production process of 1 tonne of coal, the contribution value of the environmental impact GWP₁₀₀ is 24.11 kg CO₂ eq and the acidification potential is 0.036 kg SO₂ eq. The overburden removal stage that produces the highest contribution to environmental impact among other stages because it uses the most heavy equipment so that it uses more fuel as well. Recommendations for improvement in order to minimize the contribution of environmental impacts, namely the application of eco-driving.

Keywords: Acidification, greenhouse gases, life cycle assessment, mining, openLCA.

1. PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi yang dapat diandalkan sekaligus memainkan peran penting dalam kebutuhan energi dunia. Menurut Energy Information Administration (EIA) pada tahun 2013, batubara tetap menjadi sumber bahan bakar pembangkit listrik utama di seluruh dunia. Bahkan, batubara diproyeksikan akan tetap memenuhi sekitar 23% dari energi dunia sampai tahun 2035 (Energy Information Administration, 2013). Penggunaan batubara tumbuh secara signifikan dikarenakan tingkat permintaan energi yang terus meningkat. Selain itu, cadangan batubara yang melimpah, ketersediaan yang luas, biaya yang lebih rendah, stabilitas pasokan batubara, ditambah dengan cadangan minyak yang mulai menipis menjadi alasan penggunaan batubara yang terus meningkat. Di Indonesia, peran batubara sebagai pasokan bahan bakar domestik akan meningkat menjadi 93% pada tahun 2050 (Outlook Energy Indonesia, 2018). Pada tahun 2016, penggunaan batubara di Indonesia masih mendominasi sebagai bahan bakar pembangkit energi/listrik, yaitu sebesar 62% atau sekitar 75 juta ton (Outlook Energy Indonesia, 2018).

Dibalik banyaknya keunggulan dari adanya batu bara, ada juga dampak negatif dibalik adanya industri batu bara, salah satunya emisi yang dikeluarkan oleh mesin yang digunakan pada saat proses produksi batu bara. Alat berat dan genset yang digunakan untuk menghidupkan overload conveyor saat barging batu bara menggunakan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan suatu bahan bakar yang memiliki kandungan berupa hidrokarbon yang ditemukan dalam lapisan kulit bumi dengan keberadaan yang paling dalam (Kurnia dan Sudarti, 2021). Dan juga merupakan sumber penghasil polutan yang berasal dari gas buang karbon dioksida (CO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) serta gas emisi buang yang lain. Proses pembakaran sempurna pada kendaraan bermotor mengemisikan gas CO₂ yang jika konsentrasinya di udara terus meningkat, sehingga akan mengakibatkan terjadinya peningkatan pemanasan suhu bumi atau yang biasa disebut global warming (Pratama dan J.A.R, 2020). Sulfur dioksida merupakan gas yang memiliki bau yang sangat tajam dan tidak mudah terbakar di udara. Sulfur dioksida terbentuk dari hasil pembakaran bahan – bahan yang mengandung sulfur didalamnya seperti batu bara, gas atau minyak. SO₂ menyebabkan kerusakan pada pohon-pohon kayu dengan membentuk sulfit yang beracun pada sel daun pohon kayu tersebut. SO₂ dapat menurunkan jarak pandang, jika bereaksi dengan air hujan akan menimbulkan keasaman air hujan (Hujan Asam). Hujan asam terjadi ketika SO₂ bergabung dengan oksigen membentuk SO₃ yang bereaksi dengan butir-butir air membentuk H₂SO₄. hujan asam tersebut mampu mencemari biota ikan di danau atau di sungai (Hakiki, 2008).

setiap aktivitas manusia seperti kegiatan industri, khususnya pertambangan batubara maupun mineral, berpotensi akan menimbulkan dampak terhadap kualitas ekosistem lingkungan tanah, air dan udara. Oleh karena itu, diperlukan adanya upaya dari pemangku kepentingan (stakeholders) untuk

melakukan berbagai upaya salah satunya yakni kajian Life Cycle Assessment (LCA) pada setiap kegiatan produksi agar menjadi bahan pertimbangan untuk mengetahui proses mana saja yang menghasilkan emisi terbanyak sehingga menjadi langkah awal untuk improvisasi penggunaan sumber daya yang lebih hemat dan juga minimalisasi emisi. ISO 14040 menyatakan bahwa LCA yaitu suatu teknik menilai aspek lingkungan dan dampak-dampak potensial sehubungan dengan produk. Metode ini juga dipakai untuk menilai konsekuensi lingkungan sebuah produk sepanjang daur hidupnya dan konsekuensi yang mungkin timbul dari produk dan proses produksinya (Ulhasanah dan Goto, 2012). Cara menganalisis dampak lingkungan dengan metode LCA yang terdapat pada ISO 14040:2006 dengan melakukan 4 fase utama LCA yaitu, Goal and Scope Definition, Life Cycle Inventory, Life Cycle Impact Assessment, dan Interpretation.

2. METODOLOGI

Penelitian ini mengikuti tahapan ISO 14040:2006 yang dimulai dari:

Goal and scope definiton

Serta menentukan unit fungsional, kemudian pembuatan peta konsep seluruh proses tahapan pada produksi batu bara, lalu mengetahui unit yang digunakan pada setiap tahapan, kemudian mengumpulkan data bahan bakar, penggunaan oli, penggunaan grease yang telah digunakan pada tahun 2020.

Inventory analysis

Kemudian memasukkan data yang telah didapatkan dari berbagai pihak tersebut kedalam ms. excel untuk menghitung input dan output data yang digunakan untuk produksi batu bara di PT. XYZ selama tahun 2020 dan juga input output per 1 ton produksi batu bara.

Impact assessment

Data input yang telah didapatkan dalam satuan fisik kemudian di konversi lagi ke dalam satuan energi dan kemudian dihitung nilai emisi yang ditimbulkan menggunakan faktor emisi yang di dapatkan dari database IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dan juga jurnal penelitian lainnya, setelah didapatkan emisi dari produksi batu bara selama tahun 2020 dan juga per 1 ton batu bara, kemudian memasukkan emisi yang dikeluarkan pada proses produksi 1 ton batu bara sebagai output di software OpenLCA dikarenakan keterbatasan database untuk memasukkan input yang digunakan. Setelah itu dilakukan perhitungan otomatis dampak lingkungan dari software OpenLCA dengan menggunakan faktor karakterisasi dari CML-IA.

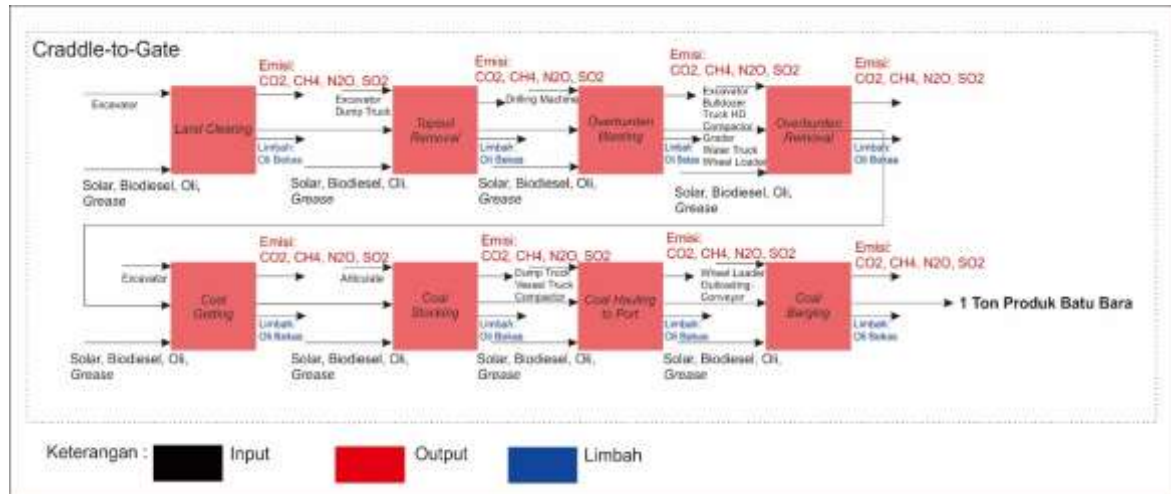
Interpretation

Setelah didapatkan nilai dampak lingkungan dari tiap tahapan proses produksi batu bara, kemudian mencari tahapan yang berkontribusi dampak lingkungan yang paling tinggi dari tiap tahapan dan diberikan rekomendasi perbaikan untuk meminimalisir dampak kontribusi dampak lingkungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan industri di Kalimantan Selatan yang berfokus pada sektor pertambangan, terkhususnya batu bara. Di PT. XYZ terdapat delapan tahapan dalam proses produksi batu bara yang di dalam tahapan tersebut terdapat input output yang dihasilkan dari alat berat dan genset yang digunakan pada saat proses produksi batu bara yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Setelah tahapan *Coal Barging*, maka batu bara yang telah di produksi oleh PT. XYZ sudah siap

dipasarkan ke dalam negeri maupun diluar negeri. Pada tahun 2020, PT. XYZ memproduksi batu bara yaitu sebanyak 2.040.724 ton produk batu bara.



Gambar 1. Input dan output LCA di PT. XYZ pada Tahun 2020

Pada proses produksi batu bara di PT.XYZ, terdapat beberapa input yang digunakan sebagai data untuk analisa LCA, input data yang akan digunakan pada penelitian LCA ini meliputi:

1. Penggunaan bahan bakar solar
2. Penggunaan bahan bakar biodiesel
3. Penggunaan oli
4. Penggunaan grease

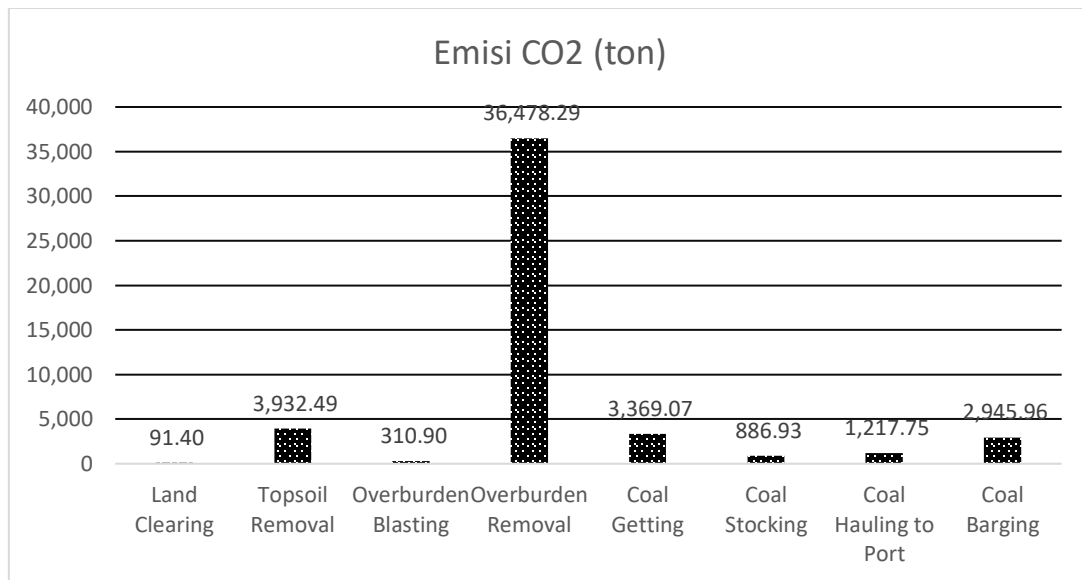
Total nilai emisi yang dihasilkan dari perhitungan emisi GRK (CO₂, CH₄, dan N₂O) dan asidifikasi (SO₂) dari penggunaan bahan bakar solar, bahan bakar biodiesel, penggunaan oli, penggunaan *grease* pada tiap tahapan di PT. XYZ pada Tahun 2020 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Total Emisi GRK dan Asidifikasi yang Dihasilkan dari Produksi Batu Bara PT.XYZ Pada Tahun 2020

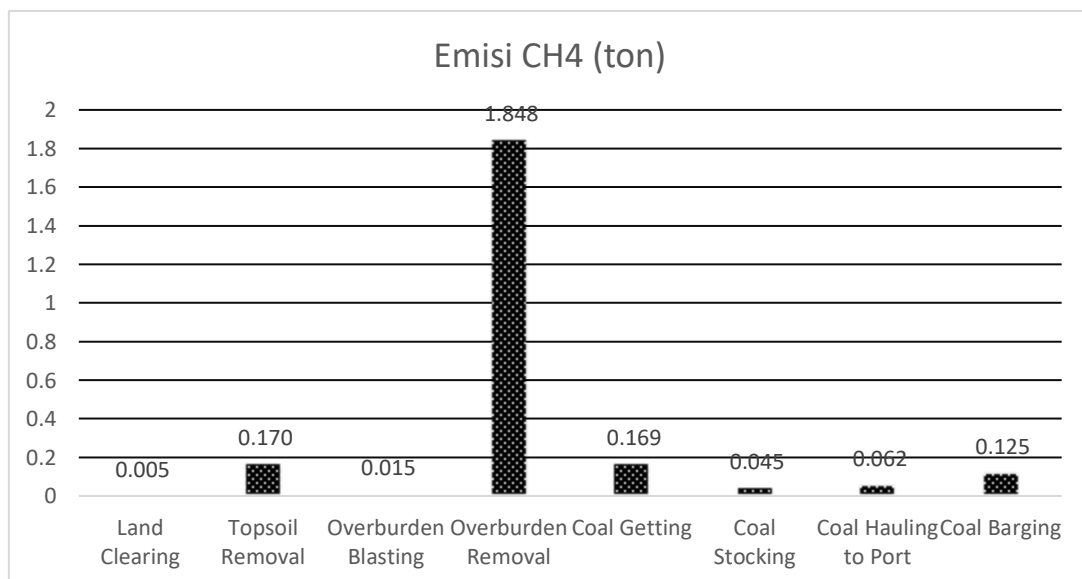
Tahapan	Total Emisi yang Dihasilkan dari produksi batu bara PT. XYZ selama tahun 2020							
	Emisi CO ₂	Emisi CH ₄	Emisi N ₂ O	Emisi SO ₂				
Land Clearing	91,40	ton CO ₂	0,005	ton CH ₄	0,02	ton N ₂ O	0,114	Ton SO ₂
Topsoil Removal	3.932,49	ton CO ₂	0,170	ton CH ₄	0,92	ton N ₂ O	4,244	Ton SO ₂
Overburden Blasting	310,90	ton CO ₂	0,015	ton CH ₄	0,08	ton N ₂ O	0,386	Ton SO ₂
Overburden Removal	36.478,29	ton CO ₂	1,848	ton CH ₄	10,02	ton N ₂ O	46,246	Ton SO ₂
Coal Getting	3.369,07	ton CO ₂	0,169	ton CH ₄	0,92	ton N ₂ O	4,235	Ton SO ₂
Coal Stocking	886,93	ton CO ₂	0,045	ton CH ₄	0,24	ton N ₂ O	1,125	Ton SO ₂

Tahapan	Total Emisi yang Dihasilkan dari produksi batu bara PT. XYZ selama tahun 2020							
	Emisi CO ₂		Emisi CH ₄		Emisi N ₂ O		Emisi SO ₂	
Coal Hauling to Port	1.217,75	ton CO ₂	0,062	ton CH ₄	0,34	ton N ₂ O	1,563	Ton SO ₂
Coal Barging	2.945,96	ton CO ₂	0,125	ton CH ₄	0,24	ton N ₂ O	4,75	Ton SO ₂

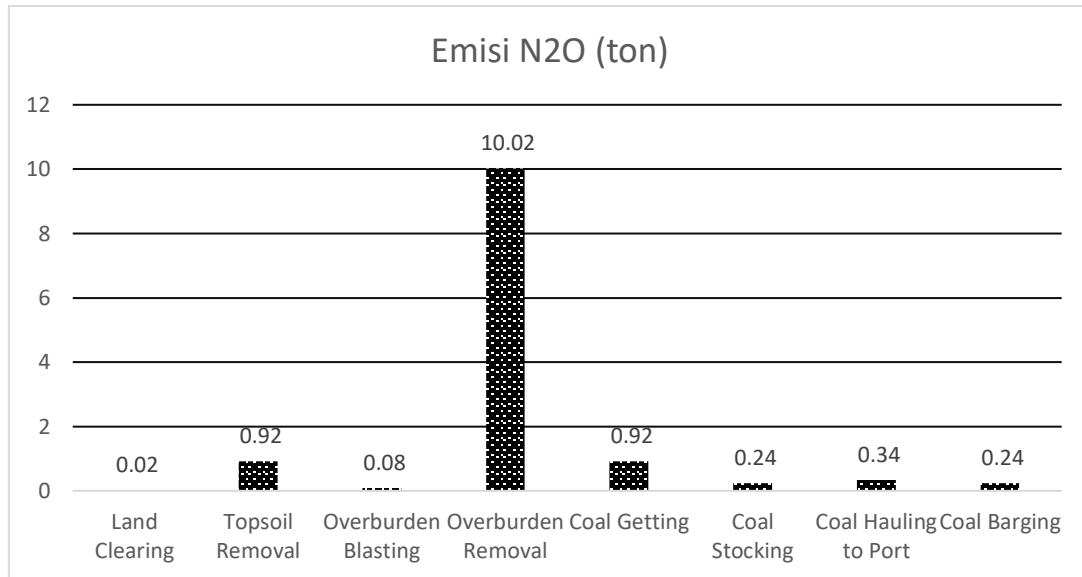
Untuk emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, dan N₂O) dan asidifikasi (SO₂) yang dikeluarkan untuk proses produksi batu bara di PT. XYZ pada tahun 2020 dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 2**, **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5**. Dapat dilihat pada tahapan *overburden removal* merupakan tahapan yang menghasilkan emisi gas rumah kaca dan asidifikasi paling tinggi dibandingkan dengan tahapan yang lainnya dikarenakan penggunaan alat berat yang banyak sehingga menyebabkan bahan bakar yang banyak juga.



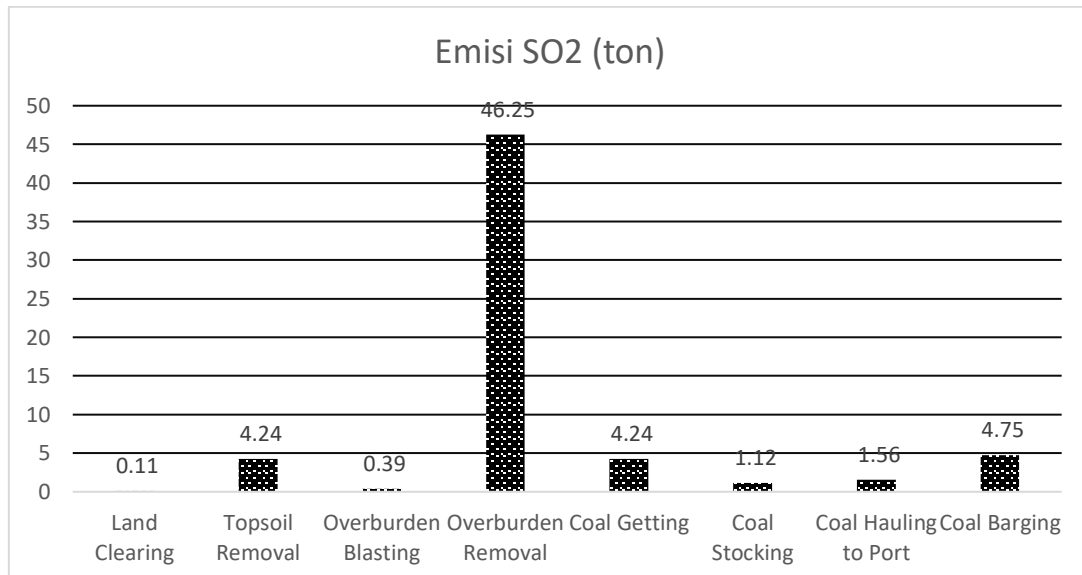
Gambar 1. Grafik Emisi CO₂ yang dikeluarkan dari proses produksi batu bara pada tahun 2020



Gambar 2. Grafik Emisi CH₄ yang dikeluarkan dari proses produksi batu bara pada tahun 2020



Gambar 3. Grafik Emisi N₂O yang dikeluarkan dari proses produksi batu bara pada tahun 2020



Gambar 4. Grafik Emisi SO₂ yang dikeluarkan dari proses produksi batu bara pada tahun 2020

Analisis Life Cycle Assessment

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah salah satu instrumen penilaian lingkungan yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan keputusan terhadap suatu sistem produksi. *Life Cycle Assessment* memiliki 4 tahapan berdasarkan ISO 14040, dinilai dari penentuan *goals* dan *scope*, *life cycle inventory*, *life cycle impact asesment*, dan *interpretation*. Penilaian dampak lingkungan pada proses produksi batu bara di PT.XYZ memiliki tahapan sebagai berikut:

Penentuan Scope and Goal

Penelitian ini diawali dengan penentuan batasan-batasan dan ruang lingkup penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3**. penelitian berfokus pada 2 dampak khusus, yaitu dampak *Global Warming Potential* (GWP100) dan *acidification potential*. Dengan batasan penelitian yaitu penggunaan bahan bakar solar, biodiesel, penggunaan oli dan *grease* yang digunakan untuk alat berat dan genset saat proses produksi batubara di lapangan yang ada pada tahapan *land clearing*, *topsoil removal*,

overburden blasting, overburden removal, coal getting, coal stocking, coal hauling to port, dan coal barging. Pada Penelitian ini, batasan sistem yang digunakan yaitu dari *craddle-to-gate*.

Unit fungsional adalah kinerja terukur dari sistem produk untuk digunakan sebagai unit acuan. Unit fungsional yang ditetapkan menjadi acuan masukan dan keluaran dan telah dinormalisasikan (dalam arti matematika) adalah produk batubara yang dihasilkan dari penambangan batubara di PT.XYZ yaitu dalam satuan unit fungsional 1 ton produk batubara yang telah melalui proses penambangan, pencucian, hingga pemuatan kedalam tongkang. Tabel unit fungsional yang ditetapkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Unit Fungsional dalam Kajian LCA

Item Produk dihasilkan	Unit Fungsional 1 ton Produk Batu Bara
---------------------------	---

Tabel 3 Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Goal	Mengetahui nilai potensi dampak lingkungan berupa GWP 100 dan asidification potential per 1 ton produk batu bara yang ditimbulkan pada setiap tahapan produksi batu bara di PT. XYZ
	Mencari hotspot dan memberikan rekomendasi pada proses produksi batu bara di PT.XYZ
Scope	Input data pada analisis LCA ini diantaranya yaitu penggunaan solar, penggunaan biodiesel, penggunaan oli dan grease
	Perhitungan nilai impact assessment dilakukan dengan menggunakan software OpenLCA dengan didukung database ecoinvent menggunakan faktor karakterisasi CML-IA (Baseline)
	Pada penelitian ini tidak memasukkan input output dari proses eksplorasi batu bara dan proses reklamasi
	Batasan sistem pada penelitian ini yaitu <i>craddle to gate</i>

Hasil Pengolahan pada *Life Cycle Inventory (LCI)*

Life Cycle Assessment pada penelitian ini terdapat 8 tahapan proses yang di dalamnya menggunakan beberapa instalasi dan peralatan yang menggunakan bahan bakar fosil yang menghasilkan sebuah produk sistem.

1. *Land Clearing*

Menggunakan peralatan berupa:

- *Excavator*: 3

2. *Topsoil Removal*

Menggunakan peralatan berupa:

- *Excavator*: 1

- *Dump Truck*: 1
- 3. *Overburden Blasting*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Drilling Machine*: 4
- 4. *Overburden Removal*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Excavator*: 4
 - *Buldozer*: 8
 - *Truck HD*: 64
 - *Compactor*: 3
 - *Grader*: 6
 - *Water Truck*: 5
 - *Wheel Loader*: 3
- 5. *Coal Getting*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Excavator*: 14
- 6. *Coal Stocking*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Articulate*: 12
- 7. *Coal Hauling to Port*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Dump Truck*: 8
 - *Trailer Double Vessel*: 11
 - *Compactor*: 3
- 8. *Coal barging*
Menggunakan peralatan berupa:
 - *Wheel Loader*: 3
 - *Outloading Conveyor*: 5
 - *Generator Set*: 6

Sebelum memasukkan data inventory yang didapat ke dalam software OpenLCA, peneliti menghitung emisi yang dikeluarkan dari input data dikarenakan tidak ditemukannya input data dari database OpenLCA yang serupa dengan input data yang dimiliki peneliti sehingga data yang dimasukkan kedalam software OpenLCA adalah data emisi dari perhitungan input. Data emisi dari perhitungan input dari produksi per 1 ton batu bara yang di produksi di PT. XYZ selama tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Total Emisi yang dihasilkan dari produksi 1 ton batu bara

Tahapan	Total Emisi yang Dihasilkan							
	Emisi CO ₂		Emisi CH ₄		Emisi N ₂ O		Emisi SO ₂	
Land Clearing	0,04	kg	0,000002	kg	0,00001	kg	0,00006	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Topsoil Removal	1,93	kg	0,000083	kg	0,00045	kg	0,00208	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Overburden Blasting	0,15	kg	0,000008	kg	0,00004	kg	0,00019	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Overburden Removal	17,88	kg	0,000906	kg	0,00491	kg	0,02266	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Coal Getting	1,65	kg	0,000083	kg	0,00045	kg	0,00208	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Coal Stocking	0,43	kg	0,000022	kg	0,00012	kg	0,00055	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Coal Hauling to Port	0,60	kg	0,000031	kg	0,00017	kg	0,00077	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB
Coal Barging	1,44	kg	0,000061	kg	0,00012	kg	0,00233	kg
		CO ₂ /ton		CH ₄ /ton		N ₂ O/ton		SO ₂ /ton
		BB		BB		BB		BB

Life Cycle Impact Assessment

Prakiraan dampak GWP100 dan *Asidification Potential* dibuat berdasarkan input dan output pada setiap tahapan kegiatan selama tahun 2020 di PT. XYZ. Nilai Impact Assessment yang didapatkan berdasarkan perhitungan input dan output yang didapatkan dari software OpenLCA dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Impact Assessment GWP100 dan Asidification Potential Per 1 Ton Produksi Batubara

Impact category	Acidification potential - average Europe	Climate change - GWP100
Reference unit	kg SO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.
Land Clearing	2,88E ⁻¹⁰	0,0000002
Topsoil Removal	0,00250	1,93
Overburden Blasting	0,000228	0,15
Overburden Removal	0,0272	17,90
Coal Getting	0,00250	1,65
Coal Stocking	0,00066	0,43
Coal Hauling to Port	0,00092	0,60
Coal Barging	0,00240	1,44

Interpretation

Setelah didapatkan Impact Assessment pada tahapan LCA, setelah itu masuk kedalam tahap interpretation yaitu menginterpretasikan hasil yang didapatkan pada tahapan life cycle impact assessment dengan cara mencari *hotspot* yang ada pada unit proses LCA produksi batu bara di PT. XYZ kemudian mencari unit proses yang menghasilkan emisi paling tinggi diantara tahapan lainnya setelah itu memberikan ide improvisasi agar dapat meminimalkan emisi yang dikeluarkan oleh sumber-sumber yang menghasilkan emisi pada unit proses LCA. Pada studi LCA produksi batu bara di PT. XYZ, proses yang menghasilkan dampak lingkungan berupa GWP100 dan *Asidification potential* yang paling tinggi terdapat pada proses *overburden removal*. Pada proses *overburden removal* memang menggunakan banyak sekali alat berat seperti excavator dan HD untuk memindahkan pecahan-pecahan overburden yang dihasilkan dari proses *overburden blasting* dan juga tempat penyimpanan overburden tersebut terdapat diluar area pit sehingga membutuhkan jarak yang jauh dan jalan yang menanjak sehingga menggunakan bahan bakar yang lebih banyak, serta terdapat penggunaan alat berat lain seperti *bulldozer*, *compactor*, *grader*, *water truck*, *wheel loader* untuk *maintenance* jalan untuk dalam pit dan diluar pit.

Dalam upaya minimalisasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari produksi batu bara yang dilakukan oleh PT. XYZ, telah disusun berbagai rekomendasi dan ide program yang dapat dilaksanakan antara lain dengan cara:

Meningkatkan fokus perbaikan kinerja lingkungan dalam hal efisiensi penggunaan energi untuk unit proses yang terdeteksi sebagai *hotspot*, diantaranya dengan program:

- Pengaturan antrian unit HD pada saat pengisian lapisan batuan penutup (OB)
- Eco driving; cara mengoperasikan unit yang hemat energi

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian LCA pada produksi batu bara PT. XYZ pada tahun 2020 di dapatkan nilai kontribusi dampak lingkungan yang paling tinggi terdapat pada tahapan *overburden removal* dikarenakan penggunaan alat dan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan dengan tahapan yang lainnya. Rekomendasi perbaikan agar dapat meminimalkan kontribusi dampak lingkungan yaitu dengan penerapan *eco-driving*.

DAFTAR PUSTAKA

Information, U. E. (2013) *International Energy Outlook 2013, Outlook 2013*.

Kurnia, A. dan Sudarti (2021) "Efek Rumah Kaca Oleh Kendaraan Bermotor," *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(2), hal. 1–9.

Pratama, V. O. P. dan J.A.R, N. R. (2020) "Analisis Beban Emisi Gas Karbonmonoksida (CO) dan Karbondioksida (CO₂) dari Aktivitas Transportasi Umum di Terminal Arjosari Kota Malang," *Seminar Nasional (ESEC)*, hal. 69–78.

Ulhasanah, N. dan Goto, N. (2012) "Sustainable Cement Production of Cement Industry by MFA, LCA and MFCA as a Preliminary Design of Eco-City in Indonesia," in *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, hal. 46–50.