

Penggunaan *Life Cycle Assessment* dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia

Annisa Luthfia¹⁾, Muhammad Sonny Abfertiawan^{1),2)}, Siska Nuraprianisandi¹⁾, Kris Pranoto³⁾, Pascal Randolph Samban³⁾, dan Apridawati Elistyandari⁴⁾

¹⁾ PT Ganeca Environmental Services, Bandung, Indonesia

²⁾ Kelompok Keahlian Rekayasa Air dan Limbah Cair, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³⁾ Environment Department, PT. Kaltim Prima Coal

^{a)}Corresponding author: annisaluth@gesi.co.id / siska@gesi.co.id / msa@ftsl.itb.ac.id

ABSTRAK

Pertambangan merupakan salah satu industri dengan kompleksitas tinggi yang melibatkan aktivitas dan peralatan yang sangat besar dan beragam. Industri ini beroperasi dengan karakteristik yang unik dan spesifik sehingga memiliki tantangan yang berbeda-beda. Selain dampak positif terhadap pertumbuhan perekonomian, industri pertambangan juga memiliki potensi dampak terhadap lingkungan. Isu dampak lingkungan menjadi perhatian serius bagi seluruh pemangku kepentingan. Oleh karena itu, dalam pengoperasiannya, pertambangan harus dapat mengedepankan kaidah penambangan yang baik dengan memperhatikan upaya-upaya pengendalian dampak lingkungan. Salah satu metode penilaian potensi resiko dampak lingkungan yang dapat digunakan di industri pertambangan yakni *Life Cycle Assessment* (LCA) atau Penilaian Daur Hidup. LCA merupakan metode yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan di setiap tahapan kegiatan penambangan dan pengolahan komoditas. Metode ini dapat memberikan informasi yang komprehensif terkait peluang-peluang atau opsi-opsi teknologi atau metode yang dapat dipilih dan dilakukan untuk memperbaiki performa pengelolaan lingkungan maupun upaya pencegahannya. Selain itu, LCA juga dapat memberikan informasi yang terukur terkait kinerja pengelolaan lingkungan dari setiap tahapan penambangan yang dapat digunakan atau dimanfaatkan dalam perencanaan kegiatan penambangan serta memberikan peluang menjadi strategi pemasaran produk hasil tambang kepada konsumen atas upaya-upaya perlindungan lingkungan. Makalah ini disajikan untuk memberikan gambaran penggunaan LCA dalam penilaian resiko dampak lingkungan dan pemilihan alternatif teknologi di industri pertambangan Indonesia. Sebagai contoh, makalah ini menyajikan analisis penggunaan alternatif energi di kegiatan penambangan dan potensi dampak gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan. Melalui pendekatan LCA, industri pertambangan dapat memperoleh gambaran penggunaan energi terhadap potensi emisi yang dihasilkannya.

Kata Kunci: Penilaian Daur Hidup; Pertambangan; Dampak Lingkungan ; Gas Rumah Kaca

ABSTRACT

Mining is industry with high complexity which involves a very large and diverse activities and equipment. This industry operates with unique and specific characteristics, so it has different challenges. Apart from having a positive impacts on economic growth, the mining industry also has a potential impacts on the environment. The issues of environmental impacts are serious concern for all stakeholders. Therefore, in its operation, mining must be able to prioritize a good mining practise by taking efforts to control environmental impacts. One of the methods of assessing the potential risk of environmental impacts that can be used in the mining industry is the Life Cycle Assessment (LCA). LCA is a method that can be used to identify potential environmental impacts at every stage of mining and commodity processing activities. This method can provide comprehensive information regarding technological opportunities or options also methods that can be selected and implemented to improve the performance of environmental management and prevention. In addition, LCA also provide measurable information related to the environmental management performance of each mining phase that can be used or utilized in planning mining activities as well as providing opportunities to become a marketing strategy for mining products to consumers for environmental protection efforts. This paper is presented to provide an overview of the use of LCA in environmental impact risk assessment and the selection of alternative technologies in the Indonesian mining industry. For example, this paper presents an analysis of the use of alternative energy in mining activities and the potential impacts of greenhouse gases (GHG). According to LCA approach, the mining industry can obtain an overview of energy use against the potential emissions it produces.

Keywords: Life Cycle Assessment; Mining; Environmental Impacts; Greenhouse Gas

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). Berdasarkan rencana bauran energi nasional yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, batubara masih akan mengambil peran dominan hingga tahun 2050 yang mencapai 25% dari total kebutuhan energi. Saat ini, peran penting batubara semakin besar dengan rencana pembangunan PLTU 35.000 MW bersumber energi batubara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional. Dengan adanya rencana pembangunan PLTU ini, tentunya akan menambah konsumsi batubara nasional sebesar ± 170 juta ton/tahun dari konsumsi saat ini sekitar ± 70 juta ton/tahun. Di negara lain, berdasarkan data dari EIA (2017), batubara masih menjadi sumber pembangkit listrik kedua terbesar di Amerika Serikat, yaitu sebesar 30%. Sedangkan di Jepang, sebesar 30,4%. Sementara di China, sebesar 58%. Meski saat ini China dalam upaya meningkatkan porsi penggunaan bahan energi terbarukan, energi batubara masih tetap mendominasi bahan energinya.

Penggunaan batubara sebagai sumber energi tentu akan memicu pengembangan industri pertambangan batubara. Di Indonesia, penambangan batubara didominasi oleh tambang terbuka (*open pit coal mine*). Hal ini dikarenakan sebagian besar cadangan batubara terdapat pada dataran rendah atau pada daerah pegunungan dengan topografi yang landai dengan kemiringan lapisan batubara yang kecil $<30^\circ$. Dengan karakteristik cadangan di Indonesia, penambangan batubara dengan menggunakan metode tambang terbuka dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan tambang dalam (bawah permukaan). Namun, di beberapa area cadangan dengan karakteristik cebakan berada jauh di bawah permukaan dan dengan bentuk yang tidak beraturan, maka sangat mungkin penambangan batubara dilakukan dengan metode tambang bawah tanah atau *underground mine*. Industri pertambangan, khususnya tambang terbuka batubara di Indonesia melibatkan aktivitas, peralatan, dan sumber daya manusia yang masif. Hal ini dapat dilihat dari *multiplier effect* yang berpotensi timbul dari adanya kegiatan penambangan tersebut, khususnya dalam aspek sosial ekonomi masyarakat sekitar penambangan (Singawinata, 2007; Rosyid dan Adachi, 2016). Namun, besarnya aktivitas penambangan tersebut juga berpotensi memberikan dampak terhadap ekosistem lingkungan (Jin and Brian, 2013; Goswami, 2015; Setiawan et al., 2017). Oleh karena itu, upaya pengelolaan lingkungan menjadi salah satu aspek penting yang harus diperhatikan agar kegiatan penambangan dapat memberikan manfaat yang lebih besar.

Lingkungan merupakan segala sesuatu yang ada di sekitar manusia yang mempengaruhi perkembangan kehidupan makhluk hidup baik secara langsung maupun tidak langsung. Hal ini dapat disadari bahwa 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 efisiensi produksi dari setiap kegiatan agar pencegahan potensi polusi, minimalisasi limbah, dan produksi bersih dapat tercapai. Tujuan dari makalah ini adalah memberikan gambaran peranan pendekatan LCA terhadap suatu penilaian dan pengambilan keputusan mengenai pengelolaan lingkungan di pertambangan barubara. Studi LCA dilakukan untuk mengidentifikasi potensi dampak lingkungan di setiap tahapan kegiatan penambangan dan pengolahan batubara. Hal ini diharapkan dapat menjadi informasi penting bagi manajemen perusahaan, maupun pemangku kepentingan lainnya terhadap sumber-sumber yang memberikan kontribusi dampak lingkungan di setiap tahapan kegiatan atau tiap komponen yang terlibat dalam kegiatan penambangan.

2. METODE

Life Cycle Assessment (LCA) atau Penilaian Daur Hidup merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan selama proses produksi sebuah produk (Awuah-Offei and Adekpedjou, 2011). Menurut ISO (2006), LCA diartikan sebagai suatu kompilasi dan evaluasi aliran material dan energi, serta potensi dampak lingkungan dari siklus hidup suatu produk. LCA berkembang cukup pesat setelah secara formal digunakan oleh *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) pada awal 1990 (Awuah-Offei and Adekpedjou, 2011). Namun, di industri pertambangan, khususnya batubara di Indonesia, penilaian lingkungan melalui metode LCA masih sangat jarang dilakukan oleh perusahaan maupun pemerintah. LCA belum menjadi metode atau instrument penting dalam melakukan identifikasi potensi dampak dan pertimbangan dalam pengambilan keputusan di industri pertambangan, maupun industri lainnya.

LCA adalah salah satu metode analisis yang dapat dipilih dan digunakan untuk mengevaluasi dampak yang dihasilkan dari suatu proyek atau produk atau jasa terhadap lingkungan. LCA dapat dipakai untuk mengetahui potensi limbah yang akan muncul, konsumsi energi yang digunakan serta bahan baku yang diperlukan selama proses produksi. Berdasarkan ISO 14040 dinyatakan bahwa LCA terdiri dari empat tahap, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak, dan interpretasi. Dalam sudut pandang yang lebih luas, maka metode LCA dapat digunakan dalam melakukan kajian terhadap keunggulan dan kelebihan setiap proses *pre-mining*, *mining* dan *reclamation phase (post-mining)* guna menentukan mekanisme teknis atau teknologi, sistem manajerial atau potensi resiko yang paling baik atau minimum dampaknya terhadap lingkungan.

Di Indonesia, terdapat beberapa instrumen yang dapat digunakan untuk penilaian lingkungan sebagai amanah dari Undang-undangan Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, diantaranya Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), audit lingkungan hidup, instrumen ekonomi lingkungan hidup, dan lain-lain (Pasal 14, Bagian Kedua). Di undang-undang ini juga Pemerintah Indonesia membuka peluang untuk masuknya instrumen lain sesuai dengan kebutuhan dan/atau perkembangan ilmu pengetahuan. Dengan dasar inilah, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mulai memperkenalkan LCA sebagai salah satu instrumen lingkungan yang dapat digunakan oleh para pelaku industri. Pemerintah Indonesia telah

mengadopsi ISO 14040:2006 tentang *Life Cycle Assessment* kedalam Standar Nasional Indonesia yakni SNI-ISO 14040:2016 tentang Penilaian Daur Hidup yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN). Selanjutnya, pada tahun 2019, Pemerintah Indonesia mulai membuka ruang bagi LCA sebagai bagian dari penilaian PROPER. PROPER merupakan evaluasi ketaatan dan kinerja melebihi ketaatan penanggungjawab usaha dan/atau kegiatan dibidang pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup, serta pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 3 Tahun 2014 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup). Namun, harus dapat ditegaskan bahwa LCA seharusnya tidak diposisikan sebagai syarat administrasi dokumen dalam penilaian PROPER. Namun, LCA hanyalah salah satu metode yang dapat digunakan dalam penilaian lingkungan, sama seperti metode yang digunakan saat ini untuk penilaian kinerja lingkungan dalam PROPER. LCA hanyalah salah satu dari banyak pilihan metode yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan.

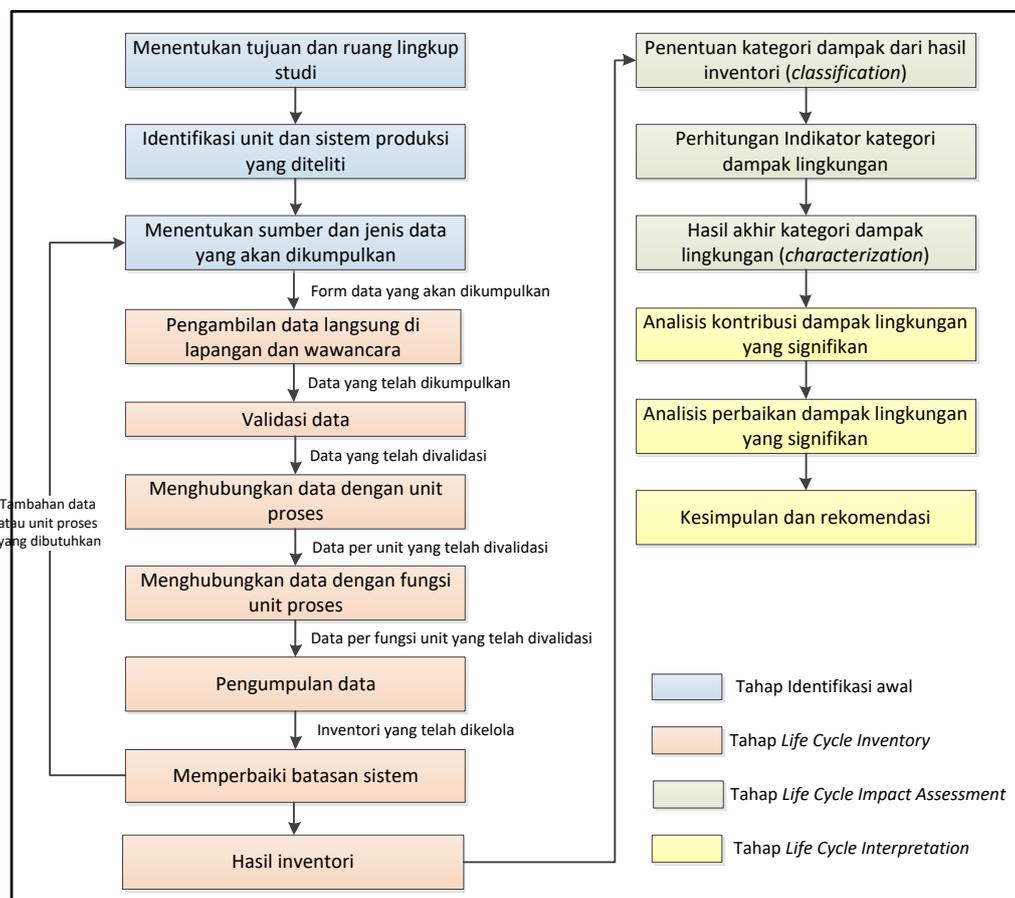
Penilaian lingkungan melalui metodologi LCA memiliki cukup banyak kegunaan yang dapat dimanfaatkan oleh perusahaan maupun pemerintah. Dalam sudut pandang perusahaan, LCA dapat digunakan untuk mengetahui atau mengidentifikasi kinerja pengelolaan lingkungan di tiap tahapan proses produksi. LCA juga dapat digunakan bagi manajemen perusahaan dalam pengambilan keputusan terkait keberlanjutan lingkungan didalam proses produksi (Valero et al., 2019; Roychoudhury dan Khanda, 2016).

LCA merupakan metode penilaian lingkungan yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan dan berpotensi untuk mencakup aspek yang sangat luas. Oleh karena itu, tahapan awal yang sangatlah penting untuk dilakukan adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup. Hal ini dilakukan agar setiap tahapan dan analisis yang dilakukan lebih berfokus pada mencapai tujuan tersebut. Industri pertambangan meliputi proses yang sangat kompleks dan melibatkan sumber daya seperti pekerja dan peralatan yang sangat besar. LCA dapat digunakan oleh industri pertambangan dalam menganalisis beberapa hal. Berikut ini beberapa tujuan dari dilakukannya studi LCA di proses produksi batubara:

- a. Menginformasikan peluang-peluang atau opsi-opsi teknologi dalam operasi penambangan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki performa pengelolaan lingkungan maupun upaya pencegahannya
- b. Memberikan informasi yang terukur tentang kinerja pengelolaan lingkungan dari setiap tahapan kegiatan penambangan yang dapat digunakan atau dimanfaatkan dalam perencanaan kegiatan penambangan
- c. Memberikan peluang untuk menjadi strategi pemasaran produk batubara kepada konsumen atas upaya-upaya perlindungan lingkungan yang dilakukan
- d. Metode umum dalam LCA dapat dilihat pada Gambar 1.

Selain itu, LCA juga memerlukan penentuan batasan sistem yang dianalisis berdasarkan standar yang digunakan dalam ISO 14044. Hal ini penting agar studi yang dilakukan dapat memiliki batasan atau cakupan yang lebih jelas sesuai dengan tujuannya. Penentuan batasan ini penting jika mengingat bahwa *business process* di industri pertambangan sangatlah kompleks sehingga sulit jika harus melakukan analisis untuk seluruh tahapan penambangan hingga

konsumen. Batas studi dalam LCA terdiri dari empat pilihan utama, yakni *Cradle-to-Grave*; *Cradle-to-Gate*; *Gate-to-Gate*; dan *Gate-to-Cradle*. LCA dengan pendekatan *cradle-to-grave* bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk atau sistem secara komprehensif untuk mengevaluasi kebijakan tertentu, preferensi produk, dan/atau peningkatan sistem. Pendekatan *cradle-to-grave* ini menganalisis seluruh unit proses yang diawali dari bahan baku dan energi yang digunakan hingga ke proses pembuangan (Offei dan Adekpedjou, 2011). Siklus hidup produk dengan pendekatan *Cradle-to-Grave* bermula ketika material mentah diekstraksi dari dalam bumi, diikuti oleh pembuatan, transportasi, serta penggunaan, dan berakhir dengan pengelolaan limbah termasuk pendaur-ulangan dan pembuangan akhir. Pada setiap tahapan siklus hidup terdapat keluaran atau *output* emisi dan konsumsi/input sumberdaya. Selanjutnya, dampak lingkungan dari keseluruhan siklus hidup produk dapat dianalisis.

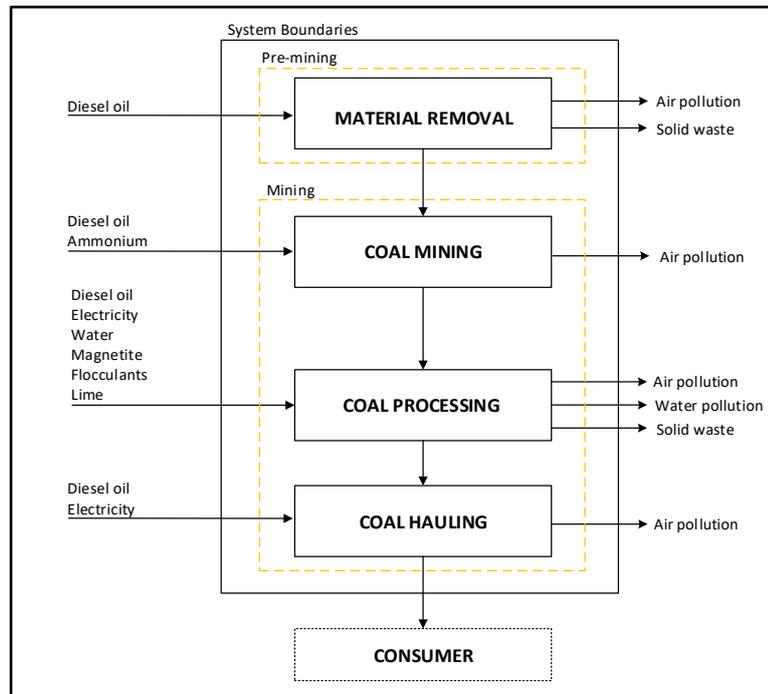


Gambar 1. Metode Umum LCA
 Sumber : Penulis (2019)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan penambangan batubara dengan metode tambang terbuka (*Open Pit Coal Mine*) memiliki unit-unit operasi yang sangat kompleks. Kegiatan penambangan dimulai dari pembersihan lahan (*land clearing*), pengupasan tanah pucuk (*top soil removal*), penggalian batuan penutup (*overburden removal*), penimbunan batuan penutup (*overburden disposal*), reklamasi, penggalian dan pengangkutan batubara (*coal getting and hauling*), pengolahan batubara, pengapalan batubara, dan pemanfaatan batubara untuk energi. Untuk membatasi studi

LCA ini, maka batasan terhadap sistem perlu ditetapkan agar perhitungan dampak dapat dilakukan sesuai dengan tujuan studi. **Gambar 2** merupakan contoh batasan sistem yang dapat digunakan dalam studi LCA. Batasan sistem dalam LCA sangat fleksible, dapat mencakup proses dari awal hingga akhir (konsumen) atau cakupan yang kecil untuk menganalisis alternatif teknologi tertentu.



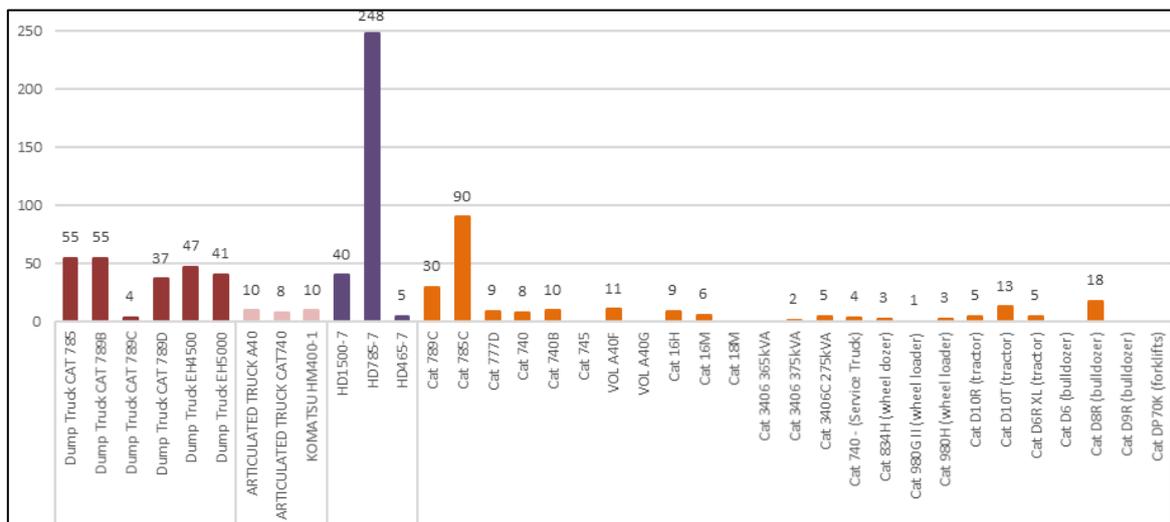
Gambar 2. Contoh diagram batasan sistem yang dapat digunakan di industri pertambangan batubara (Setiap kegiatan terdapat input dan output)
Sumber: Penulis (2019)

Dalam studi LCA, batubara merupakan produk yang menjadi subjek kajian yang akan dianalisis dampaknya yang berpotensi timbul di setiap tahapan daur hidupnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa batubara (dengan satuan ton batubara) dapat ditetapkan sebagai unit fungsi didalam LCA. Penggunaan ton batubara sebagai unit fungsi sangat mirip dengan salah satu metode penilaian PROPER, namun di PROPER untuk tambang batubara disepakati menggunakan unit fungsi ton batubara dan batuan penutup (*Coal* dan *OB*), khususnya di tahap *benchmarking*. Fungsi dan unit fungsi merupakan elemen penting dalam LCA yang harus ditentukan dengan jelas di awal. Dalam kegiatan industri untuk sebuah produk terdapat sistem produk yang terdiri dari kumpulan beberapa unit proses yang memiliki fungsi berbeda-beda. Fungsi tersebut menunjukkan karakteristik kinerja dari sistem produk tersebut. Sedangkan unit fungsi merupakan kinerja yang terukur dari sistem produk yang digunakan sebagai unit rujukan. Memahami fungsi dari sebuah produk dan unit fungsi yang dapat dilekatkan pada produk tersebut akan membantu dalam proses pendefinisian dampak-dampak yang berpotensi terbentuk dalam setiap tahapan. Batubara secara umum memiliki fungsi sebagai sumber energi listrik yang dihasilkan melalui pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Terdapat beberapa jenis batubara yang dikenal yakni *lignite coal*, *bituminous coal*, dan *anthracite coal*. Jenis batubara tersebut dikategorikan berdasarkan karakteristiknya yakni nilai kalori yang terkandung didalamnya. Karakteristik batubara tersebut sangat bergantung pada kondisi dan proses geologi selama pembentukan batubara. Perbedaan jenis batubara tentu dapat pula menimbulkan perbedaan terhadap dampak yang ditimbulkan baik di tahapan penambangan maupun pembakaran di PLTU untuk menghasilkan energi listrik. Roychoudhury dan Khanda

(2016) telah melakukan studi untuk melihat aliran energi yang dihasilkan dari setiap jenis batubara. Dalam konteks studi LCA, perbedaan aliran energi tersebut akan berdampak pada perbedaan nilai dampak yang dihasilkan. Hal inilah menyebabkan metode LCA cukup fleksible untuk digunakan di industri pertambangan dengan variabel bebas yang banyak.

a. Life Cycle Inventory (LCI)

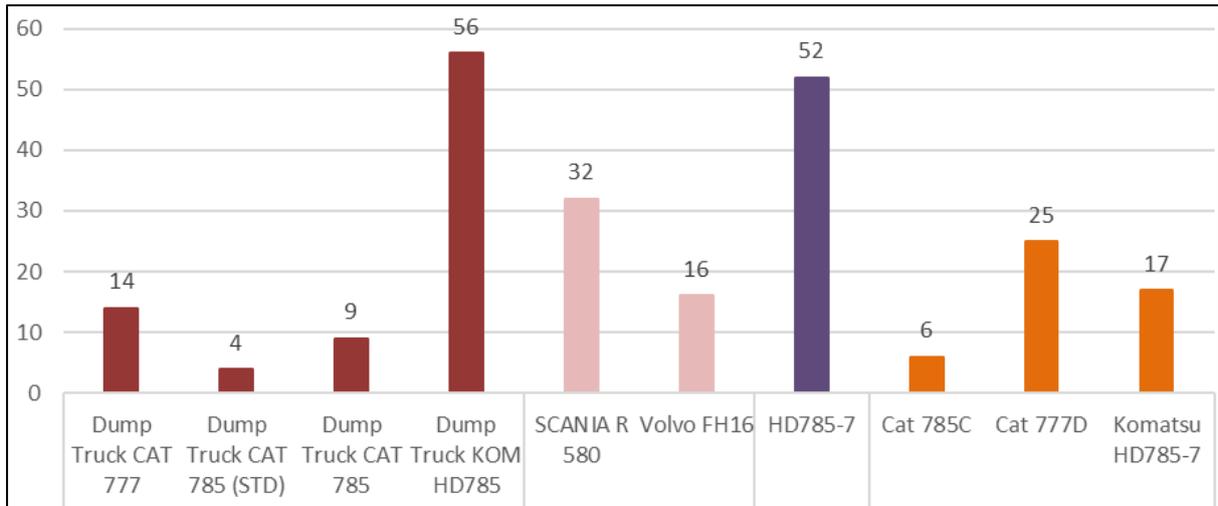
Pada tahapan ini, seluruh sumber daya yang terlibat didalam proses produksi batubara dikumpulkan dan dianalisis. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan kebutuhan aliran material masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang diuraikan pada masing-masing tahapannya. Tahap inventori data masukan dan keluaran berkaitan dengan sistem yang sedang dikaji. Data-data tersebut dapat bersumber dari data sekunder maupun primer dari pengukuran/pendataan di lapangan. Hal ini akan berpengaruh pada keakurasian dan validitas hasil akhir. LCI merupakan tahapan yang sangat sulit dilakukan. Tidak hanya dikarenakan business process yang kompleks, tetapi tidak semua perusahaan, khusus pertambangan di Indonesia, yang melakukan pengumpulan data secara rutin dan rapih. Hal ini menyebabkan proses LCI menjadi lebih menantang untuk dapat dilakukan secara baik agar tujuan LCA dapat tercapai.



Gambar 3. Inventori alat berat di tahap *pre-mining*. Jumlah dan jenis *dump truck* untuk pengangkutan batuan penutup

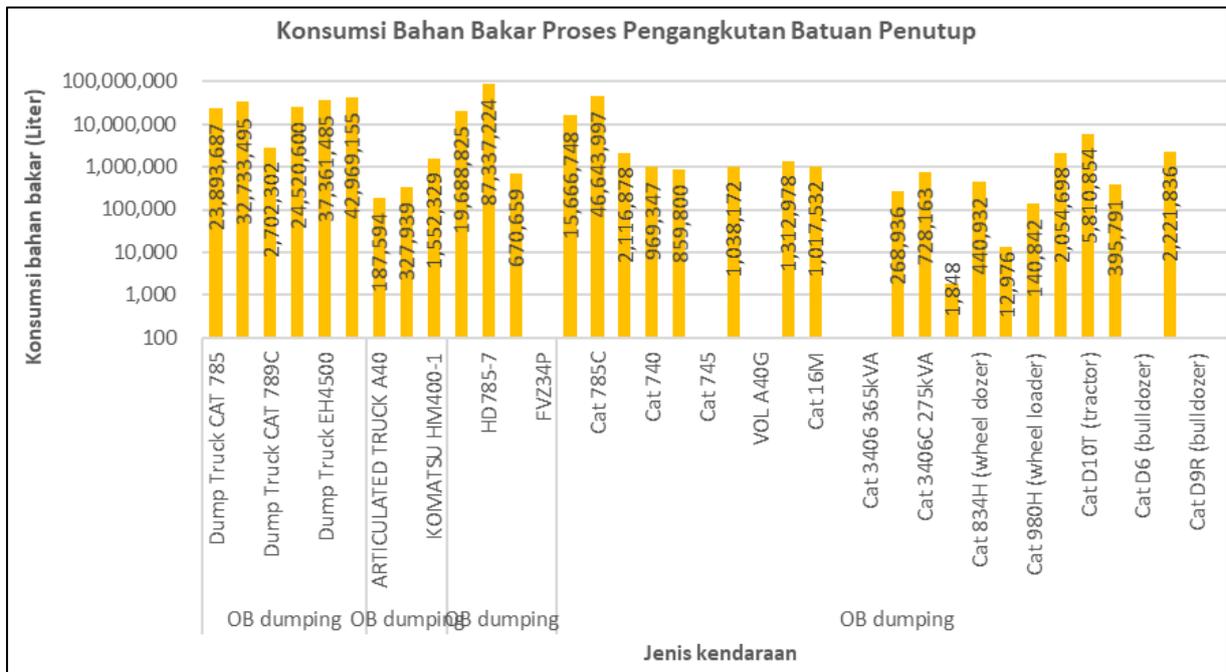
Sumber: Penulis (2019)

Gambar 3 dan **Gambar 4** menunjukkan data alat berat yang beroperasi di tahap pengangkutan batuan penutup (*Overburden*) dan *coal hauling* atau pengangkutan batubara. Data-data ini selanjutnya dapat dianalisis dengan mengumpulkan data-data pemakaian bahan bakar setiap jenis alat berat yang beroperasi di setiap tahapan penambangan. **Gambar 5** dan **Gambar 6** menunjukkan data-data pemakaian bahan bakar dengan jenis solar untuk setiap alat berat di tahapan pengangkutan batuan penutup dan batubara. Tentu sangat menarik Ketika LCA digunakan untuk menganalisis potensi dampak dari pemakaian bahan bakar yang berbeda, contohnya bahan bakar solar, biodiesel (B10, B20, atau B30), atau bahan bakar lainnya sehingga pemangku kepentingan, khususnya perusahaan dapat mengetahui dampak dari pemilihan bahan bakar terhadap lingkungan.



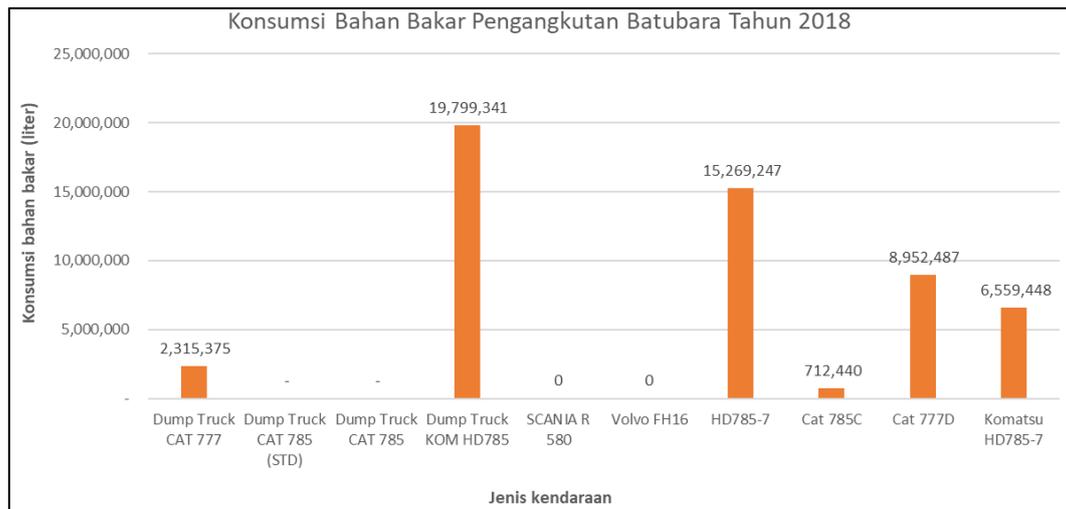
Gambar 4. Inventori Alat Berat di Tahap Coal Hauling atau Pengangkutan Batubara (Jumlah dan Jenis Kendaraan untuk Pengangkutan Batubara)

Sumber: Penulis (2019)



Gambar 5. Inventori Data Pemakaian Bahan Bakar di Tahap Pengangkutan Batuan Penutup Selama Satu Tahun

Sumber: Penulis (2019)



Gambar 6. Inventori Data Pemakaian Bahan Bakar di Tahap Pengangkutan Batuan Penutup Selama Satu Tahun (Terdapat Nilai Nol Dikarenakan Pada Tahun Data Alat Tersebut Tidak Digunakan)

Sumber: Penulis (2019)

Tabel 1. Contoh Hasil analisis LCI untuk 1 Ton Batu Bara

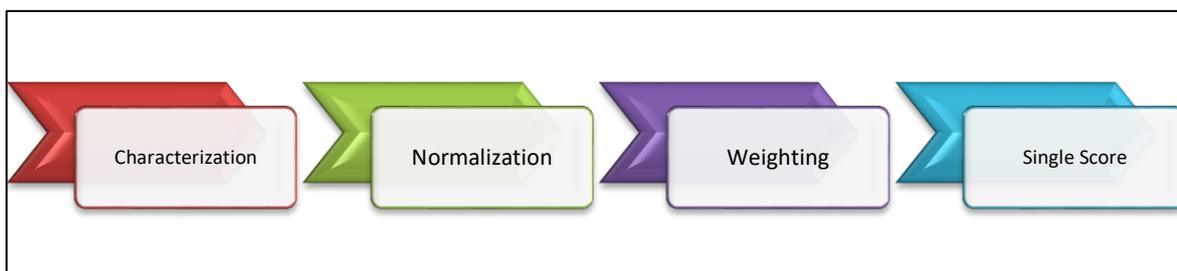
Komponen	Volume	Satuan / tahun 2018	Normalisasi	
			Volume	Satuan
INPUT				
Konsumsi bahan tambahan				
Magnetite	816	Ton	0,0000143	Ton
Flocculants	19,425	Ton	0,0000003	Ton
Bahan peledak	82.025	Ton	0,0014399	Ton
Konsumsi air pendukung proses				
Air washing	760.368	m ³	0,0133478	m ³
Konsumsi bahan bakar cair				
Solar	254.114.526	L	4,4608136	L
Konsumsi energi listrik				
	76.076.092	kWh	1,3354658	kWh
OUTPUT				
Emisi ke udara				
CO ₂	34.886.729,94	Kg	0,6124136	Kg
CH ₄	0,11	Kg	0,0000000	Kg
NO ₂	0,74	Kg	0,0000000	Kg
Emisi ke perairan				
Air limbah washing	570.276	m ³	0,0100108	m ³
Emisi ke permukaan tanah				
Overburden	1.055.956.684	Ton	18,536626	Ton
Gangue	92.732	Ton	0,0016278	Ton
Produk				
Batubara	56.965.960	Ton	1	Ton

Sumber: Penulis (2019)

b. *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*

Setelah melakukan inventarisasi aliran energi atau material di setiap tahapan kegiatan penambangan, maka selanjutnya adalah menganalisis potensi dampak lingkungan dari setiap tahapan tersebut. Tahap ini disebut dengan *Life Cycle Impact Assessment* atau LCIA. LCIA bertujuan untuk menjelaskan konsekuensi atau dampak terhadap lingkungan berdasarkan tujuan dan ruang lingkup, serta berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada tahap *inventory analysis*. Tahap ini juga memberikan informasi tambahan untuk membantu dalam menilai sistem produk hasil *Life Cycle Inventory (LCI)* sehingga dapat lebih memahami arti pentingnya terhadap lingkungan. Setidaknya terdapat tujuh proses (lihat **Gambar 7**) didalam tahapan LCIA, yakni:

- a) *Characterization* merupakan tahapan dimana keseluruhan input dan output akan dinilai kontribusinya sesuai dengan kategori dampak yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah suatu profil dampak lingkungan dari system yang diamati;
- b) *Normalization* merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai dan akan dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya valuation adalah untuk mendapat nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga mudah interpretasi selanjutnya;
- c) *Weighting* merupakan metode yang memperbolehkan tahapan pembobotan dalam impact categories. Hal ini berarti hasil dari impact category indicator akan dikalikan dengan weighting factor, dan akan diakumulasikan sebagai total score;
- d) *Single score* merupakan integrasi dari hasil life cycle inventory dan life cycle impact assessment yang kemudian digunakan untuk mengkaji, menarik kesimpulan dan rekomendasi yang konsisten dengan tujuan dan lingkup yang telah diformulasikan.



Gambar 7. Tahapan dalam Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Sumber: Penulis (2019)

Pada tahap karakterisasi, penentuan kategori dampak harus dilakukan. Didalam studi LCA, cukup banyak kategori dampak yang dapat dipilih, sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Secara umum, terdapat dua jenis kategori dampak yakni *midpoint categories* dan *endpoint categories*. *Midpoint categories* yakni kategori dampak yang timbul terhadap

lingkungan secara langsung sedangkan *endpoint categories* merupakan kategori dampak yang timbul sebagai akibat dari perubahan lingkungan atau dapat dikatakan sebagai dampak tidak langsung. Sebagai contoh timbulan gas (sebagai dampak *midpoint categories*) dari kegiatan penambangan berpotensi memberikan dampak lanjutan terhadap lingkungan biotik dan abiotik serta kesehatan manusia. Kategori dampak merupakan pengelompokan suatu isu lingkungan yang diperhatikan, menjadi satu kelompok atau lebih. Dalam menetapkan kategori dampak, dilakukan pensortiran dan pemberian peringkat terhadap tiap dampak. Pensortiran dilakukan berdasarkan karakteristik dampak sedangkan peringkat didasarkan atas prioritas dampak tersebut. Berdasarkan *US Environmental Protection Agency* (2006) terdapat daftar untuk kategori dampak yang secara umum digunakan untuk mengkategorikan dampak pada studi LCA. Daftar kategori dampak dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Kegiatan pertambangan, khususnya tambang terbuka batubara (*open pit coal mine*), berpotensi menimbulkan dampak terhadap udara, air maupun tanah. Dari aspek udara, kegiatan penambangan berpotensi menimbulkan dampak terhadap pelepasan emisi gas dari kendaraan alat berat maupun lapisan batubara ketika dilakukan penggalian dan pengangkutan. Gas-gas yang berpotensi teremisikan ke udara ambien diantaranya karbon dioksida (CO₂), gas nitrogen (N₂O), dan methane (CH₄). Gas tersebut menjadi sumber terhadap potensi pemanasan global dan penipisan ozon dapat menjadi subjek studi LCA. Kategori dampak lainnya seperti *acidification*, *toxicity*, eutrikikasi, dan lain-lain dapat timbul dari aktivitas penambangan dan dapat dianalisis menggunakan pendekatan LCA. Dari **Tabel 2** dapat dilihat bahwa jenis aktegori yang dapat digunakan sangatlah beragam tergantung dengan fokus tujuan yang diinginkan. Didalam makalah ini satu contoh analisis dipaparkan dengan mengambil kategori dampak penggunaan energi dan Gas Rumah Kaca (GRK). Kedua kategori tersebut masuk dalam *midpoint categories* yakni kategori dampak yang timbul terhadap lingkungan secara langsung.

Pengolahan dan penyajian data didalam studi LCA dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi seperti OpenLCA, SimaPro atau bahkan dengan *Microsoft Excel*. Makalah ini akan mencoba menyajikan metode perhitungan yang sederhana dengan tujuan agar dapat berfokus pada pola pikir kegunaan LCA. Data-data yang digunakan dalam studi LCA dimasukkan ke dalam data inventori sebagai data kuantitatif untuk melihat hasil input dan output yang dihasilkan. Data yang dimasukkan dalam analisis dampak dilakukan secara kuantitatif untuk melihat besar dampak yang dihasilkan. Pada tahap selanjutnya yakni interpretasi, analisis secara deskriptif dan penyajian data akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik agar hasil data dapat lebih mudah dipahami dan terlihat perbandingan dari hasil analisis dampak maupun manfaat yang diperoleh dari hasil tahap interpretasi.

Sebagai contoh, dalam makalah ini perhitungan analisis dampak dikelompokkan berdasarkan dampak terhadap gas rumah kaca (GRK), dan penggunaan energi (*electricity use*). Pada GRK yang dihasilkan proses *pre mining* dan *mining* dianalisis berdasarkan kandungan CO₂, N₂O, dan CH₄ yang dikonversi menjadi CO₂-eq. Gas CO₂, N₂O, dan CH₄ timbul dari kegiatan penambangan yang bersumber dari aktivitas kendaraan, khususnya alat berat. Selain dari aktivitas kendaraan, GRK juga dihitung dari kegiatan penggalian batubara (potensi emisi *fugitive*). Emisi gas ini mencakup semua emisi GRK yang sengaja maupun tidak disengaja terlepas selama kegiatan penambangan batubara. Dalam analisis, gas methane dihitung sebagai emisias *fugitive* yang timbul selama penggalian batubara.

Tabel 2. Kategori *Life Cycle Impact* (LCI) yang Umum Digunakan

Kategori dampak	Skala	Contoh data	Faktor karakteristik umum	Deskripsi dari Faktor Karakteristik
Pemanasan global	Global	Carbon Dioxide (CO ₂) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Methan (CH ₄) Chlorofluorcarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Potensi pemanasan global	Mengkonversi LCI data untuk menyatarkan Carbon dioxide (CO ₂) Catatan: Potensi pemanasan global dapat berpotensi sampai 50, 100, atau 500 tahun
Penipisan ozon	Global	Chlorofluorcarbons (CFCs) Hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) Halons Methyl Bromide (CH ₃ Br)	Potensi penipisan ozon	Mengkonversi LCI data untuk menyatarkan trichlorofluoromethan ase (CFC-11)
Acidification	Rigional Local	Sulfur Oxides (SO _x) Nitrogen Oxides (NO _x) Hydrochloric Acid (HCL) Hydroflouric Acid (HF) Ammonia (NH ₄)	Potensi acidification	Mengkonversi LCI data untuk menyatarkan hydrogen (H ⁺)
Eutrofikasi	Local	Phosphate (PO ₄) Nitrogen Oxide (NO) Nitrogen Dioxide (NO ₂) Nitrates Ammonia (NH ₄)	Potensi Eutrofikasi	Converts LCI data untuk menyatarkan phosphate (PO ₄)
Asap Photochemical	Local	Non-methane hydrocabon (NMHC)	Potensi pembentukan Photochemical Oxident	Mengkonversi LCI data untuk menyatarkan ethane (C ₂ H ₆)
Terrestrial Toxicity	Local	Zat kimia beracun Zat kimia beracun dengan lethal concentration terhadap tikus	LC ₅₀	Konversi LC ₅₀ data untuk menyatarkan; gunakan pemodelan multimedia, jalur paparan
Aquatic Toxicity	Local	Zat kimia beracun Zat kimia beracun dengan lethal concentration terhadap ikan	LC ₅₀	Konversi LC ₅₀ data untuk menyatarkan; gunakan pemodelan multimedia, jalur paparan
Kesehatan Masyarakat	Global Regional Local	Jumlah beban pencemar udara, air, dan tanah	LC ₅₀	Konversi LC ₅₀ data untuk menyatarkan; gunakan pemodelan multimedia, jalur paparan
Penipisan sumber daya alam	Global Regional Local	Jumlah mineral yang digunakan Jumlah bahan bakar fosil yang digunakan	Potensi penipisan sumber daya alam	Konversi LCI data ke rasio jumlah sumber daya yang digunakan berbanding jumlah sumberdaya yang yang masih tersediasebagai cdangan

Kategori dampak	Skala	Contoh data	Faktor karakteristik umum	Deskripsi dari Faktor Karakteristik
Penggunaan lahan	Global Regional Local	Jumlah sampah dalam satu lahan atau lahan lain yang dimodifikasi	Ketersediaan lahan	Konversi massa sampah menjadi volume menggunakan estimasi massa jenis
Penggunaan air	Regional Local	Penggunaan dan konsumsi air	Potensi kekurangan air	Konversi LCI data ke rasio jumlah air berbanding jumlah cadangan air

Sumber: US Environmental Protection Agency (2006)

Selanjutnya, analisis terhadap keluaran atau output dilakukan. Output yang menjadi fokus studi ini yakni emisi yang dihasilkan oleh penggunaan setiap alat berat berupa emisi gas rumah kaca (GRK). Kegiatan pra penambangan dilakukan menggunakan alat berat yang beroperasi dengan sumber energi berupa bahan bakar fosil yang berpotensi menghasilkan emisi GRK dan berpotensi turut berkontribusi dalam pemanasan global. Tiga gas rumah kaca utama yang terdiri dari CO₂, CH₄, dan N₂O dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil sebagai bahan bakar alat berat. Dalam studi LCA ini, perhitungan emisi GRK dilakukan dengan menggunakan dasar perhitungan emisi yang telah diakui *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Menurut IPCC (2006) untuk perhitungan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari penggunaan bahan bakar diperoleh melalui Persamaan 1 berikut ini:

$$\text{Emisi bahan bakar} = Qf \times FE \dots \dots \dots (\text{Persamaan 1})$$

Keterangan: Emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari bahan bakar (Kg); **Qf**= Konsumsi bahan bakar (TJ); **FE**= Faktor emisi (kg/TJ).

Faktor emisi memiliki nilai yang berbeda tergantung jenis bahan bakar yang digunakan. Faktor ini dapat pula dihitung berdasarkan data primer, tentu dengan memperhatikan keterwakilan data sehingga validitasnya dapat dipertanggungjawabkan. Berikut adalah tabel contoh tetapan faktor emisi yang bersumber dari *off-road mobile* dengan jenis bahan bakar solar (*diesel*).

Tabel 3. Faktor Emisi *Off-Road Mobile* Jenis Bahan Bakar Solar (Diesel)

Off-road Source	Faktor Emisi		
	CO ₂ (Kg/TJ)	CH ₄ (Kg/TJ)	N ₂ O (Kg/TJ)
Agriculture, Forestry, Industry, Household	74100	4,15	28,6

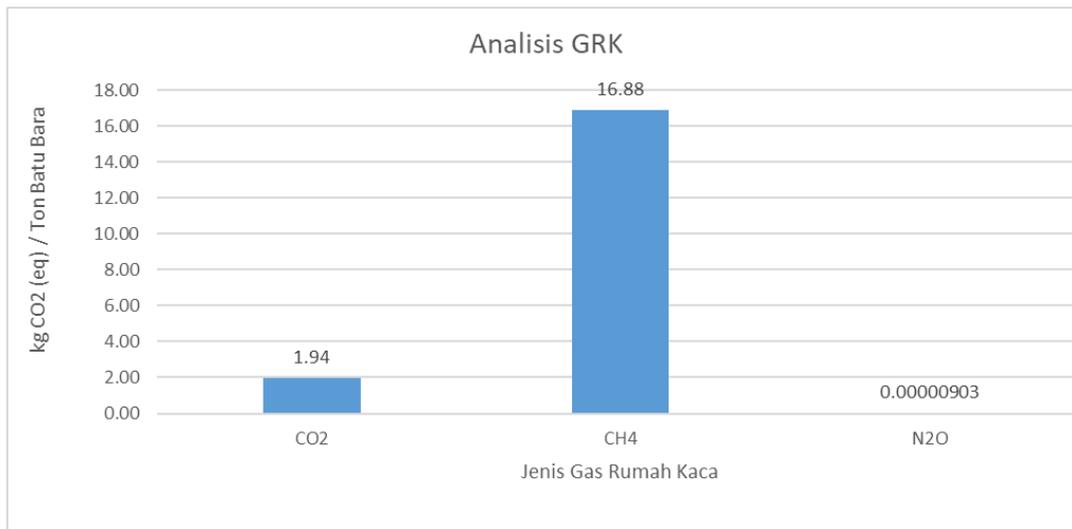
Sumber: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006)

Selain emisi yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar, kita juga dapat melakukan analisis terhadap emisi yang dihasilkan dari pemakaian atau penggunaan listrik. Menurut Putt dan Bhatia (2002), formulasi perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan listrik diperoleh melalui Persamaan 2.

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ Listrik} = QL \times FE \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2})$$

Keterangan: **QL** = Konsumsi listrik (kWh); **FE** = Faktor emisi (0,996 kg.CO₂/kWh) (ESDM, 2016)

Contoh hasil perhitungan untuk kategori dampak GRK per ton batubara dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Tabel 2**. Dari contoh perhitungan ini diketahui bahwa untuk memproduksi 1-ton batubara, maka berpotensi dihasilkan 16,88 kg CO₂ ekivalen CH₄. Gas methane, CH₄, merupakan salah satu gas yang berkontribusi dalam pemanasan global. Dalam kegiatan penambangan, gas methane lebih banyak timbul pada kegiatan penggalian batubara. Gas methane yang terkandung didalam lapisan berpotensi batubara lepas secara langsung ke udara ketika adanya penggalian batubara.



Gambar 8. Contoh Hasil Analisis Emisi Setiap Tahapan Penambangan
Sumber: Penulis (2019)

Analisis ini memberikan gambaran potensi dampak dari setiap tahapan penambangan terhadap emisi gas rumah kaca. Tentu hasil ini akan berbeda Ketika upaya-upaya pengendalian atau pencegahan dapat dilakukan, diantaranya penggantian jenis bahan bakar yang lebih ramah lingkungan atau penggunaan teknologi alat berat yang lebih efisien. Saat ini, pemerintah Indonesia dan perusahaan pertambangan sedang berupaya untuk mengganti jenis bahan bakar mejadi biodiesel B10/B20/B30, bahkan spesifikasi yang lebih tinggi. Hal ini akan memberikan pengaruh signifikan terhadap emisi yang dihasilkan dari pengoperasian alat berat di setiap tahapan penambangan.

C. Tantangan Dan Peluang Dalam Metode LCA

LCA merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dan diandalkan dalam menilai potensi dampak dari setiap tahapan kegiatan pertambangan untuk menghasilkan produk tambang, dalam hal ini batubara. Namun, LCA juga memiliki cukup banyak keterbatasan dan tantangan. Adapun keterbatasan dan tantangan tersebut, diantaranya yakni:

- LCA bukan penilaian lengkap dari semua masalah lingkungan. Hal ini dikarenakan pembatasan ruang lingkup sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
- LCA sangat jarang dilakukan dengan memasukan setiap tahapan kegiatan produksi dengan memasukan seluruh input dan output karena batasan sistem, kesenjangan data, kriteria cut-off, dll.
- Data-data yang dikumpulkan masih mengandung ketidakpastian. Hal ini tentu sangat bergantung dengan kualitas data yang digunakan dalam studi LCA. Penggunaan data primer sangat penting untuk memastikan validitas data, namun sangat jarang sekali perusahaan yang mengumpulkan data secara detail dan rutin.

- d) Kompleksitas industri pertambangan yang melibatkan berbagai jenis sumber daya dan peralatan dengan jumlah yang besar. membuat analisis LCA harus dibatasi. Jika tidak, maka akan menyebabkan kerumitan analisis, terlebih data yang diperlukan sangat terbatas.
- e) Ketersediaan data. Tidak semua perusahaan tambang melakukan perekaman data secara detail sesuai dengan tahapan penambangan. Termasuk database factor emisi yang dapat digunakan, khususnya di Indonesia
- f) Komponen lingkungan dan kategori dampak yang berpotensi menjadi perhatian meliputi air, tanah, udara, limbah B3 dan lain-lain. Sangat luas!

4. KESIMPULAN

Dengan segala keterbatasan, LCA masih tetap menjadi salah satu metode yang menarik untuk digunakan. Metode ini dapat mengkuantifikasikan dampak lingkungan dari setiap tahapan kegiatan produksi. Metode ini pula dapat digunakan dalam penentuan alternatif teknologi terbaik yang memberikan dampak lingkungan paling minimum sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan. Pemangku kepentingan dapat menggunakan metode ini, namun diperlukan kedisiplinan dalam pengumpulan data-data secara konsisten. Makalah ini diharapkan dapat memberikan wawasan terkait dengan penggunaan LCA dalam penilaian dampak lingkungan di industri pertambangan batubara. Penelitian lebih lanjut tentang dampak lingkungan menggunakan metode LCA masih sangat terbuka lebar, khususnya terkait dengan faktor emisi dan model karakterisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arvirianti, A. Februari 2019. *Produksi Batubara RI 2019 Digenjot ke 490 Juta Ton*. www.cnbcindonesia.com diakses 9 April 2019.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2018*. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE). Jakarta.
- British Petroleum. 2017. *BP Statistical Review of World Energy 2017 67th Edition*. www.bp.com diakses 9 April 2019.
- 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.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol.2: Energy; Chapter 3: Mobile Combustion*. USA (US): Washington DC.
- Offei, Kwame A. dan Adekpedjou, A. 2011. *Application of Life Cycle Assessment in The Mining Industry*. International Jurnal Cycle Assess, p: 82-29.
- Purwanto, Andie Tri. 2000. *Perangkat Manajemen Lingkungan*. <http://andietri.tripod.com/jurnal/book-1.htm> diakses 19 Oktober 2020
- Putt DPS, Bhatia P. 2002. *Working 9 to 5 on Climate Change : An Office Guide*. Washington DC (US): World Resource Institute.
- World Coal Institute. 2005. *Coal Mining*. <https://www.worldcoal.org/coal/coal-mining> diakses 10 April 2019.