

LIFE CYCLE ASSESSMENT PROSES PENGADAAN BAHAN BAKU BATUBARA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP TIDORE

Life Cycle Assessment of Coal Material Procurement at Tidore Coal-fired Power Plant

MUHAMMAD F. MAHMUD^{1*}, ANDES ISMAYANA² dan MOHAMAD YANI²

¹ Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Baranangsiang, 16129, Indonesia
e-mail: m.faizalmahmud1@gmail.com

² Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, 16680, Indonesia

* Kontributor Utama ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

Penggunaan batubara dalam negeri didominasi oleh sektor pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Kegiatan pendistribusian batubara menuju PLTU merupakan salah satu kegiatan yang memberikan dampak adanya emisi dalam rantai pasokan batubara. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi aliran *input-output* pengadaan bahan baku batubara pembangkit listrik tenaga uap Tidore, menentukan besaran dampak emisi GRK dan asidifikasi proses pengadaan bahan baku batubara, serta menentukan upaya kegiatan untuk meminimalkan dampak emisi tersebut. Metode penelitian yang dilakukan menggunakan *life cycle assessment* yang terdiri dari tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak, dan interpretasi dampak. Penghitungan dampak emisi GRK dan asidifikasi dilakukan berdasarkan unit fungsional jumlah batubara (ton) yang dipasok ke PLTU Tidore Kepulauan. Hasil dari penelitian ini mendapatkan potensi dampak emisi kegiatan pendistribusian dari tambang batubara ke jeti Bunati sebesar 46,40 kg-CO_{2eq}/ton dan 4,52E-01 kg-SO_{2eq}/ton, jeti Bunati ke jeti Tidore sebesar 28944,40 kg-CO_{2eq}/ton dan 462,41 kg-SO_{2eq}/ton, jeti PLTU ke *coal yard* sebesar 1,29 kg-CO_{2eq}/ton dan 1,26E-02 kg-SO_{2eq}/ton. Rekomendasi yang diberikan untuk mereduksi emisi adalah substitusi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dengan cara *cofiring* serta meningkatkan efisiensi pada sistem transportasi laut dan menggantikan transportasi truk pengangkut batubara dengan *overload conveyor*.

Kata kunci: batubara, penilaian daur hidup, rantai pasokan batubara, reduksi emisi.

ABSTRACT

Domestic coal users are dominated by coal-fired power plant (CFPP). Coal distribution activity to Tidore CFPP is one of activities with the impact of emission from the coal supply chain. The purpose of this study is to determine the input and output of procurement of coal raw material process at Tidore CFPP, calculate the impact of greenhouse gas emissions and acidification, and provide recommendations for reducing these impacts. The research method used was life cycle assessment consisted of goal and scope, inventory analysis, impact analysis, and interpretation of impact analysis. The calculation of the impact of greenhouse gas and acidification emissions based on the functional unit tons of coal supplied to the Tidore CFPP. The result of this study found that the impact of emissions from coal mining to Bunati jetty activities were 46,40 kg-CO_{2eq}/ton and 4,52E-01 kg-SO_{2eq}/ton, Bunati jetty to Tidore CFPP were 28944,40 kg-CO_{2eq}/ton and 462,41 kg-SO_{2eq}/ton, and jetty Tidore CFPP to coal yard at 1,29 kg-CO_{2eq}/ton and 1,26E-02 kg-SO_{2eq}/ton. Recommendations for reducing the environmental impact of coal transport by substituting diesel fuel with biodiesel, and developing efficiency in sea-transportation systems, and replacing the truck transport with overload conveyor system.

Keywords: coal, coal supply chain, emission reduction, life cycle assessment.

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu bahan bakar yang terus mengalami peningkatan permintaan pada konsumsi domestik. Berdasarkan data BAPPENAS (2019) konsumsi batubara pada 2015 sampai 2019 mengalami peningkatan sebesar 102 juta ton menjadi 240 juta ton. Pengguna batubara dalam negeri didominasi oleh sektor pembangkit listrik tenaga uap sebesar 19.940 MW atau 56% dari total 35.000 MW pembangkit listrik yang dicanangkan selama 2015-2019. Oleh karena itu pendistribusian batubara kepada pembangkit listrik tenaga uap terus dilakukan.

Kegiatan pendistribusian batubara merupakan salah satu kegiatan yang memengaruhi emisi karbon dan belerang dalam rantai pasokan batubara. Proses pengadaan batubara menuju pembangkit listrik tersebut menggunakan sejumlah mode transportasi berbahan bakar solar sebagai sumber energinya sehingga menimbulkan jejak karbon dan belerang. Cahyaputri, Yani dan Sugiarto (2021) menyebutkan bahwa alat angkut truk merupakan salah satu transportasi yang menyumbangkan potensi emisi CO₂ dan SO₂ terbesar. Pembakaran bahan bakar fosil sepanjang jalur perjalanan yang dilalui kendaraan transportasi merupakan salah satu kegiatan penyumbang emisi (Luo dkk., 2017). Penelitian Hardisty, Clark dan Hynes (2012) terkait penilaian emisi gas rumah kaca pada kegiatan pembangkit listrik menemukan proses transportasi batubara merupakan kegiatan penyumbang emisi terbesar kedua setelah pembakaran batubara pada proses produksi listrik. Wang dan Mu (2014) menjelaskan rantai pasokan pembangkit listrik menyebabkan efek samping ke lingkungan seperti potensi pemanasan global dan hujan asam yang salah satunya disebabkan dari kegiatan transportasi pasokan batubara.

Gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan pada proses pengadaan bahan bakar batubara berupa CO₂, CH₄, dan N₂O. Emisi GRK menyebabkan terjadinya pemanasan global yaitu meningkatnya suhu bumi karena terperangkapnya energi matahari pada atmosfer bumi akibat dari emisi yang dihasilkan. Selain itu proses pendistribusian batubara juga menghasilkan emisi asidifikasi seperti SO₂ dan NO_x yang dapat menyebabkan kondisi

lingkungan menjadi asam sehingga berdampak pada penurunan kualitas tanah maupun air yang dapat merusak ekosistem (Ismayana, Ibrahim dan Yani, 2020).

Salah satu PLTU yang menerima pasokan batubara sejak 2016 adalah PLTU Tidore yang memiliki kapasitas 2 × 7 MW. PLTU Tidore mendapatkan pasokan batubara dari Provinsi Kalimantan Selatan sejak beroperasinya pada 2016. Kebutuhan bahan baku batubara terus mengalami perubahan setiap tahunnya, tercatat tahun 2017 sebesar 81.353 ton meningkat menjadi 99.587 ton tahun 2020. Permintaan kebutuhan batubara tersebut didistribusikan menggunakan sejumlah moda transportasi seperti *dump truck*, *excavator*, dan kapal. Kegiatan tersebut berpotensi menyumbangkan emisi sehingga membutuhkan suatu metode untuk menilai besaran emisi yang dihasilkan. Salah satu metode yang digunakan dalam menilai dampak emisi adalah *life cycle assessment* (LCA).

Metode LCA merupakan kegiatan identifikasi secara sistematis untuk mengevaluasi serta meminimalkan dampak lingkungan dari suatu proses tertentu terhadap siklus hidupnya sebagai upaya dalam memitigasi dampak emisi dari seluruh perspektif kegiatan yang luas (Mbohwa, 2013). Berdasarkan SNI ISO 14040 (2016) LCA merupakan kompilasi *input*, *output* dan dampak lingkungan yang potensial terhadap suatu daur hidup dari produk tertentu (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

LCA terdiri dari 4 lingkup kegiatan yaitu (1) *cradle to grave* yang meliputi ekstraksi bahan baku, proses produksi, distribusi hingga akhir dari siklus hidupnya, (2) *cradle to gate* meliputi proses ekstraksi bahan baku, pendistribusian, proses produksi, hingga pemakaian produk, (3) *gate to grave* meliputi bagian dari proses produksi hingga akhir dari siklus hidupnya, (4) *gate to gate* meliputi bagian unit produksi untuk diketahui dampak lingkungannya (Badan Standardisasi Nasional, 2016). Selain penilaian dampak emisi, metode LCA dapat mengidentifikasi peluang rekomendasi perbaikan terhadap kinerja perusahaan dalam mengambil keputusan terhadap beberapa pilihan indikator yang relevan sebagai upaya penurunan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Metode LCA menggunakan pendekatan relatif dan tersusun secara sistematis

berdasarkan unit fungsi serta batasan sistem yang digunakan sehingga tujuan penelitian dapat dicapai (Badan Standardisasi Nasional, 2016). Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi aliran *input-output*, menentukan besaran dampak emisi GRK dan asidifikasi proses pengadaan bahan baku batubara, serta menentukan rekomendasi kegiatan sebagai upaya untuk meminimalkan dampak emisi GRK dan asidifikasi.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di PT Pembangkit Listrik Tenaga Uap Kota Tidore Kepulauan, Kecamatan Tidore Utara, Kelurahan Rum Balibunga. Waktu penelitian dilaksanakan pada Agustus 2020 hingga November 2020.

Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer didapatkan melalui pengamatan langsung di lapangan dengan cara observasi dan wawancara terkait kebutuhan bahan baku, jenis transportasi, maupun jenis bahan bakar yang digunakan. Data sekunder didapatkan dari referensi hasil penelitian berupa jurnal, prosiding, tesis, dan disertasi yang sudah dipublikasikan.

Metode Analisis Data

Life cycle assessment (LCA) merupakan metode analisis data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan *Framework* SNI ISO 14040: (2016) yang terdiri empat tahapan yaitu:

1. Penentuan tujuan dan ruang lingkup: merupakan tahapan awal dari keseluruhan LCA dalam menentukan suatu rencana kerja. Tahapan ini dilakukan dengan mengidentifikasi kebutuhan bahan baku batubara, kebutuhan energi solar serta jalur pendistribusian batubara. Lingkupnya meliputi pendistribusian bahan baku batubara dari *coal mining* menuju *coal yard* PLTU Tidore. Tahap ini dilakukan melalui tinjauan literatur untuk menentukan tujuan, kategori dampak, batasan sistem serta unit fungsionalnya.

Tujuan yang ditetapkan adalah penilaian terhadap emisi yang dikeluarkan oleh kegiatan pengadaan bahan baku batubara dengan menggunakan unit fungsional terhadap 1 ton batubara dihasilkan berdasarkan data 2020. Emisi yang ditetapkan adalah emisi GRK dan asidifikasi. Adapun lingkup yang ditetapkan yaitu *gate to gate* yang dimulai dari *coal mining* ke jeti Bunati, jeti Bunati ke jeti PLTU Tidore, dan jeti PLTU Tidore ke *coal yard*.

2. Analisis inventori: merupakan tahapan pengumpulan data terhadap masukan-keluaran pada aliran proses yang dilalui. Tahap ini dilakukan melalui tinjauan langsung di lapangan dengan cara observasi maupun wawancara pakar untuk mendapatkan informasi secara detail terhadap kegiatan pengadaan bahan baku batubara. Tinjauan lapangan dibatasi pada lokasi PLTU Tidore, data inventori pada tahapan *coal mining* ke jeti Bunati menggunakan asumsi berdasarkan data sekunder.
3. Analisis dampak: merupakan tahapan penilaian dan evaluasi dampak lingkungan yang potensial berdasarkan hasil analisis data inventori. Proses ini dilakukan dengan menghubungkan data inventori serta kategori dampak yang ditentukan pada tahapan tujuan dan lingkup yang telah ditetapkan sebelumnya. Perhitungan besaran dampak emisi dilakukan berdasarkan pedoman IPCC dan Kementerian Lingkungan Hidup (2012) yang dihitung secara manual.
4. Interpretasi hasil: merupakan dasar pertimbangan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis inventori dan penilaian dampak untuk memberikan rekomendasi penurunan dampak negatif terhadap kegiatan pengadaan bahan baku batubara. Tahap ini dilakukan dengan cara mengevaluasi serta menganalisis dampaknya untuk menentukan alternatif perbaikan pada proses pengadaan bahan baku batubara.

Metode Perhitungan Emisi

Metode perhitungan dan pengolahan data menggunakan pendekatan berdasarkan tingkatan tier. Metode inventarisasi GRK dan asidifikasi berdasarkan tier 1 yaitu perhitungan

emisi menggunakan data aktivitas dan faktor emisi (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Data aktivitas merupakan banyaknya kegiatan yang menghasilkan emisi per satuan waktu, sedangkan faktor emisi (FE) menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitasnya. Faktor emisi pada kategori GRK dan Asidifikasi didasarkan pada pedoman IPCC (2006) dan Kementerian Lingkungan Hidup (2012) beserta literatur lain yang relevan jika tidak tersedia pada kedua referensi tersebut. Berikut metode perhitungan dalam menilai besaran dampak emisi GRK dan asidifikasi (Persamaan 1).

$$\text{Emisi} = D_A \times F_E \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

D_A : Data aktivitas (kg)

F_E : Faktor emisi (kg/TJ)

Emisi GRK yang dihasilkan pada proses pengadaan bahan baku batubara adalah CO_2 , CH_4 , dan N_2O sedangkan emisi asidifikasi terdiri dari SO_x dan NO_x . Faktor emisi berdasarkan *default* IPCC dinyatakan dalam satuan per unit energi yang dikonsumsi. Oleh karenanya, data konsumsi energi dikonversikan terlebih dahulu kedalam satuan energi (TJ) sebagai berikut (Persamaan 2).

$$\text{Konsumsi energi} = D_A \times N_K \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

D_A : Data aktivitas (kg)

N_K : Nilai kalor (TJ/ton)

Setelah mendapatkan nilai energinya, selanjutnya Persamaan 1 dan Persamaan 2 dapat dijabarkan sebagai berikut (Persamaan 3).

$$\text{Emisi} = D_A \times N_K \times F_E \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

D_A : Data aktivitas (kg)

N_K : Nilai kalor (TJ/ton)

F_E : Faktor emisi (kg/TJ)

Faktor emisi (F_E) yang digunakan berdasarkan jenis emisi GRK dan asidifikasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Faktor emisi biosolar pada transportasi darat dan laut diasumsikan sama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Inventori

Inventori *input* dan *output* pada proses pengadaan bahan baku batubara bertujuan untuk mengidentifikasi siklus hidup sepanjang jalur perjalanan rantai pasokan batubara menuju PLTU Tidore.

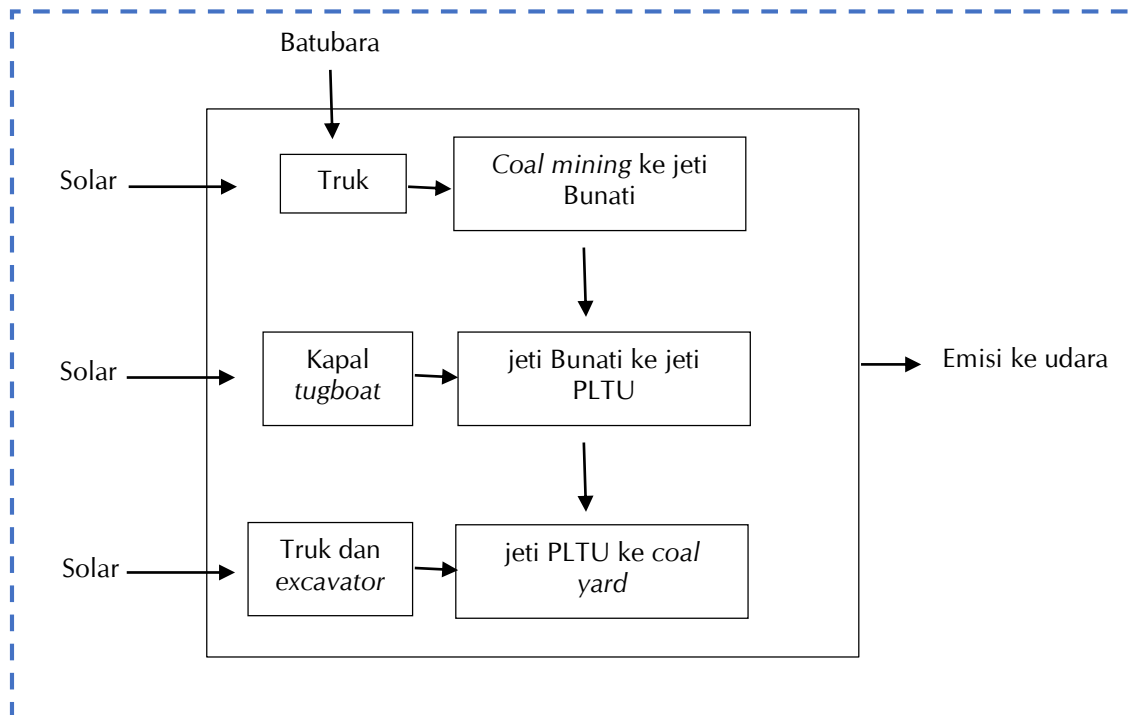
Tabel 1. Faktor emisi bahan bakar solar dan biosolar berdasarkan jenis emisi GRK dan asidifikasi

Bahan bakar solar					
Transportasi darat (truk)	Faktor emisi	Sumber	Transportasi laut (kapal)	Faktor emisi	Sumber
CO_2	74100 kg/TJ	KLH (2012)	CO_2	74100 kg/TJ	KLH (2012)
CH_4	5 kg/TJ	IPCC (1996)	CH_4	5 kg/TJ	IPCC (1996)
N_2O	0,6 kg/TJ	IPCC (1996)	N_2O	0,6 kg/TJ	IPCC (1996)
SO_x	20 g/kg	EIEA (2012)	SO_x	20 kg/ton	EEA (2016)
NO_x	800 kg/TJ	IPCC (1996)	NO_x	1500 kg/TJ	IPCC (1996)
Bahan bakar biosolar					
Transportasi darat (truk)	Faktor emisi	Sumber	Transportasi laut (kapal)	Faktor emisi	Sumber
CO_2	70800 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)	CO_2	70800 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)
CH_4	3 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)	CH_4	3 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)
N_2O	0,6 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)	N_2O	0,6 kg/TJ	Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018)
SO_x	11,31 g/L	Wijono (2017)	SO_x	11,31 g/L	Wijono (2017)
NO_x	9,03 g/L	Wijono (2017)	NO_x	9,03 g/L	Wijono (2017)

Batubara yang digunakan berasal dari pertambangan di Kalimantan Selatan yang dikelola oleh PT Borneo Indobara (Bunati). Batubara dari *run of mine* (ROM) atau tempat penampungan batubara sementara diangkat menggunakan truk dengan asumsi 13 unit truk berkapasitas 4 ton menuju pelabuhan jeti Bunati, jarak lokasi tambang (ROM) dengan pelabuhan jeti Bunati sejauh 23 km. Selanjutnya batubara didistribusikan menggunakan kapal tongkang (BG Robbi 219) berkapasitas 5000 MT/trip dengan menggunakan tarikan kapal *tugboat* (TB Bloro 28) menuju pelabuhan jeti PLTU Tidore. Kapal *tugboat* berfungsi sebagai penarik kapal tongkang sedangkan kapal tongkang berfungsi sebagai penampung batubara yang tidak memiliki *propeller* tersendiri sehingga membutuhkan kapal tunda (*tugboat*) sebagai pendorong atau penariknya. Jarak antara pelabuhan jeti Bunati menuju jeti PLTU Tidore sejauh 1200 nautika mil. Waktu yang dibutuhkan untuk pengangkutan batubara dari Kalimantan menuju pelabuhan jeti PLTU

kurang lebih 20 hari dengan kecepatan rata-rata 3,5 knot.

Batubara dibongkar menggunakan 2 unit *excavator* dari kapal tongkang kemudian diangkat menggunakan 14-16 *dump truck* (Dutro 130 HD) berkapasitas 4 ton dari pelabuhan jeti PLTU menuju *coal yard*. Proses bongkar muat batubara dari jeti PLTU menuju *coal yard* kurang lebih selama 1-3 hari yang disesuaikan dengan kondisi cuaca normal. Setiap tahun terjadi distribusi dan pembongkaran batubara sebanyak 20 sampai 22 tongkang. Pendistribusian batubara disesuaikan dengan kebutuhan permintaan setiap tahunnya. Semakin besarnya permintaan batubara berbanding lurus dengan tingginya emisi yang dihasilkan karena semakin banyak konsumsi bahan bakar solar saat pendistribusian. Bagan alir *scope* pengadaan bahan baku batubara dapat dilihat pada Gambar 1. Data inventori *input* dan *output* proses pengadaan bahan baku batubara dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Bagan alir *scope* pengadaan bahan baku batubara

Tabel 2. Data Inventori *input-output* proses pengadaan bahan baku batubara tahun 2020

Proses pengadaan bahan baku batubara		
Input-Output	Nilai	
	Per tahun	Per 1 ton
<i>Input</i>		
Coal mining ke jeti Bunati		
Solar untuk truk	1.725.000 L	17,32 L
Jeti Kalimantan ke jeti PLTU		
Solar untuk mesin kapal	1.076.142 kL	10,81 kL
Solar untuk genset kapal	28.000 L	2,85E-01 L
Total solar mesin dan genset	1.076.170 kL	10,81 kL
Jeti PLTU ke coal yard		
Solar untuk truk	33.600 L	3,37E-01 L
Solar untuk excavator	14.400 L	1,45E-01 L
<i>Output</i>		
Emisi ke udara		
CO ₂	2875446,32 ton	28,87 ton
CH ₄	194,02 ton	1,95E-03
N ₂ O	23,28 ton	2,34E-04
SO _x	5382,58 ton	5,40E-02
NO _x	58162,74 ton	5,84E-01

Analisis Dampak

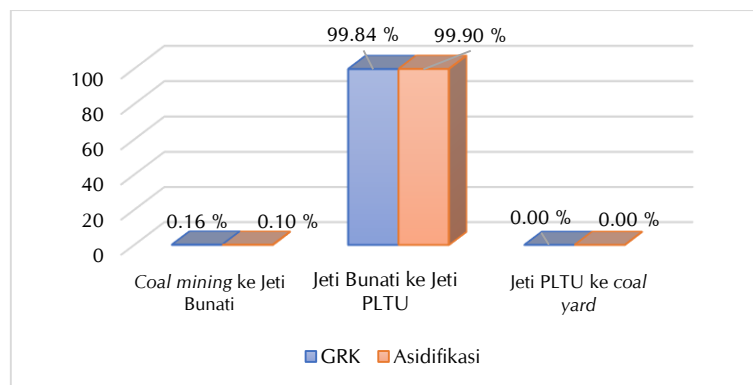
Berdasarkan hasil analisis inventori, tahapan proses pengadaan bahan baku batubara menuju PLTU Tidore terdiri dari 3 kegiatan yang berpotensi memiliki dampak lingkungan yaitu distribusi dari *coal mining* ke jeti Bunati, jeti Bunati ke jeti PLTU, jeti PLTU ke *coal yard*. Setiap tahapan pada masing-masing proses dapat menghasilkan emisi berdasarkan kedua kategori dampak per kegiatannya yaitu:

- kegiatan *coal mining* ke jeti Bunati berfungsi dalam mendistribusikan batubara siap pakai menuju jeti Bunati, menghasilkan emisi karena menggunakan bahan bakar solar dalam proses pendistribusian batubara.
- jeti Bunati ke jeti PLTU berfungsi mendistribusikan batubara menggunakan

kapal *tugboat* dan tongkang, menggunakan bahan bakar solar sehingga menghasilkan emisi.

- jet PLTU ke *coal yard* sebagai transportasi batubara saat pembongkaran menggunakan excavator dan *dump truck* menuju tempat penampungan sementara menghasilkan emisi karena menggunakan bahan bakar solar.

Gambar 2 menunjukkan bahwa tahapan proses kategori dampak emisi GRK dan asidifikasi yang menghasilkan dampak terbesar (*hotspot*) yaitu jeti Bunati ke jeti PLTU sebesar 99,84% GRK dan 99,90% asidifikasi. Besaran nilai *hotspot* pada setiap tahapan proses dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Persentase emisi GRK dan asidifikasi

Tabel 3. Persentase kontribusi emisi GRK dan asidifikasi pada setiap tahapan proses

Tahapan proses pengadaan batubara	Kg-CO _{2eq} /ton	% kontribusi	Kg-SO _{2eq} /ton	% kontribusi
Coal mining (ROM) ke Jeti Bunati	46,40	0,16	4,52E-01	0,10
Jeti Bunati ke jeti PLTU	28944,40	99,84	462,41	99,90
Jeti PLTU ke coal yard	1,29	0,00	1,26E-02	0,00
Total	28992,09	100	462,88	100

Interpretasi Hasil LCA

Interpretasi hasil pada kajian LCA di PT. PLTU Tidore dilakukan sebagai upaya analisis perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan. Berdasarkan Tabel 3 pada proses pengadaan bahan baku batubara terlihat besaran nilai emisi (*hotspot*) terbesar ketika kegiatan distribusi batubara dari jeti Bunati menuju jeti PLTU dengan menggunakan Persamaan 3 sebesar 28944,40 kg-CO_{2eq}/ton dan 462,41 kg-SO_{2eq}/ton. Batubara didistribusikan menggunakan kapal tongkang dan *tugboat*, kapal tongkang digunakan untuk memuat batubara dan kapal *tugboat* sebagai penariknya. Menurut Silalahi, Yudo dan Budiarto (2016) hal tersebut karena kapal tongkang merupakan kapal muatan yang mengapung di atas air sehingga memiliki hambatan yang besar ketika ditarik, maka daya mesin pada kapal *tugboat* sangat memengaruhi daya tarik dari kapal *tugboat* terhadap tongkang. Selain itu, penelitian Astutik (2015) menjelaskan konsumsi solar pada kapal *tugboat* juga dipengaruhi oleh kondisi mesin, beban tarikan kapal, serta kemahiran operator. Semakin besar jumlah bahan bakar solar yang dibutuhkan maka emisi yang dihasilkan juga semakin besar. Barnett (2010) menjelaskan nilai emisi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jarak, ukuran kapal, dan efisiensi kapal. Dengan demikian peningkatan ukuran kapal akan berdampak positif terhadap efisiensi transportasi sehingga emisi yang dihasilkan juga mengalami penurunan.

Kegiatan (subsistem) *coal mining* ke jeti Bunati menyumbang nilai emisi terbesar kedua karena menggunakan *dump truck* sebagai alat transportasi batubara. Berdasarkan penelitian Octova dan Indra (2019) dijelaskan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar solar pada *dump truck* adalah karakteristik jalur angkut material seperti permukaan jalan, jarak tempuh, dan kemiringan jalan. Karakteristik jalur angkut material sangat memengaruhi tingkat produktivitas alat yang digunakan, oleh

karenanya pemakaian konsumsi solar berbanding lurus terhadap karakteristik jalur angkut material. Tingkat kemiringan jalan menyebabkan kecepatan *dump truck* menjadi berkurang sehingga waktu yang dibutuhkan juga semakin lama. Kondisi demikian menyebabkan jumlah pemakaian bahan bakar solar semakin besar, maka emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar solar semakin tinggi. Persentase nilai emisi masing-masing kegiatan disajikan pada Tabel 4.

Berikut adalah tiga skenario rekomendasi perbaikan sebagai upaya untuk mengurangi emisi GRK dan asidifikasi pada kegiatan pengadaan bahan baku batubara

1. *Cofiring* bahan bakar solar dengan biosolar, Biosolar dapat menjadi alternatif terbaik untuk mesin diesel (solar), karena kandungan karbon yang rendah menjadikan biodiesel sebagai alternatif minyak pemanas (Jaishankar dkk., 2013). Penggunaan biodiesel dapat menurunkan potensi dampak lingkungan menjadi lebih rendah. Penggunaan biodiesel 100% memerlukan kesesuaian teknologi lebih lanjut pada alat transportasi yang digunakan. Dengan demikian *cofiring* bahan bakar solar dengan biodiesel 30% menjadi salah satu alternatif yang direkomendasikan. Menurut Gashaw, Gatechew dan Tesitha (2015) campuran rasio biodiesel sebesar 20-30% akan mengurangi emisi CO₂ sebesar 15,66%. Nilai emisi karbondioksida yang direkomendasikan dengan *cofiring* biosolar diasumsikan bersifat netral atau nilai emisinya sama dengan nol sehingga emisi GRK yang diperhitungan adalah CH₄ dan N₂O yang disetarakan ke dalam CO_{2eq}.
2. Meningkatkan efisiensi transportasi laut, batubara didistribusikan menggunakan kapal tongkang (BG Robbi 219) berkapasitas 5000 MT/trip dengan menggunakan tarikan kapal *tugboat* (TB Bloro 28) menuju pelabuhan jeti PLTU Tidore. Pendistribusian batubara

sebanyak 20 kali trip dalam setahun dengan kapasitas 5000 MT/trip. Jarak yang begitu jauh menyebabkan tingginya kebutuhan solar, dengan demikian peningkatan kapasitas kapal tongkang menjadi 10000 MT/trip serta efisiensi mesin kapal dapat mengurangi jumlah pemakaian solar karena perjalanan distribusi batubara menjadi berkurang yaitu sebanyak 10 kali trip/tahun. Menurut Barnett (2010) peningkatan ukuran kapal akan berdampak positif terhadap efisiensi transportasi sehingga emisi yang dihasilkan juga mengalami penurunan. Nilai emisi peningkatan efisiensi transportasi laut diasumsikan menggunakan kapasitas kapal 10000 MT/trip.

3. Modernisasi *dump truck* dengan *overload conveyor* (OLC), pembongkaran batubara dari jeti PLTU menuju *coal yard* menggunakan alar berat excavator dan *dump*

truck dapat dimordenisasikan menggunakan OLC. Nilai emisi yang dihasilkan menggunakan OLC relatif lebih rendah karena menggunakan listrik dibanding penggunaan solar pada excavator dan *dump truck*. Damanik, Karlinasari dan Hanafi (2021) menyatakan jumlah konsumsi energi pada pengangkutan menggunakan truk 4 - 12 lebih besar daripada pengangkutan menggunakan OLC, emisi CO₂ dari transportasi truk tiga sampai sepuluh kali lebih besar dari transportasi OLC. Dengan demikian penggunaan OLC dapat menurunkan rasio pemakaian energi serta emisi yang dihasilkan relatif menurun. Berikut persentase penurunan emisi dengan asumsi emisi OLC 5 kali lebih kecil dari *dump truck*. Tabel 5 menunjukkan penurunan emisi berdasarkan masing-masing skenario perbaikan.

Tabel 4. Persentase nilai emisi GRK dan asidifikasi proses pengadaan bahan baku batubara

Kegiatan (Subsistem)	Jenis emisi	Kategori emisi	Nilai emisi			
			ton/tahun	Total ton/tahun	kg/ton	Total kg/ton
Coal mining (ROM) ke jeti Bunati	GRK (CO _{2eq})	CO ₂	4601,61	4620,47 ton-CO _{2eq} /tahun	46,21	46,40 kg-CO _{2eq} /ton
		CH ₄	7,76		7,79E-02	
		N ₂ O	11,10		1,11E-01	
	asidifikasi (SO _{2eq})	SO _x	10,19	44,97 ton-SO _{2eq} /tahun	1,02E-01	4,52E-01 kg-SO _{2eq} /ton
		NO _x	34,77		3,49E-01	
jeti Bunati ke jeti PLTU Tidore	GRK (CO _{2eq})	CO ₂	2870716,66	2882486,21 ton-CO _{2eq} /tahun	28826,21	28944,40 kg-CO _{2eq} /ton
		CH ₄	4842,63		48,62	
		N ₂ O	6926,91		69,55	
	asidifikasi (SO _{2eq})	SO _x	5372,10	46050,27 ton-SO _{2eq} /tahun	53,94	462,41 kg-SO _{2eq} /ton
		NO _x	40678,17		408,47	
jeti PLTU ke Coal yard	GRK (CO _{2eq})	CO ₂	128,04	128,56 ton-CO _{2eq} /tahun	1,29	1,29 kg-CO _{2eq} /ton
		CH ₄	0,21		2,17E-03	
		N ₂ O	0,30		3,10E-03	
	asidifikasi (SO _{2eq})	SO _x	0,28	1,25 ton-SO _{2eq} /tahun	2,85E-03	1,26E-02 kg-SO _{2eq} /ton
		NO _x	0,96		9,72E-03	

Tabel 5. Rekomendasi perbaikan penurunan emisi berdasarkan unit fungsi 1 ton batubara

Kegiatan	Skenario perbaikan	Data	GRK (kg-CO _{2eq} /ton)	asidifikasi (kg-SO _{2eq} /ton)
Proses pengadaan bahan baku batubara	Cofiring bahan bakar solar dengan biosolar	100% solar	28992,09	462,87
		30% biosolar	20310,93	324,01
		100% biosolar	54,94	7,63E-08
	Meningkatkan efisiensi transportasi laut	Interpretasi	28944,40	462,41
		Realisasi	20261,07	323,69
		Perubahan dampak	8683,33	138,72
	Modernisasi <i>dump truck</i> dengan OLC	Interpretasi	1,29	1,26E-02
		Realisasi	0,25	2,51E-03
		Perubahan dampak	1,03	1,01E-02

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Input dan *output* pada kegiatan pengadaan bahan baku batubara pada PT. PLTU Tidore yang menimbulkan dampak emisi terhadap lingkungan adalah bahan bakar solar. Besaran nilai emisi pada pengadaan bahan baku batubara adalah 28944,40 kg-CO_{2eq}/ton dan asidifikasi sebesar 462,41 kg-SO_{2eq}/ton. Rekomendasi yang diberikan untuk mereduksi emisi adalah substitusi bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dengan cara *cofiring* serta meningkatkan efisiensi pada sistem transportasi laut dan pengembangan teknologi transportasi darat pada alat pengangkut batubara.

Saran

Untuk mengetahui efisiensi biaya dalam pelaksanaan rekomendasi penurunan emisi perlu dilakukan analisis biaya atau *life cycle cost* sepanjang tahapan proses yang dilakukan sehingga dapat mengetahui efisiensi nilai ekonomisnya dari rekomendasi yang diberikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PLTU Tidore dan PT. Rusianto Bersaudara atas dukungan dan kesediaannya dalam memberikan data penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astutik, D. Y. (2015) *Analisa performa tug boat dengan 27 ton bollard pull menggunakan caterpillar wosr 2 x 1000 HP sebagai main engine*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Standardisasi Nasional (2016) *Manajemen lingkungan "Penilaian daur hidup" prinsip dan kerangka kerja (ISO 14040:2006, IDT)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BAPPENAS (2019) *Kajian ketercapaian target DMO batubara sebesar 60% produksi nasional pada tahun 2019*. Jakarta: BAPPENAS.
- Barnett, P. J. (2010) *Life cycle assessment (LCA) of liquefied natural gas (LNG) and its environmental impact as a low carbon energy source*. University of Southern Queensland.
- Cahyaputri, B., Yani, M. dan Sugiarto (2021) "Implementasi penilaian daur hidup produk susu sapi segar (Studi kasus koperasi peternak MJM)," *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), hal. 78–87. doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.78.
- Damanik, M. Q. A., Karlinasari, L. dan Hanafi, J. (2021) *Life cycle assesment (LCA) cradle to gate produksi batu bara di PT XYZ Kalimantan Selatan*. Institut Pertanian Bogor.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (2018) *Pedoman perhitungan dan pelaporan inventarisasi gas rumah kaca bidang energi - sub bidang ketenagalistrikan*. Jakarta.
- EEA (2016) *Air pollutant emission inventory guidebook*. Luxembourg: EEA.
- EIEA (2012) *Guidelines for developing emission inventory in East Asia*. Japan: Emission Inventory in East Asia.
- Gashaw, A., Gatechew, T. dan Tesitha, A. (2015) "A Review on biodiesel production as alternative fuel," *Journal of Forest Products & Industries*, 4(2), hal. 80–85.
- Hardisty, P. E., Clark, T. S. dan Hynes, R. G. (2012) "Life cycle greenhouse gas emissions from electricity generation: A comparative analysis of Australian Energy Sources," *Energies*, 5(4), hal. 872–897. doi: 10.3390/en5040872.
- IPCC (1996) *Guidelines for national greenhouse gas inventories energy*. Geneva: IPCC.
- IPCC (2006) *Guidelines for national greenhouse gas inventories energy*. Kanagawa: IPCC.
- Ismayana, A., Ibrahim, O. A. dan Yani, M. (2020) "Life cycle assessment of wafer biscuit production," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472(1), hal. 012065. doi: 10.1088/1755-1315/472/1/012065.
- Jaishankar, Monisha, Ahmadi, H., Sushma, R., Murthy, T. P. K., Mathew, Blessy B. dan Ananda, S. (2013) "Biodiesel: A review," *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(6), hal. 902–912.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2012) "Metodologi penghitungan tingkat emisi GRK 'Pengadaan dan penggunaan energi,'" in *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Buku II Volume 1)*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Luo, G., Zhang, J., Rao, Y., Zhu, X. dan Guo, Y. (2017) "Coal supply chains: A whole-process-

- based measurement of carbon emissions in a mining city of China," *Energies*, 10(11), hal. 1855. doi: 10.3390/en10111855.
- Mbohwa, C. (2013) "Life cycle assessment of a coal-fired old thermal power plant," in *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 (Vol 1)*. London, UK: World Congress on Engineering, hal. 532–541.
- Octova, A. dan Indra, R. T. (2019) "Analisis konsumsi bahan bakar dump truck Nissan UD CWM 330 pada penambangan batubara di PT. Nan Riang," *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 19(2), hal. 103–114. doi: 10.24036/invotek.v19i2.550.
- Silalahi, U. M., Yudo, H. dan Budiarto, U. (2016) "Analisa pengaruh variasi sarat tongkang terhadap ekonomis pemasukan (income) pengangkutan muatan dan operasional tug boat," *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), hal. 132–140.
- Wang, C. dan Mu, D. (2014) "An LCA study of an electricity coal supply chain," *Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(1), hal. 311–335. doi: 10.3926/jiem.1053.
- Wijono, A. (2017) "Dampak pengurangan emisi kendaraan pada pemakaian campuran biodiesel 20%," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017*. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, hal. TK-021.