

Analisis Dampak Lingkungan Pengolahan Limbah Fly ash dan Bottom ash dengan Metode Siklus Daur Hidup (Life Cycle Assessment/LCA) di Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Intan Dwi Wahyu Setyo Rini¹, Madah Maria², Eka Masrifatus Anifah³, Andika Ade Indra Saputra⁴, Adrian Gunawan⁵, Ahmad Ibnu Arobi⁶

Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan,
Institut Teknologi Kalimantan^{1,2,3}

Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Kalimantan⁴

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Industri dan Proses,
Institut Teknologi Kalimantan⁵

PT PLN (Persero) Unit Teluk Balikpapan⁶
intan@lecturer.itk.ac.id¹

Article Info

Article history:

Submitted November 2022

Revised December 2022

Accepted December 2022

Published December 2022

Keyword:

Bottom Ash

Composting

Fly Ash

Life Cycle Assessment

Paving Block

PLTU Teluk Balikpapan

ABSTRACT

PLTU Teluk Balikpapan with a 2 x 110 MW capacity generated fly ash and bottom ash as its waste. The waste was treated by backfilling on open land or called a landfill. The landfill was not effective because it required a large area to accommodate the waste. This research aimed to analyze waste treatment's environmental impact and identify the best scenario from three fly ash and bottom ash treatment options. The first scenario was the existing treatment that used landfill, the second was utilization into paving blocks, and the third was utilization into compost. The method in this research used Life Cycle Assessment (LCA) method. The LCA stages referred to ISO 14040 of 2006 which consists of objectives and scope, inventory analysis, impact analysis, and interpretation. The results of the analysis of the contribution of impacts on the environment with Scenario 1 obtained three impacts with the highest value, namely natural land transformation with a value of 15.8 then climate change with a value of 9.5, and particulate matter formation with a value of 6.8. Furthermore, the calculation shows that the best scenario for fly ash and bottom ash waste treatment was scenario 3: processing into compost.

Kata Kunci:

Bottom Ash

Fly Ash

Life Cycle Assessment

Paving Block

Pengomposan

PLTU Teluk Balikpapan

ABSTRAK

PLTU Teluk Balikpapan dengan kapasitas mencapai 2 x 110 MW menghasilkan limbah fly ash dan bottom ash. Limbah tersebut diolah dengan cara ditimbun pada lahan terbuka. Penimbunan tersebut kurang efektif karena membutuhkan banyak lahan untuk menampung limbah yang dihasilkan. Maka diusulkan tiga skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash yaitu skenario 1 penimbunan di landfill, skenario 2 pemanfaatan menjadi paving block dan skenario 3 pemanfaatan menjadi kompos. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari pengolahan limbah fly ash dan bottom ash eksisting dan untuk mengetahui skenario terbaik pengolahan limbah fly ash dan

bottom ash dengan metode Life Cycle Assessment (LCA). Tahapan LCA mengacu pada ISO 14040 tahun 2006 yang terdiri dari tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak, dan interpretasi. Hasil analisis kontribusi dampak terhadap lingkungan dengan skenario 1 diperoleh tiga dampak dengan nilai tertinggi yakni natural land transformation dengan nilai 15,8 lalu climate change dengan nilai 9,5 dan particulate matter formation dengan nilai 6,8. Selanjutnya, hasil perhitungan menunjukkan bahwa skenario terbaik pengolahan limbah fly ash dan bottom ash adalah skenario 3 yaitu pengolahan menjadi kompos.

1. PENDAHULUAN

PLTU Teluk Balikpapan merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar berupa batubara. PLTU yang berada di wilayah Kalimantan Timur ini dikelola oleh PT. PLN (persero) Sektor Pembangkit Balikpapan. PLTU ini dibangun dengan kapasitas mencapai 2 x 110 MW. Adapun batubara yang digunakan mencapai 140 ton/jam atau 3.360 ton/hari (Rini, dkk, 2018). Selain memproduksi listrik, batubara tersebut memproduksi limbah. Salah satu jenis limbah yang dihasilkan adalah fly ash dan bottom ash. Fly ash merupakan limbah pembakaran batubara yang keluar dari tungku pembakaran, sedangkan bottom ash adalah limbah yang mengendap pada dasar tungku (Yahya & Kurniawandy, 2017). Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) 22 Tahun 2021 pada Lampiran XIV dijelaskan bahwa abu batubara (fly ash dan bottom ash) masuk dalam kategori Limbah Non B3. Limbah fly ash dan bottom ash yang dihasilkan dari proses pembakaran berjumlah 150 ton dan 18 ton per hari (Saputra, Gunawan, & Setyorini, 2018). Sisa pembakaran tersebut di timbun pada lahan terbuka (landfill), penimbunan tersebut dapat berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan (Setiawaty, 2018). Ukuran partikelnya yang kecil dan mudah terbawa angin berpotensi menimbulkan pencemaran udara, selain itu kandungan oksida logam berat yang ada pada limbah abu batubara akan mengalami pelindian secara alami sehingga dapat mencemari tanah (Munir, 2008). Oleh sebab itu, berdasarkan PP 22 Tahun 2021 industri PLTU Teluk Balikpapan wajib mengolah limbah non B3 yang dihasilkannya (KLHK, 2021).

Pengolahan limbah fly ash dan bottom ash sebagai Limbah Non B3 sebagaimana diatur dalam PP 22 Tahun 2021 Pasal 459 ayat (3) huruf e yakni pemanfaatan sebagai substitusi bahan baku dan huruf c pemanfaatan sebagai bahan baku. Pemanfaatan tersebut dapat dilakukan dengan membuat paving block (pasal 451 ayat (1) huruf a) dan pengomposan (pasal 463 ayat (1) huruf f). Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa paving block memiliki keuntungan lingkungan yang dapat membantu meminimalkan limbah (Hossain, Poon, Lo, & Cheng, 2015), serta bernilai ekonomis. Tak hanya itu pengomposan juga dianggap sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan daripada penimbunan dan pembakaran (USEPA, 2009). Pengomposan memungkinkan limbah dinilai, dikurangi ukuran dan volumenya dan mendapatkan hasil akhir yang berharga (kompos) yang dapat digunakan sebagai pupuk. Namun proses pengomposan menghasilkan dampak lingkungan seperti emisi ke atmosfer (Edwards & Williams, 2011). Maka, terhadap pengolahan limbah tersebut perlu dilakukan penilaian terhadap dampak lingkungan. Salah satu cara yang tepat untuk menganalisis dampak lingkungan tersebut menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) (Hong, et al., 2016). Sebagaimana didefinisikan dalam ISO 14040 pada tahun 2006, LCA adalah metode untuk menilai input, output dan potensi dampak lingkungan pada siklus hidup sistem produk (International Standards Organization, 2006). LCA dapat digunakan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan positif atau negatif dari suatu proses atau produk, menganalisis berbagai proses berdasarkan dampak lingkungan yang dihasilkan dan dapat mengukur dampak lingkungan dari suatu produk (Williams, 2009).

Penelitian ini akan menganalisis dan membandingkan dampak lingkungan dari 3 skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash diantaranya skenario 1 merupakan skenario kondisi eksisting yakni penimbunan limbah fly ash dan bottom ash di landfill, lalu skenario rencana yakni skenario 2 yang berupa pemanfaatan menjadi bahan material yaitu paving block dan skenario 3 berupa pemanfaatan pengomposan. Proses perhitungan dan estimasi dampak lingkungan dari setiap

skenario nantinya akan menggunakan software SimaPro. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak lingkungan dari pengolahan limbah fly ash dan bottom ash eksisting serta skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash di PLTU Teluk Balikpapan dengan analisis LCA. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini akan dijadikan dasar penentuan skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash terbaik berupa dampak lingkungan yang paling kecil, sehingga dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk menentukan kebijakan yang tepat dalam mengelola limbah fly ash dan bottom ash di PLTU Teluk Balikpapan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengetahui limbah *fly ash* dan *bottom ash* serta metode analisis lingkungan menggunakan Life Cycle Assessment (LCA).

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data kondisi eksisting pengolahan limbah fly ash dan bottom ash, jumlah timbulan limbah fly ash dan bottom ash, jenis kendaraan pengangkut, jumlah bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan pengangkut, serta jarak dari silo hingga ke landfill. Data lainnya adalah data yang digunakan untuk melengkapi data base pada software yang digunakan yang berasal dari data penelitian lain terkait.

2.3. Analisis Life Cycle Assessment (LCA)

Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran dampak ketiga skenario pengolahan limbah *fly ash* dan *bottom ash* terhadap lingkungan dalam satu siklus hidup produk. Berikut tahapan yang dilakukan untuk melakukan pengukuran dampak lingkungan dengan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) berdasarkan ISO 14040 :

1. *Goal and Scope.*

Tahapan ini merupakan tahapan menentukan tujuan dan batasan penelitian. Tujuan kajian ini adalah menilai dampak lingkungan dari pengolahan limbah *fly ash* dan *bottom ash eksisting* serta menganalisis dampak skenario yang direncanakan yang nantinya akan dijadikan rekomendasi untuk sistem pengolahan *fly ash* dan *bottom ash* terbaik yang memiliki dampak lingkungan paling kecil yang dapat diterapkan oleh PLTU Teluk Balikpapan. Ruang lingkup penelitian mencakup batasan-batasan yang digunakan pada saat penelitian. Ruang lingkup yang dilakukan pada penilaian dampak lingkungan ini merupakan *cradle to gate* karena penelitian terbatas mulai dari *raw material* hingga menjadi barang jadi.

2. *Life Cycle Inventory.*

Pada tahapan ini dilakukan penguraian terhadap material, sumber daya yang digunakan, dan emisi yang dibuang ke lingkungan selama masa daur hidup produk. Setelah itu dilakukan perhitungan dampak lingkungan selama masa daur hidupnya dengan menggunakan *software* SimaPro 9.3.1.

3. *Life Cycle Impact Assessment.*

Tahapan ini dilakukan untuk menilai dampak yang ditimbulkan material serta proses dari keseluruhan skenario pengolahan limbah *fly ash* dan *bottom ash* terhadap lingkungan. Adapun metode yang digunakan pada *software* SimaPro ini yakni menggunakan metode *ReCiPe*. Metode *ReCiPe* adalah metode dengan pendekatan masalah dan pendekatan berorientasikan kerusakan.

4. *Life Cycle Interpretation.*

Interpretasi bertujuan untuk menyimpulkan analisis dampak lingkungan yang dinilai pada tahap sebelumnya. Interpretasi dilakukan berdasarkan hasil analisis penilaian dampak mulai dari limbah *fly ash* dan *bottom ash* dihasilkan hingga dilakukan penimbunan di *landfill* dan

menghasilkan produk paving block dan kompos. Analisis ini menilai kategori dampak apa saja yang berpotensi besar pada lingkungan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Timbulan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash

PLTU Teluk Balikpapan menghasilkan limbah abu batubara berupa fly ash dan bottom ash. Total limbah fly ash dan bottom ash yang dihasilkan pada tahun 2021 sebesar 35.581 ton/tahun dengan jumlah fly ash sebesar 28.662 ton/tahun sedangkan jumlah bottom ash sebesar 6.919 ton/tahun. Dalam hal ini, PLTU Teluk Balikpapan menghasilkan fly ash sebanyak 81% dan bottom ash sebanyak 19%.

3.2. Skenario Pengolahan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash

3.2.1. Skenario 1

Skenario 1 adalah skenario yang didasarkan pada pengolahan eksisting yang dilakukan di PLTU Teluk Balikpapan. Pengolahan tersebut dilakukan dengan mengangkut limbah fly ash dan bottom ash yang telah dihasilkan dari proses pembakaran batubara, kemudian limbah tersebut diangkat dari silo (tempat penampungan sementara limbah fly ash dan bottom ash menuju landfill selanjutnya limbah ditimbun di lahan terbuka (landfill) (PLTU Teluk Balikpapan, 2022).

Tabel 1 Data pada Skenario 1

Nama Proses	Data	Jumlah Material
Pengangkutan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>	28.662 ton/tahun
	<i>Bottom Ash</i>	6.919 ton/tahun
	Jarak dari Silo ke <i>Landfill</i>	10.140 km.ton
Penimbunan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>	28.662 ton/tahun
	<i>Bottom Ash</i>	6.919 ton/tahun
	Kebutuhan Lahan	6,7 ha

3.2.2. Skenario 2

Skenario 2 adalah skenario yang memanfaatkan limbah fly ash dan bottom ash menjadi paving block. Penggunaan fly ash dan bottom ash untuk menggantikan sebagian semen dalam paving block berdampak positif bagi atmosfer bumi, yakni berkurangnya emisi yang dihasilkan selama proses pembuatan semen. Seperti yang telah diketahui, industri semen menghasilkan gas CO₂ dalam jumlah yang cukup besar, serta mengemisikan SO₂ dan NO_x yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca dan hujan asam (Anand et al., 2006). Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, limbah batubara PLTU Teluk Balikpapan, mengandung Silika (SiO₂) sebesar 45,31%. Silika adalah senyawa pozzolant yang berperan sebagai pengikat dalam komponen beton. Dengan kandungan silika yang mendominasi maka, limbah hasil pembakaran batubara dapat diaplikasikan sebagai material pengganti pada paving block (Saputra et al., 2018).

Tabel 2 Data pada Skenario 2

Nama Proses	Data	Jumlah Material
Pengangkutan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>	28.662 ton/tahun
	<i>Bottom Ash</i>	6.919 ton/tahun
	Jarak dari Silo ke <i>Landfill</i>	10.140 km.ton
Pembuatan Paving Block	Semen	1.684 ton/tahun
	Pasir	1.684 ton/tahun
	<i>Fly Ash</i>	5.161 ton/tahun
	<i>Bottom Ash</i>	2.246 ton/tahun
	Air	3.341 ton/tahun
	Daya listrik Mesin	5.850.000 watt/tahun

3.2.3. Skenario 3

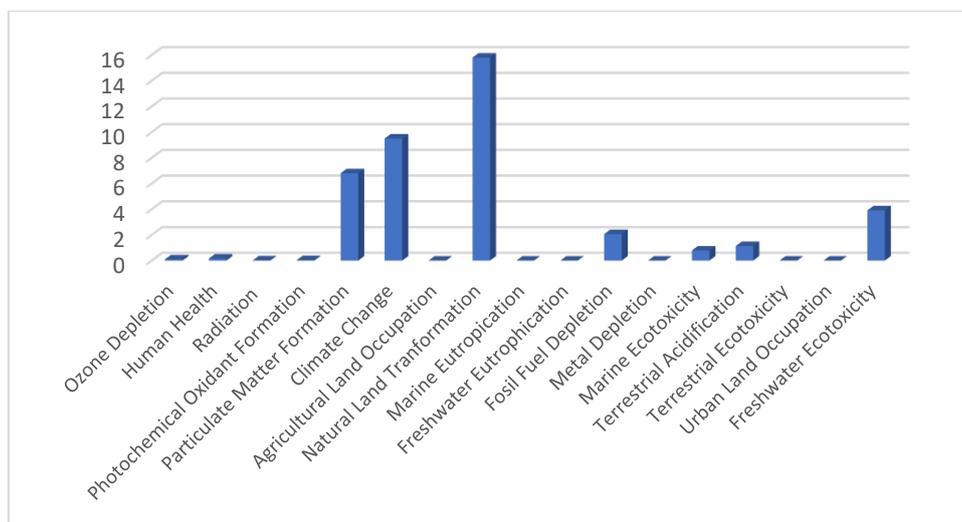
Skenario 3 adalah skenario yang memanfaatkan limbah fly ash dan bottom ash menjadi kompos. Pengomposan memungkinkan limbah fly ash dan bottom ash dinilai, dikurangi ukuran dan volumenya dan menghasilkan produk akhir yang berupa pupuk kompos. Tak hanya itu pengomposan juga dianggap sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan daripada penimbunan dan pembakaran (USEPA, 2009).

Tabel 3 Data pada Skenario 3

Nama Proses	Data	Jumlah Material
Pengangkutan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>	<i>Fly Ash</i>	28.662 ton/tahun
	<i>Bottom Ash</i>	6.919 ton/tahun
	Jarak dari Silo ke <i>Landfill</i>	10.140 km.ton
Pembuatan Kompos	Abu batubara	35,57 ton/tahun
	Pupuk organik	35,57 ton/tahun
	Daya Listrik Mesin Pengaduk Kompos	93.600 watt/tahun

3.3. Analisis Life Cycle Assessment (LCA)

Dengan menggunakan metode ReCiPe, maka diperoleh hasil analisis dampak yang dihasilkan oleh skenario 1 yaitu pengolahan limbah fly ash dan bottom ash dengan cara penimbunan di landfill.



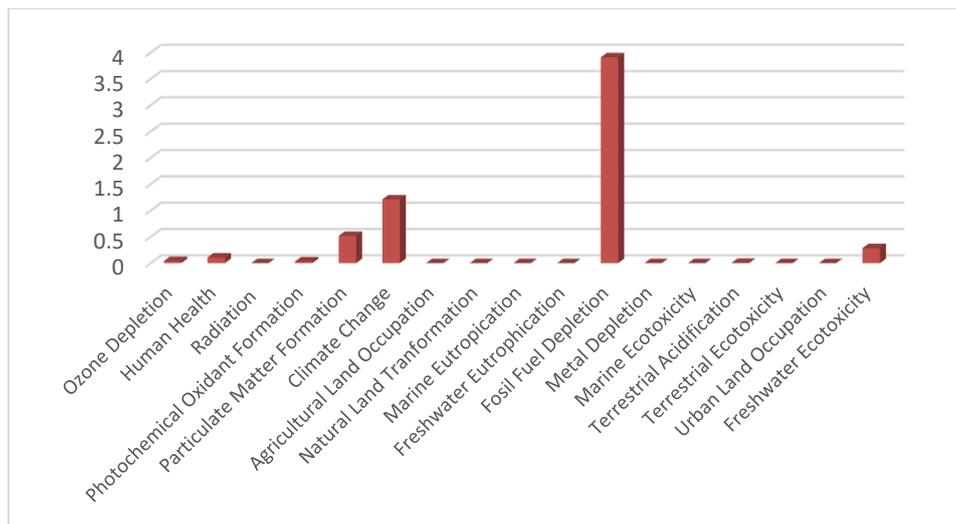
Gambar 1: Grafik Analisis Dampak Skenario 1

Sumber: Analisis Penelitian (2022)

Berdasarkan Gambar 1 diatas, terlihat bahwa tiga dampak dengan nilai tertinggi yakni natural land transformation dengan nilai 15,8 lalu climate change dengan nilai 9,5 dan particulate matter formation dengan nilai 6,8.

Berikut ini penjelasan tiga dampak terbesar yang dihasilkan oleh skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash eksisting. Natural land transformation adalah dampak yang disebabkan adanya jumlah lahan alami yang diubah dan dapat dijadikan tempat tinggal pada waktu tertentu. Natural land transformation adalah dampak yang disebabkan adanya jumlah lahan alami yang diubah dan dapat dijadikan tempat tinggal pada waktu tertentu. Adapun penyebab tingginya dampak natural land transformation pada skenario 1 yakni karena adanya penggunaan lahan alami untuk dijadikan tempat penimbunan limbah fly ash dan bottom ash. Berdasarkan hasil wawancara kepada pihak PLTU, lahan yang digunakan sudah mencapai 6,7 hektar. Jika dilakukan penimbunan secara terus-menerus, hal ini tentunya akan membutuhkan area penimbunan yang relatif luas dan mempersempit lahan. Bahkan, bisa menyebabkan penurunan daya guna potensi lahan yang seharusnya bisa

digunakan untuk membangun aset lainnya. Climate change adalah dampak yang disebabkan karena adanya perubahan iklim akibat pemanasan global. Adapun penyebab tingginya dampak climate change pada skenario 1 yakni limbah fly ash dan bottom ash jika langsung dibuang ke lingkungan (ditimbun di lahan terbuka) maka lambat akan terbentuk gas rumah kaca berupa gas karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (N₂O). Ketiga gas tersebut merupakan gas penyebab terjadinya pemanasan global (Snip, 2010). Particulate Matter Formation adalah dampak lingkungan yang disebabkan oleh adanya pembentukan partikel (PM_{2.5} dan PM₁₀). Adapun penyebab tingginya dampak particulate matter formation pada skenario 1 dimana abu batubara memiliki ukuran partikel yang sangat kecil yakni fly ash berukuran < 0,074 mm sedangkan bottom ash berukuran 0,5-2 mm. Abu batubara ini akan terdistribusi oleh angin jika ditimbun dan dibiarkan di lahan terbuka dalam waktu yang lama, sehingga akan menghasilkan polutan partikulat yang dapat menyebabkan polusi udara (Faruk & Altarans, 2020). Jika dibiarkan terus-menerus partikulat yang terbentuk akan berdampak pada kinerja karyawan setempat. Dimana adanya pengurangan kenyamanan kerja, gangguan penglihatan dan gangguan pernafasan.



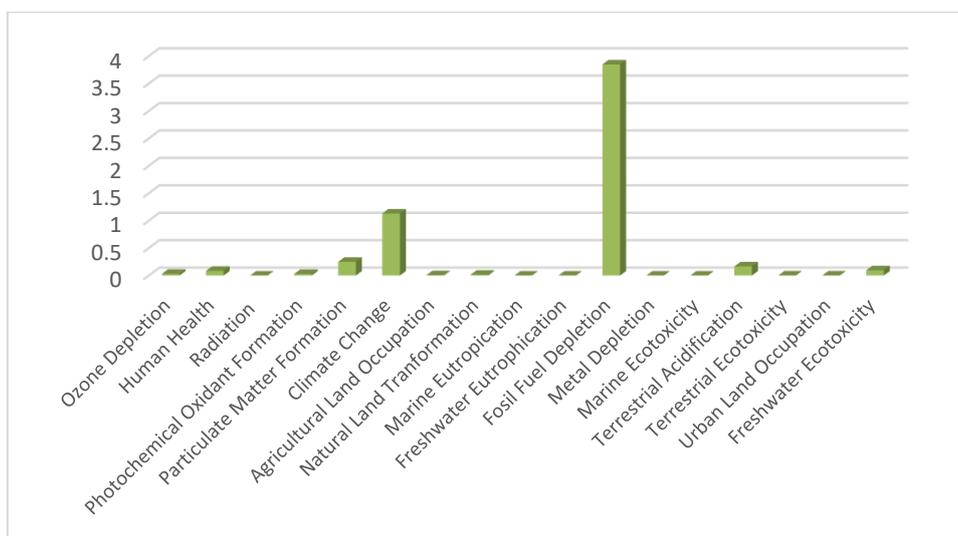
Gambar 2: Grafik Analisis Dampak Skenario 2

Sumber: Analisis Penelitian (2022)

Berdasarkan Gambar 2 diatas, terlihat bahwa tiga dampak dengan nilai tertinggi yakni fossil fuel depletion dengan nilai 3,91 lalu climate change dengan nilai 1,21 dan particulate matter formation dengan nilai 0,516.

Berikut ini penjelasan tiga dampak terbesar yang dihasilkan oleh skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash menjadi paving block. Fossil fuel depletion adalah dampak yang disebabkan oleh penipisan bahan bakar fosil. Adapun penyebab tingginya dampak fossil fuel depletion pada skenario 2 yakni adanya konsumsi daya listrik pada penggunaan mesin produksi paving block. Dalam setahun, mesin tersebut mengkonsumsi listrik sebanyak 5.580.000 watt. Dimana, energi listrik tersebut bersumber dari fosil yakni batubara (Tumingan, Tjaronge, Sampebulu, & Djamaluddin, 2016). Selain itu, tingginya dampak tersebut juga dipengaruhi adanya konsumsi bahan bakar solar pada penggunaan kendaraan pengangkut limbah FABA. Dimana, kendaraan tersebut memakai bahan bakar solar sebanyak 2.304 liter/tahun. Bahan bakar kendaraan tersebut juga berasal dari minyak bumi (fosil) (Setyono & Kiono, 2021). Climate change adalah dampak yang disebabkan karena adanya perubahan iklim akibat pemanasan global. Adapun penyebab tingginya dampak climate change pada skenario 2 yakni adanya penggunaan bahan baku semen pada proses pembuatan paving block. Dimana, semen tersebut menghasilkan emisi CO₂. Gas tersebut merupakan salah satu pembentuk gas rumah kaca di atmosfer yang dapat menyebabkan terjadinya efek rumah kaca pada bumi. Bila meninjau lebih spesifik pada produksi semen, dimana semen dihasilkan dari campuran bahan-bahan alam yang dipanaskan dengan suhu tinggi dan bereaksi membentuk kristal klinker yang kemudian dihaluskan dan menjadi bubuk semen. Proses kalsinasi ini yang menjadi salah satu industri penyumbang emisi karbon dioksida (Sapulete et al., 2018).

Namun, dikarenakan penggunaan semen hanya 15% saja, maka potensi dampak climate change yang dihasilkan tidaklah besar. Particulate Matter Formation adalah dampak lingkungan yang disebabkan oleh adanya pembentukan partikel. Adapun penyebab tingginya dampak particulate matter formation pada skenario 2 yakni pada proses pengolahan limbah fly ash dan bottom ash menjadi paving block dapat menghasilkan polutan. Polutan ini dihasilkan pada tahapan pencampuran bahan untuk membuat paving block (semen, pasir, fly ash dan bottom ash). Walaupun polutan yang dihasilkan sedikit, namun polutan tersebut dapat berpotensi mencemari udara di sekitar ruangan produksi terkhusus bagi para pekerja di area produksi tersebut.



Gambar 3: Grafik Analisis Dampak Skenario 3

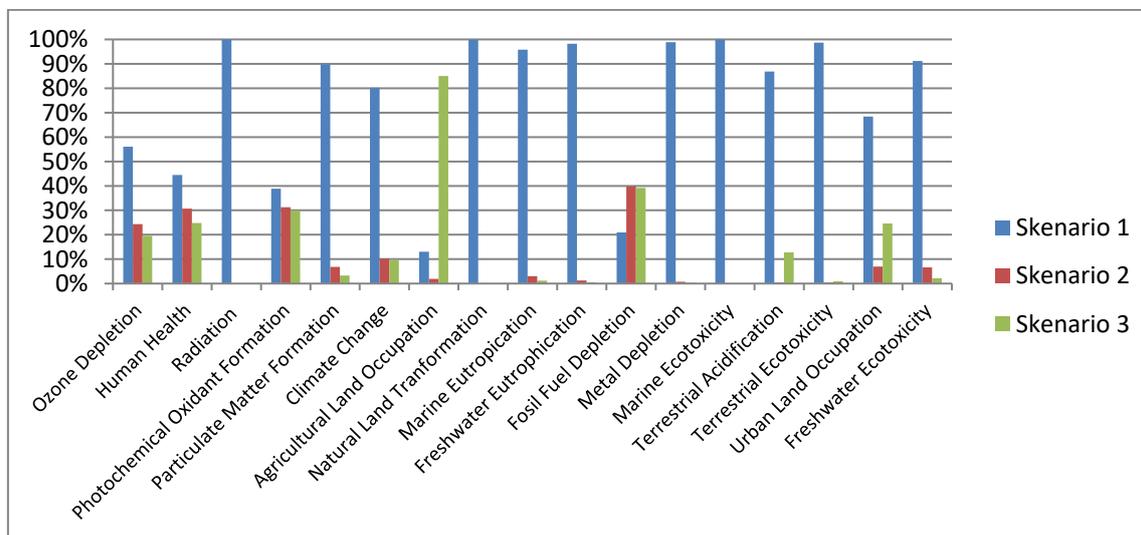
Sumber: Analisis Penelitian (2022)

Berdasarkan gambar 3 diatas, terlihat bahwa tiga dampak dengan nilai tertinggi yakni fossil fuel depletion dengan nilai 3,85 lalu climate change dengan nilai 1,13 dan particulate matter formation dengan nilai 0,0299.

Berikut ini penjelasan tiga dampak terbesar yang dihasilkan oleh skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash menjadi kompos. Fossil fuel depletion adalah dampak yang disebabkan oleh penipisan bahan bakar fosil. Adapun penyebab tingginya dampak fossil fuel depletion pada skenario 3 karena adanya konsumsi daya listrik pada penggunaan mesin produksi paving block. Dalam setahun mesin tersebut mengkonsumsi listrik sebanyak 93.600 watt. Dimana, energi listrik tersebut bersumber dari fosil yakni batubara (Tumangan, Tjaronge, Sampebulu, & Djamaluddin, 2016). Namun, konsumsi listrik tersebut. Adanya konsumsi bahan bakar solar pada penggunaan kendaraan pengangkut limbah fly ash dan bottom ash. Dimana, kendaraan tersebut memakai bahan bakar solar sebanyak 2.304 liter/tahun. Bahan bakar kendaraan tersebut juga berasal dari minyak bumi (fosil) (Setyono & Kiono, 2021). Climate change adalah dampak yang disebabkan karena adanya perubahan iklim akibat pemanasan global. Berikut uraian penyebab tingginya dampak climate change pada skenario 3 yakni pengomposan limbah abu batubara menghasilkan gas CO₂ melalui dekomposisi aerobik. Walaupun gas CO₂ tersebut tergolong gas rumah kaca (GRK), namun potensi gas rumah kaca yang dihasilkan kecil yakni 21 kali lebih rendah bila dibandingkan dengan gas CH₄ (Puger, 2018). Walaupun pengomposan ini masih menghasilkan gas penyebab GRK, jumlah gas yang dihasilkan juga kecil, terlihat dari nilai dampak potensial yang dihasilkan. Particulate Matter Formation adalah dampak lingkungan yang disebabkan oleh adanya pembentukan partikel. Adapun penyebab tingginya dampak particulate matter formation pada skenario 3 yakni pada proses pengolahan limbah fly ash dan bottom ash menjadi kompos dapat menghasilkan PM_{2.5} dalam bentuk debu (Azizah, 2019). Polutan ini dihasilkan pada tahapan pencampuran bahan (abu batu bara dan pupuk organik) yang prosesnya dilakukan di dalam ruangan produksi. Debu ini termasuk polutan yang dapat mencemari udara di dalam ruangan produksi. Pencemaran udara di dalam ruangan lebih

berbahaya bagi penghuninya dari pada pencemaran udara di luar ruangan karena memiliki kadar yang lebih besar dan 1000 kali lebih dapat mencapai paru (Hidayat, Yunus, & dan Susanto, 2012).

Berikut hasil perbandingan hasil penilaian dampak dari ketiga skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash.



Gambar 4: Grafik Perbandingan Kontribusi Dampak Potensial Skenario Pengolahan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash di PLTU Teluk Balikpapan

Sumber: Analisis Penelitian (2022)

Gambar 4 menunjukkan kontribusi dampak potensial untuk setiap skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash. Jika dilihat dari total potensi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh tiap skenario pengolahan limbah fly ash dan bottom ash, skenario 1 (eksisting) merupakan skenario yang memiliki potensi dampak paling besar diantara skenario lainnya, dengan proporsi untuk setiap potensi dampak lebih dari 90%, sedangkan untuk skenario 2 dan 3, potensi dampak yang ditimbulkan sangat kecil, atau kurang dari 40%.

Dari hasil potensi pencemaran yang dihasilkan dari analisis LCA dengan software SimaPro, nilai dampak lingkungan terbesar dihasilkan pada skenario 1 (penimbunan limbah fly ash dan bottom ash di lahan terbuka) dengan nilai bobot sebesar 40,29. Hal ini wajar terjadi dikarenakan pada skenario ini tidak terdapat pengelolaan lanjutan atau upaya pemanfaatan limbah fly ash dan bottom ash seperti upaya pembuatan paving block maupun pengomposan. Hasil analisis dampak secara keseluruhan menunjukkan bahwa alternatif terbaik pengolahan limbah fly ash dan bottom ash di PLTU Teluk Balikpapan dengan dampak yang paling kecil adalah pengolahan menggunakan skenario 3 dengan sistem pengomposan. Skenario tersebut memiliki nilai bobot sebesar 5,62. Hal ini merepresentasikan bahwa alternatif pengolahan limbah fly ash dan bottom ash pada skenario 3 adalah alternatif pengolahan terbaik dengan dampak lingkungan yang paling kecil.

Dengan pengomposan, dapat mengurangi jumlah limbah fly ash dan bottom ash yang ditimbun serta dapat mengurangi pengaruh perubahan iklim yang jauh lebih rendah dari pengolahan lainnya. Selain itu, pengomposan juga dapat menghasilkan produk yang bernilai ekonomis sehingga dapat menjadi pemasukan bagi perusahaan. Pengomposan dengan menggunakan limbah fly ash dan bottom ash yang dikombinasikan dengan pupuk organik juga memiliki kualitas produk yang sangat baik. Hal ini didasarkan pada pengujian yang dilakukan pada tanaman, dimana penambahan kompos limbah fly ash dan bottom ash pada tanah berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Semakin besar penambahan dosis kompos limbah fly ash dan bottom ash pada tanah, maka pertumbuhan tanaman semakin meningkat (Noviardi, 2013). Hal tersebut dikarenakan, limbah fly ash dan bottom ash memiliki pH alkalin, unsur hara baik makro maupun mikro, dan ukuran yang halus. Hal ini menyebabkan limbah batubara dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pH, menambah kandungan unsur hara, meningkatkan struktur dan kapasitas kelembaban tanah (Tripathy, P, A, Chakrabarti, &

Powell M. A., 2006), dengan demikian pengomposan menggunakan limbah fly ash dan bottom ash baik untuk pertumbuhan tanaman.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dampak lingkungan pada pengolahan limbah fly ash dan bottom ash di PLTU Teluk Balikpapan adalah tiga dampak lingkungan dengan nilai tertinggi dari pengolahan limbah fly ash dan bottom ash eksisting dengan analisis Life Cycle Assessment (LCA) yakni, natural land transformation dengan nilai 15,8 lalu climate change dengan nilai 9,5 dan particulate matter formation dengan nilai 6,8. Selanjutnya, hasil perhitungan menunjukkan bahwa skenario terbaik pengolahan limbah fly ash dan bottom ash dengan analisis Life Cycle Assessment (LCA) adalah skenario 3 yaitu pengolahan menjadi kompos.

TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan pembangkit listrik tenaga uap yaitu PT PLN UPDK Balikpapan atas kesediaannya untuk menjadi mitra dalam kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Azizah, I. T. (2019). Analisis Kadar Deby PM 2.5 dan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Pupuk Organik di Nganjuk . Jurnal Kesehatan Lingkungan, 11(2), 141-149.
- [2] Djohor, D. S., & Pramudito, H. (2017, Januari). Karakteristik Batubara Formasi Warukan dalam Pembentukan CBM di Wilayah Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan. Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lemlit, 2(1), 14-26.
- [3] Edwards, D., & Williams, D. C. (2011). Method for estimating greenhouse gas emission reductions from compost from commercial organic waste.
- [4] Faruk, F., & Altarans, I. (2020, September). Dampak PLTU Tidore Terhadap Lingkungan Udara, Kesejahteraan dan Kesehatan Masyarakat di Kelurahan Rum Balibunga Kecamatan Tidore Utara. Jurnal Teknik, 13(2), 38-49.
- [5] Hidayat, S., Yunus, F., & dan Susanto, A. (2012). Pengaruh Polusi Udara dalam Ruang terhadap Paru. Jurnal Continuing Medical Education, 13(1).
- [6] Hong, J., Han, X., Chen, Y., Wang, M., Ye, L., Qi, C., et al. (2016, November 13). Life cycle environmental assessment of industrial hazardous waste incineration and landfilling in China. Int J Life Cycle Assess.
- [7] Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., & Cheng, J. C. (2015). Evaluation of environmental friendliness of concrete paving eco-blocks using LCA approach. Int J Life Cycle Assess.
- [8] Huang, T., & Chuieh, P. (2015). Life Cycle Assessment of Reusing Fly Ash from Municipal Solid Waste Incineration. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, 118, 984-991.
- [9] International Standards Organization. (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040. ISO Press
- [10] KLHK. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 mengenai Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia
- [11] Munir, M. (2008). Pemanfaatan Abu Batubara (fly ash) Untuk Hollow block Yang Bermutu dan Aman bagi Lingkungan. Semarang: Universitas Diponegoro
- [12] Noviardi, R. (2013, Juni). Limbah Batubara Sebagai Pembenh Tanah dan Sumber Nutrisi : Studi Kasus Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus Annus*). Riset Geologi dan Pertambangan, 23(1), 61-72
- [13] Puger, I. G. (2018, Desember). Sampah Organik, Kompos, Pemanasan Global, dan Penanaman *Aglaonema* di Pekarangan. Agricultural Journal, 1(2), 127-136
- [14] Rini, I. D., Saputra, A. A., Gunawan, A., Sholikah, U., & Fansuri, H. (2018, November 10). Utilization of Hazardous Waste Fly Ash Coal from Kariangau Thermal Power Plant as Substitution of Portland Cement on Concrete. Proceeding of 2 nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME).

-
- [15] Saputra, A. A., Gunawan, A., & Setyorini, I. D. (2018). Kajian Pemanfaatan Limbah B3 Fly ash & Bottom ash PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Balikpapan. Balikpapan: Institut Teknologi Kalimantan
- [16] Setiawaty, M. (2018). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [17] Setyono, A. E., & Kiono, B. F. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 –2050. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, 2(3), 154-162
- [18] Tripathy, P. B., A. C., Chakrabarti, & Powell M. A. (2006). Copper and Zinc Uptake by Rice and Accumulation in Soil Amended with Municipal Solid Waste Compost. Environmental Geology, 49(7), 1064-1070
- [19] Tumingan, Tjaronge, M. W., Sampebulu, V., & Djamaluddin, R. (2016, Januari). Penyerapan dan Porositas pada Beton Menggunakan Bahan Pond Ash sebagai Pengganti Pasir. Politeknologi, 15(1)
- [20] USEPA. (2009). Municipal Solid Waste (MSW) in the United States : Facts and Figures.
- [21] Williams, A. S. (2009). Life Cycle Analysis : A Step by Step Approach
- [22] Yahya, T. T., & Kurniawandy, A. (2017). Pengaruh Kombinasi Fly ash dan Bottom ash Sebagai Bahan Subtitui Pada Campuran Beton terhadap Sifat Mekanik. 4(1).