

Analisis Daur Hidup Produksi Beton Fly Ash sebagai Upaya Mengurangi Dampak Emisi CO₂

Ahزاب Muttaqien¹, Dwi Nowo Martono^{2*}, dan Ninin Gusdini³

¹ Departemen Ilmu Lingkungan, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia

² Departemen Ilmu Lingkungan, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia

³ Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Sahid

e-mail: dwi.nowo11@ui.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan batubara untuk produksi energi listrik menimbulkan berbagai dampak lingkungan seperti deforestasi hutan untuk pembukaan lahan tambang batubara dan pencemaran udara dari limbah fly ash. Jumlah timbulan limbah fly ash harus dikendalikan. Limbah fly ash dapat menjadi barang yang bernilai ekonomis yaitu sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Penggunaan fly ash yang berperan dalam menggantikan sebagian portland semen pada beton dapat mengurangi dampak emisi CO₂ karena pembuatan semen portland yang dapat menghasilkan emisi CO₂ sebesar 6-8% dari total emisi CO₂ antropogenik. Beton cair yang menggunakan fly ash dalam campurannya dapat menghasilkan produksi beton yang lebih berkelanjutan. Dampak lingkungan dari penggunaan fly ash pada produksi beton cair dapat dianalisis dengan penilaian siklus hidup. Kajian pada artikel ini membandingkan dua skenario simulasi yaitu simulasi pada beton menggunakan 0% fly ash dan 25% fly ash. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak emisi CO₂ pada produksi beton fly ash. Penelitian ini berkontribusi untuk membuktikan penelitian-penelitian sebelumnya bahwa penggunaan fly ash dapat meminimalisir emisi CO₂ dan mendukung peningkatan pemanfaatan limbah fly ash khususnya di bidang konstruksi. Unit Fungsional pada penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan yang menyumbang emisi gas CO₂ dalam proses produksi 1 m³ beton. System boundary pada penelitian ini adalah cradle-to-gate yang meliputi proses incoming material dan proses produksi beton, yang digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari daur hidup produksinya. Pengolahan data untuk evaluasi dampak lingkungan pada penelitian ini menggunakan software SimaPro 9.3.0.3 dengan database ecoinvent 3.0. Studi menunjukkan bahwa berbagai beton menggunakan 25% fly ash memiliki dampak emisi GWP lebih kecil pada lingkungan, yaitu 298 KgCO₂, lebih kecil dibandingkan beton non fly ash yang menghasilkan emisi GWP 347 KgCO₂.

Kata kunci: Fly Ash, Beton, Life Cycle Assessment, Emisi CO₂, Dampak Lingkungan

ABSTRACT

The use of coal for electrical energy production causes various environmental impacts as deforestation for clearing coal mining areas and air pollution from fly ash. The amount of fly ash waste must be controlled. Fly ash waste can be an economic value item, namely as supplementary cementitious material in the concrete mixture. The use of fly ash which plays a role in replacing some of portland cement in the concrete can reduce impact of CO₂ emissions because portland cement manufacturing can produce CO₂ emissions of 6-8% of the total anthropogenic CO₂ emissions. Ready mix concrete that uses fly ash in the mixture can result in the more sustainable production of concrete. The impact of the environment on the fly ash can be assessed by life cycle assessment. The study in this article compares two scenario simulations, namely the simulation on concrete using 0% fly ash and 25% fly ash. This study aims to assess the impact of CO₂ emissions on the production of fly ash concrete. This study contributes to prove previous studies and support the increase in the use of fly ash waste, especially in the construction sector. The functional unit in this study is to analyze the environmental impact that contributes to CO₂ emissions in the production process of 1 m³ of concrete. The system boundary in this study is cradle-to-gate, which includes the incoming material process, and fly ash concrete production process, which is used to determine the environmental impact of the production life cycle. Data processing for environmental impact evaluation in this study uses SimaPro 9.3.0.3 software with ecoinvent 3.0 as the database. The study showed that a variety of concrete using 25% fly ash has a minor impact on the environment, which is 298 KgCO₂, smaller than non fly ash concrete which produces 347 KgCO₂.

Keywords: Fly Ash, Concrete, Life Cycle Assessment, CO₂ emissions, environmental impact

Citation: Muttaqien, A., Martono, D. N., dan Gusdini, N. (2023). Analisis Daur Hidup Penggunaan Fly Ash pada Produksi Beton Cair (Studi Kasus: PT X Batching Plant Lenteng Agung, Jakarta Selatan). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 68-75, doi:10.14710/jil.21.1.68-75

1. Pendahuluan

Fly ash adalah limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara dalam menghasilkan energi listrik. Fly ash mengandung unsur-unsur kimia antara lain alumina (Al_2O_3), Kalsium Oksida (CaO), Silika (SiO_2), dan oksida besi (Fe_2O_3), juga mengandung unsur tambahan lainnya seperti magnesium oksida (MgO), basa (Na_2O dan K_2O), fosfor oksida (P_2O_5), titanium oksida (TiO_2), sulfur trioksida (SO_3), dan karbon. Sekitar 0,9 miliar ton fly ash dihasilkan setiap tahunnya (Scrivener *et al.*, 2018).

Indonesia masih mengandalkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebagai penyuplai utama energi listrik. Pada tahun 2019, batubara yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia mencapai 97 juta ton (Ekaputri & Bari, 2020). Dengan jumlah limbah fly ash yang cukup besar, diperlukan pengelolaan yang tepat agar tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara dan penurunan kualitas ekosistem. Fly ash mengandung oksida logam berat yang akan mengalami dispersi secara alami dan mencemari lingkungan. Di Indonesia, Sebagai bahan yang diproduksi dalam jumlah besar dari kegiatan pembangkit listrik tenaga batubara, fly ash dikategorikan sebagai salah satu limbah yang tidak berbahaya sesuai dengan PP No.22 Tahun 2021 tentang Penerapan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Salah satu alternatif penanganan limbah fly ash adalah sebagai campuran bahan bangunan.

Beton merupakan komponen pembangunan utama yang saat ini umum digunakan dalam industri konstruksi. Dengan komposisi utama pada campuran beton cair adalah semen, produksi beton cair menghasilkan emisi CO_2 yang cukup tinggi, yaitu 6-8% dari total emisi CO_2 antropogenik (Wang *et al.*, 2017; Mindess, 2019; Sivakrishna *et al.*, 2020). Proses produksi beton cair terdiri atas beberapa tahapan, mulai dari proses pendatanganan material, proses pencampuran material beton cair, proses penuangan beton cair ke Truck Mixer,

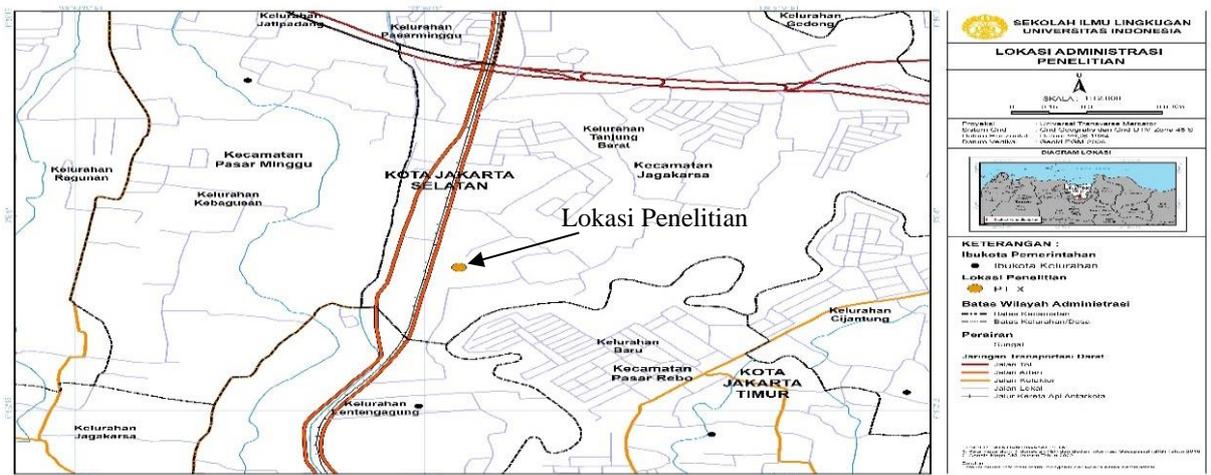
proses pengiriman beton cair ke proyek konstruksi, dan proses penuangan beton di proyek konstruksi. Pada setiap tahapan produksi beton cair tersebut menimbulkan dampak lingkungan cukup signifikan. Hal ini memberi tekanan pada produksi beton untuk dapat meminimalisir dampak lingkungan. Beberapa strategi yang dapat diimplementasikan untuk menghasilkan produk beton yang lebih berkelanjutan, antara lain penggantian semen dengan bahan pozzolan semen, penggunaan beton mutu tinggi pada struktur bangunan yang menopang beban yang tinggi, dan optimalisasi agregat dalam campuran beton. Strategi yang akan dikaji pada penelitian ini adalah bahan pozzolan, yaitu fly ash, sebagai pengganti sebagian semen.

Penggunaan fly ash pada beton dapat menjadi solusi mengurangi jumlah timbulan fly ash. Dengan demikian, pemanfaatan limbah seperti fly ash sangat berpengaruh terhadap lingkungan (Bajpai *et al.*, 2020). Wang *et al.*, (2017) menunjukkan bahwa jika penggantian semen dengan fly ash pada beton yang diproduksi di China mengurangi emisi 560 juta ton CO_2 . Lei *et al.*, (2011), menunjukkan bahwa nilai penurunan emisi CO_2 pada penggantian material semen lebih besar jika dibandingkan dengan peningkatan efisiensi termal dan penggunaan bahan bakar alternatif.

Fly ash dapat dijadikan sebagai campuran beton karena kriteria kehalusan fly ash yang mendekati kehalusan semen, komposisi kimianya, dan sifat pozzolannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak emisi CO_2 pada produksi beton fly ash. Penelitian ini berkontribusi untuk membuktikan penelitian-penelitian sebelumnya bahwa penggunaan fly ash dapat meminimalisir emisi CO_2 dan mendukung peningkatan pemanfaatan limbah fly ash khususnya di bidang konstruksi.

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Batching Plant Lenteng Agung PT X, Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Batching Plant tersebut memproduksi beton fly ash.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan sekunder. Data yang termasuk data primer antara lain data lokasi quarry agregat beton, data lokasi pabrik semen, data lokasi PLTU penghasil limbah fly ash, data pemakaian listrik. Untuk data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain: data desain campuran beton, proses penggunaan Truck Mixer, dan data proses produksi beton cair.

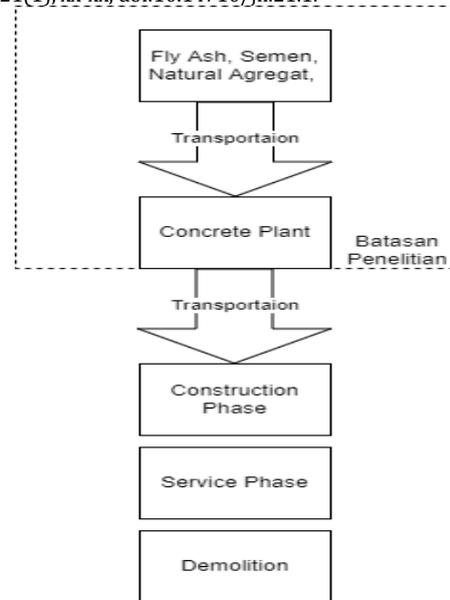
Pemilihan metode LCA pada penelitian ini karena metode ini sangat tepat sebagai alat untuk menganalisis dampak lingkungan berdasarkan standar ISO 14040 serta ISO 14044:2016 sebagai kompilasi dan evaluasi masukan, keluaran, dan dampak lingkungan potensial dari sistem produk di seluruh daur hidupnya.

2.1. Tujuan dan Lingkup

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan dampak lingkungan proses produksi beton dari kedua skenario yang telah ditetapkan. Analisis perbandingan dilakukan pada dua skenario, skenario beton dengan campuran 0% fly ash dan 25% fly ash. Pemilihan skenario fly ash 25% diambil sesuai kadar maksimum fly ash pada campuran beton yang diperdagangkan di PT X. Kadar fly ash pada beton turut mempengaruhi dampak lingkungan yang dihasilkan. Pada penelitian Panesar et al., (2019) desain campuran beton dengan 50% FA menghasilkan dampak lebih rendah pada ekotoksitas, toksisitas manusia, dan konsumsi bahan bakar fosil dibandingkan dengan beton 25% FA dan 35% FA. Ammenberg et al., (2014), menemukan bahwa peningkatan jumlah penggantian semen dengan bahan tambahan semen, seperti fly ash, adalah salah satu opsi terkuat dalam mengurangi dampak emisi CO₂ pada produksi semen. Hal ini dikarenakan fly ash pada campuran semen Portland membutuhkan proses pengolahan yang lebih pendek sehingga dapat diterapkan pengurangan emisi CO₂ yang lebih besar (García-Segura et al., 2013). Campuran beton dengan kandungan klinker yang lebih rendah menghasilkan dampak lingkungan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran beton konvensional karena emisi CO₂ yang lebih sedikit dan penggunaan energi yang minimum (Galvez-Martos & Schoenberger, 2014)

Gambar 2 menunjukkan ruang lingkup daur hidup beton. Daur hidup beton dengan ruang lingkup *cradle-to-grave* dimulai dari ekstraksi bahan baku, transportasi bahan baku, proses produksi, transportasi beton, penggunaan beton pada proyek konstruksi, perawatan beton, hingga pembongkaran.

Batasan sistem yang digunakan pada penelitian ini yaitu *cradle-to-gate* yang meliputi proses ekstraksi bahan baku, transportasi bahan baku, dan proses produksi beton, yang digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk.



Gambar 2 Ruang Lingkup Daur Hidup Beton (Kurda et al., 2018)

Proses transportasi bahan baku turut dianalisis dalam batasan penelitian karena transportasi fly ash dari PLTU ke Batching Plant menghasilkan dampak emisi dari konsumsi bahan bakar fosilnya (Panesar et al., 2019).

2.2. Inventori Daur Hidup

Inventori daur hidup mengidentifikasi input dan output dari sebuah produk/ proses sepanjang daur hidupnya. Unit fungsional pada penelitian ini proses produksi 1 m³ beton. Data inventori yang diidentifikasi adalah data primer dan sekunder yang didapatkan dari Batching Plant Lenteng Agung PT X. Data yang digunakan antara lain pemakaian listrik (PLN), air, material campuran beton, dan transportasi.

2.2. Kajian Dampak Lingkungan

Analisis dampak lingkungan berdasarkan daur hidup proses produksi beton fly ash dan non fly ash menggunakan software Simapro 9.3.0.3 dengan metode analisis IPCC 2021 GWP 100a.

Dampak lingkungan yang dianalisis adalah GWP-fossil, GWP-biogenic, dan GWP-from land transformation. GWP-fossil adalah emisi karbon yang berasal dari bahan bakar fosil, sedangkan GWP-biogenic adalah karbon yang berasal dari sumber biogenic seperti pohon dan tanaman. GWP-from land transformation adalah karbon yang berasal dari dampak langsung perubahan lahan atas aktivitas industri yang terjadi (Soldal & Modahl, 2016).

Kajian Dampak lingkungan pada penelitian ini menganalisis perbandingan dampak lingkungan pada dua skenario produksi beton. Skenario 1 adalah analisis dampak lingkungan pada beton non fly ash dan skenario 2 adalah analisis dampak lingkungan pada beton fly ash dengan kadar 25%. Kedua skenario produk beton ini adalah produk-produk yang biasa diperdagangkan oleh PT X.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Inventori Daur Hidup

Inventori daur hidup dilakukan dengan mengumpulkan data-data terkait masukan material (input) dan keluaran material (output) serta emisi yang dihasilkan oleh proses yang telah ditentukan sebagai batasan sistem. Proses dalam Batasan sistem penelitian ini yaitu incoming material dan proses produksi, dimana dari kedua sistem tersebut terdapat sub-sub proses yang selanjutnya didetailkan pada analisis inventornya, seperti yang ditunjukkan pada tabel 1. Sebagai contoh pada proses incoming material, terdapat sub proses transportasi fly ash dari PLTU Suralaya ke Batching Plant Lenteng Agung, membutuhkan input Truk sebagai pengangkut fly ash sejauh 134 Km, dan input Flyash sebanyak 1 ton. Lokasi penyuplai material campuran beton tersebar di berbagai wilayah dan menjadi aspek yang diperhitungkan dalam penelitian ini. Lokasi pabrik semen berada di daerah Citeurep, Bogor, Jawa Barat yang berjarak 30 Km dari BP Lenteng Agung. PLTU yang menyuplai berada di daerah Suralaya, Banten yang berjarak 134 Km dari BP Lenteng Agung, quarry agregat kasar berlokasi di Rumpin yang berjarak 54 Km, dan quarry agregat halus yang berlokasi di Belitung yang berjarak 437 Km dari BP Lenteng Agung.

Penelitian ini tidak memperhitungkan penggunaan admixture karena penggunaan admixture pada PT X bervariasi sesuai dengan jarak pada setiap proyek konstruksi PT X. Untuk mutu beton yang disimulasikan pada kedua scenario adalah mutu beton K-300 karena berdasarkan mutu rata-rata yang diperdagangkan di PT X.

3.2. Analisis Dampak Lingkungan Daur Hidup

Life Cycle Impact Assessment adalah tahapan penentuan dampak lingkungan dari perbandingan scenario yang telah disimulasikan.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan tingkat emisi GWP beton fly ash dan non fly ash dengan menggunakan metode analisis IPCC 2021 GWP 100a. Dari hasil analisis dampak lingkungan daur hidup beton, beton NFA GWP100 – fossil menghasilkan emisi GWP 347 KgCO₂ sedangkan beton FA menghasilkan 298 KgCO₂. Sementara untuk GWP-biogenic beton NFA menghasilkan emisi GWP 0,414 KgCO₂, sedangkan beton FA menghasilkan emisi GWP 0,337 KgCO₂. Untuk GWP-from land transformation beton NFA menghasilkan emisi 0,225 KgCO₂, sedangkan beton FA menghasilkan emisi GWP 0,185 KgCO₂. Gambar 4 dan 5 menunjukkan diagram hasil LCA dari setiap tahapan proses dan kontribusi tiap material dan penggunaan energi pada masing-masing scenario. Tabel 2 menunjukkan hasil kajian daur hidup perbandingan produksi beton non fly ash dan beton fly ash. Dapat terlihat bahwa kandungan material semen pada beton FA dan NFA menimbulkan dampak GWP-fossil tertinggi yaitu 272,772 KgCO₂

(78,54% dari total emisi) pada beton NFA, dan 223,413 KgCO₂ (74,99% dari total emisi) pada beton FA. Dari perbandingan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan fly ash sebagai *Supplementary Cement Material* terbukti dapat menurunkan jumlah emisi GWP hingga mencapai 18,31 %, dimana hal ini sesuai dengan penelitian Panesar et al., (2019) dan Kurda et al., (2018) yang membuktikan bahwa penambahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen pada beton menurunkan emisi GWP.

Diagram hasil LCA pada beton non fly ash dan beton fly ash dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5. Berdasarkan kandungan material penyusun beton, agregat halus yang berlokasi di pulau Belitung berkontribusi besar menghasilkan emisi GWP-fossil, yaitu 37 KgCO₂ (10,76 %) pada beton NFA, dan 37 KgCO₂ (12,68 %) pada beton FA. Selain itu, beton FA masih menggunakan 100% agregat kasar yang diambil dari alam. Penggunaan agregat kasar berkontribusi menghasilkan emisi GWP-fossil sebesar 32 KgCO₂ (10,80% terhadap total emisi) pada beton FA dan 34 KgCO₂ (9,88% terhadap total emisi) pada beton NFA. Untuk menghasilkan produk beton FA yang lebih berkelanjutan, dapat ditambahkan agregat kasar daur ulang pada komposisi campuran material penyusun beton FA.

Jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, beton FA pada penelitian ini masih menghasilkan dampak emisi GWP cukup tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

No	Penyusun	System Boundary	Skenario Beton	emisi GWP
1	Marinkovic et. al., (2010)	Cradle-to-gate	Beton Agregat Kasar Daur Ulang	343 KgCO ₂
2	Tosic et. al., (2015)	Cradle-to-gate	Beton Agregat Kasar Daur Ulang	348 KgCO ₂
3	Kurda et. al., (2018)	Cradle-to-gate	Beton FA 30%	266 KgCO ₂
4	Kurda et. al., (2018)	Cradle-to-gate	Beton FA 60%	173 KgCO ₂
5	Bajpai et. al., (2020)	Cradle-to-Grave	Beton normal	597 KgCO ₂
6	Bajpai et. al., (2020)	Cradle-to-Grave	Beton geopolymer	462 KgCO ₂
7	Penelitian saat ini	Cradle-to-gate	Beton normal	347 KgCO ₂
8	Penelitian saat ini	Cradle-to-gate	Beton FA 25%	298 KgCO ₂

3.3. Interpretasi

Dari Analisis perbandingan kajian daur hidup beton FA dan NFA menunjukkan bahwa beton FA lebih sedikit menghasilkan dampak emisi GWP. Berdasarkan komposisi material penyusun, semen menjadi material yang paling berkontribusi dalam menghasilkan emisi GWP. Penambahan fly ash terbukti mengurangi dampak emisi GWP cukup signifikan, sehingga untuk menghasilkan produk beton yang lebih berkelanjutan, perlu adanya peningkatan jumlah kadar fly ash. Selanjutnya, untuk mengurangi dampak emisi GWP pada agregat kasar juga dapat dilakukan dengan menambahkan sejumlah agregat kasar daur ulang yang diperoleh dari proses pemisahan agregat kasar dari limbah beton. Sehingga, dari kedua skenario yang diuji, dapat direkomendasikan skenario perbaikan untuk

menghasilkan beton fly ash yang lebih berkelanjutan.

Langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk produksi beton fly ash yang lebih berkelanjutan adalah:

- a. Menambahkan kadar fly ash sebagai pengganti Sebagian semen hingga 40%.
- b. Mengganti sebagai Sebagian agregat kasar dengan agregat kasar daur ulang dengan kadar 20% terhadap total agregat kasar.

Dari kedua langkah rekomendasi perbaikan tersebut dilakukan simulasi LCA sebagai skenario perbaikan. Gambar 6 menunjukkan diagram hasil LCA beton fly ash 40% dengan agregat kasar daur ulang 20%. Dari simulasi tersebut menunjukkan penurunan dampak lingkungan yang cukup signifikan. Beton fly ash 40% dengan agregat kasar daur ulang 20% menghasilkan emisi GWP-fossil sebesar 249 KgCO₂ (16,44% lebih rendah dibandingkan beton fly ash 25%), emisi GWP biogenic 0,28 KgCO₂ (15,72% lebih rendah dibandingkan beton fly ash 25%), dan emisi GWP-from land transportation 0,161 KgCO₂ (12,97% lebih rendah dari emisi beton fly ash 25%).

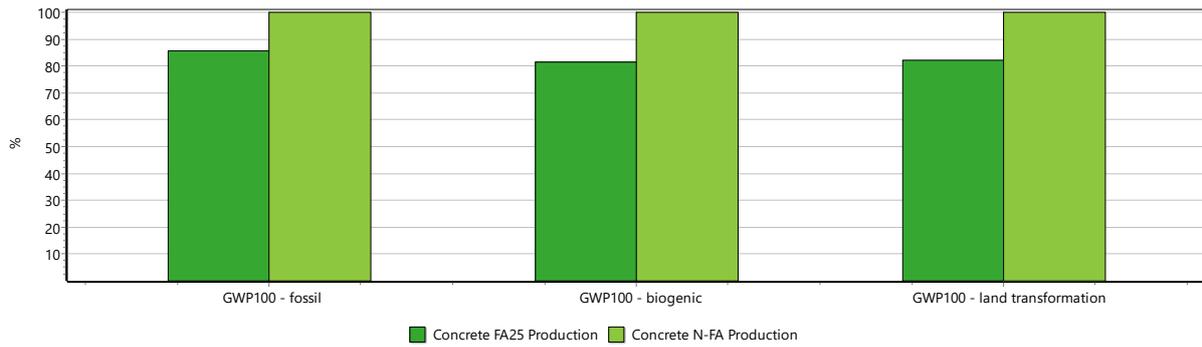
Lebih lanjut penambahan kadar fly ash dari 25% menjadi 40% menurunkan emisi GWP-fossil sebesar 45,03 KgCO₂ (20,16%). Sedangkan penggantian Sebagian agregat kasar alam dengan agregat kasar daur ulang berkontribusi mengurangi emisi GWP-fossil 4,01 KgCO₂ (12,48%). Penurunan kontribusi GWP ini karena alat recycling limbah beton yang ada saat ini berada di dalam lingkungan Batching Plant PT X Lenteng Agung. Jika alat recycling limbah beton berada jauh dari Batching Plant, maka penurunan emisi GWP tidak akan signifikan karena adanya jarak tempuh untuk mengirim limbah beton dan mengangkut agregat kasar daur ulang, seperti penelitian Marinković *et al.*, (2010) dan Tošić *et al.*, (2015).

Namun, Langkah-langkah untuk mewujudkan produksi beton fly ash yang lebih berkelanjutan ini tidak dapat langsung diimplementasikan. Perlu adanya sosialisasi kepada konsumen produk beton PT X karena penambahan material fly ash dan agregat daur ulang ini berkaitan juga dengan kuat tekan dari produk beton tersebut yang mempengaruhi preferensi konsumen dalam pemilihan produk beton untuk kebutuhan proyek konstruksi mereka.

Tabel 1. Data Inventori Daur Hidup

Proses	Skenario 1			Skenario 2		
	Jenis Input	Jumlah	Satuan	Jenis Input	Jumlah	Satuan
Incoming Material						
Transportasi Semen						
- Citeureup ke BP Lenteng Agung	Truk Cement, Portland	30 1	tKm Ton	Truk Cement, Portland	30 1	tKm Ton
Transportasi Fly Ash						
- PLTU Suralaya ke BP Lenteng Agung				Truk Fly Ash	134 1	tKm Ton
Transportasi Agregat Kasar						
- Rumpin ke BP Lenteng Agung	Truk Gravel	54 1	tKm ton	Truk Gravel	54 1	tKm Ton
Transportasi Agregat Halus						
- Belitung ke Tanjung Priok	Kapal Laut	400	tKm	Kapal Laut	400	tKm
- Tanjung Priok ke BP Lenteng Agung	Truk Sand	37 1	tKm ton	Truk Sand	37 1	tKm Ton
Produksi						
Mix Design Beton						
- Semen	Material	315	Kg	Material	258	Kg
- Fly Ash	Material	-	Kg	Material	86	Kg
- Agregat Kasar	Material	860	Kg	Material	806	Kg
- Agregat Halus	Material	947	Kg	Material	957	Kg
- Air Bersih	Material	197	Kg	Material	191	Kg
Proses Produksi						
- Mixing Material Beton	Listrik	2,53	kWh	Listrik	2,53	kWh
- Unloading Beton ke Truk Mixer	Listrik	0,04	kWh	Listrik	0,04	kWh
	Truk Beton	0,012 1	tKm m ³	Truk Beton	0,012 1	tKm m ³

Sumber data: Data Primer dan Data Sekunder PT X Batching Plant Lenteng Agung, Database Simapro Ecoinvent 3.0

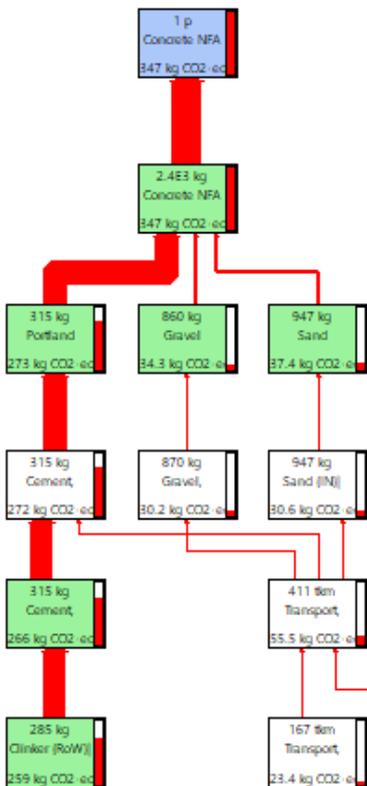


Method: IPCC 2021 GWP100 V1.00 / Damage assessment
 Comparing 1 p 'Concrete FA25 Production' with 1 p 'Concrete N-FA Production';

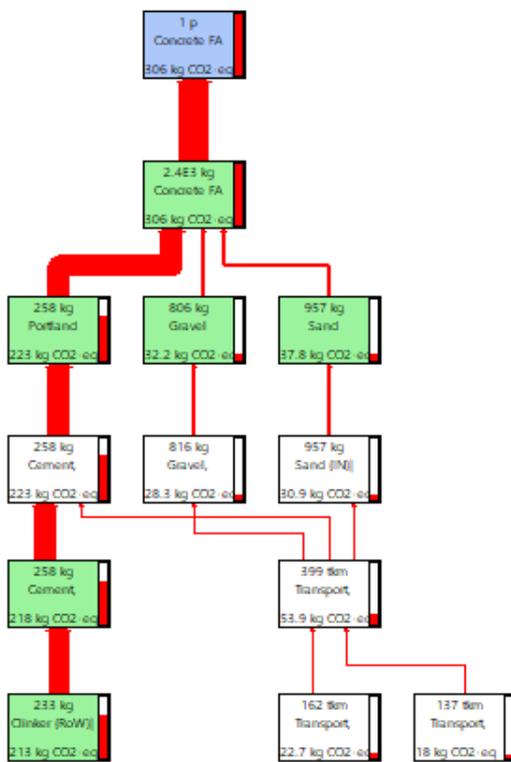
Gambar 3 Perbandingan Emisi GWP Beton Fly Ash dan Non Fly Ash

Tabel 2. Hasil Kajian Daur Hidup Proses Produksi Beton 1 m³

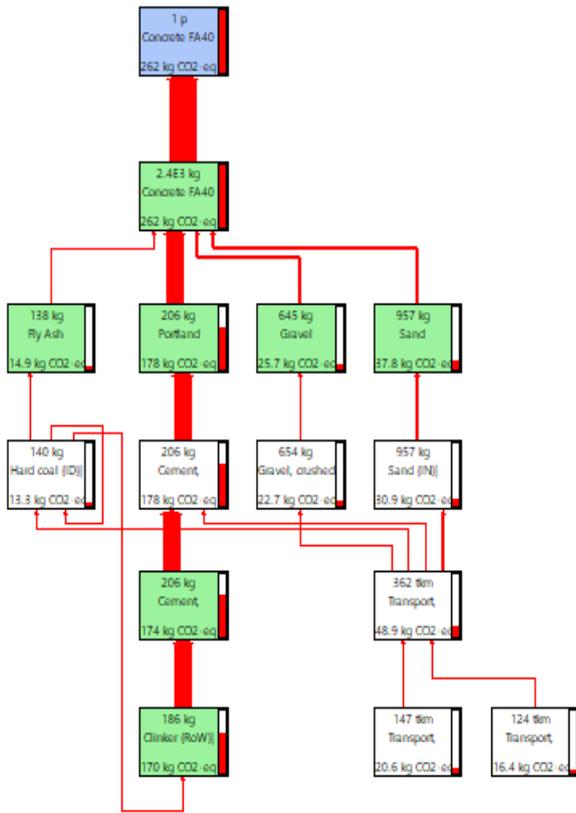
Material Penyusun/ Energi	Satuan	Skenario 1			Skenario 2		
		GWP-fossil	GWP-biogenic	GWP-land transform	GWP-fossil	GWP-biogenic	GWP-land transform
Portland Cement	KgCO ₂	272,772	0,387	0,191	223,413	0,137	0,157
Fly Ash	KgCO ₂	-	-	-	1,008	0,002	0,003
Agregat Kasar	KgCO ₂	34,319	0,009	0,013	32,165	0,009	0,012
Agregat Halus	KgCO ₂	37,383	0,009	0,015	37,778	0,009	0,015
Energi Listrik	KgCO ₂	2,843	0,007	0,005	3,487	0,002	0,004
Total	KgCO ₂	347,319	0,414	0,225	297,926	0,337	0,185



Gambar 4 Diagram Hasil LCA Beton Non Fly Ash (Skenario 1)



Gambar 5 Diagram Hasil LCA Beton Fly Ash 25% (Skenario 2)



Gambar 6 Diagram Hasil LCA Beton Fly Ash 40% dengan Agregat Kasar Daur Ulang 20% (Skenario Perbaikan)

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian daur hidup produksi beton non fly ash dan fly ash dapat disimpulkan bahwa:

- Beton non fly ash menghasilkan dampak emisi GWP-fossil, GWP-biogenic, dan GWP-from land transformation lebih besar dibandingkan beton fly ash.
- Material Portland Cement pada campuran beton berkontribusi menghasilkan emisi GWP-fossil paling besar, yaitu 272,772 KgCO₂ (78,54%) pada beton non fly ash dan 223,413 KgCO₂ (74,99%) pada beton fly ash.
- Peningkatan jumlah komposisi fly ash dan penggantian sebagian agregat kasar yang diambil dari alam dengan agregat kasar daur ulang dapat menurunkan emisi GWP-fossil 16,44%, emisi GWP-biogenic 15,72%, dan emisi GWP-from land transformation sebesar 12,97%.

DAFTAR PUSTAKA

Ammenberg, J., Baas, L., Eklund, M., Feiz, R., Helgstrand, A., & Marshall, R. (2014). Improving the CO₂ performance of cement, part III: The relevance of industrial symbiosis and how to measure its impact. *Journal of Cleaner Production*, 98, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.086>

Bajpai, R., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S., & Singh, M. (2020). Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete. *Journal of Cleaner*

Production, 254, 120147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147>

Ekaputri, J. J., & Bari, M. S. Al. (2020). Perbandingan Regulasi Fly Ash sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 150–162.

Galvez-Martos, J. L., & Schoenberger, H. (2014). An analysis of the use of life cycle assessment for waste co-incineration in cement kilns. *Resources, Conservation and Recycling*, 86(x), 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.009>

García-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2013). Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 3–12. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0614-0>

Kurda, R., Silvestre, J. D., & de Brito, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 139(April 2018), 407–417. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.004>

Lei, Y., Zhang, Q., Nielsen, C., & He, K. (2011). An inventory of primary air pollutants and CO₂ emissions from cement production in China, 1990–2020. *Atmospheric Environment*, 45(1), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.034>

Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., & Ignjatović, I. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, 30(11), 2255–2264. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.012>

Ammenberg, J., Baas, L., Eklund, M., Feiz, R., Helgstrand, A., & Marshall, R. (2014). Improving the CO₂ performance of cement, part III: The relevance of industrial symbiosis and how to measure its impact. *Journal of Cleaner Production*, 98, 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.086>

Bajpai, R., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S., & Singh, M. (2020). Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147>

Ekaputri, J. J., & Bari, M. S. Al. (2020). Perbandingan Regulasi Fly Ash sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 150–162.

Galvez-Martos, J. L., & Schoenberger, H. (2014). An analysis of the use of life cycle assessment for waste co-incineration in cement kilns. *Resources, Conservation and Recycling*, 86(x), 118–131. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.009>

García-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2013). Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 3–12. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0614-0>

Kurda, R., Silvestre, J. D., & de Brito, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 139(April 2018), 407–417. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.004>

Lei, Y., Zhang, Q., Nielsen, C., & He, K. (2011). An inventory

- Muttaqien, A., Martono, D. N., dan Gusdini, N. (2023). Analisis Daur Hidup Penggunaan Fly Ash pada Produksi Beton Cair (Studi Kasus: PT X Batching Plant Lenteng Agung, Jakarta Selatan). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21.1.68-75, doi:10.14710/jil.21.1.68-75
- of primary air pollutants and CO₂ emissions from cement production in China, 1990-2020. *Atmospheric Environment*, 45(1), 147-154. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.034>
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., & Ignjatović, I. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, 30(11), 2255-2264. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.012>
- Mindess, S. (2019). Sustainability of concrete. In *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*. Elsevier LTD. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102616-8.00001-0>
- Panesar, D. K., Kanraj, D., & Abualrous, Y. (2019). Effect of transportation of fly ash: Life cycle assessment and life cycle cost analysis of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 99(August 2018), 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.019>
- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2018). *Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry*. ☆. February. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.03.015>
- Sivakrishna, A., Adesina, A., Awoyera, P. O., & Kumar, K. R. (2020). Green concrete: A review of recent developments. *Materials Today: Proceedings*, 27(xxxx), 54-58. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.202>
- Soldal, E., & Modahl, I. S. (2016). *Greenhouse gas protocol Scope 3 reporting Borregaard 2016*.
- Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., & Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 766-776. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.070>
- Wang, J. J., Wang, Y. F., Sun, Y. W., Tingley, D. D., & Zhang, Y. R. (2017). Life cycle sustainability assessment of fly ash concrete structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(May), 1162-1174. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.232>