

## Sustainability Bantalan Jalan Rel Tipe Beton Prategang Mutu K-600 dengan Metode Analisis Life Cycle Assessment (LCA) terhadap Pencemaran Udara

Ryan Hardianto<sup>1\*</sup>, Hera Widyastuti<sup>1</sup>, Arie Dipareza Syafei<sup>2</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>2</sup>

Koresponden\*, Email: [ryanhardianto12@gmail.com](mailto:ryanhardianto12@gmail.com)

Info Artikel		Abstract
Diajukan	28 Juli 2020	<i>The release of emissions has become one of the global issues in industrial development in recent years. Thus, the use of sustainable material sources can affect the parameters and quantity of air pollution in the production of prestressed type concrete bearings. Thus, the analysis of the use of the material for bearing concrete, until the final value of the life cycle of the concrete bearings is one of the contributing factors for the release of the unit values of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions. This study aims to analyze the stability of the ecosystem and consider mixing fly ash as an alternative material. Mixing the composition of fly ash was simulated with 3 scenarios of experimental types among others; 100% cement, 90% cement &amp; 10% fly ash, and 75% cement &amp; 25% fly ash. The effect of the mixture of concrete and fly ash can be analyzed using the application of the emission feasibility test Simapro 9.0. Greening can reduce the impact of air pollution on global warming. It is hoped that the effectiveness of the results of emission release to the environment using the life cycle assessment (LCA) method in the production of prestressed concrete bearings can reduce.</i>
Diperbaiki	19 Agustus 2020	
Disetujui	21 Agustus 2020	

*Keywords: emission release, life cycle assessment (LCA), concrete railroad bearings, air pollution.*

### Abstrak

Pelepasan emisi menjadi salah satu isu global dalam perkembangan industri beberapa tahun terakhir. Dengan demikian, penggunaan sumber material yang berkelanjutan, dapat mempengaruhi parameter dan kuantitas pencemaran udara pada produksi bantalan beton tipe *prestressed*. Sehingga, analisis pemanfaatan sumber material bantalan beton, hingga nilai akhir daur hidup bantalan beton menjadi salah satu faktor kontribusi pelepasan nilai satuan emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan NO<sub>2</sub>. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas ekosistem dan mempertimbangkan pencampuran *fly ash* sebagai bahan material alternatif. Pencampuran komposisi *fly ash* disimulasikan dengan 3 skenario jenis percobaan diantaranya; 100% semen, 90% semen & 10% *fly ash*, dan 75% semen & 25% *fly ash*. Pengaruh campuran beton dan *fly ash* dapat dianalisis dengan menggunakan aplikasi uji kelayakan emisi Simapro 9.0. Penghijauan dapat menurunkan dampak pencemaran udara terhadap global warming. Diharapkan efektifitas hasil pelepasan emisi terhadap lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* pada produksi bantalan beton *prestressed* dapat mereduksi.

Kata kunci: pelepasan emisi, *life cycle assesment (LCA)*, bantalan jalan rel beton, pencemaran udara.

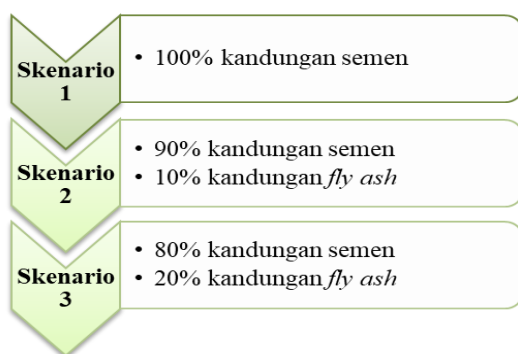
### 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan penghasil emisi gas rumah kaca terbesar keempat di dunia pada tahun 2015, sehingga dengan meningkatnya jumlah populasi penduduk diberbagai wilayah, maka dapat berkontribusi terhadap pemanasan global. Pemerintah Indonesia saat ini telah berkomitmen untuk mengurangi emisi sebesar 29-41% atau sekitar 314 juta ton pada tahun 2030[1]. Seiring dengan tumbuhnya angka populasi penduduk, peningkatan infrastruktur juga akan mengalami perkembangan pesat dan akan berpengaruh terhadap percepatan ekonomi pada pembangunan berkelanjutan. Diantaranya peminatan masyarakat menggunakan kereta api, baik dalam perjalanan dekat antar kota maupun perjalanan jarak jauh antar provinsi. Namun, penyediaan prasarana jalur kereta api bantalan jalan rel tipe beton saat ini umumnya

masih banyak digunakan di Indonesia mengingat secara penggunaan dan perawatan masih relatif mudah, salah satunya adalah produksi bantalan beton jenis *prestressed* mutu K-600. Dalam kegiatan perindustrian, bantalan jalan rel tipe ini membutuhkan beberapa ton *quarry* sumber daya alam seperti besi, semen dan batuan untuk menghasilkan produk bantalan beton.

Definisi *sustainability* adalah menjaga keseimbangan ekologi, dengan cara bahwa kehidupan manusia untuk menggunakan atau mengeksploitasi sumberdaya alam tanpa harus merusak ekologi atau keseimbangan ekologi di daerah tersebut dan sekitarnya. Metode *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi dan bahan mentah, emisi yang dikeluarkan ke lingkungan, dan limbah lainnya yang berkaitan dengan

siklus hidup suatu produk atau sistem. Oleh sebab itu, perlu diadakan pengujian analisis dengan melakukan percobaan beberapa skenario dan kajian-kajian terkait produk bantalan beton tipe prestressed dengan mencampurkan agregat dengan mencampurkan agregat *fly ash* atau abu sekam yang juga sebagai bahan dasar yang ramah lingkungan sesuai dengan standarisasi ISO 14001. Dalam proses pencampuran 3 macam skenario tersebut diharapkan dapat menjadi referensi komposisi yang lebih efisien dari bahan pasir menjadi *fly ash* terhadap keseimbangan ekosistem. Adapun untuk penjabaran proses 3 skenario terdapat beberapa langkah yang diasumsikan seperti **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Skenario pencampuran bahan semen dan *fly ash*

Pada tahapan penelitiannya berikutnya, digunakan perangkat lunak komputer yaitu Simapro 9.0 yang biasa digunakan sebagai perangkat atau aplikasi yang berfungsi untuk melakukan suatu analisis penghematan energi dan pengurangan emisi efek gas rumah kaca, audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi dan sumberdaya alam lainnya. LCA juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa[2].

## 2. Metode

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu, tahap pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang diperoleh dianalisa menggunakan metode LCA dengan menginputkan data material dan penggunaan energi. Pada setiap proses produksi diketahui emisi gas rumah kaca yang dihasilkan yang kemungkinan mempengaruhi proses terjadinya global warming. Kemudian menentukan kebijakan Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu, tahap pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang diperoleh dianalisa menggunakan metode LCA dengan menginputkan data material dan penggunaan energi. Pada setiap proses produksi diketahui emisi gas rumah kaca yang

dihasilkan yang kemungkinan mempengaruhi proses terjadinya global warming. Kemudian menentukan kebijakan alternatif proses produksi dengan menginput hasil wawancara alternatif proses produksi.

### 2.1 Analisis Pendekatan GRK

Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer yang berfungsi menyerap radiasi inframerah dan ikut menentukan suhu atmosfer. Gas Rumah Kaca diartikan sebagai gas yang terkandung dalam atmosfer, baik alami maupun dari kegiatan manusia (antropogenik), yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi inframerah. Sebagian radiasi matahari dalam bentuk gelombang pendek yang diterima permukaan bumi dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang (radiasi inframerah). Radiasi gelombang yang tertahan akibat adanya gas rumah kaca menimbulkan efek panas yang disebut “Efek Rumah Kaca”. Penjelasan mengenai efek rumah kaca terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Proses pemanasan global  
Sumber: [pencemaranudaraipg.blogspot.com](http://pencemaranudaraipg.blogspot.com)[3]

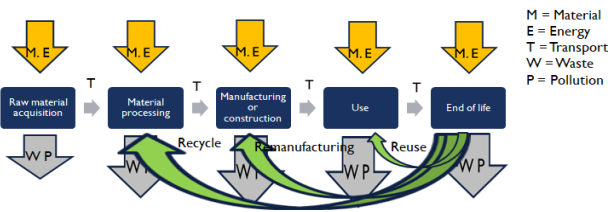
Pendekatan Tier-1 dan Tier-2 merupakan metodologi penghitungan emisi GRK yang paling sederhana, yaitu berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi. Estimasi emisi GRK Tier-1 dan Tier-2 menggunakan persamaan 1 berikut: Persamaan Umum Tier-1 dan Tier-2[4].

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi} \quad (1)$$

### 2.2 Life Cycle Assessment (LCA) Bantalan Beton

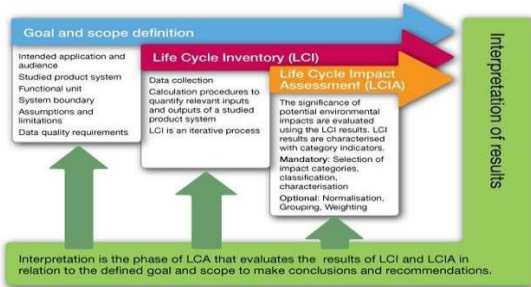
Merupakan sebuah teknik yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang dihasilkan[5]. LCA adalah pendekatan “*cradle-to grave*” untuk menilai sistem industri. “*cradle-to grave*” dimulai dengan pengumpulan bahan baku dari bumi untuk menciptakan produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan dikembalikan ke bumi. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari semua tahapan dalam siklus

hidup produk, sehingga diketahui bagian mana yang menimbulkan dampak terhadap lingkungan paling besar[2].



**Gambar 3.** Tahapan-tahapan LCA  
 Sumber: (Circuit Assembly, 1999) [6]

Goal and scope bertujuan untuk merumuskan dan menggambarkan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan, dan asumsi yang berhubungan dengan dampak disepanjang siklus hidup dari sistem yang dievaluasi. Serta pemilihan metode dalam pelaksanaan LCA.



**Gambar 4.** Goal and scope pada LCA  
 Sumber: (Hermawan et al, 2013) [5]

**2.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Bantalan Beton**

Tahapan ini mencakup evaluasi terhadap Life Cycle Inventory dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir. Kerangka umum fase LCIA terdiri dari beberapa elemen wajib yang mengkonversikan hasil dari LCIA menjadi indikator hasil, selain unsur wajib terdapat beberapa unsur opsional yaitu normalisasi, pengelompokan atau pembobotan dari hasil indikator dan teknik analisis data. Characterization, Normalization, Weighting, dan Single score yang memiliki penjelasan yaitu[7]:

- **Characterization:** merupakan tahapan dimana keseluruhan input dan output dinilai kontribusinya sesuai dengan kategori dampak yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Hasil dari tahap ini adalah suatu profil dampak lingkungan dari sistem yang diamati. Pada *characterization* disajikan nilai prosentase masing masing emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 1 *impact category*.
- **Normalization:** merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai dan dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya *evaluation* adalah untuk mendapat

nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga memudahkan interpretasi selanjutnya.

- **Weighting:** merupakan metode yang memperbolehkan tahapan pembobotan dalam *impact categories*. Hal ini berarti hasil dari *impact category indicator* dikalikan dengan *weighting factor*, dan diakumulasikan sebagai *total score*.
- **Single score:** memperlihatkan tiap-tiap proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan.

**3. Survey dan Pengamatan Bantalan Jalan Rel Beton**

Kegiatan produksi mencakup jumlah bahan baku, unit proses yang digunakan serta jumlah produk yang dihasilkan. Selain itu dalam operasionalnya digunakan energi dalam unit prosesnya. Seperti terlihat pada tabel 1 jumlah bahan baku, unit proses, dan bahan bakar yang digunakan, pada proses eksplorasi dan produksi diketahui jumlah produk bantalan jalan rel beton yang dimiliki oleh PT WIKA Beton, Pasuruan.

**Tabel 1** jumlah bantalan jalan rel:

**Tabel 1.** Tahapan-tahapan LCA

Item Produksi	Jumlah Produksi (ton/tahun)	Jumlah Produksi (kg/tahun)	Vol. 1 Batang (BJR/m3)	Berat 1 Batang BJR (kg/m3)	Total BJR (Batang)
BJR Beton Prestressed	2.000	2.000.000	0,075	180	11.111

Sumber: Hasil survey PT WIKA Beton, Pasuruan

**4. Analisis Life Cycle Assessment aplikasi Simapro 9.0**

Prakiraan dampak dilakukan berdasarkan input dan output pada setiap kegiatan. Pada penentuan prakiraan dampak dipilih metode yang digunakan *Environmental Design of Industrial Products (EDIP)* 2003. Metode ini sangat berkaitan dengan kegiatan yang diteliti yaitu sektor industri. Dampak yang diteliti adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, *human toxicity air*, dan *ozone formation (human)*. Berikut penjelasan mengenai masing-masing dampak:

**a. Global warming 100a**

Impact ini membahas mengenai dampak yang dihasilkan dari peningkatan suhu permukaan bumi seperti adanya perubahan iklim. Dimana penyebab dari dampak ini akibat meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer. Satuan dari *impact* ini adalah akibat meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer. Satuan dari *impact* ini adalah kg CO<sub>2</sub>eq.

**b. Ozone depletion**

Impact ini membahas mengenai potensi menipisnya lapisan ozon di stratosfir, sehingga sebagian besar radiasi

UV-B mencapai permukaan bumi. Dimana dampaknya dapat mempengaruhi Kesehatan makhluk hidup dan kerusakan ekosistem. Satuan dari impact ini adalah kg CFC-11

### c. *Ozone formation (human)*

*Impact* ini membahas tentang terbentuk ozon akibat adanya radikal peroksi hasil produk dari reaksi antara VOC dan nitrogen oksida. Pembentukan ozon ini dalam konsentrasi tinggi dapat membahay bagi kesehatan manusia. Satuan dari *impact* ini adalah kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

### d. *Human toxicity air*

*Impact* ini membahas mengenai zat beracun yang mempengaruhi di lingkungan manusia. Dimana adanya risiko kesehatan paparan di lokasi kerja. Emisi ini dapat melalui beberapa elemen, salah satunya adalah udara. Satuan dari *impact* ini adalah m<sup>3</sup>.

## 5. Hasil dan Pembahasan

### 5.1 Perhitungan Gas Rumah Kaca pada Semen BJR

Perhitungan beban emisi dalam 1 ton dihitung dengan cara membagi beban emisi produksi BJR dengan total BJR terproduksi. Berikut perhitungan dan hasil perhitungan beban emisi pada pada proses eksplorasi dan produksi. Perhitungan total emisi per produk[4]:

$$\text{Emisi CO}_2 = V_{\text{semen}} \times C_{\text{klinker}} \times EF_{\text{klinker}} \quad (2)$$

Keterangan:

$$V_{\text{semen}} = \text{Emisi CO}_2 \text{ dari produksi semen (m}^3\text{)}$$

$$C_{\text{klinker}} = \text{Fraksi klinker dalam semen (m}^3\text{)}$$

$$FE_{\text{klinker}} = \text{Faktor emisi klinker dalam semen}$$

nilai default faktor emisi dari produksi klinker ( $FE_{\text{klinker}}$ ) adalah 0,51 ton CO<sub>2</sub> per ton klinker. Faktor emisi ini perlu dikoreksi dengan adanya cement kiln dust (CKD) dengan faktor koreksi CKD adalah 2% dan nilai untuk fraksi klinker ( $C_{\text{klinker}}$ ) adalah 95%, [1].

$$\therefore \text{Total Emisi CO}_2$$

$$= 217,44 \times 1,02 \times 0,95$$

$$= 210,69 \text{ m}^3/\text{CO}_2 \rightarrow \text{Konversi ke ton CO}_2$$

$$\therefore \text{Konversi ke ton CO}_2$$

$$= 210,69 \text{ m}^3 / 0,00048 \text{ m}^3$$

$$= 438.937,5 \text{ kg}$$

$$\therefore \text{Total Emisi Semen}$$

$$= \text{Emisi} / \text{Jumlah Produk}$$

$$= 438,9 \text{ ton CO}_2 / 2000 \text{ ton/thn}$$

$$= 0,219 \text{ ton CO}_2/\text{produk}$$

**Tabel 2.** Perhitungan emisi solar GRK pendekatan kasus transportasi pengolahan produksi BJR

Sektor: Energi									
Kategori: Fuel combustion activities									
Kategori kode: 1A.3 Transportasi darat									
Lembar 1 dari 4 (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O dari fuel combustion sumber pada kategori - Tier2)									
Konsumsi Energi			CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Konsumsi Bahan Bakar	Faktor Konversi	Konsumsi	CO <sub>2</sub> Faktor Emisi	CO <sub>2</sub> Emisi	CH <sub>4</sub> Faktor Emisi	CH <sub>4</sub> Emisi	N <sub>2</sub> O Faktor Emisi	N <sub>2</sub> O Emisi	
(kL)	(TJ/kL)	(TJ)	(kg CO <sub>2</sub> /TJ)	(Gg CO <sub>2</sub> )	(kg CH <sub>4</sub> /TJ)	(gGCH <sub>4</sub> /TJ)	(kg N <sub>2</sub> O/TJ)	(gGN <sub>2</sub> O/TJ)	
		C=A*B		E=C*D/10 <sup>6</sup>		G=C*F/10 <sup>6</sup>		I=C*H/10 <sup>6</sup>	
Bahan Bakar									
Solar	298,935	0,036	10,762	74100	797,439	3,9	0,04197	3,9	0,04197

Sumber: Hasil analisis

### 5.2 Analisis Life Cycle Assessment (LCA) BJR

Pada tahap ini menampilkan proses mana saja yang berkontribusi paling besar terhadap dampak lingkungan. *weighting and single score* dilakukan untuk mendapatkan perbandingan dampak yang setara. Dimana masing-masing dampak dibobotkan dimana setelah dilakukan *normalization* bisa jadi sama-sama namun jumlahnya berbeda. Dari **Tabel 3** dan **Gambar 5** diketahui bahwa dampak paling besar kegiatan produksi didapat pada skenario 1 yang lebih terdampak terhadap pencemaran udara. Adapun pada **Tabel 3** dan **Gambar 5** yang menampilkan grafik perbandingan dampak kegiatan produksi dengan tanda warna hijau tua sebagai dampak *global warming* 100a.

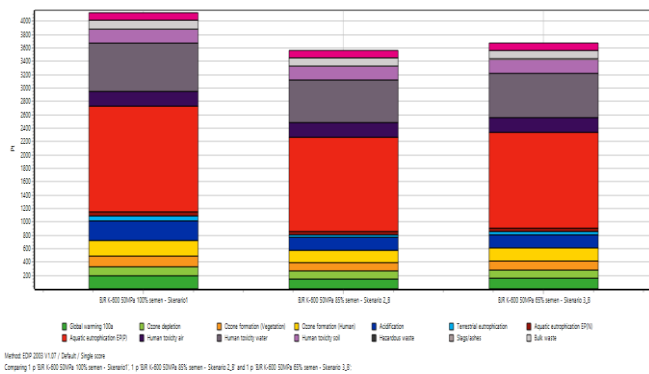
**Tabel 2.** *Weighting and Single score* kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3

Impact category	Unit	Skenario-1	Skenario-2	Skenario-3
<i>Global warming 100a</i>	Pt	0,192	0,143	0,156
<i>Ozone depletion</i>	Pt	0,135	0,124	0,131
<i>Ozone formation (Human)</i>	Pt	0,236	0,184	0,192
<i>Human toxicity air</i>	Pt	0,223	0,221	0,222

Sumber: Hasil analisis

Pada **Tabel 2** *weighting* dan *single score* dilakukan untuk mendapatkan perbandingan dampak yang setara. Dimana masing-masing dampak dibobotkan dimana setelah dilakukan *normalization* bisa jadi sama-sama namun jumlahnya berbeda diketahui besarnya dampak yang dihasilkan akibat produksi BJR. Dampak urutan tertinggi secara komprehensif terdapat pada skenario-1 yaitu:

- *global warming 100a* : 0,192 Pt
- *ozone depletion* : 0,135 Pt
- *ozone formation (human)* : 0,236 Pt
- *human toxicity air* : 0,223 Pt



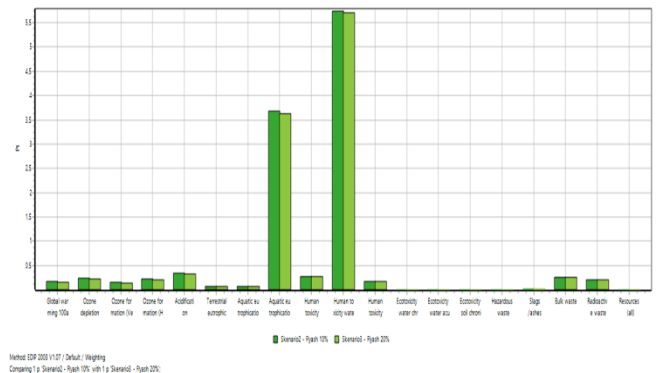
**Gambar 5.** Single score skenario 1, skenario2 & skenario 3  
Sumber: Hasil analisis

Global warming 100a terjadi karena lepasnya CO<sub>2</sub> akibat pembakaran bahan bakar. CO<sub>2</sub> yang lepas bereaksi secara radikal di atmosfer dimana CO<sub>2</sub> dapat menyerap sinar uv yang masuk ke bumi. Fenomena inilah yang menyebabkan terjadinya pemanasan yang berlebih di permukaan bumi. Dengan didukungnya penipisan lapisan ozon yang diakibatkan oleh lepasnya gas klor dan CFC di udara perubahan iklim semakin meningkat. Akibat dari adanya perubahan iklim terjadinya perubahan musim, peningkatan suhu permukaan bumi, kenaikan level permukaan laut, dll.

5.3 Analisis Penggunaan BJR dengan Campuran Fly ash

Fly ash (abu terbang/ abu sekam) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran industri batubara yang tidak terpakai. Fly ash dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen sebagian dan sebagai filler, sehingga dapat mengisi pori-pori yang ada pada beton untuk memperbaiki mutu beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Ariyani N dan Laia P)[8], kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada campuran fly ash 20% dari berat semen yaitu 55,95 Mpa. penggunaan campuran fly ash yang telah diasumsikan

sesuai dengan skenario 2 fly ash sebesar 10% dan skenario 3 fly ash sebesar 20%, maka analisis perhitungan didapatkan dengan menginput jumlah fly ash yang disesuaikan dengan perbandingan tersebut. Weighting, merupakan proses mengkalikan impact category indicator. Sedangkan, single score merupakan proses yang memperlihatkan proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan dengan weighting score dan diakumulasikan sebagai total score. Diperoleh data skenario 2 dan skenario 3 kontribusi mayoritas terdapat pada material semen dan mesin industri tenaga berat pada hoist untuk kegiatan mobilisasi produksi bantalan jalan rel. Adapun hasil analisis perhitungannya adalah sebagai berikut:



**Gambar 6.** Proses weighting dan single score pada skenario 2 & skenario 3 penggunaan campuran fly ash  
Sumber: Hasil analisis

Diperoleh data skenario 2 dan skenario 3 kontribusi mayoritas terdapat pada material semen dan mesin industri tenaga berat pada hoist untuk kegiatan mobilisasi produksi bantalan jalan rel, dengan hasil seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Impact assesment weighting dan single score analisis penggunaan fly ash

Impact category	Unit	Skenario-2 (10%)	Skenario-3 (20%)
Global warming 100a	Pt	0,133	0,133
Ozone depletion	Pt	0,213	0,213
Ozone formation (Human)	Pt	0,192	0,192
Human toxicity air	Pt	0,273	0,273

Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

Pada Gambar 6 menunjukkan urutan grafik dari kiri ke kanan menerangkan bahwa kandungan fly ash dan mesin industri termasuk bagian dari kontribusi pelepasan emisi terhadap lingkungan. Nilai kandungan yang tedampak terhadap lingkungan pada Tabel 3 adalah sebagai berikut:

- global warming 100a : 0,133 Pt
- ozone depletion : 0,213 Pt
- ozone formation (human) : 0,192 Pt
- human toxicity air : 0,273 Pt

**Tabel 4.** Proses kontribusi weighting dan single score analisis LCA pada penggunaan fly ash

No.	Proses	Metode	Unit	Skenario -2 (10%)	Skenario-3 (20%)
1	Semen dan fly ash 11% - 35%	Ecoinvent 3 - sistem	Pt	0,133	0,133
2	Mesin industri (tipe berat)	Ecoinvent 3 - sistem	Pt	0,273	0,273

Sumber: Hasil analisis simapro 9.0



### 5.2 Hasil Analisis LCA pada Skenario 1,2, & 3 dan Penggunaan Campuran Fly Ash

Analisis perhitungan yang telah diaplikasikan dengan menggunakan perangkat lunak simapro 9.0 sebagai kalkulator emisi, merupakan sistem simulasi proses pencampuran agregat *fly ash* dan material BJR dengan beberapa skenario, nilai output yang muncul akan menjadi syarat tingkat kontribusi pencemar udara dan dampak yang paling kecil akan dipilih sebagai skenario terbaik. Adapun untuk rekapitulasi skenario emisi, didapatkan dengan hasil nilai seperti terlihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Hasil analisis perhitungan LCA skenario 1,2 & 3

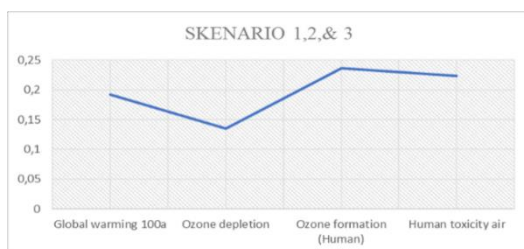
Impact category	Skenario 1
Global warming 100a	0,192
Ozone depletion	0,135
Ozone formation (Human)	0,236
Human toxicity air	0,223

Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

**Tabel 8.** Hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan *fly ash* skenario 2 & 3

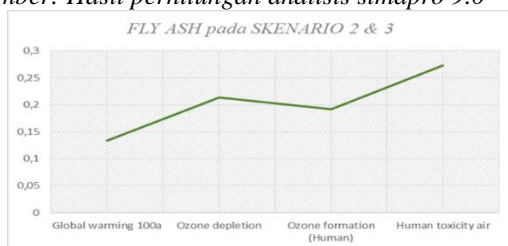
Impact category	Skenario 2 & 3
Global warming 100a	0,133
Ozone depletion	0,213
Ozone formation (Human)	0,192
Human toxicity air	0,273

Sumber: Hasil analisis simapro 9.0



**Gambar 7.** Grafik hasil analisis perhitungan LCA pada skenario 1,2 & 3

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0



**Gambar 8.** Grafik hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan *fly ash* skenario 2 & 3

Sumber: Hasil perhitungan analisis

Alternatif pada **Tabel 9** merupakan pilihan yang memungkinkan dapat diterapkan pada wilayah kerja dengan mempertimbangkan kriteria biaya investasi & produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan pelaksanaan.

### 5.3 Alternatif Kegiatan untuk Masing-Masing Proses

Berikut adalah beberapa alternatif yang dapat digunakan untuk menangani dampak pada produksi BJR tipe prestressed. Alternatif ini bertujuan untuk mereduksi dampak terhadap global warming 100a.

**Tabel 9.** Alternatif reduksi pada proses produksi BJR tipe *prestressed*

Alternatif	Cara Kerja	Fungsi	Pengaruh Terhadap Emisi
Dual Fuel Diesel	Melakukan <i>mixing</i> antara bahan bakar diesel dan natural gas pada generator	Menekan pemakaian bahan bakar diesel hingga 30% dan pemanfaatan natural gas yang dihasilkan dari kegiatan produksi.	Berkurangnya emisi gas CO <sub>2</sub>
Generator (***)			

Sumber:\*\*\*MacDonald. 2014 [8]

## 6. Simpulan

Dari hasil analisis melalui tiga skenario yang diasumsikan, *impact assessment human toxicity air*, masing-masing skenario memiliki skor yaitu, skenario-1 sebesar 0,223 Pt, skenario-2 sebesar 0,221 Pt dan skenario-3 sebesar 0,222 Pt. Sehingga untuk analisis skenario yang tertinggi dihasilkan pada skenario-1. Penggunaan campuran *fly ash* berkontribusi pada output terhadap lingkungan dan menghasilkan nilai yang tertinggi berupa *human toxicity air* sebesar 0,273 Pt. Dari hasil output yang dikeluarkan, nilai tersebut masih terkategori ramah lingkungan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya campuran *fly ash* pada campuran agregat BJR merupakan langkah yang inovatif dan efisiensi tanpa mengurangi kekuatan mutu pada BJR sendiri, dan dengan melakukan penghijauan dan revegetasi di daerah pantai, sekitaran pabrik, sebagai investasi biomassa dan mengurangi pencemaran terhadap lingkungan

## Daftar Pustaka

- [1] Kementerian. Keuangan, *Pendanaan Publik Untuk Pengendalian Perubahan Iklim Indonesia*. Jakarta, 2018.

- [2] R. P. Putri, I. P. Tama, R. Yuniarti, J. Teknik, I. Fakultas, and T. Universitas, "Produk Susu Kud Batu Dengan Implementasi Life Cycle Assessment ( LCA ) Dan Pendekatan Analytic Network Process ( Anp ) Environmental Impacts Evaluation in Supply Chain Activity of Kud Batu ' S Dairy Product Using Life Cycle Assessment ( LCA ) Implementati," no. 1993, pp. 684–695, 2006.
- [3] Atom, "Pencemaran Udara," *Atom*. <http://pencemaranudaraipg.blogspot.com/> (accessed Apr. 19, 2010).
- [4] Metode. Penghitungan, Tingkat. Emisi, and G. A. S. Rumah, "Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - Volume 1," vol. 1, 2012.
- [5] P. F. Marzuki, M. Abduh, and R. Driejana, "Peran Life Cycle Analysis (LCA) Pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida Pada Efek Gas Rumah Kaca," *Konf. Nas. Tek. Sipil 7 UNS*, vol. 7, no. KoNTekS 7, pp. 24–26, 2013.
- [6] J. Linton, "Life cycle analysis," *Circuits Assembly*, vol. 10, no. 3. pp. 26–28, 1999.
- [7] H. Sitepu, "Model Pengembangan Rusunawa," *Model Pengemb. Rusunawa Ramah Lingkung. Melalui Optimasi Pelaks. Green Constr. di Batam*, 2011.
- [8] MacDonald, "Providing Scope for Reducing the Carbon Footprint of an Offsh

