



TESIS - RC 185201

**SUSTAINIBILITY BANTALAN JALAN REL TIPE BETON
PRATEGANG MUTU K-600 DENGAN METODE
ANALISIS LIFE CYCLE ASESSMENT (LCA) TERHADAP
PENCEMARAN UDARA**

RYAN HARDIANTO
03111 8500 80003

Dosen Pembimbing
Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM

Program Magister
Bidang Keahlian Teknik dan Manajemen Jalan Rel
Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ryan Hardianto

NRP: 03111850080003

Tanggal Ujian: 25 Juni 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D
NIP. 19600828 198701 2 001

2. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MEPM
NIP. 19820119 200501 1 001

Penguji:

1. Dr. Catur Arif P, S.T., M.Eng
NIP. 19700708 199802 1 001

2. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19800430 20050 1 1002



Kepala Departemen Teknik Sipil

Palmetas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Dr. Ir. Umbaro Lasminto, S.T., M.Sc.

NIP. 19721202 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: “**Sustainability Bantalan Jalan Rel Tipe Beton Prategang Mutu K-600 Dengan Metode Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Terhadap Pencemaran Udara**” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya /tulisan untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulisan yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulisan orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah disertasi maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah **tesis** ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 14 Agustus 2020



Ryan Hardianto

NRP: 03111850080003

PERNYATAAN KEASLIAN PUBLIKASI TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

JUDUL ARTIKEL PUBLIKASI:

“Sustainability Bantalan Jalan Rel Tipe Beton Prategang Mutu K-600 Dengan Metode Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Terhadap Pencemaran Udara”

PENULIS UTAMA:

Ryan Hardianto

PENULIS ANGGOTA:

1. Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
2. Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM.

Artikel Publikasi tersebut merupakan sebagian atau keseluruhan isi **Tesis** pada jurnal atau forum ilmiah yang merupakan karya ilmiah saya sendiri dan terdapat karya ilmiah orang lain. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surabaya, 14 Agustus 2020



Ryan Hardianto

NRP: 03111850080003

SUSTAINIBILITY BANTALAN JALAN REL TIPE BETON PRATEGANG MUTU K-600 DENGAN METODE ANALISIS LIFE CYCLE ASESSMENT (LCA) TERHADAP PENCEMARAN UDARA

Nama Mahasiswa : Ryan Hardianto
Mahasiswa ID : 03111850080003
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
2. Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM.

ABSTRAK

Pelepasan emisi menjadi salah satu isu global dalam perkembangan industri beberapa tahun terakhir. Dengan demikian, efektifitas penggunaan sumber material yang berkelanjutan, dapat mempengaruhi parameter dan kuantitas pencemaran udara dari produksi bantalan beton tipe prestressed. Sehingga, analisis dari pemanfaatan sumber material bantalan beton, hingga nilai akhir daur hidup bantalan beton menjadi salah satu faktor kontribusi pelepasan nilai satuan emisi CO₂/kg, SO₂, dan NO₂. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas ekosistem dengan mempertimbangkan pencampuran *fly ash* sebagai bahan material alternatif. Pencampuran komposisi *fly ash* disimulasikan pada 3 skenario jenis percobaan diantaranya; 100% semen, 90% semen & 10% *fly ash*, dan 75% semen & 25% *fly ash*. Komposisi campuran agregat pada semen dan *fly ash* mampu dijadikan indikator kelayakan produksi bantalan jalan rel kereta api jika pencemaran udara mampu direduksi dengan baik. Pengaruh campuran beton dan *fly ash* dapat dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak uji kelayakan emisi yaitu Simapro 9.0. 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. Penerapan penghijauan dan revegetasi di daerah pantai, sebagai investasi biomassa yang dapat menurunkan dampak lingkungan berupa pencemaran udara terhadap *global warming*.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

SUSTAINABILITY BEARING OF K-600 QUALITY PRE- CONCRETE CONCRETE TYPE REL WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) ANALYSIS METHOD FOR AIR POLLUTION

By : Ryan Hardianto
Sudent Identity Number : 03111850080003
Supervisor : 1. Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
2. Dr. Eng. Arie Dipareza, ST., MEPM.

ABSTRACT

The release of emissions has become one of the global issues in industrial development in recent years. Thus, the effectiveness of the use of sustainable material sources, can affect the parameters and quantity of air pollution from the production of prestressed type concrete bearings. Thus, the analysis of the utilization of concrete bearing material sources, to the end value of the life cycle of concrete bearings is one of the contributing factors to the release of CO₂ / kg, SO₂, and NO₂ emission units. This study aims to analyze the stability of the ecosystem by considering mixing fly ash as an alternative material. The mixing of fly ash composition was simulated in 3 types of experiments scenarios including; 100% cement, 90% cement & 10% fly ash, and 75% cement & 25% fly ash. The composition of the aggregate mixture in cement and fly ash can be used as an indicator of the feasibility of production of railroad track bearings if air pollution is able to be reduced properly. The effect of the mixture of concrete and fly ash can be analyzed using the emission feasibility test software, namely Simapro 9.0. The results of the analysis through three scenarios are assumed, human toxicity impact assessment of water, each scenario has a score that is, scenario-1 of 0.223 Pt, scenario-2 of 0.221 Pt and scenario-3 of 0.222 Pt. So for the highest scenario analysis produced in scenario-1. Application of reforestation and revegetation in coastal areas, as an investment in biomass that can reduce environmental impacts in the form of air pollution on global warming.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia, rahmat, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan thesis yang berjudul “*Sustainability Bantalan Jalan Rel Tipe Beton Prategang Mutu K-600 Dengan Metode Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Terhadap Pencemaran Udara*”.

Dalam proses penyusunan tesis, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D selaku dosen konsultasi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan Thesis.
2. Bapak Dr. Arie Dipareza, ST.,MEPM selaku dosen konsultasi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan Thesis.
3. Seluruh Bapak/ Ibu dosen pengampu di sivitas akademik ITS.
4. Rekan-rekan kelas TMJR pascasarjana angkatan 2018.
5. Orang tua dan istri yang telah memberi motivasi serta iringan do'a yang tak pernah lupa sehingga penulis bisa menyelesaikan thesis tahun 2020.
6. Semua pihak terkait yang telah membantu dan yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi sempurnanya penyusunan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

	Hal
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.1. Ruang Lingkup	3
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Pemanasan Global	7
2.3. Pencemaran Udara	8
2.4. Gas Rumah Kaca di Indonesia	8
2.5. <i>Ozone depletion</i>	12
2.6. <i>Ozone formation</i>	13
2.7. Karakteristik Emisi	14
2.8. Bantalan Rel Kereta Api	15
2.9. <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	17
2.13 Penelitian Terdahulu	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Kerangka Penelitian	31
3.2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	31
3.3. Kajian	33
3.4. Kesimpulan dan Saran	34
3.5. Diagram Alir Metodologi	34
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Profil Wijaya Karya Beton	37

4.2. Proses Produksi Bantalan Jalan Rel Jenis <i>Pre-stressed</i>	38
4.3 Analisis LCA	44
4.4. Alternatif Kegiatan untuk Masing-masing Proses	70
BAB 5 <u>KESIMPULAN DAN SARAN</u>	73
5.1. Kesimpulan	73
5.2. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN-1	77
LAMPIRAN-2	79
BIOGRAFI PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proses pemanasan global.....	2
Gambar 2.1 Proses pemanasan global.....	7
Gambar 2.2 Bantalan slab beton	13
Gambar 2.3 Bantalan beton prategang	13
Gambar 2.4 Tahapan <i>Life Cycle Assessment</i>	14
Gambar 2.5 <i>Goal and scope</i>	14
Gambar 2.6 <i>Life Cycle Inventory of generic product</i>	15
Gambar 2.7 Mekanisme produksi beton	16
Gambar 2.8 Input penentuan <i>goal</i>	19
Gambar 2.9 Input penentuan <i>scope</i>	20
Gambar 2.10 <i>Characteritaion</i>	21
Gambar 2.11 <i>Normalitation</i>	22
Gambar 2.12 <i>Weightong</i>	22
Gambar 2.13 <i>Single score</i>	23
Gambar 3.1 Kerangka penelitian.....	30
Gambar 4.1 Bantalan jalan rel beton <i>prestressed</i>	32
Gambar 4.2 Peta lokasi penelitian.....	32
Gambar 4.3 Diagram alur proses produksi beton pracetak.....	33
Gambar 4.4 Alur proses Life Cycle Inventory.....	40
Gambar 4.5 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-1.....	43
Gambar 4.6 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-2.....	44
Gambar 4.7 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-3.....	44
Gambar 4.8 Network proses produksi BJR pada skenario-1.....	46
Gambar 4.9 Network proses produksi BJR pada skenario-2.....	48
Gambar 4.10 Network proses produksi BJR pada skenario-3.....	50
Gambar 4.11 <i>Characterization</i> skenario-1, skenario-2, & skenario-3.....	53
Gambar 4.12 <i>Normalization</i> skenario-1, skenario-2, & skenario-3.....	55
Gambar 4.13 <i>Weighting</i> skenario-1, skenario-2, & skenario-3.....	57
Gambar 4.14 <i>Single Score</i> skenario-1, skenario-2, & skenario-3.....	59

Gambar 4.15 Proses <i>weighting</i> dan <i>single score</i> pada skenario 2 & skenario 3 penggunaan campuran <i>fly ash</i>	61
Gambar 4.16 Grafik hasil analisis perhitungan LCA skenario 1,2 & 3.....	63
Gambar 4.17 Grafik hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan <i>fly ash</i> skenario 2 & 3.....	64
Gambar 4.18 Diagram komposisi agregat penggunaan <i>fly ash</i>	65
skenario 1,2 & 3.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Metode analisis pada Simapro 9.0	16
Tabel 2.2 Faktor Emisi GRK Peralatan Tak Bergerak dan Bergerak	11
Tabel 2.3 Nilai kalor bahan bakar Indonesia	12
Tabel 2.4 Metode analisis pada Simapro 9.0	22
Tabel 2.5 Rekapitulasi penelitian terdahulu.....	29
Tabel 3.1 Metodologi Penelitian	26
Tabel 4.1 Data produksi BJR PT WIKA BETON.....	34
Tabel 4.2 Jumlah pemakaian bahan baku BJR.....	35
Tabel 4.3 Perhitungan emisi solar GRK pendekatan sektoral kasus transportasi pengolahan produksi BJR.....	37
Tabel 4.4 Jumlah bahan baku, unit proses, dan bahan bakar yang digunakan.....	38
Tabel 4.5 <i>Life Cycle Inventory</i> untuk 3 skenario bahan baku semen dan <i>fly ash</i>	39
Tabel 4.6 Characterization factor.....	41
Tabel 4.7 <i>Normalization</i> factor.....	42
Tabel 4.8 Weighting factor.....	42
Tabel 4.9 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-1.....	47
Tabel 4.10 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-2.....	49
Tabel 4.11 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-3.....	51
Tabel 4.12 Characterization kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3.....	54
Tabel 4.13 <i>Normalization</i> kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3.....	56
Tabel 4.14 Weighting dan Single score kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3.....	58
Tabel 4.15 <i>Impact Assesment weighting</i> dan <i>single score</i> analisis penggunaan <i>fly ash</i>	62
Tabel 4.16 Proses kontribusi <i>weighting</i> dan <i>single score</i> analisis LCA pada penggunaan <i>fly ash</i>	62
Tabel 4.17 Hasil analisis perhitungan LCA skenario 1,2 & 3.....	63

Tabel 4.18 Hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan <i>fly ash</i> skenario 2 & 3.....	63
Tabel 4.19 Alternatif reduksi pada proses produksi BJR tipe <i>prestressed</i>	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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, (Hariyanto,2019) Seiring dengan tumbuhnya angka populasi penduduk, peningkatan infrastruktur juga akan mengalami perkembangan pesat dan akan berpengaruh terhadap percepatan ekonomi pada pembangunan berkelanjutan.

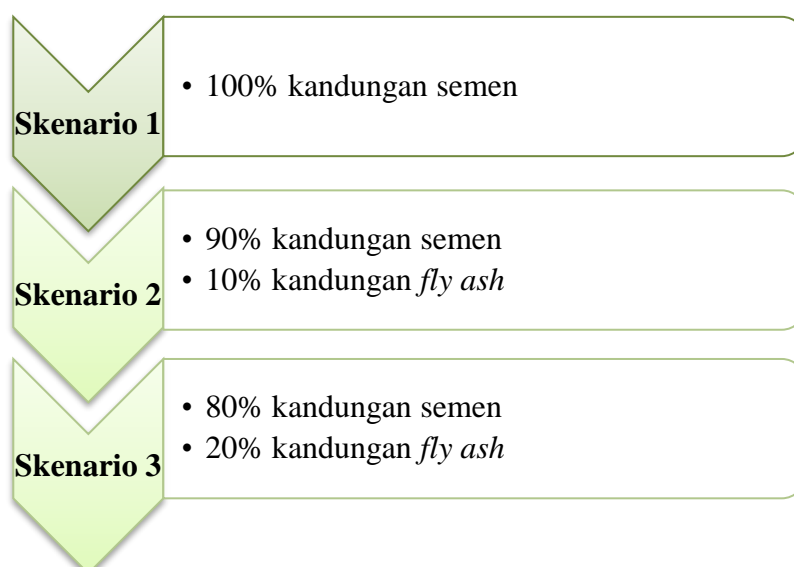
Diantaranya peminatan masyarakat menggunakan kereta api, baik dalam perjalanan dekat antar kota maupun perjalanan jarak jauh antar provinsi. Namun, penyediaan prasarana jalur kereta api bantalan jalan rel tipe beton saat ini umumnya masih banyak digunakan di Indonesia mengingat secara penggunaan dan 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.

Pemanasan global merupakan salah satu isu lingkungan yang dihadapi oleh berbagai negara. Bertambahnya efek gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, N₂O, CFC, HFCs, SF₆ di lapisan troposfer (Samiaji,2011). Berlebihnya konsentrasi zat pencemar hingga melampaui ambang batas, memberikan dampak pada lingkungan, manusia, tumbuhan, hewan dan ekosistem (Budiyono, 2001). Sehingga pada produksi bantalan jalan rel kereta api tipe beton *prestressed* ini juga harus dipertimbangkan agar mampu mereduksi pencemaran polusi di udara.

Pencemaran udara dapat dibedakan menjadi dua yaitu, pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemar udara, sedangkan pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer

di atmosfer (Riyadi, 1982). Maka material yang digunakan diharapkan tidak terlalu signifikan menyumbang pemanasan global dan pencemaran udara, yaitu dengan trobosan alternatif material yang digunakan dan inovasi produk ramah lingkungan. Dengan langkah tersebut kuantitas pencemaran polusi dapat diterima oleh ekosistem secara komprehensif khususnya makhluk hidup dan sumber daya alam.

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 sebagai berikut:



Gambar 1.1 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 (Rosmeika, et al, 2010).

1.1. Ruang Lingkup

Pada pembahasan ini terfokus dan menjelaskan secara rinci batasan dan cakupan penelitian. Didasari mengacu pada kerangka penelitian. Pembatasan ruang lingkup penelitian ini menjelaskan beberapa variabel-variabel, diantaranya:

1. Analisa kajian dampak dilakukan pada sektor pengolahan proses produksi BJR dengan *bounding (cradle to gate)*. Digunakan untuk menganalisis daur hidup dimulai dari *raw material* hingga ke *gate* sebelum proses operasional produksi BJR beton.
2. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PT WIKA Beton yang meliputi bahan baku, bahan bakar, energi listrik, produk, dan emisi yang dihasilkan.
3. Data yang digunakan dalam kurun waktu 1 tahun yaitu 2020
4. Kajian dampak menggunakan metode LCA yang hanya meninjau CO₂, SO₂, dan NO₂.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian latar belakang penelitian, maka persoalan yang dikaji mengarah pada beberapa studi kasus yang harus diselesaikan. Adapun rumusan masalah tersebut adalah :

1. Bagaimana perbandingan emisi yang tertinggi antara percobaan skenario-1, skenario-2, dan skenario-3 bantalan jalan rel beton *prestressed* mutu K-600 dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*?
2. Komponen material apakah yang menjadi faktor penentu penghasil emisi

tertinggi?

3. Bagaimana alternatif yang terbaik dari produktifitas bantalan jalan rel beton *prestressed* mutu K-600?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum penelitian ini adalah identifikasi pelepasan emisi yang dihasilkan dari setiap proses produksi bantalan beton *prestressed* dan memberikan opsional untuk mereduksi terhadap pembangunan infrastruktur rel kereta api, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kualitas dan dampak terhadap lingkungan pada pencemaran emisi, produksi bantalan jalan rel beton *prestressed* mutu K-600.
2. Memperoleh jenis komponen emisi CO₂, SO₂ dan NO₂ terhadap pelepasan emisi yang tertinggi.
3. Mendapatkan hasil alternatif yang terbaik emisi mutu bantalan jalan rel tipe beton *prestressed* mutu K-600 yang dilepaskan di udara.

1.5. Batasan Masalah Penelitian

Untuk memfokuskan pembahasan dalam penelitian ini, maka perlu diberikan beberapa Batasan masalah yaitu adalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas jenis pencemaran emisi berwujud cair.
2. Hanya membahas objek material bantalan jalan rel tipe beton *prestressed* pada rel kereta api.
3. Tidak membahas anggaran biaya, perawatan dan perbaikan.
4. Indikator emisi yang dianalisis yaitu karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO₂).

1.6. Manfaat Penelitian

Secara akademis, penelitian ini diharapkan memberi kontribusi ilmiah pada kajian tentang analisis bantalan jalan rel terhadap lingkungan dengan metode *life cycle assessment* (LCA). Adapun manfaat dalam penulisan penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan evaluasi terhadap nilai manfaat LCA dan dampak emisi akibat produksi bahan produksi bantalan rel kereta api.

2. Dapat mengetahui bentuk produktifitas pada penggunaan material bantalan akibat proses pelepasan emisi.
3. Dapat dijadikan informasi publik khususnya dibidang perkeretaapian mengenai produktifitas pembuatan bantalan beton.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Studi literatur dilakukan untuk mendukung metodologi penelitian mengenai pemanasan global dan pencemaran udara. Dampak tersebut berasal dari pelepasan emisi gas pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan produktifitas pembuatan bantalan rel kereta api. Oleh karena itu untuk mencapai pembahasan penyebab dari dampak lingkungan akibat lepasnya emisi gas pencemaran udara, maka dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dan didukung dengan *software* Simapro 9.0. Penggunaan LCA membantu dalam memberikan beberapa alternatif perbaikan. Beberapa nilai dari hasil LCA dilakukan analisa data, hingga memperoleh material yang mampu mereduksi emisi pencemaran udara.

Pada pokok tinjauan pustaka ini, dijelaskan bagaimana peranan komponen material semen dan baja mempengaruhi kandungan emisi yang ada lingkungan. Perbedaan material menghasilkan beberapa nilai produk, dimana didapatkan berasal dari proses pengambilan material (Raw material), pengolahan material, penggunaan material, hingga nilai guna setelah umur material yang menghasilkan suatu emisi. Sehingga diperlukan pendekatan LCA (*Life Cycle Accessment*) yang nantinya dilakukan analisa pada review penelitian terdahulu dan mendapatkan suatu kesimpulan untuk alternatif perbaikan pada kegiatan pengolahan.

2.2. Pemanasan Global

Pemanasan global (*global warming*) adalah suatu fenomena dimana adanya ketidakseimbangan ekosistem yang diakibatkan oleh peningkatan suhu permukaan bumi. Selama kurang lebih seratus tahun terakhir, suhu rata-rata di permukaan bumi telah meningkat 0.74 ± 0.18 °C. Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi yang terjadi akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca, seperti karbondioksida, metana, dinitro oksida, hidrofluorokarbon, perfluorokarbon, dan sulfur heksafluorida di atmosfer. Emisi yang dihasilkan paling banyak berasal dari proses pembakaran dan penggundulan hutan. (Utina, 2015). Pemanasan

diperkirakan terus terjadi karena karbon dioksida (CO₂) diperkirakan memiliki umur di atmosfer 50 sampai 200 tahun (Venkataramanan dan Smitha, 2011). Sebagian sinar infra merah dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh gas-gas rumah kaca yang kemudian menyebabkan suhu bumi meningkat. Gas-gas rumah kaca terutama berupa karbon dioksida, metana dan nitrogen oksida. Kontribusi besar yang mengakibatkan akumulasi gas-gas kimia ini di atmosfer adalah aktivitas manusia. Temperatur global rata-rata setiap tahun dan lima tahunan tampak meningkat, seperti pada diagram berikut (Anonim, 2004).

2.3. Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, atau energi, dan/atau komponen lain kedalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Peraturan Pemerintah RI no 41,1999). Prinsip pencemaran udara adalah apabila dalam udara terdapat unsur-unsur pencemar yang dapat mempengaruhi keseimbangan udara normal dan mengakibatkan gangguan terhadap kehidupan manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan dan benda-benda lain. Gas pencemar udara adalah Sulfur dioksida (SO₂), *Carbon monoksida* (CO), *Particulat Matter*, *Hidrocarbon* (HC), *Nitrogen Oksida* (NO₂), *Photochemical Oxidant*, Timah (Pb), Ozon dan *Volatile Organic Compounds* (VOC). Gas tersebut merupakan polutan-polutan yang bersumber dari antropogenik yang mengakibatkan gangguan pada kesehatan pada lingkungan (Ali, 2007).

2.4. Gas Rumah Kaca di Indonesia

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 digambarkan melalui gambar berikut.



Gambar 2.1 Proses Pemanasan Global

Sumber: www.amongguru.com/efek-rumah-kaca-pengertian-contoh-dan-dampaknya-terhadap-bumi/, diunduh 22 Juni 2020

2.4.1. Model Dasar Perhitungan GRK (Gas Rumah Kaca)

Dalam kegiatan inventarisasi GRK, tingkat ketelitian perhitungan dikenal dengan istilah “Tier”. Tingkat ketelitian perhitungan terkait dengan data dan metoda perhitungan yang digunakan sebagaimana dijelaskan berikut ini:

- ❖ Tier 1: estimasi berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi default IPCC.
- ❖ Tier 2: estimasi berdasarkan data aktifitas yang lebih akurat dan faktor emisi default IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*).
- ❖ Tier 3: estimasi berdasarkan metoda spesifik suatu negara dengan data aktifitas yang lebih akurat (pengukuran langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik (*country specific/plant specific*).

Penentuan Tier dalam inventarisasi GRK sangat ditentukan oleh ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau pabrik dalam hal penelitian untuk menyusun metodologi atau menentukan faktor emisi yang spesifik dan berlaku bagi negara/pabrik tersebut. Pendekatan Tier-1 dan Tier-2 merupakan metodologi penghitungan emisi GRK yang paling tepat dan sederhana, yaitu berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi. Estimasi emisi GRK Tier-1 dan Tier-2 menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

Persamaan Umum Tier-1 dan 2

Emisi GRK (Gas Rumah Kaca) = Data Aktivitas x Faktor Emisi (1)

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Data aktifitas adalah data mengenai banyaknya aktifitas umat manusia yang terkait dengan banyaknya emisi GRK. Contoh data aktivitas sektor energi: volume BBM atau berat batubara yang dikonsumsi, banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (terkait dengan fugitive emission). Faktor emisi (FE) adalah suatu koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi perunit aktivitas (unit aktivitas dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang dikonsumsi). Untuk Tier-1 faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi default (IPCC 2006 GL).

2.4.2. Sumber Data

Dalam penyusunan inventarisasi GRK, IPCC GL mendorong penggunaan data yang bersumber pada publikasi dari lembaga resmi pemerintah atau badan nasional, misalnya Energy Balance Table dan Handbook Statistik Energi & Ekonomi Indonesia; dan Data dan Pertumbuhan Penduduk dari BPS. Inventarisasi dengan pendekatan sektoral memerlukan data konsumsi energi menurut sektor pengguna (penggunaan BBM di sektor transport, sektor industri dan lain-lain). Penerapan metoda Tier-2 memerlukan data aktivitas yang lebih detail. Sebagai contoh, perhitungan emisi dari pembakaran bahan bakar memerlukan data penggunaan bahan bakar yang lebih detail, yaitu: penggunaan BBM per jenis menurut jenis kendaraan, penggunaan BBM per jenis menurut jenis pabrik, penggunaan batubara per jenis/kualitas batubara menurut jenis pabrik. Sumber emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kategori utama, yaitu sumber tidak bergerak (stasioner) dan sumber bergerak, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Sumber emisi yang stasioner dibedakan dari sumber emisi bergerak karena factor emisi GRK, khususnya GRK yang non-CO₂, bergantung kepada jenis bahan bakar dan teknologi penggunaan bahan bakar tersebut. Tabel 2.2 memperlihatkan perbedaan factor emisi beberapa jenis bahan bakar untuk peralatan bergerak dan stasioner.

Tabel 2.1 Sumber Emisi dan Pembakaran Bahan Bakar

Kode	Kategori	Kegiatan	Keterangan
1 A 1	Industri Produsen Energi	Pembangkit listrik (*)	Tidak Bergerak
		Kilang Minyak	Tidak Bergerak
		Produksi Bahan Bakar Padat dan Industri Energi Lainnya	Tidak Bergerak
1 A 2	Industri Manufaktur dan Konstruksi	Besi dan Baja	Tidak Bergerak
		Logam Bukan Besi	Tidak Bergerak
		Bahan-Bahan Kimia	Tidak Bergerak
		Pulp, Kertas, dan Bahan Barang Cetakan	Tidak Bergerak
		Pengolahan Makanan, Minuman dan Tembakau	Tidak Bergerak
		Mineral Non Logam	Tidak Bergerak
		Peralatan Transportasi	Tidak Bergerak
		Permesinan	Tidak Bergerak
		Pertambangan non-bahan bakar dan Bahan Galian	Tidak Bergerak
		Kayu dan Produk Kayu	Tidak Bergerak
		Konstruksi	Tidak Bergerak
		Industri Tekstil dan Kulit	Tidak Bergerak
		Industri lainnya	Tidak Bergerak

Sumber: Buku II - Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

Sumber emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kategori utama, yaitu sumber tidak bergerak (stasioner) dan sumber bergerak, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Faktor Emisi GRK Peralatan Tak Bergerak dan Bergerak

Jenis Bahan bakar	FE Default IPCC 2006 sumber tak Bergerak, Ton/GJ			FE Default IPCC 2006 sumber bergerak, Ton /GJ		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Bumi /BBG	56 100	1	0.1	56 100	92	3
Premium (tanpa katalis)	-	-	-	69 300	33	3.2
Diesel (IDO/ADO)	74 100	3	0.6	74 100	3.9	3.9
Industrial/Residual Fuel Oil	77 400	3	0.6	-	-	-
Marine Fuel Oil (MFO)	-	-	-	77 400	7 ± 50%	2
Batubara (<i>sub-bituminous</i>)*	96 100	10	1.5	-	-	-

Sumber: Buku II - Volume 1 Metodologi Perhitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca, Kementerian Lingkungan Hidup, 2012

2.4.3. Pembakaran Bahan Bakar pada Sumber Stasioner

GRK yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar pada sumber stasioner adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Besarnya emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar fosil bergantung pada banyak dan jenis bahan bakar yang dibakar. Banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi. Persamaan umum yang digunakan untuk estimasi emisi GRK dari pembakaran bahan bakar adalah sebagai berikut persamaan 2 (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012) :

Emisi Hasil Pembakaran Bahan Bakar

$$\text{Emisi GRK} \left(\frac{\text{kg}}{\text{thn}} \right) = \text{Konsumsi Energi} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{thn}} \right) \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{TJ}} \right) \quad (2)$$

Faktor emisi menurut default IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ). Di sisi lain data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kilo liter minyak diesel dll). Oleh karena itu sebelum digunakan pada Persamaan 2, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule) dengan Persamaan 3 (Kementrian Lingkungan Hidup, 2012).

$$\text{Konsumsi Energi (TJ)} = \text{Konsumsi Energi (sat. fisik)} \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{sat.fisik}} \right) \quad (3)$$

Berbagai jenis bahan bakar yang digunakan di Indonesia berikut nilai kalor dari masing-masing bahan bakar diperlihatkan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Nilai kalor bahan bakar Indonesia

Bahan bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium*	33x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)	36x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor,
		Pembangkit listrik

Sumber: Kementrian Lingkungan Hidup, 2012

2.5. Ozone depletion

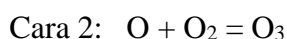
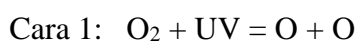
Ozon adalah gas alami yang dapat bersifat baik dan buruk bagi kesehatan tergantung lokasinya. Ozon yang terletak pada lapisan troposfer merupakan ozon

bersifat buruk. Ozon troposfer adalah polutan udara yang merupakan unsur utama kabut perkotaan. Ozon yang terletak pada stratosfer merupakan ozon yang baik karena melindungi kehidupan bumi dengan menyerapsinar UV matahari (EPA, 2010). Berdasarkan hasil penelitian ilmuwan, lapisan ozon yang menjadi pelindung bumi dari radiasi UV-B ini semakin menipis. Indikasi kerus lapisan ozon pertama kali ditemukan sekitar tiga setengah dekade yang lalu oleh tim peneliti Inggris, British Antarctic Survey (BAS), di benua Antartika. Beberapa tahun kemudian hasil pantauan menyimpulkan kerus ozon di lapisan stratosfer menjadi begitu parah. Lapisan ozon melindungi kehidupan di bumi dari radiasi ultraviolet matahari. Penipisan lapisan ozon disebabkan meningkatkan persentasi gas-gas yang bereaksi dengan ozon (O₃) sehingga mengurangi kadarnya di atmosfer.

Di pihak lain, lapisan ozon ini diperlukan untuk mengurangi penetrasi ultraviolet dari matahari. Di lain pihak, manusia juga membutuhkan ultraviolet ini guna menunjang ketersediaan vitamin D bagi setiap orang. Oleh karena itu, ozon perlu dijaga konsentrasinya sehingga kehidupan dapat berjalan dengan baik. Penipisan lapisan ozon menyebabkan lebih banyak sinar radiasi ultra ungu memasuki bumi. Radiasi ultra ungu ini dapat membuat efek pada kesehatan manusia, memusnahkan kehidupan laut, ekosistem, mengurangi hasil pertanian dan hutan. Efek utama pada manusia adalah peningkatan penyakit kanker kulit karena selain itu dapat merusak mata termasuk kataraks dan juga mungkin melemahkan sistem imunisasi badan (Masithah, 2016).

2.6. Ozone formation

Ozone formation adalah pembentukan lapisan ozon pada atmosfer. Ozon terbentuk secara alami di stratosfer dengan dua cara proses reaktif. Cara pertama, sinar ultraviolet memecahkan molekul oksigen menjadi dua atom oksigen yang terpisah. Cara kedua, masing-masing atom bereaksi dengan molekul oksigen lainnya dan membentuk molekul ozon. Berikut reaksi alami yang terjadi:



Formasi lapisan ozon di stratosfer dan troposfer ditentukan oleh keseimbangan antara proses kimia yang menghasilkan dan menghancurkan ozon (EPA, 2010)

2.7. Karakteristik Emisi

Beberapa karakteristik emisi gas buang terhadap pencemar udara diantaranya yaitu sebagai berikut:

1. Metan

Metana adalah gas yang molekulnya tersusun dari satu atom karbon dan empat atom hydrogen. Metana mudah terbakar, dan menghasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingan. Metan merupakan gas rumah kaca yang banyak di atmosfer setelah CO₂, dimana keberadaannya dapat tereduksi dengan adanya reaksi kimia dengan hidroksil (OH) radikal. Selain itu, gas metana memiliki potensi terhadap pemanasan global sebesar 21- 23 CO₂-equivalent, yang berarti setiap kg dari metana yang diemisikan ke atmosfer memiliki efek yang ekuivalen terhadap iklim bumi sebesar 21-23 kali lebih besar dari karbon dioksida selama periode waktu 100 tahun. Gas metana menyerap sebagian frekuensi dari radiasi inframerah (yang diemisikan dari permukaan bumi) yang seharusnya diteruskan ke luar angkasa (Sabljic,2009).

2. Karbon Dioksida (CO₂)

Udara merupakan campuran beberapa gas yang perbandingannya tidak tetap. Dalam udara terdapat oksigen, karbondioksida dan ozon. Gas CO₂ dalam udara murni berjumlah 0,03%, bila melebihi toleransi dapat mengganggu pernapasan. Selain itu, gas CO₂ yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO₂ disebut juga sebagai efek rumah kaca. Pemanasan global sudah lama menjadi perbincangan, namun belum juga ada cara yang efektif untuk menghilangkannya atau setidaknya untuk mengurangnya (Ghaziyad, 2015).

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah zat pencemar udara yang paling besar. Bentuk CO dalam udara sangat stabil, mempunyai waktu tinggal 2-4 bulan. CO terbentuk akibat proses pembakaran bahan karbon yang digunakan sebagai bahan bakar secara tidak sempurna. CO merupakan gas tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Dalam lingkungan CO dapat terbentuk secara

ilmiah, namun sumber utamanya adalah manusia. Pengaruh CO terhadap kesehatan (Budianto,2008). Zat gas CO ini mengganggu pengikatan oksigen pada darah karena CO lebih mudah terikat oleh darah dibandingkan dengan oksigen dan gas-gas lainnya. Pada kasus darah yang tercemar karbon monoksida dalam kadar 70% hingga 80% dapat menyebabkan kematian.

4. Sulfur Oksida (SO₂)

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna yaitu sulfur dioksida (SO₂) dan Sulfur trioksida (SO₃), dan kedua disebut sulfur oksida (SO_x), Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida adalah komponen yang tidak reaktif. Pencemaran SO_x menimbulkan dampak pada manusia dan hewan, kerus pada tanaman terjadi pada kadar 0,5 ppm. Pengaruh utama polutan SO_x pada manusia adalah iritasi sistem pernafasan pada kadar 5 ppm (Budianto,2008).

2.8. Bantalan Rel Kereta Api

Menurut PM Perhubungan 60 Tahun 2012 persyaratan tentang teknis jalur kereta api, bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel ke balas, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan didasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku. Bantalan terdiri dari bantalan beton, bantalan kayu, dan bantalan besi. Bantalan harus memenuhi persyaratan berikut:

2.8.1. Bantalan Beton Struktur Prategang:

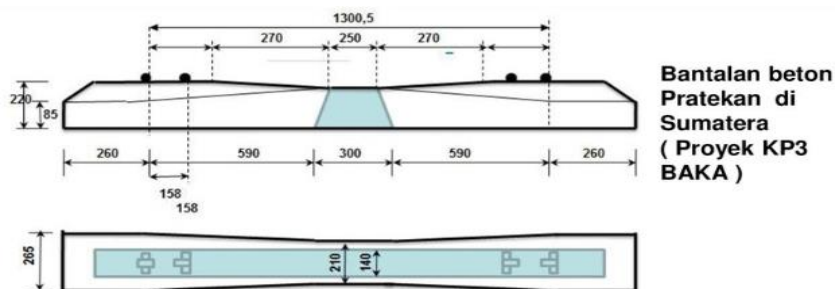
- a) Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kg m pada bagian dudukan rel dan -930 kg m pada bagian tengah bantalan.

- b) Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm^2 , dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (tensile strength) minimum sebesar 16.876 kg/cm^2 (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sesuai dengan desain beban gandar dan kecepatan.
- c) Dimensi bantalan beton;
- Untuk lebar jalan rel 1067 mm;
 - Panjang : 2.000 mm
 - Lebar maksimum : 260 mm
 - Tinggi maksimum : 220 mm
 - Untuk lebar jalan rel 1435 mm;
 - Panjang : 2.440 mm untuk beban gandar sampai dengan 22,5 ton; 2.740 mm untuk beban gandar di atas 22,5 ton.
 - Lebar maksimum : 330 mm
 - Tinggi di bawah dudukan rel : 220 mm



Gambar 2.2 Bantalan Beton

Sumber: <https://sanggapramana.wordpress.com/2010/07/16/bantalan-rel-kereta-api/>, diunduh 28 Juni 2020

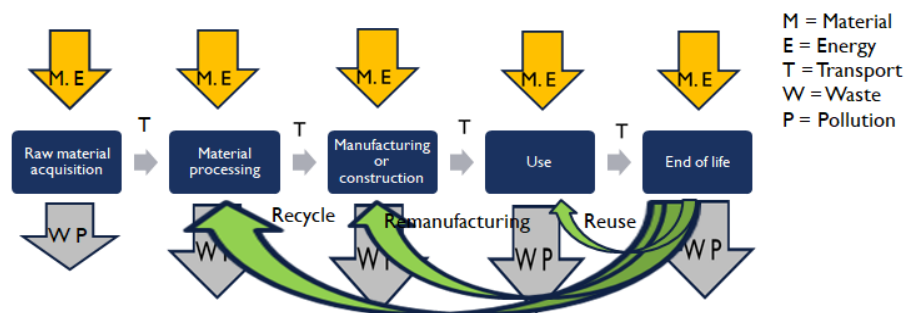


Gambar 2.3 Bantalan Beton *Prestressed*

Sumber: PT WIKA Beton

2.9. Life Cycle Assessment (LCA)

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 (Hermawan, *et al*, 2013). 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 (Bacon dalam Putri, *et al*, 2014).



Gambar 2.4 Tahapan-tahapan pada LCA

Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=pycIfvlMLrI>, diunduh 20 September 2020

Ruang lingkup pada LCA dapat dibagi menjadi empat macam ruang lingkup yaitu:

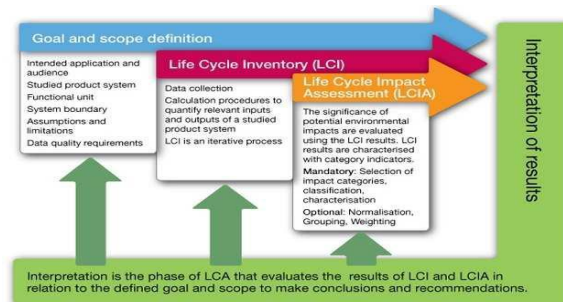
Cradle to grave, ruang lingkup pada bagian ini dimulai dari *raw material* sampai pada pengoperasian produk.

- Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari *raw material* sampai ke *gate* sebelum proses operasi.
- Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau kegiatan yang terdekat.
- Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan

ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material.

2.9.1. 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 2.5 Goal and scope pada LCA

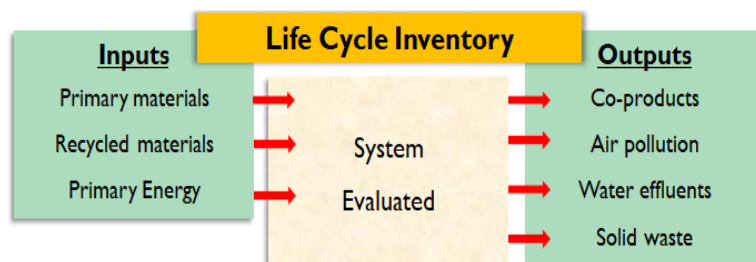
Sumber: Google.com, diunggah 21 April 2017

2.9.2. Life Cycle Inventory (LCI)

Mencakup pengumpulan data dan perhitungan *input* dan *output* ke lingkungan dari sistem untuk melakukan daur hidup suatu produk. Dalam fase ini menginventarisasi penggunaan sumber daya, penggunaan energi dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang dievaluasi yang meliputi;

- a. Input: energi, bahan baku, tambahan dan masukan material fisik lainnya.
- b. Produk, sub-produk dan limbah.
- c. Distribusi ke udara, air, tanah, dan
- d. Faktor lingkungan lainnya.

Adapaun gambaran selengkapnya proses *inventory analisis* ditujukan pada sebagai berikut:



Gambar 2.6 Life Cycle Inventory of generic product

Sumber: <https://www.youtube.com/watch?v=pycIfvIMLrI>, diunduh 20 Juni 2020

2.9.3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahapan ini mencakup evaluasi terhadap *life cycle inventory* dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir (Marzuki, Abduh, Driejana, & Hermawan, 2013). 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 (Sitepu, 2011) :

- *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.
- *Normalization*, merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai dan dibandingkan dan disederhanakan dibuat dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya *valuation* adalah untuk mendapat nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga 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.

2.9.4. Interpretation of Result

Interpretasi merupakan integrasi dari hasil *life-cycle inventory* (LCI) dan *life-cycle impact assessment* (LCIA) yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi serta menarik kesimpulan dan rekomendasi yang konsisten. Hasil dari analisis LCI dan penilaian dampak diangkum selama fase interpretasi.

2.10. Life Cycle Assessment Bantalan Beton

Dalam kegiatan produksi bantalan jenis beton dan baja dilakukan berbagai tahapan. Tahapan tersebut meliputi eksplorasi dan produksi, proses pengolahan pada distribusi bantalan jenis beton, baja dan penggunaan bantalan beton, baja. Beton pada awalnya diperoleh dari kegiatan eksplorasi dan produksi dimana dilakukan pengambilan hidrokarbon didalam bumi. Produk dari kegiatan pengolahan didistribusikan keseluruh Indonesia.

Produk yang telah didistribusikan sampai pada pengguna bantalan jenis beton. Penggunaan bantalan jenis beton ini menghasilkan produk berupa emisi. Emisi yang dihasilkan dari kegiatan tersebut terlepas ke atmosfer. Tidak semua emisi yang lepas dapat diserap kembali oleh bumi, sehingga hanya gas CO₂ yang mampu terserap oleh tanaman. Sehingga gas lainnya bereaksi secara bebas di atmosfer.



Gambar 2.7 Mekanisme produksi beton

Sumber: Google.com/pusatbetonjayamix.com, diunduh 28 April 2020

2.11. Perangkat Lunak Simapro 9.0

Simapro merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan kajian dampak lingkungan dari suatu sistem amatan tertentu. Data yang dimasukkan dalam perangkat lunak Simapro 9.0 ditentukan berdasarkan deskripsi sistem amatan yang sudah dijelaskan sebelumnya meliputi distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar, 2015). Perangkat lunak Simapro yang digunakan didalam analisis LCA ini adalah Simapro versi 9.0. Perangkat lunak Simapro dengan versi terbaru ini memiliki update dari database dari standar-standar didalam analisis ekologi, dan pada versi terbaru ini

20

memiliki database LCA atau database eko-inventori yang terbaru. Hasilnya mengkalkulasi inputan seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan outputan kedalam bentuk nilai grafik. Simapro 9.0 memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

- Bersifat fleksibel.
- Dapat digunakan secara multi-user-version sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi.
- Memiliki metode dampak yang beragam.
- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak.
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya.

Perangkat lunak ini hadir dalam 3 tipe versi, yang diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan pengguna dan diantaranya adalah sebagai berikut;

- Simapro *Compact* : digunakan untuk mengatur tugas kompleks.
- Simapro *Analyst* : digunakan untuk melakukan permodelan siklus hidup dan berisi fitur analisis yang canggih.
- Simapro *Developer*: digunakan untuk menciptakan alat penilaian siklus hidup yang berdedikasi dengan fitur diperpanjang seperti langsung menghubungkan dengan excell. Berikut tabel metode yang terdapat dalam Simapro 9.0:

Tabel 2.4 Metode analisis pada Simapro 9.0

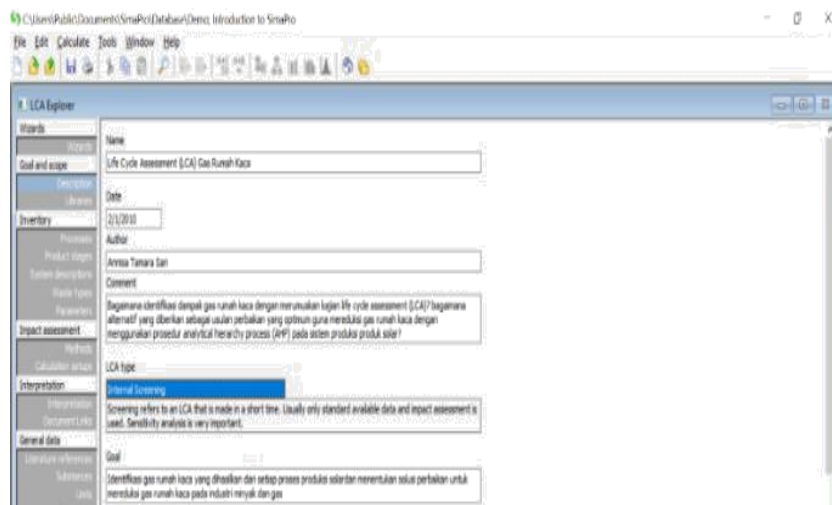
No.	Metode	Keterangan
1	CML-IA	Pendekatan titik tengah
2	Ecplogical Scarcity	Metode ini mempertimbangkan dampak lingkungan emisi polutan dan konsumsi sumber daya
3	EDIP 2003	Pendekatan dampak lingkungan pada kegiatan <i>industrial product</i>
4	EPD 2013	Metode yang memiliki konsep deklarasi produk ramah lingkungan
5	EPS 2000	Metode yang diperuntukkan untuk pengembangan produk internal perusahaan. Model dan data dibuat dari sudut pandang utilitas yang diharapkan dari suatu produk pengembangan.

No.	Metode	Keterangan
6	Impact 2002+	Metodologi penilaian dampak dengan implementasi pendekatan midpoint/damage gabungan yang sesuai, yang menghubungkan semua jenis inventaris siklus hidup.
7	ReCiPe	Metode dengan mengintegrasikan pendekatan berorientasi masalah dan pendekatan berorientasikan kerus.
8	ILCD 2011Midpoint+	Penerapan metode koreksi
9	Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)	Metode ini menggabungkan penilaian siklus hidup parsial dan biaya siklus hidup untuk bahan bangunan dan konstruksi menjadi alat. Metode ini membantu dalam pemilihan produk yang menyeimbangkan lingkungan dan ekonomi kerja
10	IPCC 2013	Metode berdasarkan faktor perubahan iklim dengan jangka waktu 20 dan 100 tahun

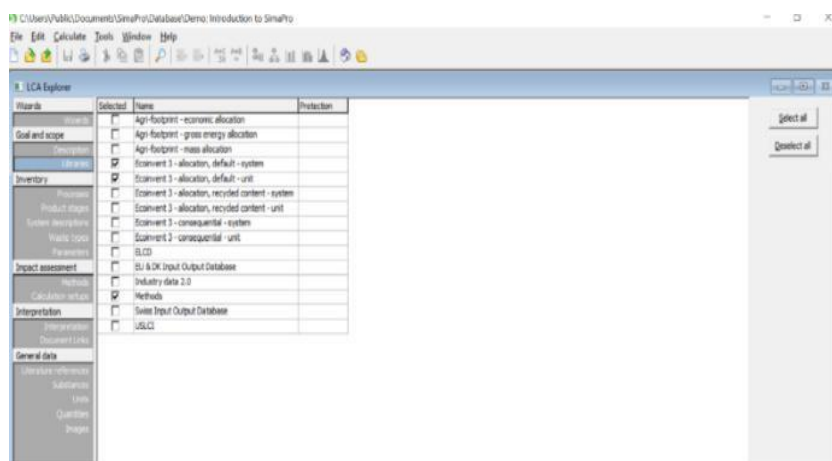
Sumber: Simapro 9.0

b. Menentukan *Goal and scope*

Text field, berfungsi untuk menginput data peneliti, judul penelitian, tanggal penelitian, komentar, alasan dan tujuan melakukan objek yang dilakukan analisis LCA. Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang digunakan;



Gambar 2.8 Input menentukan *goal*
 Sumber : Simapro 9.0 Tutorial



Gambar 2.9 Input menentukan *scope*
 Sumber : Simapro 9.0 Tutorial

Pada tahap ini dipilih *scope* penelitian yang dipilih adalah *industry* data 2.0. *Scope* ini dipilih dikarenakan fokus terhadap:

- Input
 Input dari data ini berupa material/bahan dan energi yang digunakan pada kegiatan industri produksi pada bantalan beton.
- Output
 Output pada kegiatan beton berupa emisi efek gas rumah kaca dengan komponen pencemar udara.

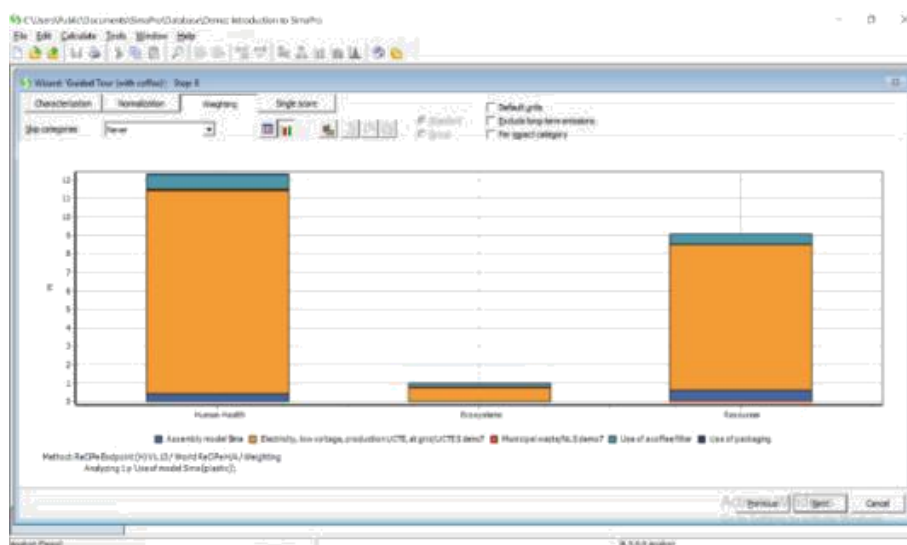
b) Melakukan inventarisasi

- *Process*, merupakan input data mengenai input dan output, documentation, parameter, dan system description mengenai proses kegiatan produksi industri tersebut.
- *Product stages*, mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan, dan dibuang.
- *System description*, rekaman terpisah untuk mendeskripsikan struktur dari sistem.
- *Waste types*, terdapat *waste scenarios* (material dibuang) dan *disposal scenarios* (produk yang digunakan kembali).

Pada tahap ini diinput data, seperti proses pada produksi solar yang menghasilkan emisi gas rumah kaca. Kemudian dimasukkan beban emisi yang dihasilkan, dimana data ini dalam jumlah per tahun.

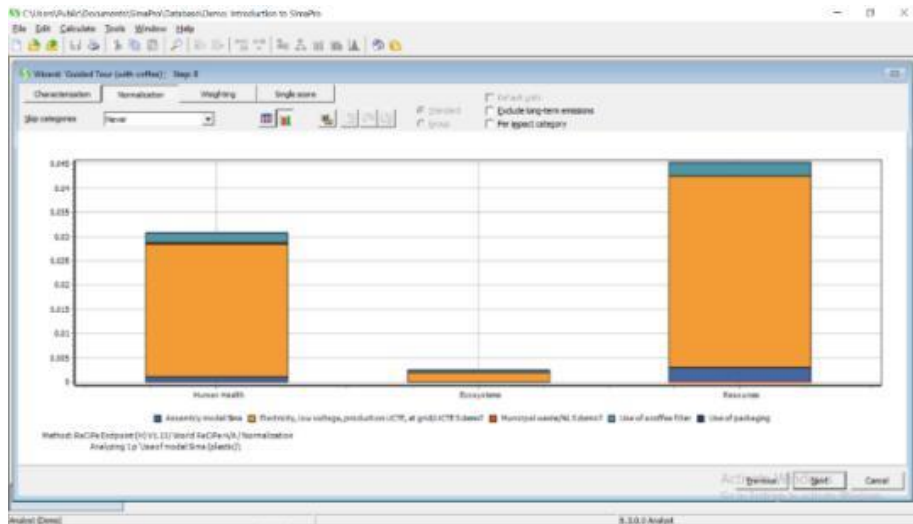
c) Penilaian terhadap cemaran

- *Characterization*, merupakan senyawa kimia pada suatu proses yang memiliki kontribusi pada 14 impact category yang terdapat pada LCA. Pada *characterization* disajikan nilai prosentase masing masing emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sub proses terhadap 1 *impact category*.



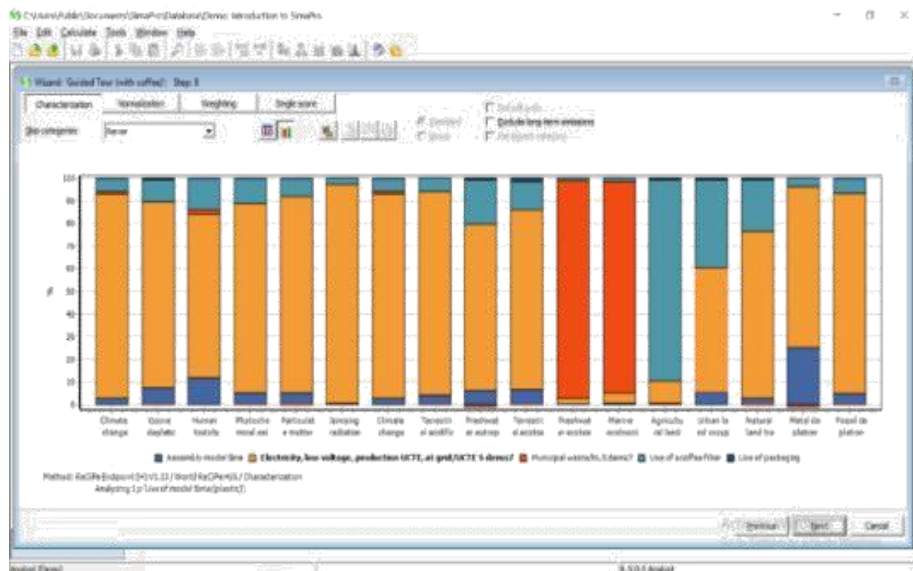
Gambar 2.10 Characterization
Sumber : Simapro 9.0 Tutorial

- *Normalization*, merupakan penilaian dengan membandingkan hasil dari *impact category indicator* dengan nilai normal. Hal ini bertujuan menyetar satuan sesuai ketentuan satuan masing-masing *impact category* secara internasional. Seperti pada *impact climate change*, hasil emisi dikonversi menjadi CO₂.



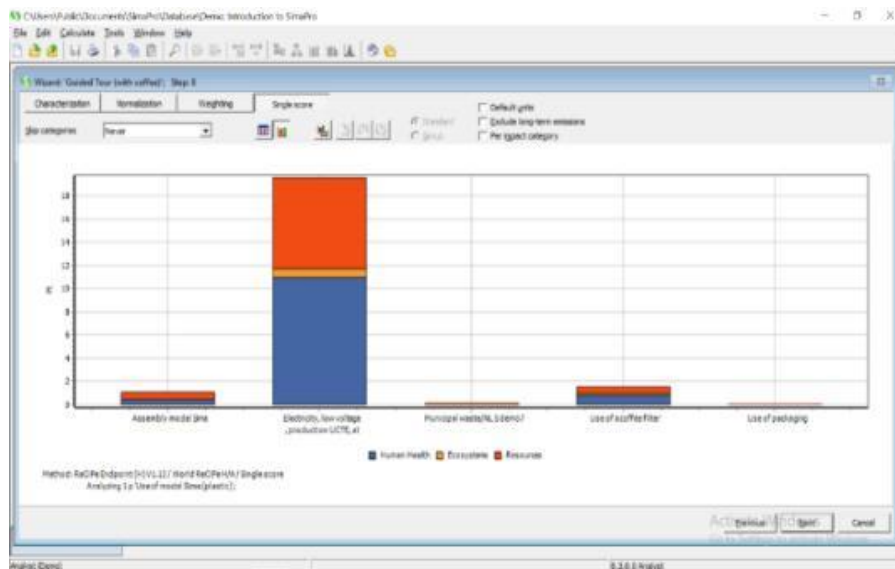
Gambar 2.11 Normalization
Sumber : Simapro 9.0 Tutorial

- *Weighting*, merupakan proses mengkalikan *impact category indicator* dengan *weighting score* dan diakumulasikan sebagai *total score*.



Gambar 2.12 Weighting
Sumber : Simapro 9.0 Tutorial

- *Single score*, merupakan proses yang memperlihatkan proses produksi yang mempunyai dampak terhadap lingkungan.



Gambar 2.13 Single score
Sumber : Simapro 9.0 Tutorial

d) Interpretasi data

Mengevaluasi suatu kesimpulan untuk digambarkan dan bagaimana dapat dipertanggung jawabkannya.

2.12. Skenario Analisis dengan Agregat Fly ash

Pada percobaan simulasi agregat *fly ash* atau abu sekam terhadap campuran produksi bantalan beton jalan rel tipe *prestressed* ini, ada beberapa asumsi skenario pencampuran antara bahan semen dan *fly ash* sebagai alternatif pengganti *secondary* material yaitu material pasir. Dengan asumsi percobaan *fly ash* dicampurkan ke material bantalan beton, maka dapat diharapkan mampu berkontribusi menurunkan pelepasan emisi terhadap atmosfer.

Langkah-langkah pencampuran bahan *fly ash* dengan mengasumsikan bobot pencampuran 3 skenario, diantaranya:

- ❖ Skenario 1 : 100% semen, tanpa *fly ash*
- ❖ Skenario 2 : 90% semen dan *fly ash* 10%
- ❖ Skenario 3 : 80% semen dan *fly ash* 20%

2.13 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu tentang analisa kapasitas lintas yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ariyani N dan Laia P. (2013) dengan judul jurnal "*Pengaruh Pemakaian Fly Ash dan Superplasticizer Pada Kuat Tekan Beton*". Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan campuran beton dan mengetahui besar kuat desak beton yang telah menggunakan zat kimia superplasticizer (*Sikacim Concrete Additive*) dan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dengan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengembangan teknologi beton menyangkut penambahan *superplasticizer (Sikacim Concrete Additive)* dan *fly ash* pada campuran beton dapat dihasilkan kuat tekan maksimum dicapai pada campuran penggantian fly ash 20% (BP20%) sebesar 55,95 MPa.
2. Rahmadi, Mary Selintung, dan Muh. Isran Ramli (2018), dengan judul jurnal "*Besaran Carbon Dioksida (CO₂) Rencana Pembangunan Monorel di Kota Makassar Berbasis Life Cycle Assessment (LCA)*". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran carbon dioksida (CO₂) yang di hasilkan dari pengimplementasian rencana pembangunan monorail di kota Makassar dengan menggunakan metode *life cycle assessment (LCA)*. Dalam hal ini, analisis besaran (CO₂) di mulai sejak masa pembangunan hingga usia pengoperasian monorel tercapai. Hasil menunjukkan berdasarkan hasil analisis besaran CO₂ pada pekerjaan struktur Monorail Makassar memberikan sumbangan emisi CO₂ terbesar dari aktifitas transportasi dan yang terendah pada aktifitas konstruksi, ini disebabkan oleh peningkatan aktifitas yang begitu besar di bidang transportasi terhadap beberapa jenis material.
3. M. Kiani, H. Ceney, Tony Parry (2008), dalam penelitian yang berjudul "*Environmental Life Cycle Assessment Of Basic Railroad Tracks*". Melakukan analisis bantalan jalan rel beton untuk mengetahui biaya siklus hidup yang lebih rendah dan secara aktif dipromosikan untuk digunakan di Inggris. Berdasarkan penelitian ini dapat diketahui perbandingan analisis siklus hidup konsumsi energi dan emisi karbon dioksida menunjukkan bahwa bantalan rel pelat beton

tidak terkait dengan beban lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bantalan rel.

4. Karina E. Seto, Cameron J. Churchill, dan Daman K. Panesar (2017), dengan penelitiannya yang berjudul "*The Effect Of The Fly Ash Allocation Approach on The Life Cycle Assessment of Cement-Based Materials*". Makalah ini membandingkan secara kritis metode pengalokasian dampak lingkungan dari produksi abu layang dalam studi *life cycle assessment* (LCA) beton, berdasarkan evaluasi variabilitas hasil LCA. Model LCA beton yang mengandung 10, 25 dan 50% fly ash sebagai pengganti semen dibuat berdasarkan empat skenario alokasi diantaranya: *Baseline-No Allocation*, *Mass Allocation*, *Economic Allocation*, dan *Penghindaran Pembuangan*. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa peningkatan kadar fly ash dalam beton dapat menghasilkan beton dengan dampak lingkungan yang lebih rendah tetapi sejauh mana penurunan tersebut sangat tergantung pada skenario alokasi yang diterapkan.
5. James Rodd, Warren North (2017), pada penelitiannya yang berjudul "*Life Cycle Assessment (LCA) of Benchmark Concrete Products in Australia*". Tujuan studi penilaian siklus hidup (*Life Cycle Assessment / LCA*) yang komprehensif dilakukan untuk menyelidiki dampak lingkungan yang terkait dengan pembuatan empat belas produk beton patokan di Australia termasuk beton, mortar, grout, dan render. Model LCA *cradle-to-gate* untuk setiap produk ditentukan berdasarkan kerangka kerja Standar ISO 14040 dan 14044 dan dalam hubungannya dengan modul A1 hingga A4 Standar Eropa EN 15804. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu menetapkan titik acuan industri untuk produk semen mendukung keberlanjutan dalam produksi dan pelacakan perubahan masa depan dalam emisi bahan konstruksi yang mengandung semen.
6. Mieke De Schepper, Philip Van den Heede, Isabel Van Driessche, and Nele De Belie (2014), dalam penelitiannya yang berjudul "*Life Cycle Assessment of Completely Recyclable Concrete*". Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dampak dari campuran beton terhadap lingkungan hidup dengan mengikuti prinsip *cradle-to-cradle* (C2C). Hasil dari penelitian ini adalah dapat mengetahui berkurangnya signifikan potensi pemanasan global dari produksi beton.

Tabel 2.5 Rekapitulasi penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Metode Analisis		Lokasi Penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian
		Analitis	Simulasi			
1	Ariyani N dan Laia P. (2013)	Rumus perhitungan beton	-	Indonesia	Mendapatkan perbandingan campuran beton dan mengetahui besar kuat desak beton yang telah menggunakan zat kimia superplasticizer	Mengetahui pengembangan teknologi beton dan <i>fly ash</i> pada campuran beton agar dihasilkan kuat tekan maksimum dicapai pada campuran penggantian fly ash 20% (BP20%) sebesar 55,95 MPa.
2	Rahmadi, Mary Selintung, dan Muh. Isran Ramli (2018)	Rumus GRK	-	Indonesia	Mengetahui besaran carbon dioksida (CO ₂) yang di hasilkan dari pengimplementasian rencana pembangunan monorail dengan menggunakan metode life cycle assessment (LCA)	Berdasarkan hasil analisis besaran CO ₂ pada pekerjaan struktur Monorail Makassar memberikan sumbangan emisi CO ₂
3	M. Kiani, H. Ceney, Tony Parry (2008)	-	Rumus calculation LCA	Inggris	Melakukan analisis bantalan jalan rel beton untuk mengetahui biaya siklus hidup yang lebih rendah	Mengetahui perbandingan analisis siklus hidup konsumsi energi dan emisi karbon dioksida bantalan rel.
4	Karina E. Seto, Cameron J. Churchill, dan Daman K. Panesar (2017)	-	Mass allocation	Inggris	Membandingkan secara kritis metode pengalokasian dampak lingkungan dari produksi abu terbang beton yang mengandung 10, 25 dan 50% fly ash sebagai pengganti semen	Peningkatan kadar fly ash dalam beton dapat menghasilkan beton dengan dampak lingkungan yang lebih rendah
5	James Rodd, Warren North (2017)	-	GaBi	Australia	Studi penilaian siklus hidup (<i>Life Cycle Assessment / LCA</i>) yang komprehensif dilakukan untuk menyelidiki dampak lingkungan yang terkait dengan pembuatan empat belas produk beton patokan di Australia	Pelacakan perubahan masa depan dalam emisi bahan konstruksi yang mengandung semen
6	Mieke De Schepper, Philip Van den Heede, Isabel Van Driessche, and Nele De Belie (2014)	-	Simapro	Belgia	Untuk mengukur dampak dari campuran beton terhadap lingkungan hidup dengan mengikuti prinsip <i>cradle-to-cradle</i> (C2C)	Mengetahui berkurangnya signifikan potensi pemanasan global dari produksi beton

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun untuk memberikan panduan secara sistematis dalam melakukan penelitian. Susunan metode penelitian ini berdasarkan tujuan secara umum penelitian, yakni mendapatkan alternatif proses produksi. Dari tujuan secara umum kemudian dirancang menjadi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, menganalisis gas rumah kaca menggunakan *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan *software* Simapro 9.0.

3.2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

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 kebij alternatif proses produksi dengan menginput hasil wawancara.

3.2.1. Studi Literatur

Sumber literatur yang digunakan berupa jurnal internasional, jurnal nasional, dan *text book* yang berhubungan dengan penelitian. Studi literatur yang dipelajari antara lain:

- a. Proses produksi produksi bantalan jalan rel beton prestressed mutu K-600 pada PT Wika Beton-Pasuruan. Memahami teori produksi bantalan jalan rel beton perstressed secara detail mulai dari batching plan hingga menghasilkan produk pencemaran udara.
- b. Dampak lingkungan yang diakibatkan dari proses produksi bantalan jalan raya beton prestressed terhadap udara. Studi literatur ini dilakukan untuk mengetahui substansi apa yang menyebabkan dampak, proses atau reaksi terjadinya dampak, dan efek akibat dampak.

- c. Metode LCA, terkait tahapan LCA yaitu *goal and scope*, LCI, LCIA, dan interpretasi data *Life Cycle Assessment* (LCA).
- d. Skenario program lingkungan dalam penurunan dampak. Mencari referensi program-program penurunan dampak dari berbagai produksi beton didunia yang dapat dijadikan pilihan skenario terbaik.

3.2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan ada yaitu, data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari pihak perusahaan. Data tersebut dibutuhkan untuk mendukung dan memperkuat penelitian dalam rentang waktu (hari/minggu). Data-data yang dibutuhkan, antara lain;

Tabel 3.1 Kebutuhan data

No.	Jenis Data	Metode Pengambilan	Durasi	Asal Data
1.	Gambar detail dan potongan BJR	Data Sekunder	Maret – 2020	PT Wika Beton
2.	Data kebutuhan material	Data Sekunder	Maret – 2020	PT Wika Beton
3.	Data konsumsi listrik, BBM	Data Sekunder	Maret – 2020	PT Wika Beton

3.2.3. Analsisi Data dan Pembahasan

Data sekunder yang telah diperoleh lalu diinput kedalam bentuk *software* Simapro 9.0 bertujuan untuk menganalisis *Life Cycle Assessment* (LCA). Penginputan data berupa data bahan baku, energi dan emisi yang dihasilkan dari setiap proses produksi. Data yang telah diinput menghasilkan jumlah gas rumah kaca tiap ton produk (kg/CO₂).

Dalam penyusunan penelitian diperlukan alur berpikir dan pelaksanaan dari awal hingga akhir penulisan. Untuk diagram alir dalam penyusunan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.3. Kajian LCA

Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan analisis menggunakan Simapro 9.0. Terlebih dahulu dilakukan input data bahan baku, energi dan emisi yang digunakan pada setiap kegiatan proses produksi bantalan. Input data pada proses eksplorasi dan produksi adalah semen, pasir, agregat dan proses pengolahan yaitu crude oil. Pada kegiatan distribusi masuk pada sistem shipping pada proses pengolahan. Sedangkan untuk kegiatan penggunaan dilakukan inventarisasi emisi.

3.3.1. Penentuan *Goal and scope*

Tahap ini terdiri dari 2 bagian yaitu *Goal* dan *Scope*. *Goal* adalah pembuatan pernyataan terkait tujuan yang ingin dicapai dan kepada siapa hasil LCA di komunikasikan. *Scope* adalah detail penelitian. Penentuan tujuan penelitian didasari dari ide penelitian, yaitu adalah mengidentifikasi emisi pada proses produksi bantalan pada *batching plant*.. Berdasarkan input dan output yang terjadi pada kegiatan proses produksi bantalan, input penelitian ini merupakan bahan baku (*raw material*) dan penggunaan konsumsi energi. Sedangkan untuk output penelitian merupakan lepasnya emisi pada produksi material.

3.3.2. *Life Cycle Inventory*

Life Cycle Inventory melakukan penginputan data berupa bahan baku dan energi yang digunakan pada setiap proses produksi material bantalan yang dibutuhkan. Kemudian menginput emisi gas yang dihasilkan. Data yang diinput dikonversi kedalam satuan per kg/CO₂ dalam kurun waktu tertentu.

3.3.3. *Life Cycle Impact Assessment*

Dampak lingkungan yang dihasilkan dilakukan penilaian menggunakan metode Environmental Design of Industrial Products (EDIP) 2003. Metode ini dipilih karena memiliki *Scope* yang fokus pada kegiatan industri dan *impact category* yang berkaitan terhadap dampak emisi terhadap udara. *Impact category* yang tersedia pada metode ini adalah *global warming 100a*, *ozone depletion*, *ozone formation*, *acidification*, *terrestrial eutrophication*, *aquatic eutrophication EP*,

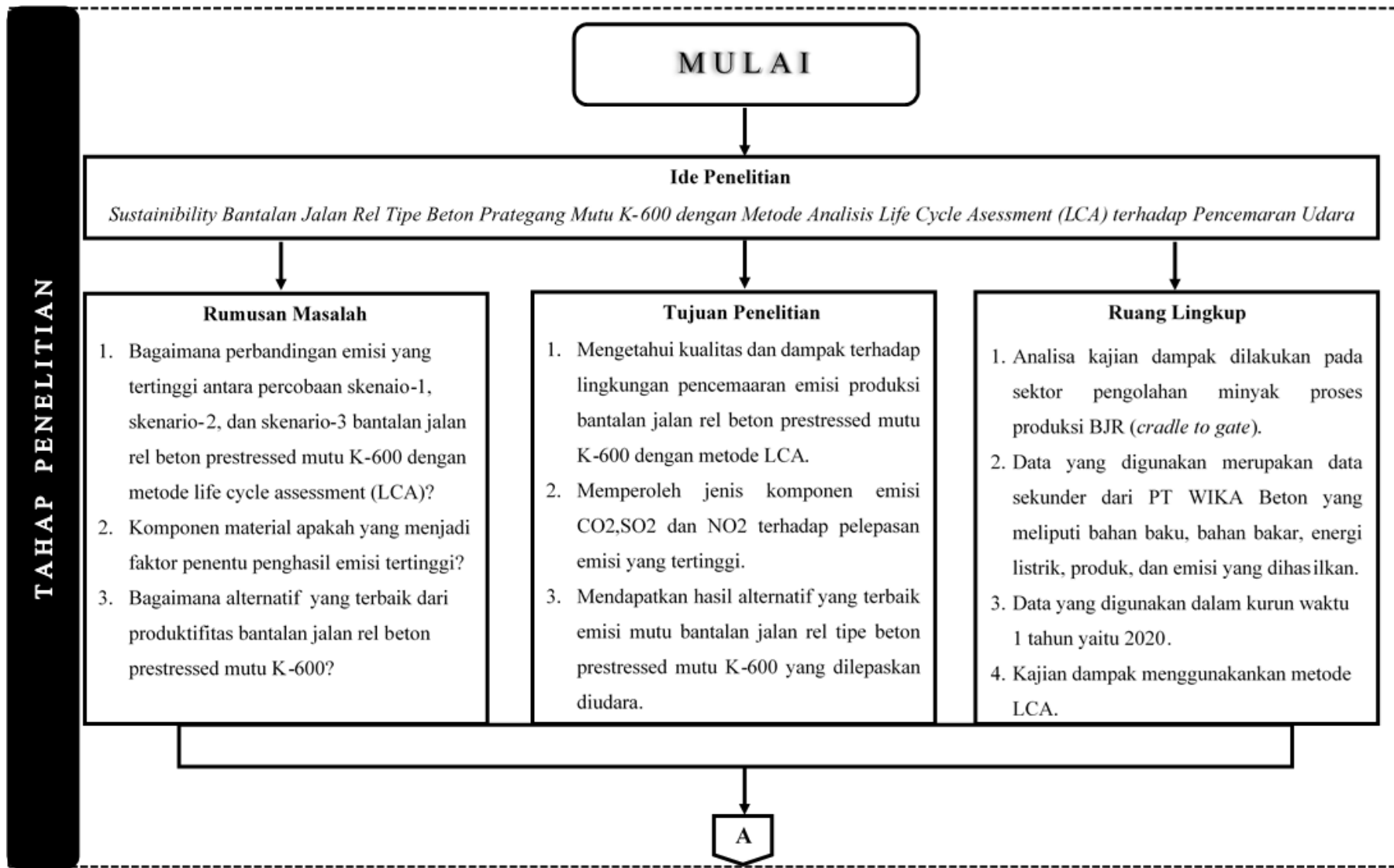
human toxicity, ecotoxicity, hazardous waste, slag/ashes, bulk waste, radioactive waste, dan resources. Dari *impact category* tersebut dipilih yang berkaitan dengan dampak pelepasan di udara. Hasil daripada penginputan data *life cycle inventory* diperoleh kedalam bentuk grafik dari setiap proses dimana menunjukkan nilai *impact assessment* yang menjadi prioritas. Prioritas *impact assessment* pada penelitian ini dipilih berdasarkan besarnya dampak yang ditimbulkan oleh emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara.

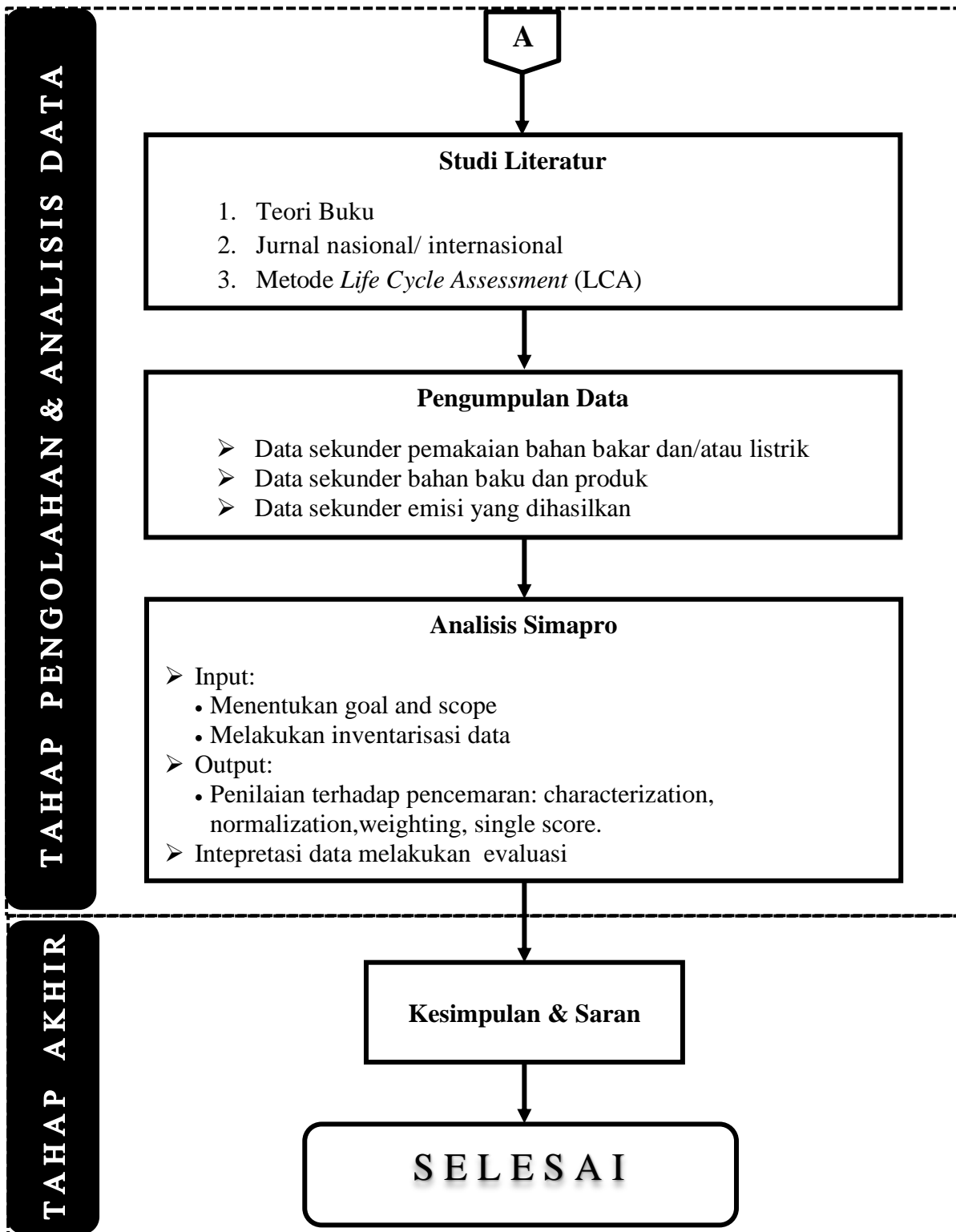
3.4. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan yaitu, penarikan kesimpulan dan saran yang dilakukan setelah menyelesaikan tahap analisis data dan pembahasan. Kesimpulan dilakukan berujuan untuk menjawab tujuan pada penelitian yang dilakukan. Sedangkan saran, ditujukan untuk memberi masukan, petunjuk dan pengembangan terhadap penelitian sejenis yang mungkin dilakukan. Saran yang diberikan merupakan bentuk rekomendasi untuk menyempurn penelitian di datang.

3.5. Diagram Alir Metodologi

Berikut diagram alir metodologi penelitian sebagai berikut:





Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Profil Wijaya Karya Beton

WIKA BETON adalah salah satu dari anak perusahaan yang telah berdiri sejak 11 Maret 1997, anak perusahaan ini merupakan perluasan WIKA di bidang industri beton pracetakan. WIKA telah memulai konsentrasi pada industri beton pracetakan pada tahun 1977 dengan mengembangkan produk beton pracetakan untuk teras perumahan. Sejak saat itu, WIKA bertekad mempertahankan pengembangan produk tersebut untuk mengantisipasi adanya pengembangan perencanaan dan datangnya proyek-proyek infrastruktur lain.

Pengembangan produk tersebut telah menciptakan beberapa hasil seperti tiang beton untuk jalur pendistribusian energi dan bantalan beton pracetakan serta produk lainnya seperti bantalan - bantalan rel kereta api, produk beton untuk jembatan, pipa, dinding penahan tanah dan bangunan gedung dan perumahan yang diimplementasikan untuk berbagai macam proyek. Produk-produk ini dihasilkan pada waktu yang tepat dan diprediksikan menjadi produk pemimpin di pasaran.

Terlepas dari usaha keras dalam pengembangan produk, WIKA juga melanjutkan pengembangan produk-produk infrastruktur dengan menambah jumlah pabrik di beberapa lokasi. Kini, WIKA BETON telah memiliki 7 pabrik di seluruh Indonesia, seperti di Sumatra Utara, Lampung, Bogor, Majalengka, Boyolali, Pasuruan dan Sulawesi Selatan. Didukung dengan kepemilikan pabrik sendiri, produk yang bervariasi seperti halnya manajemen yang profesional, WIKA BETON telah menjadi penghasil utama dan pemimpin dalam industri beton pracetakan di Indonesia. Dalam hal konsistensi jaminan kualitas, WIKA BETON telah melaksan "*Quality Management System*" yang selaras dengan ISO 9000.



Gambar 4.1 Bantalan jalan rel beton *prestressed*
 Sumber: PT WIKA Beton, Pasuruan

4.2. Proses Produksi Bantalan Jalan Rel Jenis *Pre-stressed*

Berdasarkan alur proses produksi BJR jenis *prestressed* oleh PT WIKA BETON dapat digolongkan dalam 1 unit proses. Kegiatan proses produksi terdiri dari kegiatan eksplorasi dan produksi (hulu), pengolahan (hilir), dan distribusi, berikut diagram berikut alir proses produksi pada gambar 4.2



Gambar 4.2 Peta lokasi penelitian
 Sumber: Google Earth, diakses pada 2020

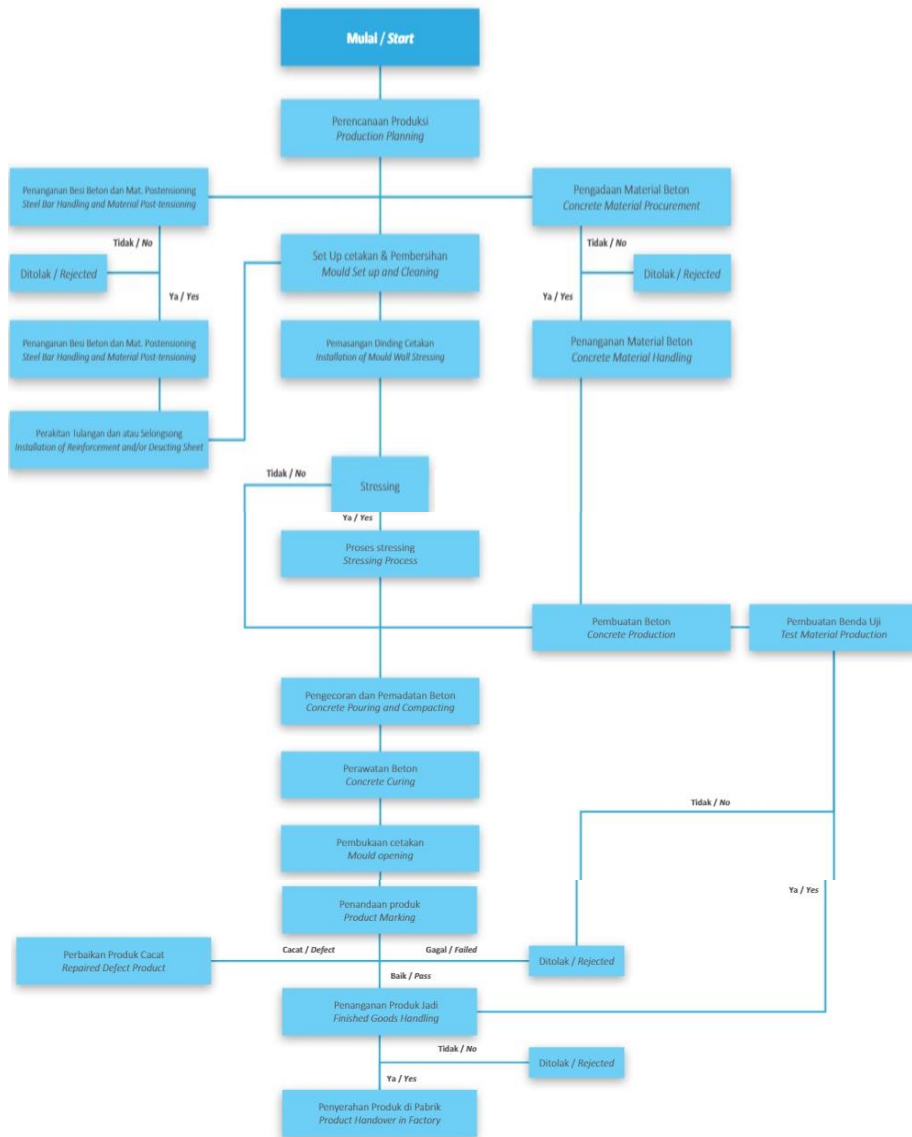
Dari gambar diatas diketahui pengambilan data penelitian berada dilokasi PT WIKA BETON, Gempol - Pasuruan yang terletak pada Provinsi Jawa Timur.

4.2.1 Proses Produksi BJR

Produksi PT WIKA BETON memiliki 9 (sembilan) pabrik di tujuh lokasi di seluruh Indonesia, seperti di Sumatera Utara, Lampung, Lampung Selatan, Bogor, Karawang, Majalengka, Boyolali, Pasuruan, Sulawesi Selatan dan 2 (dua) pabrik dari anak perusahaan. Proses produksi beton pracetakanak putar melalui

tahapan, proses pendistribusian, pembentukan dan pemadatan beton, menggunakan mesin dengan sistem cetakan diputar pada kecepatan/rpm tertentu, sedangkan, proses produksi beton non-putar dilakukan melalui tahapan proses pendistribusian dan pemadatan dengan cara vibrasi (eksternal dan atau internal vibrator). Alur proses eksplorasi dan produksi dapat dilihat pada gambar 4.2

Diagram Alur Proses Beton Non-Putar
Non-Centrifugal Precast Concrete Process Flowchart



Gambar 4.3 Diagram alur proses produksi beton pracetak

Sumber: <https://investor.wikabeton.co.id/misc/AR/flipbook/2016/124/#zoom=z> , diakses 23 Mei 2020

4.2.1.1 Data Bahan Baku dan Produksi

Kegiatan produksi mencakup jumlah bahan baku, unit proses yang digunakan serta jumlah produk yang dihasilkan. Selain itu dalam operasionalnya digunakan energi dalam unit prosesnya. Berikut tabel jumlah bahan baku, unit proses, dan bahan bakar yang digunakan.

4.2.1.2 Beban Emisi

PT WIKA BETON eksplorasi dan produksi dalam kegiatannya melakukan inventarisasi sesuai yang tercantum dalam PerMen LH no.13 tahun 2009. Dalam kegiatannya dihasilkan emisi berupa gas rumah kaca dan gas pencemar udara yaitu CO₂, SO₂, dan NO₂. Sumber emisi tersebut berasal dari kegiatan pembakaran dalam dan luar, listrik, dan kendaraan operasional di wilayah kerja. Berikut tabel jumlah emisi yang dihasilkan pada setiap kegiatan eksplorasi dan produksi dalam satu tahun.

4.2.1.3 Emisi yang Dihasilkan dalam 1 ton Produk BJR

Pada proses eksplorasi dan produksi diketahui jumlah produk bantalan jalan rel beton yang dimiliki oleh PT WIKA BETON, Pasuruan. Berikut jumlah bantalan jalan rel:

Tabel 4.1 Data produksi BJR PT WIKA BETON

Item Produksi	Jumlah Produksi		Volume 1 Batang (BJR/m ³)	Berat 1 Batang BJR (kg/m ³)	Total BJR (Batang)
	(ton/tahun)	(kg/tahun)			
BJR Beton Prategang	2.000	2.000.000	0,075	180	11.111

Sumber: PT WIKA BETON

Setelah diketahui jumlah BJR yang diproduksi maka dilakukan perhitungan emisi yang dihasilkan dalam satuan ton/produk. 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 proses eksplorasi dan produksi.

Perhitungan total emisi per produk :

$$\text{Emisi CO}_2 = V_{\text{semen}} \times C_{\text{klinker}} \times \text{EF}_{\text{klinker}} \dots (1)$$

Keterangan:

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

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

$$\text{EF}_{\text{klinker}} = \text{Faktor emisi klinker dalam semen}$$

Damayanti & Lestari (2011) memberikan penjelasan nilai default faktor emisi dari produksi klinker ($\text{EF}_{\text{klinker}}$) adalah 0,51 ton CO₂ 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_{klinker}) adalah 95% berdasarkan pedoman yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (2012), kebutuhan material terdapat pada lampiran-1.

$$\begin{aligned} \therefore \text{Total Emisi CO}_2 &= 217,44 \times 1,02 \times 0,95 \\ &= 210,69 \text{ m}^3/\text{CO}_2 \rightarrow \text{Konversi ke ton} \\ \text{CO}_2 & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konversi ke ton CO}_2 &= 210,69 \text{ m}^3 / 0,00048 \text{ m}^3 \\ &= 438.937,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{Total Emisi Semen} &= \text{Emisi} / \text{Jumlah Produk} \\ &= 438,9 \text{ ton CO}_2 / 2000 \text{ ton/thn} \\ &= 0,219 \text{ ton CO}_2/\text{produk} \end{aligned}$$

4.2.2 Proses Pengolahan Beton BJR (Bantalan Jalan Rel)

Dari sektor produksi pada unit pabrikasi dilakukan *primary process*. Pada unit pabrikasi, bertujuan untuk menjadikan produk-produk berasal dari *quarry* material menjadi bantalan beton jalan rel. Dimana perubahan sektor produksi menjadi beton pracetakan BJR berdasarkan dari komposisi material yang telah ditentukan. Bahan baku produksi nantinya diproses dengan mobilisasi menggunakan obyek angkut trailer, forklift, dan dump truck.

Tabel 4.2 Jumlah pemakaian bahan baku BJR

No.	Item Kendaraan Angkut BJR	Jumlah Mobilisasi BJR (liter/tahun)
1.	Forklift	226.800
2.	Trailer	7.560
3.	Dump Truck	60.480
TOTAL		294.840

Sumber: PT WIKA BETON

Langkah perhitungan dengan spreadsheet perhatikan contoh *spreadsheet*, dibawah ini:

1. Masukkan volume konsumsi bahan bakar pada kolom A (baris solar: 298.935kL)
2. Masukkan nilai factor konversi ke kolom B (baris diesel oil: 0,036 TJ/kL)
3. Pada kolom C konversikan volume konsumsi dari kilo liter menjadi TJ dengan cara kalikan konsumsi bahan bakar dengan faktor emisi (baris solar: 298.935 kL x 0,036 TJ/kL = 10.762kL)
4. Masukkan Faktor Emisi CO₂ pada kolom D (baris solar: 74.100 kg CO₂/TJ menyesuaikan kondisi kategori stasioner tidak bergerak)
5. Pada kolom E hitung besarnya emisi CO₂ dengan cara kalikan kolom C dengan kolom D dan bagi dengan 10⁶ untuk konversi dari kg ke giga gram (baris solar: 10.762TJ x 74.100 kg/TJ /10⁶ = 797.439 Gg CO₂)
6. Masukkan Faktor Emisi CH₄ ke kolom F (baris solar: 3.900 kg /TJ)
7. Pada kolom G hitung besarnya emisi CH₄ dengan cara kalikan kolom C dengan kolom F dan bagi dengan 10⁶ untuk konversi dari kg ke giga gram (baris solar: 10.762kL x 3.900 kg/TJ /10⁶ = 0,04197 Gg CH₄)
8. Masukkan Faktor Emisi N₂O ke kolom H (baris solar: 3.900 kg/TJ)
9. Pada kolom I hitung besarnya emisi N₂O dengan cara kalikan kolom C dengan kolom F dan bagi dengan 10⁶ untuk konversi dari kg ke giga gram (baris solar: 10.762kL x 3.900 kg/TJ /10⁶ = 0,4197 Gg N₂O)

Tabel 4.3 Perhitungan emisi solar GRK pendekatan sektoral kasus transportasi pengolahan produksi BJR

Sektor	Energi								
Kategori	Fuel combustion activities								
Kategori kode	1A 3 Transportasi darat								
Lembar	1 dari 4 (CO2, CH4, N2O dari fuel combustion sumber pada kategori - Tier2)								
	Konsumsi Energi			CO2	CH4	N2O			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Konsumsi Bahan Bakar	Faktor Konversi	Konsumsi	CO2 Faktor Emisi	CO2 Emisi	CH4 Faktor Emisi	CH4 Emisi	N2O Faktor Emisi	N2O Emisi
	(kL)	(TJ/kL)	(TJ)	(kg CO2/TJ)	(Gg CO2)	(kg CH4/TJ)	(gG CH4/TJ)	(kg N2O/TJ)	(gG N2O/TJ)
			C=A*B		E = C*D/10^6		G=C*F/10^6		I=C*H/10^6
Bahan Bakar									
Solar	298.935	0,036	10.762	74100	797,439	3,900	0,04197	3,900	0,04197

Sumber: Hasil analisis perhitungan

4.2.2.1 Data Bahan Baku dan Produksi

Dalam kegiatan proses pengolahan BJR berkaitan dengan bahan baku dan unit proses. Bahan baku dan unit proses yang digunakan dapat mempengaruhi dampak terhadap lingkungan. Selain itu adanya keterlibatan bahan bakar dalam operasional unit proses. Berikut tabel jumlah bahan baku, unit proses, dan bahan bakar yang digunakan. Dari tabel diatas diketahui sebanyak 294.840 liter/tahun solar dikeluarkan untuk pada pengolahan produksi BJR beton pracetak menggunakan Simapro 9.0

Tabel 4.4 Jumlah bahan baku, unit proses, dan bahan bakar yang digunakan

Kegiatan	Material	Jumlah Produk (Ton/thn)
Bahan Baku	Semen 40 kg	453
	Pasir	622,22
	Split	1127,77
	Admixture	4,11
	Angkur Besi 7mm	40,33
	PC Wire 7mm	39,78
Kendaraan	Forklift	226,8
	Dump Truck	294,84
	Trailer	7,56

Sumber: PT WIKA BETON

4.3 Analisis LCA

Life Cycle Assessment (LCA) mampu melakukan penilaian secara kompleks dan detail. LCA dapat melakukan evaluasi terhadap material, penggunaan energi, sistem operasional, dampak dari kegiatan tersebut dan menawarkan solusi. Hasil akhir mendapatkan dampak terbesar dari kegiatan tersebut dan solusi yang dapat diterapkan. Dalam LCA terdiri dari empat tahapan yaitu *goal and scope*, input LCI, analisa dampak (LCIA), dan intepretasi data.

4.3.1 Penentuan *Goal and scope*

Tujuan penelitian ini berfokus pada dampak gas rumah kaca dan gas pencemar udara dari kegiatan industri konstruksi BJR. Dimana aktifitas yang diteliti dengan metode variasi "*cradle to gate*" meliputi semua proses dari ekstraksi

bahan baku melalui tahap produksi (proses dalam pabrik), digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk, diantaranya adalah sektor produksi, penggunaan, dan menentukan nilai akhir dampak lingkungan. Metode yang digunakan dengan pendekatan *Environmental Design of Industrial Products* (EDIP) 2003, batasan *impact assessment* penelitian ini adalah *global warming 100a, ozone depletion, ozone formation (Human)* , dan *Human toxicity air*.

4.3.2 Penentuan Life Cycle Inventory (LCI)

Dalam melakukan analisa dibutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan material maupun energi yang digunakan. Data yang digunakan berupa data spesifik dari perusahaan. Kemudian dari data yang telah didapatkan dilakukan analisis melalui 3 skenario perbandingan yakni pemakaian bahan baku semen dan *fly ash* terhadap kontribusi yang paling besar menyumbang emisi ke udara. Data yang didapatkan merupakan data periodik tahun 2020.

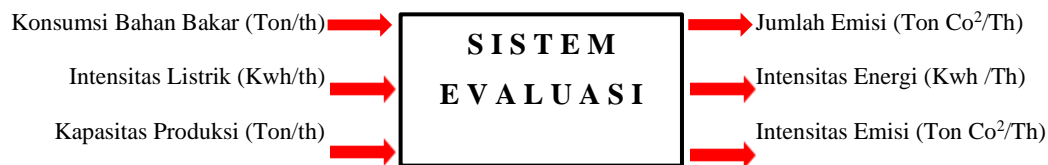
Tabel 4.5 *Life Cycle Inventory* untuk 3 skenario bahan baku semen dan *fly ash*

Proses Produksi	Skenario 1 (100% semen) kg/bjr	Skenario 2 (90% semen, 10% Fly Ash) kg/bjr	Skenario 3 (80% semen, 20% Fly Ash) kg/bjr
Kebutuhan Bahan Baku:			
<i>Semen 40 kg</i>	40,77	36,69	32,62
<i>Fly Ash</i>	-	4,08	8,15
<i>Pasir</i>	56,00	56,00	56,00
<i>Split</i>	101,50	101,50	101,50
<i>Admixture</i>	0,37	0,37	0,37
<i>PC Wire 7mm</i>	3,58	3,58	3,58
<i>Angkur Besi 7mm</i>	3,63	3,63	3,63
<i>Shoulder</i>	31,44	31,44	31,44
Kebutuhan Bahan Bakar:			
Forklift	30,0	30,0	30,0
Dump Truck	8,0	8,0	8,0
Trailer	1,0	1,0	1,0

Sumber: PT WIKA BETON

4.3.2.1 Life Cycle Inventory Proses Produksi

Pada produksi terjadi kegiatan pencampuran berbagai material pada BJR. Pengecoran merupakan proses awal dalam industri beton pracetakan, diantaranya dilakukan pencampuran semen, pasir, batu split, admixture dan terdapat angkur besi kedalam cetakan pabrikasi dengan menggunakan mesin. Bantalan jalan rel diproduksi dengan bantuan alat berat. Berikut gambar material *balance*/keseimbangan material.



Gambar 4.4 Alur proses *Life Cycle Inventory*

Sumber: Hasil analisis data

4.3.2.2 Life Cycle Inventory Proses Pengolahan

Pada produksi terjadi kegiatan pencampuran berbagai material pada BJR. Pengecoran merupakan proses awal dalam industri beton pracetak, dimana dilakukan pencampuran semen, pasir, batu split, admixture dan angkur besi kedalam cetakan pabrikasi dengan menggunakan pabrikasi mesin. Bantalan jalan rel diproduksi dengan bantuan alat berat.

4.3.3 Life Cycle Impact Assessment Analisis Skenario 1,2,&3

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 CO₂eq.

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 kerus 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 C₂H₄.

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 m³. Penilaian dampak keseluruhan ini nantinya dihitung sebanyak 4 kali, yakni sebagai berikut:

o *Characterization*

Characterization merupakan tahapan dimana menampilkan kontribusi relatif terhadap dampak lingkungan. tahap ini mengukur kontribusi dampak produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak. Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCI kedalam bentuk satuan yang sama dengan masing-masing dampak. Berikut nilai *Characterization factor*.

Tabel 4.6 *Characterization factor*

<i>Impact Assessment</i>	Unit	<i>Characterization Factor</i>
<i>Global Warming</i>	kg CO ₂ eq	GWP 100
<i>Ozone formation</i>	kg CFC-11 eq	-
<i>Ozone formation via Human</i>	<i>Ozone formation.ppm.h</i>	POCP
<i>Human Toxicity via Air</i>	m ³	-

Sumber: Hasil analisis simapro.9

o *Normalization*

Normalization merupakan perbandingan terhadap indikator dampak yang dipilih. Tahap ini menormalkan hasil indikator dengan membagi dengan nilai referensi yang dipilih. Berikut nilai *Normalization factor* :

Tabel 4.7 *Normalization factor*

<i>Impact Assessment</i>	Unit	<i>Normalization Factor</i>
<i>Global Warming</i>	ton CO ₂ eq	8,7
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC-11 eq	0,2
<i>Ozone formation via Human</i>	<i>Ozone formation.ppm.h</i>	20
<i>Human Toxicity via Air</i>	m ³	9,18E+09

Sumber: Simapro 9.0

o *Weighting dan Single Score*

Weighting dan *single score* merupakan pemberian bobot pada masing-masing terhadap kategori dampak. Pembobotan ini penting karena kategori dampak juga harus mencerminkan tujuan studi dan nilai-nilai *stakeholder*. *Single score* merupakan hasil dari *weighting score* yang berdasarkan proses kegiatan. Berikut nilai *Weighting factor* :

Tabel 4.8 *Weighting dan single score factor*

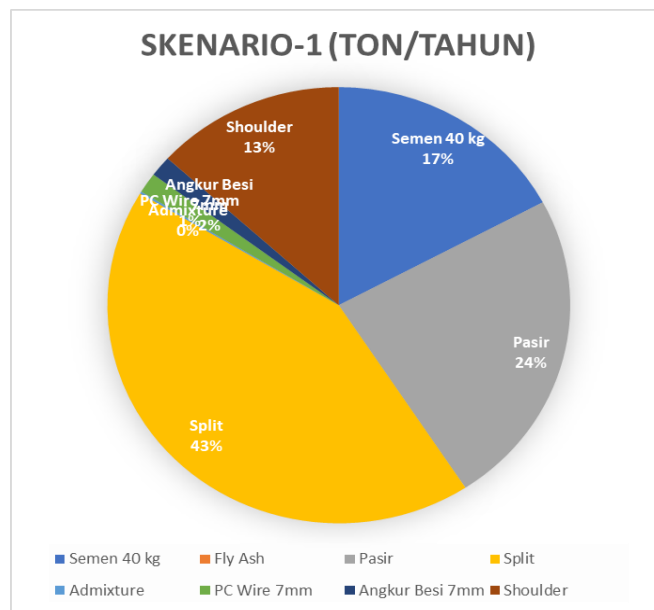
<i>Impact Assessment</i>	Unit	<i>Weighting Factor</i>
<i>Global Warming</i>	ton CO ₂ eq	1,3
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC-11 eq	2,3
<i>Ozone formation via Human</i>	<i>Ozone formation.ppm.h</i>	1,2
<i>Human Toxicity via Air</i>	m ³	1,1

Sumber: Simapro 9.0

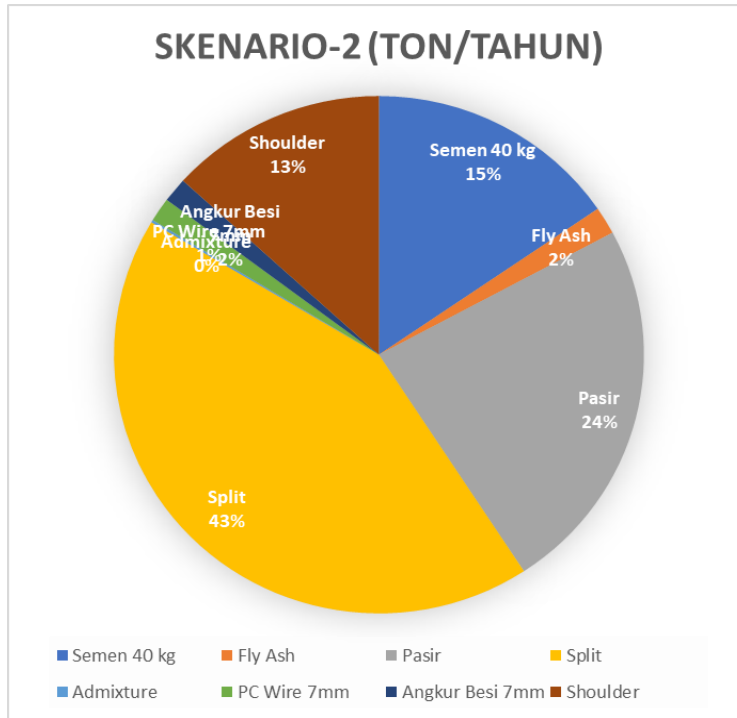
Berdasarkan indikator dan tahapan *impact assessment* diatas dapat ditentukan menggunakan aplikasi Simapro 9.0 dalam menganalisa dampak dari kegiatan proses produksi BJR. Berikut gambar 4.5 sampai dengan gambar 4.7 menampilkan *network* dari kegiatan proses produksi BJR skenario 1 sampai dengan skenario 3. *Network* kegiatan proses produksi BJR, menampilkan bahwa dalam

kegiatannya dipengaruhi oleh 2 sektor kegiatan proses. Keempat kegiatan proses tersebut adalah produksi, dan pengolahan.

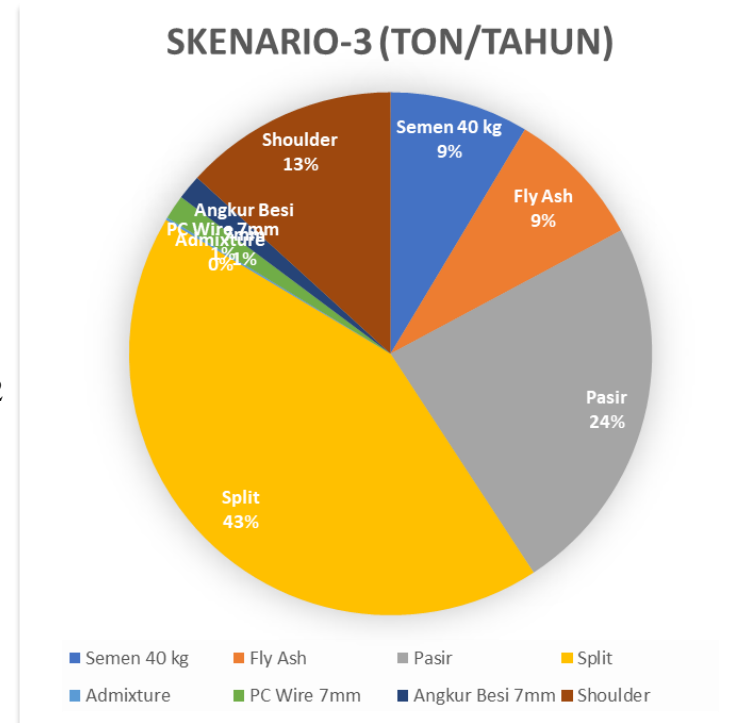
Hingga saat ini data yang diperoleh dari PT WIKA Beton diketahui rata-rata mutu beton yang diproduksi adalah 50 MPa. Dengan perhitungan *mix design* menggunakan standar dari *America Concrete Institute* (ACI), pada 1m³ beton 50 MPa diperoleh volume beton bahan penyusun, yakni agregat, semen, baja yang masing-masing skenario ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4.5 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-1



Gambar 4.6 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-2



Gambar 4.7 Volume komposisi bahan penyusun BJR pada skenario-3

Berdasarkan diagram lingkaran diatas, menunjukkan adanya campuran komposisi bahan material yang dianalisis, diantaranya sebagai berikut;

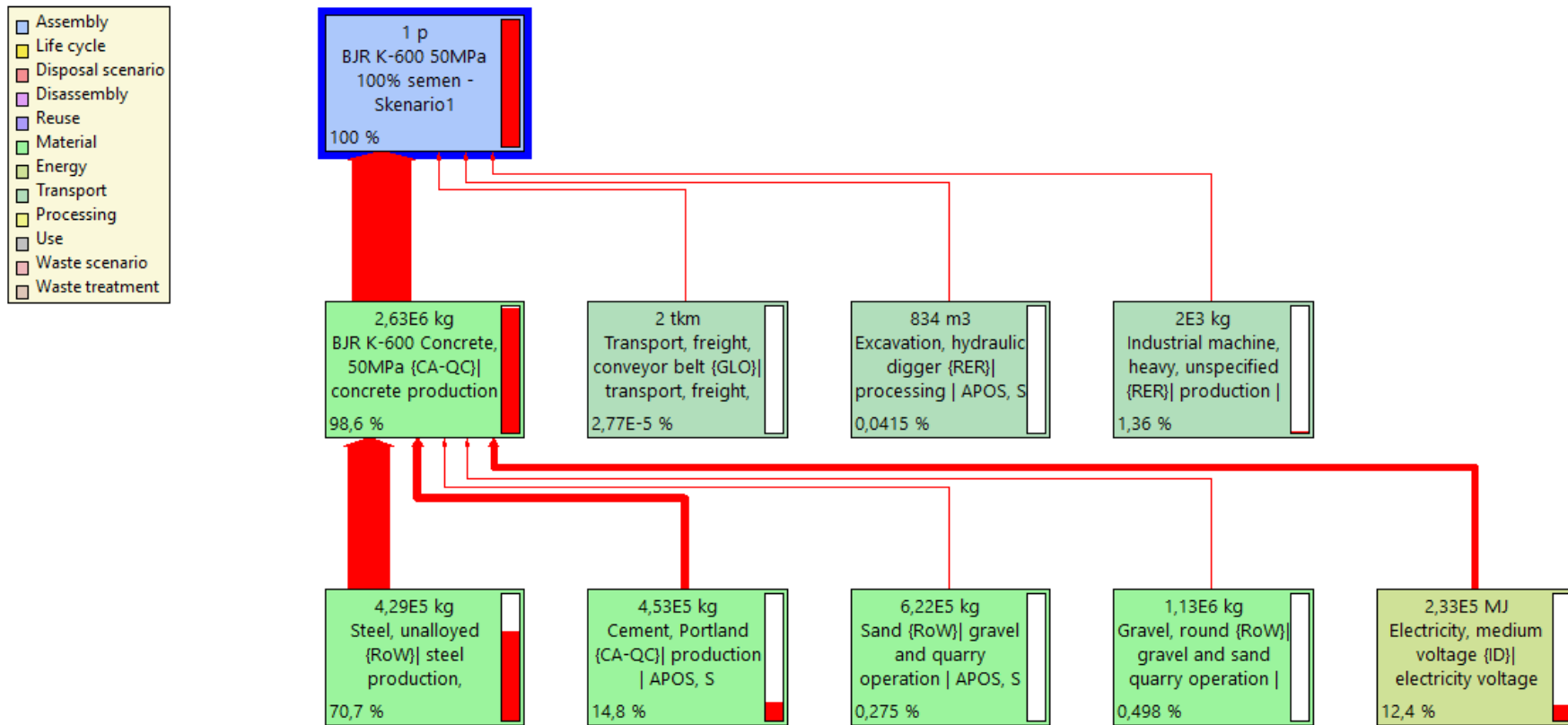
- Skenario-1 = Semen 100 % tanpa campuran *fly ash*
- Skenario-2 = Semen 90% dengan campuran *fly ash* 10%
- Skenario-3 = Semen 80% dengan campuran *fly ash* 20%

Sehingga untuk analisis data ke aplikasi simparo 9.0 dapat diinputkan komposisi bantalan beton jalan rel sesuai dengan skenario-skenario yang telah diasumsikan. Hasil dari analisis atau output yang dikeluarkan berupa: *global warming 100a*, *ozone depletion*, *ozone formation (human)*, *human toxicity air*. Kemudian satuan hasil analisis dapat dihasilkan berupa Pt (*eco-point*). Skor efek komposit atau nilai 1 Pt (*eco-point*) mewakili untuk seribu dari beban lingkungan tahunan dari satu penduduk Eropa rata-rata. Ini dihitung dengan membagi total beban lingkungan di Eropa dengan jumlah penduduk dan mengalikannya dengan 1000.

Penilaian siklus hidup, atau LCA, adalah teknik manajemen lingkungan yang mempertimbangkan semua aspek penggunaan sumber daya dan pelepasan lingkungan yang terkait dengan produk industri, layanan atau sistem. LCA dimaksudkan untuk perbandingan dan bukan evaluasi absolut, dengan hal ini maka, pengaplikasian analisis LCA dapat membantu pengambil keputusan alternatif secara konstruktif.

Mekanisme perhitungan analisis pencemar udara dapat dihitung dengan cara menginput data kedalam aplikasi Simapro 9.0 kemudian data-data tersebut diolah dengan mengklasifikasikan proses kategori material, yang mana pada pengamatan ini produksi yang dianalisis adalah berupa beton bertulang mutu K-600 fc' 50MPa. Langkah berikutnya dengan memasukkan *inventory* data. Merupakan input data mengenai input dan output, *documentation*, parameter, dan *system description* mengenai proses kegiatan produksi industri tersebut.

Dari proses input *inventory* data kemudian dilanjutkan dengan *product stages* yaitu mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan, dan dibuang dengan memasukkan komposisi material dan juga energi apa saja yang dibutuhkan. Sehingga langkah-langkah demikian merupakan tahap awal untuk menganalisis suatu metode pada LCA.



Gambar 4.8 *Network* proses produksi BJR pada skenario-1
 Sumber: Simapro 9.0

Tabel 4.9 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-1

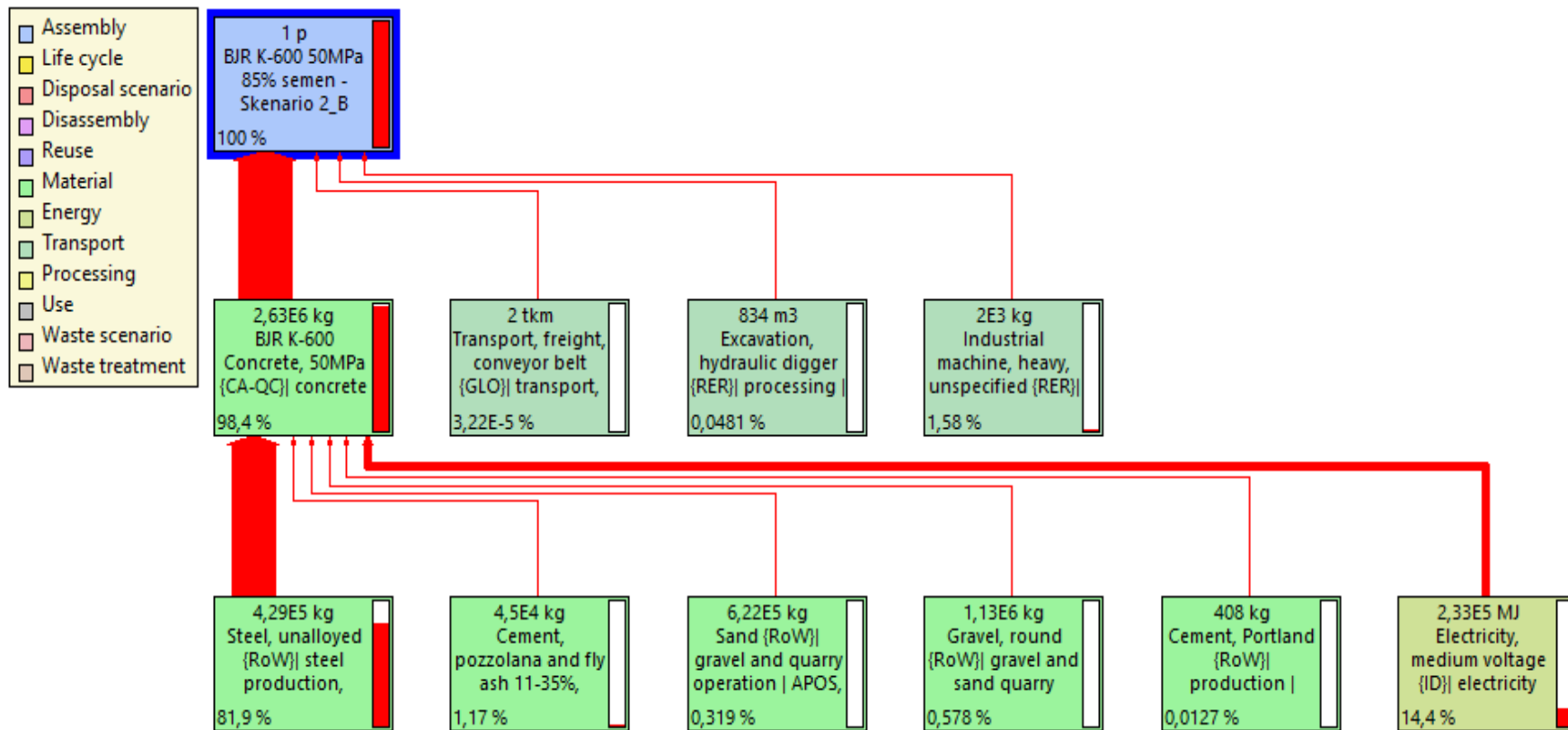
<i>Impact category</i>	<i>Unit</i>	BJR K-600, 50 MPa	<i>Traansport, conveyer belt</i>	<i>Excavation</i>	<i>Industrial machine</i>
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	1,34 x 10 ⁶	0,29	448	4,67E3
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,043	1,37E-8	7,86E-5	0,0003
<i>Ozone formation (Human)</i>	<i>ozone formation.p pm.h</i>	556	0,0001	0,672	2,27
<i>Human toxicity air</i>	m ³	9,57 x 10 ¹⁰	6,93E3	1,02E7	5,87E8

Sumber: Hasil perhitungan Simapro 9.0

Dari Tabel 4.9 diketahui bahwa kegiatan produksi memberikan dampak pada:

- *global warming 100a* sebesar 1,34 x 10⁶kg CO₂eq
- *ozone depletion* 0,043kg CFC11eq
- *ozone formation* 556 *ozone formation.ppm.h*, dan
- *human toxicity air* 9,57x10¹⁰ m³.

Masing-masing kegiatan tersebut memberikan dampak terhadap gas rumah kaca, pencemaran udara, dan kesehatan manusia. Adapun untuk skenario-2 pada gambar 4.7 meliputi kombinasi 90% semen dan 10% *fly ash* namun untuk keseluruhan bahan baku tidak ada tambah kurang komposisi bahan baku



Gambar 4.9 *Network* proses produksi BJR pada skenario-2
 Sumber: Simapro 9.0

Tabel 4.10 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-2

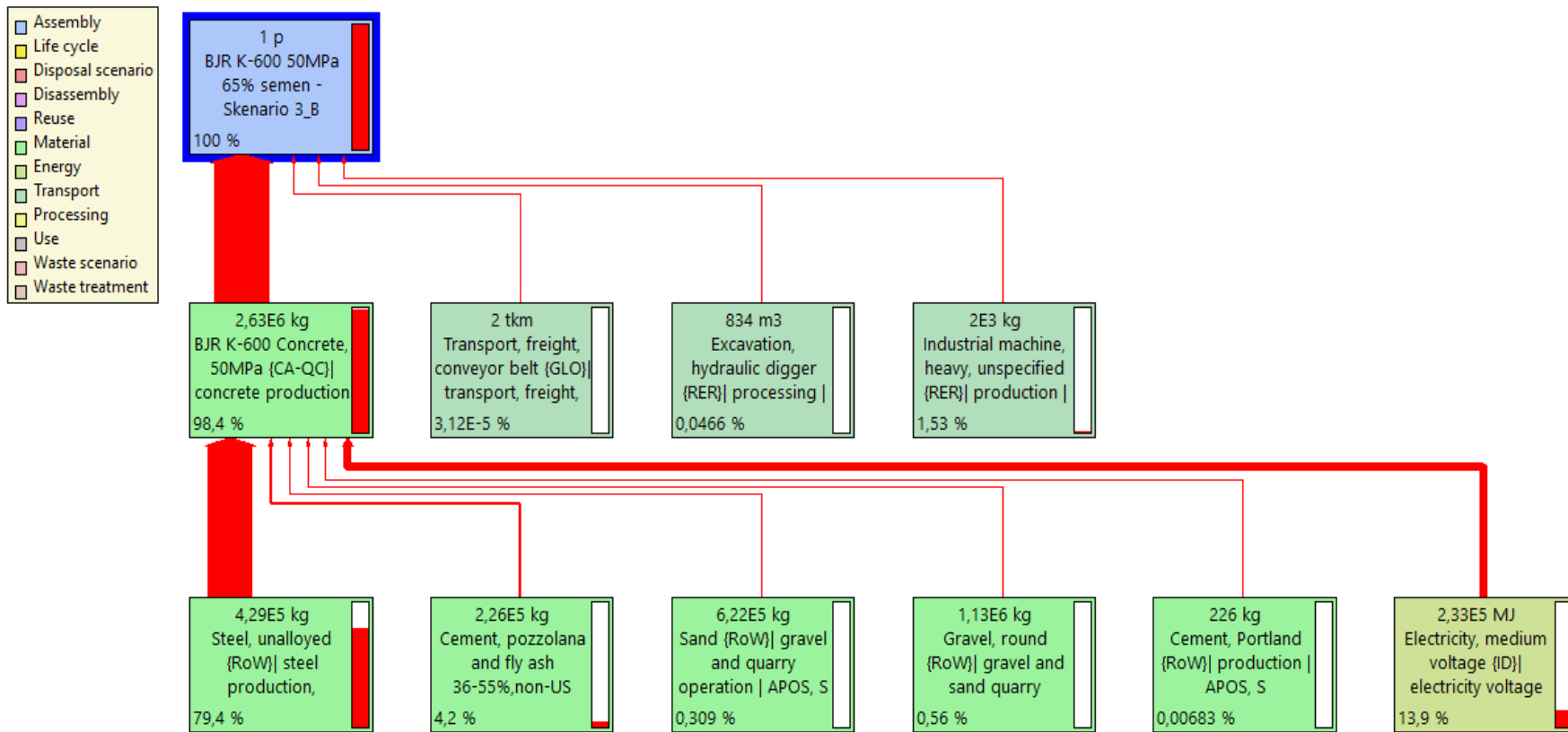
<i>Impact category</i>	Unit	BJR K-600, 50 MPa	<i>Traansport, conveyor belt</i>	<i>Excavation</i>	<i>Industrial machine</i>
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	1,01 x 10 ⁶	0,29	448	4,67E3
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,040	1,37E-8	7,86E-5	0,0003
<i>Ozone formation (Human)</i>	<i>ozone formation.p pm.h</i>	443	0,0001	0,672	2,27
<i>Human toxicity air</i>	m ³	9,45 x 10 ¹⁰	6,93E3	1,02E7	5,87E8

Sumber: Hasil perhitungan Simapro 9.0

Dari Tabel 4.10 diketahui bahwa kegiatan produksi memberikan dampak pada:

- *global warming 100a* sebesar 1,01 x 10⁶ kg CO₂eq
- *ozone depletion* 0,040 kg cfc11eq
- *ozone formation* 443 *ozone formation.ppm.h*, dan
- *human toxicity air* 9,45x10¹⁰ m³

Masing-masing kegiatan tersebut memberikan dampak terhadap gas rumah kaca, pencemaran udara, dan kesehatan manusia. Adapun untuk skenario-3 pada gambar 4.7 meliputi kombinasi 80% semen dan 20% *fly ash* namun untuk keseluruhan bahan baku tidak ada tambah kurang komposisi bahan baku.



Gambar 4.10 Network proses produksi BJR pada skenario-3
 Sumber: Simapro 9.0

Tabel 4.11 Kontribusi dampak proses produksi BJR skenario-3

<i>Impact category</i>	<i>Unit</i>	BJR K-600, 50 MPa	<i>Traansport, conveyor belt</i>	<i>Excavation</i>	<i>Industrial machine</i>
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	1,01 x 10 ⁶	0,29	448	4,67E3
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,040	1,37E-8	7,86E-5	0,0003
<i>Ozone formation (Human)</i>	<i>ozone formation.p pm.h</i>	443	0,0001	0,672	2,27
<i>Human toxicity air</i>	m ³	9,45 x 10 ¹⁰	6,93E3	1,02E7	5,87E8

Sumber: Hasil perhitungan Simapro 9.0

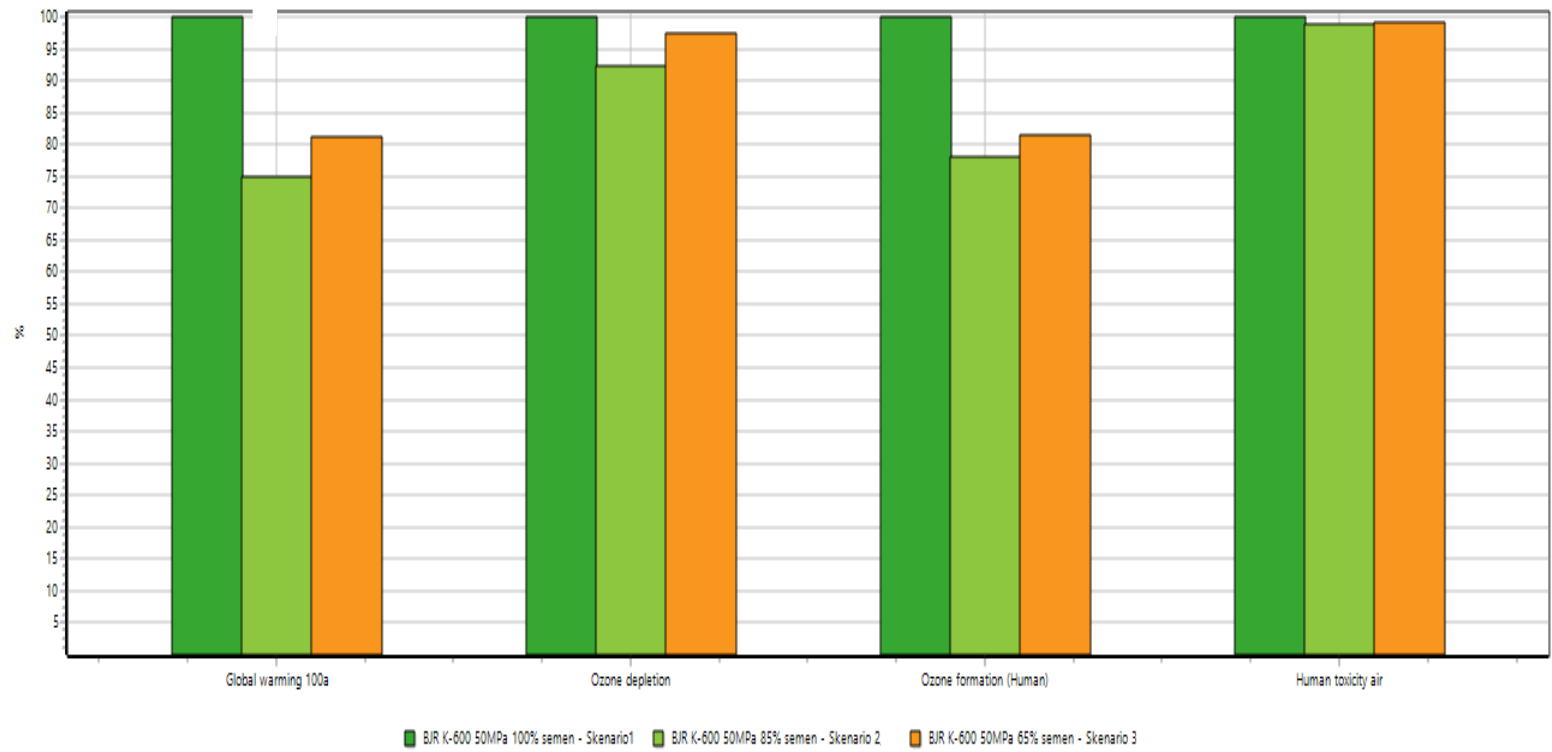
Garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah tebal menand besarnya kontirbusi kegiatan tersebut terhadap nilai dampak. Berdasarkan hasil perhitungan dinyatakan bahwa kegiatan yang paling besar berkontribusi terhadap dampak adalah kegiatan sektor produksi BJR beton. Sektor produksi BJR berkontribusi besar dikarenakan terdapat material baja dan semen yang terjadi pada proses atau tahapan pembuatannya. Pada penelitian ini, dilakukan network pada masing masing – masing proses. Kemudian dianalisa kegiatan mana yang memiliki beban lingkungan terbesar pada masing-masing skenario dimulai dari sektor proses produksi BJR beton *prestressed*.

4.3.3.1 Impact Assessment Skenario 1,2,dan 3 pada Produksi BJR

Pada tahap ini menampilkan *network* dan *characterization impact assessment*. *Network* mengidentifikasi proses mana saja yang berkontribusi paling besar terhadap dampak lingkungan. *Network* menampilkan kontribusinya dalam bentuk diagram alir proses. *Characterization impact assessment* mengidentifikasi dampak dari proses tersebut. Pada *characterization* ini menampilkan pula kuantitas setiap kegiatan terhadap dampak. Berikut gambar mengenai *network* dari proses produksi.

Berdasarkan gambar diatas, diketahui unit proses produksi berkontribusi paling besar terhadap dampak yaitu sebesar 98,6%. Besarnya kontribusi dikarenakan penggunaan bahan baku tersebut menggunakan bahan dasar alam. Bahan baku yang digunakan adalah semen, baja (tulangan dan *shoulder*), split,

pasir, sumber listrik namun yang sangat berpengaruh pada dampak yaitu produksi baja. Bahan energi listrik berkontribusi 12,4% terhadap dampak. Selain itu, kegiatan semen berkontribusi terbesar kedua setelah baja. Kegiatan ini berkontribusi sebesar 14,8% terhadap dampak. Dari keseluruhan kegiatan produksi skenario-1 memberikan dampak pada lingkungan terutama pelepasan udara. Berikut analisa kontribusi dampak pada proses produksi:



Method: EDIP 2003 V1.07 / Def: Characterization
 Comparing 1 p 'BJR K-600 50MPa 100% semen - Skenario1', 1 p 'BJR K-600 50MPa 85% semen - Skenario 2' and 1 p 'BJR K-600 50MPa 65% semen - Skenario 3'

Gambar 4.11 *Characterization* skenario-1, skenario-2, & skenario-3
 Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

- *Analisa Characterization*

Merupakan tahapan dimana menampilkan kontribusi relatif terhadap dampak lingkungan. Tahap ini mengukur kontribusi dampak produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak. Dalam perhitungannya digunakan *characterization factor* untuk mengkonversi hasil LCI kedalam bentuk satuan yang sama dengan masing-masing dampak. Berikut analisa *characterization* kegiatan sektor pemakiaan:

Tabel 4.12 *Characterization* kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3

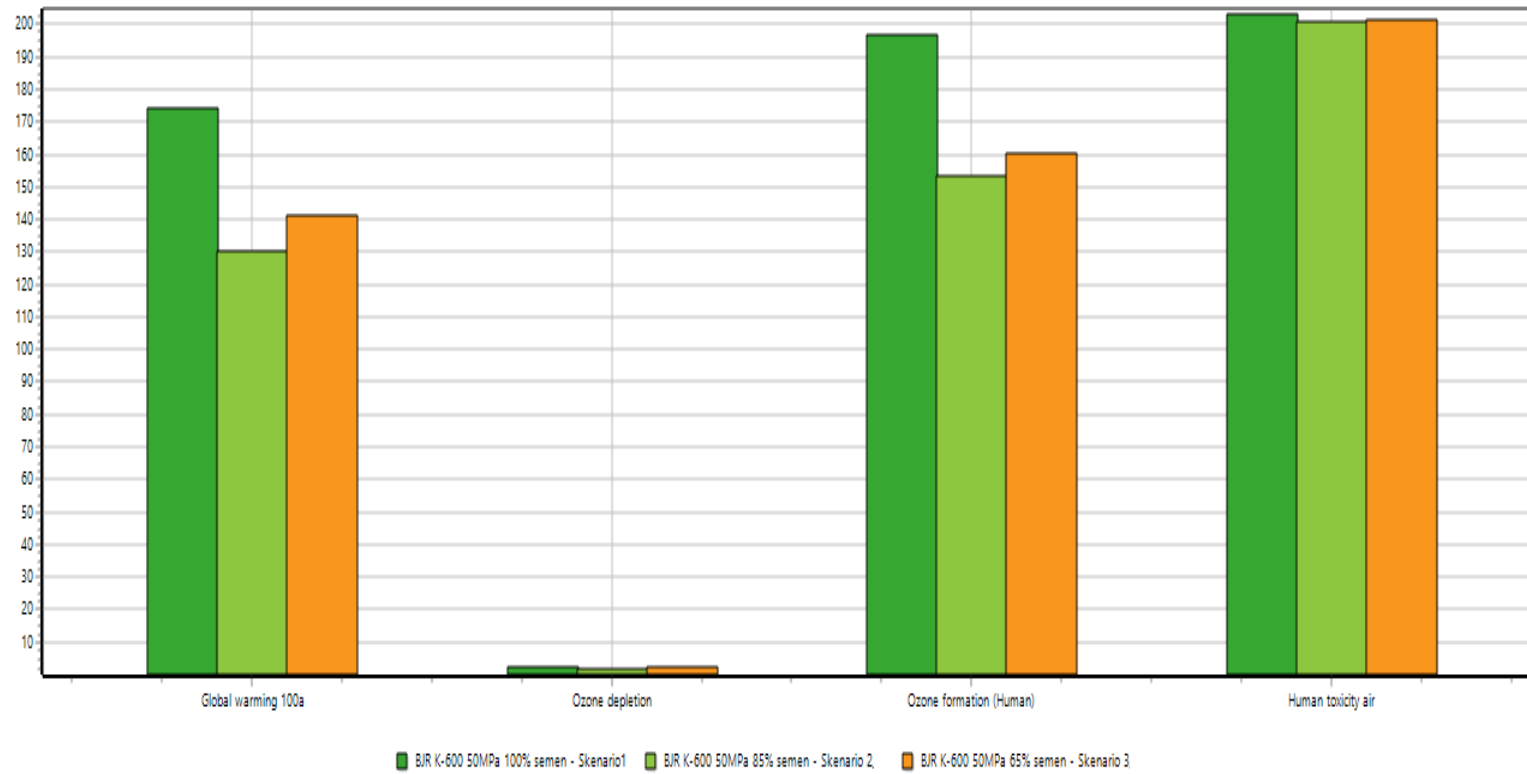
Impact category	Unit	Skenario-1	Skenario-2	Skenario-3
<i>Global warming 100a</i>	kg CO ₂ eq	1,35 x 10 ⁶	1,01 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶
<i>Ozone depletion</i>	kg CFC11 eq	0,0438	0,0405	0,0427
<i>Ozone formation (Human)</i>	<i>ozone formation.p</i> ppm.h	558	436	455
<i>Human toxicity air</i>	m ³	9,63 x 10 ¹⁰	9,51 x 10 ¹⁰	9,55 x 10 ¹⁰

Sumber: Hasil perhitungan Simapro 9.0

Pada Tabel 4.11 diketahui besarnya dampak yang dihasilkan akibat produksi BJR. Dampak urutan tertinggi secara komprehensif terdapat pada skenario-1 yaitu:

- *global warming 100a* 1,35 x 10⁶ kg CO₂eq
- *ozone depletion* 0,0438 kg CFC11eq
- *ozone formation* 558 *ozone formation.ppm.h*, 9,63 x 10¹⁰ m³.

Kemudian pada gambar 4.11 menampilkan grafik mengenai kontribusi dampak dari kegiatan produksi BJR tipe *prestressed* dalam persen (%)



Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Normalization

Comparing 1 p 'BJR K-600 50MPa 100% semen - Skenario1', 1 p 'BJR K-600 50MPa 85% semen - Skenario 2', and 1 p 'BJR K-600 50MPa 65% semen - Skenario 3'

Gambar 4.12 *Normalization* skenario-1, skenario-2, & skenario-3

Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

- Analisa *Normalization*

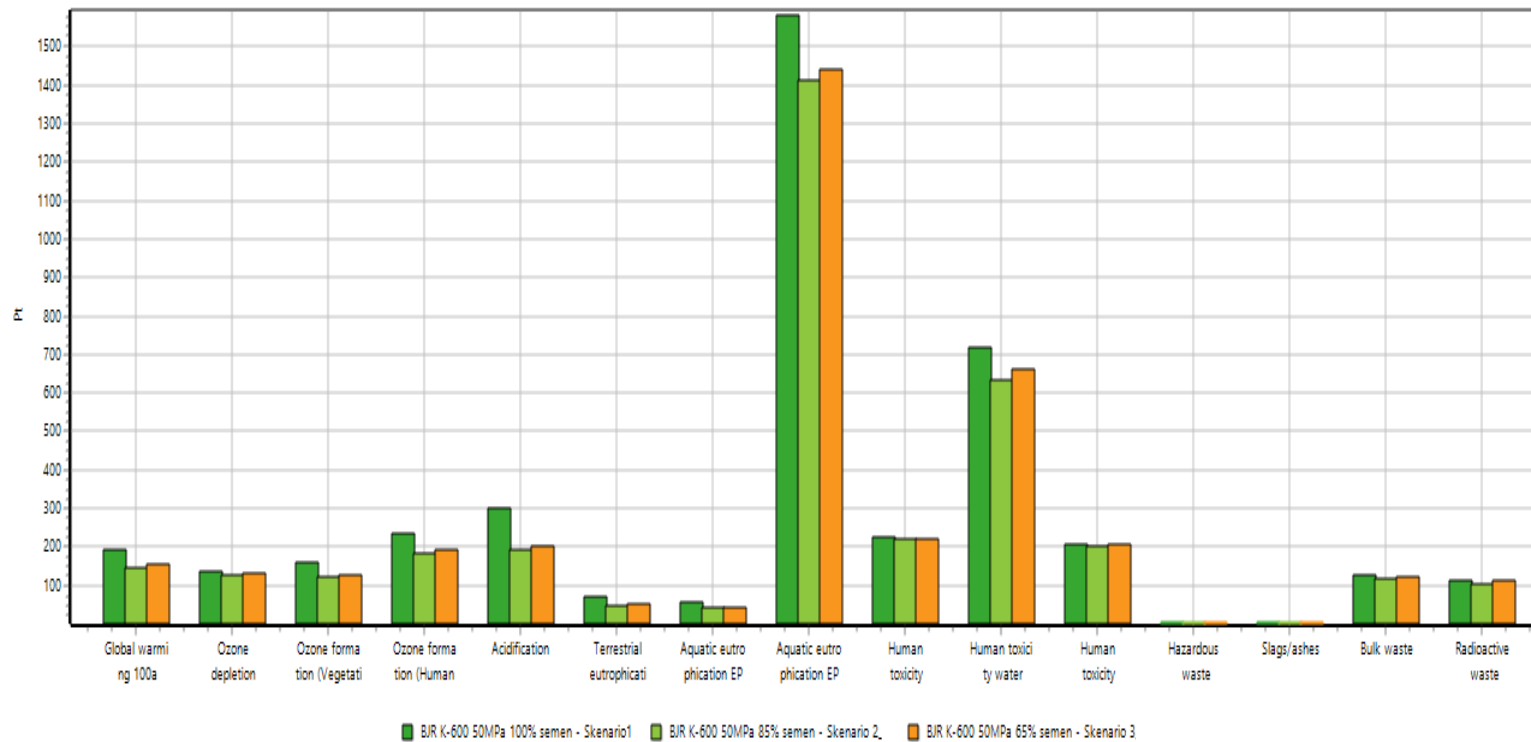
Berikut analisa *normalization* kegiatan produksi BJR tipe *prestressed*.

Tabel 4.13 *Normalization* kegiatan produksi BJR skenario-1, skenario-2, dan skenario-3

Impact category	Skenario-1	Skenario-2	Skenario-3
<i>Global warming 100a</i>	174	130	141
<i>Ozone formation</i>	2,14	1,98	2,08
<i>Ozone formation (Human)</i>	197	153	160
<i>Human toxicity air</i>	203	201	202

Sumber: Hasil perhitungan Simapro 9.0

Dampak yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi satuan yang sama sehingga dapat dilakukan perbandingan dampak. Dari hasil *normalization* dapat diketahui bahwa nilai paling besar pada dampak *global warming 100a*.



Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Weighting
 Comparing 1 p 'BJR K-600 50MPa 100% semen - Skenario1', 1 p 'BJR K-600 50MPa 85% semen - Skenario 2', and 1 p 'BJR K-600 50MPa 65% semen - Skenario 3'.

Gambar 4.13 *Weighting* skenario-1, skenario-2, & skenario-3

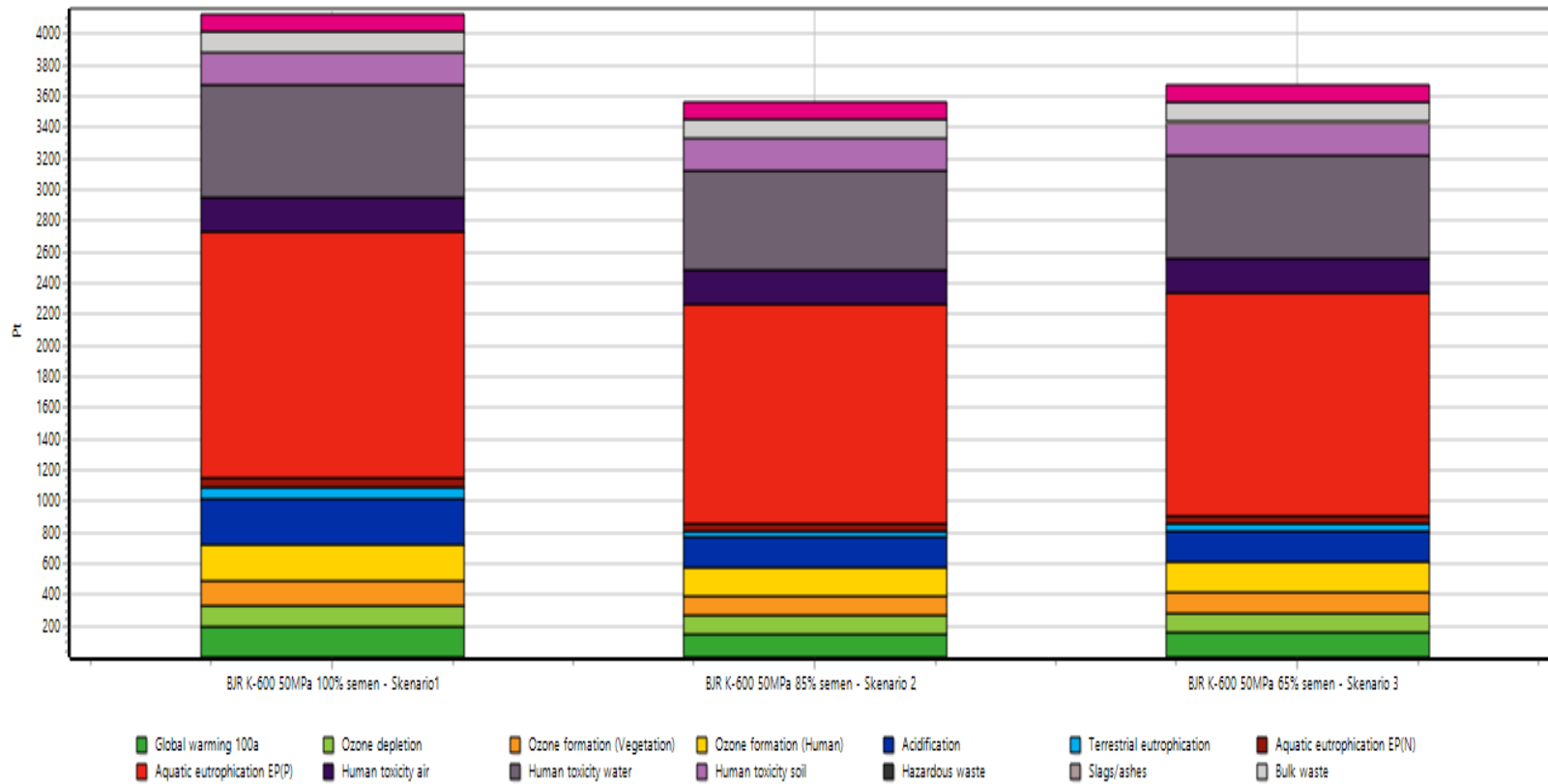
Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

Tabel 4.14 *Weighting dan 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 perhitungan Simapro 9.0

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. Dari Tabel 4.13 diketahui bahwa dampak paling besar kegiatan produksi didapat pada skenario 1 yang lebih terdampak pada udara. Dimana pada Gambar 4.14 yang menampilkan grafik perbandingan dampak kegiatan produksi dengan tanda warna hijau tua sebagai dampak *global warming 100a*.



Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Single score

Comparing 1 p 'BJR K-600 50MPa 100% semen - Skenario1', 1 p 'BJR K-600 50MPa 85% semen - Skenario 2', and 1 p 'BJR K-600 50MPa 65% semen - Skenario 3'

Gambar 4.14 Single Score skenario-1, skenario-2, & skenario-3

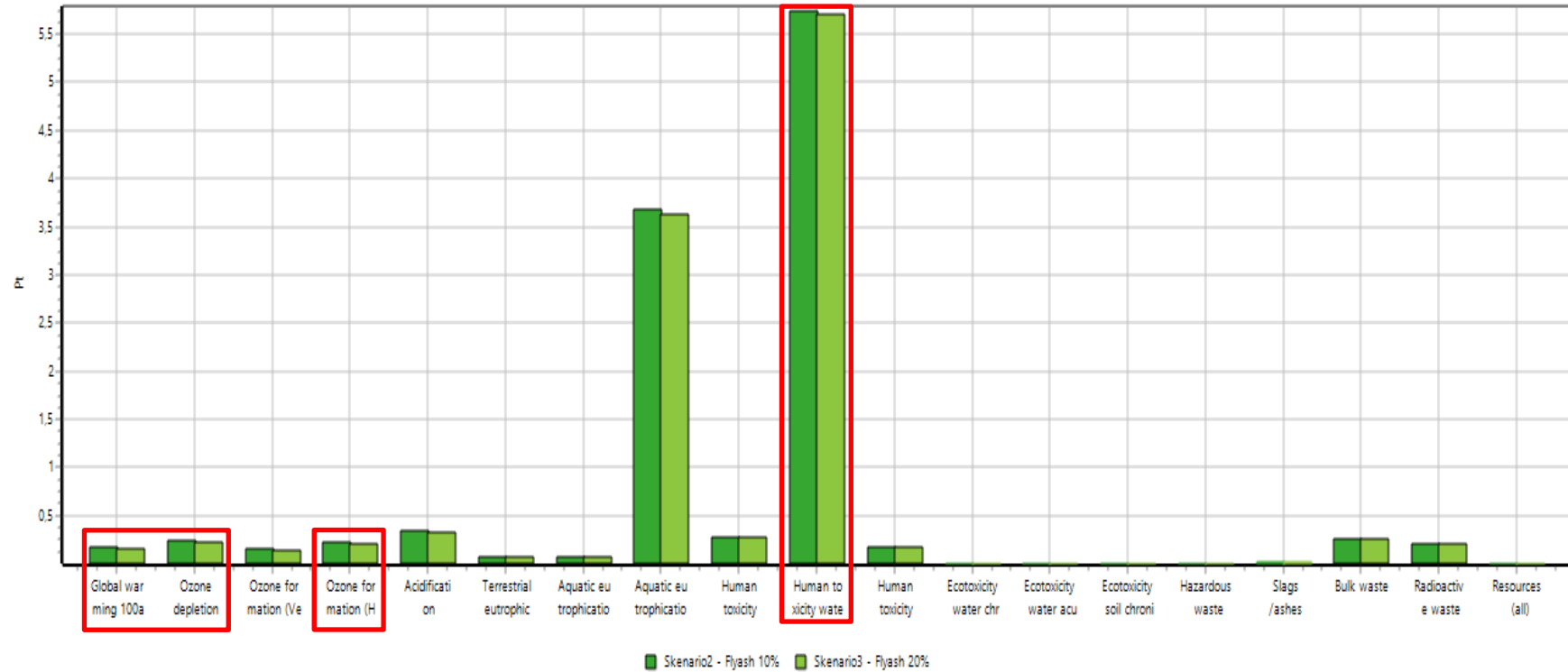
Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

Global warming 100a terjadi karena lepasnya CO₂ akibat pembakaran bahan bakar. CO₂ yang lepas bereaksi secara radikal di atmosfer dimana CO₂ 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.

4.3.3.2 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. 2013), kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada campuran *fly ash* 20% dari berat semen yaitu 55,95 Mpa.

Dalam 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. Adapun hasil analisis perhitungannya adalah sebagai berikut:



Method: EDIP 2003 V1.07 / Default / Weighting
 Comparing 1 p 'Skenario2 - Flyash 10%' with 1 p 'Skenario3 - Flyash 20%':

Gambar 4.15 Proses *weighting* dan *single score* pada skenario 2 & skenario 3 penggunaan campuran *fly ash*
 Sumber: Hasil analisis simapro 9.0

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 sebagai berikut:

Tabel 4.15 *Impact Assesment weighting* dan *single score* analisis penggunaan *fly ash*

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

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0

Pada gambar 4.15 menunjukkan urutan grafik dari kiri ke kanan menerangkan bahwa kandungan *flyash* dan mesin industri termasuk bagian dari kontribusi pelepasan emisi.

Tabel 4.16 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 -	Pt	0,273	0,273

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0

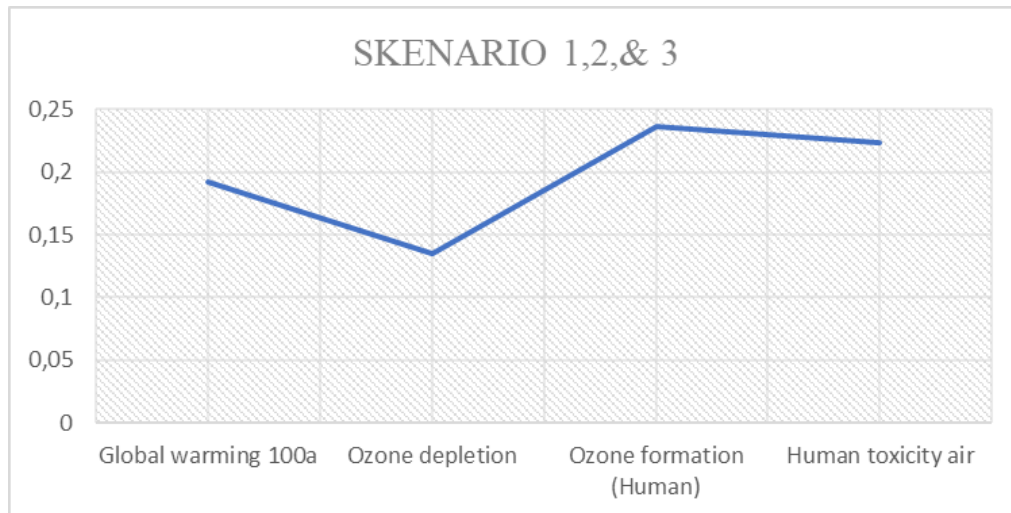
4.3.3.3 Hasil Analisis LCA pada Skenario 1,2,& 3 dan Penggunaan Campuran *Fly Ash*

Analisis perhitungan yang telah diaplikasikan dengan menggunakan perangkat lunak simapro 9.0, maka didapatkan nilai pencemar udara dengan hasil nilai sebagai berikut ini:

Tabel 4.17 Hasil analisis perhitungan LCA skenario 1,2 & 3

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

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0



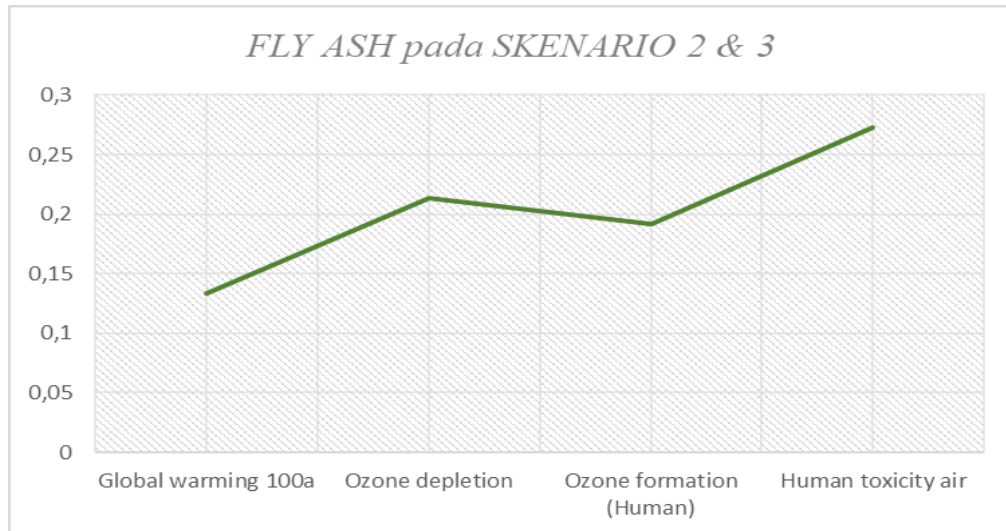
Gambar 4.16 Grafik hasil analisis perhitungan LCA skenario 1,2 & 3

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0

Tabel 4.18 Hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan *fly ash* skenario 2 & 3

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

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0



Gambar 4.17 Grafik hasil analisis perhitungan LCA pada penggunaan *fly ash* skenario 2 & 3

Sumber: Hasil perhitungan analisis simapro 9.0

4.4. Alternatif Kegiatan untuk Masing-masing Proses

4.4.1. Pada Proses Produksi

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*.

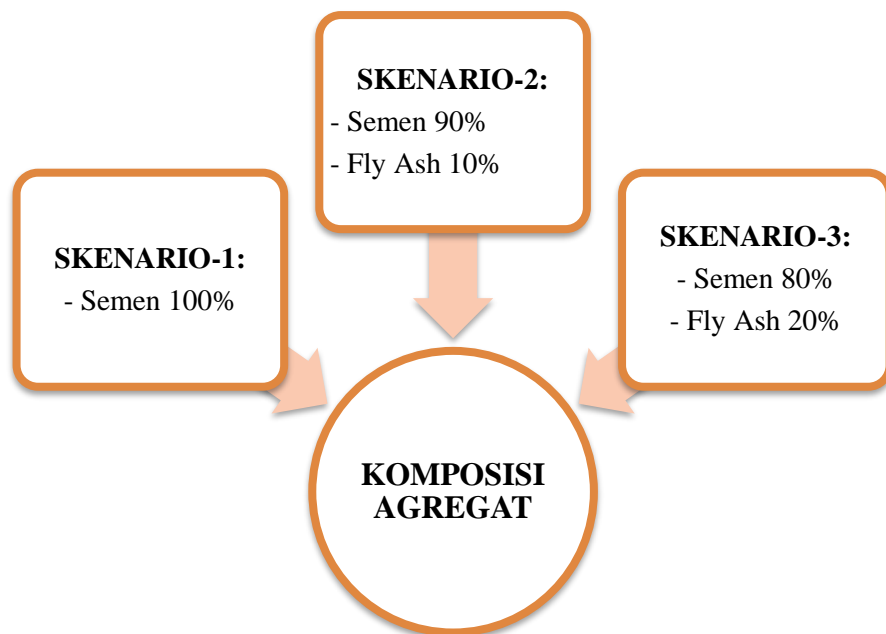
Tabel 4.19 Alternatif reduksi pada proses produksi BJR tipe *prestressed*

Alternatif	Cara Kerja	Fungsi	Pengaruh Terhadap Emisi
<i>Dual Fuel Diesel Generator (***)</i>	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 ₂

Sumber: *** *MacDonald*, (2014)

Alternatif pada Tabel 4.15 merupakan pilihan yang memungkinkan dapat diterapkan pada wilayah kerja dengan mempertimbangkan kriteria biaya investasi & produksi, dampak lingkungan, dan kemudahan masa pelaksanaan. Dari Hasil analisis dan pembahasan terhadap penelitian ini, bahwa penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti *quarry* material dapat memberikan pengaruh terhadap alternatif material pada produksi beton.

Hal ini dapat dilihat bahwa adanya beberapa campuran agregat dari beton normal dan *fly ash* yang dicampurkan dengan cara menyesuaikan masing-masing komposisi yang telah diimplementasikan dengan mekanisme sebagai berikut:



Gambar 4.18 Diagram komposisi agregat penggunaan *fly ash* skenario 1, 2 & 3

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. 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.
2. Dari ketiga skenario tersebut, penggunaan material *stressing* baja tulangan dan shoulder merupakan dampak yang paling berpengaruh terhadap pelepasan emisi udara. Secara umum kontribusi dari dampak pencemaran terhadap lingkungan tertinggi berasal dari tahap *processing human toxicity air*, kemudian sumber sistem penggerak produksi yaitu pada pemakaian energi BBM maupun pemakaian tenaga listrik.
3. 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.

5.2. Saran

1. Keterkaitan *stakeholder* harus dipahami, agar mempermudah dalam memenuhi kelengkapan data. Proses running LCA pada Simapro 9.0 membutuhkan data yang mendetail dari pihak perusahaan.
2. Melakukan penelitian lebih dalam mengenai efisiensi alternatif, dan keterkaitan dengan jumlah satuan pencemar udara yang dapat dialihkan agar tidak hanya memakai *quarry* material saja.
3. Melakukan penghijauan dan revegetasi di daerah pantai, sekitaran pabrik, sebagai investasi biomassa dan mengurangi pencemaran terhadap lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brenda, Vale, R., 1991. *Green Architecture, Design for an Energy-Conscious Future*. A Bulfinch Book. Little, Brown and Company. London
- Calkins, M., 2009. *Materials for Sustainable Sites*.
John Wiley & Sons. Inc. Canada..
- Fay, R., Treloar, G., Iyer-Raganiga, U., 2000. *Life-cycle Energy Analysis of Building: a case study*. Journal Building Research & Information. E. & FN Spon.
- Gielen, D.J., 1997. *Building Material and CO₂*. Western Europe Emission Reductions Strategies. Netherlands Energy Research Fondation ECN.
- Seo, S., & Y. Hwang, 2001. *Estimation of CO₂ Emission in Life-cycle of Residential Building*. Journal of Construction, Engineering and Management. Vol 127. No. 5 September – October.
- Standart Australia.,2012., *Railway track material Part 14: Prestressed concrete sleepers*
- Al Lvovsky, H Hansen, T Aichele, O Benson, J Mlynek, S Schiller Physical, (2000). *The Journal of Physical Chemistry B 104 (14), 3349-3354, 102, 2000.*
- Arpad Horvath, Mikhail Chester. (2007). *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation An Energy, Greenhouse Gas, and Criteria Pollutant Inventory of Rail and Air Transportation*, University of California, Berkeley
- Azmi .(2010). *Human health, well-being and the environment, has been a widely recognised problem over the last 50 years.*
- Fachruddin,(2013),*Aplikasi LCA dalam Pemilihan Material Konstruksi, Bangunan dan Lingkungan.*

- Ariyani N dan Laia P. 2013., “Pengaruh Pemakaian Fly Ash dan Superplasticizer pada Kuat Tekan Beton”.
- Rahmadi, Mary Selintung, dan Muh. Isran Ramli.2018., “Besaran Carbon Dioksida (CO₂) Rencana Pembangunan Monorel di Kota Makassar Berbasis Life Cycle Assessment (LCA)”.
- M. Kiani, H. Ceney, Tony Parry.2008.,“Environmental Life Cycle Assessment Of Basic Railroad Tracks”.
- Karina E. Seto, Cameron J. Churchill, dan Daman K. Panesar.2017., “The Effect Of The Fly Ash Allocation Approach on The Life Cycle Assessment of Cement-Based Materials”.
- James Rodd, Warren North.2017., “Life Cycle Assessment (LCA) of Benchmark Concrete Products in Australia”.
- Mieke De Schepper, Philip Van den Heede, Isabel Van Driessche, and Nele De Belie.2014., “Life Cycle Assessment of Completely Recyclable Concrete”

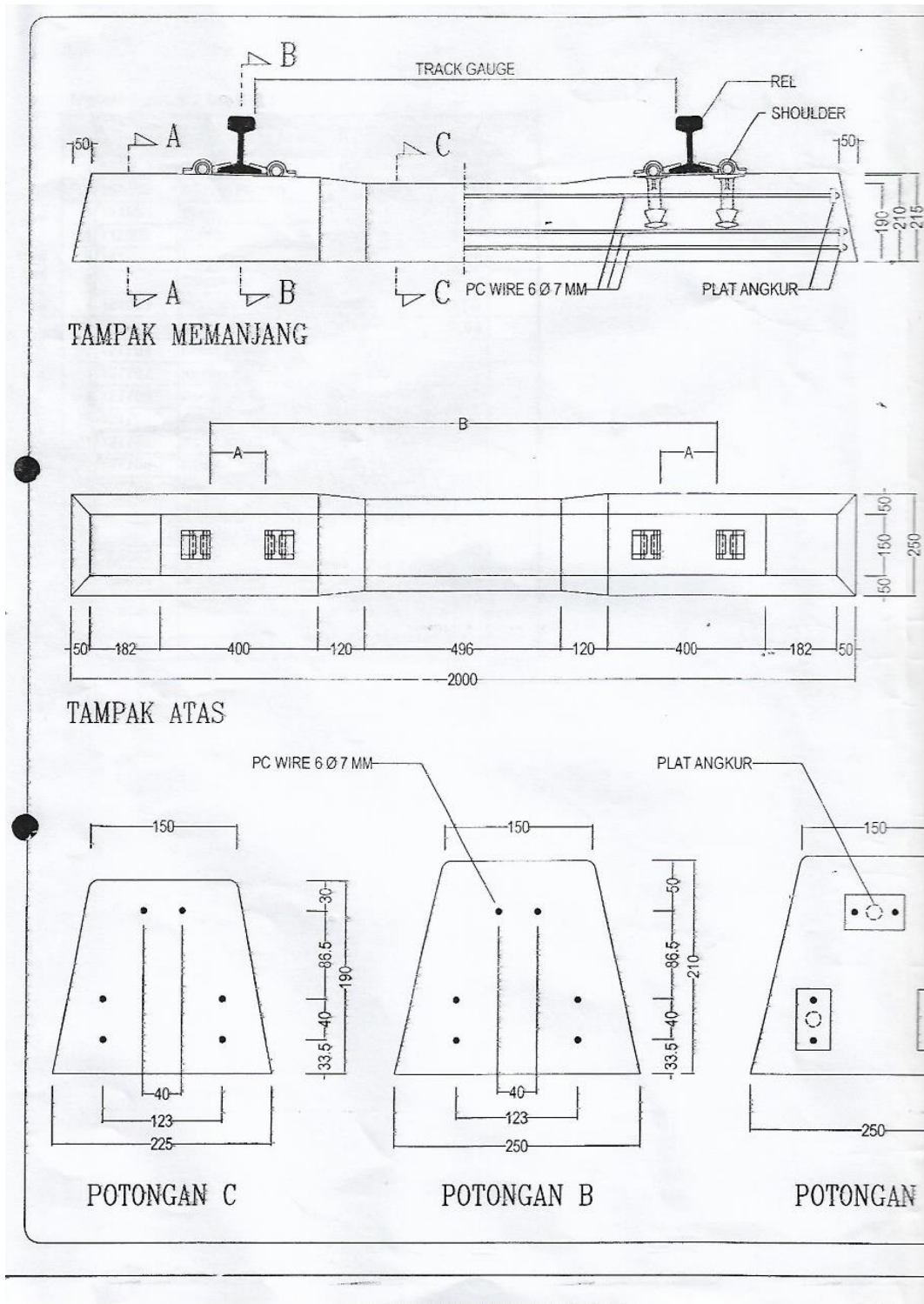
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN-1

Proses Produksi	m3	kg	ltr	Skenario 1 (100% semen) kg/bjr	2000 ton = 11.111 bjr. Ton	Skenario 2 (90% semen, 10% Fly Ash) kg/bjr	2000 ton = 11.111 bjr. Ton	Skenario 3 (80% semen, 20% Fly Ash) kg/bjr	2000 ton = 11.111 bjr. Ton
Kebutuhan Bahan Baku:									
<i>Semen 40 kg</i>		40,77		40,77	453	36,69	408	32,62	362
<i>Semen Fly Ash</i>		-		-		4,08	45	8,15	91
<i>Pasir</i>	0,04	56		56,00	622,22	56,00	622	56,00	622
<i>Split</i>	0,07	101,5		101,50	1.127,77	101,50	1.128	101,50	1.128
<i>Admixture</i>		0,37		0,37	4,11	0,37	4	0,37	4
<i>PC Wire 7mm</i>		3,58		3,58	39,78	3,58	40	3,58	40
<i>Angkur Besi 7mm</i>		3,63		3,63	40,33	3,63	40	3,63	40
<i>Shoulder</i>		31,44		31,44	349,33	31,44	349	31,44	349
Σ berat bjr =		180			2.000				
Kebutuhan Bahan Bakar:									
Forklift			226.800	30		30		30	
Dump Truck			60.480	8		8		8	
Trailer			7.560	1		1		1	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN-2



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 12 Mei 1993. Memulai pendidikan perguruan tinggi negeri di departemen infrastruktur sipil diploma III pada tahun 2011-2015 dan linier lanjut jenjang diploma IV tahun 2016-2017 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan. Pada tahun 2018 melanjutkan program beasiswa *fresh graduate* program magister teknik bidang teknik dan manajemen jalan rel. Penulis aktif pada kegiatan pelatihan *soft skill* seperti UKM Maritime Challenge, LKM Pra TD 2012, LKMM TD 2013, dan *Leadership Organization Training*. Ketertarikan penulis pada kolaborasi disiplin ilmu teknik lingkungan dan teknik sipil dengan metode analisis *life cycle assessment* (LCA) diawali dengan ketertarikan studi pemanfaatan daur hidup suatu produksi bantalan beton terhadap pelepasan emisi. Berbagai pelatihan dan seminar di bidang teknik sipil perkeretaapian juga diikuti untuk menunjang pengembangan diri. Setelah lulus penulis juga aktif bekerja di instansi pemerintahan dan juga konsultan perencanaan maupun pelaksanaan di bidang bangunan konstruksi selama 2 tahun. Untuk pertanyaan mengenai tesis dapat menghubungi penulis via email : ryanhardianto12@gmail.com. atau *contact person* : +628563196003.