

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Posisi Penelitian

Peneliti melakukan studi pustaka dengan membandingkan penelitian sekarang dengan penelitian sebelumnya, adapun beberapa tinjauan pustaka terdahulu yaitu:

Penelitian LCA transportasi Chester (2008) ruang lingkupnya lebih luas, yaitu pada beberapa negara bagian di US. Analisis yang dilakukan mulai dari fase desain, fase ekstraksi bahan baku, fase manufaktur, infrastruktur, fase operasi, fase perawatan, dan fase *disposal*. Parameter emisi yang dianalisis yaitu CO₂, CH₄, dan N₂O sebagai *stressor* untuk dampak efek gas rumah kaca atau *Green House Gases* (GHG), serta emisi untuk kriteria polusi yang lain yaitu CO, SO₂, NO_x, VOCs, dan PM₁₀. *Input* dan *output* dalam penelitian ini dinormalisasikan dengan *vehicle lifetime*, *Vehicle Mile Travelled* (VMT), dan *Passenger Mile Travelled* (PMT) sebagai satuan unit fungsional. Chester (2008) menggaris bawahi pentingnya inventori energi dan emisi untuk alat-alat transportasi termasuk penggunaan energi langsung di luar kendaraan. Dari penelitian yang dilakukan tersebut hasilnya tidak terlalu berbeda.

Pada penelitian terdahulu oleh Simon et al (2010), melakukan analisis emisi CO₂ pada fase manufaktur, fase operasi, dan fase *disposal* dengan tiga kategori mobil penumpang, yaitu *regular cars*, *compact cars*, dan *mini cars*. Dengan hasil penelitian bahwa efek dari perubahan pola penggunaan di ketiga

kategori mobil penumpang pada jumlah emisi CO₂ tidak cukup efektif. Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak tersebut diperlukan peningkatan kualitas bahan bakar.

Fase yang memberikan kontribusi dominan untuk setiap objek yang diteliti adalah fase operasi. Energi dan emisi GHG yang dihasilkan pada fase operasi kendaraan mencapai 10% hingga 70% dari total inventori. Namun kedua penelitian tersebut tidak melibatkan perhitungan dampak (*impact assessment*) yang lain, terkecuali dampak GHG. LCI ini membutuhkan ketersediaan dataset yang lebih berkembang untuk mengevaluasi dampak terhadap GHG, dampak kesehatan pada manusia, dampak pengurangan sumber daya abiotik, dampak pengasaman, dan kategori dampak yang lain.

Andriani (2013) melakukan penelitian sistem transportasi di kota Surakarta, penelitian yang dilakukan adalah penilaian terhadap sistem transportasi di kota Surakarta dalam upayanya untuk mewujudkan transportasi berkelanjutan di kota tersebut. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui 3 analisis, meliputi : analisis sistem transportasi terkait sistem aktivitas, sistem pergerakan dan sistem jaringan, analisis transportasi berkelanjutan terkait aspek ekonomi transportasi, sosial transportasi dan dampak lingkungan transportasi, serta analisis green transportation terkait kebijakan, pemilihan moda dan penerapan konsep.

Setiowati (2014) melakukan penelitian mengenai *Life Cycle Assessment* Sepeda Motor di Indonesia. Penelitian yang bertujuan untuk menganalisis

penggunaan LCA untuk mengevaluasi konsumsi energi dan dampak lingkungan dari sepeda motor dengan *life cycle perspective*. Lingkup penelitian yang diambil adalah fase proses manufaktur beserta infrastruktur bangunan, fase operasi beserta produksi bahan bakar, fase perawatan dan disposal sepeda motor. Fungsional unit yang digunakan adalah satu orang penumpang per kilometer. *Database* dibangun dan dikumpulkan berdasarkan data – data melalui observasi langsung, wawancara, data ecoinvent dan data – data empiris penunjang lainnya.

Penelitian lain dilakukan oleh Vellini dan Gambini (2014) dengan melakukan deskripsi *Life Cycle Inventory* LCI energi dan emisi terhadap penggunaan kendaraan roda dua jenis *sport* dengan tiga jenis model pada katup motor (*valve engine*) yang diproduksi di Italia. Tujuan dari penelitian Vellini dan Gambini (2014) adalah untuk membandingkan tingkat performansi kendaraan roda dua jenis *sport* untuk mesin 4 tak yang terdiri dari tiga model yaitu model pertama untuk mesin 4 tak dengan tiga silinder dan dua belas katup, model kedua untuk mesin 4 tak dengan empat silinder dan enam belas katup pada jenis model kendaraan baru, serta model yang ketiga untuk mesin 4 tak dengan empat silinder dan enam belas katup pada jenis model kendaraan lama. Hal tersebut dilakukan untuk mengevaluasi energi dan dampak utama yang dihasilkan oleh masing-masing fase siklus hidup untuk melihat adanya potensi pengembangan perbaikan yang bertahan lama (*sustainable*) dari perubahan yang dilakukan terhadap model. Potensi dampak tersebut yaitu EP, AP, ODP, POCP, dan GWP. Siklus hidup dari ketiga model tersebut ditunjukkan melalui empat aktivitas utama, yaitu

pertambangan dan pengadaan (*mining and procurement*), proses manufaktur, pengepakan dan pengiriman, serta fase operasi dan perawatan.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian pada area riset ini menarik untuk dikaji lebih lanjut karena masih sedikitnya jumlah literatur yang membahas tentang *sustainability* transportasi. Metode yang digunakan pada penelitian terdahulu hanya menggunakan LCA yang mengkaji berdasarkan dampak terhadap lingkungan tanpa membahas dampak pada sosial ekonomi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan dengan mengkaji *sustainability* transportasi berdasarkan 3 aspek yaitu aspek lingkungan sosial dan ekonomi. Adapun objek yang dipilih pada penelitian ini adalah bus Trans Jogja yang merupakan moda transportasi perkotaan di Yogyakarta. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang mengarah pada *sustainability* transportasi yang mana belum pernah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode
1	Chester (2008)	Life Cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States	Life Cycle Assessment

2	Simon. Et al (2010)	Analysis of Global and Local Environmental Impacts of Bus Transport <i>by</i> LCA Methodologies	Life Cycle Assessment
3	Andriani (2013)	Penilaian Sistem Transportasi yang Mengarah Pada Green Transportasi di Kota Surakarta	Life Cycle Assessment
4	Setiowati	<i>Life Cycle Assessment</i> Sepeda Motor di Indonesia	Life Cycle Assesment
5	Vellini dan Gambini (2014)	Innovative high performance two-wheeled sport vehicles: an energy and environmental comparison study	Life Cycle Assessment

6	Fadhilo (2016)	Analisis <i>Sustainability</i> Pada Moda Transportasi Perkotaan di Yogyakarta	Life Cycle Assessment
---	----------------	---	--------------------------

2.2. Transportasi

Menurut Kamarwan et al. (1997) Transportasi adalah kegiatan pemindahan penumpang dan barang dari satu tempat ke tempat lain. Dalam transportasi terdapat unsur pergerakan (*movement*), dan secara fisik terjadi perpindahan tempat atas barang atau penumpang dengan atau tanpa alat angkut ketempat lain.

Miro (2002) mendefinisikan transportasi memiliki pengertian sebagai usaha memindahkan, menggerakkan, mengangkut, atau mengalihkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lain, dimana ditempat lain ini objek tersebut lebih bermanfaat atau dapat berguna untuk tujuan – tujuan tertentu.

2.3. *Sustainable Development*

Menurut Kaebernick (2003) keberlanjutan dalam perkembangan dan manufaktur dari suatu produk merupakan suatu strategi yang telah diyakini sebagai prinsip meskipun belum diterapkan seluruhnya. Penggabungan dari kebutuhan lingkungan termasuk keseluruhan waktu hidup dari produk memerlukan cara pemikiran dan alat bantu untuk mengambil keputusan yang

baru. Untuk pendekatan ini diperlukan mengenali ciri khas lingkungan yang menonjol dari suatu produk yang tepat mengembangkan keseluruhan kualitas dari produk tersebut tersebut dari sisi konsumen yang dapat menciptakan pasar tambahan dan peningkatan keuangan (Kaebernick, 2003).

Pendekatan tradisional tidak menyertakan aspek lingkungan dalam proses pengembangan. Kebutuhan lingkungan dapat selanjutnya diperkenalkan dalam tahap pengembangan dengan menerapkan beragam alat bantu dan metodologi. Empat contoh metodologi yang menunjukkan pengaruh dalam tahap siklus hidup produk yang mempengaruhi dampak lingkungan, antara lain (Kaebernick, 2003)

:

- a. Memperkenalkan kesadaran terhadap lingkungan pada *customer requirement* (CR),
- b. Menilai dampak lingkungan,
- c. Melakukan *Life Cycle Assessment* (LCA) selama proses desain,
- d. Mengevaluasi potensi dari produk untuk *reuse* dan *recycling*.

2.4. Sustainable Transportation

Sustainable Transportation sendiri berawal dari kata *sustainability*.

Menurut Detr (1998) berdasarkan opini The UK Government's 1998 Policy pengertian *sustainability* adalah :

1. Perkembangan sosial yang mengenal dan mengetahui kebutuhan setiap orang

2. Perlindungan yang efektif terhadap lingkungan dan meminimalisir pengaruh global
3. Efisiensi dalam penggunaan sumber daya alam
4. Biaya tinggi dan kestabilan pertumbuhan ekonomi dan tenaga kerja

Secara khusus transportasi berkelanjutan diartikan sebagai “upaya untuk memenuhi kebutuhan mobilitas transportasi generasi saat ini tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mobilitasnya”. Sistem transportasi berkelanjutan dikatakan sebagai suatu sistem transportasi yang mengakomodasi aksesibilitas semaksimal mungkin dengan dampak negatif seminimal mungkin. Bukan sekedar alat transportasi yang dijalankan dalam waktu dekat akan tetapi juga harus mempunyai dampak yang paling minimal di masa depan. Berdasarkan visi *sustainable transportation* yang harus dicapai, maka diperlukan upaya atau misi dalam pencapaian visi tersebut. Menurut Andriani (2013) mengingat transportasi terdiri dari tiga pilar penting, yaitu sosial, lingkungan, dan ekonomi, maka upaya menuju *sustainable transportation* harus meliputi ketiga pilar tersebut adalah :

1. Sosial
 - Ketersediaan transportasi harus memenuhi kebutuhan dasar manusia untuk kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan dengan cara – cara yang efektif dan tidak merusak tatanan sosial.
 - Mendukung pembangunan yang berorientasi kepada masyarakat seperti menyediakan berbagai pilihan moda transportasi yang nyaman.

- Mengurangi polusi udara dan suara dari transportasi yang sangat mengganggu masyarakat.
- Memberikan keamanan dan kenyamanan bagi masyarakat.

2. Ekonomi

- Sistem transportasi harus menyediakan layanan efektif dalam biaya dan kapasitas
- Sistem transportasi harus menjadi finansial yang terjangkau dalam setiap generasi
- Sistem transportasi harus mendukung aktifitas hidup manusia, sehingga sistem transportasi juga harus berorientasi terhadap ekonomi berkelanjutan.

3. Lingkungan

- Sistem transportasi harus menggunakan tanah secara efektif dan efisien sehingga tanah yang digunakan lebih sedikit dan tidak berdampak besar terhadap integritas ekosistem.
- Sistem transportasi harus menggunakan sumber – sumber lain yang terbarukan atau sistem yang tak habis – habisnya. Sumber terbarukan ini bisa didapat dengan mendaur ulang bahan yang telah digunakan dalam kendaraan umum dan infrastruktur.
- Menghasilkan sedikit emisi

Selanjutnya menurut Bella (2007) dalam Andriani (2013) indikator dari *sustainable* transportasi itu adalah :

1. Keamanan perjalanan bagi pengemudi dan penumpang
2. Penggunaan energi oleh moda transportasi
3. Emisi CO₂ oleh moda transportasi
4. Pengaruh transportasi terhadap lingkungan sekitar
5. Kesenangan dan kenyamanan menggunakan moda transportasi
6. Emisi dari bahan beracun dan bahan kimia berbahaya, polusi udara dikarenakan moda transportasi
7. Guna lahan bagi moda transportasi seperti lahan parkir
8. Gangguan terhadap wilayah alami oleh moda transportasi atau infrastruktur lainnya
9. Polusi suara oleh moda transportasi.

2.5. *Life Cycle Assessment (LCA)*

A. Definisi dan Tujuan *Life Cycle Assessment*

Menurut Fiksel (2009) LCA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengestimasikan energi atau aliran material yang berhubungan dengan siklus hidup produk yang berpengaruh pada dampak lingkungan. Menurut Chester (2008), LCA adalah tools yang komprehensif untuk mengevaluasi emisi dari suatu produk, mulai dari proses pembuatan bahan dasar sampai produk tersebut dibuang (cradle-to-grave). Sedangkan Curran (1996) menyatakan bahwa LCA telah menjadi metode yang sistematik yang diperlukan dalam pencegahan polusi dan *life cycle engineering* untuk menganalisis implikasinya terhadap lingkungan yang

terkait dengan produk, proses, dan layanan yang meliputi berbagai tahapan siklus hidup, seperti : desain, material, dan energi, transportasi, manufaktur, konstruksi, penggunaan dan pengoperasian, perawatan, perbaikan / renovasi / retrofit, dan perawatan akhir (*reuse*, daur ulang, insinerasi, penimbunan).

Menurut Strogen (2012) LCA merupakan sebuah kerangka penting untuk mengevaluasi dan melakukan sertifikasi lingkungan secara komprehensif dari potensi jejak emisi produk dan jasa. Pendekatan ini berimplikasi pada identifikasi dan kuantifikasi emisi dan konsumsi material yang berdampak pada lingkungan pada semua tahapan dari siklus hidup produk secara keseluruhan.

LCA memberikan bantuan untuk mengidentifikasi kesempatan pada peningkatan aspek produk terhadap lingkungan dari berbagai sisi siklus hidup produk. Menurut Masruroh (2002) tujuan LCA adalah untuk membangun produk yang ramah lingkungan sebagai bagian dari fungsinya. Produk dapat berupa *container* minuman (contoh : Membandingkan botol gelas dengan kaleng almunium), perkakas minuman (membandingkan cangkir keramik atau kertas), dan lain – lain. LCA juga dapat digunakan untuk membandingkan material, sebagai contoh, baja dengan almunium, plastik dengan komponen baja untuk motor, mobil, dan lain – lain. Secara umum, LCA dapat digunakan untuk membuat keputusan di industri, pemerintah atau organisasi pemerintah, dengan membandingkan dua atau lebih pilihan yang berbeda (sistem yang berbeda) untuk memperoleh produk

yang sama (fungsi dari sistem). Pada tahapan ini LCA memberikan potensi yang maksimum. Meskipun sebuah sistem berada di tempat berbeda, wakru yang berbeda, dapat dibandingkan menggunakan LCA (Brennan, 2001).

B. Batasan *Life Cycle Assessment*

Menurut Septia (2012) karakteristik utama dari LCA adalah sifat analisis secara keseluruhannya yang menjadi kekuatan utama dan juga pada waktu yang bersamaan, merupakan keterbatasannya. Jangkauannya yang luas dalam melaksanakan LCA yang lengkap dari sebuah produk hanya dapat dicapai dengan menyederhanakan aspek – aspek lainnya.

Ditinjau dari aspek waktu, LCA digunakan pada keadaan yang tetap, bukan sebuah pendekatan dinamis, maksudnya untuk studi selama batasan waktu tertentu, semua kondisi termasuk teknologi dianggap tetap dan tidak berubah. Selain itu, LCA tidak menyediakan kerangka untuk sebuah studi penilaian resiko lokal.

LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar, atau efek lain dalam pengembangan teknologi. LCA menganggap semua proses bersifat linear baik ekonomi dan dalam lingkungan. LCA merupakan alat bantu berdasarkan pemodelan linear.

Dampak lingkungan didefinisikan sebagai dampak yang potensial, karena dampak lingkungan tidak ditetapkan dalam waktu dan tempat, serta berkaitan dengan satuan unit fungsional yang telah didefinisikan.

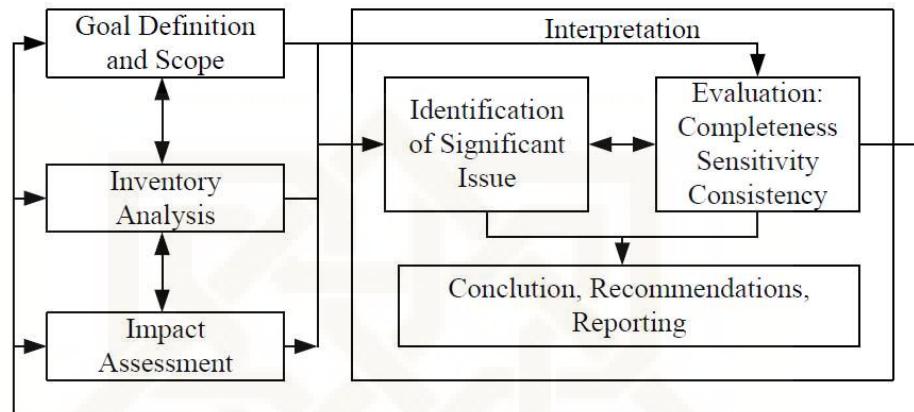
LCA bertujuan untuk menjadi dasar yang bersifat ilmu pengetahuan, namun LCA tetap menggunakan beberapa asumsi yang bersifat teknis dan terpilih. Oleh karena itu, adanya proses standarisasi ISO dalam melaksanakan LCA ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kesewenangan. Hal yang harus dilakukan dalam pelaksanaan LCA adalah menggunakan asumsi dan pilihan setransparan mungkin. LCA membantu menyediakan informasi untuk mendukung keputusan namun LCA tidak dapat menggantikan proses pengambilan keputusan itu sendiri.

2.6. Metode *Life Cycle Assessment*

Prosedur dari LCA merupakan bagian dari ISO 14000 *Environmental Management Standards*: pada ISO 14040 : 2006 dan 14044 : 2006. (ISO 14044 yang digantikan dari versi ISO 14041 ke ISO 14043). Gambar 2.2 menunjukkan langkah – langkah utama dalam pelaksanaan LCA. Berdasarkan standar tersebut, LCA dilaksanakan dalam empat langkah utamanya, yaitu :

1. Mendefinisikan tujuan dan ruang lingkup dari studi serta menentukan batasan.
2. Analisis inventori, meliputi pengumpulan dan pengolahan data dari lingkungan yang berhubungan dengan fungsi unit dan tiap tahapan siklus hidup (*life cycle stage*).
3. Perhitungan dampak regional, global, dan kesehatan manusia dari dampak emisi yang ditimbulkan.

4. Interpretasi hasil dalam menghadapi ketidakpastian, analisis sensitivitas, dan mengkomunikasikan terhadap *stakeholder*.



Gambar 2.1. Langkah – langkah Utama dalam Pelaksanaan LCA

Sumber : US EPA (2013)

A. Langkah 1 : Pendefinisian Tujuan dan Ruang Lingkup

Pendefinisian tujuan dan ruang lingkup merupakan fase awal dalam pelaksanaan LCA secara keseluruhan. Fase ini terdiri dari tiga tahap yaitu :

1. Tahap pendefinisian tujuan
2. Tahap pendefinisian lingkup
3. Tahap pendefinisian fungsi, unit fungsional, alternatif, maupun aliran referensi.

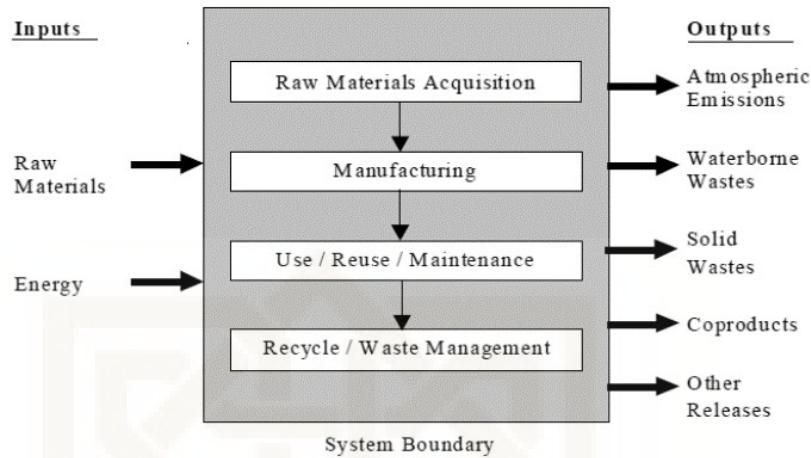
Unit fungsional mendeskripsikan fungsi utama dari sebuah sistem produk. Dari unit fungsional ini dapat disusun beberapa alternatif dari sistem produk yang ekuivalen. Alternatif tersebut dapat berupa pilihan cara, atau proses, maupun bahan yang digunakan untuk dapat memenuhi fungsi dan unit fungsional yang telah ditetapkan. Sedangkan aliran referensi merupakan

sebuah ukuran dari *output* yang dihasilkan oleh proses dalam setiap alternatif sistem produk yang ditujukan untuk memenuhi unit fungsional yang sudah ditetapkan.

B. Langkah 2 : Analisis Inventori

Analisis inventori merupakan fase dimana sistem produk didefinisikan. Dalam LCA, semua masukan dan keluaran pada semua aliran diterjemahkan menjadi intervensi lingkungan. Kegiatan pendefinisian diagram alir menggambarkan garis besar dari semua proses unit utama yang dimodelkan termasuk hubungannya. Hal ini sangat membantu dalam memahami dan menyelesaikan sebuah sistem untuk mendeskripsikan dengan menggunakan diagram alir proses. Gambar 2.3 merupakan diagram siklus hidup input, dan output LCA.

Analisis ini dilakukan dari input hingga output dari setiap tahapan proses mulai dari input raw material (*raw material acquisition*), manufaktur material (*manufacture material*), manufaktur produk (*product manufacture /production*), serta emisi yang dihasilkan dari setiap tahapan dan dampaknya terhadap lingkungan.



Gambar 2.2. Diagram Siklus Hidup, *Input*, dan *Output Life Cycle Assessment*

Sumber : EPA (1993) dalam Curran (2006)

Kunci utama dalam fase inventori adalah pengumpulan data. Untuk menerjemahkan perbandingan yang ada secara konsisten, sebuah format data standar harus dikembangkan. Pengumpulan data sesuai dengan format yang sudah ditentukan, dilakukan untuk mengkuantifikasi semua aliran yang berkaitan dengan proses. Kemudian dilanjutkan dengan pengecekan validitas dari data yang telah dikumpulkan. Alat bantu yang dapat digunakan seperti keseimbangan masa, keseimbangan energi dan perbandingan data dari sumber lain.

Pada prinsipnya, sebuah LCA harus menelusuri semua proses yang berkaitan dalam siklus hidup pada sistem produk yang diberikan, *from cradle to grave*. Namun pada praktiknya hal tersebut tidak dapat dilakukan dan biasanya beberapa aliran dijadikan dan diabaikan karena ukuran tersedianya data siap diakses. Langkah ini biasanya merupakan langkah yang

membutuhkan porsi waktu yang paling banyak diantara langkah – langkah yang lain

C. Langkah 3 : Perhitungan Dampak

Hasil dari analisis inventori tidak memberikan informasi tentang pengaruh dari produk, proses, atau pelayanan. Hal ini dikarenakan jumlah keseluruhan dari limbah dan emisi serta bahan baku dan kebutuhan energi harus dilihat potensinya dalam memberikan dampak pada lingkungan. Sehingga hasil dari analisis inventori diterjemahkan pada kontribusi bagi kategori dampak yang relevan atau disebut *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA).

Proses untuk mendapatkan LCIA umumnya dibagi menjadi tiga langkah utama, yaitu sebagai berikut :

1. Klasifikasi

Sebagai langkah pertama dari LCIA, tahap ini bertujuan untuk mengklasifikasikan input dan output yang telah didapatkan dari analisis inventori menjadi beberapa kategori dampak lingkungan. Sebagai contoh dari proses klasifikasi, metan, karbondioksida, dan CFCs akan diklasifikasikan sebagai gas penyebab dampak GWP.

2. Karakterisasi

Pada langkah kedua analisis dampak ini, ditentukan potensi efek dari input dan output terhadap kategori dampak lingkungan. Setiap jumlah bahan dikonversi menjadi suatu angka (misalnya *potency factor*)

yang menunjukkan seberapa besar potensinya untuk menyebabkan dampak tersebut. Misalnya, penentuan besarnya potensi relatif dari metan, karbondioksida, dan CFCs terhadap dampak GWP.

3. Perhitungan

Langkah selanjutnya yaitu perhitungan yang didasarkan pada hasil dari langkah karakterisasi. Oleh karena itu, kategori dampak lingkungan yang mengkhawatirkan menerima porsi perhatian yang lebih dari pada kategori dampak yang kurang mengkhawatirkan. Pada langkah ini, sudah didapatkan perkiraan dampak lingkungan yang relatif penting.

Menurut Guinee (2002) dampak lingkungan dalam analisis LCA dinyatakan dengan berbagai macam indikator. Kategori dampak dasar (*baseline impact category*), terdiri atas sebelas kategori dampak yaitu :

a. Penipisan sumber daya alam (*abiotic resource depletion*)

Sumber daya abiotik adalah sumber daya alam (termasuk sumber daya energi) seperti bijih besi, minyak mentah, dan energi angin tergolong tidak hidup (Guinee et al., 2002). Penipisan sumber daya abiotik merupakan salah satu kategori dampak yang sering didiskusikan dan tersedia banyak variasi metode yang dapat digunakan untuk mengarakterisasikan kontribusi pada kategori ini.

b. Dampak dari penggunaan lahan (*impact of land use*)

Kategori ini berhubungan dengan berkurangnya lahan sebagai sumber daya alam, sehingga untuk sementara waktu tidak dapat digunakan.

c. Perubahan iklim (*climate change*)

Perubahan iklim didefinisikan sebagai dampak dari emisi manusia pada *radiative forcing* (contoh : penyerapan radiasi panas) pada atmosfer. Kebanyakan dari emisi ini meningkatkan *radiative forcing* dan meningkatkan suhu permukaan bumi. Hal ini dikenal sebagai efek gas rumah kaca (*Global Warming Potential*).

d. Penipisan lapisan ozon stratosfer (*stratospheric ozone depletion*)

Penipisan lapisan ozon stratosfer ini berkaitan pada penipisan lapisan ozon stratosfer sebagai hasil dari emisi yang disebabkan oleh manusia (*anthropogenic*). Hal ini menyebabkan semakin besarnya fraksi dari radiasi solar UV-B yang mencapai permukaan bumi, dan hal ini berpotensial pada dampak buruk pada kesehatan manusia, kesehatan hewan, ekosistem terestrial, ekosistem akuatik, siklus biokimia, dan material.

e. Dampak bahan beracun pada manusia (*human toxicity*)

Dampak ini berkaitan dengan dampak pada kesehatan manusia dari bahan – bahan berbahaya yang ada pada lingkungan.

f. Dampak bahan beracun pada ekosistem (*exotoxicity*)

Terdiri dari 3 dampak, yaitu dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar / *freshwater aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada ekosistem air laut / *marine aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada terestrial / *terrestrial ecotoxicity*. Area yang dilindungi adalah lingkungan dan sumber daya alam.

g. Pembentukan *photo – oxidant*

Pembentukan *photo – oxidant* adalah pembentukan dari senyawa kimia reaktif seperti ozon akibat sinar matahari, dengan sumber utama yaitu polusi udara primer tertentu. Senyawa reaktif ini dapat melukai manusia, ekosistem, dan dapat membahayakan tanaman pangan. *Photo – oxidant* dapat terbentuk pada lapisan troposfer dalam pengaruh sinar ultraviolet melalui proses oksidasi *photochemical* dari *Volatile Organic Compounds* (VOC's) dan karbon monoksida (CO) dengan adanya nitrogen oksida (NO_x).

h. Pengasaman (*acidification*)

Polusi yang bersifat mengasamkan memiliki banyak dampak pada tanah, air bawah tanah, air di permukaan tanah, organisme biologi, ekosistem, dan material. Polusi yang bersifat mengasamkan yang paling utama adalah SO₂, NO_x, dan NH_x.

i. *Eutrophication*

Eutrophication mencakup semua dampak yang potensial pada tingkat nutrisi makro lingkungan yang berlebihan, seperti nitrogen (N) dan fosfor (P). Konsentrasi nutrisi yang tinggi dapat menyebabkan air dipermukaan tidak dapat digunakan sebagai air minum. Pada ekosistem air, peningkatan produksi biomassa dapat berakibat pada tingkat oksigen yang rendah, karena adanya tambahan konsumsi oksigen dalam dekomposisi biomassa (yang diukur sebagai *biological oxygen demand*).

Metode karakterisasi dasar yang digunakan pada delapan kategori yang termasuk kategori dampak dasar secara ringkas ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Faktor Karakterisasi Kategori Dampak Dasar

No	Kategori Dampak	Hasil LCI	Indikator Kategori	Faktor Karakterisasi	Satuan dan Hasil Indikator
1	Penipisan Sumber Daya Abiotik	Ekstraksi mineral dan minyak bumi (dalam kg)	Penipisan dari cadangan terakhir berkaitan dengan penggunaan tahunan	<i>Abiotic resource Depletion Potential (ADP)</i> untuk setiap ekstraksi dari mineral dan bahan bakar fosil (dalam kg antimony eq/kg ekstraksi)	kg (antimony equiv.)
2	Persaingan Lahan	Penggunaan lahan (dalam m ² per tahun)	Penggunaan lahan	1 (tanpa dimensi)	M ² per tahun
3	Perubahan Iklim	Emisi gas rumah kaca ke udara (dalam kg)	<i>Infrared Radiative Forcing (W/m²)</i>	Potensi pemanasan global untuk jangka waktu 100 tahun mendatang (GWP 100) untuk setiap emisi gas rumah kaca ke udara (dalam kg CO ₂ eq/kg emisi)	kg (CO ₂ eq)
4	Penipisan Lapisan Ozon Stratosfer	Emisi gas yang berdampak pada penipisan ozon ke udara	Perusakan lapisan ozon	Potensi penipisan ozon di keadaan tetap (ODP steady state) untuk setiap emisi ke udara (dalam kg CFC-11 eq/kg emisi)	kg (CFC-11 eq)
5	Dampak Bahan Beracun pada Manusia	Emisi bahan berbahaya ke udara, air, dan tanah (dalam kg)	Penyerapan harian bahan beracun yang dapat diterima	<i>Human Toxicity Potential (HTP)</i> untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)	kg (1,4-dichlorobenzene eq)
6	Dampak Bahan Beracun Pada Ekosistem Air Tawar	Emisi dari bahan beracun pada udara, air, dan tanah (kg)	Prediksi konsentrasi lingkungan / prediksi konsentrasi yang tidak berefek	<i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential (FAETP)</i> untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)	kg (1,4-dichlorobenzene eq)
7	Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut				

8	Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial				
9	Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	Emisi dari zat (VOC, CO) ke udara (dalam kg)	Pembentukan lapisan ozon troposfer	<i>Photochemical Ozone Cretion Potential</i> (POCP) untuk setiap emisi dari VOC atau CO ke udara (dalam kg <i>ethylene eq</i> /kg emisi)	kg (<i>ethylene eq</i>)
10	Pengasaman	Emisi dari polusi yang mengasamkan ke udara (dalam kg)	Beban kritis pengasaman	<i>Acidification Potential</i> (AP) untuk setiap emisi bersifat mengasamkan ke udara (dalam kg SO ₄ eq./kg emisi)	Kg (SO ₄ eq.)
11	<i>Eutrophication</i>	Emisi dari bahan gizi ke udara, air, dan tanah (dalam kg)	Endapan keseimbangan N/P dalam biomassa	<i>Eutrophication Potential</i> (EP) untuk setiap <i>eutroplyng emission</i> ke udara, air, dan tanah (dalam kg PO ₄ ³⁻ eq/kg emisi)	kg (PO ₄ ³⁻ eq/kg)

Sumber : Guinee et al. (2002)

D. Langkah 4 : Interpretasi Hasil

Menurut Septia (2012) elemen utama dari fase ini adalah evaluasi hasil, formulasi dari kesimpulan dan rekomendasi dari studi ini. Fase ini terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Pengecekan mengenai konsistensi dengan tujuan untuk menentukan apakah asumsi, metode, model dan data konsisten terhadap tujuan dan cakupan studi mengenai siklus hidup produk dan opsi lainnya.
2. Pengecekan mengenai kelengkapan dengan tujuan untuk memastikan semua informasi yang relevan dan data yang dibutuhkan untuk fase ini sudah tersedia lengkap.
3. Analisis kontribusi di mana terjadi penghitungan kontribusi keseluruhan pada hasil dari berbagai faktor. Hasil dari analisis ini menjawab pertanyaan tentang kontribusi dari aliran lingkungan, proses, dan dampak yang spesifik terhadap nilai akhir.
4. Analisis gangguan yang mempelajari efek dari perubahan kecil di dalam sistem dari hasil LCA.
5. Analisis sensitivitas dan ketidakpastian.

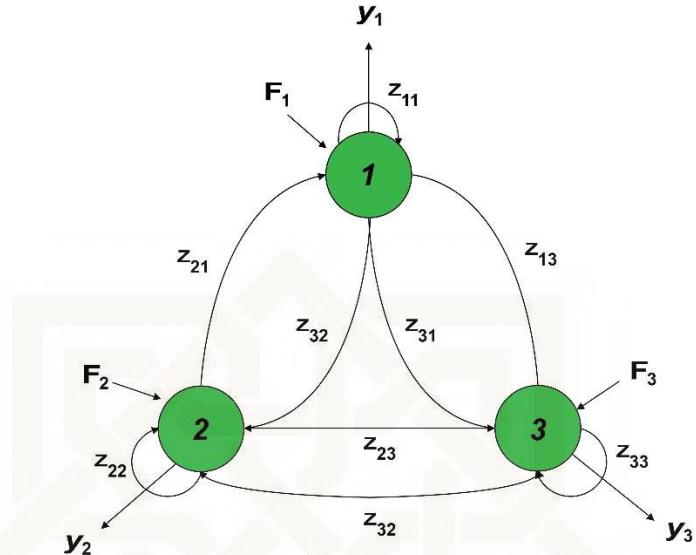
2.7. Persamaan Matematis *Life Cycle Assessment*

Menurut Baumann dan Tillman (2004) dalam Setiowati (2014) perhitungan model LCA dibedakan menjadi dua sistem, yaitu sistem *foreground* dan sistem *background*. Sistem *foreground* terdiri dari proses – proses yang langkah – langkahnya dapat diambil sebagai hasil dari keputusan berdasarkan

studi LCA, sedangkan sistem *background* LCA merupakan bagian dari model LCA yang terdiri dari proses – proses yang tidak pengaruh langsung dari pembuat keputusan.

Menurut Bettez dan Stromman (2009) dalam Setiowati (2014) perhitungan matematis LCA terdiri dari beberapa jenis matrik yaitu :

1. A_{ff} , yaitu matrik kebutuhan untuk data *foreground*.
2. A_{bf} , yaitu matrik kebutuhan, dimana data kebutuhan ditempatkan pada sistem *background* yang disebabkan oleh sistem *foreground*.
3. A_{fb} , yaitu matrik kebutuhan, dimana data kebutuhan ditempatkan pada sistem *foreground* yang disebabkan oleh sistem *background*.
4. A_{bb} , yaitu matrik kebutuhan untuk sistem *background*.
5. F_f atau S_f , yaitu matrik yang menunjukkan intensitas emisi dari proses *foreground*.
6. F_b , atau S_{bb} , yaitu matrik yang menunjukkan intensitas stressor dari sistem *background*.
7. y_f , yaitu matrik kebutuhan akhir yang ditempatkan pada sistem *foreground*.



Gambar 2.3. Model Matematis LCA

Sumber : Solli dan Stromman (2005) dalam Setiowati (2014)

Menurut Solli dan Stromman (2005) dalam Setiowati (2014) persamaan matematis LCA dapat dibuat berdasarkan prinsip keseimbangan massa dan energi. Pada Gambar 2.3 menunjukkan model matematis LCA. Aliran yang meninggalkan sistem dinotasikan dengan huruf y , yang disebut dengan *demand*, sedangkan aliran faktor eksternal atau faktor produksi yang memasuki sistem yang dapat berupa emisi, penggunaan *raw material*, tenaga kerja, dan sebagainya yang diasumsikan bahwa hanya terdiri dari satu tipe masa (misalnya, *steel*, *aluminium*, *Iron ore*, *concrete*, dan sebagainya) disebut dengan F .

Menurut Heijungs dan Suh (2010) dalam Cahyo (2014) prinsip dasar dalam membangun keseimbangan massa ini dibangun dengan menggunakan prinsip dasar *in*=*out* dalam sistem dengan kondisi *steady state*.

$$\overbrace{F_1 + z_{11} + z_{21} + z_{31}}^{in} = \overbrace{z_{11} + z_{12} + z_{13} + y_1}^{out}$$

$$F_2 + z_{12} + z_{22} + z_{32} = z_{21} + z_{22} + z_{23} + y_2$$

$$F_3 + z_{13} + z_{23} + z_{33} = z_{31} + z_{32} + z_{33} + y_3$$

Dengan demikian diperoleh koefisien sebagai berikut :

$$\begin{array}{ccc} \text{total aliran} & \text{aliran} & \text{total} \\ \text{dari } i \text{ ke } j & \text{per unit output} & \text{output} \\ \widehat{z}_{ij} & = & \widehat{a}_{ij} & \widehat{x}_j \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{total aliran} & \text{aliran} & \text{total} \\ \text{dari } i \text{ ke } j & \text{per unit output} & \text{output} \\ \widehat{F}_j & = & \widehat{f}_{ij} & \widehat{x}_j \end{array}$$

Keseimbangan massa dalam bentuk koefisien adalah sebagai berikut :

$$\overbrace{f_1 x_1 + a_{11} x_1 + a_{21} x_1 + a_{31} x_1}^{in} = \overbrace{a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + y_1}^{out}$$

$$f_2 x_2 + a_{12} x_2 + a_{22} x_2 + a_{32} x_2 = a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + y_2$$

$$f_3 x_3 + a_{13} x_3 + a_{23} x_3 + a_{33} x_3 = a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{33} x_3 + y_3$$

Ketika sistem dalam kondisi *steady state*, *input* selalu sama dengan *output*, dan dengan mendefinisikan koefisien sehingga persamaan tersebut dapat disederhanakan dengan menjumlahkan semua koefisien *input*, maka jumlah keseluruhan koefisien *input* = 1

$$f_1 + a_{11} + a_{21} + a_{31} = 1 \rightarrow \sum_i a_{ij} + \sum_j f_i = 1$$

Dengan nilai keseimbangan massa sebagai berikut :

$$x_1 = a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3 + y_1$$

$$x_2 = a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + a_{23} x_3 + y_2$$

$$x_3 = a_{31} x_1 + a_{32} x_2 + a_{33} x_3 + y_3$$

Kemudian persamaan tersebut diubah dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$$

Dengan,

$$x = Ax + y$$

Sehingga diperoleh persamaan baru yaitu :

$$x = (I - A)^{-1}y$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - a_{11} & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & 1 - a_{22} & -a_{23} \\ -a_{31} & -a_{32} & 1 - a_{33} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$$

Dengan I adalah matrik identitas, sedangkan terminologi $(I-A)^{-1}$ sering digunakan sebagai *Leontief Inverse*.

1. Total *Output* (x)

Total output dari masing – masing proses x, dihitung berdasarkan Persamaan (2.15) dan disederhanakan dalam bentuk matrik pada Persamaan (2.17).

$$x = (I - A)^{-1}y$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{pro} \end{pmatrix} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1pro} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2pro} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{pro1} & a_{pro2} & \cdots & a_{propro} \end{pmatrix} \right]^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{pro} \end{pmatrix}$$

2. Aliran Stressor (E)

Aliran *stressor* (*raw material* dan emisi) dapat dihitung dengan Persamaan (2.18) dan bentuk matrik pada Persamaan (2.19).

$$E = F\hat{x}$$

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1pro} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2pro} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{srt1} & e_{srt2} & \cdots & e_{srtpro} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1pro} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2pro} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{srt1} & f_{srt2} & \cdots & f_{srtpro} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & x_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x_{pro} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

3. Dampak Lingkungan (d)

Stressor diubah kedalam dampak lingkungan yang lebih *representative* dengan menggunakan faktor ekuivalensi / *equivalency factors* (*characterization factors*). Total dampak lingkungan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.20) dan matrik pada Persamaan (2.21).

$$d = Ce = CF(I - A)^{-1}y$$

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1srt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{imp1} & c_{imp2} & c_{imp3} & \cdots & c_{impsrt} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ \vdots \\ e_{srt} \end{pmatrix}$$

4. Dampak Lingkungan dari Proses yang Berbeda (Dpro)

Dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses yang berbeda dapat dihitung dengan Persamaan (2.22) dan matrik pada Persamaan (2.23).

$$D_{pro} = CE = CF\hat{x}$$

$$\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1pro} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{imp1} & a_{imp} & \cdots & a_{imppro} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1srt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{imp1} & c_{imp2} & c_{imp3} & \cdots & c_{impsrt} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1pro} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2pro} \\ e_{31} & e_{32} & \cdots & e_{3pro} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{srt1} & e_{srt2} & \cdots & e_{srtpro} \end{pmatrix}$$

5. Dampak dari masing – masing Stressor (Dstr)

Dampak dari stressor dapat dihitung dengan Persamaan (2.24) dan matrik pada Persamaan (2.25).

$$D_{str} = C\hat{e} = CF\hat{x}$$

$$\begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1pr} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{imp1} & a_{imp2} & \cdots & a_{imppro} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1srt} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{imp1} & c_{imp2} & c_{imp3} & \cdots & c_{impsrt} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & e_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & e_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & e_{srt} \end{pmatrix}$$

Dengan, I = matrik identitas

A (pro x pro) = matrik inventori

F (str x pro) = matrik identitas *stressor*

C (imp x str) = matrik faktor karakterisasi

Y (pro x 1) = vektor dari aliran referensi / *final demand*

X (pro x 1) = vektor dari *output* proses

$e_{(str \times I)}$	= vektor dari <i>stressor</i>
$d_{(imp \times I)}$	= vektor dari dampak lingkungan
$E_{(str \times pro)}$	= matrik <i>stressor</i> dari masing – masing proses
$D_{pro \ (imp \times pro)}$	= matrik dampak dari masing masing proses
$D_{str \ (imp \times str)}$	= matrik dampak dari masing – masing <i>stressor</i>

2.8. Manfaat dan Kelemahan *Life Cycle Assessment*

Menurut Stanciulescu dan Fleming (2006) *Life Cycle Studies* sudah diterapkan dengan banyak cara disektor – sektor pemerintah atau swasta untuk beberapa manfaat seperti pengembangan, peningkatan, dan perbandingan produk. Beberapa manfaat atau nilai penting dari LCA antara lain :

1. Pengambilan keputusan yang lebih baik tentang pemilihan produk dan sistem produksi.
2. Untuk mengidentifikasi dampak utama terhadap lingkungan dan tahap – tahap daur hidup produk.
3. Menyediakan langkah – langkah perbaikan yang berbasis lingkungan.
4. Memberikan solusi atau informasi yang keliru.

LCA juga mempunyai beberapa kelemahan dalam pelaksanaannya.

Beberapa kelemahan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Menyita waktu dan biaya yang cukup besar, dimana karakteristik utama dari LCA adalah sifat analisis secara keseluruhannya dan pada waktu yang bersamaan, merupakan keterbatasannya.
2. Keterbatasan data : ketersediaan dan kualitas data *life cycle inventory*.

3. Permasalahan tentang metodologi : masih sedikitnya pihak yang setuju tentang metodologi analisis dampak.
4. Tidak semua dampak lingkungan diperhatikan dan dipertimbangkan.
5. Kesulitan dalam menginterpretasikan data kuantitatif menjadi dampak lingkungan yang ditimbulkan : ketidakpastian dalam inventarisasi dan dalam metodologi analisis dampak.
6. Perbedaan dalam perumusan LCA yang akan menyebabkan hasil analisis yang berbeda pula.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian ini dilakukan pada moda transportasi kota yaitu Trans Jogja adalah untuk melakukan Analisis *Sustainability* Pada Moda Transportasi Perkotaan di Yogyakarta dengan *Life Cycle Assessment* pada Trans Jogja. Pada penelitian ini kendaraan dan prosesnya diteliti agar dapat diketahui sustainabilitas dari Trans Jogja.

3.2. Data Penelitian

Dalam penelitian ini data – data yang digunakan untuk menyelesaikan masalah terdiri dari jenis data primer dan data sekunder yaitu :

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari subjek penelitian sehingga diperoleh informasi sesuai dengan kondisi fakta yang ada di perusahaan yang berhubungan dengan proses produksi serta dapat dianalisa secara langsung dan sistematis. Yang menjadi data primer dalam penelitian ini :

- a. Data wawancara
- b. Pengukuran komponen

2. Data sekunder

Menurut Sugiyono (2012) data yang didapat dari hasil pengolahan lebih lanjut dari data primer yang disajikan dalam bentuk lain atau dari orang

lain disebut juga sebagai data sekunder. Sumber data sekunder ini merupakan sumber data yang tidak memberikan informasi secara langsung kepada pengumpul data. Data sekunder penelitian ini diperoleh dari hasil studi pustaka dengan membaca literatur – literatur yang dapat menunjang dan mendukung informasi dari data primer. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa profil Trans Jogja, data spesifikasi kendaraan, dan data inventori untuk pelaksanaan LCA yang berasal dari literatur.

3.3. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *software Microsoft Excel*. Software ini merupakan aplikasi untuk mengolah data secara otomatis yang dapat berupa perhitungan dasar, rumus, pemakaian fungsi – fungsi, pengolahan data dan tabel, pembuatan grafik, dan manajemen data. Dalam penelitian ini, *software Microsoft Excel* digunakan untuk melakukan perhitungan dan analisis matrik.

3.4. Metode Pengumpulan Data

1. Wawancara

Wawancara adalah bentuk komunikasi lisan yang dilakukan menurut struktur pembicaraan tertentu oleh dua orang atau lebih. Wawancara dilakukan dengan kontak langsung atau jarak jauh untuk membahas dan menggali informasi tertentu guna mencapai tujuan tertentu pula. Pada penelitian ini, wawancara dilakukan dengan mewawancarai secara langsung pihak dinas perhubungan bidang Trans Jogja yaitu bapak R Sigit Wahyu

Widodo selaku Kepala Seksi Operasi dan Pengendalian Trans Jogja dan pihak operator dengan bapak Gunawan selaku Kepala Seksi Transportasi pada PT Anindya Mitra Internasional untuk mendapatkan informasi yang berhubungan dengan aspek sosial ekonomi dari Trans Jogja.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka memuat pembahasan – pembahasan penelitian terdahulu dan referensi ilmiah yang terkait dengan penelitian ini. Studi pustaka menempati posisi yang tidak kalah penting dari hasil penelitian. Alasannya, studi pustaka dapat memberikan gambaran awal yang kuat, yaitu sebuah alasan tentang sebuah penelitian yang sudah dilakukan.

Dalam melakukan penelitian ini, beberapa buku penunjang yang digunakan seperti buku mengenai *Systems Analysis For Sustainable Engineering – Chang – 2011*. Selain buku penunjang, sumber referensi lain yaitu jurnal – jurnal, baik jurnal nasional maupun jurnal internasional yang mendukung penelitian.

3. Pengamatan Langsung

Pengamatan langsung merupakan cara memperolah data dalam penelitian dengan melakukan pengukuran secara langsung agar data bias didapatkan. Pada penelitian ini pengamatan dilakukan dengan cara pengukuran terhadap kendaraan bus Hino 4 langkah dengan mesin diesel yang memiliki 4 silinder.

3.5. Metode Analisa Data

Setelah data diperoleh, dilakukan analisis data terhadap data – data tersebut. Menurut ISO 14040 : 2006 dan ISO 14044 : 2006 tahapan pelaksanaan LCA diantaranya :

1. Penentuan Tujuan dan Cakupan Penelitian (*Goal and Scope Definition*)

Fase pertama dalam LCA adalah penyusunan definisi tujuan dan cakupan penerapan LCA. Dalam fase ini juga dilakukan penentuan unit fungsional. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk memberikan deskripsi bagaimana melakukan LCA bus dengan menyediakan sejumlah informasi yang cukup relevan untuk melakukan perbandingan produk, proses, kegiatan atau pemilihan tempat dan teknologi, perbaikan dan pengembangan produk, pengurangan dan pencegahan pencemaran, optimasi proses, ataupun penggunaan LCA sebagai penyelesaian masalah.

Scoping atau penentuan batas kajian merupakan asumsi dan keterbatasan suatu LCA. Dalam penelitian ini studi LCA bus dilakukan pada fase ekstraksi *raw material*, fase proses manufaktur beserta infrastruktur untuk konstruksi bangunan pabrik manufaktur, fase operasi beserta kebutuhan bahan bakar, fase perawatan, serta *disposal* bus.

Kemudian unit fungsional yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu orang penumpang per kilometer (*passenger kilometer*; pkm). Dalam hal ini perbandingan dari tiap jenis kendaraan dibawa pada tingkat

pelayanan kendaraan yang sama yaitu satu penumpang per kilometer (*passenger kilometer; pkm*) sebagai satuan unit fungsional.

2. Analisis Inventori (*Inventory Analysis*)

Fase ini merupakan identifikasi dan kualifikasi *input* dari lingkungan pada sistem produk dan emisi serta limbah yang dibuang sistem ke lingkungan. Analisis ini berisi kesetimbangan materi dan energi secara detail pada sistem yang didefinisikan sebelumnya. Hasil dari analisis inventori ini adalah tabel inventori yang menunjukkan sumber daya yang digunakan dan emisi yang terkumpul untuk menyediakan satu unit fungsional.

Pengumpulan data dilakukan untuk setiap proses dalam rantai siklus hidup bus yaitu proses manufaktur produk yang meliputi proses ekstraksi *raw material* dari sumber daya alam, pembuatan komponen – komponen penyusun bus, proses perakitan bus, beserta infrastruktur pabrik yang dibutuhkan untuk proses manufaktur, kemudian proses operasi, proses perawatan dan sampai selesai digunakan (*disposal*).

Analisis inventori merupakan bagian dari proses pembangunan *database*, sehingga hasil dari analisis ini berupa *database* inventori bus yang siap digunakan untuk perhitungan dampak pada langkah selanjutnya pada setiap kategori dampak yang sesuai.

3. Perhitungan Dampak (*Impact Assessment*)

Perhitungan dampak ini dimulai dengan identifikasi banyaknya emisi yang dikeluarkan sistem ke lingkungan serta kontribusinya terhadap dampak

lingkungan. Fase ini yang selanjutnya dikenal dengan istilah *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA).

Pada tahapan LCIA ini dibagi ke dalam 2 langkah yaitu :

a. Klasifikasi

Penugasan atau pengelompokan inventori ke dalam isu – isu lingkungan yang berbeda (kategori dampak). Dalam penelitian ini dampak lingkungan dibagi ke dalam delapan kategori dampak dasar yaitu potensi penipisan sumber daya alam atau *Abiotic resource Depletion Potential* (ADP), potensi perubahan iklim atau *Global Warming Potential* (GWP), potensi dampak bahan beracun bagi manusia atau *Human Toxicity Potential* (HTP), potensi pengasaman atau *Acidification Potential* (AP), dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar atau *Ecotoxicity Potential* (Eco) analisis hanya pada emisi ke udara, pembentukan *photo-oxidant* atau *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP), penipisan lapisan ozon atau *Ozone Depletion Potential* (ODP) dan *Eutrophication Potential* (EP).

b. Karakterisasi

Pada tahap karakterisasi, dilakukan perhitungan antara setiap hasil inventori dengan faktor karakterisasi yang sesuai pada kategori tersebut dan kemudian perhitungan diolah untuk menghasilkan nilai indicator.

Tabel 3.1 menunjukkan faktor karakterisasi yang digunakan.

Tabel 3.1. Faktor Karakterisasi Dampak Lingkungan

Substansi	Kategori Dampak							
	ADP	GWP	ODP	HTP	Eco	POCP	AP	EP
Fe	8.43E-08	0	0	0	0	0	0	0
Si	2.99E-11	0	0	0	0	0	0	0
CO2	0	1	0	0	0	0	0	0
CH4	0	56	0	0	0	0	0	0
N2O	0	280	0	0	0	0	0	0
SF6	0	16300	0	0	0	0	0	0
CFC-11	0	5000	1	0	0	0	0	0
PAH	0	0	0	5.70E+05	170	0	0	0
SO2	0	0	0	0.096	0	0.048	0.001	0
PM10	0	0	0	0.82	0	0	0	0
Pb	0	0	0	470	2.4	0	0	0
NO2	0	0	0	1.2	0	0.028	0	0.00013
Ni	0	0	0	0	630	0	0	0
HF	0	0	0	0	0	0	0.0016	0
CO	0	0	0	0	0	0.027	0	0
HCl	0	0	0	0.5	0	0	0.00088	0
Nox	0	0	0	0	0	0	0.0007	0.00013
NH3	0	0	0	0	0	0	0.00188	0.00035

Sumber : CML (2002)

4. Interpretasi (*Interpretation*)

Interpretasi adalah teknik yang sistematis untuk melakukan identifikasi, melakukan kualifikasi, pengecekan, serta mengevaluasi informasi dari hasil LCI dan LCIA pada sistem dan menjawab tujuan dan cakupan LCA yang telah ditetapkan. Dalam melakukan analisis dan interpretasi hasil ada beberapa hal yang dilakukan yaitu :

a. Mengidentifikasi kontribusi yang paling dominan

Mengidentifikasi kontribusi yang paling dominan terhadap dampak dari berbagai emisi, serta dari berbagai macam proses, fase

siklus hidup, maupun sub-sistem. Besarnya kontribusi dinyatakan sebagai persentase dari total yang dihasilkan.

b. Pemahaman implikasi asumsi kritis

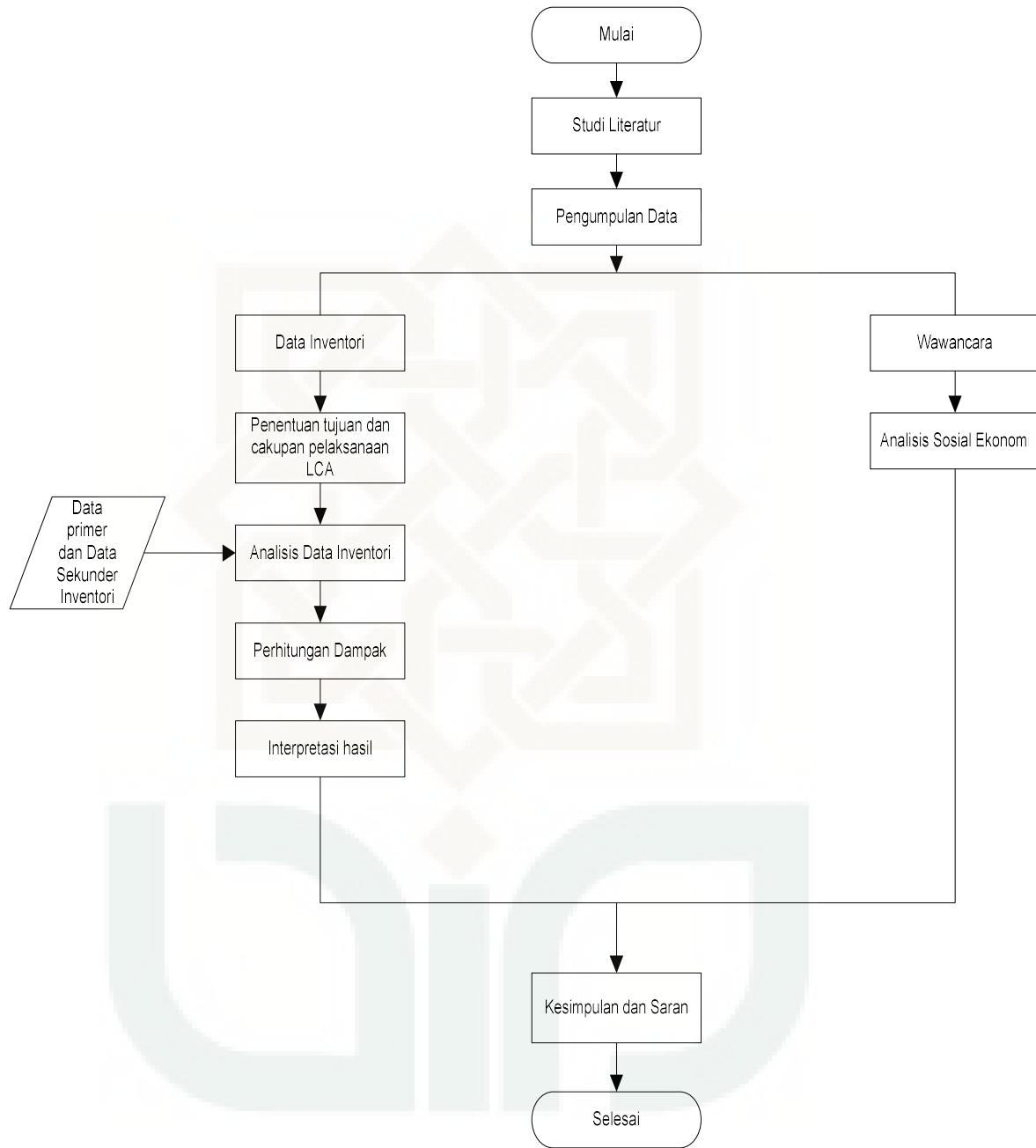
Hal ini dilakukan melalui analisis sensitivitas dengan melakukan perhitungan terhadap pengaruh dari hasil variasi dalam data proses, yaitu dengan membandingkan variasi jumlah penumpang terhadap dampak lingkungan untuk setiap satu unit fungsional.

5. Analisis sosial ekonomi

Analisis sosial ekonomi merupakan analisis kualitatif yang didapatkan dari wawancara terhadap pihak Dinas Perhubungan dan Operator Trans Jogja.

3.6. Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah penelitian yang dilakukan dalam pemecahan tersebut dapat dilihat dalam diagram alir (*flow chart*) berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan langkah pertama studi literatur agar konsep dari penelitian dapat dipahami sehingga memudahkan dalam pengumpulan data. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengumpulan data

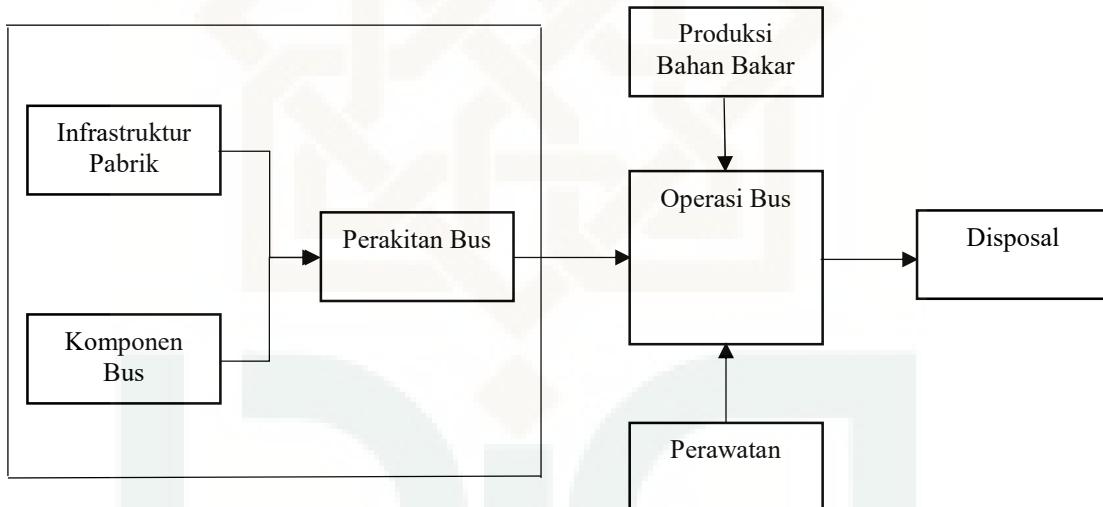
dengan mengumpulkan data inventori dan wawancara. Wawancara pada penelitian ini digunakan sebagai data kualitatif dalam menganalisis dampak terhadap sosial ekonomi. Setelah melakukan pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah menentukan tujuan dan cakupan pelaksanaan LCA yang menjadi dasar untuk menentukan fase dari siklus hidup bus. Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan data inventori pada setiap fase yang digunakan untuk analisis data inventori sehingga kemudian perhitungan terhadap dampak lingkungan dapat dilakukan. Perhitungan dampak lingkungan menghasilkan dampak yang berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan. Berdasarkan nilai dampak yang didapat, dilakukan interpretasi hasil dengan melakukan pengkajian terhadap bahan dan proses yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan. Pada interpretasi hasil dilakukan perbandingan dengan bahan bakar lain dan analisis sensitivitas berdasarkan jumlah penumpang serta melakukan perbandingan dengan moda transportasi lain. Kemudian pada penelitian ini dilakukan penarikan kesimpulan yang menjawab tujuan dari penelitian sehingga dapat memberikan saran kepada pihak terkait dan penelitian ini selesai.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Siklus Hidup Bus

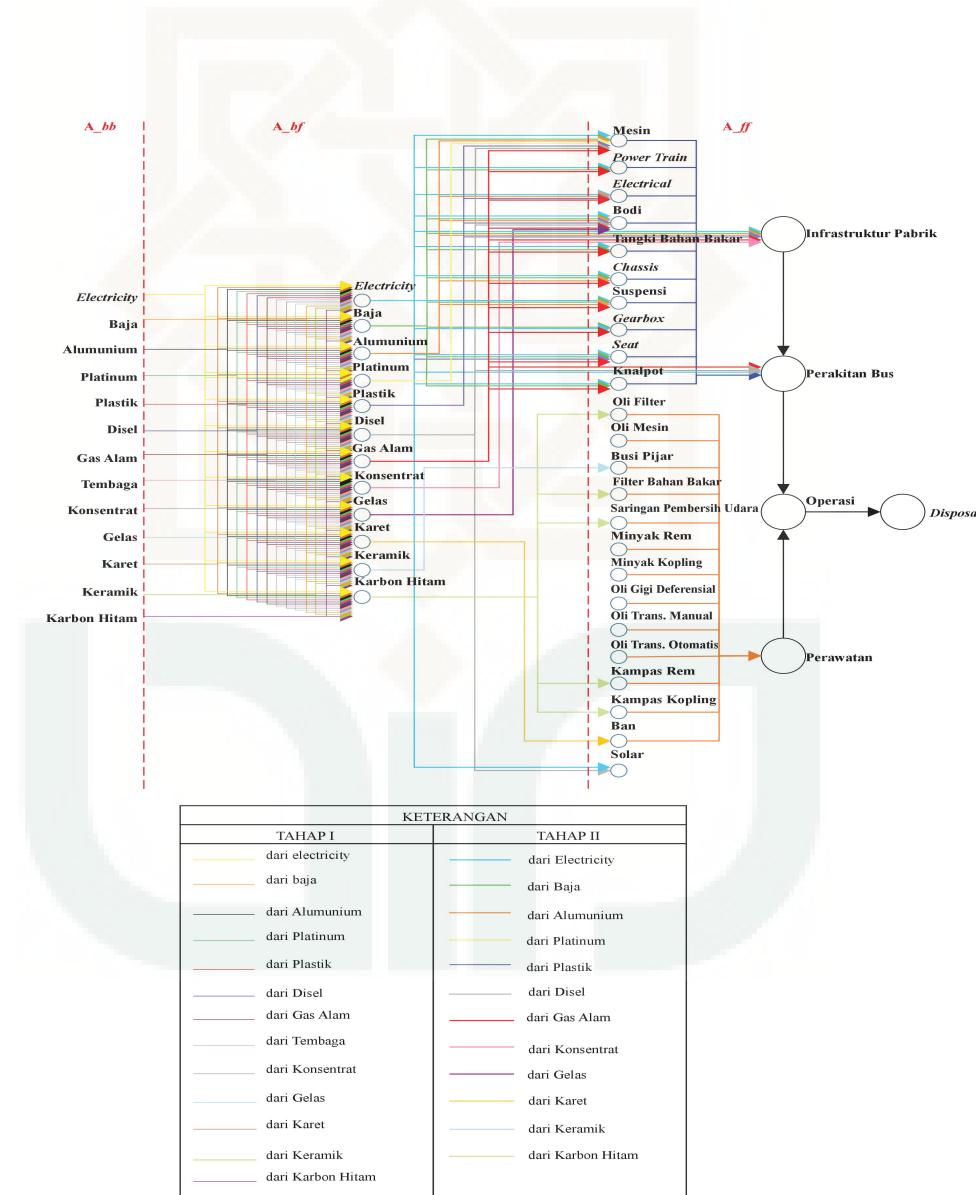
Pada prinsipnya, salah satu kunci dari pelaksanaan LCA adalah harus menelusuri semua proses yang berkaitan dengan siklus hidup suatu produk. Kunci utama dalam pelaksanaan LCA adalah pengumpulan data. Setiap fase dalam siklus hidup bus akan di analisis untuk masing – masing kebutuhan *input* (energi dan material) dan *output*-nya (emisi).



Gambar 4.1 Gambaran Umum Fase Bus

LCA bus trans Jogja terdiri dari fase manufaktur, fase operasi, fase produksi bahan bakar, fase perawatan, dan fase *disposal*. Konsumsi energi pada proses manufaktur terdiri dari konsumsi energi untuk infrastruktur pabrik, komponen bus, dan energi untuk proses perakitan komponen, kemudian untuk fase operasi dibutuhkan konsumsi bahan bakar untuk unit bus itu sendiri. Fase *disposal* bus tidak ada emisi yang dihasilkan karena pada fase ini bus tidak di-

treatment. Gambar 4.1 merupakan gambaran secara umum konsumsi energi dan emisi dari masing – masing fase bus sedangkan *flow chart* konsumsi energi dan siklus hidup bus ditunjukkan pada Gambar 4.2. yang kemudian dijelaskan pada lampiran 10.



Gambar 4.2 Flow Chart Konsumsi Energi Bus

Flow chart digunakan untuk menggambarkan aliran konsumsi energi sehingga dapat diketahui energi yang dibutuhkan dalam memproduksi satu unit bus. Pada flow chart tergambar aliran seperti electricity yang dibutuhkan untuk electricity, baja, alumunium, platinum, plastik, diesel, gas alam, konsentrat, kaca, karet, keramik, dan karbon hitam sehingga kemudian penggunaannya dapat dilanjutkan untuk proses manufaktur pembuatan mesin.

Data inventori ini diperoleh melalui data primer ataupun data sekunder. Data primer diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung, pengamatan, ataupun hasil dari wawancara. Data sekunder diperoleh melalui dari hasil laporan Dinas Perhubungan, PT Jogja Tugu Trans, *database* Ecoinvent v.3, maupun hasil estimasi menggunakan metode ekstrapolasi.

4.2. Unit Fungsional

Unit fungsional mendeskripsikan fungsi utama dari sebuah sistem produk. Data set inventori mobil penumpang menggunakan data dari fase proses manufaktur bus beserta infrastruktur bangunan, fase operasi beserta produksi bahan bakar yang digunakan, fase perawatan, dan fase pembuangan (*disposal*). Dimana perbandingan dari tiap tahapan atau siklus hidup kendaraan tersebut dibawa pada level yang sama sebagai satuan unit fungsional, yaitu 1 *passenger kilometer* (1 pkm).

4.3. Analisis Inventori

Hasil dari analisis inventori adalah tabel inventori yang menunjukkan energi yang digunakan dan emisi yang terkumpul pada setiap fase bus. Data diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung seperti data – data kebutuhan material dan energi untuk data inventori proses perawatan bus. Kemudian data – data yang tidak bias didapatkan dari hasil pengukuran diperoleh dari *database* Ecoinvent v.3. (2014). Pencarian data lainnya juga dilakukan dengan menggunakan metode ekstrapolasi. Metode ekstrapolasi ini merupakan metode yang umum dilakukan dalam tahap pelaksanaan LCA, seperti penelitian yang dilakukan Chester (2008) di US maupun Guinee et. al (2002) di Netherlands.

Dalam hal ini, jumlah penumpang dalam bus diasumsikan adalah satu orang sebagai dasar dalam melakukan perhitungan. Analisis inventori untuk setiap fase bus selama siklus hidupnya berdasarkan data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

4.3.1. *Life Cycle Inventory* Proses Manufaktur Bus

Sesuai dengan batasan masalah, proses manufaktur merupakan data LCI yang digunakan sebagai data *foreground* dalam proses penilaian bus ini. Data yang digunakan merupakan hasil ekstrapolasi dari penelitian Cahyo (2014). Berdasarkan data yang itu, maka diperoleh konsumsi energi yang diperlukan untuk proses manufaktur per unit bus yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Konsumsi energi tersebut merupakan

energi yang diperlukan dari proses *pressing*, *welding*, *body painting*, *plastic painting*, *assembly*, *power plant*, dan *Production Material Control* (PMC). Energi *steam* yang digunakan dalam proses manufaktur ini berasal dari gas alam.

Tabel 4.1 Konsumsi Energi untuk Manufaktur Satu Unit Bus

Energi	Konsumsi	Satuan	Keterangan
<i>Electricity</i>	10000	kWh	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
<i>Natural gas</i>	8000	MJ	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
<i>Diesel</i>	0,8	kJ	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
<i>Steam</i>	0,07	MJ	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
<i>Transportation</i>	400	Tkm	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)

Sumber : Cahyo (2014)

Data LCI proses manufaktur bus didapatkan dari hasil pengukuran berdasarkan estimasi berat komponen utama penyusun bus.

Set data yang digunakan merupakan sampel dari tipe kendaraan yang umum digunakan di Indonesia, yaitu bus Hino mesin diesel 4 langkah segaris. Table 4.2 menunjukkan LCI *input* material proses manufaktur komponen bus.

Tabel 4.2 Data Inventori Energi Proses Manufaktur Komponen Bus

Komponen	Material	Berat rata - rata	Satuan
<i>Engine</i>	<i>Steel</i>	75	Kg
	<i>Aluminium</i>	20	Kg
	<i>Plastic</i>	3	Kg
<i>Power Train</i>	<i>Steel</i>	500	Kg
<i>Electrical</i>	<i>Aluminium</i>	18	Kg

	<i>Plastic</i>	10	Kg
<i>Body</i>	<i>Steel</i>	2000	Kg
	<i>Aluminium</i>	200	Kg
	<i>Plastic</i>	150	Kg
	<i>Glass</i>	60	Kg
	<i>Paint</i>	13	Kg
<i>Fuel Tank</i>	<i>Steel</i>	20	Kg
<i>Chassis</i>	<i>Steel</i>	2400	Kg
<i>Suspension</i>	<i>Steel</i>	250	Kg
	<i>Aluminium</i>	15	Kg
<i>Gearbox</i>	<i>Steel</i>	100	Kg
<i>Seat</i>	<i>Plastic</i>	100	Kg
	<i>Steel</i>	50	Kg
<i>Knalpot</i>	<i>Steel</i>	15	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Steel</i>	100	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Aluminium</i>	60	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Plastic (synthetics)</i>	130	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Glass</i>	10	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Tyres and Rubber</i>	350	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Other Non-Ferrous Metal</i>	31	Kg
<i>Lain-lain</i>	<i>Fluids</i>	50	Kg

Sumber : Pengukuran Komponen (2016)

Komponen penyusun bus dipasok dari lokasi yang berbeda – beda, sehingga diperlukan transportasi untuk membawa komponen tersebut ke lokasi pabrik perakitan. Pada penelitian ini, data inventori emisi proses manufaktur menggunakan ekstrapolasi dari penelitian Cahyo (2014). Total emisi yang dikeluarkan tersebut berdasarkan parameternya ditunjukan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Inventori Emisi Proses Manufaktur Bus

Parameter Emisi	Emisi	Satuan	Keterangan
NO ₂	0,86	microg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
SO ₂	0,76	microg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
CO	0,19	micro/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Pb	80000	gigag/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
H ₂ S	8,33	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
NH ₃	8,24	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
PM ₁₀	5,66	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Chlorine (Cl ₂)	1,06	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Hydrogen Chloride (HCl)	1,06	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Hydrogen Flouride (HF)	1,06	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Air Raksa (Hg)	0,53	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Arsen (As)	1,06	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Antimon (Sb)	0,53	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Cadmium (Cd)	3,18	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
Zinc (Zn)	2,77	mg/m ³	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)
CO ₂	2000	ton	Ekstrapolasi dari mobil penumpang (Cahyo, 2014)

Sumber : Cahyo (2014)

Berdasarkan data emisi proses manufaktur pada penelitian yang dilakukan oleh Cahyo (2014), maka terdapat 14 parameter emisi yang berkontribusi pada proses manufaktur tersebut. Emisi yang dihasilkan berfungsi sebagai data inventori proses manufaktur yang akan digunakan pada perhitungan dampak terhadap lingkungan.

4.3.2. *Life Cycle Inventory* Infrastruktur Bangunan Pabrik Bus

Infrastruktur bangunan atau pabrik diperlukan dalam proses manufaktur bus. Penyediaan fasilitas infrastruktur bangunan atau pabrik memerlukan konsumsi energi dan emisi yang dihasilkan selama proses pembangunan, sehingga diperlukan analisis inventori dari *input* energi dan material serta emisi karena hal tersebut turut berkontribusi terhadap aktivitas produksi bus. Masa pakai bangunan pabrik ini adalah 50 tahun (ecoinvent, 2014) yang dihitung mulai pabrik digunakan.

Data inventori kebutuhan material dan energi dalam konstruksi bangunan pabrik ini diperoleh dari data infrastruktur bangunan pabrik kendaraan jalan atau *road vehicle factory construction* melalui Ecoinvent v.3 (2014). Infrastruktur pabrik memiliki luas bangunan (*building, hall*) sebesar 240.000 m² yang terdiri dari *steel construction* dan *wood construction* serta ruang penyimpanan bangunan (*building, multy – storey*) sebesar 361.000 m³. Dengan demikian diperoleh total kebutuhan material bangunan seperti pada Tabel 4.5. Berdasarkan ekstrapolasi dengan menggunakan penelitian Cahyo (2014) tentang LCA kendaraan penumpang di Indonesia, Lokasi pabrik yang digunakan sebagai sampel berada di kawasan industri Cikarang, maka jarak transportasi material konstruksi diasumsikan dengan menggunakan panjang jalan Pantai Utara (Pantura), yaitu 1.390,57 km. Inventori

energi yang diperlukan dalam membangun infrastruktur bangunan pabrik bus ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Inventori Material dan Energi Konstruksi Bangunan Proses Manufaktur

Material	Jumlah	Satuan	Keterangan
Steel	9000	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Plastics	300	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Concrete	30	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Aluminium	4000	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Glass	2000	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Copper	3000	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Electricity	3000	kWh	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
Transport	0.30	tkm	Panjang jalan Pantura 1.390,57 km

Sumber : Ecoinvent v.3 (2014)

Pada Tabel 4.5 merupakan data emisi dari konstruksi proses manufaktur berdasarkan parameter yang didapat dengan menggunakan data inventori Ecoinvent v.3. Berdasarkan data yang diperoleh maka emisi dari konstruksi proses manufaktur terdiri dari CO₂, CO, HCl, HF, NO_x, PM₁₀, dan SO₂ sebagaimana terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Emisi Konstruksi Proses Manufaktur

Parameter	Emisi	Satuan	Keterangan
CO ₂	7000	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
CO	20	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
HCl	0,5	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
HF	0,4	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
NO _x	10	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>

PM ₁₀	0,8	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>
SO ₂	4	ton	Ecoinvent v.3 (2014) <i>road vehicle factory construction, building, hall, multi-storey</i>

Sumber : Ecoinvent v.3 (2014)

4.3.3. *Life Cycle Inventory* Proses Operasi Bus

Kegitan operasi bus dilakukan selama siklus hidupnya. Setiap jenis kendaraan memiliki *lifetime* yang berbeda – beda. Mobil sedan memiliki *lifetime* 16,9 tahun (27.358,85 km/tahun), mobil SUV dan mobil *pickup* memiliki *lifetime* 15,5 tahun (30.577,54 km/tahun dan 25.749,50 km/tahun) serta bus memiliki *lifetime* 12 tahun (67.200 km/tahun) (Chester, 2008). Jarak tempuh bus trans Jogja berdasarkan penelitian Basuki (2013) adalah 91.534,20 km/tahun. Selama masa operasi bus memerlukan bahan bakar solar sebesar 4 km/liter (Basuki, 2013). Kebutuhan *input* energi untuk proses operasi ditunjukan pada table 4.6, sedangkan Tabel 4.7 menunjukkan emisi yang dihasilkan melalui peoses operasi bus termasuk pembakaran bahan bakar. Kapasitas bus di desain untuk 40 orang penumpang.

Analisis LCI pada fase proses perawatan juga dilakukan pada emisi yang dihasilkan selama proses manufaktur komponen – komponen bus. Beberapa data yang tidak bias diperoleh dilakukan menggunakan ekstrapolasi dari set data manufaktur dan operasi jenis bus yang sudah dilakukan oleh penelitian sebelumnya serta menggunakan data dari

standar EURO II. Ekstrapolasi dilakukan pada bus dengan berat 7000 kg (Chester, 2008).

Tabel 4.6 Data Inventori Energi Proses Operasi Bus

Kebutuhan	Jumlah	Satuan	Keterangan
Bus	0,00000092	unit	Kebutuhan unit bus untuk kapasitas 1 orang dengan <i>lifetime</i> 12 tahun (91.534,20 km/tahun)
Solar	0,25	liter	Konsumsi solar adalah 4 km/liter (Basuki, 2013)

Sumber : Pengolahan Data (2017)

Data inventori emisi pada operasi bus didapat dengan menggunakan data SO₂ dari *bus vehicle inventory* yang dilakukan oleh Chester (2008). Data CO, NO_x, PM₁₀ dan HC peneliti menggunakan data dari standar EURO II yang merupakan standar emisi pada kendaraan yang berlaku di Indonesia saat ini. Kemudian data VOC dan CO₂ menggunakan data hasil pembakaran 1 liter solar yang dilakukan oleh Restianti dan Gheewala (2012).

Tabel 4.7 Data Inventori Emisi Proses Operasi Bus

Parameter	Emisi	Satuan	Keterangan
SO ₂	3,7	kg	<i>Bus vehicle inventory</i> (Chester, 2008)
CO	1	kg	Standar EURO II
NO _x	1,1	kg	Standar EURO II
VOC	0,01	kg	Hasil pembakaran 1 liter solar (Restianti dan Gheewala, 2012)
PM ₁₀	0,08	kg	Standar EURO II
CO ₂	0,3	mg	Hasil pembakaran 1 liter solar (Restianti dan Gheewala, 2012)
HC	7	kg	Standar EURO II

Sumber : Pengolahan Data (2017)

4.3.4. *Life Cycle Inventory* Bahan Bakar Bus

Pada penelitian ini jenis bahan bakar yang digunakan pada bus adalah solar. LCI produksi bahan bakar solar diperoleh dari data hasil LCA produk solar di Indonesia yang telah dilakukan oleh Restianti dan Gheewala (2012). Terdapat dua aktivitas utama dalam proses produksi solar, yaitu ekstraksi minyak mentah (*crude oil*) dan proses pengilangan minyak. LCI *input* energi dan emisi yang dihasilkan dari proses ekstraksi *crude oil* ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8 Data Inventori Material dan Energi Proses Ekstraksi 1 kL Crude Oil

Produk	Jumlah	Satuan
Raw Material :		
<i>Crude Oil</i>	1,248	ml
<i>Natural Gas</i>	0,0000761	SCF
<i>Salty Water</i>	178	L
Energi :		
<i>Diesel (pump)</i>	0.000112	ml
<i>Electricity</i>	0,535	kWh
Produk :		
<i>Crude Oil</i>	1	kL
<i>Natural Gas</i>	0,000067	SCF
Transportasi	5,89	MJ

Sumber : Restianti dan Gheewala (2012)

Tabel 4.9 Data Inventori Emisi Proses Ekstraksi 1 kL Solar

Emisi Udara	Jumlah	Satuan
<i>Electricity</i>	0,535	kWh
Produk :		
<i>Crude Oil</i>	0,998	kL
<i>Natural Gas</i>	0,000067	SCF
Transportasi	5,89	MJ
<i>SO₂</i>	0,144	Kg
<i>NO_x</i>	0,086	Kg
<i>CO₂</i>	0,011	Kg

CH ₄	0,0577	Kg
N ₂ O	0,0437	Kg

Sumber : Restianti dan Gheewala (2012)

LCI *input* energi dan emisi yang dihasilkan dari proses pengilangan solar ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Data Inventori Proses Pengilangan 1 kL Crude Oil

Produk	Jumlah	Satuan
Crude oil	1	kL
Energi :		
Fuel Oil	3,46	kg
Refinery Gas	4,83	kg
Mix Gas	35,9	kg
Produk :		
Solar	1.00E+00	kL

Sumber : Restianti dan Gheewala, 2012

Tabel 4.11 Data Inventori Emisi Proses Pengilangan 1 kL Solar

Emisi Udara	Jumlah	Satuan
SO ₂	0,654	kg
NO _x	0,355	Kg
CO	4,77	Kg
CO ₂	153	Kg
CH ₄	0,0249	Kg
N ₂ O	0,0897	Kg
NO ₂	0,0244	Kg
NH ₃	0,0185	Kg
1.1.1-Trichlorobenzene	0,00000053	mg
Fluorene	0,005	mg

Sumber : Restianti dan Gheewala (2012)

4.3.5. *Life Cycle Inventory* Proses Perawatan Bus

Tujuan proses perawatan diperlukan untuk menjaga kondisi bus agar sesuai dengan performa yang diinginkan serta untuk memenuhi standar minimal pelayanan yang ditetapkan oleh Dinas Perhubungan

Yogyakarta. Pada bus material penyusun dengan persentase terbesar adalah *steel* (61,26%) yang terdapat pada *body*, *chassis*, maupun pada *engine*. Persentase material ini diambil berdasarkan komposisi material terhadap per unit bus. Leunberger dkk. (2010) menyatakan, bahwa hanya 10% dari material *steel* yang perlu untuk dilakukan penggantian. Estimasi tersebut juga berlaku untuk material aluminium sedangkan tidak semua bagian plastik diganti dalam siklus hidup bus, meskipun plastik merupakan komponen penting dalam pembentukan *interior* bus dan aksesoris lainnya.

Tabel 4.12 Data Inventori Proses Perawatan Bus

Material	Jumlah	Satuan	Keterangan
<i>Electricity</i>	100000	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Steel</i>	10	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Rubber</i>	300	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Plastic</i>	8	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Ceramic</i>	2	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Carbone</i>	7	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Crude Oil</i>	0,03	kL	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
<i>Transportation</i>	10000	tkm	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle

Sumber : Ecoinvent v.3 (2014)

Pada Tabel 4.13 merupakan emisi yang dihasilkan dari aktivitas perawatan bus. Data tersebut merupakan ekstrapolasi dari Bus (Chester, 2008) dalam proses perawatan bus.

Tabel 4.13 Data Inventori Emisi Proses Perawatan Bus

Parameter	Emisi	Satuan	Keterangan
SO ₂	0,1	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
CO	8	mg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
Ni	1	mg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
CO ₂	0,03	kg	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle
PM ₁₀	0,1	g	Ecoinvent v.3 (2014) maintenance, light commercial vehicle

Sumber : Ecoinvent v.3 (2014)

4.3.6. *Life Cycle Inventory* Pembuangan (*Disposal*) Bus

Sistem dan regulasi mengenai pembuangan (*disposal*) untuk bus di Indonesia sendiri belum dapat dilakukan dengan pasti, sehingga seluruh bagian bus sepenuhnya hanya dibiarkan di suatu tempat. Tabel 4.14 menunjukkan inventori energi dan material pada *disposal* bus. Diasumsikan bahwa emisi langsung tidak dihasilkan pada *disposal* bus.

Tabel 4.14 Data Inventori Material dan Energi *Disposal* Bus

Material	Jumlah	Satuan	Keterangan
Steel	5510	Kg	Komponen dan material dibiarkan tanpa di <i>treatment</i>
Rubber	100	Kg	Komponen dan material dibiarkan tanpa di <i>treatment</i>
Plastic	2930	Kg	Komponen dan material dibiarkan tanpa di <i>treatment</i>

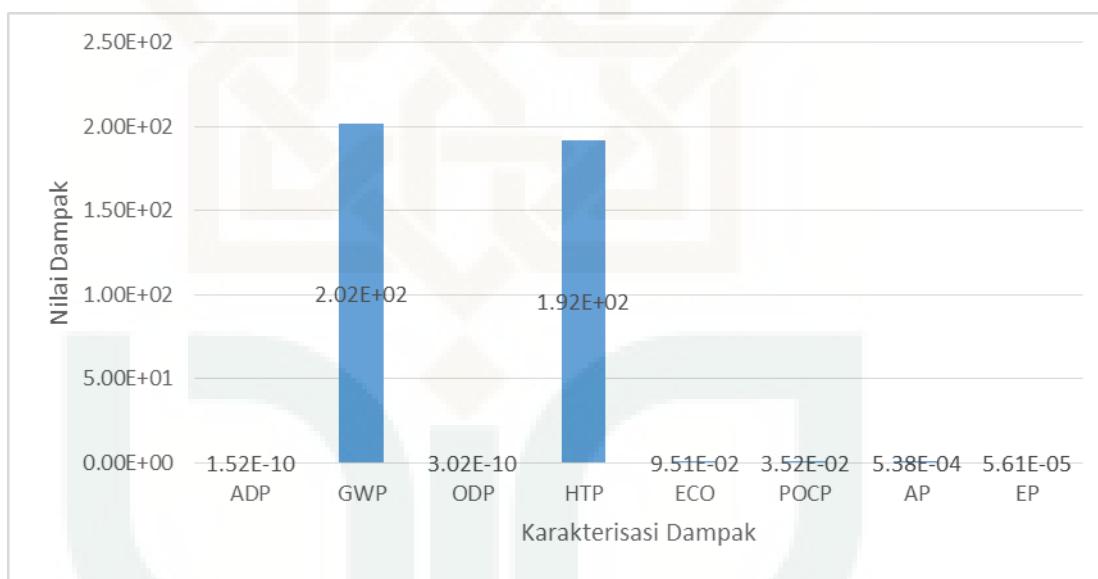
Sumber : Pengolahan Data (2017)

4.4. Penilaian Dampak Lingkungan

Penilaian dampak dalam LCA atau yang sering disebut sebagai *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dalam penelitian ini ditinjau dari delapan kategori dampak dasar, yaitu *Abiotic Resource Depletion Potential* (ADP), *Global Warming Potential* (GWP), *Ozon Depletion Potential* (ODP), *Human*

Toxicity Potential (HTP), *Ecotoxicity Potential* (Eco) untuk emisi ke udara, *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP), *Eutrophication Potential* (EP), dan *Acidification Potential* (AP).

Semua kategori dampak yang dihasilkan dari masing – masing tahapan siklus hidup mobil penumpang dibawa pada satuan unit fungsional yang sama, yaitu satu orang penumpang per kilometer (pkm). Dampak total yang dihasilkan dari penggunaan bus sepanjang siklus hidupnya kemudian di analisis berdasarkan pengaruhnya terhadap setiap kategori dampak yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Grafik Dampak Penggunaan Bus : Satu Unit Fungsional

Berdasarkan analisis perhitungan dampak yang dihasilkan dari penggunaan satu penumpang per kilometer (pkm) bus diperoleh bahwa kontribusi terhadap *Abiotic Depletion Potential* (ADP) sebesar 1,52E-10 kg S_{beq}/pkm, *Global Warming Potential* (GWP) sebesar 2,02E+02 kg

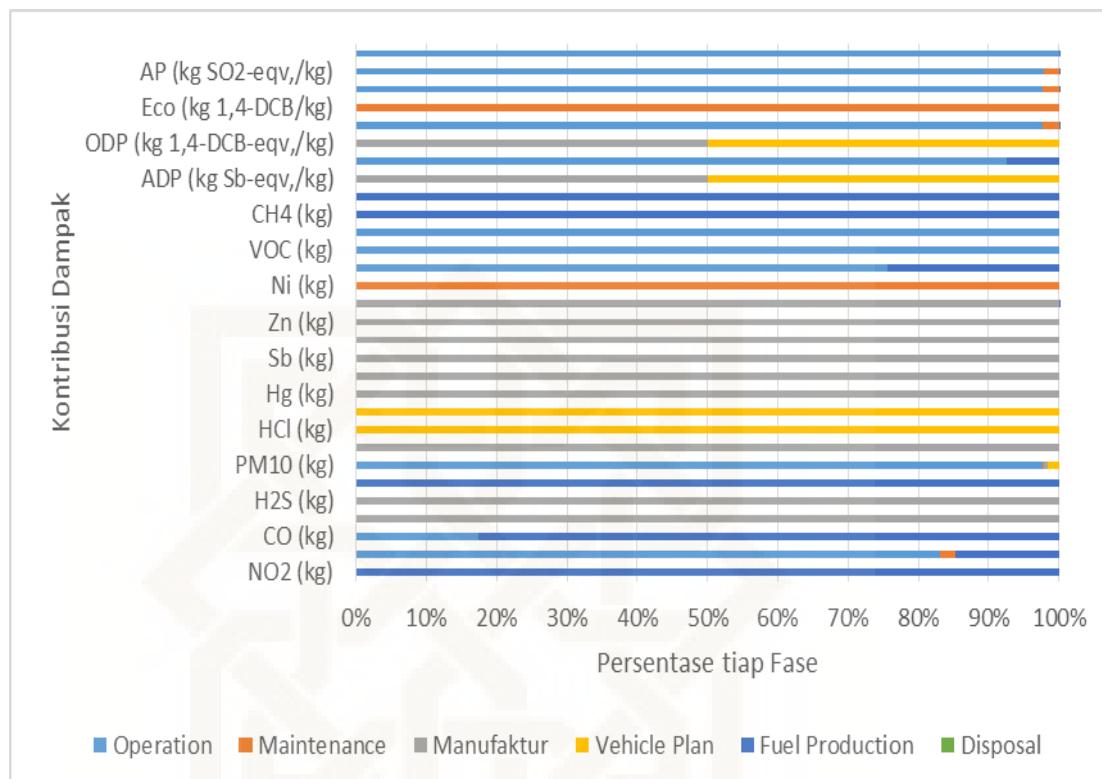
$\text{CO}_{2\text{eqv}}/\text{pkm}$, *Ozone Depletion Potential* (ODP) sebesar $3,02\text{E-}10$ kg CFC-11/pkm, *Human Toxicity Potential* (HTP) sebesar $1,92\text{E+}02$ kg 1,4-DCB/pkm, *Ecotoxicity Potential* (Eco) sebesar $9,51\text{E-}02$ kg 1,4-DCB/pkm, *Photochemical Ozone Creation Potential* (POCP) sebesar $3,52\text{E-}02$ kg ethylene/pkm, Acidification Potential (AP) sebesar $5,38\text{E-}04$ kg $\text{SO}_{2\text{eqv}}/\text{pkm}$, serta Eutrophication Potential (EP) sebesar $5,61\text{E-}05$ kg $\text{PO}^{3-}_{2\text{eqv}}/\text{pkm}$.

4.5. Pembahasan

Berikut merupakan interpretasi hasil dari dampak yang dihasilkan oleh siklus hidup bus :

4.5.1. Analisis Kontribusi dari Setiap Fase Hidup Bus

Penggunaan bus sepanjang siklus hidup melalui beberapa fase yang terdiri dari fase manufaktur termasuk infrastruktur pabrik dan komponen penyusun bus, fase operasi, fase produksi bahan bakar, fase perawatan, dan fase *disposal*. Tahapan analisis kontribusi ini dihitung berdasarkan penggunaannya untuk satu satuan unit fungsional yaitu satu penumpang per kilometer (pkm). Kontribusi dari setiap fase siklus hidup bus pada penggunaan satu pkm ditunjukkan pada gambar 4.4.

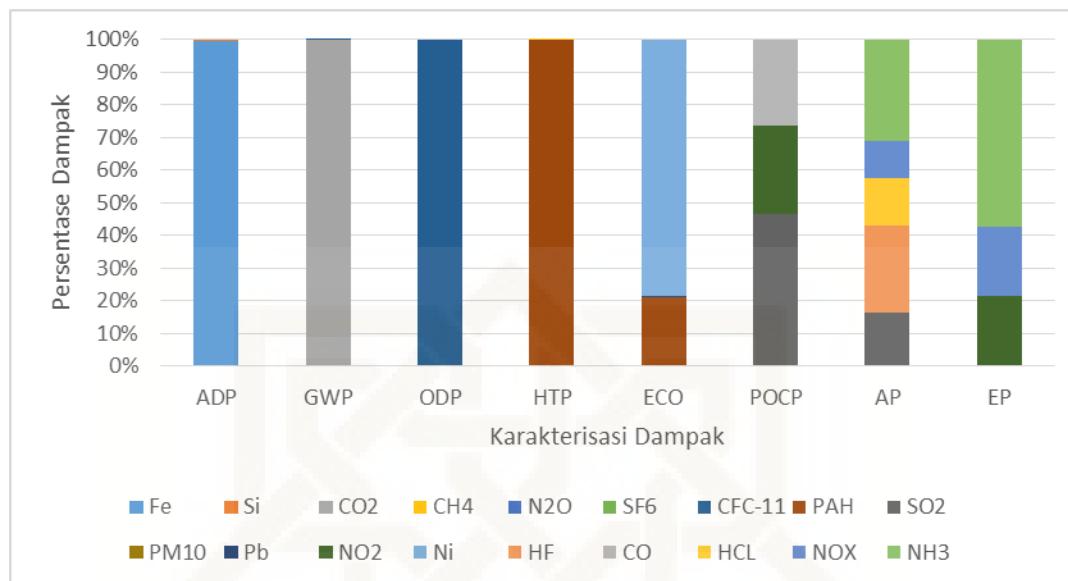


Gambar 4.4 Grafik Kontribusi dari Setiap Fase Siklus Hidup Bus : Satu Unit Fungsional

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa dalam mengendarai bus untuk satu penumpang per kilometer (1 pkm) fase yang memberikan kontribusi dominan terhadap keenam dampak berasal dari operasi, yaitu *Global Warming Potential (GWP)* 92,61%, *Human Toxicity Potential (HTP)* 97,71%, *Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)* 97,70%, *Acidification Potential (AP)* 97,80% dan *Eutrophication Potential (EP)* 99,99% dari total dampak yang dihasilkan. Sedangkan fase *maintenance* memberikan kontribusi dominan terhadap *Ecotoxicity (Eco)* sebesar 99,99%. Pada fase operasi dan manufaktur bus merupakan fase yang memberikan kontribusi dominan dibandingkan dengan fase

siklus hidup bus lainnya dan diikuti dengan fase manufaktur. Dengan demikian pengendalian dapat dilakukan pada kedua fase tersebut.

Pada Gambar 4.5 terdapat kontribusi dari masing – masing *stressor* dalam penggunaan satu unit fungsional satu penumpang per kilometer (1 pkm) bus. *Stressor* yang memberikan kontribusi tertinggi terhadap ADP adalah *Steel* (Fe) 99,67%, GWP adalah *Carbon Dioxide* (CO₂) 99,95%, ODP adalah CFC-11 100% kemudian *stressor* yang memberikan kontribusi dominan pada POCP adalah *Sulfur Dioxide* (SO₂), yaitu 46,60%. *Stressor* yang dominan terhadap HTP dan Eco adalah PAH-*carcinogenic* 99,92% dan *Nickel* (Ni) 78,51% kemudian NH₃ merupakan *stressor* yang berpengaruh dominan terhadap AP dan EP, yaitu sebesar 31,02% dan 57,38%.

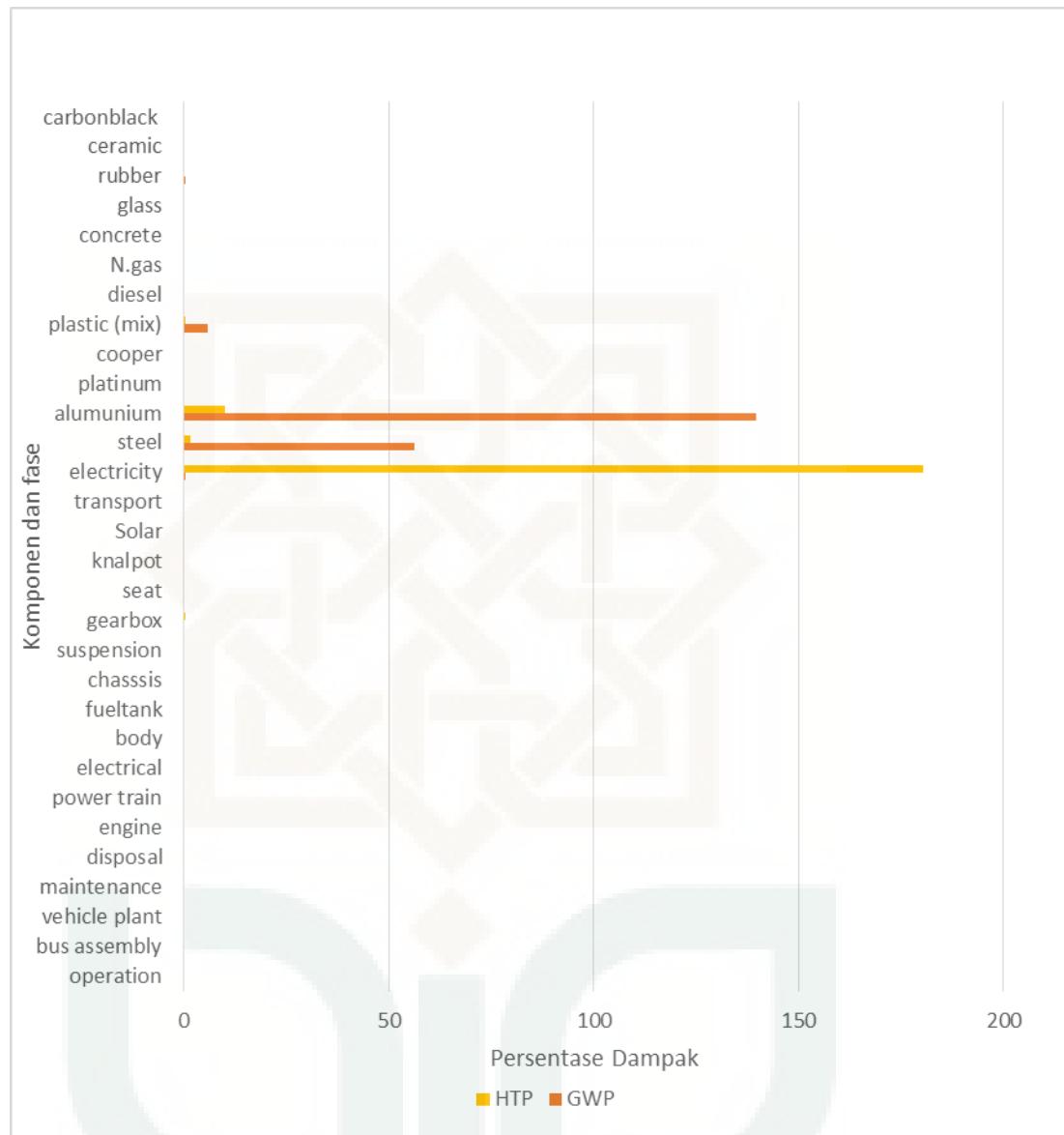


**Gambar 4.5 Grafik Kontribusi Stressor Terhadap Potensi Dampak Lingkungan dari Bus :
Satu Unit Fungsional**

4.5.2. Analisis Kontribusi dari Proses Operasi Bus

Dampak total yang dihasilkan merupakan akumulasi dari masing

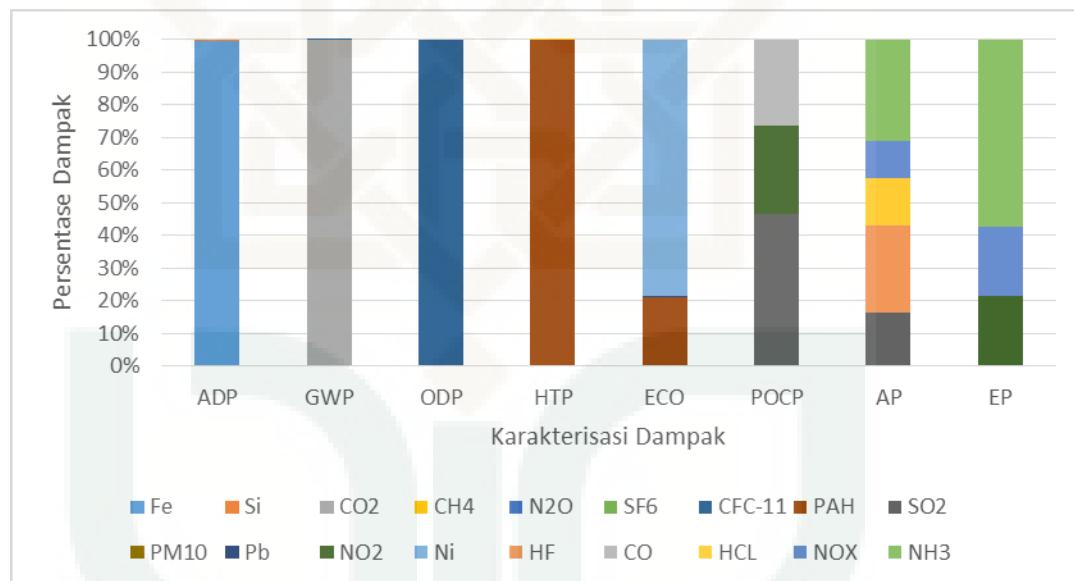
– masing proses atau tahapan yang dilalui satu siklus bus, sehingga dapat dianalisis proses mana yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap dampak yang dihasilkan. Berdasarkan dari analisis tersebut fase operasi merupakan fase yang paling dominan dalam siklus mobil penumpang. Gambar 4.6 menunjukkan besarnya kontribusi dari masing – masing proses operasi pada potensial dampak GWP dan HTP.



Gambar 4.6 Grafik Dampak GWP dan HTP Proses Operasi Bus

Hasil analisis kontribusi menunjukkan bahwa dalam penggunaan 1 unit bus, proses konsumsi memberikan kontribusi dominan terhadap potensial dampak HTP dan Eco adalah *electricity* sebesar 61,10%. Kemudian alumunium memberikan kontribusi GWP dan ODP sebesar

69,07% dan 87,57 Pada infrastruktur bangunan memberikan kontribusi yang dominan pada POCP, AP, dan EP, yaitu 88,61%, 95,86% dan 98,80% sedangkan kontribusi yang dominan pada ADP adalah *steel* 94,78%. Kontribusi tertinggi pada fase operasi ini adalah *electricity* dan *maintenance*. Proses lain yang memiliki kontribusi dominan dalam fase operasi ini adalah *natural gas*. Proses *maintenance* bus terdiri dari energi listrik, komponen – komponen suku cadang, maupun transportasi dalam poses *maintenance*.



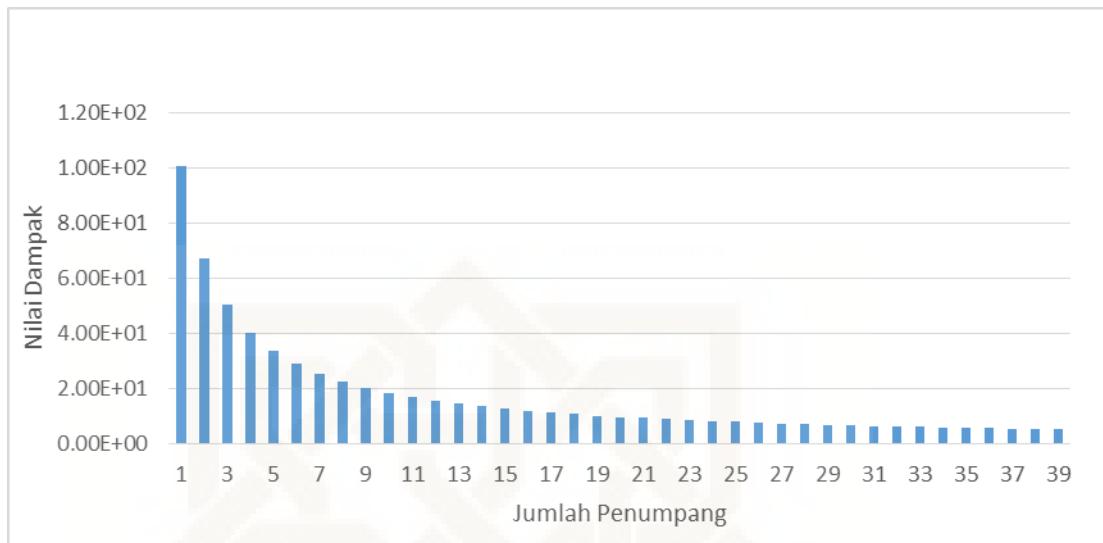
Gambar 4.7 Grafik Kontribusi *Stressor* dari Proses Operasi Bus

Stressor dari fase operasi satu unit bus yang memberikan kontribusi tertinggi terhadap ADP, GWP, ODP, dan EP masing – masing, yaitu melalui Fe 99,67%, *Carbon Dioxide* (CO₂) 99,95%, CFC-11 100% dan NH₃ 57,38%, kemudian PAH-*carcinogenic* merupakan

stressor yang dominan terhadap HTP, yaitu 99,92% sedangkan *Nickel* (Ni) merupakan *stressor* yang dominan terhadap Eco, yaitu 78,51%. *Stressor* yang dominan pada POCP dan AP adalah *Sulfur Dioxide* (SO₂), yaitu 46,60 % dan 16,50%. Pada gambar 4.7 terdapat grafik pengaruh dari masing – masing *stressor* terhadap dampak lingkungan dari proses manufaktur satu unit bus.

4.5.3. Analisis Sensitivitas

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis sensitivitas unit fungsional dengan membandingkan seberapa besar persentase dampak lingkungan yang dihasilkan oleh perubahan jumlah penumpang untuk satu unit bus per kilometer. Analisis ini dilakukan sampai pada kapasitas 40 orang penumpang, dengan jumlah konsumsi bahan bakar yang sama. Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 menunjukkan perbedaan potensi dampak terhadap HTP dan GWP berdasarkan jumlah penumpang.



Gambar 4.8 Grafik Analisis Sensitivitas Kapasitas Penggunaan Bus Terhadap GWP

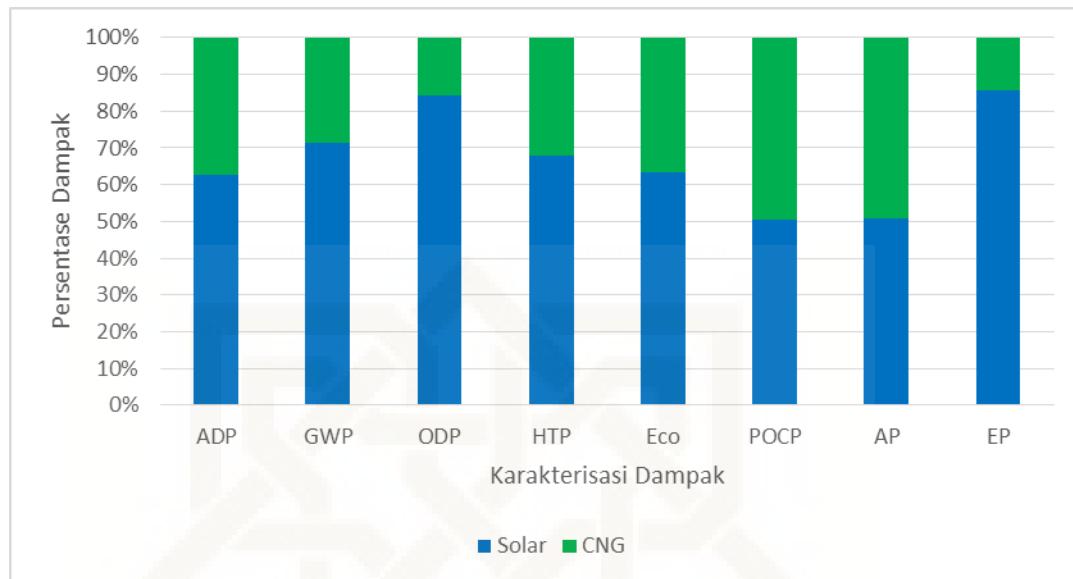


Gambar 4.9 Grafik Analisis Sensitivitas Kapasitas Penggunaan Bus Terhadap HTP

Berdasarkan analisis perhitungan diperoleh hasil bahwa perubahan jumlah penumpang bus dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan. Penurunan dampang terbesar didapat dengan jumlah penumpang 2 hingga 10 orang penumpang untuk satu satuan unit

fungsional (pkm) dengan GWP 49,75% dan HTP 49,73% hingga GWP 90,04% dan HTP 90,05% bila dibandingkan dengan penggunaan 1 orang penumpang per kilometer.

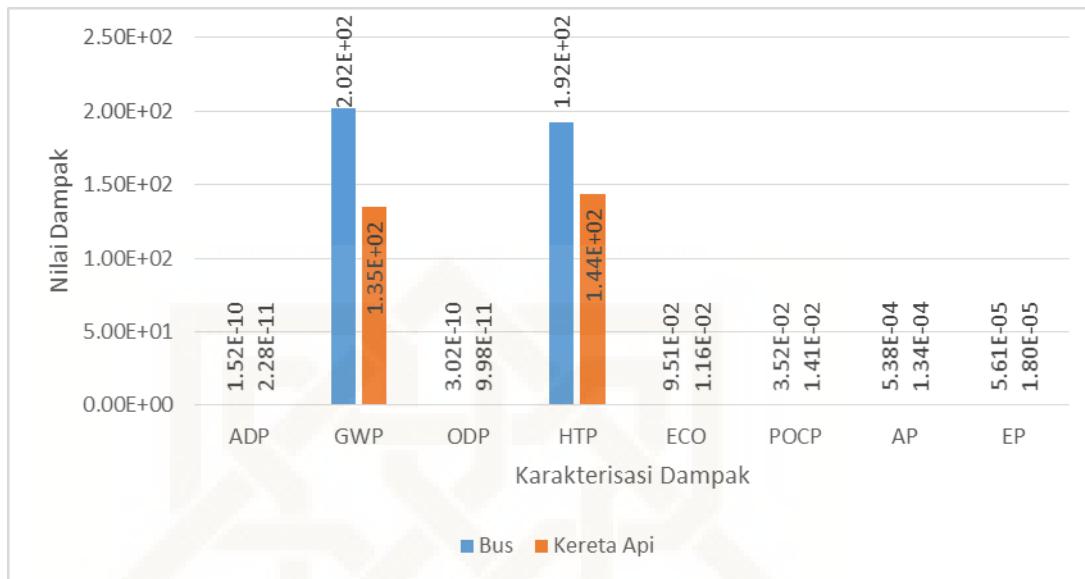
Analisis sensitivitas juga dilakukan pada dengan membandingkan emisi dengan bahan bakar yang berbeda, yaitu solar dan *Compressed Natural Gas* (CNG) yang didapat dari penelitian Setiawan et al. (2013). Bahan bakar CNG merupakan bahan bakar alternatif yang memiliki tingkat emisi relative rendah dibandingkan bahan bakar solar. Hasil analisis sensitivitas pada kedua bahan bakar tersebut diperoleh bahwa jenis bahan bakar CNG memiliki potensial dampak yang rendah terhadap lingkungan. Perhitungan yang dilakukan menunjukkan perbedaan yang dominan pada kedua jenis bahan bakar CNG terhadap bahan bakar solar. Potensial dampak yang ditimbulkan bahan bakar solar pada lingkungan mencapai dua kali lebih dominan dibandingkan bahan bakar CNG.



Gambar 4.10 Grafik Analisis Sensitivitas Jenis Bahan Bakar Solar dan CNG Bus

4.5.4. Perbandingan dengan Moda Transportasi Lain

Selain bus, moda transportasi darat yang paling banyak digunakan adalah kereta api. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis perbandingan mengenai sejauh mana peran LCA terhadap sistem produk tersebut. Nilai Perbandingan dengan kereta api menggunakan hasil dari penelitian Chester (2008).



Gambar 4.11. Grafik Perbandingan Bus dengan Kereta Api

Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan dampak yang dihasilkan dari studi bus dengan kereta api. Pada bus dan kereta api, GWP dan HTP memiliki kontribusi yang dominan jika dibandingkan dengan dampak lainnya. Akan tetapi, penggunaan bus memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan dengan kereta api yaitu, ADP sebesar 86,96%, GWP sebesar 59,94%, ODP sebesar 75,19%, HTP sebesar 57,17%, Eco sebesar 89,13%, POCP sebesar 71,43% serta AP sebesar 79,83% serta EP sebesar 75,76%.

4.5.5. Aspek Sosial Ekonomi

A. Berdasarkan Dinas Perhubungan

Berdasarkan informasi yang diperoleh melalui wawancara dengan Bapak R Sigit Wahyu Wibowo selaku Kasi Operasi dan

Pengendalian Trans Jogja, terbentuknya trans Jogja merupakan peremajaan dari dua koperasi angkutan yaitu Kopata dan Kobutri.

Berdasarkan wawancara tersebut pemerintah perlu melakukan suatu perbaikan berupa peremajaan angkutan. Kegiatan peremajaan ini menjadi penting karena keinginan pemerintah untuk menyediakan angkutan yang aman, nyaman serta dapat bersaing dengan kendaraan pribadi. Tujuan utama dari kegiatan peremajaan ini yaitu untuk mengurangi kemacetan di daerah Yogyakarta. Pemerintah daerah memberikan layanan kepada operator dengan sistem *buy the service* dengan pembayaran per kilometer tempuh. Dengan sistem ini, operator harus mematuhi dan melengkapi aturan yang telah ditentukan oleh pemerintah daerah berupa standar pelayanan minimal.

Tabel 4.15. Tarif Angkutan Umum

Jenis Angkutan	Tarif	Tujuan
Trans Jogja	Rp 3600	Malioboro - Bandara Adisucipto
GoCar	Rp 36000	Malioboro - Bandara Adisucipto
Gojek	Rp 21000	Malioboro - Bandara Adisucipto
Taksi	Rp 60000	Malioboro - Bandara Adisucipto

Beralihnya sistem angkutan dari koperasi menjadi trans Jogja dengan sistem *buy the service* dinilai memberikan dampak yang lebih baik terhadap transportasi di Yogyakarta. Pelayanan

dengan sistem ini dapat membantu pemerintah menertibkan dan mengatur angkutan umum dengan mudah sehingga masyarakat dapat menikmati angkutan umum dengan harga terjangkau yang memiliki pelayanan ramah dan nyaman.

B. Berdasarkan Operator

Berdasarkan informasi yang didapat dari Bapak Gunawan pada bagian Transportasi di PT Anindya Mitra International, Trans Jogja merupakan perusahaan yang terbentuk dari konsorsium dari beberapa koperasi.

Berdasarkan peraturan pemerintah, koperasi – koperasi yang sebelumnya memiliki trayek sendiri, sekarang dibentuk menjadi satu. Dengan sistem ini dinilai memiliki dampak yang baik terhadap operator, karena membuka lapangan pekerjaan baru bagi mantan karyawan koperasi serta memiliki manajemen yang lebih bagus.

Dampak ekonomi bagi pihak operator cukup menjanjikan karena dibayar perkilometer tempuh yang dinyatakan tidak rugi. Sejauh ini operator dapat menghidupi sebanyak 393 karyawan dengan sistem gaji bulanan. Sehingga secara ekonomi karyawan mendapatkan penghasilan lebih dari pada penghasilan sebelumnya, karena pada bus kota hanya mendapat bayaran Rp1.500.000 sampai Rp2.250.000 tiap bulannya yang bergantung pada jumlah penumpang. Sedangkan pada Trans Jogja karyawan mendapat

penghasilan sekitar Rp 3.300.000 dengan sistem gaji bulanan yang mencakup gaji dan tunjangan, uang dinas dan tunjangan dinas (THR, pengobatan, pakaian dinas serta asuransi kerja.

C. Evaluasi Pelaksanaan Trans Jogja

Berdasarkan fakta-fakta yang terjadi lapangan, diperlukan evaluasi pelaksanaan menyeluruh terhadap sistem penyelenggaraan layanan angkutan umum Trans Jogja. Kebutuhan untuk mengevaluasi kinerja Trans Jogja dimulai dari konsep dasarnya menjadi penting mengingat konsep dasar tersebut merupakan dasar bagi penerapan sistem secara keseluruhan. Evaluasi kinerja dan prasyarat implementasi Trans Jogja dengan sistem *buy the service* menjadi langkah awal sebelum melakukan perbaikan untuk meningkatkan kinerja Trans Jogja ke depan.

Dalam agendanya, seluruh pihak yang terlibat mengadakan rapat tahunan, yang biasanya membahas kinerja selama setahun berjalannya pelaksanaan Trans Jogja. Agenda ini rutin, dan difungsikan mengetahui tolak ukur dan problematika di setiap tahunnya.

Berdasarkan wawancara, Trans Jogja dinilai tidak efisien untuk pengelolaan halte. Hal ini disebabkan karena dengan jumlah armada 74 unit dan karyawan pada halte sebanyak 740 orang maka dinilai tidak efisien dan terlalu banyak menyerap anggaran dari

pemerintah. Oleh karena itu pemerintah akan mengembangkan Trans Jogja dengan menambah armada sebanyak 108 yang akan disebar dalam 17 jalur.