

**LIFE CYCLE ASSESSMENT PILIHAN PENGGUNAAN ALAT
TRANSPORTASI BAGI SISWA SMA DI CILACAP DALAM KERANGKA
PENERAPAN MEKANISME PEMBANGUNAN BERSIH**

INTISARI

Taufan Ratri Harjanto*, Saipul Bahri**

*Staf Pengajar STIKES Al-Irsyad Al-Islamiyyah Cilacap

**Konsultan Lingkungan

[*taufantekim2010@gmail.com](mailto:taufantekim2010@gmail.com)

Siswa SMA di Cilacap menggunakan sepeda motor sebagai alternatif sarana angkutan transportasi ke sekolah. Penggunaan kendaraan bermotor akan menimbulkan emisi dan dampak ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan alat transportasi siswa SMA dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dalam kerangka penerapan mekanisme pembangunan bersih.

Pendekatan *gate to gate* digunakan untuk mengevaluasi 5 skenario penggunaan alat transportasi: (1) sepeda motor 75%, angkutan umum 20%, sepeda 5%. (2) sepeda motor 34%, angkutan umum 61%, sepeda 5%. (3) sepeda motor 34%, angkutan umum 30%, sepeda 36%. (4) angkutan umum 50%, sepeda 50%. (5) angkutan umum 25%, sepeda 75%, dengan basis 1 kilometer jarak tempuh. Langkah-langkah evaluasi mengacu pada ISO 14040 tahun 2006 yang terdiri dari: (1) pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, (2) analisis inventori, (3) analisis/penakaran dampak, (4) interpretasi.

Hasil analisis kontribusi dampak terhadap lingkungan dengan skenario 1, 2, 3, 4 dan 5 diperoleh nilai kontribusi total berturut-turut $4,49 \times 10^{-1}$ Pt, $2,54 \times 10^{-1}$ Pt, $2,24 \times 10^{-1}$ Pt, $4,90 \times 10^{-2}$ Pt dan $2,45 \times 10^{-2}$ Pt. Kategori dampak *global warming*, *non renewable energy/resources*, *respiratori inorganic* dan *respiratori organic* merupakan kontributor terbesar dari total dampak terhadap lingkungan. Analisis perbaikan dan rekomendasi mengurangi dampak yang terjadi yaitu mengganti sepeda motor dengan sepeda, regulasi peraturan dan melakukan penghijauan.

Kata kunci : *Life Cycle Assessment*, Mekanisme Pembangunan Bersih, Transportasi.

Abstract

Senior High School Students of Cilacap that used motorcycles as alternative transportation was studied to evaluate the effects of its emissions and impacts to the environment. The aim of the study is to evaluate the effect of transportations to the environment using Life Cycle Assessment (LCA) method to create a project in form of clean development mechanism (CDM).

The "gate to gate" approach was used to evaluate five scenarios of different transportation combinations: (1) motorcycle 75%, public transportation 20%, bicycle

5%. (2) motorcycle 34%, public transportation 61%, bicycle 5%. (3) motorcycle 34%, public transportation 30%, bicycle 36%. (4) public transportation 50%, bicycle 50%. (5) public transportation 25%, bicycle 75%, for 1 km distance. Evaluation of environment impact related to each scenario was using ISO 14040 (2006) that consists of: (1) goal definition and scoping, (2) inventory analysis, (3) impact assessment, and (4) interpretation.

Results showed by contribution analysis, scenario 1, 2, 3, 4 and 5, give $4,49 \times 10^{-1}$ Pt, $2,54 \times 10^{-1}$ Pt, $2,24 \times 10^{-1}$ Pt, $4,90 \times 10^{-2}$ Pt dan $2,45 \times 10^{-2}$ Pt respectively. It was also found that the global warming, non renewable energy/resources, respiratori inorganic and respiratori organic give significant impacts to the environment. It is suggested to replace motorcycle using bicycle, regulation of law and to grow plants or reforestry.

Keywords : Life Cycle Assessment, Clean Development Mechanism, Transportation

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor merupakan sarana transportasi yang paling dominan di Indonesia. Perkembangan jumlah kendaraan bermotor secara langsung memberikan gambaran mengenai kondisi sektor angkutan darat. Jumlah kendaraan bermotor yang cenderung meningkat merupakan indikator semakintingginya kebutuhan masyarakat terhadap sarana transportasi yang memadai sejalan dengan mobilitasnya. Jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2005 mencapai 50,11 juta kendaraan. Sepeda motor merupakan jenis kendaraan yang paling banyak digunakan dengan pangsa mencapai 75%. Mobil penumpang mempunyai pangsa 14% diikuti oleh truk 8% dan bus 3% (Sugiyono, 2008)

Maraknya penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia khususnya dikalangan pelajar SMA secara langsung akan berpengaruh kepada konsumsi bahan bakar dan lingkungan hidup. BBM terbesar yang digunakan di sektor transportasi adalah jenis *gasoline*, termasuk di dalamnya BBM subsidi dan non subsidi. Pemakaian BBM jenis *gasoline* terus mengalami peningkatan setiaptahunnya. Dibandingkan tahun 2010, konsumsi *gasoline* di sektor transportasi mengalami peningkatan 11,93% dari 23,1 juta KL menjadi 25,94 juta KL. (Pusat Data ESDM, 2012)

Kebijakan Energi Nasional dibuat oleh Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral (DESDM). Kebijakan yang terkini, Kebijakan Energi Nasional 2003-2020, menyatakan bahwa salah satu tujuan pembangunan di sektor energi adalah meningkatnya peran serta usaha-usaha dan industri energi menuju mekanisme pasar yang terbuka. Ada beberapa strategi yang bisa digaribawahi dalam kebijakan tersebut diantaranya adalah efisiensi energi. (*Clean Development Mechanism*, 2005)

Efek penggunaan BBM yang merupakan energi fosil akan menghasilkan polutan gas rumah kaca, antara lain adalah: CO₂ (karbon dioksida), CH₄ (*methane*), N₂O (*nitrous oxide*), CFC (*chloroflourocarbon*) dan SF₆ (*sulfur hexafluoride*). Disamping

Itu penggunaan bahan bakar fosil juga menghasilkan gas buang yang mengandung polutan seperti SO₂ (sulfur dioksida), NO_x (nitrogen oksida), CO (karbon monoksida), VOC (*volatile organic compound*), SPM (*suspended particulate matter*) serta partikel lainnya.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjawab permasalahan lingkungan tersebut adalah dengan metode *Life Cycle Assessment / LCA* dalam kerangka penerapan mekanisme pembangunan bersih.

Metode *Life Cycle Assessment (LCA)* digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan alat transportasi siswa SMA di Cilacap.

Mekanisme Pembangunan Bersih/*Clean Development Mechanism*

Pemanasan global (*global warming*) merupakan masalah lingkungan yang paling mengancam kehidupan manusia di bumi. Dampaknya hampir setara dengan perang nuklir. Isu lingkungan dan pemanasan global merupakan hal yang sering dibicarakan dan didiskusikan dalam berbagai forum baik di tingkat nasional maupun internasional. Berbagai pendekatan dan pembuatan sistem yang ditujukan untuk mengurangi resiko pemanasan global maupun kerusakan alam sudah dihasilkan dan dilaksanakan oleh berbagai pihak yang memiliki perhatian serius pada permasalahan tersebut. Sejumlah negara berusaha menekan penyebab pemanasan global ini dengan berbagai kebijakan, salah satunya mengacu pada Mekanisme Pembangunan Bersih (MPB) atau dikenal juga sebagai *Clean Development Mechanism (CDM)* merupakan salah satu mekanisme yang terdapat di dalam Protokol Kyoto. Mekanisme Pembangunan Bersih merupakan satu-satunya mekanisme yang melibatkan negara berkembang, di mana negara maju dapat menurunkan emisi gas rumah kaca dengan mengembangkan proyek ramah lingkungan di negara berkembang. Dalam rangka implementasi proyek CDM di Indonesia, pengembang proyek perlu mempertimbangkan Undang-Undang No. 23/1997 tentang Lingkungan Hidup. Undang-undang ini menjelaskan secara rinci prinsip, tujuan, hak, kewajiban, dan peran masyarakat dan otoritas manajemen lingkungan; ketahanan dan fungsi lingkungan; persyaratan untuk sistem lingkungan; dan resolusi konflik lingkungan, penyelidikan, dan hukuman untuk aktivitas kejahatan lingkungan. Sebagai anggota *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* dan Protokol Kyoto, Indonesia telah meratifikasi UNFCCC terkait perubahan iklim dan Protokol Kyoto melalui Undang-Undang No. 6/1994 dan Undang-Undang No. 17/2004. Dengan prinsip UNFCCC "*common but differentiated*", Indonesia telah menunjukkan kontribusinya dalam mencapai tujuan akhir UNFCCC, yaitu stabilisasi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer dan pembangunan berkelanjutan. (*Clean Development Mechanism, 2005*)

Pengembangan sektor transportasi Indonesia di masa depan perlu memperhatikan kelestarian lingkungan. Berbagai teknologi bersih yang ramah lingkungan perlu dikaji untuk dapat diterapkan sebagai opsi dalam pengembangan sektor transportasi. Dengan menggunakan teknologi bersih secara tidak langsung akan mengurangi emisi gas rumah kaca dan mempunyai peluang untuk menerapkan *Clean Development Mechanism*.

Life Cycle Assessment/LCA

ISO 14000 merupakan standar pengelolaan lingkungan yang berlaku bagi perusahaan, industri, konsultan, pendidikan, pemasok jasa atau produk untuk meminimalkan dampak negatif dari kegiatan operasional terhadap lingkungan. Secara umum ISO 14000 merupakan seri enam standar berdasarkan enam isu lingkungan yang berbeda. Tiga standar berhubungan dengan evaluasi organisasi, yaitu ISO 14001 (Sistem Manajemen Lingkungan), ISO 14010-12 (Audit Lingkungan) dan ISO 14031 (Evaluasi Kinerja Lingkungan). Sedangkan tiga standar yang berkaitan dengan evaluasi produk adalah ISO 14020-24 (Label Lingkungan), ISO 14040-43 (Penakaran Siklus Hidup atau *Life Cycle Assessment*) dan Aspek Lingkungan dalam Standar Produk. *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah metoda pengujian pengaruh penyediaan suatu bahan atau produk secara lengkap, mulai dari penyediaan bahan dasar, proses pengolahan, distribusi sampai dengan penjualan ke konsumen, terhadap lingkungan. Sedangkan LCA yang lengkap termasuk juga pengaruh terhadap kondisi sosial ekonomis. Teknik ini dilakukan dengan menggunakan kompilasi dan analisis data input dan output pada sistem produksi, evaluasi efek lingkungan potensial yang berkaitan erat dengan input dan output serta melakukan interpretasi dari hasil kompilasi dan analisis serta hasil penilaian efek-efek yang berhubungan dengan tujuan LCA ini. Setiap langkah LCA dijelaskan dalam standar internasional (ISO 14040, ISO 14041). Langkah ini senantiasa berulang, di maningkat dari detail dan usaha akan tergantung pada tujuan penelitian. (*World Business Council for Sustainable Development, 2002*).

Langkah-langkah tersebut adalah: (1) pendefinisian tujuan dan ruang lingkup, (2) analisis inventori, (3) analisis/penakaran dampak, (4) interpretasi. (ISO 14040, 2006).

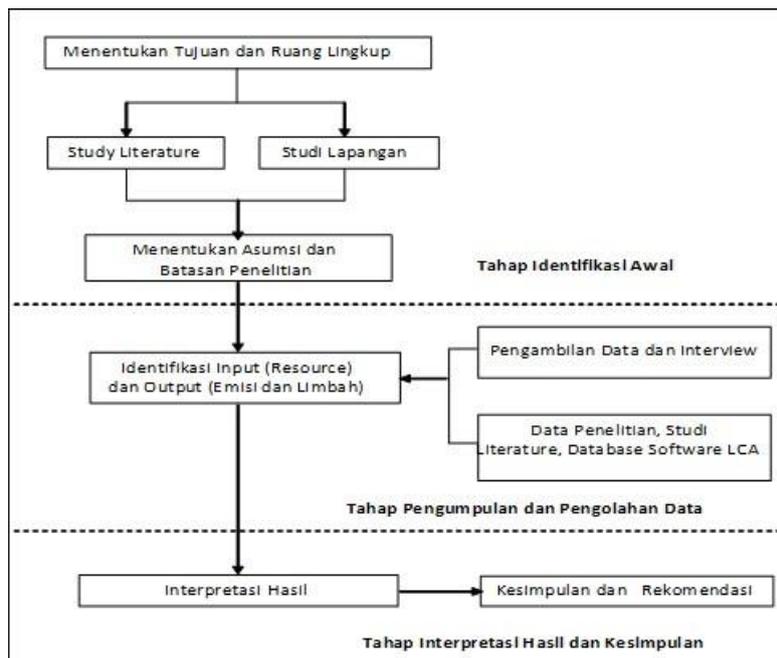
Ada empat pilihan utama untuk menentukan batas-batas sistem yang digunakan berdasarkan standard ISO 14044 didalam sebuah studi LCA: (1) *Cradle to grave*: termasuk bahan dan rantai produksi energi dan semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya. (2) *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. (3) *Gate to grave*: meliputi proses dari penggunaan pasca produksi sampai pada akhir-fase kehidupan siklus hidupnya, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari produk tersebut setelah meninggalkan pabrik. (4) *Gate to gate*: meliputi proses dari tahap produksi saja, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari langkah produksi atau proses. (Gabi, 2011)

CARA PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan dan dilakukan melalui metode kuantitatif dan kualitatif. Metode kualitatif berdasarkan studi literatur untuk mengupas permasalahan sektor transportasi dewasa ini. Metode kuantitatif berdasarkan data sekunder yang dikumpulkan mengenai kendaraan bermotor, perkembangan sosial ekonomi, teknologi, serta keterkaitannya dengan lingkungan hidup.

Metodologi penelitian ini mengacu kepada langkah-langkah studi *Life Cycle Assessment* “gate to gate” berdasarkan ISO 14040 tahun 2006, yang dibagi menjadi empat tahap yaitu: (1) tahap identifikasi awal, (2) tahap pengumpulan data, (3) tahap pengolahan data dan (4) tahap interpretasi

hasil dan kesimpulan. Pengolahan data pada penelitian ini untuk evaluasi dampak lingkungan digunakan *software* LCA. Langkah-langkah penelitian dijabarkan didalam Gambar 1



Gambar 1. Alur Metodologi Penelitian Pilihan Penggunaan Alat Transportasi Bagi Siswa SMA

Metode penilaian dampak (*LCIA Methode*) berdasarkan ISO 14044, hasil LCI (*life cycle inventory*) diklasifikasikan ke dalam kategori dampak, masing-masing dengan indikator kategori. Analisis dampak pada penelitian ini menggunakan metode *Impact 2002+*. (Jolliet, et.al, 2012)

Didalam penelitian ini menggunakan pendekatan *gate to gate* dengan alasan bahwa kondisi skenario 1, 2, 3 4 dan 5 yang dapat dibandingkan kinerja terhadap lingkungan karena adanya perbedaan penanganan akibat dari digunakannya bahan bakar dengan pada penggunaan alat transportasi siswa SMA di Cilacap. Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan basis jarak tempuh kendaraan untuk kelima skenario; (1) siswa yang menggunakan sepeda motor 75%, menggunakan jasa angkutan umum 20%, dan menggunakan sepeda 5%. (2) siswa yang menggunakan sepeda motor 34%, menggunakan jasa angkutan umum 61%, dan menggunakan sepeda 5%. (3) siswa yang menggunakan sepeda motor 34%, menggunakan jasa angkutan umum 30%, dan

menggunakan sepeda 36%. (4) siswa yang menggunakan jasa angkutan umum 50%, dan menggunakan sepeda 50%. (5) siswa yang menggunakan jasa angkutan umum 25%, dan menggunakan sepeda 75 %

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Inventori

Inventori dilakukan berdasarkan *input* dan *output* material didalam sistem.Data *output* berupa emisi yang dilepaskan terhadap lingkungan. Jumlah siswa SMA 2013/2014 berdasarkan data statistik dari psma.kemdikbud.go.id di Kabupaten Cilacap sebanyak 16.828 siswa, dengan rentang usia kurang dari 16 tahun sebesar 66% dan usia lebih dari 17 tahun sebesar 34%.

Tabel 1.menunjukkan inventori pada berbagai skenario penggunaan alat transportasi bagi siswa SMA tiap km jarak tempuh.

Tabel 1 *Life Cycle Inventory* Penggunaan Alat Transportasi Yang Digunakan Siswa Tiap Kilometer Jarak Tempuh

Input dan Output Material	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5
Kebutuhan Bahan Bakar Minyak	0,3940 m ³	0,2520 m ³	0,2080 m ³	0,0702 m ³	0,0351 m ³
Emisi Ke Udara					
Karbon Dioksida	105,736 kg	67,485.10 ⁻³ kg	55,815.10 ⁻³ kg	18,834.10 ⁻³ kg	9,417.10 ⁻³ kg
Hydrogen chloride	0,991. 10 ⁻³ kg	kg	kg	kg	kg
Formaldehyde	kg	0,632 kg	0,523 kg	0,176 kg	0,088 kg
Methane, tetrachloro-, CFC-10	0,850. 10 ⁻⁶ kg	0,542. 10 ⁻⁶ kg	0,448. 10 ⁻⁶ kg	0,151.10 ⁻⁶ kg	0,075. 10 ⁻⁶ kg
Sulfur dioksida	0,755.10 ⁻⁶ kg	0,482. 10 ⁻⁶ kg	kg	kg	kg
Particulates, unspecified	kg	0,082 kg	0,398.10 ⁻⁶ kg	0,134. 10 ⁻⁶ kg	0,067. 10 ⁻⁶ kg
Emisi Ke Perairan	kg	0,042 kg	kg	kg	kg
Acidity, unspecified	0,134 kg	0,214. 10 ⁻⁶ kg	0,069 kg	0,020 kg	0,010kg
Ammonia	0,067 kg	0,361. 10 ⁻³ kg	0,035 kg	0,011 kg	0,005 kg
BOD5	0,335. 10 ⁻⁶ kg	3,315. 10 ⁻³ kg	0,0176. 10 ⁻⁶ kg	0,059. 10 ⁻⁶ kg	0,029. 10 ⁻⁶ kg
Cadmium, ion	kg	51,947. 10 ⁻⁶ kg	kg	kg	kg
Calcium, ion	0,566. 10 ⁻³ kg	kg	0,299. 10 ⁻³ kg	0,100. 10 ⁻³ kg	0,050. 10 ⁻³ kg
Chloride	kg	2,290. 10 ⁻⁶ kg	kg	kg	kg
COD	5,194. 10 ⁻³ kg	32,853. 10 ⁻³ kg	2,742. 10 ⁻³ kg	0,925. 10 ⁻³ kg	0,462. 10 ⁻³ kg
	kg	kg	kg	kg	kg
	51,947. 10 ⁻⁶ kg	22,304. 10 ⁻³ kg	27,421. 10 ⁻⁶ kg	9,252. 10 ⁻⁶ kg	4,626. 10 ⁻⁶ kg
	kg	kg	kg	kg	kg
	3,589. 10 ⁻⁶ kg	kg	1,894. 10 ⁻⁶ kg	0,639. 10 ⁻⁶ kg	0,319. 10 ⁻⁶ kg
	kg	kg	kg	kg	kg
	51,474. 10 ⁻³ kg	kg	27,172. 10 ⁻³ kg	9,168. 10 ⁻³ kg	4,584. 10 ⁻³ kg
	kg	kg	kg	kg	kg

Input dan Output Material	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5
	34,946. 10 ⁻³ kg		18,447. 10 ⁻³ kg	6,224. 10 ⁻³ kg	3,112. 10 ⁻³ kg

Penilaian Dampak/Impact Assessment

Analisis dampak pada penelitian ini menggunakan metode *Impact 2002+*. Analisis *impact assessment* terbagi menjadi tiga analisis yaitu, analisis *characterization impact assessment*, *damage impact assessment* dan analisis *single score impact assessment*.

a. *Characterization impact assessment*

Characterization merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori *impact* didalam pemilihan alat transportasi bagi siswa SMA berdasarkan faktor karakterisasinya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komparasi Hasil Nilai *Characterization* Skenario Penggunaan Alat Transportasi Siswa Tiap 1 Kilometer Jarak Tempuh

Impact Category	Unit	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5
Carcinogens	kg C2H3Cl	0,0063674	0,0040639	0,0033611	0,0011341	0,0005670
	eq	27	77	69	9	94
Non-carcinogens	kg C2H3Cl	0,0903966	0,0576952	0,0477176	0,0161017	0,0080508
	eq	77	05	21	6	78
Respiratory inorganics	kg PM2.5	0,8875152	0,5520886	0,4627040	0,1442482	0,0721241
	eq	1	2	1	8	39
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	0	0	0	0	0
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	5,52E-07	3,52E-07	2,91E-07	9,83E-08	4,91E-08
Respiratory organics	kg C2H4 eq	54,617755	25,172564	24,927519	0,3954523 9	0,1977262
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	231,46481	147,7312	122,18314	41,229278	20,614639
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	49,926729	31,865472	26,354782	8,8931142	4,4465571
Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	23,774545	16,54041	13,100476	5,5513413	2,7756707
Land occupation	m ² org. arable	2,5552954	7,7841028	3,8283963	6,3836917	3,1918459
Aquatic acidification	kg SO2 eq	4,0584037	2,7613081	2,2112351	0,8877041	0,4438520 5
Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,0009104 92	0,0005811 17	0,0004806 21	0,0001621 8	8,11E-05
Global warming	kg CO2 eq	2475,7479	1299,1711	1193,6527	170,2849	85,14245
Non-renewable energy	MJ primary	14097,174	8997,4475	7441,4641	2511,0354	1255,5177

Mineral extraction	MJ surplus	0	0	0	0	0
--------------------	------------	---	---	---	---	---

a. *Damage impact assessment*

Analisis *damage impact assessment* digunakan untuk mengevaluasi dampak kerusakan yang dihasilkan berdasarkan dampak karakterisasinya. Analisis ini berguna sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk memperbaiki performa lingkungan. Tabel 3. menunjukkan kategori kerusakan pada berbagai skenario penggunaan alat transportasi siswa SMA.

Tabel 2. Komparasi *Damage Category* Skenario Penggunaan Alat Transportasi Siswa Untuk Tiap 1 Kilometer Jarak Tempuh

Impact Category	Unit	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5
Carcinogens	DALY	1,78E-08	1,14E-08	9,41E-09	3,18E-09	1,59E-09
Non-carcinogens	DALY	2,53E-07	1,62E-07	1,34E-07	4,51E-08	2,25E-08
Respiratory inorganics	DALY	0,0006212 61	0,0003864 62	0,0003238 93	0,0001009 7	5,05E-05
Ionizing radiation	DALY	0	0	0	0	0,00E+00
Ozone layer depletion	DALY	5,79E-10	3,70E-10	3,06E-10	1,03E-10	5,16E-11
Respiratory organics	DALY	0,0001163 36	5,36E-05	5,31E-05	8,42E-07	4,21E-07
Aquatic ecotoxicity	PDF*m ² * yr	0,0116195 33	0,0074161 06	0,0061335 94	0,0020697 1	0,0010348 55
Terrestrial ecotoxicity	PDF*m ² * yr	0,3949204 2	0,2520558 9	0,2084663 2	0,0703445 3	0,0351722 67
Terrestrial acid/nutri	PDF*m ² * yr	24,725527	17,202027	13,624495	5,773395	2,8866975
Land occupation	PDF*m ² * yr	2,785272	8,484672	4,172952	6,958224	3,479112
Aquatic acidification		-	-	-	-	-
Aquatic eutrophication		-	-	-	-	-
Global warming	kg CO ₂ eq	2475,7479	1299,1711	1193,6527	170,2849	85,14245
Non-renewable energy	MJ primary	14097,174	8997,4475	7441,4641	2511,0354	1255,5177
Mineral extraction	MJ primary	0	0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 3. terdapat beberapa satuan unit untuk menentukan besaran yang diakibatkan oleh kerusakan dampak yaitu DALY, PDF*m²*yr, MJ primary dan kg CO₂eq.

DALY adalah ukuran yang diterima seseorang dari keseluruhan beban penyakit, dinyatakan sebagai jumlah tahun yang hilang akibat gangguan kesehatan cacat, atau kematian dini. Satu DALY adalah sama dengan satu tahun dari hidup sehat yang hilang. Ada 6 kategori karakterisasi dampak berdasarkan faktor kerusakannya yang dikelompokkan dalam kategori *human health*, yaitu *carcinogenic*, *non carcinogenic*, *respiratory inorganic*, *ionizing radiation*, *ozone layer depletion*, *respiratory organic*.

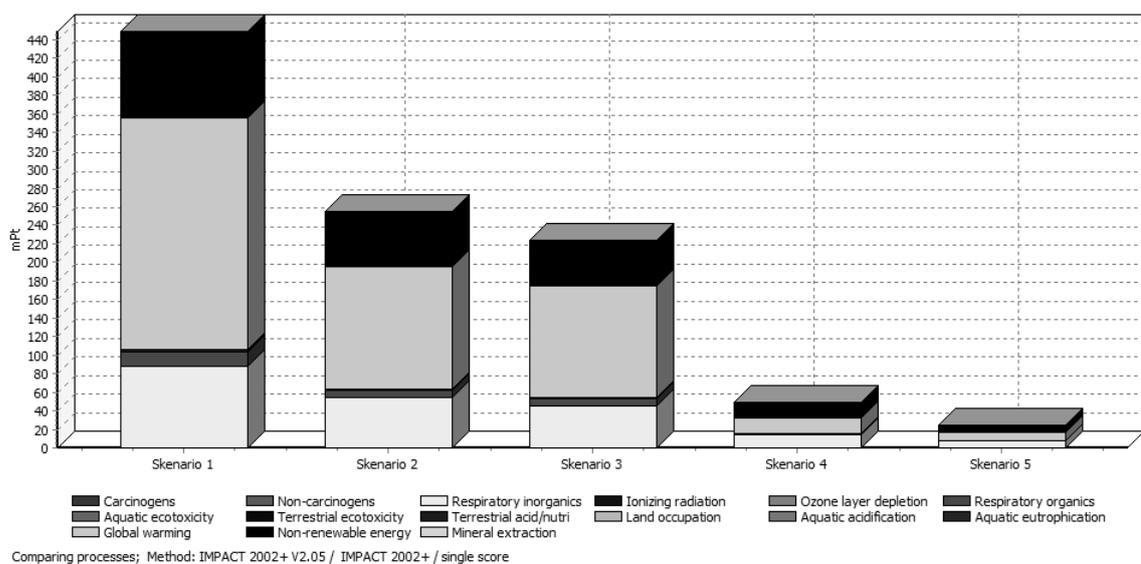
PDF*m²*yr adalah bagian dari spesies/ekosistem yang berpotensi hilang per m² per tahun, merupakan suatu unit yang digunakan untuk mengukur dampak terhadap suatu ekosistem. Satu PDF*m²*yr adalah sama dengan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 1 m² di permukaan bumi dalam 1 tahun. Kategori karakterisasi dampak yang dikelompokkan dalam kategori *ecosystem quality* adalah: *aquatic ecotoxicity*, *terrestrial ecotoxicity*, *terrestrial acid/nutri*, dan *land occupation*.

Kg CO₂eq digunakan sebagai satuan unit dari kategori karakterisasi dampak *global warming*, dan efek yang ditimbulkan adalah perubahan iklim secara global.

MJ primary adalah jumlah energi dasar yang dibutuhkan untuk mengekstraksi suatu sumber daya alam. Kategori karakterisasi dampak yang memiliki satuan unit *MJ primary* adalah *non renewable energy* dan *mineral extraction*. Keduanya berhubungan erat dengan sumber daya alam yang dieksploitasi dan energi yang dikeluarkannya.

b. *Single score impact assessment*

Metode yang diterapkan didalam penentuan *single score* adalah dengan skala kontribusi urutan nilai tertinggi yang berpengaruh pada kelima skenario penggunaan alat transportasi siswa SMA terhadap faktor kerusakan berdasarkan *impact 2002+*. Hasil yang diperoleh disajikan didalam Gambar 2.



Gambar 2. Single score penggunaan alat transportasi pada berbagai skenario untuk tiap 1 kilometer jarak tempuh

Dari hasil *single score* kontribusi dampak terhadap lingkungan pada penggunaan alat transportasi siswa SMA dengan skenario 1, 2, 3, 4 dan 5 didapatkan nilai kontribusi total berturut-turut: $4,49 \times 10^{-1}$ Pt, $2,54 \times 10^{-1}$ Pt, $2,24 \times 10^{-1}$ Pt, $4,90 \times 10^{-2}$ Pt dan $2,45 \times 10^{-2}$ Pt. Kontribusi terbesar berpengaruh terhadap efek *global warming*, *non renewable energy/resources*, *respiratori inorganic* dan *respiratori organic*.

Interpretasi

Interpretasi adalah langkah terakhir dalam tahapan LCA sebelum membuat keputusan dan rencana tindakan. Didalam melakukan interpretasi untuk menentukan isu-isu penting lingkungan, metode analisis yang dapat dilakukan adalah dengan metode pendekatan analisis kontribusi yang bertujuan untuk mengidentifikasi data yang memiliki kontribusi terbesar terhadap hasil indikator dampak. Disamping itu pula dipakai metode analisis perbaikan hasil.

a. Analisis Kontribusi

Analisis kontribusi digunakan dengan tujuan untuk mengetahui proses atau tahap didalam jejaring penggunaan alat transportasi siswa SMA di Cilacap yang memiliki kontribusi paling dominan, sehingga pengambilan keputusan dan perbaikan terhadap sistem menjadi tepat dan efektif sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 4. menunjukkan kontribusi dampak terhadap lingkungan pada tahapan proses/ kegiatan penggunaan alat transportasi siswa SMA dengan berbagai skenario.

Tabel 3. Komparasi Kontribusi Dampak Lingkungan Penggunaan Alat Transportasi Siswa Untuk Tiap 1 Kilometer Jarak Tempuh

No	Alat Angkut Yang digunakan	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4	Skenario 5
		Pt (Point)				
1	Sepeda Motor	0,32099469	0,1455298	0,1455298	x	X
2	BBM/Gasoline	0,11658346	0,0744088	0,0615408	0,02076623	0,0103831
3	Angkutan Umum/Angkot	0,01130915	0,0344506	0,0169436	0,02825274	0,0141264

b. Analisis Perbaikan

Dari hasil analisis penakaran dampak dan kontribusi diketahui bahwa permasalahan utama yang menjadi perhatian untuk direkomendasikan perbaikan lingkungan adalah penggunaan *gasoline* sebagai bahan bakar alat-alat transportasi. Penentuan prioritas alternatif perbaikan lingkungan didasarkan pada beberapa kriteria. Kriteria tersebut adalah: sarana, prasarana, kebijakan internal Pemda setempat dan kesadaran masyarakat.

Prioritas pertama adalah transportasi yang digunakan saat ini untuk transportasi siswa SMA di Cilacap adalah menggunakan sepeda motor. Analisis perbaikan yang dilakukan dengan mengganti angkutan sepeda motor dengan sepeda kayuh dengan diberlakukannya peraturan daerah setempat. Di Indonesia, ketentuan berkendara

bermotor telah diatur dalam Undang-undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Pada pasal 288 ayat 2 secara jelas telah mengatur bahwa setiap orang yang mengemudikan kendaraan bermotor di jalan harus memiliki SIM (Surat Izin Mengemudi) yang mana dalam persyaratan untuk mendapatkan SIM tersebut salah satunya mempersyaratkan usia minimal pemohon adalah 17 (tujuh belas) tahun. Syarat usia ini tentu saja tidak mungkin dapat dipenuhi oleh anak-anak usia sekolah setingkat SMP atau pendidikan kelas X dan XII SMA. Dengan digantinya sepeda motor sebagai alat transportasi sekolah di Kabupaten Cilacap dengan menggunakan sepeda kayu dapat menghemat penggunaan bahan bakar minyak antara 1000 liter – 3500 liter untuk setiap 1 km jarak tempuh, sehingga akan mereduksi kontribusi dampak terutama pada jalur transportasi.

Prioritas kedua adalah dengan melakukan penambahan sarana jalan khusus bagi pengguna sepeda disertai dengan penghijauan disepanjang jalur sepeda. Beberapa keunggulan dari penghijauan tanaman ini adalah, dalam 1 hektar menurut Profesor Stephen P. Long dari *University of Illinois* tahun 2004 mampu menghasilkan biomassa 20 ton dan tahan terhadap cuaca sehingga diperkirakan akan mampu menyerap CO₂ sebesar 569 ton/ha/tahun. (Dahlan, 1992)

Tabel 5.berikut memperlihatkan capaian nilai dampak sebelum dan sesudah perubahan strategi dengan memberikan nilai *single score* yang lebih baik.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perbaikan Pemilihan Strategi

No	Kriteria Perbaikan	Strategi	Reduksi Nilai terhadap Lingkungan
1.	Penurunan emisi melalui penghematan bahan bakar minyak	Kendaraan bermotor diganti dengan sepeda dengan dikeluarkannya peraturan pemerintahan setempat	$1,75 \times 10^{-1}$ Pt
2.	Mereduksi gas CO ₂ yang berada di lingkungan	Penghijauan	569 ton/ha/tahun

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kontribusi dampak terhadap lingkungan dengan menggunakan alat transportasi kendaraan bermotor sesuai dengan skenario 1, 2, 3, 4 dan 5 didapatkan nilai kontribusi total berturut-turut $4,49 \times 10^{-1}$ Pt, $2,54 \times 10^{-1}$ Pt, $2,24 \times 10^{-1}$ Pt, $4,90 \times 10^{-2}$ Pt dan $2,45 \times 10^{-2}$ Pt.. Dari hasil analisis kontribusi tersebut penggunaan sepeda lebih ramah terhadap lingkungan.

Pada keempat skenario pemakaian bahan bakar dampak yang paling berpengaruh adalah *global warming, non renewable energy/resources, respiratori*

inorganic dan *respiratori organic*. Secara umum kontribusi dampak terhadap lingkungan tertinggi berasal alat transportasi yang digunakan.

Berdasarkan analisis perbaikan, sepeda motor sebagai alat transportasi siswa SMA di Cilacap diganti dengan menggunakan sepeda, sehingga terjadi pengurangan kontribusi nilai sebesar $1,75 \times 10^{-1}$ Pt. Komparasi penggunaan alat transportasi pada skenario 4 dan 5 antara sepeda motor dengan sepeda terhadap kontribusinya ke lingkungan, didapatkan bahwa sepeda memberikan nilai sebesar $4,902 \times 10^{-2}$ Pt dan $2,451 \times 10^{-2}$ Pt, sehingga dengan hasil tersebut penggunaan sepedasebagai alat transportasi lebih ramah terhadap lingkungan.

Rekomendasi

Untuk meningkatkan kualitas lingkungan, hasil dari penelitian berdasarkan analisis perbaikan maka direkomendasikan: (1) Mendukung dikeluarkannya peraturan perintah daerah secara bertahap alat transportasi angkutan siswa saat ini yaitu sepeda motor diganti dengan angkutan umum dan sepeda, disertai dengan pengembangan sarana jalan bagi pengguna sepeda agar aman dan nyaman sehingga masyarakat tertarik menggunakan sepeda. (2) Secara bertahap dilakukan regulasi hukum secara tegas melarang anak-anak dibawah umur menggunakan sepeda motor ketika berangkat dan pulang dari sekolah adalah yang paling memungkinkan. (3) Melakukan penghijauan dan revegetasi untuk mengurangi pencemaran lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Clean Development Mechanism, 2005., "*Panduan Kegiatan MPB di Indonesia*", Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, Jakarta
- Dahlan, E.N., 1992., "*Hutan Kota untuk Peningkatan Kualitas Lingkungan*", APHI, Jakarta
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral., 2004., "*Kebijakan Energi Nasional 2003 – 2020*"., Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral., Jakarta
- GaBi, 2011., "*Handbook for Life Cycle Assessment (LCA) Using the GaBi Software*", PE International, Leinfelden-Echterdingen Germany
- International Standards Organization., 2006., "*Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework ISO 14040*". ISO Press
- Jolliet, O., Sébastien, H., Schryver, A.D., Manuele, M., 2012., "*Impact 2002 + : User Guide*" Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), Switzerland
- Pusat Data Dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kemen ESDM., 2012., "*Kajian Supply Demand Energy*", Kementrian Energi Dan Sumberdaya Mineral, Jakarta

Sugiyono.A., 2008., "*Arah Pengembangan Sektor Transportasi Darat Dalam Kerangka Penerapan Mekanisme Pembangunan Bersih*", MPI Vol.2 No.2

World Business Council for Sustainable Development.,2002., "*What LCA Can Tell Us about the Cement Industry*"., Konrad Saur, Five Winds International, Germany

www.pasma.kemdikbud.go.id