

# Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa

Taufan Ratri Harjanto<sup>1</sup>, Moh. Fahrurrozi<sup>2</sup>, I Made Bendiyasa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan

Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada

## Abstract

PT. Holcim Indonesia Tbk. Cilacap having capacity of 2.6 million ton/year uses rice husk as alternative fuels. The utilization of the rice husk will effect the environment. The aim of the study is to evaluate the effects of biomass utilization to environment using life cycle assessment (LCA) method.

The “cradle to gate” approach was used to evaluate four scenarios of different fuel combinations: (1) 100% coal, (2) mixed fuel of 90% coal and 10% biomass, (3) mixed fuel of 50% coal and 50% biomass, (4) 100% biomass as primary fuels in the kiln for 1000 kg cement. 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, the scenario 1, 2, 3, and 4, give  $2.78 \times 10^{-1}$  Pt,  $2.24 \times 10^{-1}$  Pt,  $1.57 \times 10^{-1}$  Pt, and  $8.50 \times 10^{-2}$  Pt respectively. It was also found that the global warming, respiratory inorganic and resources give significant impacts to the environment. It is suggested to replace silica transportation using train, to utilize *miscanthus giganteus* and to grow plants or reforestry.

**Keywords:** PT Holcim Indonesia Tbk Cilacap Plant, Life Cycle Assessment, Comparative Coal with Biomass.

## Abstrak

PT. Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap dengan kapasitas produksi 2,6 juta ton/tahun telah menggunakan sekam padi sebagai energi alternatif biomassa. Penggantian batubara dengan biomassa akan menimbulkan emisi dan dampak ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan batubara dan biomassa dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

Pendekatan *cradle to gate* digunakan untuk mengevaluasi 4 skenario penggunaan bahan bakar: (1) 100% batubara, (2) campuran 90% batubara dan 10% biomassa, (3) campuran 50% batubara dan 50% biomassa, (4) 100% biomassa, dengan basis 1000 kg produk semen. 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, dan 4 diperoleh nilai kontribusi total berturut-turut  $2,78 \times 10^{-1}$  Pt,  $2,24 \times 10^{-1}$  Pt,  $1,57 \times 10^{-1}$  Pt, dan  $8,50 \times 10^{-2}$  Pt. Kategori dampak *global warming*, *respiratory inorganic* dan *resources* merupakan kontributor terbesar dari total dampak terhadap lingkungan. Analisis perbaikan dan rekomendasi mengurangi dampak yang terjadi yaitu mengganti angkutan *truck* pasir silika dengan kereta api, bahan bakar biomassa menggunakan *miscanthus giganteus* dan melakukan penghijauan.

**Kata kunci :** PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap, *Life Cycle Assessment*, Komparasi batubara dengan biomassa

## Pendahuluan

Industri semen berdasarkan *European Commission* tahun 2010 adalah industri yang memerlukan energi panas dan listrik, sehingga sekitar 40% dari keseluruhan biaya operasional dihabiskan untuk pengadaan energi (Vito, dkk., 2011). Bahan bakar fosil, seperti batubara

dan minyak bumi, secara umum telah digunakan sebagai sumber energi dalam industri semen. Untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*) pemerintah Indonesia telah menyusun kebijakan energi nasional dengan melakukan pendekatan yang integral ke semua sektor pembangunan dengan memperhatikan masalah konservasi dan daya dukung kapasitas lingkungan. Suatu kajian perencanaan energi jangka panjang telah

\* Alamat korespondensi: mfrozi@chemeng.ugm.ac.id

dilakukan oleh Pemerintah dengan pelaksana terdiri dari unsur inter departemen (BATAN, BPPT, Ditjen LPE dan MIGAS, Kementerian ESDM, BPS, KLH, PT PLN Persero) dengan bantuan teknis dari perguruan tinggi di Indonesia.

Berdasarkan penelitian dari pihak IPB pada tahun 2008 (Cahyono dkk., 2008) untuk PT Holcim Indonesia Tbk. tentang penggantian bahan bakar batubara dengan bahan bakar lain khususnya biomassa, akan menimbulkan suatu permasalahan baru yaitu, berapa besar kontribusi emisi (gas buang) dan dampak lain yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar alternatif tersebut didalam industri semen. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menjawab permasalahan tersebut adalah dengan metode *Life Cycle Assessment / LCA*.

Metode *Life Cycle Assessment (LCA)* digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan penggunaan bahan bakar batubara dan bahan bakar biomassa pada industri semen.

### Industri Semen Holcim Indonesia

PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap merupakan pabrik semen pertama di Jawa Tengah, yang dikenal sebagai produsen semen serbaguna (*PPC/Portland Pozzolan Cement*) berdasarkan SNI 15-0302-2004. Melonjaknya harga minyak bumi hingga US\$100 per barel dan konferensi tentang iklim dunia yang berlangsung di Bali pada akhir tahun 2007 menunjukkan pentingnya arti pembangunan yang berkelanjutan. Semua perusahaan Holcim di seluruh dunia, termasuk yang berada di kawasan Asia Pasifik, menjadi yang pertama di industri semen yang melakukan penghematan dan pemanfaatan energi secara efisien, menekan penggunaan bahan bakar fosil, serta solusi untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>.

Pabrik semen PT. Holcim Indonesia Tbk. yang beroperasi di Cilacap memiliki kapasitas produksi 2,6 juta ton/tahun, perusahaan ini sudah menggunakan energi alternatif biomassa, salah satunya sekam padi dari pertanian mulai tahun 2007, sehingga jumlah CO<sub>2</sub> per ton yang dihasilkan dalam kegiatan operasional sehari-hari berhasil dikurangi hingga 4 persen, sedangkan konsumsi air bisa ditekan hingga 16 persen. Di atas lahan milik Holcim, ditanam spesies pohon yang bisa cepat tumbuh untuk membantu menyerap CO<sub>2</sub> dan pada saatnya nanti, hutan kayu bakar ini akan dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan (Holcim, 2007).

Menurut *road map* penurunan emisi carbon yang dibuat IEA (*International Energy*

*Association*) dan WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) – CSI (*Cement Sustainable Initiatives*) rata-rata energi alternatif yang digunakan pabrik semen di dunia pada tahun 2012 adalah sekitar 5 – 10% (*World Business Council for Sustainable Development*, 2011). Penggunaan energi alternatif di PT Holcim Indonesia Tbk. pada tahun 2009 sudah berhasil mencapai 8,6% dan menghasilkan kira-kira 0,72% ton CO<sub>2</sub>/ton semen (Holcim, 2008).

Dengan komitmen yang kuat perusahaan ini telah memperoleh sejumlah penghargaan di dalam negeri untuk berbagai bidang kategori sehingga tahun 2010, Pabrik Semen Cilacap ditetapkan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup sebagai badan usaha di Indonesia yang menerima penghargaan PROPER Emas, penghargaan tertinggi dari pemerintah untuk bidang manajemen limbah dan lingkungan hidup (Holcim, 2011)

### Life Cycle Assessment (LCA)

*Life Cycle Analysis (LCA)* atau sering juga disebut *Life Cycle Assessment* merupakan sebuah metode berbasis *cradle to grave* (analisis keseluruhan siklus dari proses produksi hingga pengolahan limbah) yang digunakan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan daur hidup produk dimulai dari saat pengambilan bahan baku sampai dengan produk itu selesai digunakan oleh konsumen. Setiap langkah LCA dijelaskan dalam standar internasional (ISO 14040, ISO 14041). Langkah ini senantiasa berulang, di mana tingkat 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 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

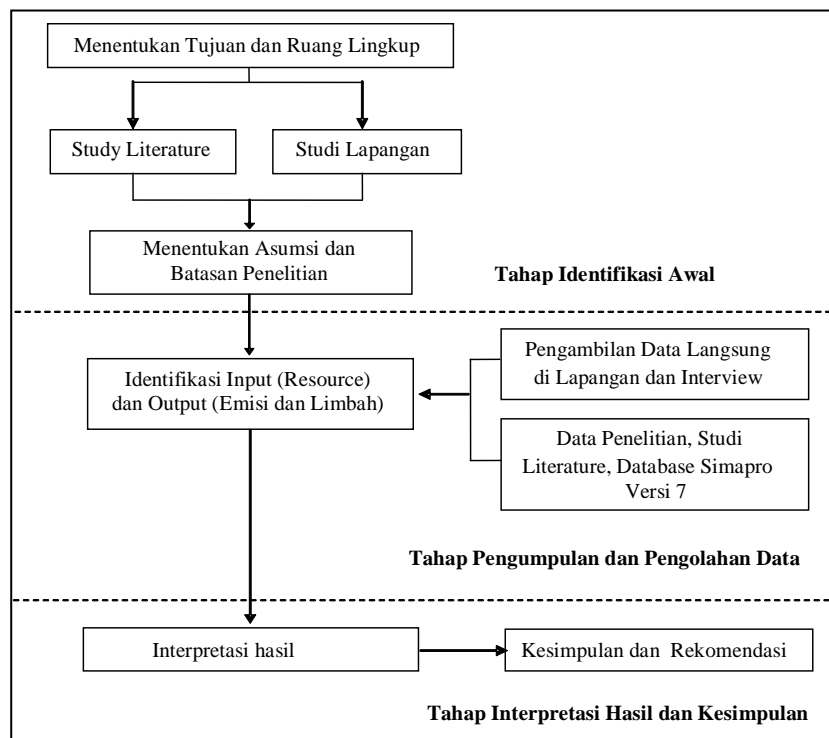
Penelitian dilakukan pada bulan Mei – Agustus 2012 dan mengacu kepada langkah-langkah studi *Life Cycle Assessment* berdasarkan ISO 14040 tahun 2006, yang dibagi menjadi empat tahap yaitu: (1) tahap identifikasi awal, (2) tahap pengumpulan data, (3) tahap pengolahan data dan (4) tahap interpretasi hasil dan kesimpulan. Pengolahan data pada penelitian ini untuk evaluasi dampak lingkungan digunakan *software* SimaPro versi 7.

Langkah-langkah penelitian dijabarkan didalam Gambar 1 sebagai berikut: (1) Identifikasi awal, (2) Pengumpulan dan pengolahan data, (3) Interpretasi dan kesimpulan.

Batasan sistem teknis terdiri dari beberapa komponen yang ditinjau didalam produksi semen dari persiapan bahan baku sampai dengan produk hasil berupa semen serbaguna, yaitu: (1) *quarry* yang terletak di Nusakambangan dan Jeruklegi, (2) *raw meal preparation*, (3) *pyroprocessing*, (4) *finish grinding/finish mill*. Transportasi dan

energi/kelistrikan termasuk didalam bagian batasan sistem teknis dikarenakan aktifitas dari transportasi dan kelistrikan akan menghasilkan dampak terhadap lingkungan secara langsung dan tidak langsung akibat adanya kegiatan proses produksi semen.

Didalam penelitian ini menggunakan pendekatan *cradle to gate* dengan alasan bahwa kondisi skenario 1, 2, 3 dan 4 yang dapat dibandingkan kinerja terhadap lingkungan karena adanya perbedaan penanganan akibat dari digunakannya bahan bakar dengan formulasi yang berbeda adalah proses pengolahan bahan baku hingga menjadi produk semen. Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan basis 1000 kg produk semen untuk keempat skenario; (1) Bahan bakar yang digunakan adalah 100% batubara dengan faktor rasio *clinker* sebesar 0,95; (2) Bahan bakar yang digunakan adalah campuran 90% energi berasal dari batubara dan 10% berasal dari biomassa sekam padi dengan faktor rasio *clinker* sebesar 0,75; (3) Bahan bakar yang digunakan adalah campuran 50% energi berasal dari batubara dan 50% berasal dari biomassa *miscanthus giganteus* dengan faktor rasio *clinker* sebesar 0,75; (4) Bahan bakar yang digunakan 100% biomassa *miscanthus giganteus* (alang-alang raksasa) dengan faktor rasio *clinker* sebesar 0,75.



Gambar 1. Alur metodologi penelitian di PT Holcim Indonesia Tbk.

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 dkk., 2012).

## Hasil dan Pembahasan

### Analisis Inventori

Inventori dilakukan berdasarkan *input* dan *output* material didalam sistem. Data *Input* terdiri dari: kebutuhan bahan baku, energi/kelistrikan, air, dan alat transportasi yang digunakan. Perhitungan berdasarkan pada faktor *clinker* nya yang akan diproduksi. Faktor *clinker* ditetapkan berdasarkan pertimbangan pada hasil laboratorium di pabrik dan kebijakan perusahaan ataupun mengacu pada peraturan pemerintah yang tertuang dalam Permenprind RI No.12/M-IND/PER/1/2012. Kandungan *clinker* dalam

semen sangat bervariasi. Semen Portland mengandung *clinker* hingga 95%. Rasio *clinker* rata-rata dunia adalah 78% pada tahun 2006. Dari segi teknis rasio *clinker* yang lebih rendah akan menurunkan emisi. Penurunan rasio *clinker* sangat tergantung pada bahan pencampur yang tersedia, serta peraturan lingkungan yang berlaku di Indonesia. Bahan pencampur untuk menggantikan *clinker* meliputi *fly ash*, *bottom ash*, bahan vulkanis alami dan bahan *cementitious* lainnya.

Data *output* berupa produk semen dan emisi yang dilepaskan terhadap lingkungan disetiap prosesnya. Tabel 1 menunjukkan inventori pada 1000 kg produk semen.

Bahan Baku utama dalam proses pembuatan semen hanya ada 2 yaitu batu kapur dan tanah liat sebab semua senyawa – senyawa utama dalam semen berasal dari kedua bahan tersebut. Bila digunakan bahan lainnya, maka bahan tersebut hanya sebagai bahan pengoreksi komposisi saja.

Tabel 1. Life cycle inventory untuk 1000 kg produksi semen.

| Proses Produksi 1000 kg Semen                     | Skenario 1             | Skenario 2             | Skenario 3             | Skenario 4             |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Kebutuhan Bahan Baku:</b>                      |                        |                        |                        |                        |
| <i>Limestone</i>                                  | 1280 kg                | 1135,54 kg             | 1135,54 kg             | 1135,54 kg             |
| <i>Clay</i>                                       | 256 kg                 | 160,16 kg              | 160,16 kg              | 160,16 kg              |
| <i>Silica sand</i>                                | 48 kg                  | 84,14 kg               | 84,14 kg               | 84,14 kg               |
| <i>Iron sand</i>                                  | 16 kg                  | 20,16 kg               | 20,16 kg               | 20,16 kg               |
| <i>Gypsum</i>                                     | 50 kg                  | 50 kg                  | 50 kg                  | 50 kg                  |
| <i>Fly ash</i>                                    | 0 kg                   | 97,1 kg                | 97,1 kg                | 97,1 kg                |
| <i>Additive</i>                                   | 0 kg                   | 102,9 kg               | 102,9 kg               | 102,9 kg               |
| <b>Kebutuhan Air Pendukung Proses</b>             | 1,87 m <sup>3</sup>    | 1,65 m <sup>3</sup>    | 1,61 m <sup>3</sup>    | 1,58 m <sup>3</sup>    |
| <b>Kebutuhan Energi Listrik</b>                   | 120,63 kwh             | 111,15 kwh             | 110 kwh                | 108,54 kwh             |
| <b>Kebutuhan Bahan Bakar Cair:</b>                |                        |                        |                        |                        |
| <i>Distillate fuel oil</i>                        | 23,60E-3               | 20,50E-3               | 19,90E-3               | 19,60E-3               |
| <i>Residual fuel oil</i>                          | m <sup>3</sup>         | m <sup>3</sup>         | m <sup>3</sup>         | m <sup>3</sup>         |
| <b>Kebutuhan Bahan Bakar Padat:</b>               | 5,32E-4 m <sup>3</sup> | 4,24E-4 m <sup>3</sup> | 2,25E-4 m <sup>3</sup> | 2,57E-5 m <sup>3</sup> |
| Batubara  |                        |                        |                        |                        |
| Sekam padi  | 152 kg                 | 120 kg                 | 60 kg                  | 0 kg                   |
| <i>Miscanthus giganteus</i> (alang-alang raksasa) | 0 kg                   | 23,25 kg               | 0 kg                   | 0 kg                   |
|   | 0 kg                   | 0 kg                   | 64,30 kg               | 128,54 kg              |
| <b>Emisi ke udara :</b>                           |                        |                        |                        |                        |
| <i>Carbon dioxide</i>                             | 1229,31 kg             | 979,70 kg              | 849,10 kg              | 755,35 kg              |
| <i>Carbon monoxide</i>                            | 1,47 kg                | 1,99 kg                | 1,86 kg                | 1,73 kg                |
| <i>Nitrogen dioxide</i>                           | 5,15 kg                | 5,16 kg                | 3,45 kg                | 1,32 kg                |
| <i>Particulates, SPM</i>                          | 1,22 kg                | 0,88 kg                | 0,88 kg                | 0,88 kg                |
| <i>Sulfur dioxide</i>                             | 1,70 kg                | 0,24 kg                | 0,25 kg                | 0,26 kg                |
| <i>Methane</i>                                    | 1,28 kg                | 1,00 kg                | 0,52 kg                | 0,03 kg                |
| <i>NM VOC</i>                                     | 231,71 g               | 203,67 g               | 171,30 g               | 140,85 g               |
| <b>Emisi ke perairan:</b>                         |                        |                        |                        |                        |
| <i>Solved solids</i>                              | 100,69 g               | 87,07 g                | 83,93 g                | 81,84 g                |
| <i>COD, Chemical Oxygen Demand</i>                | 2,81 g                 | 2,41 g                 | 2,21 g                 | 2,05 g                 |
| <i>Suspended solids</i>                           | 2,29 g                 | 1,98 g                 | 1,91 g                 | 1,86 g                 |
| <i>BOD5, Biological Oxygen Demand</i>             | 384,35 mg              | 331,72 mg              | 316,77 mg              | 305,70 mg              |
| <i>Organic substances, unspecified</i>            | 245,97 mg              | 212,68 mg              | 205,02 mg              | 199,89 mg              |
| <b>Emisi ke permukaan tanah:</b>                  |                        |                        |                        |                        |
| <i>Arsenic</i>                                    | 0,152 mg               | 1,19 mg                | 1,13 mg                | 1,07 mg                |
| <i>Cadmium</i>                                    | 152 µg                 | 620 µg                 | 560 µg                 | 500 µg                 |
| <i>Chromium</i>                                   | 0,76 mg                | 2,1 mg                 | 1,8 mg                 | 1,5 mg                 |
| <i>Lead</i>                                       | 4,56 mg                | 4,66 mg                | 2,7 mg                 | 0,9 mg                 |
| <i>Mercury</i>                                    | 76 µg                  | 80 µg                  | 50 µg                  | 20 µg                  |

**Tabel 2. Komparasi hasil nilai *characterization* penggunaan bahan bakar batubara dan biomassa untuk 1000 kg produksi semen.**

| <i>Impact category</i>         | Unit                                   | Semen Skenario 1 | Semen Skenario 2 | Semen Skenario 3 | Semen Skenario 4 |
|--------------------------------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>Carcinogens</i>             | kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq | 3,35E+00         | 2,66E+00         | 1,35E+00         | 1,08E-02         |
| <i>Non-carcinogens</i>         | kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq | 8,86E+00         | 7,13E+00         | 3,77E+00         | 1,38E-01         |
| <i>Respiratory inorganics</i>  | kg PM <sub>2.5</sub> eq                | 1,10E+00         | 9,38E-01         | 6,15E-01         | 2,38E-01         |
| <i>Ionizing radiation</i>      | Bq C-14 eq                             | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00         |
| <i>Ozone layer depletion</i>   | kg CFC-11 eq                           | 4,36E-06         | 3,45E-06         | 1,74E-06         | 3,26E-08         |
| <i>Respiratory organics</i>    | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq    | 1,62E-01         | 1,32E-01         | 1,09E-01         | 8,71E-02         |
| <i>Aquatic ecotoxicity</i>     | kg TEG water                           | 1,05E+06         | 8,27E+05         | 4,15E+05         | 1,79E+03         |
| <i>Terrestrial ecotoxicity</i> | kg TEG soil                            | 9,03E+02         | 5,46E+02         | 3,92E+02         | 1,34E+01         |
| <i>Terrestrial acid/nutri</i>  | kg SO <sub>2</sub> eq                  | 3,69E+01         | 3,43E+01         | 2,25E+01         | 8,49E+00         |
| <i>Land occupation</i>         | m <sup>2</sup> org.arable              | 0,00E+00         | 8,96E-02         | 4,96E-02         | 9,91E-02         |
| <i>Aquatic acidification</i>   | kg SO <sub>2</sub> eq                  | 8,07E+00         | 6,06E+00         | 3,92E+00         | 1,48E+00         |
| <i>Aquatic eutrophication</i>  | kg PO <sub>4</sub> P-lim               | 1,67E-02         | 1,32E-02         | 6,60E-03         | 5,32E-05         |
| <i>Global warming</i>          | kg CO <sub>2</sub> eq                  | 1,24E+03         | 9,54E+02         | 7,42E+02         | 5,30E+02         |
| <i>Non-renewable energy</i>    | MJ primary                             | 4,79E+03         | 3,90E+03         | 2,49E+03         | 1,09E+03         |
| <i>Mineral extraction</i>      | MJ surplus                             | 3,60E-01         | 1,21E+00         | 1,21E+00         | 1,24E+00         |

**Tabel 3. Komparasi *damage category* penggunaan bahan bakar batubara dan biomassa untuk 1000 kg produksi semen**

| <i>Damage category</i>   | Unit                   | Semen Skenario 1 | Semen Skenario 2 | Semen Skenario 3 | Semen Skenario 4 |
|--------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>Human health</i>      | DALY                   | 8,05E-04         | 6,84E-04         | 4,45E-04         | 1,67E-04         |
| <i>Ecosystem quality</i> | PDF*m <sup>2</sup> *yr | 9,80E+01         | 8,16E+01         | 4,74E+01         | 9,13E+00         |
| <i>Climate change</i>    | kg CO <sub>2</sub> eq  | 1,24E+03         | 9,54E+02         | 7,42E+02         | 5,30E+02         |
| <i>Resources</i>         | MJ primary             | 4,79E+03         | 3,90E+03         | 2,49E+03         | 1,09E+03         |

### 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 produksi semen berdasarkan faktor karakterisasinya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

#### b. *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 oleh kegiatan produksi semen pada berbagai skenario.

Berdasarkan Tabel 3 terdapat beberapa satuan unit untuk menentukan besaran yang diakibatkan oleh kerusakan dampak yaitu DALY, PDF\*m<sup>2</sup>\*yr, MJ *primary* dan kg CO<sub>2</sub>eq.

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\*m<sup>2</sup>\*yr adalah bagian dari spesies/ekosistem yang berpotensi hilang per m<sup>2</sup> per tahun, merupakan suatu unit yang digunakan untuk mengukur dampak terhadap suatu ekosistem. Satu PDF\*m<sup>2</sup>\*yr adalah sama dengan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 1 m<sup>2</sup> 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 CO<sub>2</sub>eq 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.

c. *Single score impact assessment*

Metode yang diterapkan didalam penentuan *single score* adalah dengan skala kontribusi urutan nilai *tertinggi* yang berpengaruh pada keempat skenario produksi semen terhadap faktor kerusakan berdasarkan *Impact 2002+*. Hasil yang diperoleh disajikan didalam Gambar 2.

Dari hasil *single score* kontribusi dampak terhadap lingkungan pada produksi semen dengan skenario 1, 2, 3, dan 4 didapatkan nilai kontribusi total berturut-turut:  $2,78 \times 10^{-1}$  Pt,  $2,24 \times 10^{-1}$  Pt,  $1,57 \times 10^{-1}$  Pt, and  $8,50 \times 10^{-2}$  Pt. Kontribusi terbesar berpengaruh terhadap efek *global warming*, *respiratory inorganic*, dan *non renewable energy/resources*.

**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

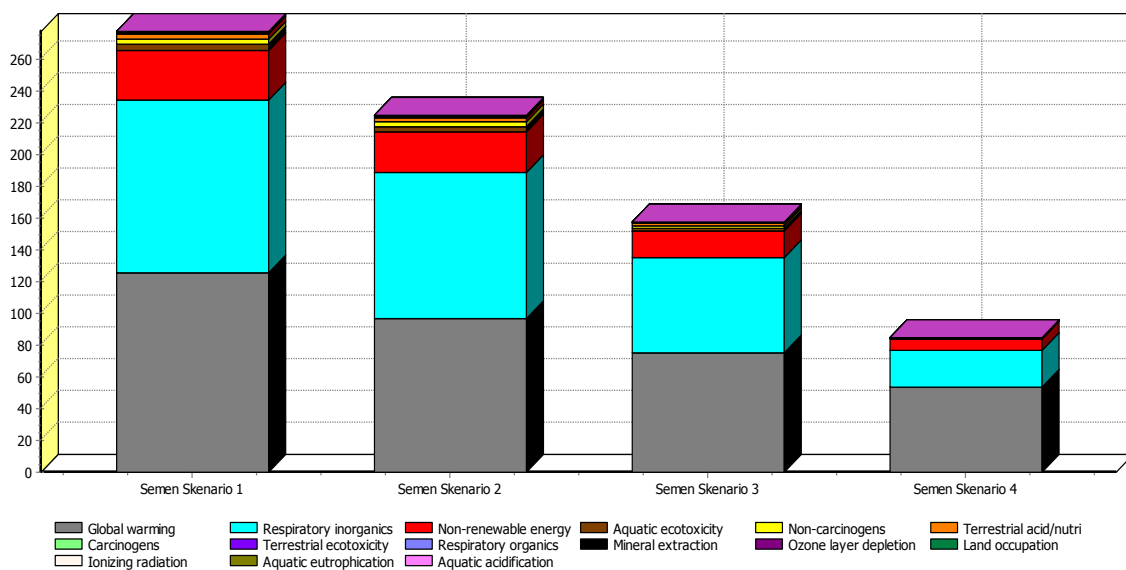
Analisis kontribusi digunakan dengan tujuan untuk mengetahui proses atau tahap didalam jejaring proses produksi semen yang memiliki kontribusi paling dominan, sehingga pengambilan keputusan dan perbaikan terhadap sistem menjadi tepat dan efektif sesuai dengan tujuan penelitian. Tabel 4 menunjukkan kontribusi dampak terhadap lingkungan pada tahapan proses/ kegiatan produksi semen dengan berbagai skenario.

**Tabel 4. Komparasi Kontribusi Dampak Lingkungan Penggunaan Batubara dan Biomassa untuk 1000 kg Produksi Semen**

| Proses                    | Semen Skenario | Semen Skenario | Semen Skenario | Semen Skenario |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                           | 1              | 2              | 3              | 4              |
|                           | Pt (point)     |                |                |                |
| Pyroprocessing            | 1,69E-01       | 1,35E-01       | 1,04E-01       | 6,74E-02       |
| Panas Batu Bara           | 8,86E-02       | 6,99E-02       | 3,50E-02       | -              |
| Distillate Fuel Oil (DFO) | 8,18E-03       | 7,10E-03       | 6,90E-03       | 6,80E-03       |
| PLN                       | 7,01E-03       | 6,51E-03       | 6,39E-03       | 6,32E-03       |
| Truck Pengangkut          | 1,43E-03       | 2,52E-03       | 2,52E-03       | 2,52E-03       |
| Tongkang                  | 1,55E-03       | 1,24E-03       | 6,58E-04       | 7,51E-05       |
| Dump Truck                | 6,96E-04       | 5,45E-04       | 5,76E-04       | 4,42E-04       |
| Diesel locomotive PT.KAI  | 3,34E-04       | 4,15E-04       | 4,15E-04       | 4,15E-04       |

b. Analisis Perbaikan

Dari hasil analisis penakaran dampak dan kontribusi diketahui bahwa permasalahan utama yang menjadi perhatian untuk direkomendasikan perbaikan lingkungan adalah penggunaan batubara pada *pyroprocessing* dan *distillate fuel oil* sebagai bahan bakar alat-alat transportasi.



**Gambar 2. Single score penggunaan bahan bakar pada berbagai skenario untuk 1000 kg produksi semen**

Penentuan prioritas alternatif perbaikan lingkungan didasarkan pada beberapa kriteria. Kriteria tersebut adalah: sarana dan prasarana, kebijakan internal pabrik/perusahaan, kebijakan Pemda setempat dan kesadaran masyarakat.

Prioritas pertama adalah transportasi yang digunakan saat ini untuk mengangkut pasir silika menggunakan *truck* dan kereta api. Pasir silika didapatkan dari Cibadak Sukabumi dan Jatirogo Rembang. Analisis perbaikan yang dilakukan dengan mengganti angkutan *truck* dengan kereta api sebagai alat angkut pasir silika. Dengan digantinya angkutan *truck* pengangkut pasir silika dengan kereta api dapat menghemat penggunaan bahan bakar minyak sehingga akan mereduksi kontribusi dampak terutama pada jalur transportasi.

Prioritas kedua adalah dengan tanaman *miscanthus giganteus* (alang-alang raksasa) sebagai bahan substitusi batubara. Beberapa keunggulan dari 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 CO<sub>2</sub> 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 5. Rekapitulasi Hasil Perbaikan Pemilihan Strategi**

| Kriteria Perbaikan                                      | Strategi   | Reduksi Nilai terhadap Lingkungan |
|---|--|-----------------------------------|
| Penurunan emisi melalui penghematan bahan bakar DFO     | Truck sebagai alat transportasi pasir silika diganti menggunakan kereta api<br>Biomassa yang dipilih menggunakan <i>miscanthus giganteus</i> | 3,23E-3 Pt                        |
| Substitusi batubara dengan biomassa                     | (alang-alang raksasa) dengan pembanding sekam padi pada skenario 3   | 1,00E-4 Pt                        |
| Mereduksi gas CO <sub>2</sub> yang berada di lingkungan | Penghijauan  | 569 ton/ha/tahun                  |

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kontribusi dampak terhadap lingkungan dengan menggunakan bahan bakar sesuai dengan skenario 1, 2, 3, dan 4 untuk menghasilkan 1000 kg semen didapatkan nilai kontribusi total berturut-turut 2,78 x10<sup>-1</sup> Pt, 2,24 x10<sup>-1</sup> Pt, 1,57 x10<sup>-1</sup> Pt, dan 8,50 x10<sup>-2</sup> Pt. Dari

hasil analisis kontribusi tersebut penggunaan biomassa lebih ramah terhadap lingkungan.

Pada keempat skenario pemakaian bahan bakar dampak yang paling berpengaruh adalah *global warming*, *respiratory inorganic* dan *resources*. Secara umum kontribusi dampak terhadap lingkungan tertinggi berasal dari tahap *pyroprocessing*, kemudian disusul dari alat transportasi yang digunakan.

Berdasarkan analisis perbaikan, *truck* sebagai alat transportasi pengangkut silika diganti dengan menggunakan kereta api, sehingga terjadi pengurangan kontribusi nilai sebesar 6,00 x10<sup>-4</sup> Pt terhadap *impact category global warming*, 2,00 x10<sup>-3</sup> Pt terhadap *impact category respiratory inorganic* dan 6,00 x10<sup>-4</sup> Pt terhadap *impact category non renewable energy*.

Komparasi penggunaan bahan bakar pada skenario 3 antara sekam padi dengan *miscanthus giganteus* terhadap kontribusinya ke lingkungan, didapatkan bahwa sekam padi memberikan nilai sebesar 1,59 x10<sup>-2</sup> Pt dan *miscanthus giganteus* (alang-alang raksasa) sebesar 1,58 x10<sup>-2</sup> Pt, sehingga dengan hasil tersebut penggunaan *miscanthus giganteus* (alang-alang raksasa) sebagai bahan bakar substitusi batubara lebih ramah terhadap lingkungan.

### Rekomendasi

Untuk meningkatkan kualitas lingkungan, hasil dari penelitian berdasarkan analisis perbaikan maka direkomendasikan: (1) Alat transportasi pengangkut pasir silika diganti dengan kereta api untuk mereduksi pencemaran terhadap lingkungan. (2) Secara bertahap dilakukan substitusi batubara dengan biomassa. Penggunaan bahan bakar 50% batubara dan 50% biomassa adalah yang paling memungkinkan. (3) Pengembangan biomassa *miscanthus giganteus* sebagai bahan substitusi batubara perlu dilakukan karena *miscanthus* memiliki potensi sebagai tanaman khusus bahan bakar non tanaman pangan, sehingga harga akan cenderung stabil. (4) Melakukan penghijauan dan revegetasi di daerah pantai, sebagai investasi biomassa dan mengurangi pencemaran lingkungan.

### Daftar Pustaka

- Cahyono, T. D., Coto, Z., Febriyanto, F., 2008. Aspek Termofisis Pemanfaatan Kayu Sebagai Bahan Bakar Substitusi di Pabrik Semen, Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor.
- Curran, M. A., (ed) 1996. Environmental Life Cycle Assessment, ISBN 0-07-015063-X, McGraw-Hill, USA.
- 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.
- Holcim Indonesia Tbk. PT., 2007. Confidence 2007 Annual Report, Jakarta.
- Holcim Indonesia Tbk., PT., 2008. Holcim Group AFR Policy, Jakarta.
- Holcim Indonesia Tbk., PT., 2011. Pembangunan Berkelanjutan Laporan 2011, Jakarta.
- 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.
- Kementerian Perindustrian, Peraturan Menteri Perindustrian RI No. 12/M-IND/PER/1/2012: Peta Panduan (Road Map) Pengurangan Emisi CO<sub>2</sub> Industri Semen di Indonesia, Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- Vito, A., Dangelico, M. R., Natallicio, A., Yazan M. D., 2011. Alternative Energy Source in Manufacturing Cement, Department of Mechanical and Management Engineering, Politecnico di Bari, Italy.
- World Business Council for Sustainable Development, 2002. What LCA Can Tell Us about the Cement Industry., Konrad Saur, Five Winds International, Germany.
- World Business Council for Sustainable Development, 2009. Cement Technology Road Map 2009 Carbon Emission Reductions up to 2050 Geneva, Switzerland.
- World Business Council for Sustainable Development, 2011. CO<sub>2</sub> and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry, Geneva, Switzerland.
- [www.miscanthus.uiuc.edu](http://www.miscanthus.uiuc.edu)