

***Life Cycle Assessment* Emisi ke Udara pada Proses Pembakaran di *Kiln* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban**

Adinda Noer Khalizah^{1*}, Mirna Apriani¹, Ahmad Erlan Afiuddin¹

¹ Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail : ankdinda@gmail.com

Abstrak

Besarnya kapasitas produksi PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban yakni lima belas juta ton/tahun, berpotensi menimbulkan peningkatan dampak khususnya pencemaran udara seperti emisi gas (CO₂, CO, SO₂, NO_x, Hg) dan partikel debu. Proses yang menjadi penyebab utama pencemaran udara adalah proses pembakaran di *kiln*. Upaya untuk meminimasi dampak pencemaran udara perlu dilakukan untuk menghasilkan produk ramah lingkungan. *Life Cycle Assessment* (LCA) yang sesuai dengan standar ISO 14040 digunakan untuk mengidentifikasi dampak pencemaran udara dengan pendekatan *gate to gate*. Metode yang digunakan adalah *Environmental Design of Industrial Products* (EDIP) 2003 karena sesuai dengan *goal and scope* penelitian. Berdasarkan analisa dan perhitungan SimaPro diperoleh nilai kontribusi total sebesar 1,38 GPt pada proses pembakaran di *kiln*. Kategori dampak *acidification* merupakan kontributor terbesar dari total dampak terhadap lingkungan dengan nilai 0,682 GPt. Analisis perbaikan dilakukan dengan melakukan komparasi bahan bakar dengan *alternative fuel* dan memproduksi semen dengan rasio klinker rendah.

Keywords : EDIP, *kiln*, *life cycle assessment*, semen,

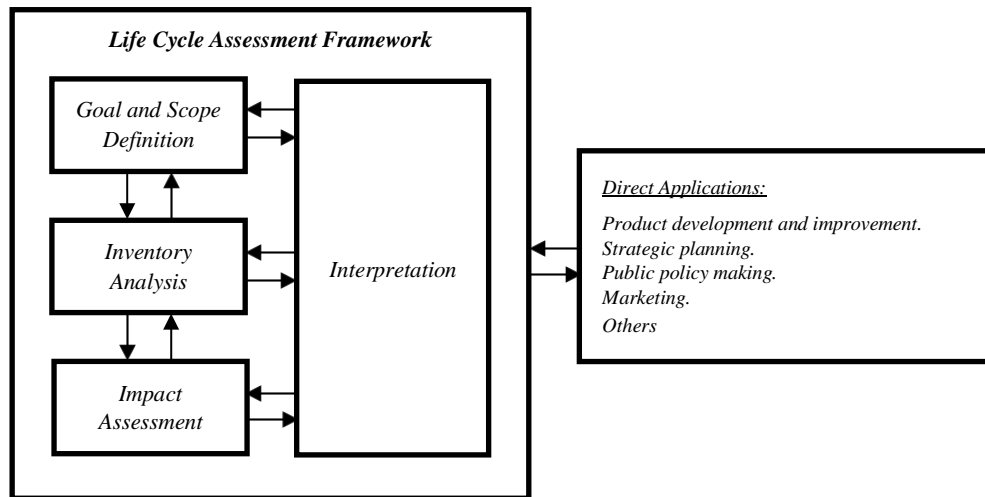
1. PENDAHULUAN

PT. Semen Indonesia merupakan perusahaan semen terbesar di Indonesia. Sejak tahun 2013 kapasitas produksi PT. Semen Indonesia yang berada di Kabupaten Tuban naik dari 12 juta ton per tahun menjadi sebesar 15 juta ton per tahun. Besarnya kapasitas produksi PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban menjadikan dampak lingkungan yang dihasilkan juga cukup besar khususnya pencemaran udara seperti emisi gas dan partikel debu. Industri semen merupakan antropogenik potensi polusi udara diantaranya debu, nitrogen oksida (NO₂), sulfur oksida (SO_x), dan karbon monoksida (Faridah, 2011). Industri semen menghasilkan debu dari *stock pile*, penggalian, pengangkutan bahan baku, *kiln*, pendinginan klinker, dan penggilingan (Nur, Hartanti, dan Sutikno 2015). Zat-zat pencemar lainnya seperti karbon monoksida, sulfur oksida, dan nitrogen oksida dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan pencampuran material bahan baku (Haryanto, 2015). Pencemaran udara secara langsung ataupun tidak, turut berpengaruh terhadap penurunan kualitas kesehatan masyarakat maupun terhadap kondisi iklim global. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi dampak ke lingkungan yang dihasilkan pada proses produksi semen, khususnya pada proses pembakaran di *kiln*.

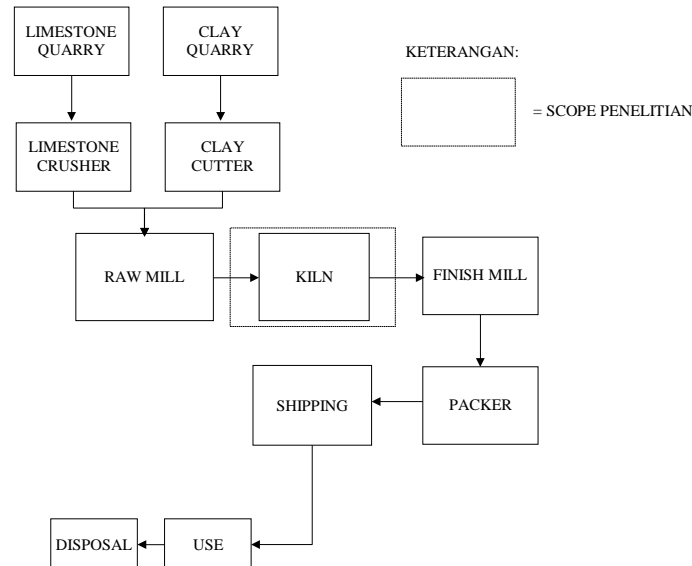
Dampak pencemaran udara terutama pada proses pembakaran di *kiln* dapat diminimasi dengan melakukan sebuah strategi alternatif untuk menghasilkan produk ramah lingkungan pada proses produksi di PT. Semen Indonesia. Metode yang dapat digunakan untuk mengetahui *sustainability* suatu produk salah satunya adalah *Life Cycle Assessment* (LCA) sesuai dengan standar ISO 14040. LCA merupakan suatu metode untuk menyusun data secara lengkap, mengevaluasi dan mengkaji semua dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses, dan aktivitas. LCA dikembangkan salah satunya adalah untuk mengkaji dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik dan proses produksi (Haas, dkk, 2005). *Software* SimaPro 8.5.2 dapat digunakan sebagai perangkat untuk menganalisis penghematan energi dan pengurangan emisi gas rumah kaca, audit energi dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energi dan sumber daya alam lainnya. LCA juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa (Rosmeika, Sutiarto, dan Suratmo 2010).

2. METODE

Penelitian mengacu kepada langkah–langkah studi LCA berdasarkan ISO 14040 tahun 2006, yang dibagi menjadi empat tahap yaitu: (1) tahap identifikasi awal berupa penentuan *goal* dan *scope* penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2, (2) tahap pengumpulan data berupa *input*, *output*, dan emisi (3) tahap pengolahan data dengan metode EDIP 2003 menggunakan *software* SimaPro dan (4) tahap interpretasi hasil dan kesimpulan. Penelitian ini menggunakan pendekatan *gate to gate* karena hanya ada satu proses yang akan diidentifikasi. Perhitungan dalam penelitian ini menggunakan basis data inventarisasi input, output dan emisi dalam satu bulan. Data input berupa penggunaan bahan baku dan penggunaan listrik. Data output berupa produk yang dihasilkan pada proses tersebut. Data emisi berupa beban emisi yang dihasilkan dalam satuan waktu. Data tersebut dapat didapatkan dari perusahaan. Langkah studi LCA pada ISO 14040 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. LCA Framework



Gambar 2. Proses Pembuatan Semen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan *Goal and Scope*

Lingkup pada penelitian ini terbatas pada *gate to gate* dimulai dari awal hingga akhir proses pembakaran di *kiln*. Metode yang digunakan adalah *Environmental Design of Industrial Products* (EDIP) 2003 dikarenakan untuk menyesuaikan tujuan penelitian yakni mengetahui dan membandingkan nilai dari setiap kategori dampak. Batasan *impact assessment* penelitian ini adalah *global warming 100a*, *acidification*, *ozone formation*, dan *human toxicity* dari sembilan belas *impact* yang ada dikarenakan disesuaikan dengan *scope* penelitian yakni mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan dari pencemaran ke udara. *Scope* pada penelitian ini hanya sebatas

pada proses pembakaran pada kiln. Alasan pemilihan *scope* dikarenakan pada proses produksi semen, yang menyumbang polusi udara terbesar adalah proses pembakaran pada kiln. Proses pembakaran pada kiln yang menggunakan batubara mengakibatkan adanya emisi CO₂, CO, SO₂, NO_x, Hg dan partikulat.

Analisis Inventori

Inventori dilakukan berdasarkan *input* dan *output* material didalam sistem dan juga emisi yang dihasilkan. Data *input* terdiri dari: kebutuhan bahan baku dan energi/kelistrikan yang digunakan. Data *output* berupa produk semen dan emisi yang dilepaskan terhadap lingkungan di setiap prosesnya. Hasil inventarisasi *input*, *output* dan beban emisi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Life Cycle Inventory Proses Pembakaran di Kiln

*Input		*Output		**Beban Emisi	
Material <i>Electricity</i> <i>Fuels</i>	Jumlah/bulan	Material	Jumlah (ton/bln)	Parameter	Jumlah (ton/bln)
Umpan Kiln	963.967,7 ton	Klinker	517.574,6	Partikulat	1.498,3
Batu bara	212.292,2 ton			SO ₂	24.34518,5
IDO	73,6 ton			NO _x	1.902
Sekam padi	3426,8 ton			CO	37.573.630,9
Cocopeat	642,5 ton			CO ₂	21.712,2
Penggunaan Listrik	2.849.3636,7 kWh			Hg	88,8

Sumber: *Data Perusahaan dan **Hasil Perhitungan

Perhitungan beban emisi yang berasal dari cerobong pada unit pembakaran pada kiln menggunakan rumus:

$$E = C \times Q$$

(1)

Dimana:

E = Beban pencemaran (satuan berat/satuan waktu)

C = Konsentrasi terkoreksi (mg/Nm³)

Q = Laju alir emisi *volumetric* (m³/satuan waktu)

Berikut ini merupakan contoh perhitungan beban emisi yang berasal dari *stack EP Kiln* Tuban 1 pada unit pembakaran dan *cooler processing*:

$$\begin{aligned} E \text{ partikulat} &= C \times Q \\ &= 2,85 \text{ mg/Nm}^3 \times 19588210560 \text{ m}^3/\text{bulan} \\ &= 55826400096 \text{ mg/bulan} \\ &= 55,8264001 \text{ ton/bulan} \end{aligned}$$

Penilaian Dampak/Impact Assessment

Penilaian dampak yang dilakukan *software* simaPro adalah dengan membandingkan secara langsung hasil LCI dalam setiap kategori. Berikut ini adalah penjelasan mengenai masing – masing dampak yang akan dibahas:

1. Global warming

Impact ini membahas tentang efek yang ditimbulkan dari peningkatan suhu di atmosfer. Konsekuensi kemungkinan yang terjadi akibat efek tersebut mengakibatkan gas rumah kaca dengan mencairnya es gletser dan perubahan iklim regional. Satuan dari *impact* ini adalah CO₂eq.

2. Ozone formation

Impact ini membahas tentang proses pembentukan ozon akibat adanya radikal peroksi hasil produk dari reaksi antara VOC dan nitrogen oksida. Pembentukan ozon ini dalam konsentrasi tinggi dapat membahayakan bagi kesehatan manusia dan pertumbuhan tumbuhan. Satuan dari *impact* ini adalah *person.ppm.h* untuk manusia dan *m².ppm.h* untuk tumbuhan.

3. Human toxicity via air

Impact ini membahas tentang emisi dari beberapa zat (seperti logam berat) yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Emisi ini dapat melalui beberapa elemen, salah satunya adalah udara. Satuan dari *impact* ini adalah m³.

4. Acidification

Impact ini membahas tentang deposisi asam. Sumber utama deposisi asam adalah sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NO_x) yang dibebaskan ke atmosfer melalui pembakaran bahan bakar fosil. Satuan dari *impact* ini adalah m²

Penilaian dampak keseluruhan ini nantinya akan dihitung sebanyak tiga tahap, yakni sebagai berikut:

a. *Characterization*

Characterization merupakan tahapan di mana semua zat dikalikan dengan faktor yang mencerminkan kontribusi relatif mereka terhadap dampak lingkungan, mengukur seberapa besar dampak produk atau jasa di setiap kategori dampak. Hasil analisa *characterization* dapat dilihat pada Tabel.2.

Tabel 2. Hasil Analisis *Characterization*

Impact Category	Unit	KEGIATAN	
		Proses Pembakaran	Penggunaan Listrik
<i>Global Warming</i>	kg CO2 eq	-	$2,17 \times 10^7$
<i>Ozone Formation (Human)</i>	person.ppm.h	$1,66 \times 10^8$	-
<i>Human Toxicity via Air</i>	Person	$1,81 \times 10^{15}$	-
<i>Acidification</i>	m ²	$2,07 \times 10^{11}$	-

Hasil analisa *characterization* menunjukkan bahwa kegiatan pembakaran di *kiln* menghasilkan dampak pada *impact category global warming, ozone formation, acidification* dan *human toxicity*. Munculnya dampak tersebut dikarenakan adanya emisi CO, SO₂, NO_x, Hg dan partikulat dari penggunaan batubara sebagai bahan bakar pada kiln. Penggunaan listrik hanya menghasilkan dampak pada *impact category global warming* karena hanya menghasilkan emisi CO₂.

b. *Normalization*

Normalization merupakan proses analisis data, di mana membandingkan indikator dampak dengan kategori dampak. Prosedur ini menormalkan hasil indikator dengan membagi dengan nilai referensi yang dipilih sehingga pada prosedur ini tidak ada unit satuan yang digunakan. Hasil analisa *normalization* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis *Normalization*

Impact Category	KEGIATAN	
	Proses Pembakaran	Penggunaan Listrik
<i>Global Warming</i>	-	$2,8 \times 10^3$
<i>Ozone Formation (Human)</i>	$5,85 \times 10^3$	-
<i>Human Toxicity via Air</i>	$3,81 \times 10^6$	-
<i>Acidification</i>	$5,25 \times 10^8$	-

Analisis *normalization* menunjukkan bahwa *acidification* merupakan *impact* terbesar yang dihasilkan. Nilai analisa ini perlu dikaji kembali dikarenakan pada masing – masing *impact* memiliki belum memiliki satuan yang sama agar bisa dibandingkan sehingga belum dapat diketahui *impact* terbesar pada nilai satuan yang sama.

c. *Weighting dan Single Score*

Weighting score merupakan proses yang memberikan bobot terhadap kategori dampak yang berbeda berdasarkan kepentingan peneliti. *Single score* merupakan hasil dari *weighting score* berdasarkan proses kegiatan. Nilai *weighting* dan *single score* didapatkan dari nilai *normalization* dikalikan dengan *characterization* faktor masing – masing *impact* sehingga dihasilkan dalam satuan yang sama, yakni satuan *single score* (Pt).

Tabel 4. Hasil Analisa *Weighting and Single Score*

Impact Category	Unit	KEGIATAN	
		Proses Pembakaran	Penggunaan Listrik
<i>Global Warming</i>	Gpt	-	$3,08 \times 10^{-6}$
<i>Ozone Formation (Human)</i>	Gpt	0,0417	-
<i>Human Toxicity via Air</i>	Gpt	0.00419	-
<i>Acidification</i>	Gpt	0,682	-

Unit pembakaran pada *kiln* setelah memasuki analisis *weighting* dan *single score* berdampak besar pada *impact acidification*. Proses pembakaran yang menghasilkan emisi SO₂ dan NO₂ merupakan faktor terbesar terjadinya *impact acidification*. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 4 bahwa nilai proses pembakaran memiliki nilai yang paling besar dibandingkan proses yang lain.

Interpretasi Data

Interpretasi adalah langkah terakhir dalam tahapan LCA sebelum membuat keputusan dan rencana tindakan. Berdasarkan hasil analisis impact assessment *Acidification* merupakan hotspot pada tingkat kategori ampak karena memiliki nilai terbesar diantara kategori dampak yang lain. Perlu dilakukan strategi alternatif untuk mengurangi dampak ke lingkungan yang diakibatkan oleh proses pembakaran pada kiln, salah satunya dengan aksi mitigasi emisi. Aksi mitigasi emisi bertujuan untuk mereduksi *impact category global warming 100a, acidification, ozone formation, dan human toxicity (air)* terutama impact category acidification yang menjadi hotspot/dampak terbesar yang muncul pada proses pembakaran. Terdapat beberapa aksi mitigasi yang digunakan untuk mereduksi emisi pada unit pembakaran dan *cooler processing*:

- a. **Komparasi Batubara dengan Alternative Fuel**
Penggunaan *alternative fuel* dapat dijadikan salah satu bentuk mitigasi emisi untuk mengurangi penggunaan batubara. Bahan bakar alternatif yang dapat digunakan antara lain sampah rumah tangga, ban bekas, sekam padi, serbuk gergaji dan limbah B3 seperti *oil sludge*. Pada umumnya, pemakaian bahan bakar alternatif ini berperan sebagai pengganti batubara sebanyak 3-5% dari keseluruhan total pemakaian batubara. Maka dari itu, nilai kalori yang terkandung dalam material merupakan komponen yang penting dalam pemakaian bahan bakar alternatif. Selain nilai kalori, hal lain yang menentukan pemilihan bahan bakar alternatif yaitu kandungan air dari material tersebut. Bahan bakar alternatif yang digunakan yaitu *mixing* antara *oil sludge*, serbuk gergaji, dan sekam padi dengan proporsi *mixing* 45%:45%:10%, bertujuan untuk mendapatkan nilai kalori sebesar 3.000 Kkal dan nilai kandungan air sebesar 30% sebagai standar pembakaran pada kiln (Chahyanti, 2012).
- b. **Produksi Semen dengan Rasio Klinker Rendah**
Klinker merupakan bahan utama pembuatan semen. Klinker diperoleh dari proses klinkerisasi pada kiln. *Granulated Blast Furnace Slag (GBFS)* atau semen slag merupakan inovasi untuk mengurangi rasio klinker pada pembuatan semen. Slag merupakan limbah yang diperoleh dari proses pengolahan baja pada proses tanur tinggi. Indonesia merupakan negara yang berkembang dalam industri baja, pada tahun 2010 Indonesia menghasilkan limbah slag yang cukup tinggi sekitar 800 ribu ton/tahun (Rahmawati, 2017). Semen slag terbuat dari campuran klinker dengan slag yang selama ini hanya dikenal sebagai bahan limbah. Penggunaan campuran slag dengan klinker sehingga menjadi semen slag telah diatur dalam SNI 6385:2016. Slag dapat digunakan sebagai bahan campuran klinker untuk pembuatan semen karena mengandung senyawa yang hampir sama dengan klinker yaitu SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , and MgO (Tarun, 2008). Persentase slag yang dapat digunakan sebagai bahan campuran klinker antara 10-70%, sehingga sangat efektif untuk mengurangi rasio pembuatan klinker (Turu'allo, 2013). Salah satu keunggulan dari semen slag yaitu mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan semen portland.

4. KESIMPULAN

1. Nilai kontribusi total dampak yang dihasilkan selama satu bulan pada proses pembakaran sebesar 1,38 GPt. *Acidification* merupakan dampak terbesar dengan nilai dampak sebesar 0,682 GPt.
2. Aksi mitigasi emisi pada proses pembakaran di kiln dapat dilakukan dengan melakukan komparasi bahan bakar dengan *alternative fuel* dan memproduksi semen dengan rasio klinker rendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chahyanti, D.A, dkk. (2015). Analisis Penerapan Alternative Fuel Project di Industri Semen : Studi Kasus Plant 8 PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk di Citeureup, Kabupaten Bogor. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Faridah, A. (2011). *Evaluasi Pengendalian Pencemaran Udara Pt. Semen Padang, Indarung-Padang Dalam Rangka Program Proper*. Jurnal Teknik Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Haas, G., Geier, U., Frieben, B., & Köpke, U. (2005). *Estimation Of Environmental Impact Of Conversion To Organic Agriculture In Hamburg Using The Life-Cycle-Assessment Method*. University of Bonn. Jerman. 1–16.
- Haryanto, J. T. (2015). *Kodifikasi dan Efektivitas Kebijakan Fiskal untuk Menurunkan Emisi Gas Rumah Kaca pada Industri Semen , Baja dan Pulp*. Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Politik. 19(1), 78–97.
- Nur, R. R., Hartanti, F. D., dan Sutikno, P. (2015). *Studi Awal Desain Pabrik Semen Portland dengan Waste Paper Sludge Ash Sebagai Bahan Baku Alternatif*. Jurnal Teknik Kimia. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rahmawati, Anita. (2017). *Pengaruh Penggunaan Limbah Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Ukuran 1/2” Dan 3/8” Pada Campuran Hot Rolled Sheet_Wearing Course (Hrs_Wc)*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

- Rosmeika, Sutiarto, L., dan Suratmo, B. (2010). *Pengembangan Perangkat Lunak Life Cycle Assessment (Lca) Untuk Ampas Tebu. Jurnal Teknologi Pertanian*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Vol.30.
- Tarun, R. Naik. (2008). *Sustainability of Concrete Construction”, Practice Periodical on Structural Design and Construction*. ASCE Journal.
- Turu’allo, Gidion. (2013). *Kinerja Ground Granulated Blast Furnage Slag (Ggbs) Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Untuk Sustainable Development*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Tadulako. Palu