

# ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN INDUSTRI SEMEN DENGAN PENDEKATAN LIFE CYCLE ASSESSMENT PADA RUANG LINGKUP CRADLE TO GATE

## ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS OF CEMENT INDUSTRY WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT APPROACH AT CRADLE TO GATE SCOPE

Muhammad Abrar Firdausy<sup>1\*)</sup>, Muhammad Syufian Syauri<sup>1)</sup>, Novan D. Natanegara<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Jl.  
A. Yani Km. 36 Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714 Indonesia

<sup>2)</sup>PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk. Kabupaten Kotabaru, Kecamatan Kelumpang  
Hilir Desa Tarjun, 72161 Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [abrar.firdausy@ulm.ac.id](mailto:abrar.firdausy@ulm.ac.id)

### Abstrak

Industri semen merupakan yang membutuhkan konsumsi energi yang tinggi dan menghasilkan emisi yang tinggi. Produksi semen menyumbang sekitar 4% emisi CO<sub>2</sub> terhadap global. Pemerintah Indonesia berupaya mendorong seluruh pelaku usaha/ industri dalam menurunkan beban dampak lingkungan untuk memenuhi persyaratan PROPER (Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup) yang linier dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kategori dampak yang dihasilkan pada industri semen dengan pendekatan (*cradle to gate*) dan menganalisis kriteria dari unit proses yang menimbulkan dampak terbesar. Metode yang digunakan adalah penilaian LCA (*Life Cycle Assessment*) dengan menggunakan penilaian kategori dampak CML *Baseline*. Metode penilaian CML *Baseline* merupakan metode penilaian midpoint yang melingkupi sebelas aspek penilaian *Abiotic depletion*, *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Fresh water aquatic toxicity*, *Global warming Potential* (GWP10), *Human toxicity*, *Marine aquatic ecotoxicity*, *Ozone layer depletion Potential* (ODP), *Photochemical oxidation*, dan *Terrestrial ecotoxicity*. Hasil penelitian didapatkan nilai *Global Warming Potential* (1.75.E+09 kg CO<sub>2</sub> eq.), *Marine aquatic ecotoxicity* (5.97.E+09 kg 1,4-DB eq.), *Human toxicity* (1.26.E+07 kg 1,4-DB eq.), *Photochemical oxidation* (3.66.E+05 kg 1,4-DB eq.), *Acidification Potential* (8.44.E+06 kg SO<sub>2</sub> eq.), *Fresh water aquatic ecotoxicity* (1.31.E+05 kg 1,4-DB eq.), *Abiotic depletion* (6.35.E+00 kg Sb eq.), *Abiotic depletion (fossil fuels)* (4.30.E+08 MJ), *Eutrophication* (4.56.E+05 kg PO<sub>4</sub> eq.), *Ozone layer depletion* (0.00.E+00Kg CFC-11 eq), Analisis berdasarkan unit fungsional total produksi semen selama setahun menimbulkan potensi dampak terbesar (*hotspot*) berada pada unit *kiln & Cooler*.

**Kata kunci** : Industri Semen, CML baseline, Cradle to gate, Life cycle assessment

### Abstract

Cement industry is an that requires high energy consumption and produces high emissions. Cement production contributes about 4% of CO<sub>2</sub> emissions to the global. The Indonesian government seeks to encourage all business industry actors to reduce the burden of environmental impacts to meet the requirements of PROPER (Company Performance Rating Program in Environmental Management) which is linear with the Life. Cycle. Assessment. (LCA). The

*purpose of this study is to analyze the category of impacts generated in the cement industry with a cradle to gate approach and analyze the criteria of the process unit that causes the greatest impact. The method used is LCA (Life Cycle Assessment) assessment using CML Baseline impact category assessment. The CML Baseline assessment method is a midpoint assessment method that covers eleven aspects of Abiotic depletion, Abiotic depletion (fossil fuels), Acidification, Eutrophication, Fresh water aquatic toxicity, Global warming Potential (GWP10), Human toxicity, Marine aquatic ecotoxicity, Ozone layer depletion Potential (ODP), Photochemical oxidation, Terrestrial ecotoxicity. The results obtained the value of Global Warming Potential (1.75.E+09 kg CO<sub>2</sub> eq.), Marine aquatic ecotoxicity (5.97.E+09 kg 1,4-DB eq.), Human toxicity (1.26.E+07 kg 1,4-DB equivalent), Photochemical oxidation (3.66.E+05 kg 1,4-DB equivalent), Acidification potential (8.44.E+06 kg SO<sub>2</sub> equivalent), Freshwater aquatic ecotoxicity (1.31.E+05 kg 1,4-DB eq.), Abiotic depletion (6.35.E+00 kg Sb eq.), Abiotic depletion (fossil fuel) (4.30.E+08 MJ), Eutrophication (4.56.E+05 kg PO<sub>4</sub> eq.), Ozone layer depletion (0.00.E+00Kg CFC-11 eq), analysis based on the functional unit of total cement production for a year. The largest potential impact (hotspot) is in the kiln & Cooler unit.*

**Keywords :** Cement Industry, CML baseline, Cradle to gate, Life cycle assessment

## 1. PENDAHULUAN

Semen merupakan bahan dasar utama pembangunan konstruksi, di Indonesia terdapat tujuh produsen semen yang beroperasi. Pemenuhan kebutuhan pasar yang tinggi ditambah dengan kepekaan konsumen terhadap kualitas dan mutu, sehingga produsen harus tetap konsisten dalam menjaga mutu produk, tantangan yang dihadapkan oleh pelaku industri semen mengurangi konsumsi energi dan tetap menghasilkan produk yang bermutu (Purnawan & Prabowo, 2018). Pembuatan semen berbahan baku utama *Limestone* dan *Clay* dan ada bahan baku yang sifatnya bahan koreksi yakni pasir silika (*Silica sand*) dan pasir besi (*Iron ore*) didapatkan dari proses pertambangan (Fitriyanti & Fatimura, 2019).

Industri semen merupakan industri yang membutuhkan konsumsi energi yang tinggi dan menghasilkan emisi yang tinggi. Produksi semen menyumbang sekitar 4% emisi CO<sub>2</sub> terhadap global (Devia et al., 2017). Pembuatan semen terdiri dari beberapa proses antara lain *raw Material (unit mining)*, *Unit raw mill*, *Unit Burning*, *Unit coal mill*, *unit finish mill* dan *unit packer*. Industri semen merupakan industri dengan konsumsi energi yang besar, proses produksi dapat dianalisis secara menyeluruh

dengan prinsip produksi bersih agar mendapatkan penggunaan energi yang efisien (Fitriyanti & Fatimura, 2019). *Life Cycle Assessment (LCA)* adalah metode yang diperuntukkan untuk mengukur besaran dampak dari setiap unit proses berupa dampak langsung dan tidak langsung (Lolo et al., 2021).

*Life Cycle Assessment (LCA)* merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi serta mengestimasi dampak lingkungan secara menyeluruh mengenai suatu produk, proses, dan layanan sepanjang daur hidup tersebut. Penilaian dampak dinilai dari bahan baku, produksi, penggunaan, dan disposal. Metode LCA dibuat oleh standar internasional ISO 14040 dan ISO 14044 yang dapat digunakan untuk membantu identifikasi peluang untuk meningkatkan mutu produk dari aspek lingkungan, ekonomi, dan pandangan masyarakat (Monteiro et al., 2021).

Pemerintah Indonesia berupaya mendorong seluruh pelaku usaha/ industri dalam menurunkan beban dampak lingkungan untuk memenuhi persyaratan PROPER (Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup) yang linier dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Program PROPER diatur pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 tahun 2021 Tentang

Program. Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

Penilaian produk dan jasa ramah lingkungan dilakukan sebagai komitmen pelaku usaha dengan cara menunjukkan informasi potensi dampak dalam menciptakan produk bersih. Penilaian daur hidup berdasarkan kategori dampak CML Baseline; *Abiotic depletion*, *Abiotic depletion (fossil fuels)*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Fresh Water Aquatic Ecotoxicity*, *Global Warming Potential (GWP100)*, *Human Toxicity*, *Marine Aquatic Ecotoxicity*, *Ozone Layer Depletion (ODP)*, *Photochemical Oxidation*, dan *Terrestrial Ecotoxicity*.

Penelitian ini bertujuan menganalisis dan mengidentifikasi kategori dampak yang dihasilkan dengan pendekatan (*Cradle to gate*), menganalisis dan menetapkan lokasi kriteria dari unit proses yang menimbulkan dampak terbesar terhadap lingkungan hidup dari proses produksi semen selama periode penelitian, dan menganalisis rekomendasi dalam memperbaiki proses produksi dan upaya untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan.

## 2. METODA

Penelitian ini menggunakan analisis berdasarkan *Framework LCA* sesuai pendoman ISO 14040, 2006; Alur analisis pertama menentukan tujuan dan lingkup penelitian, kedua membuat *inventory* daur hidup, selanjutnya melakukan penilaian dampak dan membuat interpretasi data berupa rekomendasi peningkatan kinerja unit proses produksi untuk menurunkan dampak terhadap lingkungan. Analisis Perhitungan dampak dihitung menggunakan *software OpenLCA* dengan metode penilaian dampak CML IA. Pemilihan kategori dampak sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 1 Tahun 2021 berupa penilaian dampak wajib dan tambahan.

Penelitian dilakukan di Industri semen PT. XYZ berlokasi di Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan, Ruang lingkup penelitian menggunakan pendekatan *cradle to gate* dengan mengidentifikasi seluruh unit produksi industri semen dari tahap ekstraksi bahan baku hingga tahap pengepakan.

Perhitungan yang digunakan dalam penelitian berbasis data inventarisasi emisi pada periode satu tahun. Penelitian ini menggunakan data sekunder perusahaan dan data hasil perhitungan, data sekunder antara lain data data konsumsi *Material*, data konsumsi energi, data Emisi proses dan data kebutuhan solar dalam proses *handling alternative Material & fuel* menggunakan data OE (*own estimation*).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Tujuan dan Batasan

Ruang lingkup penelitian ini adalah *cradle to gate* yang diawali dari ekstraksi bahan baku hingga proses pengepakan. Penelitian menggunakan metode CML IA, metode dipilih karena menggunakan pendekatan *midpoint* yang berorientasi pada masalah dan sesuai dengan tujuan penelitian menganalisis kategori dampak terhadap lingkungan. Penilaian dampak pada penelitian ini sesuai dengan penilaian CML *Baseline* menggunakan bantuan *software OpenLCA*. Batasan (*Scope*) penelitian proses ekstraksi bahan baku hingga pengemasan (*packer*). Ruang lingkup *cradle to gate* sudah mengimplementasikan kategori dampak produksi terhadap lingkungan. penelitian menggunakan kriteria *cut off* berupa *transportasi* dari pihak luar di abaikan. Unit fungsional pada penelitian tercantum pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Unit Fungsional dalam Kajian LCA

Item	Unit Fungsional
Semen PCC ( <i>Portland Composit Cement</i> )	Produksi tahun 2022

### 3.2. Penetapan *Inventory* Daur Hidup

*Inventory* data pada analisis LCA berupa data *input*, *output*, dan beban emisi yang dihasilkan pada setiap proses. Data *input* berupa bahan dan energi yang digunakan pada unit produksi untuk menghasilkan *output* berupa produk. Data *output* adalah data jumlah produk yang dihasilkan dari suatu unit, data beban emisi yang dihasilkan

termasuk ke dalam data *output* dalam analisis *inventory*. Data *inventory* pada penelitian ini adalah *inventory* pertambangan, penggilingan awal, *coal mill*, *kiln* dan *cooler*, *finish mill* dan *finish packer* yang dapat dilihat pada **Tabel 2**, **Tabel 3**, **Tabel 4**, **Tabel 5**, **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

**Tabel 2.** *Inventory* Pertambangan

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan		
Mining	Input	Jenis	<i>Ammonium Nitrate</i>	699.750	Ton		
			<i>Limestone</i>	1.948.862,99	Ton		
			<i>Clay</i>	260.692,65	Ton		
			<i>Silica sand</i>	119.334,11	Ton		
			<i>Laterite</i>	13.916,85	Ton		
		Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik					
		Jenis	Listrik	13.707.149	Kwh		
			<i>Solar transport</i>	1.206,82	Ton		
			<i>Gasoline Transport</i>	16,34	Ton		
		Bukaan Lahan					
			<i>Limestone</i>	1.320.829,83	m <sup>2</sup>		
			<i>Clay</i>	102321.86	m <sup>2</sup>		
			<i>Silica sand</i>	45.883,96	m <sup>2</sup>		
			<i>Laterite</i>	3.545,31	m <sup>2</sup>		
	Output	Emisi (Ton)	Cerobong				
Partikulat			2,779	Ton			
CO <sub>2</sub> ( <i>Indirect</i> )			12.473,50	Ton			
Listrik			SO <sub>2</sub> ( <i>Indirect</i> )	53,320	Ton		
			NO <sub>x</sub> ( <i>Indirect</i> )	18,641	Ton		
			Transportasi				
Solar			CO <sub>2</sub>	3.845,30	Ton		
			CH <sub>4</sub>	0,15	Ton		
			N <sub>2</sub> O	0,03	Ton		
Gasoline			CO <sub>2</sub>	50,17	Ton		
			CH <sub>4</sub>	0,0033	Ton		
			N <sub>2</sub> O	0,00043	Ton		
Tanah			Partikulat (Ekstraksi)	17,79	Ton		
<b>Produk Yang Dihasilkan</b>							
Jenis				<i>Pulvurized Limestone</i>	1.948.862,99	Ton	
		<i>Pulvurized Clay</i>	260.692,65	Ton			

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
			<i>Pulvurized Silica sand</i>	119.334,11	Ton
			<i>Pulvurized Laterite</i>	13.916,85	Ton

**Tabel 3.** *Inventory Penggilingan Awal*

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan	
<i>Raw Mill</i>	<i>Input</i>	Jenis	<i>Pulvurized Limestone</i>	1.948.862,99	Ton	
			<i>Pulvurized Clay</i>	260.692,65	Ton	
			<i>Pulvurized Silica sand</i>	119.334,11	Ton	
			<i>Pulvurized Laterite</i>	13.915,85	Ton	
			<i>Alt. Silica Material</i>	12.009,47	Ton	
		Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik				
		Jenis	Listrik	67.562.546	Kwh	
			<i>Solar transport</i>	5,90	Ton	
			<i>Gasoline Transport</i>	2,14	Ton	
		Pemakaian Air				
			<i>Water Consumption</i>	199.369,5	m <sup>3</sup>	
	<i>Output</i>	Emisi (Ton)				
		Udara Cerobong	Partikulat	236,99	Ton	
			CO <sub>2</sub> (Indirect)	61.481,91	Ton	
		Listrik	SO <sub>2</sub> (Indirect)	262,81	Ton	
			NO <sub>x</sub> (Indirect)	91,88	Ton	
		<i>Transport</i>				
		Solar		CO <sub>2</sub>	18,79	Ton
				CH <sub>4</sub>	0,001	Ton
				N <sub>2</sub> O	0,0001	Ton
		<i>Gasoline</i>		CO <sub>2</sub>	6,57	Ton
				N <sub>2</sub> O	0,000057	Ton
				CH <sub>4</sub>	0,00028	Ton
		Air	Uap air	199.369,5	m <sup>3</sup>	
		Produk Yang Dihasilkan				
		Jenis	<i>Raw meal</i>	2.354.815,09	Ton	

**Tabel 4.** *Inventory Coal Mill*

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
<i>Coal Mill</i>	<i>Input</i>	Jenis	Batu Bara	278.807	Ton

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
		Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik			
		Jenis	Listrik	15.458,330	Kwh
			Solar <i>transport</i>	23,60	Ton
			<i>Gasoline transport</i>	8,56	
	<i>Output</i>	Emisi (Ton)			
		Cerobong	Partikulat	1.839,25	Ton
			CO <sub>2</sub> (Indirect Listrik)	14.067,08	Ton
		Listrik	SO <sub>2</sub> (Indirect Listrik)	60,13	Ton
			NO <sub>x</sub> (Indirect Listrik)	21,02	Ton
		<i>Transport</i>			
			CO <sub>2</sub>	27,29	Ton
		Solar	CH <sub>4</sub>	0,001	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,000	Ton
			CO <sub>2</sub>	72,47	Ton
		<i>Gasoline</i>	CH <sub>4</sub>	0,003	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,001	Ton
		<b>Produk Yang Dihasilkan</b>			
		Jenis	<i>Pulvurized Coal (Fine Coal)</i>	278.807,02	Ton

**Tabel 5. Inventory Kiln and Cooler**

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
<i>Kiln &amp; Cooler</i>	<i>Input</i>	Jenis	<i>Raw Meal Consume</i>	2.354.815,09	Ton
		Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik			
		Jenis	Listrik	59.460.467	Kwh
			<i>Coal</i>	278.807,02	Ton
			<i>Convert To Heat</i>	7.304.743.924	MJ
			<i>Disel Fuel</i>	399,72	Ton
			<i>Solar transport</i>	23,60	Ton
			<i>Gasoline Transport</i>	8,56	Ton
		<i>Alternative Fuel</i>			
		Jenis	<i>Waste oil</i>	85,57	Ton
			<i>Saw Dust</i>	89,8	Ton
			<i>Palm/coffee</i>	4.196,84	Ton
			<i>High Carbon</i>	722,48	Ton
			<i>Other Biomass AF</i>	47,22	Ton
			<i>Other Biomass Non AF</i>	19,55	Ton
			<i>Infectius Waste</i>	7,84	Ton

Unit Kegiatan	Keterangan	Material (Bahan Baku)	Total	Satuan
		<i>Spent Bleaching Earth</i>	43.484,59	Ton
		<i>Paper Carton</i>	83,54	Ton
		<i>Tire/rubber</i>	476,2	Ton
	Pemakaian Air			
		<i>Water Consumption</i>	66.456,5	m <sup>3</sup>
	<i>Output</i>	Emisi (Ton)		
		Partikulat	31,84	Ton
		Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	1.021,03	Ton
		Nitrogen Oksida (NO <sub>2</sub> )	1.474,38	Ton
	Udara Cerobong	Hidrogen Fluorida (HF)	0,12	Ton
		Hidrogen Klorida (HCL)	44,05	Ton
		Carbon Monoksida (CO)	8.049,24	Ton
		(TOC), sebagai CH <sub>4</sub>	59,04	Ton
		Khromium (Cr)	0,0077	Ton
		Timbal (Pb)	0,022	Ton
		Arsen (As)	0,0027	Ton
		Kadmium (Cd)	0,0032	Ton
		Raksa (Hg)	0,060	Ton
		Thallium (TI)	0,0018	Ton
		Antimony (Sb)	0,0013	Ton
		Cobalt (Co)	0,0018	Ton
		Tembaga (Cu)	0,047	Ton
		Nikel (Ni)	0,15	Ton
		Vanadium (V)	0,0018	Ton
	Udara	CO <sub>2</sub> (Kalsinasi)	797.512,70	Ton
		CO <sub>2</sub>	701.985,89	Ton
		CH <sub>4</sub>	73,04	Ton
	Bahan Bakar Fosil Batubara	N <sub>2</sub> O	10,95	Ton
		SO <sub>2</sub>	3.596,61	Ton
		NO <sub>x</sub>	1.672,84	Ton
	Bahan Bakar Biomassa	CO <sub>2</sub>	5.416,27	Ton
		CH <sub>4</sub>	0,48	Ton
		N <sub>2</sub> O	0,064	Ton
	Bahan Bakar Non Biomassa	CO <sub>2</sub>	336,70	Ton
		CH <sub>4</sub>	0,048	Ton
		N <sub>2</sub> O	0,007	Ton
	Bahan Bakar Foss	CO <sub>2</sub>	4.967,68	Ton

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
		<i>Mix</i>	CH <sub>4</sub>	0,18	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,03	Ton
			CO <sub>2</sub>	1.273,63	Ton
			CH <sub>4</sub>	0,052	Ton
		<i>Disel Regular Oil</i>	N <sub>2</sub> O	0,010	Ton
			SO <sub>2</sub>	0,19	Ton
			NO <sub>x</sub>	0,30	Ton
		<i>Listrik</i>	CO <sub>2</sub> (Indirect)	54.109,02	Ton
			SO <sub>2</sub> (Indirect)	231,30	Ton
			NO <sub>x</sub> (Indirect)	80,86	Ton
		<i>Transport</i>			
			CO <sub>2</sub>	75,21	Ton
		<i>Solar</i>	CH <sub>4</sub>	0,003	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,001	Ton
			CO <sub>2</sub>	26,59	Ton
		<i>Gasoline</i>	CH <sub>4</sub>	0,0011	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,00023	Ton
		<i>Air</i>	Uap air	66.456,5	m <sup>3</sup>
		<i>Tanah</i>		-	
<b>Produk Yang Dihasilkan</b>					
		Jenis	<i>Clinker</i>	1.519.071,81	Ton

Tabel 6. Finish Mill

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
<i>Finish Mill</i>	<i>Input</i>	Jenis	<i>Clinker -O.P.C</i>	1.519.071,81	Ton
			<i>Limestone</i>	461.825	Ton
			<i>Gypsum Natural</i>	62.896	Ton
			<i>Waste Gypsum</i>	3.387	Ton
			<i>Fly Ash</i>	33.063	Ton
			<i>Material Trass</i>	232.462	Ton
		Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik			
		Jenis	Listrik	86.986.260	Kwh
			<i>Solar transport</i>	64,91	Ton
			<i>Gasoline transport</i>	23,55	Ton
		Pemakaian Air			
			<i>Water Consumption</i>	26,82	m <sup>3</sup>
	<i>Output</i>	Emisi (Ton)			
		Udara	Partikulat	74,27	Ton
		Listrik	CO <sub>2</sub> (Indirect)	79.157,49	Ton



Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
			SO <sub>2</sub> ( <i>Indirect</i> )	338,37	Ton
			NO <sub>x</sub> ( <i>Indirect</i> )	118,30	Ton
		<i>Transport</i>			
			CO <sub>2</sub>	206,84	Ton
	Solar		CH <sub>4</sub>	0,0083	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,0016	Ton
		<i>Gasoline</i>			
			CO <sub>2</sub>	73,13	Ton
			CH <sub>4</sub>	0,0032	Ton
			N <sub>2</sub> O	0,00063	Ton
	Air		Uap air	268.235	m <sup>3</sup>
		<b>Produk Yang Dihasilkan</b>			
	Jenis		Semen PCC	2.312.688	Ton

**Tabel 7. Finish Packer**

Unit Kegiatan	Keterangan	Material	(Bahan Baku)	Total	Satuan
		Jenis	Semen	2.312.688	Ton
<i>Packer</i>	<i>Input</i>	Pemakaian Bahan Bakar/ Listrik			
		Jenis	Listrik	5.405.546	Kwh
		<i>Emisi (Ton)</i>			
	<i>Output</i>		Partikulat Cerobong	6,28	Ton
		Listrik	CO <sub>2</sub> ( <i>Indirect</i> )	4.919.047	Ton
			SO <sub>2</sub> ( <i>Indirect</i> )	21,02	Ton
			NO <sub>x</sub> ( <i>Indirect</i> )	7,35	Ton
		<b>Produk Yang Dihasilkan</b>			
	Jenis		Semen PCC	2.312.688	Ton

### 3.2.1. Analisis *Inventory* Pertambangan

Penambangan dilakukan sebagai langkah awal dalam proses kajian. Pada tahap ini terdapat aktivitas untuk memperoleh bahan baku utama berupa Tambang batu kapur (*Limestone*), Tambang Tanah Liat (*Clay*), Tambang *Laterite*, dan Tambang *Silica*. Analisis *inventory* pertambangan pada PT. XYZ menggunakan *input/* bahan baku *Ammonium Nitrate* (699.750 Ton), *Limestone* (1.948.862,99 Ton), *Clay* (260.692,65 Ton), *Silica Sand* (119.334,11 Ton), *Laterite* (13.916,85 Ton), *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik ( 13.707.149 Kwh), *Solar transport* (1.206,82 Ton), dan *Gasoline transport* 16,34 Ton, *inventory* pertambangan juga menghitung luas bukaan lahan, bukaan *Limestone* (1.320.829 m<sup>2</sup>), bukaan *Clay* (102.321,86 m<sup>2</sup>), bukaan *Silica Sand* (45.883,96 m<sup>2</sup>) dan bukaan *Laterite* (3.545,31 m<sup>2</sup>).

*Output* dari analisis pertambangan dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (2,77 Ton), sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (12.473,50 Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (53,32 Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (18,64 Ton). Sumber *transportasi* menggunakan bahan bakar solar menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (3.845,30 Ton), CH<sub>4</sub> (0,15 Ton), N<sub>2</sub>O (0,0031 Ton). menggunakan bahan bakar *Gasoline* menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (50,17Ton), CH<sub>4</sub> (0,0033), N<sub>2</sub>O (0,000434 Ton). Dan *output* emisi bersumber dari ekstraksi *Material* (17,79 Ton). Produk yang dihasilkan berupa *Pulvurized Limestone* (1.948.862,99 Ton) , *Pulvurized Clay* (260.692,65 Ton), *Pulvurized Silica Sand* (119.334,11 Ton), *Pulvurized Laterite* (13.916,85Ton).

#### Analisis *Inventory* Penggilingan Awal

*Raw Mill* merupakan tahapan setelah ekstraksi *Material* dimana pada proses ini terjadi proses dosing antara bahan baku utama dan bahan baku tambahan. Berdasarkan **Tabel 3**. Analisis *inventory* penggilingan awal pada PT. XYZ menggunakan *input/* bahan baku *Pulvurized Limestone* (1.948.862,99 Ton), *Pulvurized Clay*

(260.692,65 Ton), *Pulvurized Silica Sand* (260.692,65 Ton), *Pulvurized Laterite* (13.915,85 Ton), *Alt. Silica Material* (12.009,47 Ton), *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik (67.562.546 Kwh), *Solar transport* (5,90 Ton), dan *Gasoline Transport* (2,14 Ton), pada tahap penggilingan awal menggunakan air (199.369,5 m<sup>3</sup>)

*Output* dari analisis penggilingan awal dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (236,99 Ton), sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (61.481,91 Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (262,81 Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (91,88 Ton). Sumber *transportasi* menggunakan bahan bakar solar menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (18,79Ton), CH<sub>4</sub> (0,001Ton), N<sub>2</sub>O (0,000 Ton). menggunakan bahan bakar *gasoline* menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (6,57 Ton), CH<sub>4</sub> (0,00028 Ton), N<sub>2</sub>O (0,000057 Ton), dan *output* penggunaan air berupa uap air (199.369,5 m<sup>3</sup>). Produk yang dihasilkan berupa *Pulvurized Raw meal* (2.354.815,09 Ton).

### 3.2.2. Analisis *Inventory* Coal Mill

*Coal mill* merupakan fasilitas penunjang produksi yang berkaitan dengan pemasok sumber energi ke proses pembakaran kiln secara langsung, Berdasarkan **Tabel 4**. Analisis *inventory coal mill* awal pada PT. XYZ menggunakan *input/* bahan baku batu bara (278.807 Ton), *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik ( 15.458.330 Kwh), *Solar transport* (23,60 Ton), dan *Gasoline Transport* (8,56Ton). *Output* dari analisis *coal mill* dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (1.839,25 Ton), sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (14.067,08Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (60,13 Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (21,02 Ton). Sumber *transportasi* menggunakan bahan bakar solar menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (27,29 Ton), CH<sub>4</sub> (0,0011Ton), N<sub>2</sub>O (0,0001 Ton). menggunakan bahan bakar *Gasoline* menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (72,47 Ton), CH<sub>4</sub> (0,003Ton), N<sub>2</sub>O (0,001 Ton). Produk yang dihasilkan berupa *Pulvurized Pulvurized Coal*

(278.807,02Ton).

### 3.2.3. Analisis Inventory Kiln & Cooler

Pada proses *kiln* dan *cooler* terjadi pembentukan klinker dari proses pemanasan dan pendinginan raw meal secara mendadak. Berdasarkan **Tabel 5**. Analisis *Inventory Kiln & Cooler* awal pada PT. XYZ menggunakan *input/* bahan baku *Raw Meal* (2.354.815,09 Ton), *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik (59.460.467 Kwh), Batu bara (278.807,02 Ton), *Disel fuel* (399,72 Ton) *Solar transport* (23,60 Ton), dan *Gasoline transport* (8,56 Ton), pada tahap *kiln & cooler* menggunakan air (199.369,5 m<sup>3</sup>). *Input* bahan bakar alternatif *Waste oil* (85,57 Ton), *Saw dust* (89,8 Ton), *Palm* (4.196,84 Ton), *High Carbon* 722,48 Ton), *Other Biomass AF* 47,22 Ton), *Other Biomass Non AF* (19,55 Ton), *infectius Waste* (7,84 Ton), *SBE (Spent Bleaching Earth)* (43.484,59 Ton), *Paper Carton* (83, 54 Ton), *Tire/rubber* (476,2 Ton) dengan penggunaan air (66.456,5 m<sup>3</sup>).

*Output* dari analisis *Kiln & cooler* dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (31,84 Ton), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) (1.021,03 Ton), Nitrogen Oksida (NO<sub>2</sub>) (1.474,38 Ton) Hidrogen Fluorida (0,12 Ton), Hidrogen Klorida (44,05 Ton), Karbon monoksida (CO) ( 8.049,24 Ton), karena menggunakan bahan bakar alternatif dan menggunakan pemanasan suhu tinggi pada proses *Kiln & cooler* menghasilkan emisi berupa logam berat berupa Kromium (Cr), Timbal (Pb), Arsen (As), Kadmium (Cd), Raksa (Hg), Talium (TI), Antimon (Sb), Cobalt (Co), Tembaga (Cu), Nikel (Ni), Vanadium (V), Sumber emisi lainnya berupa CO<sub>2</sub> kalsinasi (797.512,70 Ton) sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (61.481,91 Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (262,81 Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (91,88 Ton). Sumber *transportasi* menggunakan bahan bakar solar menghasilkan sumber emisi, sumber lain berupa pembakaran batubara, bahan bakar biomassa, bahan bakar non biomassa, bahan bakar campuran fosil, *diesel regular oil*, listrik, dan *transport* yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O dan beberapa seperti bahan bakar fosil dan batu bara menghasilkan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>, *output* penggunaan

air berupa uap air (66456.5 m<sup>3</sup>). Produk yang dihasilkan berupa *Klinker* (1.519.071,81Ton).

### 3.2.4. Analisis Finish Mill

Berdasarkan **Tabel 6**. Analisis *inventory Finish mill* pada PT. XYZ menggunakan *input/* bahan baku klinker -O.P.C (1.519.071,81 Ton), *Limestone* (461.825 Ton), *Gypsum Natural* (62.896,5 Ton), *Waste Gypsum* (3.387 Ton), *Fly Ash* (33.063 Ton), *Material Trass* (232.462 Ton) *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik (86.986.260 Kwh), *Solar transport* (64,916 Ton), dan *Gasoline Transport* (23,55) Ton, dan penggunaan air ( 268.235 m<sup>3</sup>).

*Output* dari analisis *Finish mill* dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (74,27 Ton), sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (79.157,49Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (338,37 Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (118,30 Ton). Sumber *transportasi* menggunakan bahan bakar solar menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (206,84Ton), CH<sub>4</sub> (0,0083 Ton), N<sub>2</sub>O (0,00167 Ton). menggunakan bahan bakar *Gasoline* menghasilkan sumber emisi CO<sub>2</sub> (73,13Ton), CH<sub>4</sub> (0,0032), N<sub>2</sub>O (0,00063Ton), penggunaan air berupa uap air (268.235 m<sup>3</sup>) Produk yang dihasilkan berupa Semen PCC (2.312.688 Ton).

### 3.2.5. Analisis Packer

Berdasarkan **Tabel 7**. Analisis *Packer* pada PT.XYZ menggunakan *input/* bahan baku Semen (2.312.688 Ton), *input* penggunaan bahan bakar dan listrik dengan *input* listrik (5.405.546 Kwh),

*Output* dari analisis *Packer* dibagi menjadi beberapa sumber, sumber cerobong menghasilkan emisi partikulat (6,28 Ton), sumber listrik dihitung sebagai penyumbang emisi secara tidak langsung menghasilkan CO<sub>2</sub> *Indirect* (4.919,04 Ton), SO<sub>2</sub> *Indirect* (21,02Ton), NO<sub>x</sub> *Indirect* (7,35Ton) Produk yang dihasilkan berupa Semen PCC (2.312.688 Ton).

## 3.3. Penilaian Dampak Daur Hidup

Faktor karakterisasi menunjukkan besarnya dampak lingkungan per unit proses yang berasal

dari besarnya sumber daya yang digunakan atau emisi yang dihasilkan (Khalizah et al., 2019). Karakterisasi merupakan penilaian besarnya substansi yang dapat berkontribusi pada kategori dampak, di dalam produksi berdasarkan faktor karakterisasinya (Handayani,2022).

**Tabel 8.** Hasil Karakterisasi

Impact Category	Reference unit	Characterization
<i>Abiotic depletion</i>	Kg Sb eq	6.355.E+00
<i>Abiotic depletion (fossil fuels)</i>	MJ	4.300.E+08
<i>Acidification</i>	Kg SO <sub>2</sub> eq	8.445.E+06
<i>Eutrophication</i>	Kg PO <sub>4</sub> eq	4.561.E+05
<i>Fresh water aquatic ecotoxicity</i>	Kg 1,4-DB eq	1.310.E+05
<i>Global warming potential (GWP100)</i>	Kg CO <sub>2</sub> eq	1.749.E+09
<i>Human toxicity</i>	Kg 1,4-DB eq	1.260.E+07
<i>Marine aquatic ecotoxicity</i>	Kg 1,4-DB eq	5.971.E+09
<i>Ozon layer depletion (ODP)</i>	Kg CFC-11 eq	0.00.E+00
<i>Photochemical oxidation</i>	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	3.665.E+05
<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	Kg 1,4-DB eq	1.745.E+06

Faktor karakterisasi menunjukkan besarnya dampak lingkungan per unit proses yang berasal dari besarnya sumber daya yang digunakan atau emisi yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa dampak terbesar yang dihasilkan oleh industri semen berupa *Global Warming Potential (GWP)*.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa kategori dampak yang ditimbulkan di PT. XYZ beserta besaran nilai kategori dampak adalah *Global Warming Potential* (1.75 E+09 kg CO<sub>2</sub> eq.), *Marine aquatic ecotoxicity* (5.97 E+09 kg 1,4-DB eq.), *Ozon layer depletion* (0.00.E+00 Kg CFC-11 eq), *Human toxicity* (1.26 E+07 kg 1,4-DB eq.), *Photochemical oxidation* (3.66 E+05 kg 1,4-DB eq), *Acidification Potential* (8.44 E+06

kg SO<sub>2</sub> eq), *Fresh water aquatic ecotoxicity* (1.31 E+05 kg 1,4-DB eq.), *Abiotic depletion* (6.35 E+00 kg Sb eq), *Abiotic depletion (fossil fuels)* (4.30 E+08 MJ). Dampak terbesar (*hotspot*) dari analisis dampak produksi semen berdasarkan hasil karakterisasi adalah *Global Warming Potential (GWP100)* dan Unit proses sebagai tempat (*hotspot*) berlokasi di unit *Kiln & cooler*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Devia, D., Lestari, P., & Sembiring, E. (2017). Life Cycle Assessment (Lca) Produk Semen Portland Komposit (Studi Kasus: Pt X). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(2), 1–10. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2017.23.2.1>
- Fitriyanti, R., & Fatimura, M. (2019). *Aplikasi Produksi Bersih Pada Industri Logam-Kuningan.pdf*. 3, 10–15.
- Handayani,Citra. (2022). Kajian Dampak Lingkungan Industri Semen Menggunakan *Life Cycle Assessment* Sesuai Kriteria Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER)..*Skripsi*.Universitas Brawijaya. Malang.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 1 tahun 2021. *Kementrian LHK RI*, 312.
- Khalizah, A. N., Apriani, M., & Afiuddin, A. E. (2019). Life Cycle Assessment Emisi ke Udara pada Proses Pembakaran di Kiln PT . Semen Indonesia ( Persero ) Tbk . Pabrik Tuban. *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology Program*, 2623, 137–142.
- Lolo, E. U., Gunawan, R. I., Krismani, A. Y., & Pambudi, Y. S. (2021). Penilaian Dampak Lingkungan Industri Tahu Menggunakan Life Cycle Assessment (Studi Kasus: Pabrik Tahu Sari Murni Kampung Krajan, Surakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4), 2337–2347. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i4.3480>
- Monteiro, N. B. R., Moita Neto, J. M., & da Silva,

E. A. (2021). Environmental assessment in concrete industries. *Journal of Cleaner Production*, 327(July).  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129516>

Purnawan, I., & Prabowo, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 86.  
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.31136>