

## Analisis Dampak Industri Semen Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)* Pada PT. Semen Z

Andi Muhamad Rizki Nurzamilov

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Kota Surabaya

Praditya Sigit Ardisty Sitogasa

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Kota Surabaya

Korespondensi : [praditya.s.tl@upnjatim.ac.id](mailto:praditya.s.tl@upnjatim.ac.id)

**Abstract.** PT. Semen Z is one of the largest cement supplier companies in Indonesia and will continue to increase every year. The development of the cement industry is in line with the continued development of infrastructure projects, both private and Indonesian government. PT. Semen Z has good integration from raw material providers to cement that is ready to be used by every project that requires it. Development of PT. Cement Z will occur in the quantity of raw materials, human resources, and production processes, up to distribution to consumers. The activities carried out are land clearing/stripping, blasting, excavation and loading, as well as transportation and destruction. Raw materials sourced from this mining process include limestone, silica stone and clay. In this study mining was only carried out on limestone and clay was obtained from suppliers. The units used in the inventory data are limestone and clay raw materials (tons), ammonium nitrate chemicals (tons), diesel fuel (liters), electricity (kWh), emissions (tons), B3 waste (tons), non-B3 waste (tons) and products (tons). Every activity process carried out will have an impact on the environment, so the Company's commitment to a green industry or clean industry is required. To determine the environmental impact analysis on cement production activities, the Company conducted an environmental impact analysis using the Life Cycle Assessment (LCA) method. The aim of this research is to identify improvements in environmental performance, especially those that are hotspots in the Company's production process. The research results show that the highest identification of environmental impacts is obtained from activities at the Limestone mine, in accordance with the Pareto rules approach where if the contributors are more than 80% of the food it will affect the results of the impact analysis obtained.

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Cement, Mining, emissions

**Abstrak.** PT. Semen Z merupakan salah satu perusahaan pemasok semen terbesar di Indonesia dan akan naik terus setiap tahunnya. Perkembangan industri semen selaras dengan terus berkembangnya proyek infrastruktur baik swasta maupun pemerintah Indonesia. PT. Semen Z telah memiliki integrasi yang baik dari penyedia bahan baku hingga menjadi semen yang siap digunakan oleh setiap proyek yang membutuhkan. Perkembangan PT. Semen Z akan terjadi pada kuantitas bahan baku, sumber daya manusia, dan proses produksi, hingga distribusi kepada konsumen. Kegiatan yang dilakukan yaitu pembersihan/pengupasan lahan, peledakan, penggalian dan pemuatan, serta transportasi dan penghancuran. Bahan baku yang bersumber dari proses penambangan ini antara lain batu kapur (*limestone*), batu silica (*silica stone*), dan tanah liat (*clay*). Pada kajian ini penambangan hanya dilakukan pada *limestone* dan *clay* didapatkan dari *supplier*. Satuan yang digunakan dalam inventori data yaitu bahan baku *limestone* dan *clay* (ton), bahan kimia *ammonium nitrate* (ton), bahan bakar solar (liter), listrik (kWh), emisi (ton), limbah B3 (ton), limbah non B3 (ton) dan produk (ton). Pada setiap proses kegiatan yang dilakukan, akan menghasilkan dampak kepada lingkungan, sehingga diperlukan komitmen Perusahaan terhadap industry hijau atau industry bersih. Untuk mengetahui analisis dampak lingkungan pada kegiatan produksi semen, Perusahaan melakukan analisis dampak lingkungan menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melakukan identifikasi perbaikan kinerja lingkungan hidup khususnya yang menjadi hotspot pada proses produksi Perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa identifikasi dampak lingkungan yang tertinggi di peroleh dari kegiatan pada tambang *Limestone*, sesuai dengan pendekatan *pareto rules* dimana jika kontributor lebih dari 80 % makan akan mempengaruhi hasil dari analisis dampak yang di peroleh.

**Kata kunci:** Penilaian Siklus Hidup, Semen, Penambangan, emisi

## **PENDAHULUAN**

Industri semen di Indonesia mengalami peningkatan selaras dengan Pembangunan infrastruktur. Perkembangan industry semen diharapkan dapat memenuhi kebutuhan konsumen guna mendukung program Pembangunan infrastruktur di Indonesia. Salah satu industry semen yang mengalami perkembangan baik secara bahan baku, proses produksi, hingga hasil produksi, adalah industry semen PT. Z yang berlokasi di Kota Padang, Sumatera Barat. PT. Z ini merupakan salah satu pemasok semen terbesar di Indonesia yang memiliki konsumen terbesar di Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Kalimantan, dan daerah lainnya. Dengan jumlah konsumen sebanyak itu, maka stok bahan baku industry semen tersebut harus selalu tersedia dan memiliki kualitas yang diharapkan. Bahan baku industry semen berasal dari pertambangan Batu Kapur (Limestone) dan Tanah liat (Clay). Pertambangan tersebut dikelola secara langsung oleh PT. Z sehingga seluruh proses yang dimulai dari bahan baku hingga bahan jadi sudah terintegrasi dengan baik. Perusahaan perlu melakukan evaluasi dan analisis mengenai seluruh proses yang dilakukan untuk menjamin kualitas dan dampak yang dihasilkan oleh kegiatan tambang tersebut. Salah satu komitmen Perusahaan yaitu dengan menjamin terjadinya produksi bersih sehingga tidak mencemari lingkungan sekitar. Produksi bersih merupakan pendekatan yang dilakukan oleh perusahaan untuk mengurangi dampak dari produk dan proses produksi terhadap lingkungan dengan cara reduce, reuse, recycling limbah atau emisi yang dihasilkan. Salah satu implementasi kegiatan produksi bersih adalah penilaian dampak siklus daur hidup menggunakan metode LCA. LCA adalah penilaian siklus hidup dengan pendekatan “cradle to grave” dimulai dengan pengumpulan bahan mentah dari bumi untuk menciptakan produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan kembali ke bumi (Jorgensen et al, 2008). Dari hasil analisis dampak LCA perusahaan dapat mengetahui titik kritis atau hotspot penyebab dampak lingkungan, baik dari proses produksi maupun produknya, sehingga perusahaan mampu menanggulangi dampak dengan cepat dan tepat. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis dampak pada industry semen PT. Z serta memberikan rekomendasi terhadap kegiatan tambang di industry semen Kota Padang, Sumatera Barat guna mendukung terciptanya rasa aman pada lingkungan dan mengetahui dampak yang dihasilkan pada proses yang dilakukan.

## **BAHAN DAN METODE**

### **Ide Penelitian**

Industri semen PT. Z yang berlokasi di Kota Padang, Sumatera Barat merupakan salah satu supplier semen terbesar yang mendistribusikan hasil produksinya ke seluruh Indonesia.

Industri semen PT. Z telah terintegrasi mulai dari proses produksi bahan baku hingga distribusi kepada konsumen. Industri semen tersebut menggunakan bahan baku yang berasal dari kegiatan Tambang Limestone dan Clay. Kegiatan tambang tersebut menghasilkan dampak yang signifikan terhadap lingkungan. Dampak yang dihasilkan dimulai dari energi yang digunakan hingga residu yang dihasilkan oleh proses pertambangan. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terkait proses kegiatan yang terjadi pada kegiatan tambang Limestone dan Clay tersebut. Penelitian ini menggunakan metode pendekatan deskriptif dengan kondisi eksisting dan hasil analisis dampak Life Cycle Assessment (LCA) pada Software Simapro 9.3.

### Studi Literatur

Literatur penunjang pada penelitian ini yang dibutuhkan meliputi:

- *Product Category Rules (PCR) Produk Semen Asosiasi Semen Indonesia (ASI) Tahun 2021*” terkait ruang lingkup kajian LCA;
- SNI ISO 14040:2016 terkait prinsip dan kerangka kerja dan SNI ISO 14044:2017 terkait persyaratan dan panduan serta Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 01 Tahun 2021 tentang *Aspek Life Cycle Assessment*;
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 01 Tahun 2021 tentang *Aspek Life Cycle Assessment*;

### Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan berupa data primer dan data pendukung penelitian. Tahapan pengumpulan data disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Matriks Pengumpulan Data Primer dan Sekunder

No.	Data	Jenis Data	Sumber Data
<b>Input</b>			
1.	Bahan Baku LimeStone (Batu Kapur)	Primer	Observasi dan Survei Lapangan → Pengamatan Secara Langsung
2.	Bahan Baku Clay (Tanah Liat)	Primer	
3.	Bahan Bakar Sloar	Primer	
4.	Bahan Kimia Oli, Grease, dan Ammonium Nitrate	Primer	
5.	Luas Area Tambang	Primer	
<b>Output</b>			
7.	Emisi ke Udara	Primer	Observasi dan Survei Lapangan → Pengamatan Secara Langsung
8.	Limbah B3	Primer	
9.	Limbah Non-B3	Primer	
10.	Produk	Primer	

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Metode Penilaian Dampak

#### 1. CML IA - Baseline V3.05

Metode yang dibuat oleh Universitas Leiden di Belanda pada tahun 2001 ini berisi lebih dari 1700 aliran berbeda yang dapat diunduh dari situs web mereka. Metode CML baseline menjadi kategori dampak yang paling umum digunakan dalam LCA.

## **2. IMPACT 2002+**

Metode Metodologi penilaian dampak siklus hidup IMPACT 2002+ yang baru mengusulkan penerapan yang layak dari pendekatan gabungan titik tengah/kerusakan, yang menghubungkan semua jenis hasil inventarisasi siklus hidup (aliran dasar dan intervensi lainnya) melalui 14 kategori titik tengah ke empat kategori kerusakan. Untuk IMPACT 2002+, konsep dan metode baru telah dikembangkan, khususnya untuk penilaian komparatif toksisitas dan ekotoksitas pada manusia. Faktor kerusakan manusia dihitung untuk karsinogenik dan non-karsinogenik, menggunakan fraksi asupan, perkiraan terbaik faktor kemiringan respons dosis, serta tingkat keparahan.

## **3. EPD (2018)**

Metode Export Product Dynamics merupakan metode yang digunakan untuk menggambarkan dan mengukur posisi pasar dan daya saing dari produk/komoditas suatu negara untuk tujuan pasar tertentu. Metode EPD digunakan untuk menentukan keunggulan kompetitif komoditas tertentu dari suatu negara (Ningsih, 2013). Selain itu, metode EPD juga merupakan indikator untuk mengetahui gerakan dinamis (pertumbuhannya cepat) atau tidaknya suatu komoditas. Perubahan tersebut secara spesifik dapat mengidentifikasi tingkat pertumbuhan ekspor suatu komoditas. Jika tingkat pertumbuhan komoditas tersebut berada di atas rata-rata dan dalam waktu yang relatif panjang, maka komoditas tersebut dapat menjadi sumber penting dalam pendapatan ekspor suatu negara (Ramadhan, 2011).

## **4. Cumulative Energy Demand (CED)**

Metode Cumulative Energy Demand (CED) untuk openLCA dibuat berdasarkan metode yang dipublikasikan oleh ecoinvent center. Tujuan dari metode ini adalah untuk menghitung penggunaan energi primer selama siklus hidup suatu barang atau jasa. Metode tersebut mencakup penggunaan energi secara langsung dan tidak langsung, tetapi bukan limbah yang digunakan untuk keperluan energi (Jolliet et al., 2003).

## **5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**

Metode IPCC merupakan pendekatan metode perhitungan limbah dari sampah / limbah non B3 yang didasarkan dari kegiatan landfill serta pendekatan perhitungan limbah B3 yang didasarkan dari pembakaran/burning

### **Identifikasi Isu Penting Proses Cradle**

PT. Z merupakan perusahaan produksi semen yang berlokasi di Sumatera Barat dengan bahan baku limestone (batu kapur) dan clay (tanah liat). Analisa LCA dilakukan pada produk semen menggunakan metode CML-IA Baseline V3.05, IMPACT 2002+, EPD (2018),

Cumulative Energy Demand (CED) dan IPCC 2019 dengan satuan dampak yang dihasilkan per 1 ton semen. Dalam analisa dengan menggunakan software SimaPro ini dilakukan pada unit proses tambang limestone dan tambang clay (supplier).

**Tabel 2.** Hasil Identifikasi Isu Penting Proses Cradle

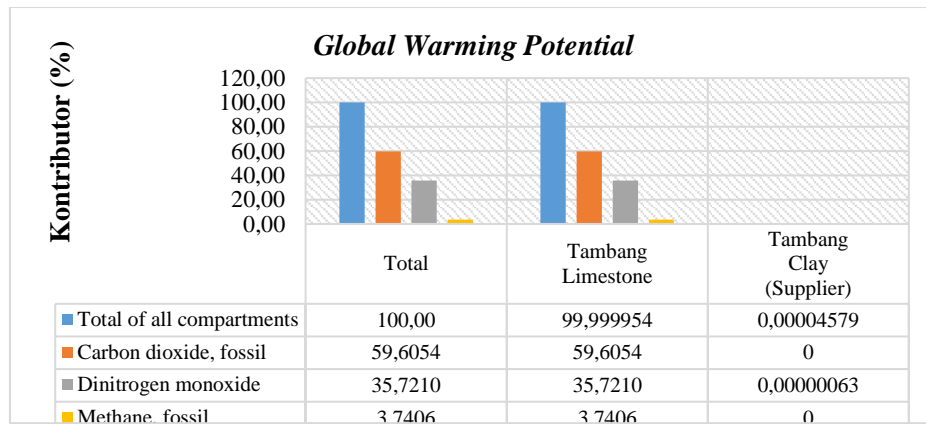
No	Impact Category	Unit	Metode	Total	Tambang Limestone	Tambang Clay (Supplier)
<b>Dampak Primer</b>						
1	<i>Global Warming Potential</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	99,99993%	0,00007%
2	<i>Stratospheric Ozone Depletion</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	100%	0%
3	<i>Acidification</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	100%	0%
4	<i>Eutrophication</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	99,999999%	0,0000008%
5	<i>Photochemical Oxidation</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	99,9999998%	0,0000002%
<b>Abiotic Depletion:</b>						
6	<i>a. Abiotic Depletion (fossil fuels)</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	100%	0%
	<i>b. Abiotic Depletion</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	100%	0%
<b>Biotic Depletion:</b>						
7	<i>a. Terrestrial Ecotoxicity</i>	%	IMPACT 2002+	100%	100%	0%
	<i>b. Aquatic Ecotoxicity</i>	%	IMPACT 2002+	100%	100%	0%
No	Impact Category	Unit	Metode	Total	Tambang Limestone	Tambang Clay (Supplier)
<b>Dampak Sekunder</b>						
8	<i>Carcinogenic</i>	%	IMPACT 2002+	100%	100%	0%
9	<i>Toxicity</i>	%	CML IA Baseline V3.05	100%	100%	0%
10	<i>Water Consumption</i>	%	EPD (2018)	100%	100%	0%
11	<i>Land Use Change</i>	%	IMPACT 2002+	100%	100%	0%
<b>Dampak Penggunaan Energi</b>						
12	<i>Non Renewable Energy</i>	%	Cumulative Energy Demand	100%	99,98775%	0,01225%

Dampak yang dihasilkan dapat dibagi menjadi 2, yaitu dampak primer dan dampak sekunder. Penjelasan mengenai dampak dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini:

### **Dampak Primer**

#### **1. Global Warming Potential (GWP)**

Analisis dampak global warming potential disebabkan karena adanya emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen monoksida (N<sub>2</sub>O). Hasil analisis dampak GWP PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak GWP dapat dilihat pada Gambar 3.1.

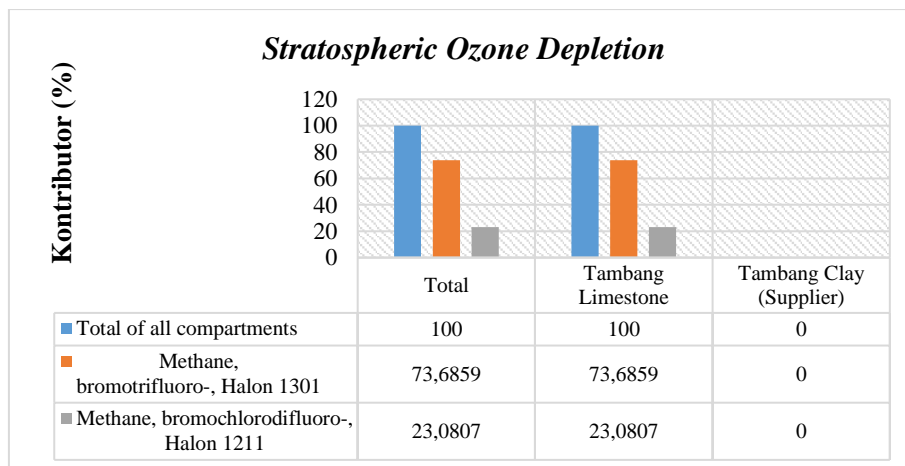


**Gambar 3.1** Kontributor Dampak Proses *Cradle Global Warming Potential*

Dampak GWP dari proses cradle disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak GWP diambil dari kontributor terbesar terdiri dari emisi carbon dioxide sebesar 59,6054%, dinitrogen monoxide sebesar 35,7210% dan methane 3,7406%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak GWP terbesar dari proses cradle adalah carbon dioxide sebesar 59,6054% dan dinitrogen monoxide sebesar 35,7210%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

## 2. *Stratospheric Ozone Depletion*

Analisis dampak stratospheric ozone depletion disebabkan karena adanya emisi methane bromotrifluoro-, methane chlorodifluoro-, HCFC-22) dan dinitrogen monoxide. Hasil analisis dampak stratospheric ozone depletion PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak stratospheric ozone depletion dapat dilihat pada Gambar 3.2.

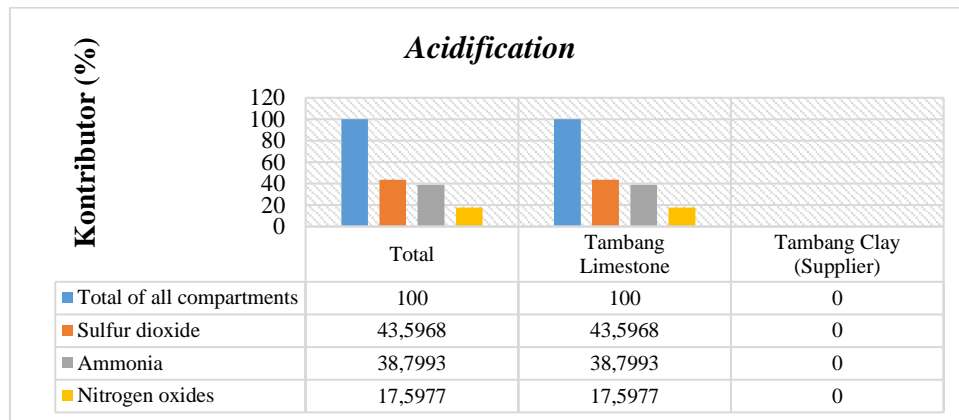


**Gambar 3.2** Kontributor Dampak Proses *Cradle Stratospheric Ozone Depletion*

Dampak *stratospheric ozone depletion* dari proses *cradle* disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier* yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak *stratospheric ozone depletion* diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari emisi *Methane, bromotrifluoro-*, Halon 1301 sebesar 73,6859% dan *Methane, bromochlorodifluoro-*, Halon 1211 sebesar 23,0807%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak *stratospheric ozone depletion* terbesar dari proses *cradle* adalah *Methane, bromotrifluoro-*, Halon 1301 sebesar 73,6859% dan *Methane, bromochlorodifluoro-*, Halon 1211 sebesar 23,0807%. Sesuai dengan pendekatan *Pareto rules* dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

### 3. Acidification

Analisis dampak *acidification* disebabkan karena adanya emisi *ammonia, sulfur oxides, nitrogen oxides*. Hasil analisis dampak *acidification* PT. Z pada proses *cradle* berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier*. Berikut kontributor dampak *acidification* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



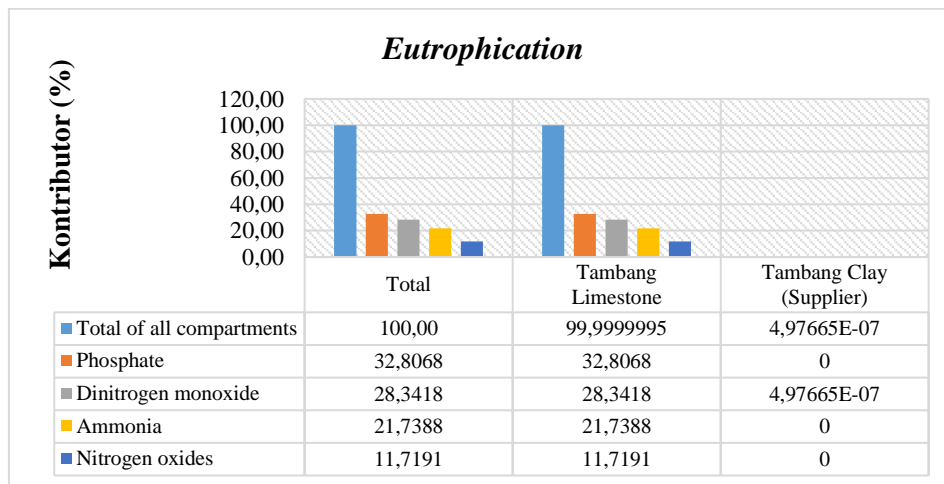
**Gambar 3.3** Kontributor Dampak Proses Cradle Acidification

Dampak *acidification* dari proses *cradle* disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier* yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak *acidification* diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari emisi *sulfur dioxide* sebesar 43,5968%, *ammonia* sebesar 38,7993% dan *nitrogen oxides* sebesar 17,5977%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak *acidification* terbesar dari proses *cradle* adalah *sulfur dioxide* sebesar 43,5968% dan *ammonia* sebesar 38,7993%. Sesuai dengan pendekatan *Pareto*

*rules* dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

#### 4. Eutrophication

Analisis dampak *eutrophication* disebabkan karena adanya emisi *ammonia*, *phospat*, *dinitrogen monoxide*, *nitrogen oxides*. Hasil analisis dampak *eutrophication* PT. Z pada proses *cradle* berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier*. Berikut kontributor dampak *eutrophication* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Kontributor Dampak Proses Cradle Eutrophication

Dampak *eutrophication* dari proses *cradle* disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier* yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak *eutrophication* diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari emisi *phosphate* sebesar 32,8068%, *dinitrogen monoxide* sebesar 28,3418%, *ammonia* sebesar 21,7388% dan *nitrogen oxides* sebesar 11,7191%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak *eutrophication* terbesar dari proses *cradle* adalah *phosphate* sebesar 32,8068%, *dinitrogen monoxide* sebesar 28,3418%, *ammonia* sebesar 21,7388%. Sesuai dengan pendekatan *Pareto rules* dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

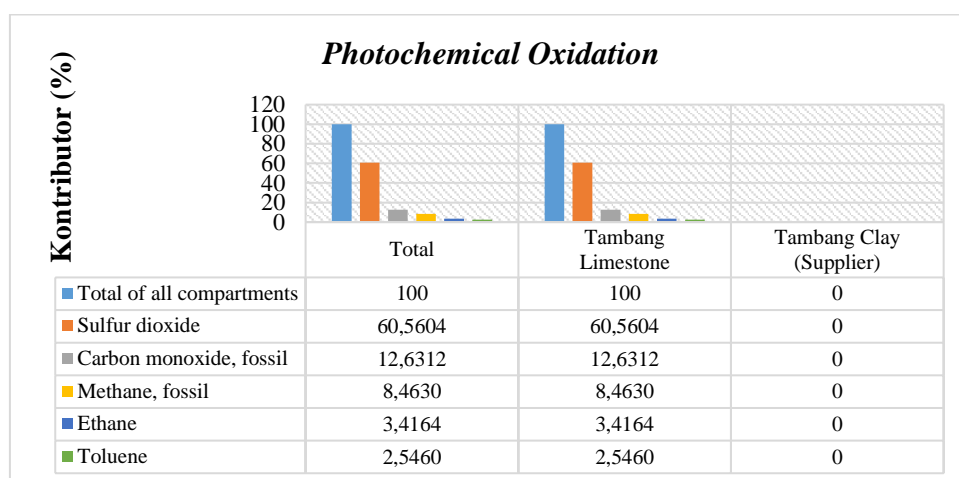
#### Data Sekunder

##### 1. Photochemical Oxidation

Analisis dampak *photochemical oxidation* disebabkan karena adanya emisi *carbon monoxide*, *methane*. Hasil analisis dampak *photochemical oxidation* PT. Z pada proses *cradle* berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software* SimaPro)



dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier*. Berikut kontributor dampak *photochemical oxidation* dapat dilihat pada Gambar 3.5.

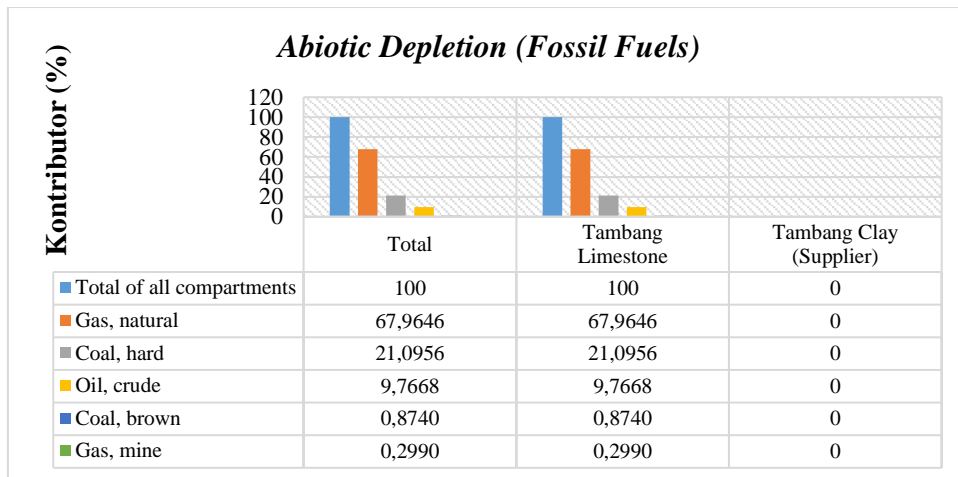


**Gambar 3.5** Kontributor Dampak Proses Cradle Photochemical Oxidation

Dampak *photochemical oxidation* dari proses *cradle* disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software SimaPro*) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier* yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak *photochemical oxidation* diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari emisi *sulfur dioxide* sebesar 60,5604%, *carbon monoxide* sebesar 12,6312%, *methane* sebesar 8,4630%, *ethane* sebesar 3,4164% dan *toluene* sebesar 2,5460%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak *photochemical oxidation* terbesar dari proses *cradle* adalah *sulfur dioxide* sebesar 60,5604%, *carbon monoxide* sebesar 12,6312%, *methane* sebesar 8,4630%. Sesuai dengan pendekatan *Pareto rules* dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

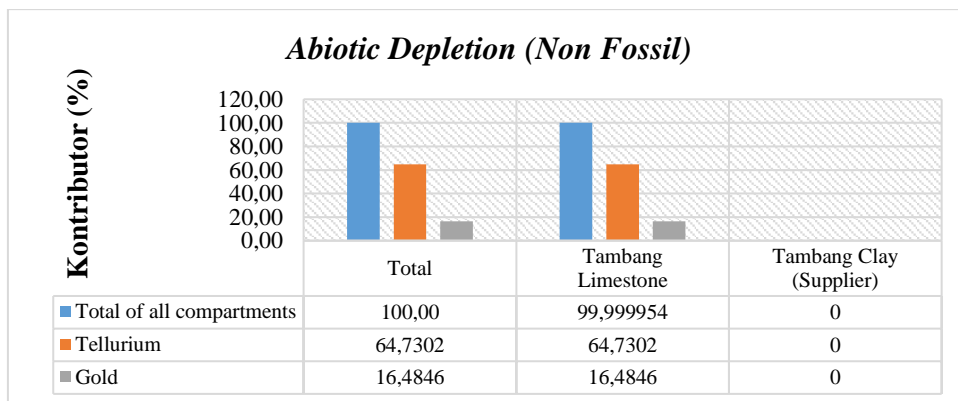
## 2. Abiotic Depletion (Fossil & Non Fossil)

Analisis dampak abiotic depletion (fossil & non fossil) disebabkan karena adanya pemakaian crude oil, natural gas, coal, dan lainnya dari alam. Hasil analisis dampak abiotic depletion fossil dan non fossil Industri Semen pada proses *cradle* berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia *ammonium nitrat* (*dataset software SimaPro*) dan bahan bakar selama proses penambangan *limestone* dan transportasi *clay* dari *supplier*. Berikut kontributor dampak abiotic depletion (fossil fuels) dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan abiotic depletion (non fossil) pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.6** Kontributor Dampak Proses Cradle Abiotic Depletion (Fossil Fuels)

Dampak abiotic depletion (fossil fuels) dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya bahan alam dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak abiotic depletion (fossil fuels) diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari natural gas sebesar 67,9646%, hard coal sebesar 21,0956%, crude oil sebesar 9,7668%, brown coal sebesar 0,8740% dan gas sebesar 0,2990%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak abiotic depletion (fossil fuels) terbesar dari proses cradle adalah natural gas sebesar 67,9646%, hard coal sebesar 21,0956%.



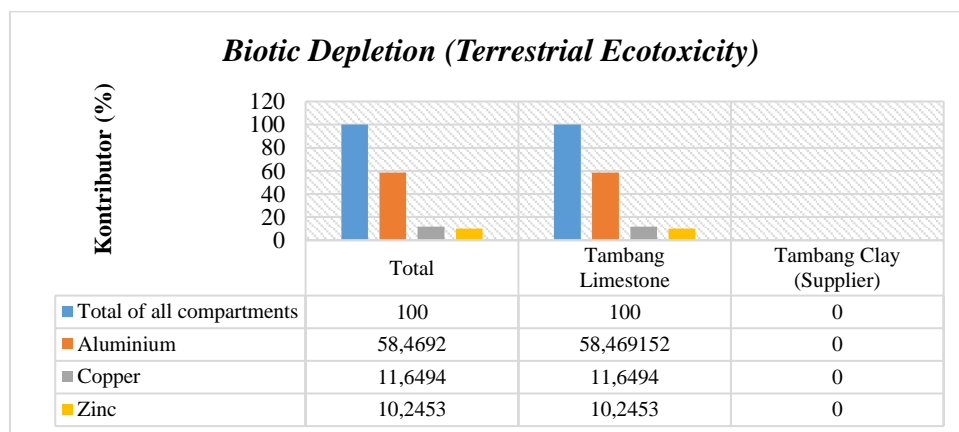
**Gambar 3.7** Kontributor Dampak Proses Cradle Abiotic Depletion (Non Fossil)

Dampak abiotic depletion (non fossil) dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya bahan alam dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak abiotic depletion (non fossil) diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari tellurium sebesar 64,7302% dan gold sebesar 16,4846%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa

kontributor dampak abiotic depletion (non fossil) terbesar dari proses cradle adalah tellurium sebesar 64,7302% dan gold sebesar 16,4846%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

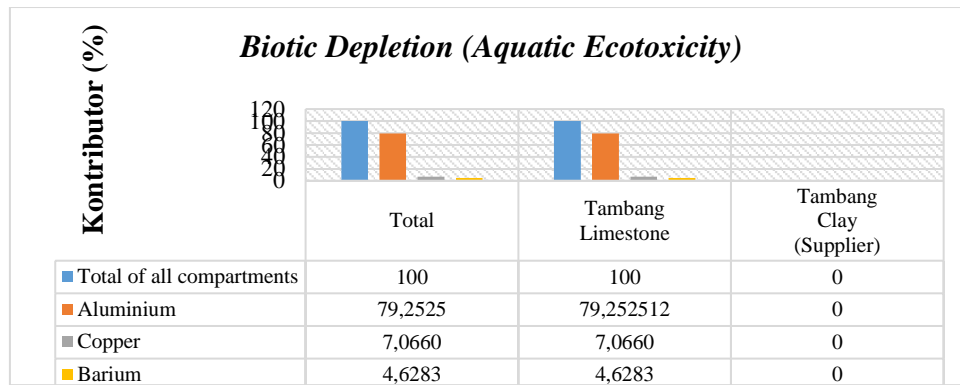
### 3. *Biotic Depletion (Terrestrial Ecotoxicity, Aquatic Ecotoxicity)*

Analisis dampak biotic depletion (terrestrial ecotoxicity, aquatic ecotoxicity) disebabkan karena adanya emisi aluminium, barium, zinc, copper dan lainnya. Hasil analisis dampak biotic depletion (terrestrial ecotoxicity, aquatic ecotoxicity) PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak abiotic depletion (fossil fuels) dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan abiotic depletion (non fossil) pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.8** Kontributor Dampak Proses Cradle Biotic Depletion (Terrestrial Ecotoxicity)

Dampak biotic depletion (terrestrial ecotoxicity) dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak biotic depletion (terrestrial ecotoxicity) diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari aluminium sebesar 58,4692%, copper sebesar 11,6494% dan zinc sebesar 10,2453%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak biotic depletion (terrestrial ecotoxicity) terbesar dari proses cradle adalah aluminium sebesar 58,4692%, copper sebesar 11,6494% dan zinc sebesar 10,2453%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

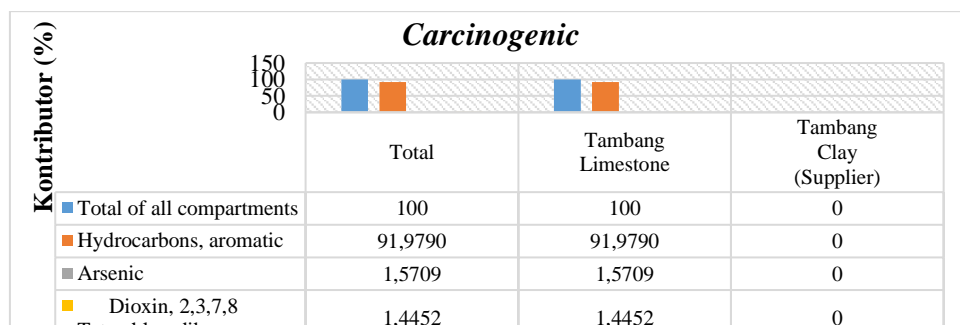


**Gambar 3.9** Kontributor Dampak Proses Cradle Biotic Depletion (Aquatic Ecotoxicity)

Dampak biotic depletion (aquatic ecotoxicity) dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak biotic depletion (aquatic ecotoxicity) diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari aluminium sebesar 79,2525%, copper sebesar 7,0660% dan barium sebesar 4,6283%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak biotic depletion (aquatic ecotoxicity) terbesar dari proses cradle adalah aluminium sebesar 79,2525% dan copper sebesar 7,0660%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh.

#### 4. Carcinogenic

Analisis dampak carcinogenic disebabkan karena adanya emisi hydrocarbons, aromatic; arsenic dan dioxin, 2,3,7,8 tetrachlorodibenzo-p dan lainnya. Hasil analisis dampak carcinogenic PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak carcinogenic dapat dilihat pada Gambar 3.10.



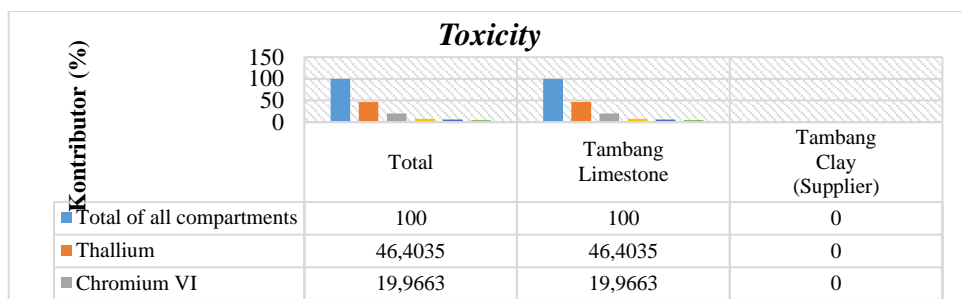
**Gambar 3.10** Kontributor Dampak Proses Cradle Carcinogenic

Dampak carcinogenic dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama

proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak carcinogenic diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari hydrocarbon aromatic sebesar 91,9790%, arsenic sebesar 1,5709% dan dioxin sebesar 1,4452%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak carcinogenic terbesar dari proses cradle adalah hydrocarbon aromatic sebesar 91,9790%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

### 5. Toxicity

Analisis dampak toxicity disebabkan karena adanya emisi nitrogen oxides, thallium, chromium VI, barium, nickel, selenium, cadmium, vanadium, dan benzene. Hasil analisis dampak toxicity PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak toxicity dapat dilihat pada Gambar 3.11.

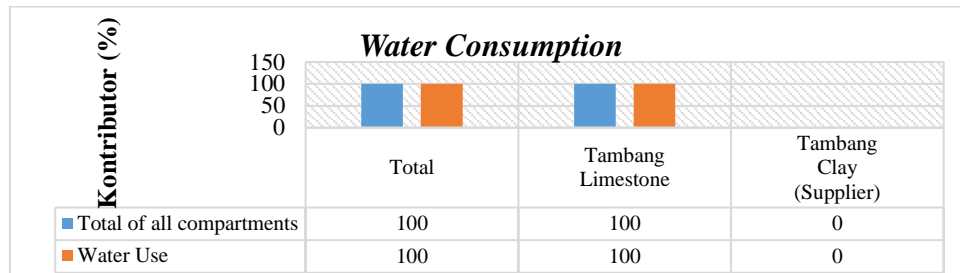


**Gambar 3.11** Kontributor Dampak Proses Cradle Toxicity

Dampak toxicity dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak toxicity diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari thallium sebesar 46,4035%, chromium VI sebesar 19,9663%, barium sebesar 7,4040%, nickel sebesar 5,8881% dan selenium sebesar 4,2047%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak toxicity terbesar dari proses cradle thallium sebesar 46,4035%, chromium VI sebesar 19,9663%, barium sebesar 7,4040%, nickel sebesar 5,8881%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

### 6. Water Consumption

Analisis dampak water consumption disebabkan karena adanya pemakaian air permukaan, air laut, air danau dan lainnya. Hasil analisis dampak water consumption PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak water consumption dapat dilihat pada Gambar 3.12.

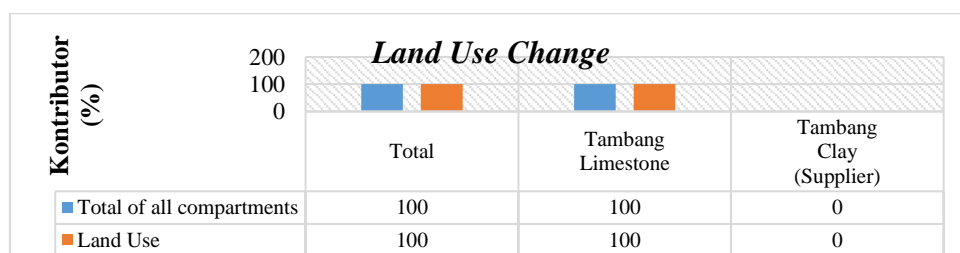


**Gambar 3.12** Kontributor Dampak Proses Cradle Water Consumption

Dampak water consumption dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak water consumption diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari water use sebesar 100%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak water consumption terbesar dari proses cradle adalah water use sebesar 100%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

### 7. Land Use Change

Analisis dampak land use change disebabkan karena adanya pemakaian lahan, pemakaian pipa dan lainnya. Hasil analisis dampak land use change PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak land use change dapat dilihat pada Gambar 3.13.

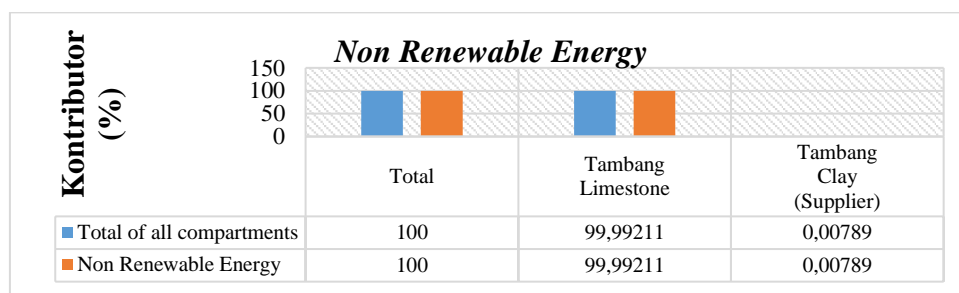


**Gambar 3.13** Kontributor Dampak Proses Cradle Land Use Change

Dampak land use change dari proses cradle disebabkan disebabkan adanya emisi dari penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier yang dilepaskan ke lingkungan. Persentase kontributor penyumbang dampak land use change diambil dari kontributor terbesar yang terdiri dari land use sebesar 100%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak land use change terbesar dari proses cradle adalah land use sebesar 100%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

### 8. *Non Renewable Energy*

Analisis dampak non renewable energy disebabkan karena adanya penggunaan energi listrik atau bahan bakar seperti batubara, minyak mentah, natural gas dan lainnya. Hasil analisis dampak non renewable energy atau penggunaan energi PT. Z pada proses cradle berasal dari kegiatan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Berikut kontributor dampak non renewable energy dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Kontributor Dampak Proses Cradle Non Renewable Energy

Dampak non renewable energy dari proses cradle disebabkan penggunaan bahan kimia ammonium nitrat (dataset software SimaPro) dan bahan bakar selama proses penambangan limestone dan transportasi clay dari supplier. Persentase kontributor penyumbang dampak non renewable energy terdiri dari penggunaan bahan bakar non renewable energy sebesar 100%. Berdasarkan persentase kontributor dampak tersebut, dapat dilihat bahwa kontributor dampak non renewable energy terbesar dari proses cradle adalah penggunaan bahan bakar solar sebesar 100%. Sesuai dengan pendekatan Pareto rules dimana jika kontributor lebih dari 80%, maka akan memengaruhi hasil analisis dampak yang diperoleh

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Identifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi semen di Industri Semen pada masing – masing proses adalah sebagai berikut: • Proses Cradle : global warming potential (GWP), stratospheric ozone depletion, acidification, eutrophication, photochemical oxidation, abiotic depletion (fosil dan non fosil), biotic depletion (terrestrial ecotoxicity, aquatic ecotoxicity), carcinogenic, toxicity, water consumption, land use change, non renewable energy atau dampak pemakaian energi.
2. Analisis dampak lingkungan digunakan sebagai baseline proses dan produk semen di Industri Semen secara Cradle to Cradle.
3. Identifikasi dampak lingkungan tertinggi yang dihasilkan dari Industri semen adalah lebih banyak terjadi di tambang limestone.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Karya penelitian ini didukung oleh konsultan lingkungan CV. Hijau Asri yang membantu dan berkontribusi menjadi *Peer-Reviewers* dalam publikasi ini serta dalam menjembatani pengambilan data terkait analisa dampak lingkungan tambang *limestone* dan *clay* dengan salah satu Industri Semen di Pulau Sumatera.

## DAFTAR RUJUKAN / PUSTAKA

- ISO 14040:2016, *Environmental Management, Life Cycle Assessment – Principles and Framework*, Switzerland, July 2016.
- ISO 14044:2017, *Environmental Management, Life Cycle Assessment – Requirement & Guidelines*, Switzerland, July 2017.
- Jorgensen A, Le Bocq A, Nazarkina L, Hauschild M (2008): *Methodologies for Social Life Cycle Assessment*. Int J LCA 13 (2) 96–103.
- Ningsih, A. (2013). Analisis Daya Saing Dan Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Permintaan Minyak Atsiri Indonesia Di Negara Tujuan Ekspor. Institut Pertanian Bogor.
- Ramadhan, A.K. (2011). Daya Saing Produk Perikanan Indonesia di Beberapa Negara Importir Utama dan Dunia.
- Republik Indonesia. 2021. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 01/PermenLHK/2021 tentang Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER). Jakarta: KLHK.