

BAB I PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang Masalah

Peranan penting dalam pembangunan nasional ialah perkembangan teknologi infrastruktur, salah satunya industri semen. Di ASEAN, salah satu negara dengan konsumsi dan produsen semen terbesar merupakan Indonesia (Devia et al., 2017). Pada tahun 2023 kapasitas nasional 118.1 juta ton, utilisasi 54.2% dari kapasitas pabrik semen di Indonesia atau sama dengan permintaan domestik 64 juta ton semen (Asosiasi Semen Indonesia, 2023). Berdasarkan data *Global Carbon Project* emisi global CO₂ dari bahan bakar fosil pada tahun 2023 adalah batu bara 41%, minyak 32%, gas 21%, semen 4%, pencahayaan kilang dan lainnya 2% (tidak ditampilkan). Untuk emisi pada industri semen setara 26,8 Mt CO₂, turun 1,5% dari tahun sebelumnya.

Pada umumnya produksi semen berasal dari campuran batu kapur, tanah liat dan pasir, dan membutuhkan empat bahan utama yaitu kapur, silika, alumina dan besi. Dengan mencampurkan bahan-bahan tersebut dan memasukkannya pada pemanas, hasil dari reaksi kimia yang mengubah bahan mentah yang sudah dilelehkan menjadi butiran yang disebut klinker. Klinker yang telah dikumpulkan akan ditambahkan gipsium dan mineral lainnya, campuran tersebut digiling sehingga membentuk abu semen yang halus (García-Gusano et al., 2015). Produk akhir semen yang sudah terhomogenisasi disimpan dalam silo semen dan dilakukan pengepakan dalam kantong (Gaharwar, A. S. et al., 2016). Semen didistribusikan dalam bentuk kantong maupun dalam bentuk curah, melalui transportasi darat maupun laut.

Evaluasi dengan *Life Cycle Assessment* (LCA) dapat digunakan sebagai potensi perbaikan dalam efisiensi energi, reduksi polutan, pemakaian kembali panas yang terbuang serta penggunaan bahan baku dan bahan bakar alternatif, dalam produksi semen yang berkelanjutan (Devia et al., 2017). Konsep produk ramah lingkungan bertujuan meningkatkan kualitas hidup dengan mengurangi dampak lingkungan, pemakaian sumber daya melalui daur hidup (*life cycle*) dan mengetahui tingkat sustainability suatu produk. *Life Cycle Assessment* (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 aktivitas pada proses produksi.

Sejak 1 Desember 2023 PT. Semen Grobogan diakuisisi PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk. peta jalan peningkatan penggunaan bahan bakar alternatif pada tahun 2030 adalah 42%, pada tahun 2023 sudah mencapai 18,3% setara dengan 8.102.139 GJ. Bahan bakar alternatif dari limbah biomassa berupa cangkang kopi, cangkang kelapa sawit, sekam padi, serbuk kayu, kertas, bonggol jagung dan biomassa lainnya. Adapun bahan bakar alternatif dari limbah lainnya berupa ban bekas, plastik, tekstil, sampah rumah tangga dan sampah lainnya. Pemanfaatan limbah non B3 sebagai bahan bakar alternatif pada tahun 2023 sejumlah 619.619. Target penggunaan bahan baku alternatif di Plant 18 atau unit pabrik Grobogan pada tahun 2026 adalah 25%. Bahan baku alternatif pada proses produksi semen untuk *corrective material* seperti *sand foundry* dan *bottom ash* untuk menggantikan penggunaan pasir silika, *copper slag* dan *iron slag* untuk menggantikan penggunaan pasir besi pada proses produksi *raw meal* di *raw mill grinding*. Bahan baku alternatif pada proses produksi semen untuk *additive material* seperti *fly ash* untuk menggantikan penggunaan pasir trass, gipsum sintetis PLTU untuk menggantikan penggunaan gipsum alam, *steel slag* untuk mengurangi komposisi *clinker* pada proses produksi semen di *finish mill*.

Kapasitas produksi PT. Semen Grobogan 2.5 juta ton semen per tahun, pada tahun 2022 jumlah produksi semen 1.16 juta ton semen dan pada tahun 2023 jumlah produksi 1.72 juta ton semen. Setelah diakuisisi PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk., utility produksi pada tahun 2024 akan 100% dari kapasitas produksi. PT. Indocement Tungal Prakarsa Tbk. pada tahun 2023 produksi semen ramah lingkungan skala nasional adalah 14.36 juta ton semen dari total penjualan pada tahun 2023 19.345 juta ton semen.

Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terkait proses produksi semen tersebut menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dan *software openLCA* dengan data tahun 2023, perbaikan dengan menggunakan bahan bakar alternatif 42% serta bahan baku alternatif 25%.

1. 2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dampak produksi semen terhadap lingkungan?
2. Adakah peluang untuk mengurangi impact produksi semen demi keberlangsungan lingkungan?

1. 3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah menganalisis jenis dampak yang ditimbulkan dan mengambil langkah perbaikan untuk mengurangi dampak produksi semen terhadap keberlanjutan lingkungan.

1. 4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus pada pemecahan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya maka penelitian dilakukan dengan menggunakan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan adalah *Life Cycle Assessment*.
2. Data yang digunakan berdasarkan data produksi selama satu tahun di tahun 2023.
3. Dibagian proses produksi dari penambangan sampai dengan penepakan di PT. Semen Grobogan atau *cradle to gate*.
4. Penelitian yang dilakukan tidak memperhitungkan biaya-biaya yang timbul.

1. 5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek dari proses produksi semen terhadap keberlangsungan lingkungan hidup, yang terutama dapat dimanfaatkan untuk :

1. Penulis

- a. Sebagai suatu analisis yang dapat dijadikan sebagai salah satu acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya.
- b. Dapat menambah wawasan, pengetahuan dan cara berfikir bagi penulis, tentang pentingnya peran industri dalam menjaga lingkungan

2. Bagi Perusahaan

Hasil studi diharapkan dapat menjadi acuan oleh perusahaan dalam melakukan proses produksi yang ramah lingkungan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Devia, dkk (2017) telah melakukan penelitian tentang *Life Cycle Assessment* (LCA) Produk Semen PCC (*Portland Composit Cement*) Studi Kasus : PT X). Penelitian tersebut dilakukan Analisa LCA dengan tujuan untuk mengidentifikasi tahapan daur hidup produk yang menghasilkan dampak yang signifikan dan menentukan skenario alternatif perbaikan yang dapat menimbulkan potensi dampak paling minimum pada daur hidup produk semen portland komposit. Penelitian dilakukan di salah satu kompleks pabrik yang berlokasi di Kabupaten Bogor, Jawa Barat, yang merupakan kompleks terbesar milik PT. X. Metode penilaian dampak dilakukan dengan cara mengklasifikasikan hasil analisis inventori terhadap kategori dampak yang akan diukur, dan dikonversi menggunakan faktor karakterisasi yang didapat dari model karakterisasi. Kemudian dilakukan normalisasi untuk menentukan potensi dampak yang terbesar. Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil bahwa Dampak potensial yang signifikan dari *cradle-to-gate* semen portland komposit adalah pemanasan global sekitar 768,43 kg CO₂eq yang disebabkan dari proses produksi. Dampak ini dapat diminimalisir dengan cara mengurangi emisi CO₂ menggunakan teknologi penangkapan karbon (*carbon capture*) yang dapat mereduksi potensi dampak GWP sebesar 57%. Untuk menurunkan potensi dampak *photochemical ozone formation potential* (POFP) yang disebabkan dari proses distribusi adalah dengan mengganti standar emisi bahan bakar menjadi EURO 4

Nugraha (2017) telah melakukan kajian LCA tentang *Life Cycle Assessment* (LCA) Produk Semen di PT. Indocement Tunggal Prakarsa. Kajian tersebut memiliki tujuan untuk mengetahui perbedaan yang terjadi karena penggunaan bahan bakar alternatif pada aktivitas co-processing serta pendekatan sistem untuk menghitung penurunan emisi gas rumah kaca saat menggunakan bahan bakar alternative. Hasil dari analisis LCA akan digunakan sebagai bahan untuk perhitungan penurunan emisi gas rumah kaca pada pendekatan sistem yang dilakukan di PT. Indocement Tunggal Prakarsa. Pada penelitian ini menggunakan metode dengan mengamati 4 kasus penggunaan bahan bakar dengan 2 kasus

menggunakan batubara 100% sebagai kontrol dan 2 kasus menggunakan batubara yang telah disubstitusi bahan bakar alternatif. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa Rataan kelompok yang telah substitusi AF membutuhkan energi sebesar 113,44 kWh/ton-semen, 3,11 GJ/ton-semen, 1,68 L-solar/ton-semen dengan dampak pemanasan global sebesar 0,78 ton-CO₂-eq/ton-semen. Rataan kelompok yang menggunakan batubara 100% membutuhkan energi sebesar 124,86 kWh/ton-semen, 3,34 GJ/ton-semen, 2,13 L-solar/ton-semen dengan dampak pemanasan global sebesar 0,73 ton-CO₂-eq/ton-semen. Kelompok kasus dengan penggunaan AF memiliki rata-rata dampak pemanasan global yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok yang menggunakan batubara 100%.

2.2. Kajian Teoritis

2.2.1. Pengertian Semen

Semen adalah suatu zat yang jika diaplikasikan ke permukaan benda padat akan membuatnya melekat dengan sangat kuat (Alsop, 2005). Semen akan bereaksi dan mengeras jika ditambahkan dengan air. Kandungan utama semen, terdiri dari empat macam, diantaranya :

1. C₃S (3CaO·SiO₂) atau biasa disebut *Alite*
2. C₂S (3CaO·SiO₂) atau biasa disebut *Belite*
3. C₃A (3CaO·SiO₂) atau disebut *Tricalcium aluminate* atau *celite*
4. C₄AF (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃) atau disebut *Brownmillerite*

Semen biasa diaplikasikan ke dalam pekerjaan sipil, seperti gedung, jembatan, dan lain sebagainya.

Semen yang berada dipasaran, khususnya di Indonesia terdiri dari beberapa tipe. Tipe-tipe semen yang beredar tersebut diatur dalam SNI. Tipe-tipe semen yang diatur oleh Badan Standarisasi Nasional yang beredar di Indonesia antara lain :

1. Semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) diatur dalam SNI no SNI 2049:2015.

OPC adalah semen umum yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi ketika tidak ada paparan sulfat di tanah atau air tanah

2. Semen Portland Pozzolan (PPC) diatur dalam SNI no SNI 0302:2014

Semen PPC adalah semen Portland yang dicampur dengan zat pozzolan. Komposisi inti pozzolan adalah silika yang sudah terbakar sehingga dapat

bereaksi dengan kalsium silikat. Zat pozzolan dapat didapat dari alam, seperti dari abu vulkanik, maupun buatan, misalnya fly ash dari sisa pembakaran batubara.

3. Semen *Portland Composite* (PCC) diatur dalam SNI no SNI 7064:2014

Semen PCC adalah semen yang paling banyak dijumpi di retail-retail di Indonesia. Semen PCC digunakan untuk konstruksi umum dan bahan bangunan.

4. Semen Portland Putih diatur dalam SNI no SNI 129:2018

Semen Portland putih adalah, semen Portland yang berwarna putih. Semen ini banyak digunakan dalam bidang dekorasi dan arsitektur. Produksi semen putih tidak menggunakan batubara, melainkan menggunakan gas alam, sehingga produk yang dihasilkan dapat berwarna putih.

5. *Oil Well Cement* diatur dalam SNI no SNI ISO 10426.1:2008

Oil Well Cement digunakan untuk penyekat pada pengeboran sumur minyak. Oleh karenanya semen jenis ini juga disebut semen sumur minyak. Sumur-sumur minyak atau gas dibuat dengan mengebor lubang ke dalam tanah atau bumi dengan kedalaman ratusan sampai dengan 20.000 kaki (sekitar 7.000 meter). Pipa besi yang disebut casing ditempatkan pada lubang sumur dan semen dipompa ke bawah melalui pipa tersebut.

Semen Oilwell mempunyai ketahanan terhadap serangan sulfat dengan kadar, suhu dan tekanan yang tinggi.

6. Semen Masonry diatur dalam SNI no SNI 15-3758-2004

Semen Masonry dibuat dengan menggiling campuran terak semen portland dengan batu kapur, batu pasir, atau slag dengan perbandingan 1 : 1.

7. Semen Portland Slag diatur dalam SNI no SNI 8363:2017

Semen Portland slag adalah semen yang proses produksinya terdiri dari campuran semen Portland dicampur dan dengan blast furnace slag. Slag adalah limbah dari proses peleburan baja.

Berdasarkan penelitian YK Verma (2021) produksi semen mengkonsumsi bahan baku dan energi dalam jumlah besar (panas dan listrik). Proses ini membutuhkan sekitar 3,2 hingga 6,3 GJ energi dan 1,7 ton bahan baku terutama batu kapur per ton klinker yang diproduksi. Industri semen menjadi industri yang sangat intensif dalam penggunaan energi. Energi panas yang digunakan dalam

industri semen menyumbang sekitar 20-25% dari total biaya produksi. Selain itu konsumsi energi listrik industri semen juga besar. Konsumsi energi listrik pabrik semen modern adalah sekitar 110-120 kWh per ton semen. Dalam proses pembuatan semen, energi panas banyak digunakan selama proses pembakaran bahan baku menjadi klinker, sementara energi listrik banyak digunakan selama proses penggilingan klinker menjadi produk jadi.

Umumnya energi panas didapatkan dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi (petcoke) dan gas alam. Pada tahun-tahun belakangan, penggunaan bahan bakar alternatif (AF) menjadi lebih populer bagi produsen semen karena meningkatnya harga bahan bakar fosil, dan juga karena sumber daya bahan bakar fosil semakin terbatas dan menimbulkan masalah lingkungan.

2.2.2. Proses Pembuatan Semen

Proses pembuatan semen berbagai jenis tipe semen secara umum sama. Perbedaannya adalah pada campuran akhir semen, dan teknologi pada proses produksi. Berdasarkan teknologi prosesnya produksinya, produksi semen dibagi menjadi dua tipe (Wiranto, 2014) :

1. Proses Basah

Proses basah adalah teknologi jaman dahulu yang sudah tidak digunakan lagi. Proses basah membutuhkan air pada saat pencampuran bahan baku. Dengan proses basah homogenitas pencampuran bahan baku lebih baik, akan tetapi tidak ramah lingkungan dan boros energi.

2. Proses Kering

Industri semen modern saat ini menggunakan proses kering. Proses kering dipilih karena lebih ekonomis, karena kebutuhan energinya lebih sedikit. Selain itu proses kering lebih ramah lingkungan, karena proses produksi semen dengan sistem kering tidak membutuhkan air. Pembuatan semen dengan proses kering terdiri dari lima tahap proses produksi, yaitu:

a. Penyediaan bahan mentah

Semakin ketat regulasi lingkungan dan inovasi bahan baku semen tidak hanya didapatkan dari alam saja, melainkan ada alternatif bahan baku dan alternatif bahan bakar untuk mengurangi *CO₂ footprint* dan mendapatkan

label semen ramah lingkungan. Bahan baku semen pada umumnya membutuhkan material dari komponen – komponen seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Material Komponen Bahan Baku Semen *Oil Well Cement* (Schlinder, 2012)

No.	Calcium	Iron	Silica	Alumina	Sulfate
1.	Alkali waste	Blast furnace flue dust	Calcium silicate	Aluminum ore refuse	Anhydrite
2.	Aragonite	Clay	Cement rock	Bauxite	Calcium sulfate
3.	Calcite	Iron ore	Clay	Cement rock	Gypsum
4.	Cement kiln dust	Mill scale	Fly ash	Clay	
5.	Cement rock	Ore washing	Fuller's earth	Copper slag	
6.	Chalk	Pyrite cinders	Limestone	Fly ash	
7.	Clay	Shale	Loess	Fuller's earth	
8.	Fuller's earth		Marl	Granodiorite	
9.	Limestone		Ore washing	Limestone	
10.	Marble		Quartzite	Loess	
11.	Marl		Rice hull ash	Ore washing	
12.	Seashells		Sand	Shale	
13.	Shale		Sandstone	Slag	
14.	Slag		Shale	Staurolite	
15.			Slag		
16.			Trap rock		

Pada umumnya di Indonesia, bahan baku pembuatan semen terdiri dari batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan pasir besi. Industri semen adalah industri yang lokasi pabriknya mendekati bahan baku. Batu kapur dan tanah liat didapatkan dari quarry. Proses penambangan batu kapur dilakukan dengan proses peledakan, maupun dengan alat pengerukan. Proses peledakan menggunakan bahan peledak ANFO (94,5% *Ammonium Nitrat*, 5,5% *fuel oil*) dan *power gel*. Setelah bahan tambang, kemudian bahan baku berupa batukapur dan tanah liat dilakukan pengecilan ukuran. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *crusher*. Material batu kapur akan dihancurkan pada limestone *crusher* dan material tanah liat akan dihancurkan pada *clay crusher*.

b. Penggilingan bahan mentah

Setelah batu kapur dan tanah liat dihancurkan dengan *crusher*, kemudian batu kapur, tanah liat, pasir silika, dan pasir besi digiling pada *raw mill*. Proses ini bertujuan untuk mencampur bahan mentah agar menjadi homogen. Hasil dari proses ini bernama dust.

c. Pembakaran

Proses utama dalam pembuatan semen adalah pada proses pembakaran. Proses pada *kiln* adalah proses yang mengkonsumsi biaya terbesar pada pembuatan semen. Pada proses ini dibagi menjadi tiga tahap yaitu pemanasan awal, pemanasan akhir, dan pendinginan. Berikut adalah detail dari tiap proses:

1) Pemanasan Awal (*Preheater*)

Material akan memasuki *preheater* dimana pada proses ini akan dilakukan pemanasan awal. Pada proses ini terdapat 4 tahap siklon. Pada siklon terjadi 90% proses kalsinasi. Sedangkan 10% proses kalsinasi akan dilakukan di *rotary kiln*.

2) Pemanasan Akhir (*Rotary Kiln*)

Proses pembakaran dilakukan pada kiln. Pada proses ini dust akan dibakar pada *rotary kiln* dengan menggunakan api dengan suhu 1450°C. *Rotary kiln* memiliki kemiringan empat sampai lima derajat. *Rotary kiln* disebut sebagai tanur putar dan terbuat dari silinder baja. Pada bagian dalamnya, *rotary kiln* dilapisi dengan batu tahan api (*fire bricks*). Karena suhu yang harus dicapai cukup tinggi, maka kebutuhan akan bahan bakar juga tinggi.

Bahan bakar yang digunakan pada proses ini adalah batu bara sebagai bahan bakar padat dan IDO (*Industrial Diesel Oil*) serta bahan bakar alternative berupa biomasa, limbah pengeboran minyak, limbah kertas dan limbah industri lainnya yang masih memiliki kalori. Batu bara akan dihancurkan dahulu dan kadar airnya akan dikurangi pada *coal mill* agar dapat digunakan untuk proses pembakaran. Pada proses pembakaran ini, dihasilkan emisi CO₂ dengan jumlah besar. Emisi CO₂ berasal dari proses pembakaran dan proses kalsinasi bahan baku. Hasil dari proses ini

adalah terak/*clinker*. *Clinker* keluar dari *kiln* dengan suhu 1200 – 1250 °C. Kemudian *clinker* akan mengalami pendinginan pada *cooler*.

3) Pendinginan (*Cooler*)

Pada *cooler*, terak akan ditiup udara dingin sehingga terak akan berubah bentuk menjadi kristal akibat proses pendinginan. Pendinginan dilakukan sampai temperatur menjadi 100 °C. Kemudian *clinker* akan disimpan pada *clinker storage*.

4) Penggilingan akhir

Proses pencampuran akhir dilakukan pada *finish mill*. Pada proses ini dilakukan penggilingan akhir dengan alat *ballmill* dan *vertical roller mill* dan dilakukan penambahan bahan aditif seperti gypsum dan pozolan/trass. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki sifat pada semen dan pembentukan produk akhir. Komposisi bahan aditif akan disesuaikan dengan jenis produk yang akan diproduksi. Proses penggilingan ini membutuhkan listrik dengan jumlah besar. Konsumsi listrik terbesar di proses pembuatan semen adalah proses penggilingan akhir.

5) Pengemasan

Pada proses pengemasan dilakukan pengemasan semen dalam bentuk sak maupun curah. Proses ini dilakukan ketika semen siap dipasarkan. Semen dari proses *finish mill* akan disimpan pada silo kemudian akan dilanjutkan pada proses pengemasan.

2.2.3. Emisi Industri Semen

Kontrol terhadap polusi dan gas rumah kaca adalah aturan yang mandatori terhadap semua jenis industri. Proses produksi semen selalu berkaitan dengan besarnya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dan polusi lingkungan (Dunuweera 2018). Berikut ini adalah polusi yang dihasilkan oleh industri semen, seperti Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Polusi Industri Semen (IPCC, 2021)

No.	Pollutant	Mass emitted (tonnes per year)
1.	CO ₂	1.5456 million
2.	CO	460-11500
3.	SO ₂	Up to 11125
4.	NO _x as NO ₂	334-4670
5.	Dust	0.62-522
6.	TOC/VOC	2.17-267
7.	HCl	0.046-46
8.	HF	0.21
9.	PCDD/PCDF	0.0000276-0.627 g per year

Kandungan CO₂ yang dilepaskan oleh proses produksi semen yang mengakibatkan efek gas rumah kaca. Gas CO₂ biasanya terbentuk oleh reaksi pembakaran dan reaksi kalsinasi pada proses pembuatan semen. Gas SO₃ merupakan senyawa sulfur, yang dapat menyebabkan karat pada logam. Jika gas SO₃ bertemu dengan air hujan, dapat mengakibatkan hujan asam. TOC/VOC dan PCDD/PCDF mengindikasikan adanya kandungan *total organic compounds* dan *volatile organic compounds, dioxins, dan benzofurans*.

Semen diproduksi dengan memanfaatkan sejumlah besar bahan baku yang direaksikan pada suhu yang sangat tinggi dalam fraksi padat atau disebut proses *pyroprocessing*. Untuk mendapatkan suhu yang sangat tinggi tersebut, dibutuhkan energi yang sangat besar. Untuk mendapatkan energi yang besar tersebut digunakan sumber bahan bakar seperti batu bara, bahan bakar minyak, gas alam dan bahan apa pun yang mudah terbakar. Dari proses pembakaran tersebut dihasilkanlah emisi CO₂. Berikut daftar kebutuhan energi dan emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses produksi semen.

Tabel 2.3 Kebutuhan Energi dan Emisi CO₂ Industri Semen

Annual energy use and CO ₂ emissions associated with cement and concrete production					
		On-site energy		CO ₂ emissions	
		10 ⁶ kJouls	%	10 ⁶ tonne	%
1.	<i>Raw materials-Quarrying and Crushing</i>				
a.	<i>Cement Materials</i>	3,817	0,7	0,36	0,3
b.	<i>Concrete Materials</i>	14,287	2,6	1,28	1,2
2.	<i>Cement Manufacturing</i>				
a.	<i>Raw Grinding</i>	8,346	1,5	1,5	1,4
b.	<i>Kiln : fuels</i>	410,464	74	38,47	36,8
c.	<i>Reactions</i>			48,35	46,3
d.	<i>Finish Milling</i>	24,057	4,3	4,32	4,1
3.	<i>Concrete Production</i>				
a.	<i>Blending, Mixing</i>	31,444	5,7	5,65	5,4
b.	<i>Transportation</i>	61,933	11,2	4,53	4,3
	<i>Total</i>	554,409	100	104,50	100

(Kementerian Keuangan, 2012)

Ada enam nama senyawa gas rumah kaca yang terdapat dalam lampiran Protokol Kyoto, yaitu Karbon dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrogen oksida (NO₂), Hydrofluorokarbon (HFCs), Perfluorokarbon (PFCs), dan Sulfur hexafluorida (SF₆) (UN 1998). Selain keenam gas rumah kaca tersebut, ada juga gas rumah kaca lainnya seperti uap air, Nitrogen triflorida, Sulfur dioksida, dan Nitrogen monoksida. Uap air adalah gas rumah kaca yang timbul secara alami dan bertanggungjawab terhadap sebagian besar dari efek rumah kaca. Menurut IPCC (2007) dalam Henson (2008), komposisi GRK dalam troposfer adalah Karbon dioksida (CO₂) 63%, Nitrogen oksida (NO₂) 6%, Metana (CH₄) 18%, serta CFCs dan HFCs sekitar 12%. Setiap senyawa memiliki pengaruh yang berbeda terhadap efek rumah kaca atau pemanasan global (Nugraha, 2017).

Gas-gas rumah kaca tersebut memiliki potensi pemanasan global yang dikenal sebagai *global warming potential* (GWP). GWP adalah indikator dari potensi pemanasan global yang disebabkan oleh emisi dalam periode 100 tahun. Gas-gas rumah kaca yang memiliki efek pemanasan global nantinya akan diberikan satuan CO₂ equivalent (CO₂-eq) sehingga dapat dijumlahkan (Siregar 2013). GWP dari gas rumah kaca selalu dibandingkan dengan karbon dioksida karena GWP karbon dioksida adalah 1. Besarnya GWP tergantung pada beberapa faktor, yaitu

penyerapan radiasi infrared gas tersebut, panjang gelombang yang diserap, dan waktu hidup gas di atmosfer. Selain gas di atas terdapat pula gas prekursor. Gas prekursor adalah gas yang tidak bersifat sebagai gas rumah kaca, namun begitu udara gas tersebut berada di alam bebas kemungkinan dapat bertransformasi menjadi gas rumah kaca. Gas-gas prekursor penting adalah karbon monoksida (CO), Nitrogen oksida (NO), dan unsur organik yang mudah menguap seperti VOC (*volatile organic compound*) (SOS 2011).

Proses produksi semen juga menghasilkan emisi yang biasa disebut dengan *particulate matter*. Polusi partikulat adalah campuran partikel padat, cair atau padat dan cair yang tersuspensi udara (WHO). Indikator yang biasa digunakan menggambarkan *particulate matter* merujuk pada massa konsentrasi partikel dengan diameter kurang dari 10 μm disebut PM₁₀ dan partikel dengan diameter kurang dari 2,5 μm disebut PM_{2.5}. Polusi partikulat dapat menyebabkan gangguan pernapasan, menimbulkan penyakit asma, kardiovaskular, serta resiko jangka Panjang dapat menyebabkan kanker paru-paru.

2.2.4. Industri Semen Sebagai Pemusnah Limbah

Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 12 Tahun 2012 tentang Peta Panduan (*Road Map*) Pengurangan Emisi CO₂ Industri Semen menyebutkan bahwa strategi kebijakan menurunkan emisi CO₂ di industri semen antara lain melalui mekanisme insentif fiskal bagi kegiatan/alat untuk menurunkan emisi CO₂ serta dukungan kebijakan pemberian insentif fiskal bagi yang menerapkan pemanfaatan gas buang sebagai sumber energi (*heat recovery*). Dipaparkan sebelumnya dalam peraturan tersebut, potensi pengurangan emisi CO₂ di industri semen dapat dilakukan dengan penggunaan energi alternatif, penggunaan bahan bakar alternatif, efisiensi energi, dan penerapan teknologi penangkapan atau penyimpanan karbon (*Carbon Capture Storage (CCS)*). Pemanfaatan bahan bakar alternatif dan gas buang (*heat recovery*) dapat dilakukan dengan ketersediaan alat yang mendukung. Sebagai gambaran, pada tahun 2012 Kementerian Perindustrian Republik Indonesia telah melakukan kajian dan mengestimasi dampak penggantian alat atau modifikasi peralatan bagi industri semen, yaitu dengan investasi (kumulatif) sebesar 436,6 juta Euro dapat diturunkan emisi kualitatif per tahun sebesar 14,093 CO₂ eq

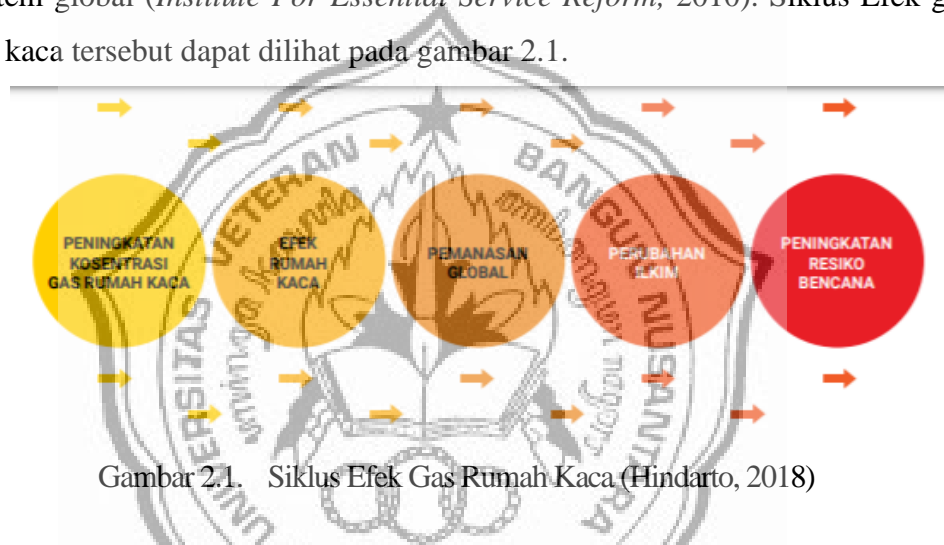
(berdasarkan kondisi pada tahun 2010). Investasi tersebut antara lain dapat digunakan untuk mengganti peralatan sehingga dapat memanfaatkan gas buang (*heat recovery*) dalam proses pembuatan *clinker* dalam *rotary kiln*. Mekanisme fiskal yang disediakan tersebut diharapkan dapat secara efektif mendorong pengurangan emisi CO₂ di industri semen.

Terbatasnya energi tak terbarukan dan terjadinya pemanasan global akibat gas rumah kaca mendorong industri semen untuk mencari alternatif sumber energi yang ramah lingkungan. Penggunaan bahan bakar dan material alternatif dalam industri semen disebut dengan *co-processing* (Nugraha, 2017). *Co-processing* memiliki potensi tinggi untuk dikurangi emisi CO₂ global industri semen. Tanpa *Co-processing*, limbah dan produk sampingan industri yang terbentuk bahan-bahan ini harus dibakar atau ditimbun dengan emisi gas rumah kaca yang sesuai. Pada 1990, persentase energinya diperoleh dengan menggunakan limbah sebagai bahan bakar 3%. Pada 2006, menghasilkan pengurangan 8 MT dari CO₂ emisi setiap tahun sambil menghemat sekitar 5 MT batubara. CO₂ emisi dari biomassa bersifat netral terhadap iklim. Lebih dari 20% dari total bahan bakar alternatif yang digunakan oleh industri semen Eropa terdiri dari murni biomassa, seperti daging dan tepung tulang dan lumpur limbah. Ini bisa jadi dikembangkan lebih lanjut disediakan biomassa tetap dapat diakses. Selain itu, bahan bakar alternatif yang digunakan dalam semen industri mengandung biomassa tingkat tinggi karena kandungannya misalnya kayu atau pecahan kertas.

2.2.5. Gas Rumah Kaca

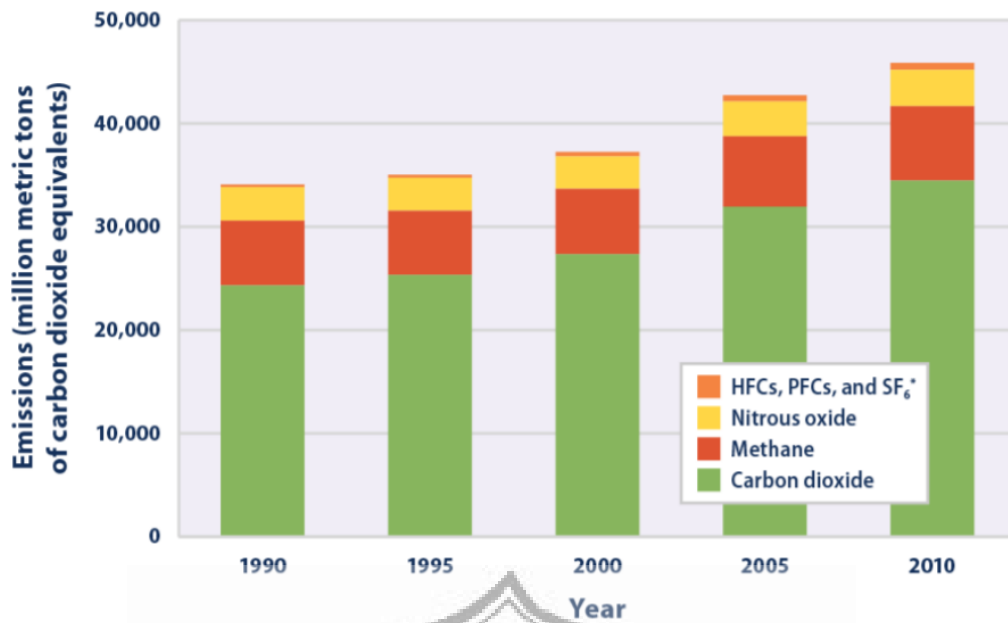
Gas rumah kaca adalah gas apa pun yang memiliki sifat dapat menyerap radiasi inframerah (energi panas netto) yang dipancarkan dari permukaan Bumi dan meradiasikan kembali ke permukaan Bumi, sehingga berkontribusi pada efek rumah kaca (Mann, 2014). Gas-gas rumah kaca ini memiliki kemampuan untuk mengikat radiasi sinar matahari yang dipantulkan oleh bumi dan yang datang dari luar angkasa. Secara alami, gas-gas rumah kaca ini diperlukan di atmosfer untuk menjaga permukaan bumi tetap hangat. Jika tidak, maka suhu permukaan bumi akan lebih dingin sehingga kehidupan di bumi ini tidak akan dapat berlangsung seperti sekarang. Mengingat sifat gas rumah kaca yang mengikat panas, apabila

konsentrasi gas-gas tersebut di atmosfer mengalami peningkatan maka panas matahari yang terperangkap di atmosfer menjadi lebih banyak. Akumulasi panas inilah yang dapat menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi. Itulah sebabnya, jika konsentrasi gas-gas rumah kaca terus meningkat di atmosfer, fenomena pemanasan global akan terjadi. Peningkatan temperatur rata-rata bumi yang lebih tinggi akan menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang akan mengakibatkan perubahan faktor-faktor iklim, seperti curah hujan, penguapan dan temperatur. Perubahan-perubahan ini juga dapat memicu terjadinya bencana lingkungan dengan skala yang lebih besar dan frekuensi yang lebih sering. Pada intinya perubahan iklim mengancam peradaban manusia modern dan keberlanjutan ekosistem global (*Institute For Essential Service Reform, 2010*). Siklus Efek gas rumah kaca tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Siklus Efek Gas Rumah Kaca (Hindarto, 2018)

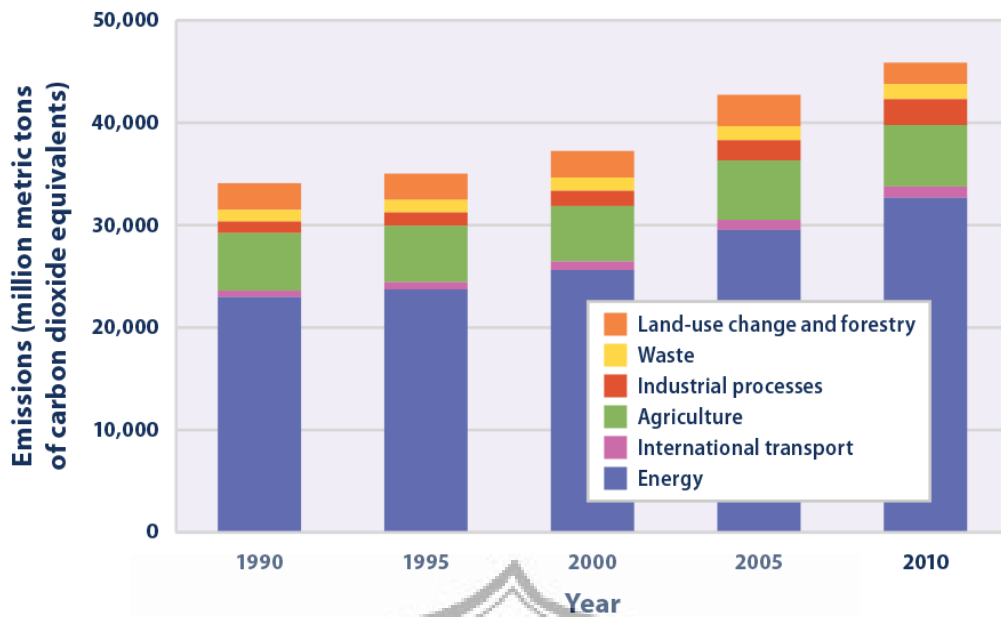
Komposisi gas rumah kaca yang utama adalah *Carbon Dioxida* (CO_2), metana (CH_4), *Nitrous Oxide* (N_2O), *Chloroflourocarbon* (CFCs) dan *Carbon tetrachloride* (CCl_4) (Watson, 1991). Berdasarkan data yang dirilis *Environment Protection Agency* (EPA), emisi gas rumah kaca hingga 2010 mencapai 33.000.000.000 ton equivalent CO_2 . Komposisi gas rumah kaca dapat dilihat pada gambar 2.2 pada halaman berikutnya.



Gambar 2.2. Grafik Komposisi Gas Rumah Kaca (*World Resources Institute (WRI), 2014*)

Karbon dioksida (CO₂) adalah gas rumah kaca yang paling signifikan. Sumber alami CO₂ antara lain dari gas gunung berapi, proses pembakaran, pembusukan alami organik material, dan respirasi oleh organisme aerob (menggunakan oksigen). CO₂ yang dihasilkan dari proses alami jumlahnya akan seimbang. Karena selain alam itu sendiri menghasilkan CO₂, ada proses alam lain yang akan mengurangi kandungan CO₂ di alam. Salah satu contohnya adalah proses fotosintesis (Rafferty, 2014).

Sebaliknya, aktivitas manusia lebih banyak menimbulkan peningkatan CO₂ di atmosfer (Antropogenik) terutama melalui pembakaran bahan bakar fosil terutama minyak dan batubara, dan gas alam, untuk digunakan dalam transportasi, pemanas, dan produksi listrik dan melalui reaksi dalam proses produksi semen. Penyebab lainnya pembakaran hutan proses pembukaan lahan. Berikut jumlah emisi CO₂ dengan berbagai sumber yang dirilis oleh *Environment Protection Agency (EPA)*. Aktifitas produksi emisi CO₂ dapat dilihat pada gambar 2.3 pada halaman berikutnya.



Gambar 2.3. Grafik Aktifitas Produksi Emisi Gas CO₂ (World Resources Institute (WRI), 2014)

Metana (CH₄) adalah gas rumah kaca terpenting kedua. CH₄ memiliki efek lebih kuat daripada CO₂, karena kekuatan radiasi yang dihasilkan per molekul nyalebih besar.. Namun, CH₄ memiliki konsentrasi yang jauh lebih rendah daripada CO₂ di atmosfer. CH₄ juga memiliki waktu tinggal yang jauh lebih singkat di atmosfer daripada CO₂ waktu tinggal untuk CH₄ kira-kira 10 tahun, dibandingkan dengan ratusan tahun untuk CO₂ (Rafferty, 2014).

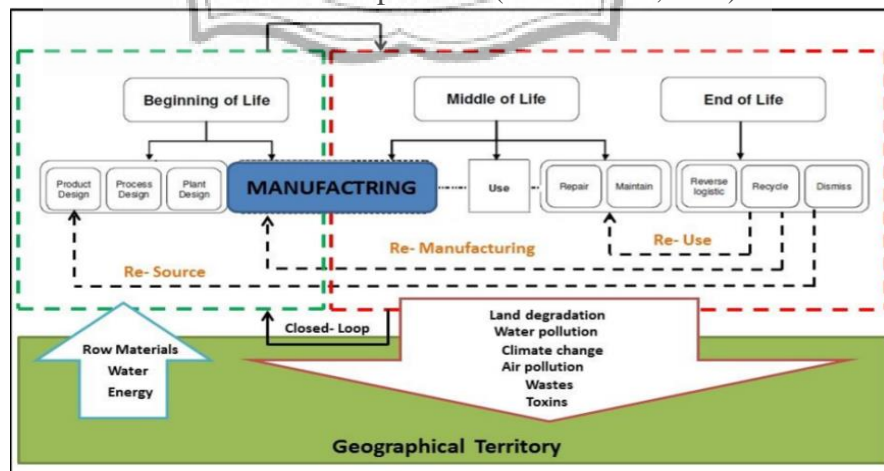
Sumber alami metana antara lain bakteri pengoksidasi yang memakan organic bahan yang dikonsumsi oleh rayap, dari gunung berapi, ventilasi dari rembesan dasar laut di daerah yang kaya dengan sedimen organic (Britanica Online Encyclopedia, 2020). Penetralisir metana adalah atmosfer itu sendiri, ketika metana bereaksi dengan radikal hidroksil (OH⁻) dalam troposfer untuk membentuk CO₂ dan uap air (H₂O). Ketika CH₄ mencapai stratosfer, ia hancur dengan sendirinya. Selain itu Ketika metana berada di dalam tanah, metana akan hilang dengan sendirinya karena teroksidasi oleh bakteri. Kegiatan manusia yang menyebabkan timbulnya emisi metana antara lain prosespenanaman padi, proses peternakan hewan, pembakaran batubara dan gas alam.

Nitrogen Oksida yang terjadi secara alami berasal dari lautan, hutan basah, savanna, dan padang rumput. Polusi Nitrogen Oksida yang dihasilkan oleh manusia berasal dari pengolahan tanah. Pembakaran biomasa, dari pembakaran dan dari produksi asam adipic serta asam nitrat. Sumber paling dominan dari emisi CFCs dan CCL₄ adalah dari *refrigerant* dan pendingin ruangan (Rafferty, 2014).

2.2.6. Life Cycle Assessment (LCA)

Meningkatnya kesadaran akan pentingnya perlindungan lingkungan, dan kemungkinan dampak yang terkait dengan produk, baik yang diproduksi maupun dikonsumsi, telah meningkatkan minat dalam pengembangan metode untuk lebih memahami dan mengatasi dampak lingkungan. Salah satu teknik yang dikembangkan untuk tujuan tersebut adalah penilaian siklus hidup atau *life cycle assessment* (LCA). Prosedur dari *Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan bagian dari ISO 14000 *environmental management standards*. Dijelaskan di dalam ISO 14040, LCA didefinisikan sebagai kumpulan evaluasi input, output dan potensi dampak lingkungan dari sistem produk di sepanjang siklus hidupnya. Dengan demikian, LCA adalah alat untuk menganalisa beban lingkungan produk pada semua tahap di siklus hidup mereka - dari ekstraksi sumber daya, melalui produksi bahan, proses produksi dan produk itu sendiri, dan penggunaan produk itu sendiri serta management produk setelah dibuang, maupun digunakan Kembali. Secara umum, cakupan LCA dapat dilihat pada gambar 2.4 (Vadaudi et al,2012)

Gambar 2.4. Cakupan LCA (Vadaudi et al, 2012)



LCA dapat digunakan dan mempunyai beberapa fungsi, diantaranya (ISO 14040). Selain itu, dokumen LCA produk menjadi salah satu aspek penilaian dalam

Dokumen Hijau PROPER 2021 (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 1 Tahun 2021) yang memuat dampak lingkungan dari sebuah aktivitas industri :

1. Mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan kinerja lingkungan produk di berbagai titik dalam siklus hidupnya,
2. Menginformasikan pembuat keputusan dalam industri, pemerintah atau organisasi non-pemerintah. Misalnya untuk tujuan perencanaan strategis, penetapan prioritas, desain atau mendesain produk atau proses.
3. Pemilihan indikator kinerja lingkungan yang relevan, termasuk teknik pengukuran, dan pemasaran.

Proses pembuatan LCA terdiri dari beberapa tahapan. membagi proses LCA di bagi menjadi 4 tahapan, antara lain:

1. Tujuan, ruang lingkup dan definisi

Dalam fase ini, produk atau layanan yang akan dinilai didefinisikan. Jenis analisis, kategori dampak yang akan dievaluasi, dan serangkaian data yang perlu dikumpulkan dan diidentifikasi. Batasan sistem dan definisi unit fungsional sangat penting dalam tahapan ini.

2. Analisis inventori

Tahap analisis inventori atau *life cycle inventory* ini, energi dan bahan baku digunakan, emisi terhadap udara air, dan tanah serta berbagai jenis sumber daya dikuantifikasi untuk setiap proses kemudian digabungkan dalam bagan alur proses. Dengan kata lain, inventarisasi semua input dan output ke dan dari sistem produksi disiapkan pada langkah ini.

3. Asesmen dampak

Tahapan asesmen dampak ini, dilakukan evaluasi terhadap dampak potensi terhadap lingkungan dengan menggunakan hasil dari *life cycle inventory* dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir.

4. Interpretasi

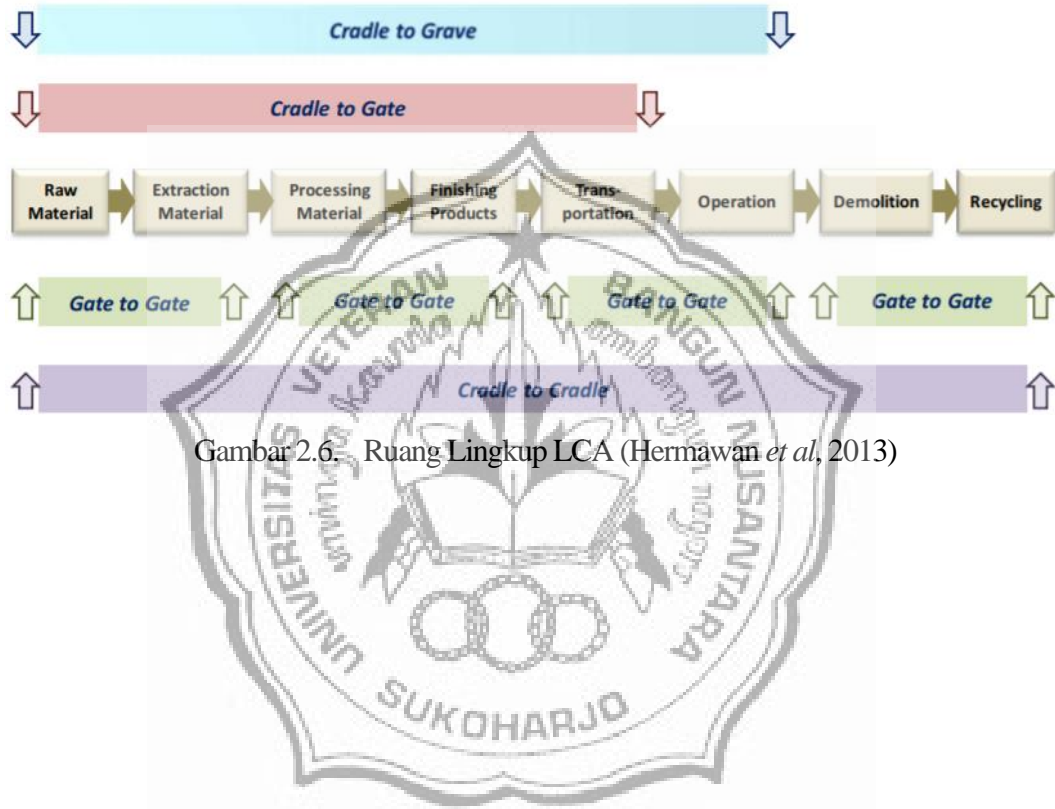
Tahap akhir analisis daur hidup memberikan simpulan, rekomendasi, dan pengambilan keputusan berdasarkan batasan studi yang telah ditetapkan pada tahap pertama (*Georgia Institute of Technology*, 2010). Tahapan-tahapan LCA diatas dapat disimpulkan seperti gambar 2.5

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. Dari produk mulai dari ekstraksi bahan mentah hingga meninggalkan pabrik.

Keseluruhan cakupan ruang lingkup LCA dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Ruang Lingkup LCA (Hermawan *et al*, 2013)