

# **KAJIAN DAMPAK PEMANASAN GLOBAL DAN ANALISIS ENERGI MELALUI METODE *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) DI INDUSTRI SEMEN PT. SBI PABRIK CILACAP**

**IMRON SAHALI ACHMAD**  
**P052190424**



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2022**



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan tesis dengan judul Kajian Dampak Pemanasan Global dan Analisis Energi melalui Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) di Industri Semen PT. SBI Pabrik Cilacap adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2022

Imron Sahali Achmad  
P052190424

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

## RINGKASAN

IMRON SAHALI ACHMAD. Kajian Dampak Pemanasan Global dan Analisis Energi melalui Metode *Life Cycle Assessment* di Insutri Semen PT. SBI Pabrik Cilacap. Dibimbing oleh MOH. YANUAR J. PURWANTO dan KIMAN SIREGAR.

Beton (*concrete*) adalah salah satu bahan buatan manusia yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan karena ketahanannya, ketersediaannya dan tidak memerlukan perawatan dalam penggunaannya. Bahan baku utama dalam pembuatan beton adalah semen, yang hingga saat ini belum ada penggantinya. Namun demikian, proses produksi semen memerlukan energi yang besar dan diketahui sebagai salah satu penyebab potensi dampak pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis inventori, potensi dampak pemanasan global, dan energi yang dibutuhkan sepanjang sistem produk semen, sehingga dapat ditemukan *hotspot* dalam sistem produk semen.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari – Juni 2021 dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan batasan sistem *cradle to grave*. Sumber data utama dalam penelitian ini adalah dari data laporan produksi perusahaan dalam satu tahun. Data lain diperoleh dari literatur ilmiah, pustaka, laporan dan *database*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi dampak pemanasan global dalam sistem produk semen untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton sebesar 348 kg CO<sub>2</sub>e dengan kontribusi terbesar pada unit proses *kiln* (45,5%), kemudian unit proses *grinding* (31,9%) serta di unit proses *batching plant* sebesar (18,5%). Ada dua aspek dalam produksi semen sebagai bahan utama beton yang menghasilkan emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>), pertama adalah reaksi kimia dalam proses kalsinasi bahan baku semen menjadi *clinker* dan yang kedua adalah emisi hasil pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi panas. Reaksi kalsinasi dalam semen tidak stabil, sehingga gas CO<sub>2</sub> di udara dapat bereaksi dengan semen terhidrasi dalam beton yang disebut karbonasi. Reaksi ini terjadi selama masa pakai produk beton dan saat beton yang dihancurkan (*demolish*) ditimbun. Sehingga total emisi CO<sub>2</sub>eq yang dihasilkan saat proses pembuatan beton akan dikurangi emisi CO<sub>2</sub>eq yang diserap selama bangunan digunakan dan material pembongkaran bangunan yang ditimbun. Konsumsi energi sepanjang sistem produk semen untuk setiap 1 m<sup>3</sup> beton sebesar 2.535 MJ, dengan kontribusi terbesar adalah pada unit proses *kiln* sebesar (83%), unit proses *grinding* sebesar (4,8%) dan unit *demolition* sebesar (3,8%). Dari hasil yang diperoleh tersebut diatas maka dapat disimpulkan bahwa *hotspot* sistem produk semen di sepanjang daur hidupnya adalah pada unit proses *kiln*.

Kata kunci: beton (*concrete*), *cradle to grave*, energi, *Global Warming Potential* (GWP), *Life Cycle Assessment* (LCA), semen

## SUMMARY

IMRON SAHALI ACHMAD. Global Warming Potential (GWP) and Energy Analysis of Cement Industry PT. SBI Cilacap Plant by using Life Cycle Assessment Method. Supervised by MOH. YANUAR J. PURWANTO and KIMAN SIREGAR

Concrete is one of the man-made materials that is widely used as a building material because of its durability, availability and does not require maintenance in its use. The main raw material of concrete is cement, unfortunately, there is no material that could substitute cement in concrete. Meanwhile, cement production process requires a lot of energy and is known as a contributor to greenhouse gas emissions (Global Warming Potential/GWP). The aim of this study is to analyze inventory, potential global warming impact, and energy required throughout cement product system, so that hotspots could be found in the cement product system.

The study was conducted on February – June 2021 using the Life Cycle Assessment (LCA) method with a cradle to grave system boundary. Main data source in this study is the company's production report data in one year. Other data obtained from scientific literature, literature, reports and database.

The study results shows that potential impact of global warming in cement product system throughout its life cycle is 348 kg CO<sub>2</sub>e per 1 m<sup>3</sup> concrete with the kiln unit process is the highest contributor of global warming potential impact (45.5%), then grinding unit process (31.9%) and concrete plant unit process (18.5%). There are two aspects in cement production as the main raw material of concrete that produces greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) emissions, the first is chemical reaction in the calcination process of cement raw materials into clinker and second is emissions from burning fossil fuels to produce heat energy. Calcination reaction in cement is unstable, so the CO<sub>2</sub> gas in the air can react and absorbed with hydrated cement in concrete which is called carbonation. This reaction occurs during life of concrete product and when demolished concrete is landfilled. So that the total CO<sub>2</sub>eq emissions produced during the concrete manufacturing process will be reduced by CO<sub>2</sub>eq emissions that are absorbed during use of the building and stockpiled building demolition materials. Total energy consumption of 1 m<sup>3</sup> concrete is 2,535 MJ with the highest contributor is kiln unit process (83%), then grinding unit process (4.8%) and demolition process (3.8%). Conclusion of the study shows that hotspot for global warming potential impact and energy consumption is the kiln unit process.

**Keywords:** cement, concrete, cradle to grave, energy, Global Warming Potential (GWP), Life Cycle Assessment (LCA),



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2022  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

# **KAJIAN DAMPAK PEMANASAN GLOBAL DAN ANALISIS ENERGI MELALUI METODE *LIFE CYCE ASSESSMENT* (LCA) DI INDUSTRI SEMEN PT SBI PABRIK CILACAP**

**IMRON SAHALI ACHMAD**

Tesis  
Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains pada  
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2022**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





**Judul Tesis** : Kajian Dampak Pemanasan Global dan Analisis Energi melalui Metode *Life Cycle Assessment (LCA)* di Industri Semen PT SBI Pabrik Cilacap  
**Nama** : Imron Sahali Achmad  
**NIM** : P052190424

Disetujui oleh

**Pembimbing 1**  
**Dr. Ir. Moh. Yanuar J. Purwanto, M.S, IPU**



**Pembimbing 2**  
**Dr. Kiman Siregar S.TP, M.SI, IPU**

Diketahui oleh

**Ketua Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan**  
**Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, M.S**  
**NIP. 1959110619855011001**



**Dekan Sekolah Pascasarjana**  
**Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M. Eng**  
**NIP. 196004191985031002**





## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanaahu Wa Ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah tentang dampak lingkungan industri semen, dengan judul “Kajian Dampak Pemanasan Global dan Analisis Energi melalui Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) di Industri Semen PT SBI Pabrik Cilacap”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Ir. Moh. Yanuar J. Purwanto, M.S, IPU dan Dr. Kiman Siregar S.TP, M.SI, IPU selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan banyak memberi saran dan arahan selama penelitian dan penyusunan tesis. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Kaswanto selaku ketua sidang tesis dan Dr. Ir. Mohamad Yani M. Eng. IPM selaku penguji luar komisi pada ujian tesis yang telah memberikan masukan demi penyempurnaan tesis ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, M.S selaku Ketua Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan beserta staf pengajar program studi PSL.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada PT Solusi Bangun Indonesia Pabrik Cilacap yang telah memberikan ijin sebagai tempat melakukan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Widjayadi, Sapto Sugiono, Ade Eko, Faiz Kurniawan dan Feni Eka Juliani dari Departemen EQS sebagai pembimbing lapangan.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada kedua orang tua Bapak Achmad Toha dan Ibu Taripah, istri Sri Winarni, ananda Farrel dan Hayfa, serta seluruh keluarga atas doa dan dukungannya. Tak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan PSL Kelas khusus angkatan 2019.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan

Bogor, Juli 2022

*Imron Sahali Achmad*



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.6 Kerangka Pemikiran	4
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pemanasan global	6
2.2 Produksi beton ( <i>concrete</i> )	6
2.3 Produksi semen	7
2.4 Analisis Energi	9
2.5 <i>Life Cycle Assessment</i>	9
2.6 <i>Environmental Product Declaration (EPD)</i> dan <i>Product Category Rule (PCR)</i>	12
2.7 Penelitian terdahulu	13
III METODE PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Pengumpulan Data	17
3.4 Jenis dan sumber data	18
3.5 Metode analisis <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Tujuan dan ruang lingkup ( <i>Goal and Scope</i> )	19
4.2 Data inventori ( <i>Inventory</i> )	23
4.3 Penilaian dampak ( <i>Impact assessment</i> )	29
4.3.1 Penilaian dampak potensi pemanasan global ( <i>Global Warming Potential</i> )	30
4.3.2 Konsumsi energi	31
4.4 Interpretasi ( <i>Interpretation</i> )	32
4.4.1 Interpretasi Potensi Dampak <i>Global Warming (GWP)</i>	32
4.4.2 Interpretasi konsumsi energi	33
4.4.3 Penentuan kategori dampak dan <i>hotspot</i>	34
4.4.4 Pengelolaan sumberdaya alam	34
V SIMPULAN DAN SARAN	36
5.1 Simpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	40

Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian Nugraha (2018)	13
Tabel 2.2 Ringkasan penelitian Harjanto (2012)	14
Tabel 2.3 Ringkasan penelitian Marincovic (2009)	14
Tabel 2.4 Ringkasan penelitian Gursel (2006)	15
Tabel 2.5 Ringkasan penelitian Junnila (2006)	15
Tabel 2.6 Ringkasan penelitian Sjunesson (2005)	15
Tabel 2.7 Ringkasan penelitian Eatmon & Huntzinger (2009)	16
Tabel 4.1 Data inventori	23
Tabel 4.2 Pemeriksaan keandalan data	27
Tabel 4.3 Ringkasan data inventori	28
Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan cakupan waktu data	29
Tabel 4.5 Hasil pemeriksaan cakupan geografi data	29
Tabel 4.6 Hasil perhitungan penilaian dampak GWP	31
Tabel 4.7 Konsumsi energi setiap unit proses	32

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka pemikiran penelitian	5
Gambar 2.1 Proses produksi beton	6
Gambar 2.2 Tahapan proses produksi semen	8
Gambar 2.3 Aliran energi dalam sistem produk semen	9
Gambar 2.4 Tahapan LCA (ISO 14040, 2006)	11
Gambar 2.5 Proses pengajuan EPD	12
Gambar 3.1 <i>Input-Output</i> setiap unit proses	17
Gambar 4.1 Batasan sistem kajian	22
Gambar 4.2 Aliran proses produksi <i>clinker</i>	24
Gambar 4.3 Aliran proses produksi semen	25
Gambar 4.4 Aliran proses produksi beton	25
Gambar 4.5 Aliran proses konstruksi dan pembongkaran	26
Gambar 4.6 Grafik dampak GWP setiap unit proses	31
Gambar 4.7 Kontribusi dampak GWP setiap unit proses	33
Gambar 4.8 Kontribusi konsumsi energi setiap unit proses	34



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

# I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan semen sebagai komponen utama dalam sebuah bangunan masih belum dapat dihindari karena belum adanya bahan pengganti semen yang berfungsi sebagai perekat antar bahan bangunan. Semen dicampurkan dengan material batu pecah (*aggregate*) dan air membentuk beton (*concrete*) yang digunakan untuk membangun rumah, gedung, jembatan, pelabuhan, jalan raya dan lain-lain. Penelitian ini perlu dilakukan mengingat pentingnya posisi semen sebagai komponen utama dalam beton yang belum tergantikan dan konsumsinya kedepan yang akan terus meningkat. Namun demikian, proses produksi beton terutama dalam proses produksi semen, membutuhkan energi yang besar dan bahan baku yang banyak (Boesch *et al.* 2009). Menurut kajian *International Energy Assosiation* (2018), produksi semen global akan terus meningkat seiring pertambahan jumlah penduduk dunia, urbanisasi dan pembangunan infrastruktur. Data terbaru dari Asosiasi Semen Indonesia (ASI), permintaan semen nasional pada semester I tahun 2021 mencapai 29 juta ton, atau naik 7,3% dibandingkan periode sama tahun sebelumnya sebesar 27 juta ton. Menurut penelitian Marincovic (2013) menyebutkan bahwa dampak penting terhadap lingkungan yang ditimbulkan dalam proses pembuatan dan penggunaan beton diantaranya adalah:

1. Sumberdaya alam yang digunakan, baik sebagai bahan baku maupun bahan bakar
2. Penggunaan energi, terutama dalam proses pembuatan semen dan transportasi
3. Emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan, terutama saat proses produksi semen, yang akan berdampak pada pemanasan global
4. Limbah pembongkaran konstruksi bangunan yang tidak terpakai

Kegiatan pembangunan atau konstruksi membutuhkan sumberdaya alam yang besar, yakni sekitar 40-60 % dari total produknya (Kamali *et al.* 2019), dan berkontribusi terhadap 5% emisi gas rumah kaca (Smith dan Durham 2016).

Ada tiga tahapan utama dalam proses produksi semen menurut (Del Strothler 2019) yakni:

1. Penyiapan bahan baku termasuk penambangan, penggilingan, homogenisasi
2. Proses pembakaran termasuk pemanasan awal dan pendinginan *clinker*
3. Proses penghalusan termasuk pencampuran bahan tambahan dan penyimpanan semen

PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Pabrik Cilacap pada awalnya bernama PT Semen Nusantara didirikan berdasarkan hasil rapat Badan Koordinasi Penanaman Modal Asing (BKPM) pada tanggal 20 Desember 1973 yang menyatakan kelayakan terhadap proyek proposal pendirian pabrik semen di Cilacap dalam rangka penanaman modal asing. PT Solusi Bangun Indonesia Pabrik Cilacap merupakan salah satu pabrik yang dimiliki oleh PT Solusi Bangun Indonesia Tbk yang berlokasi di Kabupaten Cilacap dengan memproduksi 1 tipe semen yaitu *Portland Composite Cement* (PCC). Bahan baku utama pembuatan semen terdiri dari batu kapur (*limestone*), tanah liat (*clay*), pasir silika, dan pasir besi. Batu kapur (*limestone*) diambil dari penambangan di Pulau Nusakambangan, kemudian dibawa ke pabrik melalui sungai Kalidonan menggunakan tongkang atau perahu



pengangkut yang didorong menggunakan kapal tongkang. Bahan baku tanah liat (*clay*) diperoleh dari penambangan di Jeruklegi. Semua bahan baku dan bahan bakar yang dibutuhkan tersebut di olah menjadi semen di Pabrik Cilacap.

Produk semen yang dihasilkan kemudian diangkut menggunakan truk semen menuju *Batching Plant* di Bantul, Jogjakarta sebagai bahan baku utama dalam pembuatan beton siap pakai (*ready mix concrete*). *Batching Plant* Bantul merupakan salah satu pabrik pembuatan beton siap pakai yang dimiliki oleh PT Solusi Bangun Beton, anak perusahaan PT Solusi Bangun Indonesia yang berlokasi di Jogjakarta. Pabrik ini didirikan pada tanggal 10 Mei 2010 di Kabupaten Bantul Jogjakarta dengan kapasitas produksi 60m<sup>3</sup> beton per jam. Produk beton siap pakai yang dihasilkan kemudian dipasarkan untuk daerah di sekitar Jogjakarta.

Emisi karbon dioksida di atmosfer berasal dari 3 sumber utama yakni oksidasi dari bahan bakar fosil, penggundulan hutan atau alih guna lahan, dan dekomposisi senyawa karbonat seperti yang dihasilkan dalam proses pembuatan semen (Andrew 2018). Dalam proses proses pembuatan semen tersebut sekitar separuh emisi karbon dioksida berasal dari dekomposisi senyawa karbonat dalam bahan baku dan sisanya dari pembakaran bahan bakar fosil (Hendrik *et al.* 1998). Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah salah satu gas rumah kaca yang paling besar jumlahnya dan berkontribusi paling signifikan terhadap pemanasan global dibanding gas rumah kaca lainnya (Benhelal *et al.* 2013). Menurut penelitian Mahlia (2013) dan Zhang *et al* (2012) menyimpulkan bahwa pemanasan global terjadi diakibatkan adanya emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) yang diakibatkan oleh kegiatan manusia jika tidak dilakukan pengendalian dan mitigasi. Untuk itulah tantangan utama bagi industri semen adalah bagaimana memproduksi produk semen ramah lingkungan untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumennya.

Komposisi terbesar dari semen adalah *clinker*, yang terbentuk dari hasil pembakaran batu kapur (*limestone*) pada temperatur tinggi di dalam *kiln* (Van Oss dan Pandovani 2002). Dalam proses pembakaran ini *calcium carbonate* terdekomposisi menghasilkan CaO dan CO<sub>2</sub> atau disebut proses kalsinasi. Disinilah proses utama pembuatan semen yang akan menimbulkan dampak lingkungan besar yakni emisi gas rumah kaca (*greenhouse gases*) karena material bahan bakar dan bahan baku sama-sama menghasilkan gas CO<sub>2</sub> (Chen *et al.* 2010). Hal ini disebabkan oleh proses fisika dan kimia dalam menghasilkan semen dari bahan baku kapur (*limestone*) menjadi semen setengah jadi (*clinker*) hingga menjadi produk semen yang sudah tidak bisa dihindarkan (Schneider 2019). Proses kalsinasi akan menghasilkan lebih dari 50% dari total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan saat proses pembuatan semen (Huntzinger dan Eatmon 2009).

Dalam proses pembuatan semen dibutuhkan energi panas dan energi listrik yang besar. Energi panas dibutuhkan untuk melebur bahan-bahan baku utama semen. Energi listrik dibutuhkan untuk menggerakkan mesin-mesin penggilingan dan penghalusan mulai dari mesin penghancur (*chruser*), penggilingan bahan baku (*raw mill*), tungku pembakaran (*kiln*) dan penggilingan akhir (*finish mill*). Kebutuhan biaya energi panas dan energi listrik industri semen menurut *European Commission* tahun 2010 adalah sekitar 40% dari keseluruhan biaya operasional. Menurut data *International Energy Agency* (IEA-WBCSD 2018) kebutuhan energi di industri semen 7% atau setara 10,7 exajoule (EJ) dari total kebutuhan seluruh energi di industri. Industri semen menduduki peringkat ketiga sebagai industri dengan konsumsi energi yang tinggi (Mahasenan *et al.* 2014).



*Life Cycle Assessment (LCA)* dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja suatu proses produksi, dan dapat digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dalam proses produksi semen (Chen *et al.* 2010). LCA digunakan sebagai metode yang dapat menganalisis dampak proses produksi *clinker* (Boesch dan Hellweg 2010). Metode LCA merupakan metode yang terstruktur dan sudah standar yang menghitung keseluruhan emisi dan kebutuhan bahan baku, serta dampak lingkungan yang ditimbulkan suatu produk sejak proses ekstraksi bahan baku hingga akhir hidup produk tersebut. Berdasarkan panduan (ISO 14040:2006) menjelaskan bahwa metode LCA terdiri dari 4 tahapan, yakni tahap definisi tujuan dan lingkup, tahap analisis inventori, tahap penilaian dampak, dan tahap interpretasi. Menurut penelitian Chen *et al.* (2010) yang menggunakan metode LCA berdasarkan *database CML (Institut of Environmental Science 2013)* menunjukkan bahwa, dampak lingkungan potensial dalam proses produksi semen adalah *Global Warming Potential (GWP)*, *Acidification Potential (AP)*, *Abiotic Depletion Potential (ADP)*, *Eutrophication (EP)* dan *Photochemical Oxidation (POP)*. Dari kelima dampak potensial tersebut, *Global Warming* adalah dampak potensial yang paling besar ditimbulkan. Menurut penelitian Huntzinger dan Eatmon (2009), dan Valderrama *et al.* (2012) bahwa untuk menghasilkan 1 ton semen, akan menimbulkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.6 – 1.0 ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer.

Dalam kajian LCA, tahap pertama yang harus dilakukan adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup. Dalam tahap ini ditentukan juga batasan sistem dan satuan produk yang akan dikaji (ISO 14040:2006). Berdasarkan (EN 16757:2017) tentang *Sustainable Construction* menyebutkan ada empat tahapan dalam siklus hidup produk semen, yakni tahap produksi (*production stage*), tahap konstruksi (*construction stage*), tahap penggunaan (*use stage*), dan tahap akhir hidup (*end of life stage*). Batasan studi (*System boundary*) LCA dapat dilakukan dari *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to gate* atau *gate to grave*. Batasan *Cradle to grave* dimulai dari proses ekstraksi bahan baku hingga tahap akhir siklus hidup suatu produk. *Cradle to gate* dimulai dari proses ekstraksi bahan baku hingga satu tahapan proses produksi berikutnya. *Gate to gate* dimulai dari satu tahapan proses produksi hingga tahapan proses berikutnya, dan *Gate to grave* adalah dimulai dari satu tahapan proses produksi hingga akhir siklus hidup produk tersebut. Dalam kesempatan ini, peneliti akan melakukan studi LCA dengan batasan studi *cradle to grave* dan menganalisis penggunaan energi serta memfokuskan pada potensi dampak pemanasan global (*Global Warming Potential*) yang ditimbulkannya. Dalam kajian LCA, salah satu yang akan ditentukan adalah terkait penentuan hotspot, yakni titik dalam suatu unit proses yang menghasilkan dampak paling besar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Saat ini, permintaan produk semen sebagai bahan bangunan terus meningkat. Namun demikian, hingga saat ini belum ditemukan bahan bangunan yang dapat menggantikan semen sebagai komponen utama dalam beton. Sementara itu, emisi gas rumah kaca dan penggunaan energi sepanjang sistem produk semen cukup signifikan, yang nantinya akan berdampak pada potensi dampak pemanasan global. Potensi dampak pemanasan global atau *Global Warming Potential (GWP)* dan penggunaan energi yang terjadi di sepanjang sistem produk semen dapat di analisis

menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Hasil kajian LCA juga dapat digunakan untuk pertimbangan dalam melakukan efisiensi penggunaan material dan energi untuk memproduksi semen melalui perbaikan yang terus menerus.

### 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan inventori data di sepanjang sistem produk semen
2. Melakukan kajian potensi dampak pemanasan global (*Global Warming Potential*) dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA)
3. Menghitung penggunaan energi sepanjang sistem produk semen
4. Menentukan *hotspot* dalam proses sistem produk semen

### 1.4 Manfaat Penelitian

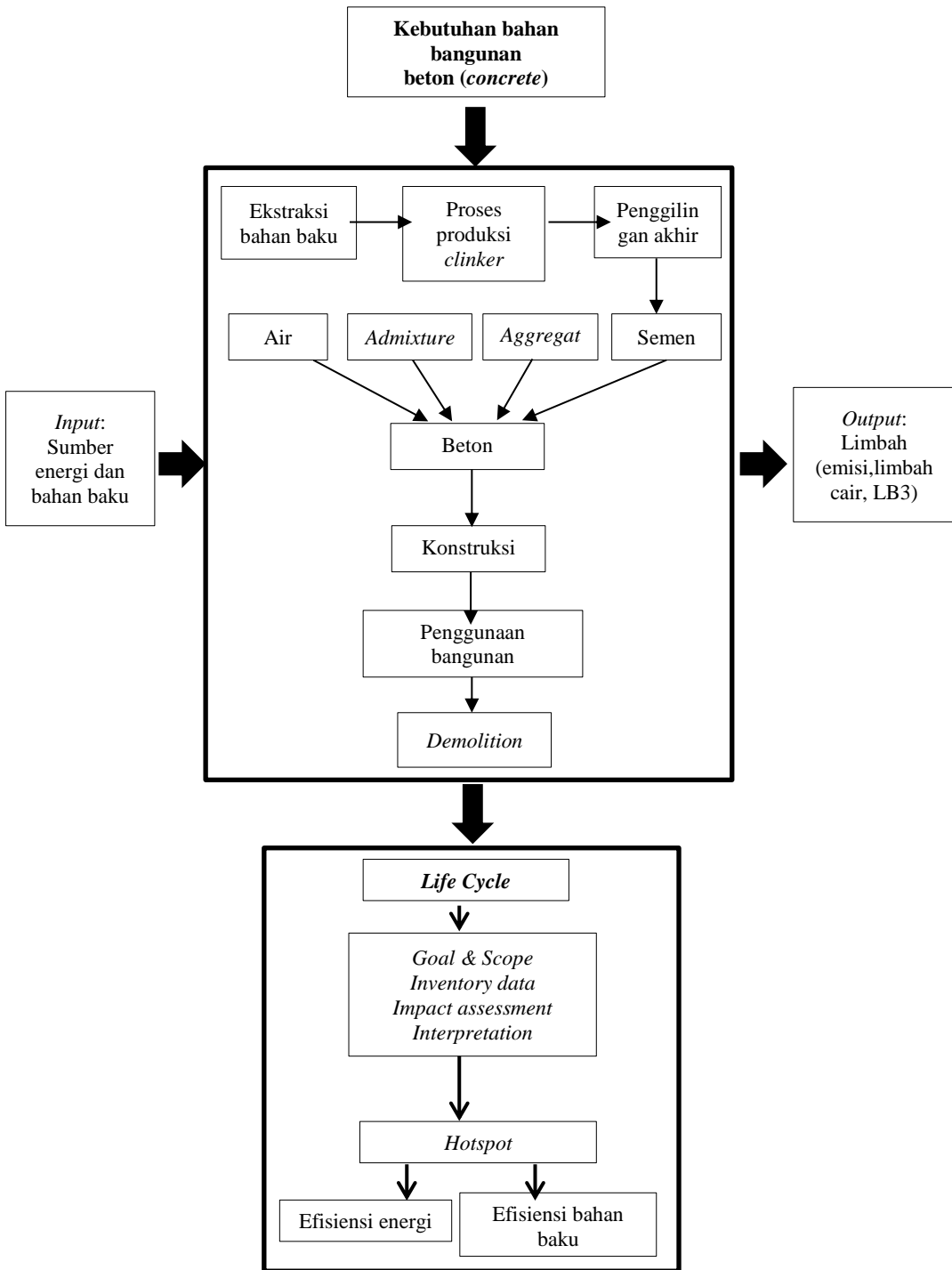
Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi bagi industri semen dalam melakukan kajian *Life Cycle Assessment* (LCA) khususnya dalam upaya efisiensi penggunaan sumberdaya alam dan energi serta tahapan LCA yang telah dilakukan dapat digunakan saat pengajuan deklarasi produk ramah lingkungan (ekolabel Tipe III) bagi produk semen.

### 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini penulis mengambil judul “Kajian Dampak Pemanasan Global dan Analisis Energi melalui Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) di Industri Semen PT SBI Pabrik Cilacap”, dengan batasan kajian *cradle to grave*. Penelitian ini meliputi seluruh tahapan daur hidup produk semen sesuai batasan sistem dalam standar EN 15804:A2 tahun 2019, dimulai dari tahap pembuatan bahan baku beton, khususnya tahap pemuatan semen (*manufacturing*), kemudian tahap konstruksi (*construction*), tahap penggunaan bangunan (*use*) dan tahap akhir (*end of life*), dengan menggunakan perhitungan manual melalui program Microsoft Excel dan data tahun 2020.

### 1.6 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dari penelitian ini seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.1 dimulai dengan tingginya kebutuhan semen dalam pembuatan beton sebagai bahan bangunan. Namun demikian proses produksi beton (*concrete*) terutama proses produksi semen membutuhkan energi yang besar, sumberdaya alam yang banyak dan berpotensi terhadap dampak pemanasan global (*Global Warming Potential*). Dari pemikiran itulah perlu dilakukan suatu kajian yang dapat mengetahui *hotspot* penggunaan energi dan potensi dampak pemanasan global sepanjang daur hidup sistem produk semen (*cradle to grave*) dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Dengan mengetahui *hotspot* maka diharapkan dapat dilakukan program dan langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan potensi dampak pemanasan global.



Gambar 1.1 Kerangka pemikiran penelitian

## II TINJAUAN PUSTAKA

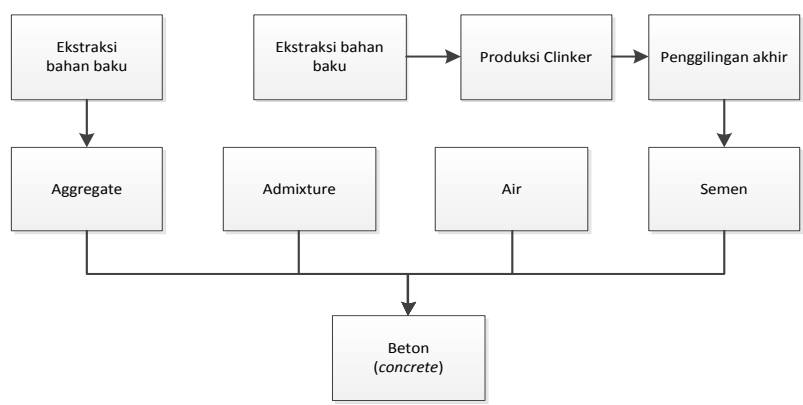
### 2.1 Pemanasan global

Pemanasan global adalah proses terjadinya peningkatan suhu bumi akibat adanya gas-gas rumah kaca (*greenhouse gases*) di atmosfer. Dengan meningkatnya gas-gas rumah kaca yang berasal dari emisi udara di atmosfer, maka akan berdampak pada meningkatnya suhu bumi yang kemudian akan berdampak buruk terhadap ekosistem secara global. PBB memiliki target pada 2030 terkait *Sustainable Development* berdasarkan pertemuan para pemimpin dunia dalam konferensi *Paris Agreement* pada September 2015 yakni untuk mencegah pemanasan global dan dampaknya. Dalam konferensi tersebut disepakati untuk mempertahankan kenaikan suhu bumi kurang dari 2° celcius dibanding dengan sebelum masa revolusi industri (Schneider 2019). Kegiatan konstruksi merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca yang cukup besar, yakni sekitar 40-50% (Kamali *et al.* 2019). Emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan dari kegiatan konstruksi tersebut, sebagian besar berasal dari proses produksi semen (Gursel 2014).

Dalam studi yang dilakukan *Cement Sustainability Initiative* (CSI) disebutkan tentang beberapa langkah yang dapat dilakukan oleh industri semen dalam rangka menurunkan emisi gas rumah kaca, yakni dengan cara meningkatkan efisiensi energi, mengganti bahan bakar konvensional dengan bahan bakar alternatif, dan mengurangi jumlah *clinker* dalam proses penggilingan akhir. Saat ini teknologi yang sedang dikembangkan dalam rangka menurunkan emisi gas rumah kaca dalam proses industri adalah teknologi *Carbon Capture Storage* (CCS) (Vatopoulos dan Tzimas 2012).

### 2.2 Produksi beton (*concrete*)

Beton (*concrete*) adalah campuran antara semen, air dan *aggregate*, jika diperlukan akan ditambahkan sedikit *admixture* (CEMBUREAU 2013). Jumlah bahan baku *aggregate* seperti batu pecah, pasir, kerikil atau duar ulang beton yang dibutuhkan sekitar 70-80% dari total campuran (Xia *et al.* 2020). Jenis *aggregate* yang digunakan tergantung dari jenis beton yang akan dibuat. Proses produksi beton dilakukan seperti dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses produksi beton

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Beton selain lazim digunakan dalam konstruksi bangunan namun juga banyak menghasilkan limbah ke lingkungan sepanjang proses produksi, konstruksi, perawatan dan pembongkaran bangunan (Kim *et al.* 2017). Menurut penelitian (Kawai *et al.* 2005) menyebutkan bahwa dampak lingkungan global dan lokal dari penggunaan beton diantaranya adalah pemanasan global, kerusakan lapisan ozon, konsumsi sumberdaya alam dan energi, *acidification*, emisi udara, pencemaran air dan lainnya.

### 2.3 Produksi semen

Menurut *The European Cement Association* (CEMBUREAU 2013) semen adalah bahan penting dalam pembuatan beton dan mortar yang dibuat dari campuran batu kapur (*limestone*), tanah liat (*clay*), pasir silika (*silica*) dan pasir besi (*iron sand*). Campuran bahan baku tersebut dibakar pada suhu tinggi hingga mencair dan bereaksi secara kimia menghasilkan klinker (*clinker*) kemudian digiling dengan ditambahkan *gypsum* dan material tambahan lainnya menjadi produk semen yang disebut semen *portland* (IEA-WBCSD 2018).

Semen digunakan dengan bahan bangunan lain dan tidak bisa digunakan tersendiri. Campuran semen, pasir, batu kerikil dan air akan membentuk beton (*concrete*), sedangkan semen yang dicampur dengan pasir dan air akan membentuk *mortar*. Menurut *European Cemen Standard* (EN197-1 2011), semen dikategorikan menjadi beberapa jenis, yakni:

1. Semen tipe I *Portland cement* (kandungan *clinker* >95%)
2. Semen tipe II *Portland composite cement* (kandungan *clinker* 65-94 %)
3. Semen tipe III *Blast furnace cement* (kandungan *clinker* 5-64%)
4. Semen tipe IV *Pozzolan cement* (kandungan *clinker* 45-89%)
5. Semen tipe V *Composite cement* (kandungan *clinker* 20-64%)

Bahan tambahan selain *clinker* yang dapat dicampurkan untuk membuat jenis-jenis semen adalah:

1. *Fly ash* adalah sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan di Pembangkit listrik batu bara. Kandungan *fly ash* adalah senyawa *Silicon dioxide* (SiO<sub>2</sub>) dan *Calcium oxide* (CaO)
2. *Granulated Blast Furnace Slag* (GBFS) adalah material yang dihasilkan dari slag besi yang didinginkan dengan air yang kemudian dihaluskan
3. *Pozzolana* adalah bahan alam yang dihasilkan dari abu gunung berapi

Proses produksi semen dapat dibagi menjadi 3 tahap utama (Del Strothler 2019) (Moya *et al.* 2010) seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2, yakni:

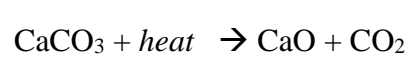
1. *Penyiapan bahan baku (raw material preparation)*  
Merupakan proses untuk mendapatkan bahan baku dari alam menjadi bahan baku yang siap diolah lebih lanjut. Proses ini terdiri dari proses peledakan (*blasting*), penambangan bahan baku (*quarrying*), pengangkutan (*hauling*), dan penghancuran (*crushing*) serta penimbunan (*stockpiling*). Proses selanjutnya adalah pencampuran bahan baku (*prehomogenization*) dan penggilingan halus (*raw meal grinding*) menjadi bahan baku (*rawmeal*)
2. *Kalsinasi (clinkerization)*  
Merupakan proses utama dalam produksi semen, dimana bahan baku semen yang telah halus di homogenisasi dalam *blending silo*. Proses kalsinasi ini

termasuk pemanasan awal (*preheating*), kalsinasi (*precalcining*), produksi klinker (*clinker production*) dalam tanur putar (*rotary kiln*), proses pendinginan (*cooling*) dan penyimpanan produk klinker (*storing*)

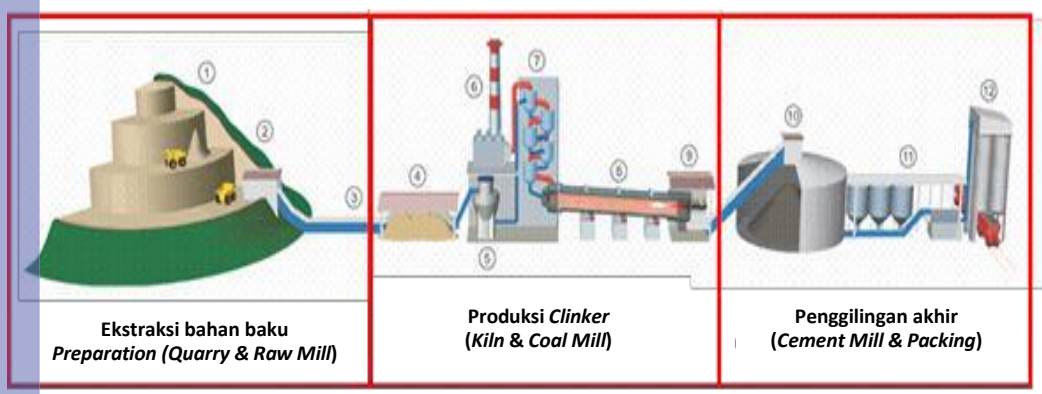
3. Penggilingan akhir (*finish mill*)

Merupakan proses akhir pembuatan semen. Proses penggilingan akhir terdiri dari penggilingan (*cement grinding*) campuran *clinker* dengan bahan tambahan yang lainnya menjadi produk semen dan penyimpanan produk dalam *silo* semen

Proses utama dalam pembuatan semen adalah pada proses pembakaran bahan baku *raw meal* menjadi *clinker* dalam *kiln* dengan menggunakan bahan bakar batu bara seperti Gambar 2.2. Proses ini dikenal dengan nama proses kalsinasi yang ditandai dengan terjadinya reaksi kimia seperti berikut:



Pada proses pembakaran ini terjadi dekomposisi batu kapur yang menghasilkan emisi karbon dioksida ke udara sebesar 60-65 % dari total emisi yang ditimbulkan, dan sisanya dari bahan bakar (Gartner 2004). Saat proses kalsinasi inilah yang membutuhkan energi paling besar supaya terjadi reaksi kimia di dalam *kiln* dengan temperatur mencapai 1.450 °C. Reaksi kimia dan fisika yang terjadi saat proses kalsinasi, yakni melelehnya bahan baku *raw meal* menjadi *clinker* (Sorrentino 2011).



Gambar 2.2 Tahapan proses produksi semen

Menurut (Szabo *et al.* 2003) ada beberapa jenis *kiln*, yakni:

1. *Wet kiln*: *kiln* jenis ini digunakan jika kandungan air bahan baku 15-25%, dengan konsumsi energi listrik yang lebih rendah namun membutuhkan energi panas yang tinggi untuk menguapkan air.
2. *Dry kiln* dengan *preheater* 4-6 *cyclone preheater*. Dengan sistem ini akan memperpendek *kiln* yang mengurangi konsumsi energi.
3. *Dry kiln* dengan dengan *preheater* dan *precalciner*, yakni adanya pembakaran tambahan antara *preheater* dan *kiln*. *Kiln* jenis ini dapat mengurangi 8-11 % kebutuhan energi dibanding *kiln* tanpa *precalciner*.

Menurut penelitian (Serres *et al.* 2016) rata-rata emisi GWP yang dihasilkan dalam proses produksi semen sebesar 810 kg CO<sub>2</sub>eq/ton semen. Emisi GWP ini timbul di sepanjang proses produk konstruksi, termasuk proses konstruksi, transportasi, dan penggunaan mesin-mesin dalam proses manufaktur.

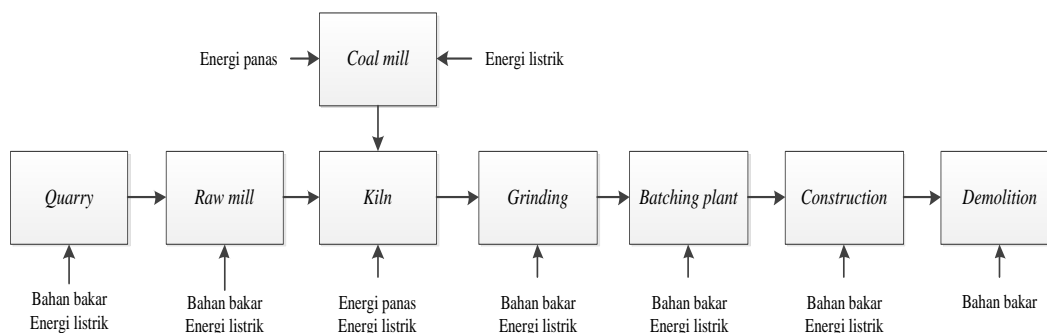
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## 2.4 Analisis Energi

Konsumsi energi listrik dan panas merupakan komponen yang cukup besar dalam proses produksi semen. Dari total kebutuhan energi tersebut, 75% adalah kebutuhan energi panas dan 25% adalah kebutuhan energi listrik (Moya *et al.* 2010). Rata-rata, biaya energi dalam bentuk bahan bakar dan listrik-mewakili 26% dari total biaya dalam memproduksi satu ton semen (Khurana *et al.* 2002). Sebagian besar energi listrik digunakan untuk mengoperasikan peralatan proses, produksi dan utilitas, sedangkan sisanya digunakan untuk fasilitas pengkondisi udara ruangan kantor, fasilitas penerangan kantor dan pabrik serta fasilitas pendukung lainnya. Peralatan yang merupakan konsumen utama energi listrik dalam proses pembuatan semen adalah *mill* dan *fan* besar (terutama di sistem *kiln* dan *grinding mill*). Sekitar 33% energi listrik utamanya digunakan dalam proses penyiapan bahan baku dan pembuatan *clinker*, sedangkan dalam proses penggilingan akhir sebesar 38% (Khurana *et al.* 2002).

Selain energi listrik, industri semen juga menggunakan batubara, IDO serta telah mengimplementasikan bahan bakar alternatif (AFR) dari fosil dan *biomassa* (sekam padi) sebagai sumber energi panas. Penggunaan bahan bakar solar dibutuhkan saat *start up* penyalaan api dalam *kiln*, serta konsumsi untuk sarana transportasi alat berat dan alat transport lainnya di dalam pabrik. Batubara merupakan bahan bakar fosil utama dalam proses pembakaran di *kiln*. Batubara yang berasal dari beberapa sumber dicampurkan di area pencampuran untuk mendapatkan nilai kalori sesuai yang ditetapkan. Sekitar 90% konsumsi energi panas dibutuhkan dalam proses pembuatan *clinker* (Afkhami *et al.* 2015). Menurut kajian (Fellaou & Bounahmidi 2016) aliran utama konsumsi energi dalam proses produksi semen dapat dilihat dalam Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Aliran energi dalam sistem produk semen

## 2.5 Life Cycle Assessment

*Life Cycle Assessment* (LCA) adalah metode yang membahas aspek lingkungan dan dampak lingkungan potensial sepanjang daur hidup produk, sejak dari akuisisi bahan baku, produksi, penggunaan, pengolahan akhir, daur ulang dan pembuangan akhir atau disebut *cradle to grave* (ISO 14040 2006). LCA sudah lazim digunakan untuk melakukan kajian dampak lingkungan di industri semen (Lu *et al.* 2009). LCIA merupakan penilaian terhadap dampak lingkungan dengan menggunakan metode yang sesuai dengan tempat dan bahan yang akan diteliti.

Semua dampak penggunaan dari sumber daya dan emisi yang dihasilkan dikelompokkan dan dikuantifikasi ke dalam kategori dampak tertentu yang kemudian diberi bobot sesuai dengan tingkat kontribusinya.

Ada dua pendekatan dalam melakukan kajian LCA bahan bangunan (Saynajoki *et al.* 2017), yakni:

1. *Process based LCA (bottom-up)* : informasi diambil dari bahan baku dan efisiensi produksi
2. *Input-output analysis based (top-down)* : menggunakan data makro ekonomi untuk analisis

*Life cycle assessment* memiliki beberapa fitur penting, yakni:

1. Menilai secara sistematis aspek dan dampak lingkungan sistem produk
2. Bersifat relatif karena memiliki fitur unit fungsi
3. Tingkat rincian dan skala waktunya sangat bervariasi, tergantung definisi tujuan dan lingkup
4. Jaminan kerahasiaan dan hak kepemilikan dibuat sesuai maksud penerapan LCA
5. Metodologi LCA terbuka untuk menerima masukan dari penemuan ilmiah baru
6. Tidak ada metode khusus untuk melaksanakan LCA
7. LCA merupakan pendekatan relatif berdasarkan unit fungsi
8. LCA membahas dampak lingkungan potensial

Kajian LCA dapat membantu dalam:

1. Mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan kinerja lingkungan dari produk di berbagai titik dalam daur hidupnya
2. Menginformasikan kepada pengambil keputusan di industri, organisasi pemerintah atau non pemerintah
3. Pemilihan indikator yang relevan dari kinerja lingkungan, termasuk teknik pengukuran
4. Pemasaran, misalnya tentang penerapan *ecolabel*

Sesuai dengan panduan ISO 14040 (ISO 14040 2006) pada Gambar 2.4, tahapan kajian LCA terdiri dari:

#### 2.5.1 Tujuan dan lingkup (*goal and scope*)

Penentuan tujuan adalah tahap awal dimulainya kajian dan diikuti dengan penentuan ruang lingkup. Tujuan dari kajian ini juga didukung dengan penentuan batasan-batasan dan ruang lingkup penelitian. Menurut *American Institute Architects* (Bayer *et al.* 2010), ruang lingkup LCA dapat dibagi menjadi 4, yakni:

1. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang meninjau kegiatan yang terdekat, meliputi proses produksi (proses dalam pabrik).
2. *Cradle to gate*, ruang lingkup dari raw material sampai ke gate sebelum proses operasi, meliputi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi (proses dalam pabrik), digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk.
3. *Cradle to grave*, dimulai dari raw material sampai pada pemakaian produk dan produk selesai digunakan, termasuk bahan dan rantai produksi energi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap

produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya

4. *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari raw material sampai pada daur ulang material

#### 2.5.2 Analisis inventori (life cycle inventory)

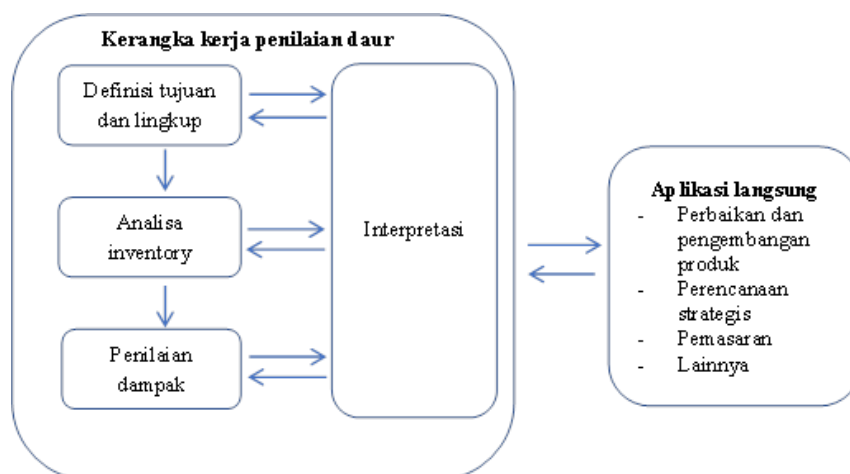
Tahap inventori daur hidup merupakan tahapan inventori data masukan/keluaran berkaitan dengan sistem yang sedang dikaji. Tahap ini mencakup pengumpulan data yang diperlukan untuk mencapai tujuan. Pada tahap ini dilakukan rekapitulasi data bahan bakar, bahan baku, konsumsi air dan energi yang digunakan pada setiap unit proses serta produk yang dihasilkan dari setiap unit, data emisi dan limbah berdasarkan data laporan perusahaan. Untuk satuan yang belum sama, maka dilakukan konversi nilai satuan data pada setiap unit proses dalam satuan yang sama untuk mempermudah pemasukan dan pengolahan data.

#### 2.5.3 Kajian dampak (life cycle impact assessment)

Tujuan tahap ini adalah untuk memberikan informasi tambahan untuk membantu dalam menilai system produk hasil *life cycle inventory* sehingga dapat lebih memahami arti pentingnya terhadap lingkungan.

#### 2.5.4 Interpretasi (data interpretation)

Merupakan tahap akhir dari kajian LCA yang merupakan rangkuman dari tahap sebelumnya yang dirangkum dan dibahas sebagai dasar untuk pengambilan kesimpulan, rekomendasi dan keputusan sesuai dengan definisi dan lingkup



Gambar 2.4 Tahapan LCA (ISO 14040, 2006)

Menurut penelitian Chaerul dan Allia (2019), keterwakilan data kajian LCA dipengaruhi oleh 3 aspek yang digunakan, yaitu geografi, lingkup waktu dan teknologi. Saat ini di Indonesia masih menggunakan database negara lain karena keterbatasan *Life Cycle Inventory* (LCI) dari Indonesia sendiri. *Database* yang sering digunakan adalah Ecoinvent, dimana dalam *database* Ecoinvent V. 3.1 terdapat 32 data inventori dari Indonesia. Perbedaan geografi dan perkembangan teknologi akan mempengaruhi keterwakilan LCA dalam memodelkan siklus hidup suatu produk dan kemudian akan menjadi keterbatasan kajian yang perlu disebutkan. *Life Cycle Assement* dalam ilmu manajemen juga dikenal sebagai alat

akuntansi manajemen lingkungan (*Environmental Management Accounting/EMA*) (Bicalho *et al.* 2017).

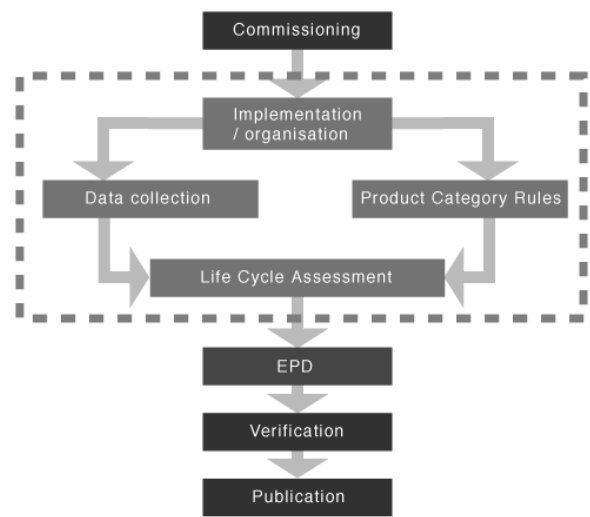
## 2.6 *Environmental Product Declaration (EPD) dan Product Category Rule (PCR)*

Deklarasi Produk Lingkungan atau *Environmental Product Declaration (EPD)* adalah merupakan dokumen informasi lingkungan dari suatu produk. EPD disusun untuk suatu produk tertentu dan mengacu pada Pengaturan Kategori Produk atau *Product Category Rule (PCR)*. EPD disusun dengan menggunakan data hasil dari studi LCA yang kemudian disesuaikan dengan PCR nya dengan mengacu pada (ISO 14025, 2006). EPD yang disusun berdasarkan ISO 14025 atau Ekolabel tipe III adalah untuk kegiatan bisnis ke bisnis namun tidak menutup kemungkinan bisnis ke konsumen dengan beberapa penyesuaian. EPD berbentuk dokumen yang didalamnya berisikan informasi yang harus disampaikan berdasarkan PCR.

Dokumen EPD berisi :

1. Deskripsi gambaran Perusahaan
2. Deskripsi produk
3. Komponen yang terkandung dalam produk
4. Informasi tambahan berupa: proses produksi, kandungan daur ulang, penggunaan material
5. Hasil kajian *Life Cycle Assessment (LCA)*
6. Statemen hasil kaji ulang EPD

Contoh proses pengajuan EPD dapat dilihat dalam gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 2.5 Proses pengajuan EPD

*Product Category Rule (PCR)* merupakan dokumen resmi bagian dari EPD yang berisi panduan dalam melakukan kajian *Life Cycle Assessment (LCA)*, yakni:

1. Batasan sistem : proses dan tahapannya, kriteria *cut off*
2. Unit fungsi : satuan yang digunakan, jumlah, berat
3. Definisi ruang lingkup : tahapan daur hidup
4. Kategori dampak : *GWP, Acidification*

PCR berfungsi untuk mengatur sejumlah hal terkait dengan penyusunan LCA agar

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



produk yang sejenis dapat diperbandingkan dalam suatu Deklarasi Produk Lingkungan (EPD). Dalam melakukan LCA, dapat menggunakan atau memodifikasi PCR yang sudah ada jika PCR produk yang dikaji sudah tersedia baik Internasional maupun Nasional.

Kategori produk yang dicakup oleh PCR, sejauh mungkin, berkaitan dengan fungsi produk, yaitu bahwa unit fungsional yang sama dapat diterapkan pada produk dalam ruang lingkungannya. Ketika mendefinisikan ruang lingkup kategori produk, aspek-aspek berikut harus dipertimbangkan:

1. Fungsi utama produk
2. Fungsi sekunder dari produk
3. Elastisitas harga, yaitu pertukaran dua produk dengan cara peningkatan harga untuk satu mengarah pada peningkatan harga yang lain
4. Hasil dari studi dan dari pengumpulan literatur LCA yang ada untuk kelompok produk
5. Kode *United Nations Central Product Classification* (UN CPC)
6. Definisi dan pelingkupan kategori produk yang digunakan dalam sistem serupa atau terkait lainnya, baik nasional maupun internasional

Definisi kategori produk harus dibuat sehingga Penyusunan PCR praktis dan layak dengan mempertimbangkan PCR yang ada, situasi pasar, struktur industri, pengguna potensial, dan ukuran kelompok pemangku kepentingan yang terkena dampak. Definisi kategori produk harus menyertakan sinonim serta informasi tentang produk serupa atau terkait yang tidak termasuk dalam ruang lingkup. Ruang lingkup kategori produk PCR dapat dipertimbangkan kembali selama penyusunan PCR, ketika PCR diperbarui, atau ketika PCR baru diusulkan. Pertimbangan harus didasarkan pada pengalaman yang diperoleh saat menggunakan PCR.

## 2.7 Penelitian terdahulu

Beberapa penelitian tentang *Life Cycle Assessment* (LCA) semen, beton dan bangunan terdahulu yang telah dilakukan:

### 2.7.1 Nugraha (2018)

Kajian ini menganalisis penggunaan energi dan dampak pemanasan global dengan batasan sistem *cradle to gate*. Studi kasus yang dilakukan adalah membuat perlakuan yang berbeda dalam penggunaan bahan bakar *kiln*, kasus 1 adalah 100% bahan batu bara, kasus 2 adalah substitusi batu bara sebesar 41%. Hasil kajian menunjukkan bahwa dalam kasus pertama membutuhkan energi panas 3.5 GJ/ton semen dan energi listrik 126.43 kWh/ton semen dengan dampak GWP 0.84 ton CO<sub>2e</sub>/ton semen. Untuk kasus kedua membutuhkan energi panas 3.03 GJ/ton semen dan energi listrik 117.92 kWh/ton semen dengan dampak GWP 0.92 ton CO<sub>2e</sub>/ton semen.

Tabel 2.1 Ringkasan penelitian Nugraha (2018)

Judul	Penggunaan serbuk gergaji sebagai substitusi bahan bakar pada proses pembakaran <i>kiln</i> di pabrik semen dengan pendekatan LCA
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI, LCIA
Material atau produk yang dikaji	Semen
Unit fungsi	1 ton semen
Fase tahapan kajian	Proses manufaktur, Transport
Batasan sistem	<i>Cradle to gate</i>

2.7.2 Harjanto (2012)

Kajian ini menganalisis komparasi antara bahan bakar batubara dengan biomassa dengan batas kajian *cradle to gate*. Hasil kajian untuk 4 skenario yang dilakukan yakni: (1) 100% batubara dengan dampak  $2,78 \times 10^{-1}$  Pt, (2) Campuran 90% batubara dan 10% biomassa dengan dampak  $2,24 \times 10^{-1}$  Pt, (3) Campuran 50% batubara dan 50% biomassa dengan dampak  $1,57 \times 10^{-1}$  Pt, (4) 100% biomassa dengan dampak  $8,5 \times 10^{-1}$  Pt. Kategori dampak terbesar adalah GWP untuk keempat scenario kajian yang berasal dari proses pembakaran dalam *kiln*.

Tabel 2.2 Ringkasan penelitian Harjanto (2012)

Judul	<i>Life Cycle Assessment</i> Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Pabrik Cilacap
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI, LCIA
Material atau produk yang dikaji	Semen
Unit fungsi	1 ton semen
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, Transport
Batasan sistem	<i>Cradle to gate</i>

2.7.3 Marincovic (2013)

Batasan sistem dalam kajian ini adalah *cradle to gate* dengan unit fungsi 1 m<sup>3</sup> beton. Hasil kajian dampak GWP proses semen sebesar 279,25 kg CO<sub>2</sub>eq, *aggregate* sebesar 2,68 kg CO<sub>2</sub>eq, *concrete* sebesar 5,71 kg CO<sub>2</sub>eq, transportasi sebesar 13,87 kg CO<sub>2</sub>eq. Total dampak GWP yang ditimbulkan adalah 301,52 kg CO<sub>2</sub>eq /m<sup>3</sup> beton. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses produksi semen adalah kontributor dampak GWP terbesar (93%) yang berasal dari proses pembuatan *clinker* dalam *kiln*.

Tabel 2.3 Ringkasan penelitian Marincovic (2009)

Judul	<i>Life Cycle Assessment (LCA) aspect of concrete</i>
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI, LCIA
Material atau produk yang dikaji	Beton
Unit fungsi	1 m <sup>3</sup> beton
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, Transport, <i>Construction, Use, End of life</i>
Batasan sistem	<i>Cradle to grave</i>

2.7.4 Gursel (2014)

Kajian ini mencakup proses produksi beton dan penggunaannya dalam konstruksi bangunan, sehingga batasan sistem kajian ini adalah *cradle to grave*. Tahapan proses dalam kajian ini adalah *Manufacturing, Construction, Operation, Maintenance, End of life*. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, pertama adalah kajian literatur terkait LCA semen, beton, dan bangunan, termasuk didalamnya tahapan ekstraksi bahan baku, konstruksi, operasi, perbaikan dan pemusnahan bangunan. Bagian kedua membahas tentang metode LCA, bagian ketiga membahas tentang LCA *tools* yang dibuat dan disebut *GreenConcrete LCA tool* dan bagian terakhir kajian ini membahas sebuah studi kasus dengan membandingkan dua buah struktur bangunan yang terbuat dari beton dan baja. Hasil kajian menunjukkan bahwa dalam daur hidup bangunan dengan struktur baja sumber utama dampak GWP dalam setiap tahapan proses adalah: tahap *material*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



*manufacturing* (54% berasal dari baja), tahap *construction* (42% berasal dari truk mixer), *transportation* (49% berasal dari pengangkutan bahan material), tahap *operation* (55% dari penghangat ruangan), tahap *maintenance* (31% berasal dari perbaikan lantai) dan tahap *end of life* (-161.4% berasal dari *recycle* baja). Sedangkan untuk struktur bangunan beton sumber dampak GWP terbesar dari setiap tahapan proses adalah: *material manufacturing* (59% berasal dari beton), tahap *construction* (52% berasal dari crane), *transportation* (49% berasal dari pengangkutan bahan material), tahap *operation* (55% dari penghangat ruangan), tahap *maintenance* (31% berasal dari perbaikan lantai) dan tahap *end of life* (-607% berasal dari *recycle* baja).

Tabel 2.4 Ringkasan penelitian Gursel (2006)

Judul	<i>Life Cycle Assessment of concrete : Decision-Support tool and Case Study Application</i>
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI, LCIA
Material atau produk yang dikaji	Bangunan
Unit fungsi	1 m <sup>2</sup> luas bangunan
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, Transport, <i>Construction, Use, End of life</i>
Batasan sistem	<i>Cradle to grave</i>

#### 2.7.5 Junnila (2006)

Kajian ini mengevaluasi perbandingan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh dua bangunan di Finlandia dan Amerika dengan masa pakai 50 tahun. Batasan sistem yang digunakan adalah dari proses *material production, construction, use, maintenance dan end of life*. Dampak yang dikaji adalah penggunaan energi, emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan PM<sub>10</sub>. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahap *use* bangunan membutuhkan 70% konsumsi energi. Pada tahap *maintenance* menimbulkan dampak lebih tinggi dibanding tahap konstruksi.

Tabel 2.5 Ringkasan penelitian Junnila (2006)

Judul	<i>Life Cycle Environmental effect of office building in Europe and United States</i>
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI
Material atau produk yang dikaji	Bangunan
Unit fungsi	1 m <sup>2</sup> luas bangunan
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, Transport, <i>Construction, Use, End of life</i>
Batasan sistem	<i>Cradle to grave</i>

#### 2.7.6 Sjunesson (2005)

Peneliti melakukan kajian terhadap dua jenis beton: *ordinary concrete* dan *frost-resistant concrete* dengan penambahan *superplastisizer*. Batasan sistem adalah *cradle to grave*. Hasilnya menunjukkan bahwa proses produksi bahan baku beton khususnya semen menjadi contributor utama terhadap dampak lingkungan. *Frost-resistant concrete* menimbulkan dampak lingkungan 24 - 41 % dibanding *ordinary concrete* karena lebih banyak mengandung semen dalam beton.

Tabel 2.6 Ringkasan penelitian Sjunesson (2005)

Judul	<i>Life Cycle Assessment of concrete</i>
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI
Material atau produk yang dikaji	Bangunan
Unit fungsi	1 m <sup>2</sup> luas bangunan
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, <i>End of life</i>
Batasan sistem	<i>Cradle to grave</i>

### 2.7.7 Huntzinger & Eatmon (2009)

Kajian dilakukan untuk produk semen dengan berbagai tipe: i) *Portland cement*, 2) *Blended cement (25% pozzolan)*, 3) *Cement CKD*, 4) *Portland cement with CKD*. Kategori dampak yang dikaji adalah GWP, *acidification*, *eutrophication*, logam berat, *carcinogen*, *winter smog*, *use of energy resources*. Hasil kajian menunjukkan bahwa *Blended cement* menimbulkan dampak lingkungan yang lebih baik, terutama terkait emisi CO<sub>2</sub>.

Tabel 2.7 Ringkasan penelitian Eatmon & Huntzinger (2009)

Judul	<i>A life-cycle assessment of portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies</i>
Pendekatan kajian LCA	Proses, LCI, LCIA
Material atau produk yang dikaji	<i>Portland cement</i> <i>Blended cement ( with natural pozzolans)</i> <i>Portland cement with recycled CKD</i> PC with CO <sub>2</sub>
Unit fungsi	1 ton semen
Fase tahapan kajian	Proses Manufaktur, <i>End of life</i>
Batasan sistem	<i>Cradle to grave</i>

### III METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Solusi Bangun Indonesia Pabrik Cilacap, berlangsung pada bulan Juli – September 2021.

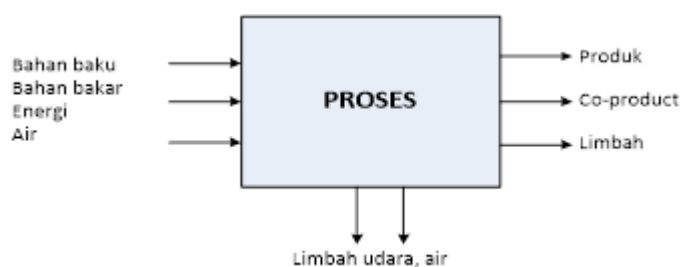
#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah (1) komputer, (2) alat tulis, (3) *software* Excel. Bahan penelitian yang akan digunakan adalah data primer dan sekunder berupa data-data penggunaan energi listrik dan energi panas, data-data *input* dan *output* sistem produk semen dari tiap tahapan dalam unit proses pembuatan semen (*product stage*), tahapan penggunaan semen sebagai bahan bangunan beton (*used stage*) hingga proses pembongkaran bangunan (*end of life*) dan *database Ecoinvent* 3.1.

#### 3.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dikelompokkan menjadi 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data hasil pencatatan observasi lapangan yang dapat langsung dijadikan sebagai *input* inventori data. Data sekunder merupakan data yang diperoleh berdasarkan referensi dari hasil penelitian terdahulu dan berupa data dari *database Ecoinvent* 3.1. Inventori dilakukan berdasarkan *input* dan *output* material di dalam sistem. Pada tahap LCI, semua data yang dimasukkan adalah data proses produksi yang digunakan untuk memproduksi, mengangkut bahan baku, bahan bakar dan produk.

Pengumpulan data dilakukan dengan pengecekan terhadap satuan yang digunakan supaya menggunakan satuan yang sama, kemudian *input* dan *output* tersebut dikuantifikasikan. Pada tahap analisis inventori akan dilakukan pengumpulan data primer dan data sekunder dalam sistem produk semen untuk tiap-tiap tahapan proses (Gambar 3.1) yang tercakup dalam batas sistem.



Gambar 3.1 *Input-Output* setiap unit proses

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pengumpulan data ini adalah:

- Pembuatan diagram alir proses yang menguraikan semua unit proses sesuai dengan batas sistem yakni dari ekstraksi bahan baku, proses pembuatan semen, proses pembuatan beton, konstruksi bangunan, hingga pemusnahan bangunan.
- Mendeskripsikan setiap unit proses secara rinci terkait faktor yang mempengaruhi masukan dan keluaran

c. Pengumpulan data-data konsumsi energi, masukan dan keluaran (*input-output*) material dari keseluruhan proses produksi semen dan proses penggunaan semen sebagai bahan baku pembuatan beton (*concrete*) selama tahun 2020, hingga proses pembongkaran bangunan sebagai akhir hidup sistem produk semen dari data referensi

d. Data yang akan digunakan dalam proses kajian daur hidup (LCA) terdiri dari :

- Penggunaan bahan baku
- Penggunaan bahan bakar untuk alat berat maupun untuk proses produksi
- Penggunaan energi listrik
- Penggunaan air
- Emisi ke udara/air

### 3.4 Jenis dan sumber data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data pada setiap unit proses yang tercakup dalam batas sistem meliputi data bahan baku, bahan bakar, penggunaan energi listrik, konsumsi air dan emisi ke udara dan tanah pada tahun 2020. Data yang dikumpulkan dikelompokkan menjadi 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder. Adapun definisi dari data primer dan data sekunder adalah:

- a. Data primer: data yang didapatkan baik dengan cara diukur ataupun dihitung sesuai dengan hasil monitoring perusahaan.
- b. Data sekunder: data yang berasal dari studi literatur atau jurnal berkaitan dengan perhitungan yang dibutuhkan

Data *input* terdiri dari:

- a. Bahan baku: limestone, clay, pasir besi, pasir silika, *bottom ash*, *spent catalyst*, *spent clay*, *paper sludge*, *drilling cutting*, tanah terkontaminasi, *gypsum*, *fly ash*
- b. Bahan bakar/energi: Batu bara, listrik, solar,IDO (bahan bakar alat berat)
- c. Penggunaan air: Air hujan, PDAM

Data *output*/produk terdiri dari:

- a. Emisi ke udara: Partikulat, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, HCl, CO<sub>2</sub>
- b. Emisi ke tanah: Limbah B3 dan limbah non B3
- c. Produk: beton

### 3.5 Metode analisis *Life Cycle Assessment* (LCA)

Metode LCA adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan, penggunaan energi dan bahan baku dari suatu sistem produk sepanjang daur hidup produk tersebut. Analisis yang akan dilakukan mencakup beberapa variabel data, meliputi bahan bakar, bahan baku, produk, dan limbah atau emisi (ke udara, tanah, dan air) yang dihasilkan atau digunakan dalam proses produksi. Metode LCA ini terdiri dari 4 tahapan utama (Gambar 2.4), yakni: penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*), inventori data (*inventory*), kajian dampak (*impact assessment*) dan interpretasi (*interpretation*). Batasan sistem yang akan dikaji dibuat untuk mengidentifikasi material maupun energi yang menjadi *input* serta produk, emisi dan limbah yang menjadi *output* dalam suatu proses. Kemudian *input* dan *output* tersebut dikuantifikasikan pada tahap inventori data. Selanjutnya dampak lingkungan dihitung berdasarkan data pada inventori data. Hasilnya akan muncul sebagai dampak lingkungan yang bersifat kuantitatif, dimana hasil ini yang akan diinterpretasikan sebagai hasil kajian LCA.



## IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Tujuan dan ruang lingkup (*Goal and Scope*)

Kajian daur hidup dimulai dengan menentukan tujuan dan ruang lingkup. Tujuan dari kajian adalah menentukan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan proses maupun produk suatu industri. Tujuan dari kajian juga didukung dengan penentuan batasan-batasan dan ruang lingkup penelitian.

Dalam penelitian ini telah ditentukan tujuan dilakukannya kajian LCA adalah:

- 1) Melakukan inventori data di sepanjang sistem produk semen
- 2) Melakukan kajian potensi dampak pemanasan global (*Global Warming Potential*) dengan metode Life Cycle Assessment (LCA)
- 3) Menghitung penggunaan energi
- 4) Menentukan *hotspot* sepanjang sistem produk semen

Dan untuk ruang lingkup kajian mencakup:

#### a. Sistem produk

Kajian yang dilakukan mencakup sistem produk semen yang dihasilkan PT Solusi Bangun Indonesia Pabrik Cilacap yang kemudian dijadikan sebagai bahan baku beton di *Batching Plant* Jogja.

#### b. Fungsi dari sistem produk

Fungsi dari suatu sistem produk perlu dinyatakan secara eksplisit dan jelas dalam bagian ruang lingkup, agar dapat dibandingkan dengan sistem produk sejenis yang dapat memenuhi fungsi serupa. Berikut ini adalah unit yang digunakan beserta fungsinya dari sistem produk semen sesuai dengan batasan sistem.

#### 1. Proses *cradle* terdiri dari:

##### 1. *Raw material extraction & Raw meal preparation*

Dalam tahap ini terdapat dua proses, yakni:

##### i. *Quarry* (penambangan)

Bahan baku yang ditambang adalah batu kapur dan tanah liat. Proses penambangan batu kapur berlangsung melalui beberapa tahapan yaitu pengeboran, peledakan, pengerukan dan pengumpulan material. Batu kapur diangkut dengan truk dan dituangkan ke dalam hopper sebelum dihancurkan oleh alat *crusher*. *Crusher* digunakan untuk menghancurkan batu kapur. Bahan baku tanah liat diambil dari tambang di Jeruklegi dan diangkut dengan truk ke pabrik. Bahan baku pasir silika dan pasir besi didatangkan dari daerah lain di luar pabrik.

##### ii. *Raw meal preparation*

Bahan baku semen yang terdiri dari batu kapur, pasir silika, pasir besi dan tanah liat dicampurkan dari masing-masing *bin* dengan komposisi tertentu dengan menggunakan *belt conveyor* dimasukkan dan dihaluskan bersama-sama di dalam *roller mill*. Keempat bahan baku tersebut akan mengalami penghalusan dan penguapan air. Udara panas yang digunakan untuk mengeringkan *raw meal* ini berasal dari sisa udara panas dari *preheater* dan *clinker cooler*. *Raw mill* memiliki *filter*



yang dapat digunakan untuk menyaring hasil penggilingan. Bila ukuran material campuran tidak memenuhi kriteria saringan maka akan terus digiling, dipanaskan, dan disaring hingga material campuran benar-benar sesuai spesifikasi. Hasil *raw mill* ini dinamakan *raw meal*.

## 2. Proses *gate* terdiri dari

### i. *Clinkerization*

*Raw meal* yang dihasilkan akan disimpan sementara di dalam *blending silo* untuk digunakan pada proses selanjutnya. Dalam *blending silo*, *raw meal* tercampur (*blend*) dan mengalami homogenisasi menghasilkan *kiln feed*. Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara, yang dihaluskan terlebih dahulu di *coal mill* dengan gas panas dari *preheater*. Batubara halus (*fine coal*) disimpan di dalam *coal bin*, dan kemudian dimasukkan ke dalam *kiln* melalui *burner*. Bahan bakar awal yang digunakan untuk pembakaran berasal dari bahan bakar minyak IDO (*Industrial Diesel Oil*). Setelah suhu pemanasan yang diinginkan tercapai, bahan bakar kemudian perlahan diganti dengan batubara halus (*fine coal*). *Kiln feed* setelah mengalami pemanasan awal di dalam *preheater* akan masuk ke dalam *kiln* dan mengalami proses pembakaran lebih lanjut dengan temperatur mencapai 1300 – 1450 °C menjadi semen setengah jadi yang disebut *clinker*. Jenis *kiln* yang digunakan adalah *Rotary kiln*.

### ii. *Cement grinding*

*Clinker* hasil pembakaran di dalam *kiln* kemudian disimpan di dalam *clinker silo*. Dari *silo*, *clinker* ditambahkan bahan tambahan lain seperti *gypsum*, *fly ash* dan *limestone* yang telah ditimbang terlebih dahulu pada *belt conveyor* untuk kemudian dikirim ke *cement grinding* sebagai penggilingan akhir. Penggilingan akhir bertujuan untuk mendapatkan semen dengan kehalusan yang ditentukan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia). Kehalusan semen yang dihasilkan dari penggilingan akhir antara 300-320 m<sup>2</sup>/kg. *Cement grinding* yang digunakan untuk penggilingan akhir berbentuk silinder horizontal disebut juga *ball mill*. Di dalam *ball mill* terdapat dua ruang yang dibatasi oleh diafragma, yang berfungsi untuk menahan media penggilingan agar tidak tercampur antar ukuran yang besar dan ukuran yang kecil dan untuk menyaring material.

### iii. *Batching plant*

Semen yang telah dihasilkan oleh pabrik semen kemudian dikirimkan ke *batching plant* sebagai bahan baku utama pembuatan beton siap pakai (*ready mix concrete*). Proses produksi beton adalah proses pencampuran material bahan baku penyusun beton, diantaranya semen, pasir, *split*, abu batu, *fly ash*, dan bahan aditif (bila diperlukan) menjadi beton siap pakai. Proses pencampuran dilakukan dari ruang kontrol yang sudah tersistem secara komputerisasi yang telah disesuaikan dengan hasil perhitungan percobaan secara otomatis

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



melakukan pengukuran dan pencampuran. Proses yang terjadi ketika pencampuran adalah:

- Pasir dan batu pecah yang berada pada tempat penyimpanan terbuka diangkut dengan menggunakan *wheel loader* dan kemudian dituangkan ke dalam tempat pencampuran (*overheat bend*)
- Semen dan *fly ash* dari *silo* disalurkan melalui pipa
- Penambahan air dan zat *additive*
- Semua material bahan baku tersebut ditimbang dengan timbangan yang dilakukan dengan sistem yang dioperasikan oleh komputer secara otomatis
- Setelah semua bahan baku dan penolong ditimbang secara komputerisasi, kemudian semuanya dimasukkan dalam truk *mixer* untuk menjadi produk beton siap pakai
- Proses pencampuran ini disebut sebagai proses *dry mix*
- *Truck Mixer* dengan membawa produk berupa beton siap pakai, siap menuju ke pemesan dengan *mixer* yang terus terus berputar sampai penuangan beton siap pakai selesai di tempat proyek pembangunan konstruksi.

#### iv. *Construction/installation*

Beton siap pakai yang telah diproduksi *batching plant* sesuai dengan kualitas beton yang diinginkan kemudian dikirimkan menggunakan truck mixer ke tempat pengecoran di proyek konstruksi. Beton dituangkan ke tempat yang telah disiapkan di proyek konstruksi sebagai struktur beton bertulang maupun sebagai pondasi dasar suatu bangunan.

#### v. *Building/infrastructure use*

Bangunan konstruksi yang telah dibangun menggunakan beton akan siap digunakan setelah beton kering dan kuat. Bangunan yang terbuat dari beton memiliki usia pakai yang cukup lama.

### 3. Proses *grave* terdiri dari

#### *Demolition/disposal*

Setelah bangunan digunakan selama kurun waktu tertentu, maka bangunan yang telah habis masa pakainya dan tidak digunakan lagi akan dirobohkan dan dihancurkan (*demolition*). Hasil pembongkaran beton dari bangunan yang tidak digunakan tersebut bisa digunakan kembali sebagai pengganti *aggregate (recycle)*, atau digunakan sebagai bahan penimbunan atau urukan (*disposal*).

#### c. Unit fungsi

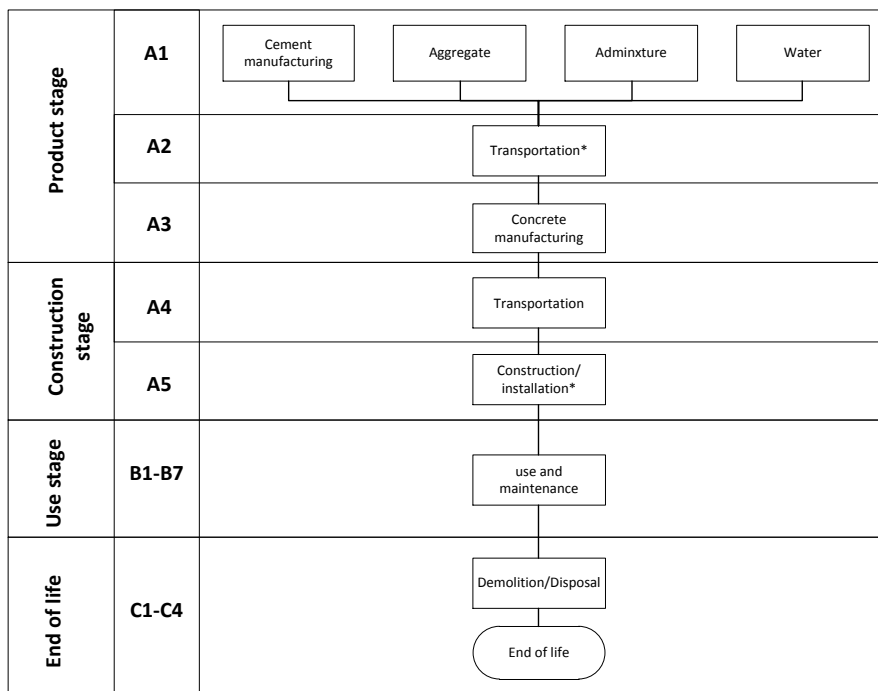
Unit fungsional merupakan ukuran fungsional yang digunakan untuk meninjau potensi dampak lingkungan dari sistem produk yang telah ditentukan dalam kajian LCA ini. Unit fungsional yang digunakan pada kajian ini adalah dalam satuan 1 m<sup>3</sup> produksi beton dengan pengukuran melalui metering sebelum didistribusikan pada konsumen.

d. Aliran acuan

Aliran acuan adalah ukuran keluaran dari proses dalam sistem produk yang diperlukan untuk memenuhi fungsi yang dinyatakan dengan unit fungsi. Aliran acuan dalam kajian ini yaitu 1 m<sup>3</sup> beton yang diproduksi berdasarkan intensitas data tahun 2020.

e. Batasan sistem kajian

Batasan dari kajian adalah *cradle to grave* (Gambar 4.1) yakni kajian daur hidup sistem produk semen sesuai PCR 2019:14 *Construction products* (EN 15804:A2, 2019) yang menyebutkan ada empat tahapan siklus hidup produk semen, yakni tahap produksi (*product stage*), tahap konstruksi (*construction stage*), tahap penggunaan (*use stage*), dan tahap akhir hidup (*end of life stage*).



Gambar 4.1 Batasan sistem kajian

f. Keterbatasan kajian

Beberapa keterbatasan dalam kajian LCA ini terkait dengan informasi yang kurang lengkap atau hilang, dan penilaian dampak yang dilakukan masih terbatas pada dampak *Global Warming Potential* (GWP). Meski demikian seluruh data yang digunakan dalam inventori pada kajian ini telah melalui validasi data yang akurat.

g. Kriteria *Cut-Off*

Kriteria *cut-off* menggunakan prinsip kriteria *massa*, energi dan lingkungan. Di mana seluruh data *input* dan *output* terkait *massa*, energi, dan lingkungan pada masing-masing unit proses dalam sistem produksi semen 100% dianggap memberikan dampak langsung terhadap lingkungan.

## 4.2 Data inventori (*Inventory*)

Inventori data dilakukan dengan pengecekan terhadap satuan yang digunakan supaya menggunakan satuan yang sama, kemudian *input* dan *output* tersebut dikuantifikasikan. Pada tahap analisis inventori ini akan dilakukan pengumpulan data primer dan data sekunder dalam sistem produk semen untuk tiap-tiap tahapan proses (Gambar 3.1) yang tercakup dalam batas sistem.

Pemeriksaan kualitas data harus dilakukan selama proses pengumpulan data untuk memberikan bukti bahwa persyaratan kualitas data sesuai dengan standar (ISO 14040, 2006) dan (ISO 14044, 2006).

### 4.2.1 Ringkasan inventori data

Data ringkasan total inventori per satuan produk yang dihasilkan, dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4. 1 Data inventori

<i>INPUT</i>	<i>Energi</i>			<i>Material</i>		
		<i>satuan</i>	<i>jumlah</i>		<i>satuan</i>	<i>Jumlah</i>
<i>Quarry limestone</i>	Bahan bakar	L	0,88	Bahan peledak	ton	0,0003
	Listrik	kWh	2,73	Air	m <sup>3</sup>	0,017
<i>Quarry clay</i>	Bahan bakar	L	0,04	Air	m <sup>3</sup>	0,0002
	Listrik	kWh	0,04			
<i>Raw mill</i>	Bahan bakar	L	0,002	<i>Limestone</i>	ton	0,882
	Listrik	kWh	17,12	<i>Clay</i>	ton	0,084
				<i>Iron sand</i>	ton	0,02
				<i>Silca sand</i>	ton	0,106
				Alternative RM	ton	0,078
				Air	m <sup>3</sup>	0,016
<i>Coal mill</i>	Bahan bakar	L	0,0034	<i>Coal</i>	ton	0,137
	Listrik	kWh	4,43	Air	m <sup>3</sup>	0,001
<i>Kiln</i>	Bahan bakar	L	0,085	<i>Raw meal</i>	ton	1,014
	Listrik	kWh	20,85	<i>Fine coal</i>	ton	0,101
				<i>Biomass</i>	ton	0,001
				IDO	MJ	19,85
				Alternative Fuel	MJ	44,52
				Air	m <sup>3</sup>	0,007
<i>Grinding</i>	Bahan bakar	L	0,089	<i>Clinker</i>	ton	0,627
	Listrik	kWh	32,92	CKD	ton	0,032
				<i>Gypsum</i>	ton	0,034
				<i>Fly ash</i>	ton	0,040
				<i>Limestone</i>	ton	0,298
				Air	m <sup>3</sup>	0,0006

Tabel 4.1 Data inventori (lanjutan)

INPUT	Energi			Material		
<b>Batching Plant</b>	Bahan bakar	L	0,263	<i>Cement</i>	kg	509
	Listrik	kWh	0,256	<i>Aggregate</i>	kg	1,616
<b>Construction</b>				<i>Msand</i>	kg	898,
				<i>Fly ash</i>	kg	36,36
				<i>Superplastisizer</i>	L	1,15
				<i>Retarder</i>	L	1,70
				Air	m <sup>3</sup>	0,0002
<b>Demolition</b>	Bahan bakar	MJ	60	Air	m <sup>3</sup>	0,0007
	Listrik	kwh	2,77			
<b>Demolition</b>	Bahan bakar	L	2,67			

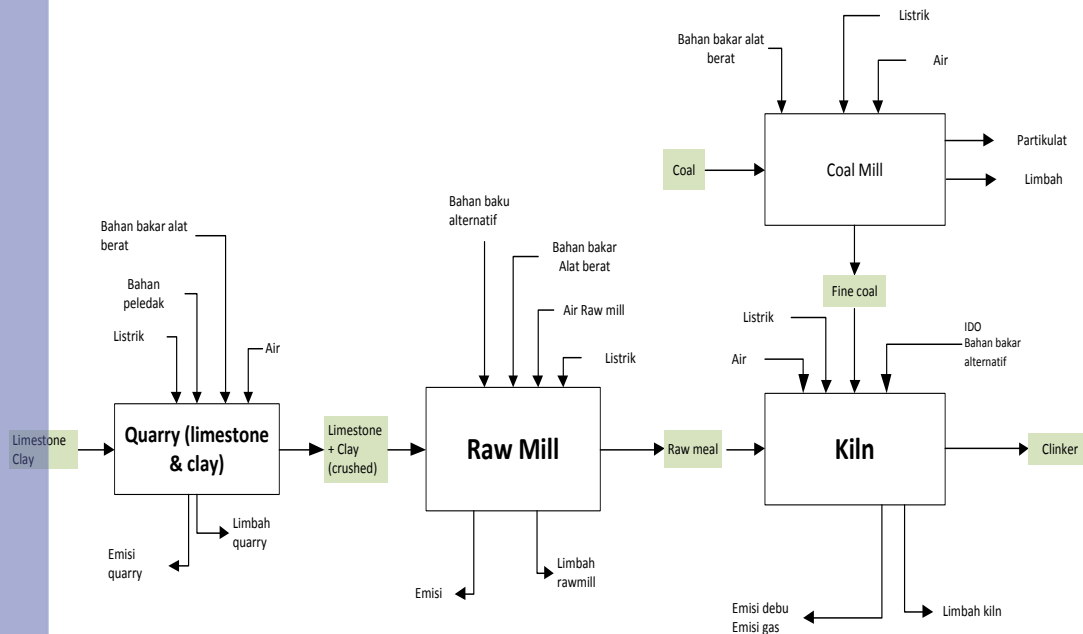
4.2.2 Aliran proses produksi pada masing-masing sistem produk semen

4.2.2.1 Unit proses produksi *clinker*

Dalam proses produksi *clinker*, terdiri dari 4 unit proses yang perlu dilakukan pencatatan sebagai inventori data, yakni:

- i. *Quarry limestone* dan *clay*
- ii. *Raw mill*
- iii. *Coal mill*
- iv. *Kiln*

Gambar 4.2 menunjukkan aliran proses produksi *clinker* yang terdiri dari *input* energi dan material, serta *output* produk dan limbah dari masing-masing unit proses.

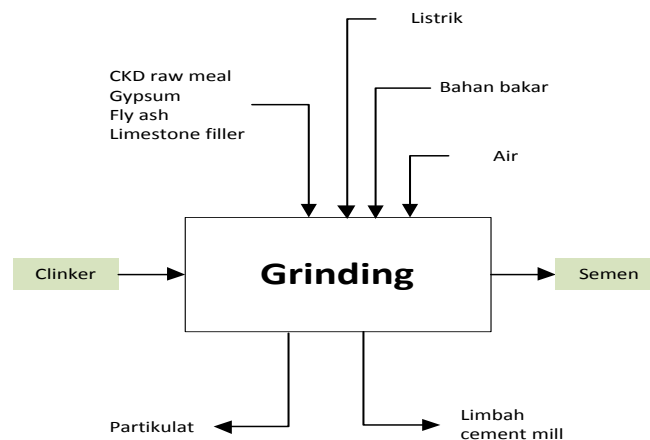


Gambar 4. 2 Aliran proses produksi *clinker*

4.2.2.2 Unit proses produksi semen

Aliran proses produksi semen dapat dilihat dalam Gambar 4.3 yang

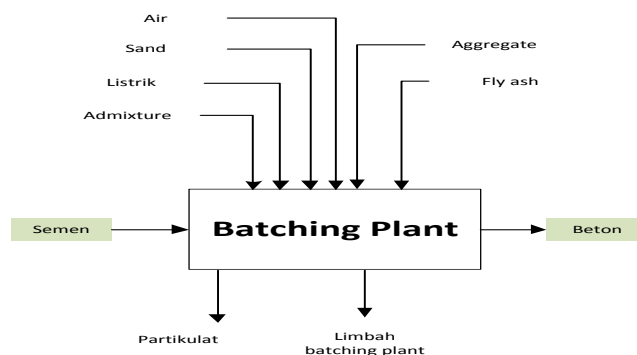
terdiri dari *input* energi dari bahan bakar dan listrik, *input* material bahan baku semen, serta *output* berupa produk dan limbah.



Gambar 4. 3 Aliran proses produksi semen

#### 4.2.2.3 Unit proses produksi beton

Proses produksi beton dilakukan di *batching plant*, yakni menggunakan produk semen sebagai salah satu *input* material yang dicampurkan dengan material bahan baku beton lainnya. *Input* lain adalah energi listrik dan bahan bakar. *Output* dalam proses ini adalah produk beton siap pakai dan limbah. Aliran proses dan inventori data serta konsumsi energi unit proses produksi beton dapat dilihat dalam Gambar 4.4

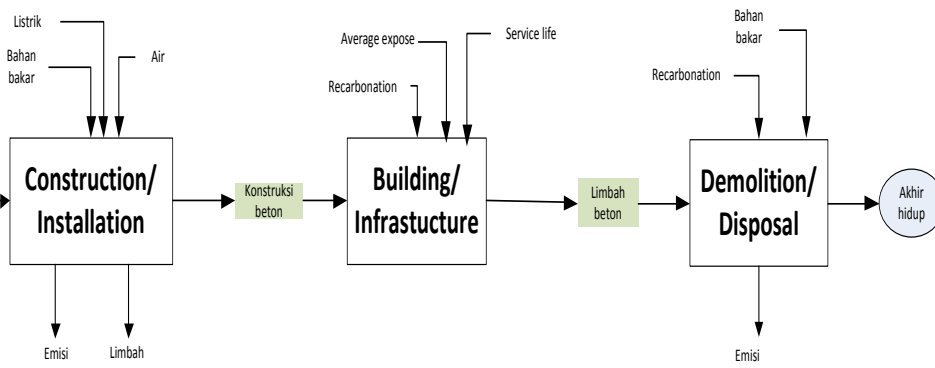


Gambar 4. 4 Aliran proses produksi beton

#### 4.2.2.4 Unit proses konstruksi, pemakaian dan pembongkaran bangunan

Dalam proses konstruksi (*construction/installation*), *input* data inventori berupa bahan bakar dan energi listrik serta material penyusun konstruksi. *Output* data inventori berupa limbah dan emisi. Saat bangunan konstruksi telah selesai maka berlanjut ke masa pemakaian bangunan konstruksi (*building/infrastructure*). Tahap terakhir dalam sistem produk semen adalah pembongkaran bangunan atau konstruksi setelah selesai masa penggunaannya. Inventori data dan konsumsi energi dalam proses konstruksi, pemakaian dan pembongkaran bangunan terdapat dalam Gambar 4.5





Gambar 4. 5 Aliran proses konstruksi dan pembongkaran

### 1.2.3 Validasi data

Merupakan proses penentuan validnya suatu data. Validasi data yang telah dikumpulkan merupakan bagian yang tak terpisahkan dari perhitungan data. Validasi pada SBI Cilacap dilakukan berdasarkan:

#### 1. Penilaian kualitas data

Berdasarkan peraturan yang terdapat dalam (ISO 14044, 2006), persyaratan kualitas data sebaiknya memenuhi cakupan waktu, cakupan geografi, cakupan teknologi, presisi, kelengkapan, keterwakilan, konsistensi, kemampuan memproduksi ulang, sumber data, dan ketidakpastian informasi. Hal ini dikarenakan kajian LCA ditujukan untuk digunakan dalam pernyataan komparatif yang akan disampaikan kepada masyarakat. Kualitas data inventori yang didapatkan:

#### - Pemeriksaan keandalan

Pemeriksaan keandalan data inventori pada kajian LCA diklasifikasikan menjadi data primer dan sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung berdasarkan hasil observasi lapangan ataupun hasil wawancara dari informan terkait data yang digunakan. Data sekunder merupakan data yang diperoleh berdasarkan referensi dari hasil penelitian terdahulu baik dalam bentuk *handbook* maupun jurnal. Pemeriksaan keandalan pada inventarisasi data yang digunakan dalam kajian LCA terdapat pada Tabel 4.2 berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 4.2 Pemeriksaan keandalan data

No	Jenis Data	Checklist Ketersediaan Data			Sumber Data				Keterangan
		Ada (Lengkap)	Ada (Tidak lengkap)	Tidak Ada	Primer		Sekunder		
					Jumlah	Referensi	Jumlah	Referensi	
<b>Data Input Inventori</b>									
1	Bahan baku	✓	-	-	32	Perusahaan (2020)	-	-	Input bahan baku yang ada di seluruh proses produksi, termasuk proses <i>Quarry limestone &amp; clay</i> hingga produk semen dan beton
2	Konsumsi energi (listrik, panas dan bahan bakar)	✓	-	-	14	Perusahaan (2020)	3	Database Ecoinvent 3.1	Konsumsi energi untuk operasional unit
3	Konsumsi air	✓	-	-	8	Perusahaan (2020)	-	-	Konsumsi air pada setiap unit produksi
4	Transportasi/transmisi	✓	-	-	-	-	1	Database Ecoinvent 3.1	Transportasi/transmisi yang termasuk dalam batasan kajian adalah untuk transport produk beton dan pengiriman puing beton
5	Emisi GRK yang dihasilkan	✓	-	-	6	Perusahaan (2020)	-	-	Data emisi CO <sub>2</sub>
6	Emisi konvensional	✓	-	-	8	Perusahaan (2020)	-	-	Data emisi partikulat, NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub>

Data inventori pada kajian LCA ini terdiri dari 98% data primer yang diperoleh langsung berdasarkan hasil monitoring dan perhitungan dan 2% data sekunder. Data primer monitoring merupakan data hasil pencatatan observasi lapangan yang dapat langsung dijadikan sebagai *input* inventori data. Data primer perhitungan merupakan data hasil monitoring yang telah dikonversi agar dapat dijadikan sebagai *input* inventori data pada aplikasi yang digunakan untuk analisis kajian LCA (contoh: konversi satuan pada data hasil monitoring). Data yang dikumpulkan dan digunakan dalam kajian telah memenuhi pemeriksaan keandalan yang mengacu pada identifikasi data primer dan sekunder yang ada pada perusahaan.

Tabel 4.3 Ringkasan data inventori

Masukan	Upstream/Cradle	Core/Gate-to-Gate	Downstream/Grave
Bahan baku	Data primer: 0	Data primer: 31	Data primer: 0
	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0
Bahan bakar/energi	Data primer: 4	Data primer: 20	Data primer: 0
	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0	Data sekunder: 2
Penggunaan air	Data primer: 2	Data primer: 5	Data primer: 0
	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0
Emisi ke udara	Data primer: 3	Data primer: 11	Data primer: 0
	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0
Produk yang dihasilkan	Data primer: 2	Data primer: 5	Data primer: 0
	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0	Data sekunder: 0
TOTAL	Primer: 11	Primer: 72	Primer: 0
	Sekunder: 0	Sekunder: 0	Sekunder: 2
%data primer	13%	85%	0%
%data sekunder	0%	0%	2%

- Pemeriksaan Kelengkapan

Pemeriksaan data dilakukan dengan menghitung kelengkapan data yang dilihat dari ketersediaan data kemudian dibandingkan dengan model proses ideal di lapangan yang masuk ke dalam batasan sistem kajian LCA. Hasil pemeriksaan kelengkapan data terdapat pada Tabel 4.2. Contoh perhitungan persentase kelengkapan data untuk unit Quarry adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Kelengkapan data} &= (\text{Jumlah data yang tersedia} / \text{Total data} \\ &\quad \text{berdasarkan model proses ideal}) \times 100\% \\ &= (12 / 12) \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Kesimpulan kelengkapan data dihitung dari rata-rata persentase kelengkapan data dari masing-masing unit proses. Hal tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan data yang terdapat pada inventori telah sesuai dengan kondisi data ideal di lapangan yang masuk ke dalam batasan sistem kajian LCA.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Pemeriksaan Cakupan Waktu  
Pemeriksaan cakupan waktu menunjukkan periode pengumpulan data inventori yang digunakan dalam kajian LCA SBI Cilacap. Hasil pemeriksaan cakupan waktu terdapat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan cakupan waktu data

Proses	Keterangan Unit Proses	Cakupan Waktu ( <i>Temporal</i> )		
		Periode Data	Tahun Kajian	Umur Data
Proses produksi Beton	<i>Quarry (limestone &amp; clay)</i>	Januari- Desember 2020	2021	1 Tahun
	<i>Raw Mill</i>			
	<i>Kiln</i>			
	<i>Coal Mill</i>			
	<i>Cement Mill</i>			
	<i>Batching Plant</i>			
	<i>Construction</i>			
<i>Demolition</i>				

- Pemeriksaan Cakupan Geografi  
Pemeriksaan cakupan geografi menunjukkan kesesuaian wilayah pengambilan data pengukuran atau perhitungan yang digunakan pada kajian LCA. Hasil pemeriksaan cakupan geografi terdapat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil pemeriksaan cakupan geografi data

Proses	Keterangan Unit Proses	Cakupan Geografi			
		Benua	Negara	Provinsi	Kota
Proses produksi beton	<i>Quarry (limestone &amp; clay)</i>	Asia	Indonesia	Jawa Tengah	Cilacap
	<i>Raw mill</i>				
	<i>Kiln</i>				
	<i>Coal Mill</i>				
	<i>Cement Mill</i>				
	<i>Batching plant</i>				
	<i>Construction</i>				
<i>Demolition</i>					

### 4.3 Penilaian dampak (*Impact assessment*)

Tahap penilai dampak memberikan pandangan sistem yang lengkap tentang masalah lingkungan dan sumber daya dari satu atau lebih sistem produksi. Penilaian dampak mengkategorikan hasil inventori ke dalam kategori dampak. Untuk setiap kategori dampak, dipilih indikator kategori dampak dan dihitung hasil indikator kategori. Kumpulan hasil indikator (hasil

LCIA) atau profil LCIA memberikan informasi terkait *input* dan *output* dari sistem produk dan informasi tentang isu-isu lingkungan. Ada dua metode untuk kategori analisis dampak, yakni *midpoint* dan *endpoint*. Dalam penelitian ini dilakukan analisis dampak *midpoint*, dimana dalam metode ini

Penilaian unsur kategori dampak, indikator kategori, dan model karakterisasi merupakan unsur yang harus dijustifikasi dan konsisten dengan tujuan serta lingkup LCA dan merefleksikan isu-isu lingkungan yang terkait dengan sistem produk yang dikaji.

#### 4.3.1 Penilaian dampak potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*)

Tahapan dalam melakukan penilaian dampak pada kegiatan semua unit proses sistem produk semen dengan menggunakan database *Ecoinvent 3.1* adalah sebagai berikut:

- a. Menetapkan kategori dampak berdasarkan acuan yang digunakan
- b. Melakukan klasifikasi dengan menggunakan *Life Cycle Inventory (LCI)* sesuai dengan potensi kategori dampak
- c. Melakukan karakterisasi untuk mengkuantifikasi kontribusi dari LCI terhadap kategori dampak yang berbeda. Kajian ini menggunakan model karakterisasi dari database *Ecoinvent 3.1*

Untuk menghitung kategori dampak dengan model karakterisasi IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) dari database *Ecoinvent 3.1* digunakan rumus perhitungan sbb:

$$\text{Nilai emisi CO}_2 \text{ ekivalen} = \text{Activity data} * \text{Characterization factor}$$

Sesuai dengan (EN 16757, 2017), dalam sistem produk semen terdapat siklus emisi CO<sub>2</sub> yang disebut sebagai karbonasi. Proses karbonasi dalam produk beton selama tahap penggunaannya (*service life/use stage*) sebagai bagian dari struktur (bangunan, infrastruktur), tergantung pada kondisi paparannya. Produk beton juga akan berkarbonasi sepanjang akhir masa pakainya (*end of life*).

Rumus karbonasi Tier 1 sesuai (EN 16757, 2017) adalah sebagai berikut:

$$\text{Karbonasi CO}_2 \text{ (service life)} = \alpha * \text{calcination emission}$$

$$\text{Karbonasi CO}_2 \text{ (end of life)} = \beta * \text{calcination emission}$$

$$\alpha = 0.20$$

$$\beta = 0.03$$

Berdasarkan proses penilaian dampak, nilai yang muncul dari kategori dampak *Global Warming Potential (GWP)* pada unit proses sistem produk semen di setiap unitnya kemudian dihitung dan hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini:

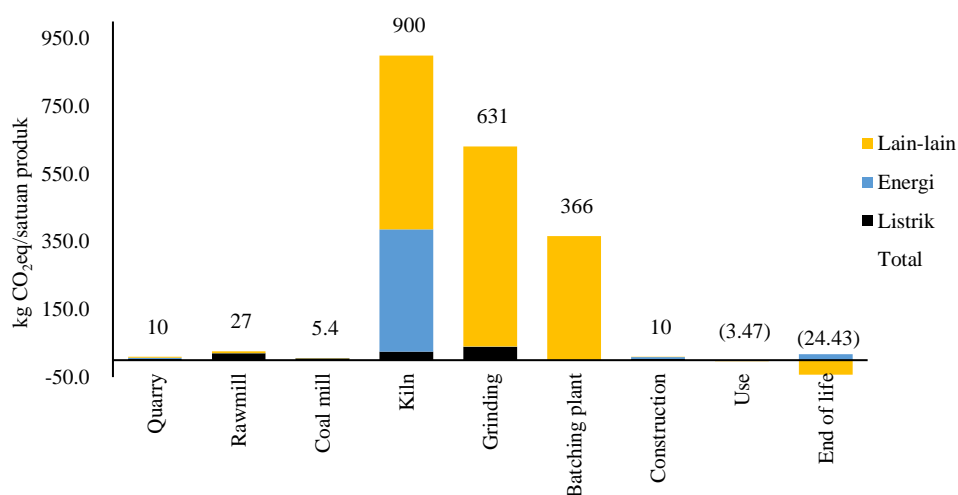


Tabel 4.6 Hasil perhitungan penilaian dampak GWP

Unit process	GWP kg			Total kg CO <sub>2</sub>
	CO <sub>2</sub> /t	Listrik	Energi	
<i>Quarry</i>	10.5	3.3	3.6	10
<i>Rawmill</i>	26.6	20.7	0.01	27
<i>Coal mill</i>	5.4	5.4	0.013	5.4
<i>Kiln</i>	899.8	25	361	900
<i>Grinding</i>	630.5	40	0.35	631
<i>Batching plant</i>	366.3	0.3	-	366
<i>Construction</i>	9.7	3.4	5.7	10
<i>Use</i>	(3.5)	-	-	(3.47)
<i>End of life</i>	(24.4)	-	18.0	(24.43)
<b>Total emisi CO<sub>2</sub></b>				<b>348</b>

Tabel diatas menunjukkan nilai kategori dampak GWP untuk masing-masing unit proses yang dibagi menjadi tiga sumber, yakni dampak GWP dari listrik, energi/bahan bakar dan sumber lain-lain yang merupakan material bahan baku dan dekarbonasi pada tahap penggunaan bangunan dan pembuangan akhir material pembongkaran bangunan. Total nilai kategori dampak GWP dalam sistem produk semen dari *cradle to grave* adalah sebesar 348 kg CO<sub>2</sub> eq per meter kubik beton.

Gambar 4.6 merupakan grafik yang menunjukkan nilai total GWP untuk masing-masing unit proses. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada unit proses *Kiln* menghasilkan nilai dampak GWP paling tinggi. Nilai GWP ini bersumber dari bahan bakar atau energi, listrik, dan proses pembakaran bahan baku *limestone* menjadi *clinker*.



Gambar 4.6 Grafik dampak GWP setiap unit proses

#### 4.3.2 Konsumsi energi

Perhitungan total konsumsi energi dalam sistem produk semen adalah sebesar 2.535 MJ/m<sup>3</sup> beton. Energi yang dibutuhkan tersebut berasal dari energi listrik dan energi panas hasil pembakaran bahan bakar.

Tabel 4.7 Konsumsi energi setiap unit proses

Unit proses	Listrik (MJ)	Bahan bakar (MJ)	Total (MJ)
<i>Quarry</i>	9,98	34,05	44,0
<i>Raw mill</i>	0,48	61,63	62,1
<i>Coal mill</i>	15,9	0,17	16,1
<i>Kiln</i>	75,1	2.039	2.113
<i>Grinding</i>	118,5	3,31	121,8
<i>Batching Plant</i>	0,92	9,8	10,7
<i>Construction</i>	9,99	60	70,0
<i>Demolition</i>		96,1	96,1
<b>Total konsumsi energi</b>			<b>2.535</b>

#### 4.4 Interpretasi (*Interpretation*)

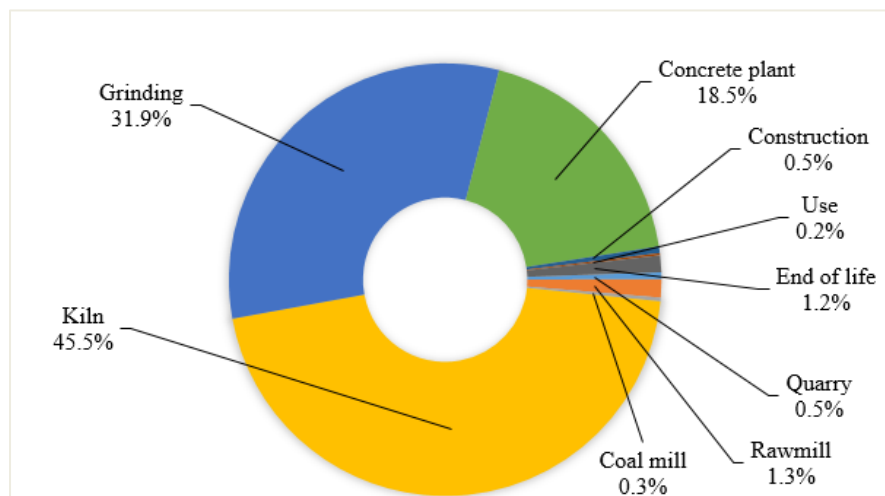
Interpretasi data yang dilakukan pada kajian *Life Cycle Assessment* dilakukan berdasarkan standar ISO SNI 14040:2006 dan ISO SNI 14044:2006. Standar ini merupakan prosedur yang sistematis untuk mengidentifikasi, menguji, memeriksa, mengevaluasi, dan menyajikan kesimpulan berdasarkan temuan dari LCA, dalam rangka memenuhi persyaratan untuk penerapan sebagaimana dijelaskan dalam tujuan dan lingkup kajian.

##### 4.4.1 Interpretasi Potensi Dampak *Global Warming* (GWP)

Dalam tahapan interpretasi ini dihitung dampak GWP tiap unit proses. Hasilnya menunjukkan bahwa unit proses *kiln* menghasilkan dampak GWP terbesar, yakni 900 kg CO<sub>2</sub>eq/ton *clinker*, emisi tersebut berasal dari proses pembakaran bahan baku di unit proses *kiln* dengan menggunakan bahan bakar batubara menjadi produk setengah jadi (*clinker*). Kemudian produk *clinker* ini digiling menjadi semen dan menghasilkan 631 kg CO<sub>2</sub>eq/ton semen, dampak tersebut berasal dari emisi bawaan *clinker* dan penambahan emisi GWP dari energi listrik yang digunakan untuk memutar mesin penggilingan akhir. Semen yang dihasilkan akan dicampurkan dengan bahan baku beton seperti pasir, dan *aggregate* menjadi produk beton siap pakai dengan dampak GWP sebesar 366 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> beton. Dampak terbesar dari dampak GWP yang dibawa oleh produk semen. Saat beton digunakan dalam konstruksi bangunan, dan bangunan tersebut digunakan hingga akhirnya bangunan tersebut di hancurkan akan menyerap CO<sub>2</sub> dan dapat menurunkan 18 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> beton, sehingga total dampak GWP dalam sistem produk semen adalah keseluruhan timbulnya dampak GWP dikurangi penyerapan CO<sub>2</sub> (dekarbonasi) sehingga total dampak GWP sistem produk semen sebesar 348 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup> produk beton. Dampak *Global warming potential* (GWP) menjadi dampak dan isu yang penting untuk dikaji dan merupakan dampak primer dalam sistem produk semen, mengingat proses produksi semen menggunakan teknik *pyrometalurgi* dan proses kering.

Gambar 4.7 menunjukkan prosentase besarnya kontribusi sumber dampak GWP dari masing-masing unit proses. Tiga unit proses dengan kontribusi dampak GWP terbesar adalah dari unit proses *kiln* (45,5%),

kemudian dari unit proses *grinding* (31,9%) dan *batching plant* (18,5%).



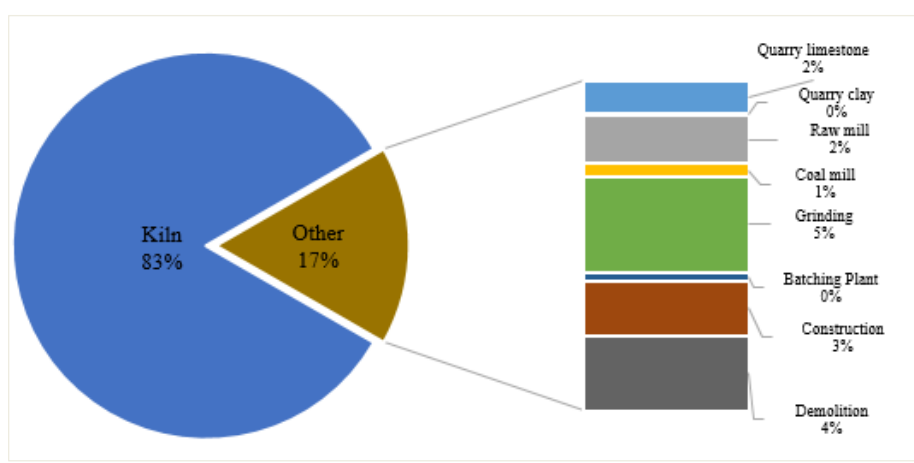
Gambar 4.7 Kontribusi dampak GWP setiap unit proses

Menurut penelitian Marinovic (2013) dampak pemanasan global (GWP) yang dihasil dalam penelitiannya adalah sebesar 301,52 kg CO<sub>2</sub>eq per m<sup>3</sup> beton.. Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh Seeman (2017) menunjukkan bahwa kontributor terbesar dampak GWP dalam 1 m<sup>3</sup> beton berasal dari bahan baku (semen, *admixture* dan *aggregate*) sebesar 94%. Sementara hasil penelitian penulis sebesar 98%. Hasil kajian agak berbeda dengan hasil penelitian penulis sebesar 348 kg CO<sub>2</sub>eq per m<sup>3</sup> beton. Hal ini bisa disebabkan oleh perbedaan *mix* desain sehingga jumlah bahan baku yang digunakan berbeda.

#### 4.4.2 Interpretasi konsumsi energi

Sistem produk semen khususnya dalam proses produksi semen telah dikenal sebagai industri yang lahap energi, sehingga konsumsi energi merupakan salah satu hal yang menjadi fokus utama kajian dalam sistem produk semen karena akan menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Untuk itulah dalam kajian ini dilakukan juga kajian konsumsi energi di sepanjang sistem produk semen. Dari perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahawa total konsumsi energi untuk menghasilkan 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebesar 2.535 MJ. Konsumsi energi terbesar ada pada unit proses *kiln* (2.113 MJ), kemudian *grinding* (121,8 MJ) dan *raw mill* (62 MJ). Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa unit proses *kiln* berkontribusi 83% dari total konsumsi energi, hal ini disebabkan karena dalam unit proses ini terjadi proses pembakaran bahan baku semen menjadi produk *clinker* yang membutuhkan suhu tinggi sekitar 1500 °C. Untuk mencapai suhu yang tinggi tersebut dibutuhkan energi panas yang cukup besar yang dihasilkan dari pembakaran batubara. Disamping itu, dalam unit proses *kiln* ini juga membutuhkan energi listrik yang digunakan untuk memutar *rotary kiln* dan mesin pendukung lainnya. Kontributor kedua adalah unit proses *grinding* (5%), yakni proses penggilingan *clinker* menjadi semen dalam mesin ball mill atau vertical mill. Dalam unit proses ini dibutuhkan energi listrik yang besar untuk memutar mesin ball mill atau vertical mill. Kontributor ketiga adalah unit proses *demolition* (4%), yakni energi dari bahan bakar yang dibutuhkan dalam

merobohkan bangunan setelah masa pakai suatu bangunan dan mengangkut puing bangunan ke tempat penimbunan akhir.



Gambar 4.8 Kontribusi konsumsi energi setiap unit proses

Menurut penelitian Seeman (2017), dibutuhkan energi sebesar 1.258 MJ per m<sup>3</sup> beton. Kebutuhan energi terbesar adalah pada proses pembuatan *clinker* sebesar 1.373 MJ, pembuatan beton sebesar 27 MJ dan *demolition* sebesar 17 MJ. Sementara dari hasil penelitian penulis, kebutuhan energi dalam menghasilkan 1 m<sup>3</sup> beton adalah 2.535 MJ. Kebutuhan terbesar adalah pada proses pembuatan *clinker* sebesar 2.406 MJ, pembuatan beton sebesar 80,2 MJ dan *demolition* sebesar 96 MJ.

#### 4.4.3 Penentuan kategori dampak dan hotspot

Kategori dampak yang dikaji dalam penelitian ini lebih di fokuskan pada dampak lingkungan yang paling besar yang ditimbulkan dalam proses produksi sistem produk semen, yakni gas rumah kaca yang kemudian menimbulkan potensi dampak pemanasan global (GWP). Hal ini juga sesuai dengan kategori dampak lingkungan primer yang dipersyaratkan untuk melakukan kajian LCA dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 1 Tahun 2021 tentang PROPER, dan Keputusan Asosiasi Semen Indonesia melalui *Product Category Rule* (PCR) Produk Semen untuk produk Semen *Portland* (*Ordinary Portland Cement*), Semen *Portland* Komposit (*Portland Composite Cement*), Semen *Portland* Pozolan (*Portland Pozzoland Cement*), Semen *Portland* Putih, Semen *Portland* Slag, Semen Masonry, Semen Pemboran (*Oil Well Cement*).

Setelah melakukan kajian dampak, maka kita dapat menentukan *hotspot*, yakni pada unit proses mana yang menimbulkan dampak lingkungan yang paling besar. Dalam kajian ini telah ditemukan *hotspot* adalah pada unit proses *kiln* dalam pembuatan *clinker*, karena pada unit proses tersebut berkontribusi 45,5% terhadap timbulnya dampak potensi pemanasan global (GWP) dan 83% terhadap konsumsi energi.

#### 4.4.4 Pengelolaan sumberdaya alam

Kajian LCA sangat erat kaitannya dengan pengelolaan sumberdaya alam, karena hasil kajian LCA dapat menganalisis dampak hingga *endpoint*, yakni dampaknya terhadap ekosistem. Kajian dampak *endpoint* adalah salah satu

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

@Hak cipta milik IPB University

metode pendekatan kajian LCA yang berdampak lebih global dan menekankan pada perubahan biologis. Pada kajian dampak *endpoint* atau titik akhir, dampak lingkungan yang dihasilkan berada pada tingkat pengkategorian yang lebih tinggi dan besar, seperti *human health*, *ecosystem quality*, dan *natural resources*.

Dalam kajian LCA ini digunakan pendekatan penilaian dampak *midpoint*. Hal ini dikarenakan pendekatan *midpoint* bersifat lebih spesifik dan menekankan perubahan fisik-kimia di lingkungan. Indikator dampak untuk menunjukkan nilai akhir besaran dampak pada pendekatan titik tengah dalam kajian ini difokuskan pada dampak terbesar yang ditimbulkan dalam sistem produk semen, yakni potensi dampak pemanasan global (GWP). Untuk menganalisis dampak tersebut, kajian ini menggunakan metode penilaian dampak CML-IA *Baseline* dengan menggunakan *database Ecoinvent 3.1*.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

- (1) Inventori data dalam sistem produk semen dengan batasan sistem *cradle to grave* terdiri dari 4 (empat) tahapan, yakni: *Product stage*, *Construction stage*, *Use stage*, dan *End of life stage*. Dalam setiap tahapan tersebut dilakukan pengumpulan data inventori berupa bahan baku, bahan bakar/energi, produk, limbah/emisi.
- (2) Potensi dampak pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) yang telah dikaji dalam penelitian ini merupakan dampak primer dan paling besar ditimbulkan dalam sistem produk semen, yakni sebesar 348 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> beton. Kajian tersebut dilakukan dengan metode LCA dan sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.1 Tahun 2021 tentang PROPER, serta *Product Category Rule (PCR)* Asosiasi Semen Indonesia
- (3) Dalam penelitian ini diperoleh hasil konsumsi energi sebesar 2.535 MJ/m<sup>3</sup> beton dengan energi terbesar adalah energi panas yang dibutuhkan dalam proses pembuatan *clinker*
- (4) Kontribusi dampak GWP (45,5%) dan konsumsi energi terbesar (83%) adalah pada unit proses *kiln*, sehingga unit proses *kiln* adalah merupakan *hotspot* dalam sistem produk semen

### 5.2 Saran

Proses produksi *clinker* dalam *kiln* adalah *hotspot* di sepanjang sistem produk semen. *Clinker* merupakan bahan baku utama semen yang digunakan dalam konstruksi beton. Untuk menurunkan potensi dampak *Global Warming Potential (GWP)* dan konsumsi energi di sepanjang daur hidup produk semen adalah dengan mengurangi konsumsi *clinker* dalam semen dengan substitusi bahan alternatif pengganti *clinker* dan substitusi energi konvensional dengan energi alternatif. Dengan berkurangnya konsumsi *clinker* dalam semen maka dampak GWP dan konsumsi energi di sepanjang daur hidup produk semen akan dapat diturunkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afkhami B, Akbarian B, Narges B, Shabani B. 2015. Energy Consumption Assessment in a Cement Production Plant. *Sustainable Energy Technologies and Assessment*: 3.
- Andrew RM. 2018. Global CO<sub>2</sub> emission from cement production. *Earth System Science Data*, 10(Copernicus Publications): 1.
- Bayer C, Gamble M, Gentry R. 2010. *Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. Washington DC: American Institute of Architects.
- Benhelal E, Zahedi G, Shamsaei E. 2013. Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry. *Celaner Production*, Volume 51: 142-161.
- Bicalho T, Sauer I, Rambaud A, Altukhova Y. 2017. LCA data quality: A management science perspective. *Cleaner Production*, Volume 156: 888-898.
- Boesch ME, Hellweg S. 2010. Identifying Improvement Potentials in Cement Production with Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology Vol.44 No.23*: 1-2.
- Boesch ME, Koehler A, Hellweg S. 2009. Model for Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Clinker Production. *Environmental Science & Technology Vol 43 No 19*: 1-2.
- [CEMBUREAU] European Cement Association. 2013. *Cement For Low Carbon Europe*, s.l: The European Cement Association.
- Chaerul M, Allia V. 2019. Tinjauan Kritis Studi Life Cycle Assessment (LCA) di Indonesia. *Serambi Engineering*, Volume V: 816-823.
- Chen, C, Habert G, Bouzidi Y, Jullien A. 2010. Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. *Journal of Cleaner Production*.
- Chen C, Habert G, Bouzidi Y, Jullien A, Ventura A. 2010. LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: An application to mineral additions in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Del Strothler P. 2019. Manufacture of Portland Cement. In: s.l.:Lea's Chemistry of Cement and Concrete: 31-56.
- [EN] European Standard 15804:A2. 2019. *Sustainability of Conctruction works-Environmental Product Declaration-Core rules for the product category of construction products*, Stockholm: Environmental Product Declaration.
- [EN] European Standard 16757. 2017. *Sustainability of construction works-Environmental product declaration-PCR for concrete and concrete elements. Annex BB*, Brussels: European Standard.
- [EN] European Standard 197-1, 2011. *Composition, Specification, and Conformity Criteria for Common Cements*, Brussels: European Commitee for Standardization.
- Fellaou S, Bounahmidi T. 2016. Evaluation of Energy Efficiency Opportunities on a Typical Morrocan Cement Plant. *Applied Thermal Engineering*: 3.
- Gartner E. 2004. Industrially Interesting Approaches to Low CO<sub>2</sub> Cements. *Concrete and Cement Research*: 9.
- Gursel AP. 2014. *Life-Cycle Assessment of Concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application*, Berkeley: University of California.
- Huntzinger DN, Eatmon TD. 2009. A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative

technologies. *Journal of Cleaner Production*: 2-3.

- [IEA-WBCSD] International Energy Association. 2018. *Technology Roadmap, Low Carbon Transition in the Cement Industry*, Paris: International Energy Association.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *Guideline for National Greenhouse Gas Inventories-Mineral Industry Emission*. Vol. 3 ed. s.l.:IPCC.
- [ISO] International Standard Association 14040, 2006. *Environmental management–life cycle assessment-principle and framework*, Geneva: International Standard Organization.
- [ISO] International Standard Association 14044, 2006. *Environmental management–life cycle assessment – Requirements and guidelines*, Geneva: International Standard Organization.
- Junnilla S. 2006. *Life Cycle Assessment of Office Building in Europe and Unites States Infrastructur System*, Vol. 12: 10-17
- Kamali M, Hewage K, Sadiq R. 2019. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. *Energy and building*: 3-4.
- Kawai K, Sugiyama T, Kobayashi K, Sano S, 2005. Inventory Data and Case Studies for Environmental Performance Evaluation of Concrete Structure Construction. *Advanced Concrete Technologies*, Volume 3.
- Khurana S, Banerjee R, Gaitonde U. 2002. Energy Balance and Cogeneration for Cement Plant. *Applied Thermal Engineering*, Volume 22: 485-494.
- Kim, T, Lee S, Chae CU, Jang H, Lee Kanghee, 2017. Development of the CO2 Emission Evaluation Tools for Life Cycle Assessment of Concrete. *Sustainability*: 2.
- Lu H, Masanet E, Price L. 2009. *Evaluation of Life Cycle Assessment Studies of Chinese Cement Production : Challenges and Opportunities*, s.l.: Berkeley National Laboratory.
- Mahasen N, Smith S, Humphreys K. 2014. The Cement Industry and Global Climate Change: Current and Potential Future Cement Industry CO<sub>2</sub> Emissions. *Greenhouse Gas Control Technologies*, Volume II.
- Mahlia. 2013. Emissions from electricity generation in Malaysia. *Renewable Energy. Cleaner Production*, Volume 51: 142-161.
- Marincovic S. 2013. *Life cycle assessment (LCA) aspects of Concrete*, Belgrade Serbia: Woodhead Publishing Limited.
- Moya J, Pardo N, Marcier A. 2010. *Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions : Prospective Scenario for the Cement Industry*, s.l.: JRC European Commission.
- Sanjuan MA, Andrade C, Mora P, Zaragoza A. 2020. Carbon Dioxide Uptake by Mortars and Concretes Made with Portuguese Cements. *Applied Science*: 646.
- Saynajoki A, Heinonen J, Junilla S, Horvath A. 2017. Can life-cycle assessment produce reliable policy guidelines in the building sector?. *Environment Research Letter*, Volume 12: 2-3.
- Schepper MD, Heede PVd, Driessche IV, Belie ND. 2014. Life Cycle Assessment of Completely Recyclable Concrete. *Materials, MDPI Journal* , pp. 2-3.
- Schneider M. 2019. The cement industry on the way to a low carbon future. *Cement and Concrete Research*: 1-2.

- Seeman P, Massih MA, Challaouhy M, Ghanimeh S, Jawad D. 2017. Life Cycle Assessment of Concrete Industry in Developing Nations. *International Conference on Sustainable Infrastructure*.
- Sjunesson J. 2005. *Life Cycle Assessment of Concrete*, Lund Sweden: Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Lund University.
- Smith SH, Durham SA. 2016. A cradle to gate LCA framework for emissions and energy reduction in concrete pavement mixture design. *International Journal of Sustainable Built Environment*: 1-2.
- Sorrentino F. 2011. Chemistry and Engineering of The Production Process : State of the art. *Cement and Concrete*: 41.
- Stripple H, Ljungkrantz C, Gustafsson T, Andersson R. 2018. *CO<sub>2</sub> uptake in cement containing products*, Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.
- Stripple H, Ljungkrantz C, Gustafsson T, Andersson R. 2018. *CO<sub>2</sub> uptake in cement containing products*, Stockholm: IVL, Swedish Environmental Research Institute.
- Suh S, Huppel G. 2003. Methods for Life Cycle Inventory of a product. *Journal of Cleaner Production* 13.
- Szabo L, Hidalgo I, Ciscar JC, Soria A, Russ P. 2003. *Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions from the world cement industry*, s.l.: European Commission.
- Valderrama C, Granados R, Cortina JL, Gasol CM, Guillem M. 2012. Implementation of BAT in Cement Manufacturing : a life cycle assessment study. *Cleaner Production*, Volume 25: 60-67.
- Van Oss H, Pandovani A. 2002. Cement Manufacture and the environment Part I : Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 6: 89-105.
- Vatopoulos K, Tzimas E. 2012. Assessment of CO<sub>2</sub> capture technologies in cement manufacturing process. *Journal of Cleaner Production*: 1-2.
- Xia B, Ding T, Xiao J. 2020. Life cycle assessment of concrete structures with reuse and recycling strategies: A novel framework and case study. *Waste Management*.





## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Tegal pada tanggal 20 Januari 1976 sebagai anak ketiga dari pasangan Bapak Achmad Toha dan Ibu Taripah. Penulis lulus dari SMAN 1 Tegal pada tahun 1994, kemudian lulus pendidikan Sarjana di Program Studi Kimia Fakultas MIPA Institut Teknologi Bandung, dan lulus pada tahun 1999.

Penulis bekerja sebagai *Chemist* di PT Inco Indonesia (Vale Indonesia) sejak tahun 2001 kemudian pindah bekerja di PT Solusi Bangun Indonesia (Holcim Indonesia) sejak tahun 2006 hingga saat ini sebagai *Corporate Environment Specialist*. Selama mengikuti program S-2, penulis aktif menjadi anggota *Indonesian Life Cycle Assessment Network (ILCAN)* dan ProLCA.