

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN (REVISI) .....	iii
PERNYATAAN .....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Kegunaan Penelitian .....	7
BAB II.....	8
KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN.....	8
2.1. Industri Hijau ( Green Industri) .....	8
2.2. Paris Agreement dan Sustainable Development Goals (SDG's) .....	12
2.3. Semen.....	17
2.4. Proses Pembuatan Semen.....	18
2.5. Reaksi Kimia Pembuatan Semen .....	22
2.5.1. Penghilangan air (Dehidrasi) .....	23
2.5.2. Kalsinasi.....	23
2.5.3. Klinkerisasi .....	23
2.6. Pencemaran Produksi Semen .....	24
2.7. Upaya <i>Net Zero Emission</i> pada Industri Semen tahun 2050.....	26
2.8. Gas Rumah Kaca (GRK).....	32
2.9. Permodelan Sistem Dinamis .....	34
2.9.1 Causal Loop Diagram .....	34
2.9.2 Stock Flow Diagram .....	35
2.9.3 Validasi Model Sistem Dinamik.....	38
2.10. Analitical Hierarchy Process (AHP).....	39
2.11. Kerangka Pemikiran.....	43

2.12.	Studi Literatur .....	45
BAB III METODE PENELITIAN .....		48
3.1.	Rancangan Penelitian.....	48
3.2.	Flowchart Penelitian .....	48
3.3.	Identifikasi Variabel dan Pembuatan Model Konseptual.....	50
3.4.	Perancangan Model Simulasi.....	57
3.4.1	Identifikasi Sistem Amatan.....	57
3.5.	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	59
3.6.	Konseptualisasi Model.....	59
3.7.	Diagram Input- Ouput.....	59
3.8.	Diagram Sebab akibat ( <i>Casual Loop Diagram</i> ).....	61
3.9.	Tahapan Model Simulasi Stock Flow Diagram Sistem Dinamik .....	64
3.10.	Penerapan Prioritas Upaya Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> Hasil Kuisisioner AHP.....	69
3.11.	Nilai Konsistensi Analytical Hierarchy Process (AHP).....	77
3.12.	Penentuan Skenario pada Responden AHP.....	77
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		79
4.1	Gambaran Umum Industri Semen Nasional .....	79
4.2	Model pada kondisi Business as Usual (BAU) pada tahun 2050.....	83
4.3	Model Skenario Kebijakan Terhadap Target Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> Industri Semen Indonesia tahun 2050. ....	84
4.3.1	Model Stock Flow Upaya Penentuan Target Berkelanjutan Emisi CO <sub>2</sub> Pada Industri Semen di Indonesia.....	84
4.3.2	Skenario 1 Simulasi Responden Industri dan ASI.....	85
4.3.3	Skenario 2 Simulasi Responden PENELITI .....	86
4.3.4	Skenario 3 Simulasi Responden PEMERINTAH.....	87
4.3.5	Skenario 4 Simulasi Responden LSM .....	88
4.3.6	Skenario 5 Simulasi Responden Gabungan .....	89
4.3.7	Skenario 6 Simulasi sesuai Reference IEA dan Paris Climate Tracker .....	90
4.4	Pembahasan.....	91
4.5	Rekomendasi dan strategi Pencapaian .....	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		96
5.1	Kesimpulan .....	96
5.2	Saran .....	98
DAFTAR PUSTAKA .....		100
DAFTAR LAMPIRAN.....		108

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Data emisi CO <sub>2</sub> pabrik semen secara global (Global Cement Concrete Association, 2021) .....	4
Tabel 2. 1 Kuantifikasi capaian upaya penurunan emisi CO <sub>2</sub> 2050 pada skenario 2DS dan RTS (International Energy Agency, 2019) .....	30
Tabel 2. 2 Kuantifikasi capaian upaya penurunan emisi CO <sub>2</sub> 2050 pada skenario 2DS .....	31
Tabel 2. 3 Skala penilaian komparasi berpasangan .....	40
Tabel 2. 4 Matriks berpasangan AHP .....	41
Tabel 2. 5 Skala nilai berpasangan .....	41
Tabel 2. 6 Studi literatur pengurangan emisi CO <sub>2</sub> industri semen .....	46
Tabel 3. 1 Sampling data kuisisioner dan wawancara narasumber kebijakan upaya penurunan CO <sub>2</sub> industri semen .....	51
Tabel 3. 2 Operasionalisasi variabel penelitian SISTEM DINAMIK .....	52
Tabel 3. 3 Data kinerja industri semen Indonesia (Kemenperin, 2021) .....	53
Tabel 3. 4 Operasionalisasi parameter pada SISTEM DINAMIK .....	54
Tabel 3. 5 Tabel Anggota ASI ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2020) .....	58
Tabel 3. 6 Validasi AME Emisi CO <sub>2</sub> .....	69
Tabel 3. 7 Penjabaran upaya detail dalam hirarki AHP (Kemenperin, n.d.) .....	70
Tabel 3. 8 Hasil perhitungan software expert choice untuk tujuan utama untuk seluruh responden .....	75
Tabel 3. 9 Nilai Referensi Upaya Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> pada tahun 2050 (diolah) (Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry, n.d.) & (Climate Action Tracker, 2020) .....	78
Tabel 3. 10 Skenario Kebijakan Responden Upaya Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> pada tahun 2050 (diolah) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4. 1 Parameter Simulasi Skenario 1 .....	85
Tabel 4. 2 Parameter Simulasi Skenario 2 .....	86
Tabel 4. 3 Parameter Simulasi Skenario 3 .....	87
Tabel 4. 4 Parameter Simulasi Skenario 4 .....	88
Tabel 4. 5 Parameter Simulasi Skenario 5 .....	89

Tabel 4. 6 Parameter Simulasi Skenario 6 .....	90
Tabel 5. 1 Persentase Penurunan Emisi dari seluruh Skenario .....	97
Tabel 5. 2 Skenario Target Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> industri Semen Indonesia tahun 2050 yang paling sesuai .....	98

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1. 1 Kontribusi industri semen terhadap emisi CO<sub>2</sub> dunia</b> .....	2
<b>Gambar 1. 2 Intensitas emisi ideal industri semen Indonesia untuk mencapai Paris Agreement</b> (Climate Action Tracker, 2020a) .....	4
Gambar 2. 1. Proyeksi emisi CO <sub>2</sub> industri semen Indonesia (Santoso, n.d.) .....	81
Gambar 2. 2. Gambar 4. Benchmark intensitas emisi pabrik semen Indonesia 2021 .....	81
Gambar 2. 3. Gambar 5. Emisi GRK sektor IPPU (Industrial process & Product use) Indonesia 2019 (KLHK & Dirjen PPI, 2021) .....	82
Gambar 2. 4. Gambar 8 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (BAPPENAS, 2017) .....	13
Gambar 2. 5. Gambar 7. Konsumsi dan pertumbuhan konsumsi semen di Indonesia ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2021) .....	79
Gambar 2. 6. Proses Pembuatan Semen (International Energy Agency, 2019)..	19
Gambar 2. 7. Komposisi penggunaan energi listrik dan panas pembuatan semen (International Energy Agency, 2019) .....	22
Gambar 2. 8. Emisi total CO <sub>2</sub> global (Mckinsey Company, 2017) .....	25
Gambar 2. 9. Net Zero Emission CEMBERAU (CEMBERAU, 2017) .....	27
Gambar 2. 10. Skenario capaian emisi CO <sub>2</sub> dan upaya penurunan 2050 (Chatham house, 2018) .....	28
Gambar 2. 11. Upaya penurunan emisi CO <sub>2</sub> 2050 pada skenario 2DS dan RTS (International Energy Agency, 2019) .....	30
Gambar 2. 12. Simbol Pada Diagram (Sterman, 2002). .....	35
Gambar 2. 13. Contoh Flow Diagram.....	37
Gambar 2. 14. LambangLevel .....	37
Gambar 2. 15. Simbol Rate (Sterman 2004) .....	37
Gambar 2. 16. Simbol Auxiliary .....	38
Gambar 2. 17. Simbol Constant .....	38
Gambar 2. 18. Simbol Link & Delayed Link .....	38
Gambar 2. 19. Kerangka Pemikiran .....	45
Gambar 3. 1. Flowchart Penelitian.....	48

Gambar 3. 2. Flowchart Penelitian (Lanjutan) .....	49
Gambar 3. 3. Struktur Hirarki AHP .....	40
Gambar 4. 1 Konsumsi dan pertumbuhan konsumsi semen di Indonesia ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2021) .....	79
Gambar 4. 2 Benchmark intensitas emisi pabrik semen Indonesia 2021 .....	81
Gambar 4. 3 Proyeksi emisi CO <sub>2</sub> industri semen Indonesia (Santoso, n.d.) .....	81
Gambar 4. 4 Emisi GRK sektor IPPU (Industrial process & Product use) Indonesia 2019 (KLHK & Dirjen PPI, 2021) .....	82
Gambar 4. 5 Model diagram sebab akibat upaya integrasi penurunan emisi .....	83
Gambar 4. 6 Hasil simulasi emisi CO <sub>2</sub> dan produksi semen pada kondisi BAU ..	84
Gambar 4. 7 Model Stock Flow Emisi CO <sub>2</sub> Industri Semen Indonesia .....	85
Gambar 4. 8 Hasil Simulasi Skenario 1 .....	86
Gambar 4. 9 Hasil Simulasi Skenario 2 .....	87
Gambar 4. 10 Hasil Simulasi Skenario 4 .....	89
Gambar 4. 11 Hasil Simulasi Skenario 5 .....	89
Gambar 4. 12 Hasil Simulasi Skenario 5 .....	91
Gambar 5. 1 Grafik Penurunan Emisi CO <sub>2</sub> tahun 2050 .....	97

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. PEDOMAN WAWANCARA PENENTUAN TARGET BERKELANJUTAN PENURUNAN EMISI KARBON DIOKSIDA PADA INDUSTRI SEMEN DI INDONESIA .....	108
Lampiran 2.	
KUESIONER PENETAPAN BOBOT/PRIORITAS KEPENTINGAN DARI KRITERIA-KRITERIA DALAM UPAYA-UPAYA YANG MEMPENGARUHI PENENTUAN TARGET EMISI CO <sub>2</sub> INDUSTRI SEMEN DI INDONESIA ..	110
Lampiran 3. KUESIONER PENETAPAN BOBOT/PRIORITAS KEPENTINGAN MASING-MASING SUBKRITERIA DALAM UPAYA PENURUNAN TARGET EMISI CO <sub>2</sub> PADA INDUSTRI SEMEN DI INDONESIA .....	113
Lampiran 4. DAFTAR RUMUS PADA SIMULASI SISTEM DINAMIK POWERSIM.....	117
Lampiran 5. DAFTAR RESPONDEN STAKE HOLDER INDUSTRI SEMEN INDONESIA .....	125
Lampiran 6. NILAI RASIO KONSESTENSI MODEL AHP .....	128
Lampiran 7 HASIL PENGOLAHAN DATA AHP MENGGUNAKAN SOFTWARE EXPERT CHOICE.....	131
Lampiran 8 Data Kualitatif Hasil Wawancara Narasumber .....	179

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Semen digunakan untuk membuat beton, bahan manufaktur yang paling banyak dikonsumsi secara global. Beton membangun rumah, sekolah, rumah sakit, tempat kerja, sistem transportasi dan infrastruktur untuk air bersih, sanitasi dan energi, yang penting untuk kualitas hidup dan kesejahteraan sosial dan ekonomi. Seperti kita ketahui meningkatnya populasi secara global dan pola urbanisasi, ditambah dengan kebutuhan pembangunan infrastruktur, mendorong permintaan semen dan beton, produksi semen global akan tumbuh sebesar 12-23% pada tahun 2050 dari level saat ini (International Energy Agency, 2019), kebutuhan semen di Indonesia tercatat 76,4 juta ton pada tahun 2019, meskipun terdapat kontraksi pada tahun 2020 sebesar 12,3% karena pandemi Covid-19 karena penundaan sebagian besar proyek konstruksi dan infrastruktur di Indonesia ([ASI] Asosiasi Semen Indonesia, 2021), pada tahun 2021 tercatat 62,2 juta ton dan dengan meningkatnya kebutuhan semen juga akan meningkatkan dampak terhadap lingkungan.

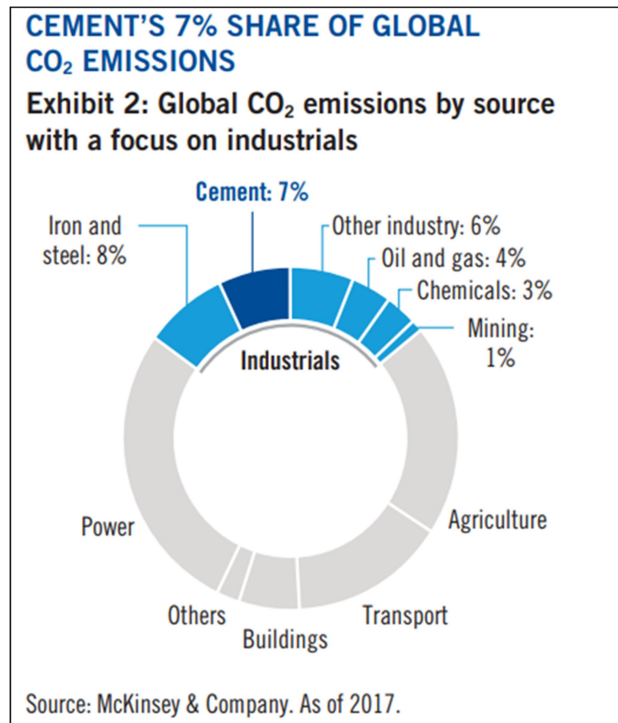
Industri semen mempunyai dampak lingkungan utama yang disebabkan oleh konsumsi energi yang sangat besar dimana efek konsumsi ini terjadi emisi gas rumah kaca yang didominasi oleh emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang mempengaruhi perubahan iklim (Güereca et al., 2015). Proses produksi semen membutuhkan energi panas yang besar (Fahri & Lestari, 2013). Biaya operasional proses pembuatan semen sekitar 30%- 40% adalah biaya untuk operasional energi terutama energi dari bahan bakar yang berasal dari fosil, seperti *coal* (batubara) dan solar industri dominan digunakan sebagai *source* energi dalam pabrik semen di Indonesia (Harjanto et al., 2012).

*Global Warming* (pemanasan suhu bumi) akibat gas rumah kaca (GRK)



dimana pada saat ini dunia telah menghadapi salah satu problem lingkungan utama karena hal ini. Emisi gas karbon yang terakumulasi ke atmosfer banyak dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil, sehingga isu pemanasan global yang mempengaruhi iklim bumi ini menjadi salah satu goal dalam *Sustainable development goals* (SDG's) yaitu tujuan No 13 tentang Perubahan Iklim (*Climate Action*). Indonesia pada tahun 2009 berkomitmen untuk penurunan emisi GRK tahun 2030 sebesar 26% dengan bawah upaya apapun (BAU, *business as usual*) dan 41% dengan bantuan internasional.

Sektor semen adalah konsumen energi industri terbesar ketiga di dunia, terdiri dari 7% penggunaan energi industri global (10,7 exajoule [EJ] CO<sub>2</sub> eq). Produksi semen melibatkan penguraian batu kapur (kalsium karbonat), yang mewakili sekitar 60% dari total emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dalam proses tersebut, dan sisa emisi CO<sub>2</sub> disebabkan oleh pembakaran bahan bakar dan penggunaan energi lain.



**Gambar 1. 1 Kontribusi industri semen terhadap emisi CO<sub>2</sub> dunia**

Emisi CO<sub>2</sub> langsung dari industri semen diperkirakan akan meningkat 4% secara global di bawah Skenario Teknologi Referensi Badan Energi Internasional (IEA) (RTS2) pada tahun 2050 meskipun ada peningkatan 12% dalam produksi semen global pada periode yang sama (International Energy Agency, 2019).

Presiden Joko Widodo menindaklanjuti pertemuan COP-21 ( *Paris Agreement*) dengan terbitnya Undang-undang No. 16 Tahun 2016 yang mana isi dari undang-undang ini adalah komitmen untuk mencegah laju kenaikan temperatur rata-rata bumi di bawah 2°C di atas tingkat pada masa pra-industrialisasi dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu dibawah 1.5°C pada masa pra-industrialisasi (Undang-Undang No 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement, n.d.). Konsekwensi dari undang-undang ini terhadap penyelenggaraan pemerintahan yaitu bahwa seluruh jajaran pemerintah pusat hingga daerah harus menyeleraskan kegiatannya dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) dengan diterbitnya Peraturan Presiden No 59 Tahun 2017 tentang Peta Jalan (*roadmap*) Nasional TPB yang berisikan *policy* strategis jenjang terstruktur dalam pencapaian TPB yang dimulai pada tahun 2017 sampai dengan tahun 2030, kemudian pada jajaran kementerian diterbitkan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 12 Tahun 2012 tentang jalan pedoman (*roadmap*) pengurangan emisi CO<sub>2</sub> pada industri semen di Indonesia. Pada peraturan tersebut industri semen penurunan secara sukarela emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 2% untuk jangka waktu 2011-2015 dan penurunan wajib sebanyak 3% untuk jangka waktu 2016-2020, sehingga praktis setelah tahun 2020 -2050 tidak terdapat lagi target berkelanjutan emisi CO<sub>2</sub> bagi industri semen Indonesia baik secara *business as usual* (BAU) maupun target percepatan (ambisius).

Data emisi pabrik semen Indonesia masih berada pada level emisi diatas hasil emisi pabrik semen di negara berkembang, dimana negara berkembang lain seperti negara Amerika Selatan, Amerika Tengah , India yang telah dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dibawah 600 Kg CO<sub>2</sub>eq/ton

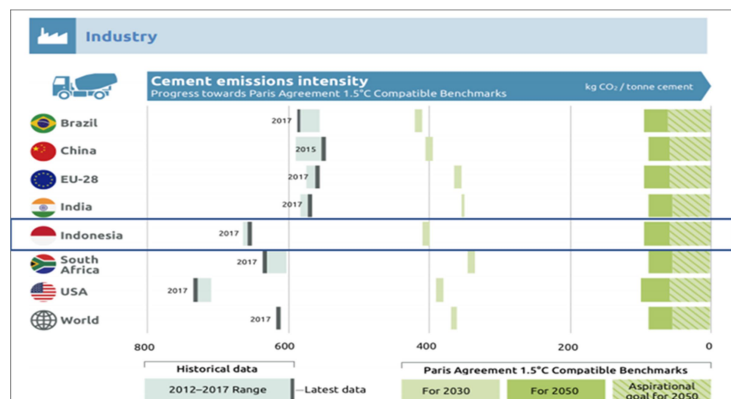
semen seperti ditunjukkan pada table berikut :

**Tabel 1. 1. Data emisi CO<sub>2</sub> pabrik semen secara global (Global Cement Concrete Association, 2021)**

Region	2012 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2013 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2014 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2015 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2016 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2017 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2018 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)	2019 (kg CO <sub>2</sub> / t cement equivalent)
Africa	625	606	604	624	634	635	625	607
Asia (n.e.c.) + Oceania	665	655	654	665	657	657	643	637
Brazil	560	567	555	559	577	585	562	534
Central America	606	615	615	618	612	609	600	598
CIS	727	720	718	722	706	708	688	681
Europe	565	566	562	560	557	551	553	544
India	581	583	576	569	572	569	572	555
Middle East	699	711	722	711	706	707	701	702
North America	695	696	708	704	714	715	710	706
Northeast Asia	626	626	629	629	630	649	672	676
South America ex. Brazil	571	556	545	559	573	581	580	586

Untuk dapat mencapai skenario untuk menahan laju suhu bumi dibawah 2°C (2DS) pada tahun 2050 maka emisi CO<sub>2</sub> pabrik semen di Indonesia harus dapat diturunkan pada kisaran 90-100 Kg CO<sub>2</sub>eq/ton semen (Climate Action Tracker, 2020b) seperti terlihat pada gambar 1.2.

Tidak terdapatnya acuan target penurunan secara spesifik bagi industri semen dari pemerintah terutama kementerian terkait untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2050 menyebabkan industri semen tidak fokus dalam upaya penurunan emisi, hanya perusahaan yang telah terdaftar di pasar modal yang menerapkan target berkelanjutan pada tahun 2050.



**Gambar 1. 2 Intensitas emisi ideal industri semen Indonesia untuk mencapai Paris Agreement (Climate Action Tracker, 2020a)**

Beberapa penelitian telah meneliti upaya potensi pengurangan emisi industri semen (Xu et al., 2014). Terlepas dari asumsi skenario yang berbeda, emisi dasar dan metode, semua studi menganalisis peran empat opsi utama untuk upaya pengurangan emisi, juga disorot dalam peta jalan teknologi IEA (International Energy Agency, 2019) yaitu :

1. Peningkatan efisiensi termal dan listrik. Dengan cara aplikasi teknologi termutakhir di pabrik semen atau melakukan efisiensi energi di pabrik semen yang menggunakan teknologi lama.
2. Substitusi klinker, yaitu substitusi karbon intensif klinker dengan bahan rendah karbon (misalnya fly-ash, plester, tanah liat).
3. Penggunaan bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (alternatif). Bahan bakar fosil rendah karbon atau bahan bakar netral karbon, seperti bahan bakar biomassa atau bahan bakar yang berasal dari limbah.
4. Penggunaan teknologi baru dan inovatif yang berkontribusi pada dekarbonisasi seperti penerapan teknologi Penangkap Karbon (*Carbon Capture Storage (CCS)*) pada proses pembuatan semen.

Referensi upaya dari IEA ini perlu untuk diterapkan pada industri semen Indonesia untuk mendapatkan hasil yang jelas bagi target berkelanjutan emisi industri beserta dengan langkah-langkah yang praktis dan dan secara mudah untuk dilaksanakan.

Berlandaskan pada kondisi yang telah dijelaskan diatas, maka diperlukan studi untuk memberikan masukan ilmiah bagi penentuan target berkelanjutan penurunan tingkat emisi industri semen di Indonesia untuk mendukung tercapainya upaya menahan laju kenaikan suhu bumi dibawah 2°C pada tahun 2050.

Model sistem dinamik akan dipergunakan dalam simulasi target penurunan emisi CO<sub>2</sub> industri semen ini, penggunaan sistem dinamik pada penelitian ini dikarenakan emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan oleh proses pembuatan semen merupakan sistem kompleks karena dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling mempengaruhi sehingga membentuk suatu sistem proses yang

dinamis. Faktor-faktor tersebut sangat sulit dianalisa oleh sistem linear atau polynomial, kemudian untuk dapat melihat perilaku sistem dapat diuji dengan berbagai macam skenario formulasi bentuk kebijakan dan dapat disimulasikan oleh model sistem dinamis, sehingga metode ini adalah salah satu cara untuk mendukung pengambilan keputusan praktis dan dapat melihat perubahan perilaku kebijakan yang lebih kompleks karena adanya arus skema umpan balik (Andhika, 2019).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas permasalahan yang akan diteliti dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana proyeksi dibawah upaya apapun atau *business as usual* (BAU) penurunan emisi CO<sub>2</sub> industri semen Indonesia pada tahun 2050.
2. Bagaimana pendekatan simulasi kebijakan sistem dinamik terhadap target penurunan emisi CO<sub>2</sub> industri semen Indonesia pada tahun 2050.
3. Bagaimana strategi dan rekomendasi untuk dapat mencapai target penurunan emisi CO<sub>2</sub> berkelanjutan pada industri semen di Indonesia.

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Dari perumusan latar belakang tersebut di atas, tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi dan menganalisis hubungan sebab akibat (causal loop) terhadap faktor-faktor pembuat emisi CO<sub>2</sub> yang berpengaruh pada emisi CO<sub>2</sub> di industri semen Indonesia berdasarkan data trend dan kondisi isu internal dan eksternal di Indonesia.
2. Membuat simulasi kebijakan secara sistem dinamik terhadap skenario upaya penurunan emisi CO<sub>2</sub> di industri semen Indonesia dari tahun 2020 sampai dengan 2050

3. Memberikan rekomendasi strategi untuk dapat mencapai target penurunan emisi CO<sub>2</sub> berkelanjutan pada industri semen di Indonesia.

#### **1.4. Kegunaan Penelitian**

Penelitian ini dimaksudkan untuk menyediakan saran praktik dan kebijakan yang dapat digunakan untuk menentukan target berkelanjutan penurunan emisi CO<sub>2</sub> pada industri semen bagi pihak yang berkepentingan (pemerintah, investor, pelanggan dan masyarakat) dan sebagai panduan bagi industri semen dalam menurunkan emisi CO<sub>2</sub>.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

#### **2.1. Industri Hijau ( Green Industri)**

Industri hijau merupakan salah satu pilihan untuk mengatasi masalah pencemaran dan kerusakan lingkungan yang saat ini terjadi, meskipun tidak secara sempurna tetapi dapat memperlambat kerusakan lingkungan. Industri hijau banyak dicoba diterapkan dalam perkembangan di banyak negara di dunia, khususnya sektor industri negara maju. Namun secara nasional, konsep “hijau” secara umum sudah mulai muncul dalam beberapa tahun terakhir namun belum sepenuhnya diterapkan. Konsep hijau berasal dari prinsip keberlanjutan (*sustainability*), kapabilitas dari ragam jenis sumber daya di planet ini untuk berinteraksi dengan sistem ekonomi dan sistem budaya manusia serta kemampuan beradaptasi mereka untuk mengatasi lingkungan dengan kondisi yang selalu berubah. Pembangunan berkelanjutan tidak mengesampingkan pentingnya kembang tumbuhnya ekonomi. Namun kemajuan ekonomi perlu dikembangkan untuk menjamin terpenuhinya kebutuhan dasar manusia saat ini dan di masa yang akan datang, yang disebut model pertumbuhan “hijau” dalam pembangunan pertumbuhan. Pertumbuhan hijau dianggap sebagai model revolusioner. Kerangka ini mengkritisi kerangka pemikiran pembangunan yang lama secara umum, yang harus menyentuh semua aspek, termasuk industri dan rumah tangga. (Saepudin et al., 2020)

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) mendefinisikan visinya untuk industri hijau sebagai berikut: Pemisahan utilitas dan industri, pertumbuhan ekonomi, pencegahan konsumsi sumber daya yang berlebihan dan pencemaran lingkungan. Ini mewakili dunia di mana industri dapat meminimalkan dan mendaur ulang semua jenis limbah. Sumber daya seperti bahan mentah dan bahan bakar, pekerja, masyarakat, iklim, dan pemerhati lingkungan. Industri hijau menawarkan peluang kreatif dan inovatif untuk meningkatkan kinerja ekonomi, ekologi dan sosial. Industri hijau adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk mempromosikan pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan di industri manufaktur. Ini termasuk penciptaan industri hijau, termasuk produk yang ada,

dan industri hijau yang menyediakan produk dan layanan ramah lingkungan. Dalam industri hijau, produsen harus bertanggung jawab atas dampak lingkungan mereka selama siklus hidup produk atau layanan mereka. Tujuan dari industri hijau adalah:

1. Meningkatkan efisiensi industri tradisional dan rantai pasokan
2. Pengembangan produk baru seperti energi terbarukan, teknologi daur ulang, produksi makanan organik, dll.
3. Menciptakan jasa analisis dan konsultasi lingkungan sebagai perusahaan jasa energi, termasuk analisis dan perhitungan jejak ekologis
4. Menciptakan jasa baru yang bersih dan ramah lingkungan seperti ekowisata (UNIDO, 2011)

Sektor industri berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi hijau. Oleh karena itu model pengembangan industri juga perlu bergerak menuju model industri hijau yang juga dikenal sebagai industri hijau. Industri hijau sebagaimana disampaikan Yeonok Choi dalam artikelnya membahas dasar prinsipal yang terkandung dalam “*Low Carbon Green Growth Law*” tahun 2010 (Yeonok Choi, 2010) menjelaskan bahwa industri hijau adalah kegiatan yang:

1. meningkatkan efisiensi energi dan sumber daya di lingkungan. ekonomi secara keseluruhan dan
2. mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi dan mencapai pertumbuhan hijau rendah karbon melalui produk dan layanan yang memperbaiki lingkungan.

Dalam UU RI No. 3 tahun 2014 (UU\_Perindustrian\_No\_3\_2014, 2014) tentang perindustrian menyatakan bahwa Industri hijau adalah industri yang berkelanjutan. Produksinya mendukung penggunaan sumber daya yang efisien dan efektif secara berkelanjutan untuk menyelaraskan pembangunan industri dan melestarikan fungsi lingkungan dan dapat memberi manfaat bagi masyarakat. Untuk pembangunan industri berkelanjutan pemerintah Indonesia telah memulai pada masa era presiden Susilo Bambang Yudhono dengan sejak tahun 2008 ketika pemerintah Indonesia mengeluarkan Peraturan Presiden No. 28 Tahun 2008 yang mengarahkan kebijakan industri nasional yang selaras dengan tujuan



pembangunan industri jangka panjang.

Untuk memperkuat pelaksanaan pengembangan industri hijau tersebut, pemerintahan republik Indonesia telah memasukkan aspek industri hijau menjadi 11 prioritas Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional tahun 2010. Indonesia juga memasukkan konsep industri hijau. menjadi UU Perindustrian No. 3 Tahun 2014. Penerapan industri hijau yang merupakan komitmen Indonesia tetap berlandaskan pengaruh oleh beberapa mekanisme internasional antara lain: Protokol Kyoto 1997 yang mengamandemen Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (UNFCCC) terkait dengan kesepakatan internasional tentang upaya mengatasi pemanasan global; Standar Inggris BSI: 7750 saat ini digunakan sebagai ISO 14001 dan Skema Pengelolaan dan Audit Lingkungan (Kementrian Perindustrian, 2012)

Pada periode 2010-2019 dengan 11 kegiatan atau target dari prioritas dalam pelaksanaan di bidang industri hijau memberikan hasil yang positif. Beberapa indikator menjadi tanda yaitu:

Penghargaan PROPER dan SIH terhadap pengelolaan lingkungan perusahaan meningkat dari 66% pada tahun 2010 menjadi 69% pada tahun 2011-2012.

Pada saat yang sama upaya pengelolaan lingkungan terutama upaya pengurangan gas rumah kaca (GRK) dan pengurangan beban pencemar untuk mencapai pembangunan berkelanjutan juga telah dimulai.

Berdasarkan data dari KLHK telah menunjukkan bahwa laju deforestasi menurun dari 8.300.00 ha pada kurun tahun 2006 hingga 2009 menjadi 50.000 Ha per tahun 2009-2011.

Kegiatan Program Pemeringkatan (PROPER) dimaksudkan untuk mendorong perusahaan mengurangi polusi dan emisi. sementara itu Upaya pemadaman kebakaran lahan hutan juga berhasil mengurangi angka *hotspot* di pulau Sumatera Kalimantan dan Sulawesi (PROPER, 2021)

Kebijakan lain Presiden Joko Widodo adalah Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia (Permenperin) Nomor 39 Tahun 2018 tentang Tata Cara Sertifikasi Industri Hijau. Peraturan ini memberikan kerangka bagi sertifikasi industri hijau khususnya pengakuan lembaga sertifikasi industri hijau untuk

menyatakan bahwa perusahaan industri telah memenuhi SIH. Lembaga Sertifikasi Industri Hijau yang selanjutnya disebut LSIH adalah badan yang berwenang menyelenggarakan kegiatan sertifikasi Industri Hijau. Perusahaan industri yang telah disertifikasi sebagai industri hijau dapat menggunakan logo industri hijau. Logo Industri Hijau dapat dipakai pada: label kemasan produk, kop surat perusahaan, kartu nama perusahaan dan brosur perusahaan.

Panduan Proses Sertifikasi Industri Hijau untuk yang dilakukan oleh LSIH untuk berdasarkan Standar atau Spesifikasi Industri Hijau dan SNI ISO 17065 yang pada terkait penilaian kepatuhan terhadap persyaratan lembaga sertifikasi produk dan jasa.

Salah satu industri yang menjadi perhatian adalah industri semen yang termasuk dalam kelompok industri kimia farmasi dan tekstil (IKFT), seperti diketahui bahwa industri semen adalah pemakai energi terbesar dan penghasil pencemar CO<sub>2</sub> terbesar dalam kelompok IKFT, sehingga seluruh industri semen diwajibkan untuk dilakukan sertifikasi wajib industri hijau (SIH), Kementerian perindustrian adalah regulator dan penanggung jawab untuk pelaksanaan sertifikasi industri hijau yang mana telah dijelaskan diatas sertifikasi di laksanakan oleh Lembaga Standar Industri Hijau yang dikelola oleh Badan pusat industri hijau pada kementerian perindustrian. Standar industri hijau bagi industri semen berpedoman pada standar SIH 23941.1:2015 (Kemenperin, 2015) dan diperbaharui dengan terbitnya standar baru pada peraturan Kemenperin no 26 tahun 2018 tentang SIH (Permenperin\_No\_26\_Tahun\_2018\_SIH Semen, 2018). Pada standar ini juga diatur parameter-parameter yang sebagian besar berhubungan dengan batasan penggunaan energi dan cemaran CO<sub>2</sub> yang berhubungan dengan penelitian ini diantaranya adalah :

- Penggunaan bahan bakar alternatif biomasa atau non biomassa yang diekspresikan dalam rasio penggantian sumber energi panas (*thermal substitution rate*) sebesar minimal 1% (satu persen)
- Rasio klinker terhadap semen untuk tipe PPC (portland pozzolan cement) dan PCC (portland composite cement) maksimal 82%,
- Emisi gas rumah kaca pada proses pembuatan semen sebesar maksimal

750 Kg/CO<sub>2</sub>eq/ton semen

- Penggunaan energi listrik spesifik sebesar 100 -120 Kwh/ton cement tergantung pada kapasitas dan tahun pembuatan pabrik
- Penggunaan energi panas spesifik sebesar 860 – 1050 Kkal/Kg klinker tergantung pada kapasitas dan tahun pembuatan pabrik

Sejak diberlakukannya standar industri hijau ini, sebagian besar pabrik semen telah dapat memenuhi standar ini, tercatat pabrik semen dibawah grup semen Indonesia yang menguasai pangsa pasar penjualan semen Indonesia telah semua tersertifikasi SIH, sehingga standar ini dianggap terlalu longgar karena pihak industri semen telah banyak melakukan berbagai upaya yang melampaui standar ini.

## **2.2.Paris Agreement dan Sustainable Development Goals (SDG's)**

Perubahan iklim memiliki dampak besar pada semua negara dan wilayah. Problem ini akan mempengaruhi kondisi ekonomi secara nasional dan berpengaruh juga terhadap kondisi social juga berdampak pada manusia, komunitas dan negara saat ini, dan mungkin lebih banyak lagi pada masa mendatang. Dampak perubahan iklim terlihat pada pola cuaca yang tidak menentu, kenaikan permukaan laut, cuaca tidak normal, mencairnya sebagian besar es di kutub juga mempengaruhi kondisi *biodiversity* (keanekaragaman hayati) dan lain sebagainya. Untuk mengatasi perubahan iklim ini salah satu upaya ialah Perjanjian Paris atau *Paris Agreement* adalah perjanjian di bawah *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) tentang pengurangan emisi gas rumah kaca, adaptasi dan pembiayaan. Kesepakatan tersebut diharapkan mulai berlaku pada tahun 2020, kesepakatan ini dirundingkan oleh perwakilan dari 195 negara pada Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa ke-21 di Paris, Prancis (COP-21). Setelah proses negosiasi, kesepakatan ditandatangani di New York, AS pada hari Bumi, 22 April 2016. Per Maret 2017 ada 194 negara telah menandatangani perjanjian tersebut, 141 di antaranya telah meratifikasinya dan pada tanggal 22 April 2016 Indonesia menandatangani perjanjian ini. Persentase gas rumah kaca yang diratifikasi Indonesia adalah 1,49% artinya Indonesia juga berkontribusi terhadap emisi

rumah kaca global dan kenaikan suhu bumi (Alisjahbana et al., n.d.)

Tujuan dibuatnya Paris Agreement diatur dalam Pasal 2 yaitu :

1. Menahan kenaikan suhu global di bawah tingkat pra-industri di bawah 2°Celsius (2DS) dan membatasi perubahan suhu setidaknya 1,5 ° Celcius bahwa pembatasan ini secara signifikan mengurangi risiko dan dampak perubahan cuaca.
2. Meningkatkan kemampuan beradaptasi terhadap hasil perubahan iklim, meningkatkan ketahanan iklim, dan menerapkan pengembangan pembangunan yang rendah emisi gas rumah kaca tanpa membahayakan produksi pangan.
3. Membuat aliran dana finansial yang konsisten untuk mencapai pembangunan yang tahan terhadap gas rumah kaca dan perubahan iklim.

Keterkaitan *Paris agreement* dengan SDG's adalah sangat erat karena diakomodirnya perubahan iklim (*Climate Change*) pada salah sasaran dari SDG's meskipun sasaran tercapainya 2DS pada *Paris Agreement* pada tahun 2050 tetapi SDGs adalah visi dari keadaan dunia secara keseluruhan pada. 2030 seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini



**Gambar 2. 1 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (BAPPENAS, 2017)**

SDGs berisi 17 tujuan dengan total 169 indikator. Mengingat tujuan pencapaian yang telah ditetapkan, lahirnya SDGs tidak terlepas dari kritik tajam. Hasilnya

lebih kompleks dan ada banyak MDGs yang hanya mempunyai 8 gol, ada beberapa yang tersisa MDG. Oleh karena itu, tidak heran jika SDGs dipandang sebagai visi global yang terlalu ambisius. Cara lain untuk melihatnya adalah, sebaliknya, ambisi ini diperlukan untuk bisa “memaksa” semua pihak berkontribusi untuk memecahkan masalah pembangunan utama di dunia, Ketimpangan dan kerusakan lingkungan. Selain itu, terdapat perbedaan prinsip persiapan antara SDGs dan MDGs. Memberi harapan bahwa dunia akan berubah menjadi tempat untuk hidup lebih baik di dalamnya. Pada dasarnya, MDGs masalah pembangunan di negara berkembang dan berkembang, Dimana negara maju berperan lebih besar sebagai donor. Di sisi lain, prinsip utama SDGs adalah tujuan pembangunan yang dapat diterapkan secara universal dan dapat diterapkan untuk semua orang, tidak hanya untuk semua negara industri tetapi juga negara berkembang.

Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang menyelaraskan tujuan baik secara ekonomi, sosial, ekologi dan kenegaraan atau kelembagaan. Misalnya, pertumbuhan ekonomi yang tinggi perlu dikaitkan secara erat melalui penciptaan lahan ekonomi, melalui pemerataan pendapatan bekerja dengan upah layak. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan pendapatan sehingga dapat menimbulkan konflik sosial baik secara vertikal maupun horizontal. Selain itu, pertumbuhan ekonomi harus ramah lingkungan yang tidak mencemari atau berlebihan dalam penggunaan sumber daya alam.

Pilar pertama SDGs didasarkan pada pedoman ini 5P: *people, planet, prosperity, peace, dan partnership*. Pilar 5P dapat diartikan sebagai berikut.:

- *People*: SDGs memastikan bahwa semua orang bebas dari kemiskinan, kelaparan, kesetaraan, dan mendapatkan hak untuk hidup dengan bermartabat.
- *Planet*: SDGs melindungi bumi dari efek negatif dari aktivitas manusia dan konsumsi sumber daya yang tidak bertanggung jawab
- *Prosperity*: SDGs adalah untuk memastikan bahwa setiap orang memiliki hidup yang baik berkecukupan secara layak,, mandiri dan menjalani kehidupan yang kompeten selaras dengan alam.

- *Peace* : Tidak ada Pembangunan berkelanjutan tanpa perdamaian dan jaminan social dan sebaliknya
- *Partnership*: Pembangunan Keberlanjutan hanya dapat dicapai melalui kerja sama global yang erat Ikuti prinsip solidaritas yang tinggi.

Seperti dibahas di atas, SDGs adalah visi global bersama mewakili kepentingan semua pihak. Selain itu, negara yang berpartisipasi dalam KTT Keberlanjutan PBB SDGs adalah jalan umum menuju 2030, dengan slogan “ *No Left behind*” yang merupakan pilar kedua dari SDG’s.

Pemerintah Indonesia juga telah memberlakukan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 untuk meratifikasi Paris Agreement dan dituangkan dalam Nawa Cita, Pemerintah Indonesia yang memiliki sembilan prioritas pembangunan nasional memiliki iklim rendah karbon dengan mengadaptasi dan memitigasi perubahan iklim sebagai prioritas lintas sektoral yang terintegrasi dalam agenda pembangunan nasional dan arah pembangunan yang tahan terhadap perubahan.

Komitmen ini tertuang dalam Nawa Cita dan menjadi landasan bagi penyusunan dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) pertama Indonesia yang diserahkan ke *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) pada November 2016. NDC pertama di Indonesia menguraikan emisi rendah masa depan Indonesia dan transisi menuju ketahanan perubahan iklim. NDC berencana untuk mengurangi emisi sebesar 29% menjadi 41% pada tahun 2030 dengan dukungan internasional dan akan digunakan sebagai dasar untuk mengimplementasikan inisiatif perubahan iklim. Persentase emisi dari masing-masing sektor yaitu sektor kehutanan (17,2%), energi (11%), pertanian (0,32%), industri (0,10%), dan limbah (0,38%). Dari perspektif adaptasi, upaya Indonesia termasuk meningkatkan ketahanan ekonomi, jaminan sosial, mata pencaharian dan ketahanan ekosistem dan lanskap untuk melindungi sumber daya pangan, air dan energi.(Agung Sugardiman et al., 2018)

Dengan terbitnya Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 ini berimplikasi terhadap penyelenggaraan pemerintahan adalah seluruh jajaran pemerintah pusat hingga daerah harus menyeleraskan kegiatannya dengan tujuan pembangunan

berkelanjutan (TPB) dengan diterbitnya Peraturan Presiden No 59 Tahun 2017 tentang Peta Jalan (roadmap) Nasional TPB berisi kebijakan strategis langkah-langkah untuk pencapaian TPB dari tahun 2017 sampai dengan 2030 yang selaras dengan sasaran pembangunan nasional (Setneg RI, 2017). Peraturan ini memandatkan beberapa hal, di antaranya,

- (1) arahan kepada Bappenas untuk menyiapkan peta jalan Indonesia hingga tahun 2030 dan
- (2) perencanaan nasional dalam pembentukan Rencana Aksi Nasional (RAN) SDGs

Sehingga Bappenas sebagai pengarah TPB di Indonesia menyiapkan indikator-indikator pencapaian sesuai dengan konsep SDG's global, diantaranya adalah dengan terbitnya buku metada pilar pembangunan yang terdiri dari pilar sosial yang berkaitan dengan SDG no 1- 5, pilar ekonomi ( SDG's no 7-10 dan 17), pilar lingkungan (6, 11-15) dan pilar hokum (SDG's no 16) . Perubahan iklim termasuk dalam tujuan ke-13 SDGs dan termasuk pilar lingkungan dalam buku metadata Bappenas (Bappenas, 2020). Berkaitan erat dengan perubahan iklim yaitu ditetapkan indikator 13.2 tentang mengintegrasikan tindakan antisipasi perubahan iklim ke dalam kebijakan, strategi dan perencanaan nasional dengan sub indicator sebagai berikut :

- INDIKATOR 13.2.1:

Terwujudnya penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca (GRK), serta monitoring, pelaporan dan verifikasi emisi GRK yang dilaporkan dalam dokumen *Biennial Update Report* (BUR) dan National Communications

- INDIKATOR 13.2.2 : Jumlah emisi gas rumah kaca per tahun
- INDIKATOR 13.2.2.(a) Potensi penurunan emisi gas rumah kaca
- INDIKATOR 13.2.2.(b) Potensi penurunan intensitas emisi gas rumah kaca

Inventerisasi gas rumah kaca dilakukan oleh KLHK pada ditjen PPI (Pengendalian Perubahan Iklim), laporan disampaikan setiap tahun untuk 6 sektor penghasil emisi gas rumah kaca dalam laporan inventerisasi GRK dan monitoring, pelaporan dan verifikasi nasional yang mempresentasikan profil emisi GRK, hasil capaian pengurangan emisi GRK dari aksi migitasi yang dilakukan setiap sektor

dan rencana perbaikannya seperti yang telah dijelaskan diatas.

### 2.3. Semen

Semen merupakan produk industri dari reaksi antara *raw material* berupa batu kapur sebagai bahan baku utama dan *silica clay* (tanah liat) dengan hasil akhir berupa semen yang dapat mengeras atau membatu bila dicampurkan dengan air karena terjadi reaksi hidrasi. Senyawa kalsium oksida (CaO) dan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) adalah senyawa yang terdapat pada batu kapur sedangkan silikaoksida, aluminium oksida, besi oksida dan magnesium oksida adalah senyawa mayoritas yang terdapat padatanah liat (*silica clay*). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai membentuk klinker yang kemudian mengalami proses *grinding* (penghalusan) dan dicampur dengan tambahan bahan seperti *gypsum* (Ca<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dalam jumlah yang sesuai (S P Deolalkar, 2009).

Semen digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti pembangunan rumah, gedung, jalan, bendungan dan lainnya. Jenis semen dapat beranekaragam sesuai dengan penggunaannya. *Ordinary portland cement* (OPC) dan *Portland composite cement* (PCC) adalah tipe jenis semen yang sering digunakan dalam berbagai macam keperluan. OPC memiliki standar di Indonesia dalam SNI 15-2049-2015 dan dalam standar eropa EN 197-1:2011 (SNI-2049-2015 Semen Portland, 2015). PCC memiliki standar di Indonesia dalam SNI 15-7064-2014 dan dalam standar Eropa dalam EN 197-1:2011 (Standar Nasional Indonesia Semen Portland Komposit, 2014). OPC terbagi menjadi 5 jenis semen yaitu OPC tipe 1 hingga tipe 5 (Permenperind\_No.18\_2012\_SNI Wajib, 2012). OPC tipe 1 memiliki kemiripan fungsi dengan PCC yang banyak digunakan oleh masyarakat. Standarisasi jenis semen penting dilakukan agar dapat menjaga kualitas semen yang digunakan. Secara umum penggunaan OPC dan PCC memiliki kecenderungan peningkatan setiap tahunnya. Penggunaan PCC setiap tahunnya mengalami peningkatan signifikan dibandingkan dengan OPC. Oleh dikarenakan PCC banyak dikonsumsi oleh rumah tangga yang merupakan mayoritas pengguna semen di Indonesia. Selain itu PCC lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan OPC khususnya OPC tipe 1 karena kandungan klinker dalam PCC lebih rendah dibandingkan OPC yang telah digantikan oleh material alternatif (Indocement et



al., 2017). Standarisasi SNI pada jenis semen tergantung penggunaan klinker dalam semen dimana semen tipe PPC dan PCC adalah semen yang memperoleh porsi terbesar penggunaan klinker dengan kualitas yang telah ditetapkan. Industri semen berusaha memanfaatkan standar ini untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dengan menambahkan bahan alternatif (mengurangi faktor klinker) dimana semakin banyak penggunaan bahan alternatif akan semakin sedikit membutuhkan klinker yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran klinker (penggunaan energi) dan pelepasan CO<sub>2</sub> dari proses kalsinasi.

Pada standar SNI 15-0302:2014 (PPC) menyebutkan bahwa penggunaan material aditif seperti pozzolan berkisar 6% - 40% dan gypsum sebanyak 3% atau total 43% material pozzolan dapat mengurangi klinker dalam semen (BSN, n.d.) dan standar SNI 7064:2014 memperbolehkan campuran material aditif seperti limestone, GBFS (*ground blast furnace*), silika atau pozzolan berkisar 6% – 35% dan gypsum 3% atau total 38% pengganti klinker. (Standar Nasional Indonesia Semen Portland Komposit, 2014).

#### **2.4. Proses Pembuatan Semen**

Pembuatan semen adalah proses tiga tahap: persiapan bahan baku, produksi klinker dan penggilingan klinker dengan komponen lain untuk menghasilkan semen seperti terlihat pada gambar 6. Bahan baku yang berbeda dicampur dan digiling menjadi bubuk homogen, klinker diproduksi di kiln suhu tinggi di mana: emisi langsung CO<sub>2</sub> terjadi. Biasanya, 30-40% dari emisi CO<sub>2</sub> langsung berasal dari pembakaran bahan bakar; sisanya 60-70% berasal dari reaksi kimia yang terlibat dalam mengubah batu kapur kalsium oksida, prekursor untuk pembentukan kalsium silikat, yang memberikan kekuatan semen. Klinker kemudian digiling dengan gypsum untuk menghasilkan semen. Komponen lainnya, termasuk abu terbang (*fly ash*), *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS) dan batu gamping halus, dapat ditumbuk atau dicampur tergantung pada properti teknis yang diperlukan dari semen yang sudah jadi.

Semen dapat diproduksi pada pabrik lengkap yang mempunyai tanur (*kiln*) hingga penggilingan semen atau pada pabrik penggilingan/pencampuran terpisah. Semen campuran atau "kombinasi" juga bisa diproduksi di pabrik beton. Ada dua tipe