

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Semen**

Semen berasal dari bahasa latin “*cementum*”, dimana kata ini mula-mula dipakai oleh bangsa Roma yang berarti bahan atau ramuan pengikat, dengan kata lain semen dapat didefinisikan adalah suatu bahan perekat yang berbentuk serbuk halus, bila ditambah air akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat (*mineral glue*). Pada mulanya semen digunakan orang-orang Mesir Kuno untuk membangun piramida yaitu sejak abad ke-5 dimana batu batanya satu sama lain terikat kuat dan tahan terhadap cuaca selama berabad-abad. Bahan pengikat ini ditemukan sejak manusia mengenal api karena mereka membuat api di gua-gua dan bila api kena atap gua maka akan rontok berbentuk serbuk. Serbuk ini bila kena hujan menjadi keras dan mengikat batu-batuan disekitarnya dan dikenal orang sebagai batu *Masonry* (Rahadja, 1990).

Semen merupakan salah satu bahan perekat yang jika dicampur dengan air mampu mengikat bahan-bahan padat seperti pasir dan batu menjadi suatu kesatuan kompak. Sifat pengikatan semen ditentukan oleh susunan kimia yang dikandungnya. Adapun bahan utama yang dikandung semen adalah kapur (CaO), silikat (SiO<sub>2</sub>), alumunia (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ferro oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), magnesit (MgO), serta oksida lain dalam jumlah kecil (Rahadja, 1990).

Massa jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 gr/cm<sup>3</sup>, pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,03 gr/cm<sup>3</sup> sampai 3,25 gr/cm<sup>3</sup>. Variasi ini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian massa jenis ini dapat dilakukan menggunakan *Le Chatelier Flask* (Rahadja, 1990).

#### **2.2 Proses Pembuatan Semen**

PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk melakukan proses pembuatan semen dengan menggunakan proses kering (*dry process*) (PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk, 2014). Dalam proses kering, bahan baku dicampur masuk *kiln* melalui *preheater*. Di sini, gas panas dari *kiln*, digunakan untuk memanaskan umpan.

Akibatnya, umpan sudah panas sebelum masuk *kiln*. Proses kering jauh lebih efisien termal dari proses basah karena umpan dalam bentuk kering dan sehingga hanya ada sedikit air yang harus diuapkan (Con G. Manias).

*Kiln* pada proses kering dilengkapi *suspension preheater*. Alat ini adalah menara dengan serangkaian *cyclone* yang bergerak cepat dengan gas panas yang menjaga umpan melayang di udara. Sepanjang waktu, umpan akan lebih panas dan gas akan lebih dingin sampai umpan berada pada suhu hampir sama dengan gas.

Pada dasarnya proses pembuatan semen ada lima tahapan utama. Kelima tahap ini adalah sebagai berikut :

### **1. Penyediaan bahan baku**

Bahan baku utama yang digunakan untuk kegiatan produksi semen di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk adalah batu kapur sekitar 75 – 90 % dan tanah liat sekitar 7 – 20 %, sedangkan bahan baku koreksi berupa pasir besi sekitar 1 – 3 % dan pasir silika 1 – 6 %. Bahan baku utama diperoleh dari pertambangan sendiri di sekitar lokasi pabrik. Bahan baku koreksi berupa pasir besi diperoleh dari tambang rakyat di sekitar daerah Baturaja dan pasir silika dari tambang rakyat di Krui, Lampung. Untuk memperoleh bahan baku utama perlu dilakukan beberapa proses, yaitu :

- a. *Clearing* (pembersihan)
- b. *Stripping of over burden* (pengupasan tanah permukaan)
- c. *Drilling* (pengeboran)
- d. *Blasting* (pengeboman)
- e. *Loading* (pemuatan)
- f. *Hauling* (pengangkutan)
- g. *Crushing* (penghancuran)

Khusus untuk penambangan tanah liat tidak memakai proses *drilling* dan *blasting*. Setelah mengalami proses penghancuran (ukuran sekitar 8 cm), bahan baku akan disimpan dalam *storage* dan dilakukan proses *preblending* untuk menghomogenisasikan kualitas bahan baku.

## 2. Pengeringan dan penggilingan bahan baku

Penggilingan bahan mentah adalah cara untuk memperkecil ukuran bahan mentah menjadi lebih kecil atau membuat luas permukaan material menjadi lebih besar. Tujuan dari penggilingan bahan mentah ini adalah untuk mendapatkan campuran bahan mentah yang homogenik dan untuk mempermudah terjadinya reaksi kimia pada saat klinkerisasi. Selain penggilingan, material juga mengalami pengeringan dengan media pengeringannya berupa gas panas yang dapat berasal dari *hot gas generator* ataupun dari *kiln exhaust gas*.

Bahan mentah utama yang terdiri dari batu kapur dan tanah liat digaruk dengan menggunakan *reclaimer* dari *stock pile* masing-masing, kemudian bahan koreksi yang berupa pasir silika dan pasir besi di campur dengan bahan mentah utama dalam sebuah *belt conveyor* untuk diumpankan ke dalam *vertical mill*. Di dalam *vertical mill* keempat bahan mentah yang telah bercampur dengan proporsi tertentu itu mengalami proses penggilingan dan pengeringan. Selanjutnya, material yang telah halus dihisap dengan sebuah *fan*.

Untuk mendapatkan produk *vertical mill* tepung baku atau *raw meal* yang memiliki kehalusan sesuai dengan standar, maka material yang terhisap harus melewati separator terlebih dahulu dan selanjutnya dipisahkan dari gas panas dengan menggunakan 4 buah *cyclone*.

Tepung baku yang telah terpisah dari gas panas selanjutnya dimasukkan ke *CF Silo* ( *Continuous Flow Silo* ) dengan menggunakan alat *transport* berupa *fluxoslide* dan *belt bucket elevator*. Di dalam *CF Silo*, *raw meal* akan dihomogenisasi dan disimpan serta siap diumpankan ke *kiln*. Produk atas dari *cyclone separator* adalah uap air, gas panas dan sebagian debu yang terikat pada waktu pemisahan ini ditransportasikan ke *Electric Precipitator*.

Di dalam *Electric Precipitator* ini debu ditangkap oleh elektroda-elektroda yang bertegangan tinggi. Debu yang terkumpul ini dikembalikan lagi ke *CF Silo*. Sedangkan gas panas dari *kiln*, uap air dan sebagian debu yang tidak tertangkap oleh elektroda-elektroda *Electric Precipitator* ditransportasikan ke cerobong (*stack*) dengan bantuan sebuah *fan* adalah *ID fan*.

### 3. Pembentukan klinker (pembakaran)

Tepung baku (*raw meal*) yang telah dihomogenisasi di dalam *CF Silo* dikeluarkan dan dengan menggunakan serangkaian peralatan *transport*, tepung baku diumpankan ke *kiln*. Tepung baku yang diumpankan ke *Kiln* disebut umpan baku atau umpan *kiln* (*kiln feed*). Proses pembakaran yang terjadi meliputi pemanasan awal umpan baku di *preheater* (pengeringan, dehidrasi dan dekomposisi), pembakaran di *kiln* (klinkerisasi) dan pendinginan di *Grate cooler* (*quenching*).

#### a. Pengeringan

Pengeringan di sini adalah proses penguapan air yang masih terkandung dalam umpan baku. Terjadi pada saat umpan baku kontak dengan gas panas pada temperatur sampai 200 °C.

#### b. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses terjadinya pelepasan air kristal (*combined water*) yang terikat secara molekuler di dalam mineral-mineral umpan baku. Proses ini terjadi pada temperatur 100-400 °C. Kondisi ini menyebabkan struktur mineral menjadi tidak stabil dan akan terurai pada temperatur 400-900 °C.

#### c. Dekomposisi dan kalsinasi

Dekomposisi adalah proses penguraian atau pemecahan mineral-mineral umpan baku menjadi oksida-oksida yang relatif terjadi pada temperatur 400-900°C . Proses yang terjadi ialah :

Kaolin menjadi Metakaolin



Metakaolin menjadi oksida – oksida reaktif



Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO<sub>2</sub> sebagai gas. Proses kalsinasi berlangsung dari *cyclone* I hingga *cyclone* III pada temperatur yang berbeda dengan keberhasilan derajat kalsinasi (persentasi unsur CaO yang terurai dari senyawa karbonat) sesuai dengan desain *preheater* yang digunakan.

Reaksi dekomposisi karbonat yaitu :



#### d. Klinkerisasi

Klinkerisasi adalah proses pembentukan senyawa-senyawa penyusun semen *Portland*, baik dalam fasa padat maupun dalam fasa cair. Proses klinkerisasi membutuhkan energi yang sangat tinggi yaitu berkisar 800 kkal/kg klinker dan proses ini sebagian besar terjadi di dalam *kiln*, *cyclone IV A* dan *calsiner* (PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk, 2014).

#### e. *Quenching*

*Quenching* adalah proses pendinginan klinker secara mendadak setelah reaksi klinkerisasi selesai. *Quenching* dilakukan di dalam *Grate cooler* dengan media pendingnnya berupa udara luar yang dihembuskan ke dalam *Grate cooler* dengan menggunakan *fan*. Tujuan *quenching* adalah untuk mendapatkan klinker dengan mutu yang baik diantaranya :

1. Mencegahnya terjadinya reaksi inversi terjadi pada pendinginan lambat pada temperatur  $\pm 1200$  °C.
2. Mencegahnya terjadinya pembentukan struktur Kristal beta  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  yang bersifat hidraulis menjadi Kristal alfa  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  yang bersifat kurang atau tidak hidraulis. Klinker yang dihasilkan kemudian disimpan di dalam klinker *silo*.
3. Dengan adanya pendinginan yang mendadak dari temperatur tinggi (1000 °C) menjadi temperatur yang rendah (100 °C) akan dihasilkan terak yang rapuh (berpori-pori tinggi) sehingga memudahkan dalam proses penggilingan terak.
4. Untuk melindungi peralatan transportasi terak dari temperatur tinggi.
5. Panas terak dikembalikan ke dalam *kiln* sebagai udara sekunder pada pembakaran.

#### 4. Penggilingan klinker

Klinker yang disimpan dalam *klinker silo* dikeluarkan dan di angkut dengan *chain conveyer* masuk ke dalam *bin* klinker. Sementara *gypsum* dari

gerbong dibongkar dan disimpan dalam *bin gypsum*. Dengan perbandingan tertentu, klinker dan *gypsum* dikeluarkan dari *bin* masing-masing dan akan bercampur di *belt conveyor*.

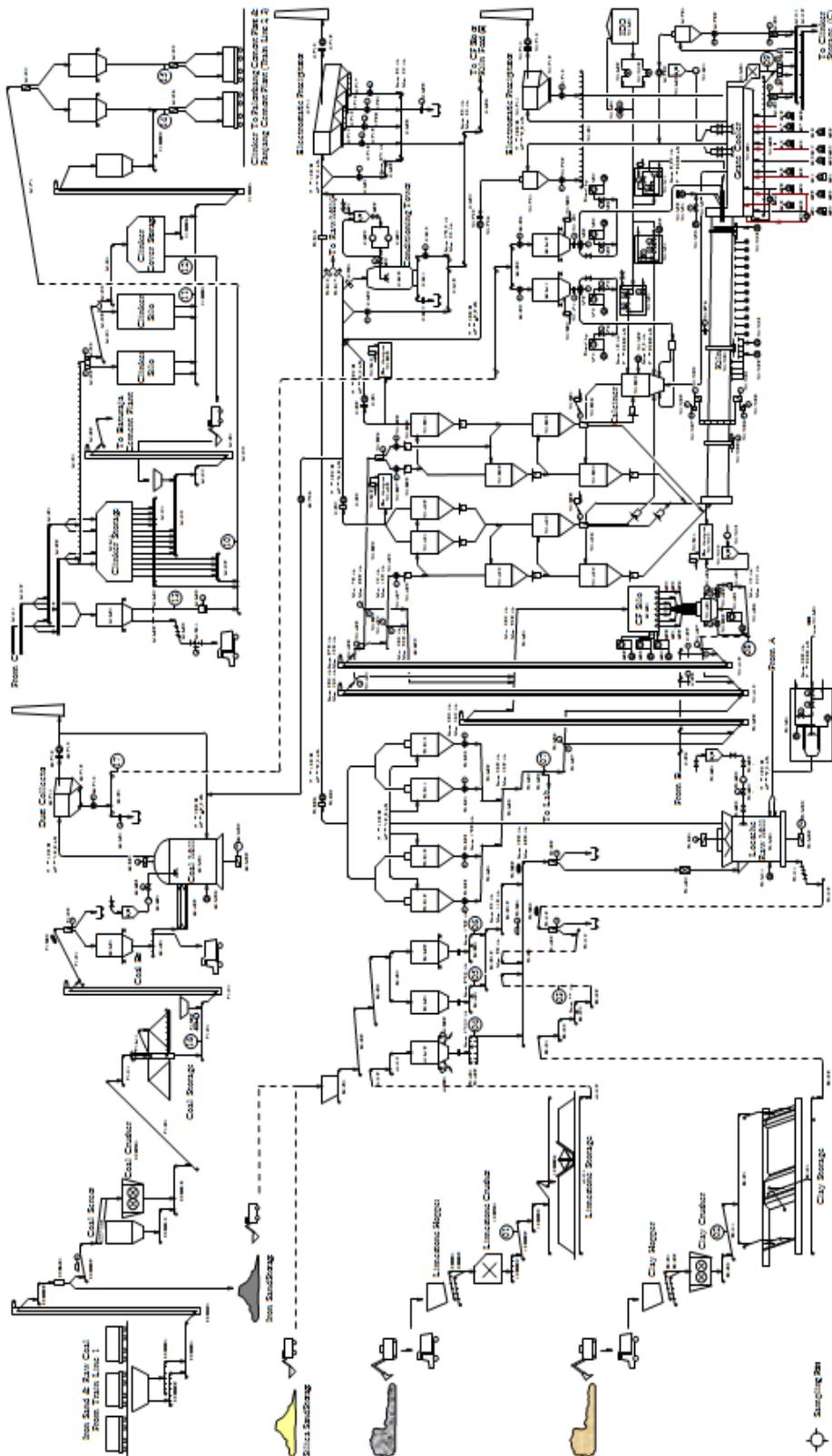
Dari *belt conveyor* campuran ini kemudian dihancurkan dengan *roller press* sehingga memiliki ukuran tertentu yang selanjutnya digiling dengan menggunakan alat penggiling berupa *tube mill* yang berisi bola-bola besi sebagai media penghancurnya.

Dengan menggunakan sebuah *fan*, material yang telah halus dihisap dan dipisahkan dari udara pembawanya dengan menggunakan beberapa perangkat pemisah debu. Hasil penggilingan ini disimpan dalam semen *silo* yang kedap udara. Semen yang dihasilkan harus memenuhi syarat mutu fisik semen dengan kehalusan minimal  $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$  (SNI mempersyaratkan min.  $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$ ).

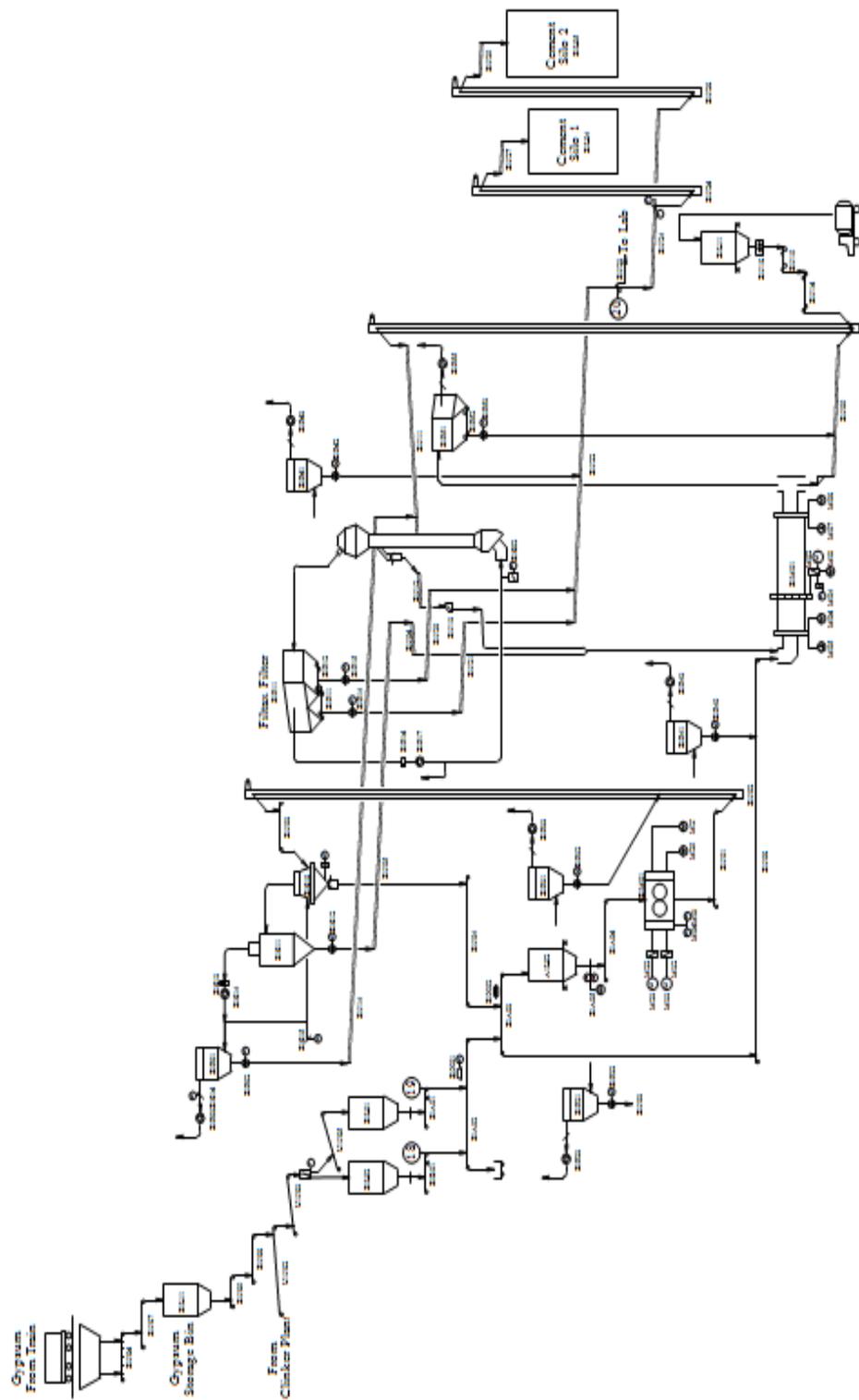
## **5. Pengantongan semen**

Semen dikeluarkan dari semen *silo* dan diangkut dengan menggunakan *belt conveyor* masuk ke *steel silo*. Dengan alat pengantongan berupa *rotary packer*, semen dikantongi dengan setiap 1 sak berisi 50 kg semen, kemudian dibawa ke truk untuk dipasarkan. Selain itu, semen juga dikemas dengan *big bag* yang bermuatan 1 ton semen dan ada semen curah atau *bulk* yang diangkut menggunakan truk bermuatan.

Proses pembuatan dan pengantongan semen di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2 sebagai berikut.



Gambar 1. Flowsheet Clinker Plant di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk  
 Sumber : CCR (Central Control Room) PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk.2014



Gambar 2. *Flowsheet Cement Plant* di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk  
 Sumber : CCR (*Central Control Room*) PT. Semen Baturaja (Persero),2014



## 2.3 Sistem *Kiln*

Sistem *Kiln* merupakan suatu sistem dimana terjadi proses pemanasan, pembakaran, dan klinkerisasi dari *kiln feed* yang berupa campuran batu kapur, pasir silika, tanah liat dan pasir besi menjadi klinker. Klinker adalah batuan-batuan yang dihasilkan dari proses pemanasan *raw meal* di *preheater*, pembakaran *kiln feed* di dalam *kiln* pada suhu sekitar 1500°C, dan klinkerisasi di dalam *grate cooler*. Selama proses pemanasan di dalam *kiln*, akan terjadi reaksi fisika dan kimia secara bersamaan dan interaksi antar molekul membentuk senyawa klinker.

Alat-alat pada sistem *kiln* ada 3, yaitu: *Suspension Preheater*, *Rotary Kiln*, dan *Grate cooler* (Con G. Manias).

### 2.3.1 *Suspension Preheater*

*Suspension Preheater* merupakan suatu susunan empat *stage cyclone* dan satu buah *calsiner* yang tersusun menjadi satu *string*. Fungsi pokok dari *preheater* adalah pemanasan awal *raw meal* dan tempat terjadinya proses penghilangan kadar air bebas hingga kalsinasi. Sistem *preheater* dipasang di dalam menara yang terbuat dari baja atau beton dengan ketinggian sekitar 60-120 m (6 tingkat) di atas *inlet kiln*. *Preheater* dengan 4-6 tingkat merupakan jenis yang paling sesuai untuk menghadapi masalah sirkulasi dengan adanya konsentrasi yang berlebih sehingga dapat menyebabkan masalah penyumbatan (*clogging*) pada sistem *preheater*. Alat ini merupakan alat yang digunakan untuk pemanasan awal bahan baku sebelum masuk *rotary kiln*. Pemanasan *raw meal* terjadi pada *preheater* melalui beberapa *stage cyclone* dan pemanas yang digunakan adalah gas hasil pembakaran dari *kiln*. Gambar *Preheater* dapat dilihat pada Gambar 3.

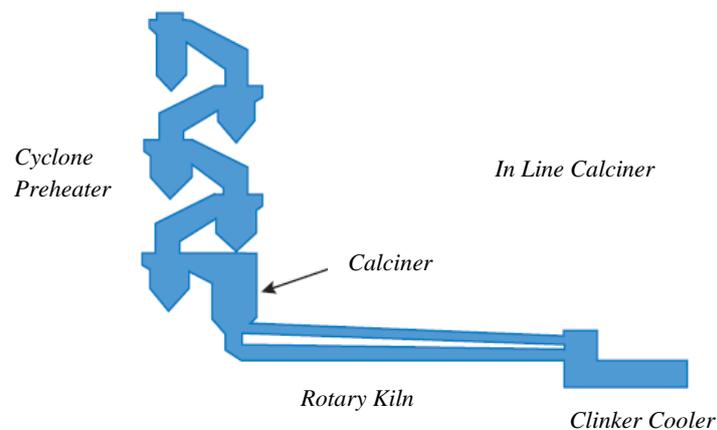


Gambar 3. Gambar *Preheater*  
Sumber: PT Semen Baturaja (Persero) Tbk

Di dalam *preheater* terdapat suatu bagian yang disebut dengan *calciner*. *Calciner* merupakan salah satu reaktor di dalam suatu pabrik semen dengan proses kering yang digunakan untuk proses kalsinasi. Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO<sub>2</sub> sebagai gas. Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO<sub>2</sub> sebagai gas. Proses kalsinasi berlangsung dari *cyclone I* hingga *cyclone III* pada *temperature* yang berbeda dengan keberhasilan derajat kalsinasi (persentasi unsur CaO yang terurai dari senyawa karbonat) sesuai dengan desain *preheater* yang digunakan. Pada *calciner* terdapat dua sistem yaitu:

a. *In Line Calciner* (ILC)

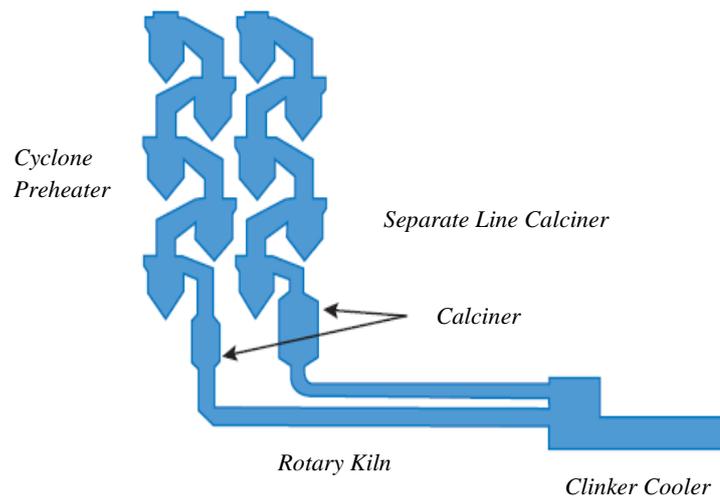
Aliran udara pembakaran di *calciner* di suplai dari udara tersier dan udara dari *kiln*. Gambar *in line calciner* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Gambar *In Line Calciner*  
Sumber: Manias, Con. G

### b. *Separate Line Calciner* (SLC)

Udara panas tersier dari *cooler* masuk ke kalsiner melalui *central inlet* di dasar konis dan gas buang keluar kalsiner melalui sisi *outlet* di bagian atas. Gambar *separate line calciner* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Gambar *Separate Line Calciner*  
Sumber: Manias, Con. G

*Suspension preheater* yang digunakan adalah SLC *preheater* dengan dua *string*. Pemanasan *raw meal* dilakukan oleh *preheater* siklon empat tingkat. Aliran material dari *silo raw meal* diangkat oleh *conveyer* masuk ke bagian puncak *preheater* (tingkat 1) sedangkan gas panas masuk ke *cyclone* paling bawah berlawanan arah dengan arah aliran material masuk. Aliran gas panas dimungkinkan karena adanya isapan *fan*, sedangkan material bergerak karena gaya gravitasi. Material yang mengalir dari atas bertemu dengan gas panas dari bawah dalam saluran yang menghubungkan *cyclone*. Pada saat tersebut terjadi perpindahan panas dari gas ke material. Material yang sempat terbawa oleh gas dari bawah dipisahkan dengan *cyclone* dan selanjutnya dialirkan ke bawah.

### 2.3.2 *Rotary Kiln*

*Rotary kiln* (tanur putar) merupakan peralatan paling utama pada proses pembuatan semen. Fungsi utamanya adalah sebagai tempat terjadinya proses klinkerisasi sehingga terbentuk senyawa-senyawa penyusun semen yaitu  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  dan  $C_4AF$ . Tanur putar ini berbentuk silinder yang terbuat dari baja yang

dipasang secara horizontal dengan kemiringan  $4^\circ$ , berdiameter 4,5 m, panjang 75 m dan kecepatan putar 3 rpm. Tanur putar mampu membakar umpan dengan kapasitas 7800 ton/jam hingga menjadi terak (klinker). Gambar *Rotary kiln* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Gambar *Rotary kiln*  
Sumber: PT Semen Baturaja (Persero) Tbk

Pada dasarnya *rotary kiln* adalah sebuah silinder panjang berputar pada porosnya satu kali setiap satu atau dua menit, sumbu ini cenderung sedikit miring, ujung dengan pembakar yang lebih rendah. Rotasi menyebabkan umpan secara bertahap bergerak dimana umpan masuk pada keadaan dingin dan keluar pada kondisi panas. Alat ini dilengkapi dengan *preheater* sebagai pemanas awal dan *calsiner*. Gerakan antara material dan gas panas hasil pembakaran batubara berlangsung secara *counter current*. Karena panas yang ditimbulkan batubara tinggi maka *rotary kiln* perlu dilapisi batu tahan api pada bagian dalamnya untuk mencegah agar baja tidak meleleh. Proses klinkerisasi dalam *kiln* terbagi dalam beberapa zona, yaitu :

**a. *Calcining Zone***

Pada zona ini *raw meal* dari *preheater* akan mengalami pemanasan hingga  $1200^\circ\text{C}$  dan proses yang terjadi adalah proses penguraian secara maksimum dari unsur-unsur reaktif yang terkandung dalam material masih berbentuk bubuk dan bagian dalam *kiln* digunakan lapisan *alumina bricks*.

**b. Transition Zone**

Pada zona ini material mengalami perubahan fase dari padat ke cair dengan temperatur operasi sekitar 1300 °C. pada zona ini juga terjadi reaksi antara CaO dengan senyawa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Daerah *kiln* ini dilindungi oleh lapisan *High Alumina Bricks*.

**c. Sintering Zone**

Pada zona ini material mendekati sumber panas yang terpancar dari *burner*. Pemanasan terjadi hingga 1500 °C. proses yang terjadi adalah pelelehan dari semua material dan reaksi maksimum antara CaO dengan senyawa SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Mineral compound* ini membentuk senyawa utama klinker yaitu C<sub>3</sub>S (*Alite*), C<sub>2</sub>S (*Belite*), C<sub>3</sub>A (*Celite*) dan C<sub>4</sub>AF (*Felite*). Reaksi ini disebut reaksi klinkerisasi.

**d. Cooling Zone**

Material yang berbentuk cair di *sintering zone* akan mengalir ke *cooling zone* dan mengalami perubahan fase material menjauhi *gun burner*. Temperatur akan turun hingga mencapai 1200 °C. karena adanya gerakan rotasi *kiln*, maka sebagian besar material akan berbentuk granular atau butiran.

**2.3.3 Grate cooler**

*Grate cooler* yaitu *clinker cooler* dengan efek pendinginan yang terjadi karena adanya udara yang dihembuskan oleh beberapa *fan/blower* ke permukaan lapisan klinker di atas *grate plate*. Pada awal perkembangannya pemakaian *grate cooler* dimaksudkan untuk mendapatkan laju pendinginan yang cepat dengan tujuan mengurangi pengaruh kristal *periclase* sehingga diperoleh kualitas klinker yang baik. Tetapi pada kenyataannya diperoleh juga perpindahan panas yang sangat baik sehingga *cooler* jenis ini bisa menerima klinker dengan temperatur 1360 °C-1400 °C. Gambar *Grate cooler* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gambar *Grate cooler*  
Sumber: PT Semen Baturaja (Persero) Tbk

Dengan penggunaan udara berlebih, klinker yang keluar bisa mencapai temperatur sampai dengan  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  di atas temperatur udara sekitar sehingga bisa langsung digiling. Perpindahan panas terjadi pada kondisi *cross current* dan *counter current* antara klinker dengan udara pendingin. Peralatan *grate cooler* tidak bisa dipisahkan letaknya dari *kiln* karena terpasang langsung menyambung pada *outlet kiln*. Menurut (Rudi, 1992) prinsip kerja dari *grate cooler* sebagai berikut:

1. Klinker yang keluar dari *kiln* jatuh di atas *grate plate* bagian depan membentuk suatu tumpukan.
2. Udara pendinginan klinker ditiup dengan sejumlah *fan* dari bawah *plate* dengan menembus kisi-kisi *grate plate* dan *bed* klinker di atas *grate plate*. Sehingga terjadi kontak antara udara pendingin dengan klinker panas, dengan adanya kontak tersebut maka terjadi perpindahan panas. Sisa udara pendinginan masuk ke dalam *kiln* sebagai udara bakar dan udara pendingin masuk ke dalam kalsiner, dan selebihnya dihisap oleh *fan* sebagai udara buang setelah terlebih dahulu melalui alat penangkap debu.
3. *Grate plate* dipasang dengan susunan baris selang-seling antara baris yang statis dan baris yang bergerak maju mundur, dengan adanya gerakan tersebut klinker bergerak terdorong ke belakang dan seterusnya menuju *clinker crusher* selanjutnya ke *chain conveyor*.

4. *Grate plate* digerakkan dengan *hydraulic drive*. Klinker yang berukuran halus akan turun ke bawah menembus kisi-kisi *grate plate* dan ditampung di dalam *hopper* yang dilengkapi dengan *flap damper* dan *sensor level*. *Flap damper* akan membuka secara otomatis apabila *hopper* penuh dan klinker jatuh diterima *drag chain* menuju *chain conveyor*.
5. Untuk menjaga ketebalan material di atas *grate cooler* (*grate plate*) konstan di pasang satu buah *fan* pendingin khusus jika tekanan *fan* naik secara otomatis *grate plate* akan bergerak lebih cepat.
6. Untuk material yang berukuran besar masuk pada *breaker/crusher* untuk dipecah dan hasilnya akan keluar bercampur dengan material dari *grate plate cooler* menuju alat transportasi.

Menurut (Rudi, 1992) *grate cooler* mempunyai beberapa fungsi diantaranya adalah:

1. Proses *quenching*

Yaitu proses pendinginan klinker yang mendadak, efek pendinginan yang timbul karena adanya hembusan dari beberapa *cooling air fan* yang langsung kontak dengan klinker outlet *kiln*. Efek pendinginan yang terjadi akan mengakibatkan klinker turun temperaturnya secara drastis yaitu dari 1350°C menjadi  $\pm 90^{\circ}\text{C}$ . Tujuan *quenching* adalah untuk memperoleh klinker yang berbentuk granular/bulat dan rapuh, sehingga memudahkan pada proses penggilingan dan juga berpengaruh pada mutu semen yang dihasilkan.

2. Menaikkan temperatur udara bakar

Udara bakar ini berasal dari udara sisa pendinginan klinker. Sebagian udara yang masih mempunyai temperatur tinggi akan ditarik IDF masuk ke *kiln* dan kalsiner dan sebagian lagi yang temperaturnya rendah akan dikeluarkan melewati saluran udara buang menuju ESP.

3. Alat transportasi

Untuk mengeluarkan material dari *kiln* menuju alat transportnya untuk kemudian di simpan pada *silo* klinker.

## 2.4 Batubara

Batubara adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen. Gambar batubara dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Gambar Batubara  
Sumber: Mekka, 2011

Kualitas batubara adalah sifat fisika dan kimia dari batubara yang mempengaruhi potensi kegunaannya. Kualitas batubara ditentukan oleh maseral dan *mineral matter* penyusunnya, serta oleh derajat *coalification* (*rank*).

Umumnya, untuk menentukan kualitas batubara dilakukan analisa kimia pada batubara yang diantaranya berupa analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan jumlah air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon padat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash*), sedangkan analisis ultimat dilakukan untuk menentukan kandungan unsur kimia pada batubara yaitu kadar karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur (Fadarina, 2011).

### 2.4.1. Klasifikasi Batubara

#### a. Gambut (*peat*)

Golongan ini sebenarnya belum termasuk jenis batubara, tapi merupakan bahan bakar. Hal ini disebabkan karena masih merupakan fase awal dari proses pembentukan batubara. Endapan ini masih memperlihatkan sifat awal dari bahan dasarnya (tumbuh-tumbuhan).



b. Lignit

Golongan ini sudah memperlihatkan proses selanjutnya berupa struktur kekar dan gejala pelapisan. Apabila dikeringkan, maka gas dan airnya akan keluar. Endapan ini bisa dimanfaatkan secara terbatas untuk kepentingan yang bersifat sederhana, karena panas yang dikeluarkan sangat rendah.

c. Sub-Bituminus

Golongan ini memperlihatkan ciri-ciri tertentu yaitu warna yang kehitam-hitaman dan sudah mengandung lilin. Endapan ini dapat digunakan untuk pemanfaatan pembakaran yang cukup dengan temperatur yang tidak terlalu tinggi.

d. Bituminus

Golongan ini dicirikan dengan sifat-sifat yang padat, hitam, rapuh (*brittle*) dengan membentuk bongkah-bongkah prismatic. Berlapis dan tidak mengeluarkan gas dan air bila dikeringkan. Endapan ini dapat digunakan antara lain untuk kepentingan transportasi dan industri.

e. Antrasit

Golongan ini berwarna hitam, keras, kilapan tinggi, dan pecahannya memperlihatkan pecahan *chocoidal*. Pada proses pembakaran memperlihatkan warna biru dengan derajat pemanasan yang tinggi. Digunakan untuk berbagai macam industri besar yang memerlukan temperatur tinggi.

Semakin tinggi kualitas batubara, maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Batubara bermutu rendah, seperti *lignite* dan *sub-bituminous*, memiliki tingkat kelembaban (*moisture*) yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga energinya juga rendah. Semakin tinggi mutu batubara, umumnya akan semakin keras dan kompak, serta warnanya akan semakin hitam mengkilat. Selain itu, kelembabannya pun akan berkurang sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga kandungan energinya juga semakin besar (Mekka, 2011).

### 2.4.2 Komposisi Batubara

Batubara yang digunakan di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk adalah jenis bituminus, dengan nilai kalori antara 5100-6100 kkal/ kg. Analisis proksimat dan ultimat dari sekam padi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisa Proksimat dan Ultimat Batubara

Parameter	% Berat
<i>Volatile matter</i>	10
<i>Fixed carbon</i>	43,23
<i>Ash</i>	12,84
<i>Carbon</i>	62,34
<i>Hydrogen</i>	4,3
<i>Nitrogen</i>	0,8
<i>Oxygen</i>	12,72
<i>Sulfur</i>	0,6

Sumber: Laboratorium PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

### 2.5 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah sekam padi, serbuk gergaji, cangkang kelapa sawit, jambu mete, dll. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Di Indonesia, biomassa merupakan sumber daya alam yang sangat penting dengan berbagai produk primer sebagai serat, kayu, minyak, bahan pangan dan lain-lain yang selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik juga diekspor dan menjadi tulang punggung penghasil devisa negara (*Asian Biomass Handbook*, 2008).

## 2.6 Sekam Padi

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam. Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan, meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam.

Sekam diperlukan untuk keperluan penanaman ulang tanaman ini. Bulir tanpa sekam tidak dapat digunakan lagi sebagai bahan tanam. Proses pemisahan sekam dari isinya dulu dilakukan dengan penumbukan gabah memakai alat tumbuk, namun sekarang orang memakai mesin giling dan prosesnya disebut penggilingan. Penggilingan atau penumbukan akan menghasilkan beras yang masih tercampur dengan sisa-sisa atau pengotor lainnya.

Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi *kariopsis* yang terdiri dari dua belahan yang disebut *lemma* dan *palea* yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Gambar sekam padi dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Gambar sekam padi  
Sumber: Mekka, 2011

Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras giling antara 50-63,5% (Mekka, 2011).

Sekam memiliki kerapatan jenis 1125 kg/ m<sup>3</sup>, dengan nilai kalori antara 3300-3600 kkal/ kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU (Mekka, 2011). Komposisi kimia dan fisika sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 sedangkan analisis proksimat dan ultimat dari sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Komposisi Kimia Sekam Padi

Komponen	% Berat
Kadar air	9,02
Protein	3,03
Lemak	1,18
Serat	35,68
Abu	17,71

Sumber: Mekka, 2011

Tabel 3. Komposisi Fisika Sekam Padi

Parameter	Sekam padi
<i>Mean particle size</i>	856
<i>Apparent density</i>	389
<i>Porosity</i>	0,64
<i>Sphericity</i>	0,49

Sumber: Anis, Samsudin

Tabel 4. Analisa Proksimat Sekam Padi

Parameter	Satuan	% Berat
<i>Volatile matter</i>	% db	54,740
<i>Fixed carbon</i>	% adb	14,310
<i>Ash</i>	% db	19,695
<i>Moisture</i>	% adb	4,705

Sumber: Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya

Tabel 5. Analisa Ultimat Sekam Padi

Parameter	Satuan	% Berat
<i>Carbon</i>	% db	49,205
<i>Hydrogen</i>	% db	3,563
<i>Nitrogen</i>	% db	1,257
<i>Oxygen</i>	% db	26,14

Sumber: Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya

## 2.7 Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas yang dikategorikan sebagai Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas-gas yang berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Dalam konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention On Climate Change-UNFCCC*), ada enam jenis yang digolongkan sebagai GRK yaitu karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), gas metan ( $\text{CH}_4$ ), dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sulfurheksafluorida ( $\text{SF}_6$ ), perfluorokarbon (PFCS) dan hidrofluorokarbon (HFCS). Selain itu ada beberapa gas yang juga termasuk dalam GRK yaitu karbonmonoksida ( $\text{CO}$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ), klorofluorokarbon (CFC), dan gas-gas organik *non metal volatile*. Gas-gas rumah kaca yang dinyatakan paling berkontribusi terhadap gejala pemanasan global adalah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , PFC dan  $\text{SF}_6$ . Namun, untuk Indonesia dua gas yang disebut terakhir masih sangat kecil emisinya, sehingga tidak diperhitungkan (Sagala, 2012).

Dari keenam gas-gas rumah kaca tersebut di atas, karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global diikuti oleh gas metan ( $\text{CH}_4$ ). Lebih dari 75% komposisi GRK di atmosfer adalah  $\text{CO}_2$  sehingga apabila kontribusi  $\text{CO}_2$  dari berbagai kegiatan dapat dikurangi secara signifikan maka ada peluang bahwa dampak pemanasan global terhadap perubahan iklim akan berkurang (Sagala, 2012).

Total emisi GRK di Indonesia dari semua sektor pada tahun 2000 sebesar 1,377,982 Gg  $\text{CO}_2\text{e}$  dan sektor industri memberikan kontribusi sebesar 3,12 % (Sagala, 2012). Untuk mengurangi dampak negatif dari fenomena perubahan iklim, perlu dihitung jumlah emisi GRK dari kegiatan industri. Oleh karena itu disusun petunjuk teknis untuk membantu stakeholder dalam perhitungan emisi GRK.

Semua sektor industri memberikan kontribusi emisi GRK, tetapi kontributor terbesar adalah industri semen, industri baja, industri *pulp & paper*, industri tekstil, industri petrokimia, industri keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman.

Berdasarkan Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) target penurunan emisi dari sektor industri adalah sebesar 0,001 Gton CO<sub>2</sub>e (skenario 26 %) dan sebesar 0,005 Gton CO<sub>2</sub>e (skenario 41 %) pada tahun 2020.

### **2.7.1 Sumber-Sumber Emisi GRK Sektor Industri**

#### **1. Emisi GRK yang Berasal dari Penggunaan Energi**

Energi merupakan sumber daya yang sangat penting dalam proses produksi di industri. Sektor pengguna energi terbesar di Indonesia adalah industri yang menyerap 47,2 % dari total penggunaan energi nasional. Jenis-jenis energi yang digunakan di industri saat ini terdiri dari energi fosil dan energi non fosil serta energi baru terbarukan. Pangsa penggunaan energi di sektor industri pada tahun 2010 adalah sebagai berikut : batubara sebesar 34,43 %, gas 28,86 %, ADO (*automotive diesel oil*) 10,93 %, FO (*fuel oil*) 3,17 %, kerosene 0,24%, IDO 0,22 %, briket 0,07%. Dengan perkataan lain bahwa penggunaan bahan bakar minyak sebesar 14,56 % (Sagala, 2012).

Energi di industri digunakan untuk bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar motor, bahan bakar di *furnace*, bahan bakar boiler untuk membuat *steam*, bahan baku (*feedstock*) khusus pada industri pupuk, transportasi dan perkantoran. Dalam beberapa kasus, emisi yang dihasilkan dari proses industri menjadi satu dengan emisi dari pembakaran bahan bakar dan mungkin sulit untuk memutuskan apakah emisi tersebut harus dilaporkan dalam sektor energi atau proses industri sehingga perlu dilihat peruntukannya. Secara garis besar, emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar merupakan emisi energi, bukan emisi proses industri (Sagala, 2012).

Penggunaan bahan bakar terbesar adalah minyak bumi yang diikuti dengan penggunaan batubara. Cadangan bahan bakar ini sudah sangat terbatas dan diperkirakan hanya dapat bertahan sekitar 11 (sebelas) tahun kedepan apabila tidak ada eksplorasi baru. Oleh karena itu, untuk menjamin keberlangsungan industri perlu dipercepat penggunaan EBT di sektor industri (Sagala, 2012).

## 2. Emisi GRK yang Berasal dari Proses Produksi

Emisi gas rumah kaca dari proses produksi adalah emisi yang dihasilkan dari reaksi kimia atau secara fisik menghasilkan zat sisa yang diklasifikasikan sebagai emisi gas rumah kaca. Industri-industri dimaksud adalah sebagai berikut :

- a. Industri yang bahan baku ataupun bahan penunjangnya mengandung karbonat, seperti industri semen, industri batu kapur, industri gelas, industri keramik, industri *pulp & paper* serta industri gula rafinasi.
- b. Industri yang melakukan reaksi *steam reforming* yaitu industri amoniak dan industri kimia.
- c. Industri yang melakukan reaksi reduksi biji besi di dalam *furnace* (*Electric Arc Furnace, Induction Arc Furnace, Blast Furnace*, dll).

Untuk menghitung emisi GRK didasarkan pada reaksi-reaksi yang terlibat di dalam proses produksi. Peralatan yang berkaitan dengan emisi GRK dari proses antara lain:

- a. Boiler,
- b. Tungku bakar (*furnace, fire heater*),
- c. Kolom regenerasi absorben pemisahan gas CO<sub>2</sub>,
- d. *Kiln* batu kapur,
- e. *Kiln* pengering,
- f. *Kiln* reduktor,
- g. Tanur *smelting*,
- h. Turbin gas,
- i. Unit-unit proses penghasil CO<sub>2</sub> (seperti *reformer*).

## 3. Emisi GRK yang Berasal dari Limbah

Emisi GRK dapat berasal dari pengolahan limbah padat ataupun limbah cair. Limbah padat biasanya dibakar di insenerator menghasilkan CO<sub>2</sub>. Perhitungan emisi GRK insenerator sama dengan emisi GRK dari sistem pembakaran. Limbah cair yang diproses secara anaerobik menghasilkan CH<sub>4</sub>.

Secara umum, perhitungan gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan konsep neraca massa. Untuk menyederhanakan dan mempermudah perhitungan, digunakan suatu faktor pengali yang disebut faktor emisi, yakni suatu nilai representatif yang menghubungkan kuantitas emisi yang dilepas ke atmosfer dengan aktivitas yang berkaitan dengan emisi tersebut. Perumusan emisi GRK dengan menggunakan faktor emisi dalam IPCC *Guidelines* 2006 adalah sebagai berikut:

$$E = A \times EF \quad (\text{Sumber: Sagala, 2012})$$

Dimana :

E = Jumlah Emisi

A = Data aktivitas (Jumlah bahan-bahan penghasil emisi)

EF = Faktor Emisi

Perhitungan emisi GRK tersebut dapat dibagi menjadi tiga *tier* (tingkat), yaitu:

1. *Tier 1*

Emisi dihitung berdasarkan jumlah bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi standar.

2. *Tier 2*

Emisi dihitung berdasarkan jumlah bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi nasional.

3. *Tier 3*

Emisi dihitung berdasarkan bahan-bahan penghasil emisi dikalikan faktor emisi peralatan sumber emisi.

Dalam perhitungan kali ini dilakukan penghitungan jumlah emisi yang berasal dari penggunaan energi. Adapun cara perhitungan yang dilakukan berdasarkan perhitungan neraca massa gas hasil pembakaran total dari penggunaan bahan bakar campuran batubabara dan sekam padi.