

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 (SiO₂), alumunia (Al₂O₃), ferro oksida (Fe₂O₃), magnesit (MgO), serta oksida lain dalam jumlah kecil (Rahadja, 1990).

Massa jenis semen yang diisyaratkan oleh ASTM adalah 3,15 gr/cm³, pada kenyataannya massa jenis semen yang diproduksi berkisar antara 3,03 gr/cm³ sampai 3,25 gr/cm³. Variasi ini akan berpengaruh proporsi campuran semen dalam campuran. Pengujian massa jenis ini dapat dilakukan menggunakan *Le Chatelier Flask* (Rahadja, 1990).

2.2 Jenis Proses Pembuatan Semen

2.2.1 Proses Basah

Rotary kiln pada desain awal relatif sederhana dibandingkan dengan perkembangan modern. Umpan masuk pada suhu lingkungan dalam bentuk *slurry*. Kiln proses basah panjangnya bisa mencapai 200 m dengan diameter

mencapai 6 m. Alat dibuat panjang karena banyak air yang akan diuapkan dan mengoptimalkan proses perpindahan panas. *Slurry* mengandung sekitar 40% air. Hal ini membutuhkan banyak energi untuk menguapkan dan berbagai perkembangan dari proses basah ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dari umpan. Proses basah telah bertahan selama lebih dari satu abad karena bahan baku banyak yang cocok untuk pencampuran *slurry*.

Semen yang terbentuk berupa terak (*klinker*) dengan temperatur *kiln* mencapai 1450°C dan selanjutnya didinginkan secara tepat dengan suatu alat pendingin dan disimpan pada *storage kilnker*, lalu ditambah dengan *gypsum* (3-5 %) dan digiling secara kering. Kebutuhan panas pada proses basah 1200-1300 kcal/kg *kilnker*.

Keuntungan proses basah :

- a. Campuran / umpan *kiln* lebih homogen sehingga mutu semen lebih baik
- b. Efisiensi penggilingan relatif lebih baik
- c. Jumlah debu yang dihasilkan lebih sedikit

Kerugian proses basah :

- a. Kebutuhan air dan bahan bakar relatif besar
- b. *Kiln* yang digunakan relatif lebih panjang sehingga dibutuhkan banyak tempat
- c. Membutuhkan panas yang tinggi untuk pembakaran
- d. Boros bahan bakar

2.2.2 Proses Semi/ Antara

Pada proses semi basah, kadar air pada *raw material* antara 17-21 % yang berupa *slurry*. Sebelum diumpankan ke *kiln*, harus disaring dahulu supaya terbentuk *filter cake*. Pada proses semi kering, kadar air pada *raw material* antara 1-12 % dan *raw material* ini berupa butiran yang lembab.

Keuntungan proses antara:

- a. Panas yang digunakan pada waktu pembakaran tidak terlalu besar dibandingkan proses basah
- b. Ukuran klinker yang keluar *kiln* seragam

Kerugian proses antara adalah Peralatan yang digunakan lebih banyak.

2.2.3 Proses Kering

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.

Kiln pada proses kering dilengkapi *suspension preheater*. Alat ini adalah menara dengan serangkaian siklon 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.

Keuntungan proses kering:

- a. *Kiln* yang digunakan relatif pendek dan diameter lebih kecil sehingga hemat tempat
- b. Pemakaian bahan bakar lebih hemat
- c. Pemakaian panas lebih efisien

Kerugian proses kering :

- a. Relatif lebih banyak menimbulkan debu
- b. Campuran tepung baku kurang homogen dibandingkan dengan proses basah

2.3 Proses Pembuatan Semen

PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk melakukan proses pembuatan semen dengan menggunakan proses kering (*dry process*) (PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk, 2013). 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 siklon 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 :

2.3.1 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 silica 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 silica 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.

2.3.2 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 pengeringanya 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 di garuk 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 di umpankan 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 di hisap dengan sebuah *fan*.

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

Tepung baku yang telah terpisah dari gas panas selanjutnya di masukkan ke *CF Silo* (*Continous Flow Silo*) dengan menggunakan alat transport berupa *fluxoslide* dan *belt bucket elevator*. Di dalam *CF Silo* *raw meal* akan dihomogenisasi dan di simpan serta siap di umpan ke *kiln* . produk atas dari *Cyclone separator* adalah uap air, gas panas dan sebagian debu yang terikat pada waktu pemisahan ini di transportasikan ke *Electric Precipitator*.

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

2.3.3 Pembentukan klinker (pembakaran)

Tepung baku (*raw meal*) yang telah dihomogenisasi di dalam *CF Silo* dikeluarkan dan dengan menggunakan serangkaian peralatan transport, tepung baku di umpankan ke *kiln*. Tepung baku yang di umpankan ke *Kiln* di sebut 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.

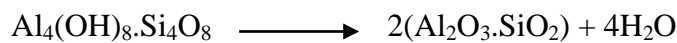
b. Dehidrasi

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 temperature 400 – 900 °C.

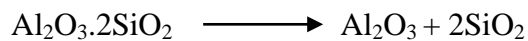
c. Dekomposisi dan kalsinasi

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

Kaolin menjadi Metakaolin

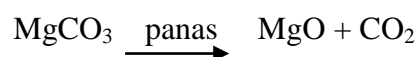
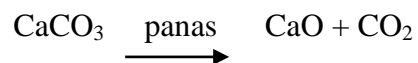


Metakaolin menjadi oksida – oksida reaktif



Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO₂ 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.

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, 2013).

e. *Quenching*

Quenching adalah proses pendinginan klinker secara mendadak setelah reaksi klinkerisasi selesai. *Quenching* dilakukan di dalam *Grate cooler* dengan media pendinginnya 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 ± 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.

2.3.4 Penggilingan klinker

Klinker yang disimpan dalam *klinker silo* dikeluarkan dan di angkut dengan *chain conveyor* 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 conveyer*.

Dari *belt conveyer* 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 sehingga 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. $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$).

2.3.5 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 di bawa 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 semen dan pengantongan semen di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2.

2.4 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).

2.4.1 *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*.

Suspension Preheater yang digunakan terdiri dari dua bagian yaitu: *in-line calcsiner* (ILC) dan *separate line calcsiner* (SLC).. Gambar *Preheater* dapat dilihat pada gambar 3.



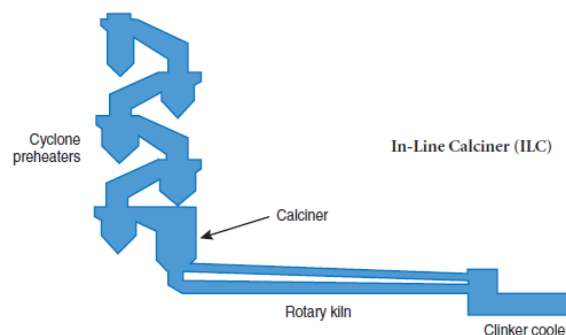
Gambar 3. Gambar *Preheater*
Sumber: PT Semen Baturaja (Persero) Tbk

1. Kalsiner

Kalsiner merupakan salah satu reaktor di dalam suatu pabrik semen dengan proses kering. Kalsiner adalah suatu peralatan yang digunakan untuk proses kalsinasi. Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO₂ sebagai gas. Proses kalsinasi adalah proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO₂ 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 kalsiner terdapat dua sistem yaitu:

a. *In Line Calciner (ILC)*

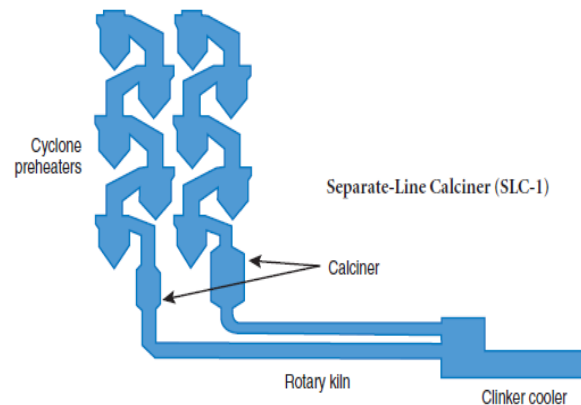
Aliran udara pembakaran di kalsiner di suplai dari udara tersier dan udara dari *kiln*. Gambar *in line calciner* dapat dilihat pada gambar 4.



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

b. *Separate Line Calciner*

Udara panas tersier dari cooler masuk ke kalsiner melalui sentral 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 di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk adalah *preheater* dengan dua *string*. Pemanasan *raw meal* dilakukan oleh *preheater* siklon empat tingkat. Aliran material dari silo *raw meal* diangkut oleh *conveyer* masuk ke bagian puncak *preheater* (tingkat 1) sedangkan gas panas masuk ke siklon 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.

2.4.2 *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° , 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 $1200\text{ }^\circ\text{C}$ dan proses yang terjadi adalah proses penguraian secara maksimum dari unsure – unsure 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 temperature operasi sekitar $1300\text{ }^\circ\text{C}$. pada zona ini juga terjadi reaksi antara

CaO dengan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . 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_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . *Mineral compound* ini membentuk senyawa utama klinker yaitu C_3S (Alite), C_2S (Belite), C_3A (Celite) dan C_4AF (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*. Temperature akan turun hingga mencapai 1200 °C. karena adanya gerakan rotasi *kiln*, maka sebagian besar material akan berbentuk granular atau butiran.

2.4.3 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°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 (Sutanto, 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 conveyer*.
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 conveyer*.

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 (Sutanto, 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.

2.5 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).

2.5.1. 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-Bituminous

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. Bituminous

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, kilap 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)

2.5.2 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 batubara dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Analisa proksimat batubara

Parameter	Satuan	Hasil
<i>Volatile matter</i>	% adb	10
<i>Fixed carbon</i>	% adb	43,23
<i>Ash</i>	% adb	12,84
<i>Moisture</i>	% adb	6,4

Sumber: Lab. PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

Tabel 2. Analisa ultimat batubara

Parameter	Satuan	Hasil
<i>Carbon</i>	% db	62,34
<i>Hydrogen</i>	% db	4,3
<i>Nitrogen</i>	% db	0,8
<i>Oxygen</i>	% db	12,72
<i>Sulfur</i>	% db	0,6

Sumber: Lab. PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

2.6 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).

2.7 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).

Menurut Mekka, 2011, Sekam padi memiliki nilai kalori antara 3300-3600 kkal/ kg sekam dengan konduktivitas panas 0,271 BTU . Komposisi kimia dan fisika sekam padi dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4 sedangkan analisis proksimat dan ultimat dari sekam padi dapat dilihat pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 3. 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 4. Komposisi fisika sekam padi

Parameter	Sekam padi
<i>Mean particle size</i> (μm)	856
<i>Apparent density</i> (kg.m^{-3})	389
<i>Porosity</i>	0,64

Sumber: Anis, Samsudin

Tabel 5. Analisa proksimat sekam padi

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

Sumber: Lab. Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya

Tabel 6. Analisa ultimat sekam padi

Parameter	Satuan	Hasil
<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: Lab. Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya

2.8 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption adalah jumlah banyaknya energi yang diperlukan/ digunakan untuk menghasilkan sejumlah produk. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kedua parameter tersebut adalah :

$$\text{Specific Fuel Consumption (SFC)} = \frac{\text{Jumlah energi yang dibutuhkan (Kkal)}}{\text{Jumlah klinker yang dihasilkan (kg)}}$$

Sumber: PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk

Kebutuhan energi setiap sistem *kiln* berbeda, tergantung pada data operasional, data termal, dan data produksinya. Kebutuhan energi setiap sistem kiln dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Kebutuhan energi setiap sistem *kiln*

<i>Kiln systems</i>	<i>Specific Fuel Consumption (Kcal/kg)</i>
<i>Long wet</i>	1300-1650
<i>Long dry</i>	1100-1300
<i>Cyclone preheater</i>	750-900
<i>Precalciner</i>	700-850

Sumber: Manias, Con. G