

**LAPORAN KEGIATAN
KUNJUNGAN INDUSTRI
DI PT. SEMEN PADANG**



DISUSUN OLEH :

**SUSMARDI M. CASONI
0311909**

**MATA KULIAH PILIHAN INDUSTRI SEMEN
JURUSAN TEKNIK KIMIA
UNIVERSITAS RIAU
2008**

DAFTAR ISI

	Halaman
I. Latar Belakang.....	1
2.1 Tujuan Kunjungan	1
2.2 Laporan Keberangkatan.....	2
II. SEMEN.....	5
III. PT. SEMEN PADANG	7
IV. Proses Produksi di Area Raw Mill	10
4.1 Tahap Penarikan Bahan Baku.....	10
4.2 Tahap Penggilingan Raw Meal.....	15
2.3 Penggilingan Raw Meal di Prod. II/III	18
4.4 Separator.....	20
4.5 Tahap Penyimpanan Raw Mix	24
V. Proses Produksi di Area Kiln & Coal Mill.....	28
5.1 Proses pada Sistem Kiln	28
5.2 Rotary Kiln	30
5.3 Suspension Preheater.....	31
5.4 Precalciner	32
5.5 Klinker Cooler	33
5.6 Refractory Lining	33
5.7 Sistem Coal Firing.....	36
5.8 Bahan Bakar	36
5.9 Bahan Bakar Batubara.....	36
5.10 Proses Penggilingan Area Coal Mill Prod II/III	37
5.11 Burner	39
5.12 Proses Produksi Klinker di Prod II/III.....	41
VI. Proses Produksi di Area Cement Mill.....	48
6.1 Proses Produksi di Area Cement Mill Prod. II/III.....	48
6.2 Vertical Roller Mill	51
6.3 Kehalusan Semen	53

6.4	Grindability Klinker	53
6.5	Coating pada Grinding Media	53
6.6	Grinding Aid.....	54
6.7	Retarder	55
V.	Penutup	57

I. LATAR BELAKANG

1.1. Tujuan Kunjungan

Industri merupakan salah satu sektor penting yang memberikan kontribusi besar bagi perkembangan sebuah Negara. Selain memberikan kontribusi dan sumbangan yang besar untuk perkembangan dan pendapatan daerah, industri juga menghasilkan produk yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat. Seiring dengan perkembangan masyarakat, kebutuhan produk yang semakin beraneka ragam, berkualitas tinggi, tapi terjangkau oleh daya beli masyarakat menjadi suatu tuntutan yang harus dipenuhi oleh industri. Fenomena tersebut merupakan suatu peluang bagi munculnya sebuah industri baru, sehingga menimbulkan persaingan yang semakin ketat. Terlebih lagi setelah memasuki era globalisasi, persaingan tersebut tidak hanya terjadi dalam lingkup industri lokal, tetapi juga mencakup industri regional maupun global, sehingga industri dituntut untuk selalu meningkatkan kualitas produknya agar memiliki daya saing. Peningkatan efektifitas dan efisiensi produksi, agar mampu menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan harga yang terjangkau oleh masyarakat. Disinilah diperlukan sumber daya manusia yang handal, unggul, dan profesional.

Mahasiswa teknik kimia sebagai intelektual muda yang akan menjadi aset sumber daya manusia masa depan merupakan kader-kader potensial yang diharapkan dapat memajukan sektor industri. Oleh karena itu, mahasiswa dituntut untuk menjadi seorang yang siap menjadi tenaga profesional. Perguruan tinggi sebagai institusi yang memberikan pendidikan kepada mahasiswa memiliki peranan penting dalam menjawab tuntutan itu. Paket pendidikan yang diberikan oleh perguruan tinggi yang disesuaikan dengan kurikulum yang ditetapkan oleh pemerintah belumlah cukup untuk mencapai hal tersebut, sebab kurikulum yang digunakan masih menitikberatkan pada kemampuan teoritis/akademis sebagai tolak ukur utama keberhasilan mahasiswa. Padahal, untuk menjadi lulusan yang profesional, selain kemampuan akademis diperlukan juga kemampuan pendukung lainnya seperti komunikasi, kerja sama, kepemimpinan, manajemen, keterampilan, dan hubungan interpersonal yang tidak didapat pada bangku perkuliahan.

Kemampuan yang telah disebutkan diatas dapat diperoleh dari aktifitas di luar kampus, salah satunya adalah melalui kegiatan kunjungan industri yang akan

dilakukan. Dengan pelaksanaan kegiatan ini diharapkan mahasiswa teknik kimia sebagai calon sarjana muda yang profesional tentunya harus bisa mengaplikasikan ilmunya yang didapat dari bangku kuliah dalam praktek sebenarnya. Dengan melihat langsung proses industri, mahasiswa teknik kimia akan lebih dapat memahami kegiatan-kegiatan proses industri, yang pada kegiatan ini tujuannya adalah pengenalan kegiatan industri Pabrik PT. Semen Padang.

Maksud kegiatan :

1. Sarana Mahasiswa Teknik Kimia UNRI untuk memantapkan disiplin ilmu yang dimiliki
2. Sarana bagi terciptanya sinergisme antara lembaga pendidikan yakni perguruan tinggi, industri dan pemerintah dalam mengembangkan dan memajukan industri daerah
3. Memberikan sarana pertukaran yang efektif tentang perkembangan dan kemajuan dunia industri di daerah
4. Untuk memenuhi mata kuliah Pilihan Industri Semen

Tujuan Kegiatan :

1. Menggali potensi dan memantapkan disiplin ilmu mahasiswa Teknik Kimia UNRI yang akan berkiprah dalam dunia industri pada era globalisasi
2. Menyiapkan mahasiswa Teknik Kimia menjadi calon tenaga kerja profesional
3. Memperkenalkan secara langsung proses pembuatan semen yang ada di PT. Semen Padang.

1.2. Laporan Keberangkatan

Perjalanan dimulai pada hari sabtu tanggal 15 Desember 2007 pukul 21.00 wib menggunakan bus pariwisata. Perjalanan berlangsung dengan aman dan terkendali. Dan tidak ada rintangan apapun.

Pada pukul 05.00 wib tanggal 16 Desember 2007 rombongan telah menjejakkan kaki di propinsi Sumatera Barat, dan singgah untuk sholat subuh di sebuah mushalla di pinggir jalan. Peserta menggunakan kesempatan ini untuk bersih-bersih badan dan beristirahat sejenak menghilangkan rasa penat. Saya dan beberapa orang teman

menggunakan kesempatan ini untuk minum the bersama karena dinginya suasana. Dan hasilnya tubuh lumayan segar kembali dan sedikit lebih hangat.

Kemudian rombongan melanjutkan kembali perjalanan menuju kota Padang. Pada pukul 07.00 wib kami sudah berada di kota itu. Kami singah disebuah rumah makan untuk sarapan pagi.

Setelah selesai, kami langsung menuju ke pantai Padang untuk berpariwisata. Di pantai padang saya dan beberapa orang teman seperti Fuad, Hamda, Martin, Dede, Ari,Aulia dan Dodi bermain dan berfoto ria di tepian pantai Padang sampai dengan pukul 13.00 wib.

Rombongan melanjutkan kembali perjalanan dengan tujuan pantai Karolin. Sebelumnya terlebih dahulu kami singgah kembali di rumah makan untuk makan siang. Sekitar pukul 14.00 wib kami sampai ditujuan.

Hampir semua peserta bersenang-senang di panta ini. Karena kami menuju kesebuah pulau pasir putih yang ada ditengan laut menggunakan jasa perahu motor dengan ongkos Rp. 50.000 untuk tiap perahunya.

Di pulau tengah laut tersebut ada teman-teman yang sempat untuk mandi-mandi, ada yang berfoto-fota dan ada juga yang bersenda gurau. Kami sangat menikmati sekali perjalan di pantai Karli ini.

Sekitar pukul 16.00 wib rombongan menuju ke penginapan dan sampai pada pukul 17.00 wib. Kami langsung menuu kamar masing-masing, tiap kamar terdiri dari 6 orang. Kami menggunakan sore itu unukt bersih-bersih badan dan istirahat.

Kemudian teman kuliah saya Doche yang merupakan alumni dari Teknik Kimia UNRI datang ke penginapan untuk untuk memberikan pengetahuanya mengenai PT. Semen Padang baik yang berkaitan dengan perusahaan maupun yang berkaitan dengan proses pembuatan semen di PT. Semen Padang setelah sebelumnya kami jalan-jalan malam dan saya ditraktir makan es durian yang sangat nikmat yang tidak dirasakan oleh teman lain karena saya naik motor dengan Doche.

Kemudian keesokan harinya kami berkunjung ke PT. Semen Padang, disana kami diterima dengan amat baik, kami mengunjungi laboratorium, *control room* dan berkeliling pabrik. Di sana kami mendapatkan penjelasan yang sangat akurat mengenai proses pembuatan semen. Kami berdiskusi dengan narasumber dengan semangat yang menggebu-gebu.

Setelah itu kami langsung menuju Pekanbaru, sebelumnya kami singah disebuah tempat penjualan oleh-oleh dibukit tinggi sekitar pukul 18.00 wib. Dan seperti biasa perjalanan dipenuhi dengan canda tawa sepanjang perjalanan sampai saya dan teman-teman tertidur dan tidak menyadari pada pukul 01.00 wib tanggal 18 Desember 2007 dan saya dijemput seorang teman kost. Dan saya sangat senang dengan perjalanan ini, dan sya rasa teman-teman setuju dengan kegiatan ini.

II. SEMEN

Dalam perkembangan peradaban manusia khususnya dalam hal bangunan, tentu kerap mendengar cerita tentang kemampuan nenek moyang merekatkan batu-batu raksasa hanya dengan mengandalkan zat putih telur, ketan atau lainnya. Alhasil, berdirilah bangunan fenomenal, seperti Candi Borobudur atau Candi Prambanan di Indonesia ataupun jembatan di China yang menurut legenda menggunakan ketan sebagai perekat. Ataupun menggunakan aspal alam sebagaimana peradaban di Mahenjo Daro dan Harappa di India ataupun bangunan kuno yang dijumpai di Pulau Buton

Benar atau tidak, cerita, legenda tadi menunjukkan dikenalnya fungsi **semen** sejak zaman dahulu. Sebelum mencapai bentuk seperti sekarang, perekat dan penguat bangunan ini awalnya merupakan hasil percampuran batu kapur dan abu vulkanis. Pertama kali ditemukan di zaman Kerajaan Romawi, tepatnya di Pozzuoli, dekat teluk Napoli, Italia. Bubuk itu lantas dinamai *pozzuolana*.

Sedangkan kata semen sendiri berasal dari *caementum* (bahasa Latin), yang artinya kira-kira "*memotong menjadi bagian-bagian kecil tak beraturan*". Meski sempat populer di zamannya, nenek moyang semen *made in* Napoli ini tak berumur panjang. Menyusul runtuhnya Kerajaan Romawi, sekitar abad pertengahan (tahun 1100 - 1500 M) resep ramuan *pozzuolana* sempat menghilang dari peredaran.

Baru pada abad ke-18 (ada juga sumber yang menyebut sekitar tahun 1700-an M), John Smeaton - insinyur asal Inggris - menemukan kembali ramuan kuno berkhasiat luar biasa ini. Dia membuat adonan dengan memanfaatkan campuran batu kapur dan tanah liat saat membangun menara suar Eddystone di lepas pantai Cornwall, Inggris.

Ironisnya, bukan Smeaton yang akhirnya mematenkan proses pembuatan cikal bakal semen ini. Adalah Joseph Aspdin, juga insinyur berkebangsaan Inggris, pada 1824 mengurus hak paten ramuan yang kemudian dia sebut semen portland. Dinamai begitu karena warna hasil akhir olahannya mirip tanah liat Pulau Portland, Inggris. Hasil rekayasa Aspdin inilah yang sekarang banyak dipajang di toko-toko bangunan.

Sebenarnya, adonan Aspdin tak beda jauh dengan Smeaton. Dia tetap mengandalkan dua bahan utama, batu kapur (kaya akan kalsium karbonat) dan tanah lempung yang banyak mengandung silika (sejenis mineral berbentuk pasir), aluminium oksida (alumina) serta oksida besi. Bahan-bahan itu kemudian dihaluskan dan dipanaskan pada suhu tinggi sampai terbentuk campuran baru.

Selama proses pemanasan, terbentuklah campuran padat yang mengandung zat besi. Nah, agar tak mengeras seperti batu, ramuan diberi bubuk gips dan dihaluskan hingga berbentuk partikel-partikel kecil mirip bedak.

Lazimnya, untuk mencapai kekuatan tertentu, semen portland berkolaborasi dengan bahan lain. Jika bertemu air (minus bahan-bahan lain), misalnya, memunculkan reaksi kimia yang sanggup mengubah ramuan jadi sekeras batu. Jika ditambah pasir, terciptalah perekat tembok nan kokoh. Namun untuk membuat pondasi bangunan, campuran tadi biasanya masih ditambah dengan bongkahan batu atau kerikil, biasa disebut *concrete* atau *beton*.

Beton bisa disebut sebagai mahakarya semen yang tiada duanya di dunia. Nama asingnya, *concrete* - dicomot dari gabungan prefiks bahasa Latin *com*, yang artinya bersama-sama, dan *crescere* (tumbuh). Maksudnya kira-kira, kekuatan yang tumbuh karena adanya campuran zat tertentu. Dewasa ini, nyaris tak ada gedung pencakar langit berdiri tanpa bantuan beton.

Meski bahan bakunya sama, "dosis" semen sebenarnya bisa disesuaikan dengan beragam kebutuhan. Misalnya, jika kadar alumina diperbanyak, kolaborasi dengan bahan bangunan lainnya bisa menghasilkan bahan tahan api. Ini karena sifat alumina yang tahan terhadap suhu tinggi. Ada juga semen yang cocok buat mengecor karena campurannya bisa mengisi pori-pori bagian yang hendak diperkuat.

III. PT. SEMEN PADANG

PT. Semen Padang merupakan perusahaan yang bergerak di dalam industri produksi semen. PT. Semen Padang terdiri dari lima pabrik yang memiliki kapasitas produksi yang berbeda-beda. Rincian kapasitas pabrik-pabrik di PT. Semen Padang adalah sebagai berikut:

- Pabrik Indarung I = 330.000 ton/tahun
- Pabrik Indarung II = 660. 000 ton/tahun
- Pabrik Indarung III (awalnya bernama Indarung IIIA) = 660.000 ton/tahun
- Pabrik Indarung IV (awalnya Indarung IIIB dan IIIC) = 1.620.000 ton/tahun
- Pabrik Indarung V = 2.300.000 ton/tahun
- Total Produksi = 5.570.000 ton/tahun

Pabrik indarung I menggunakan sistim proses basah (*wet-process*). Pada tahun 1999 pabrik Indarung I tidak dioperasikan lagi karena pertimbangan emisi debu dan efisiensi peralatan. Sementara pabrik yang lain menggunakan sistem proses kering (*dry process*). Komponen utama pembuatan semen adalah batu kapur, tanah liat, pasir besi, silika dan gypsum. Komposisi komponen pembentukan semen yang terdapat dalam bahan baku akan mempengaruhi semen yang akan terbentuk. Komponen pencampuran bahan baku semen tersebut adalah sebagai berikut:

- Batu kapur (*Lime stone component*)
- Tanah Liat (*Clay*)
- Pasir Besi dan Pasir Silika
- Gypsum

PT. Semen Padang telah memproduksi jenis-jenis semen dengan berbagai fungsi. Semua jenis semen yang diproduksi telah memenuhi standar mutu yang telah ditetapkan. Adapun masing-masing jenis produksi adalah sebagai berikut:

- a. Semen Portland

- Semen Portland Type I (*Ordinary Portland Cement*)
 - Semen Portland Type II (*Moderate Heat Cement*)
 - Semen Portland Type III (*High Early strength Cement*)
 - Semen Portland Type IV (*Low Heat Cement*)
- b. Oil Well Cement (*OWC*) Class G-HSR
- c. Semen Portland Campur (*Mixed Cement*) atau *super masonry cement*.
- d. Masonry Cement Type M,S,N
- e. Portland Pozzolan Cement (PPC)

Dalam proses produksi pembuatan semen, dikenal beberapa proses antara lain :

a. Proses Basah (*Wet Process*)

Pada proses basah, penggilingan bahan mentah dilakukan dengan menambahkan sejumlah air ke dalam *Raw Mill*, sehingga kadar air dalam campuran bahan mentah meningkat dari 6% - 11% menjadi 35% - 40%. Keluaran dari *Raw Mill* ini disebut *slurry* yang kemudian mengalami homogenisasi di dalam *Mixing* basin, tangki koreksi dan *slurry* basin. Dari *slurry* basin, *slurry* diumpankan ke dalam Kiln untuk membentuk *klinker* pada suhu 1450 °C, setelah itu didinginkan dengan *Cooler*. Kemudian *klinker* bersama-sama dengan *gypsum* digiling di dalam *Cement Mill*, sehingga diperoleh semen.

b. Proses Semi Basah

Untuk umpan *Kiln* digunakan *Moule/Granular* (butiran), *Pellet* (*cake*) yang dibuat dengan ukuran *Filter Press*, sehingga kadar airnya menjadi 15% - 25%. Konsumsi panas sekitar 1000 - 2000 kcal/kg *track*.

c. Proses Semi Kering (*SemiDrying Process*)

Dalam proses ini, umpan masuk ke *Kiln* berupa tepung kering dan dengan alat *Granular* (*Pelletizer*) disemprot dengan air untuk dibentuk menjadi *Granular* dengan kadar air 10% - 12% dengan ukuran 10 - 12 mm seragam. Petimbangan pemakaian alat ini adalah karena bahan bakar yang digunakan lebih sedikit, yaitu sekitar 1000 kcal/kg. Agar kapasitas produksi meningkat maka *Long Rotary Kiln* dilengkapi dengan *Grate Preheater*.

d. Proses Kering (*Drying Process*)

Pada pembuatan semen pada proses kering, bahan mentah digiling dan dikeringkan dalam *Raw Mill*, sehingga dihasilkan *raw mix* dan selanjutnya dihomogenisasi di dalam *Silo*. Kemudian *raw mix* mengalami reaksi kalsinasi awal di dalam *Preheater* dan *Calciner*. Hasil kalsinasi ini diumpungkan kedalam *Kiln* untuk membentuk *klinker* pada suhu ± 1450 °C dan didinginkan dalam *Cooler* hingga mencapai suhu ± 100 °C. Setelah itu, klinker dan *gypsum* digiling di dalam *Cement Mill*, sehingga menghasilkan semen.

PT. Semen Padang menggunakan 2 proses pembuatan, yaitu *Wet Process* dan *Drying Process*. Terhitung Oktober 1999, proses basah yang selama ini dilakukan di pabrik Indarung I tidak dioperasikan lagi secara menyeluruh, karena tidak efisien serta menyadari pentingnya dampak terhadap pencemaran, sehingga Indarung I dioperasikan 1 unit penggilingan semen (*Cement Mill*). Dengan demikian, keseluruhan pabrik saat ini hanya mempergunakan proses kering.

IV. PROSES PRODUKSI DI AREA RAW MILL

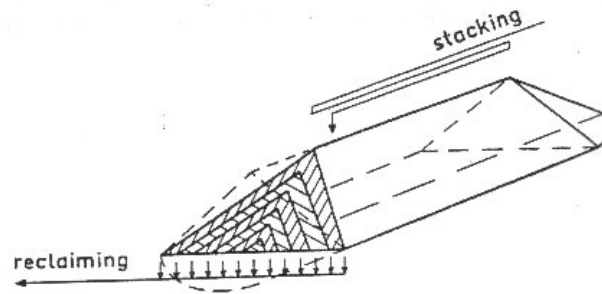
4.1. Tahap Penarikan Bahan Baku

4.1.1. Metode Penumpukan (*Stacking*) dan Penarikan (*Reclaiming*) Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan di dalam produksi semen, setelah dikirim dari tambang kemudian disimpan di dalam pabrik di *storage* sebelum memasuki tahap penggilingan. Untuk penyimpanan dan penarikannya, terdapat beberapa metode penumpukan (*stacking*) dan pengambilan bahan baku (*reclaiming*) yang biasa digunakan, antara lain:

a. Chevron Stacking/Reclaiming

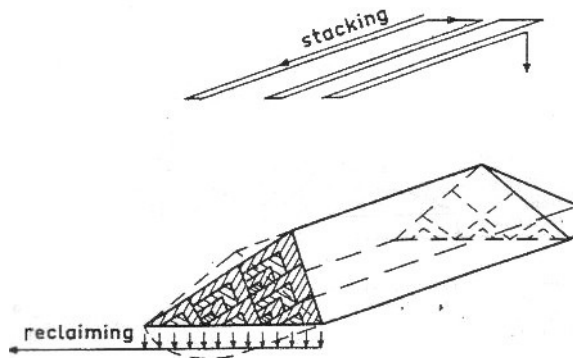
Pada *Chevron Stacking*, lapisan material yang membujur dijatuhkan oleh *stacker* yang bergerak maju dan mundur di atas tumpukan material sampai tercapainya ketinggian tertentu. Material kemudian diambil dalam irisan melintang oleh *front reclaimer*.



Gambar 1 Chevron Stacking/Reclaiming

b. *Winrow Stacking/Reclaiming*

Pada *winrow stacking*, beberapa lapisan material yang membujur ditumpuk secara paralel selebar tempat yang tersedia dalam cara tertentu sehingga membentuk tumpukan bukit. *Stacker* jenis ini tidak hanya bergerak secara membujur tetapi juga bergerak melintang sehingga membentuk pola paralel serta barisan membujur yang bertingkat. Penarikan selalu dilakukan oleh *front reclaimer*.

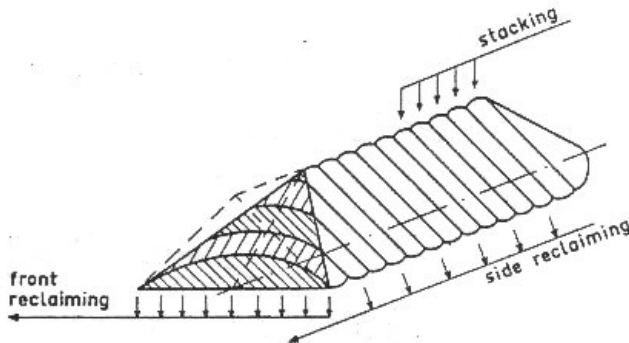


Gambar 2 Winrow stacking/reclaiming

c. *Conical Shell Stacking/Reclaiming*

Pada *Conical shell stacking*, *stacker* bergerak secara bertahap dalam arah membujur. Gerakan *stacker* selanjutnya hanya dilakukan setelah menyelesaikan tumpukan sampai ketinggian maksimal. Penarikan umumnya dilakukan kemudian oleh *side reclaimer*. Metode *conical shell stacking* sebaiknya tidak diaplikasikan bersamaan dengan *front reclaiming* karena dengan metode ini hanya beberapa lapisan

material yang tercampur sehingga efisiensi homogenisasi yang dicapai rendah.



Gambar 3 Conical shell stacking/reclaiming

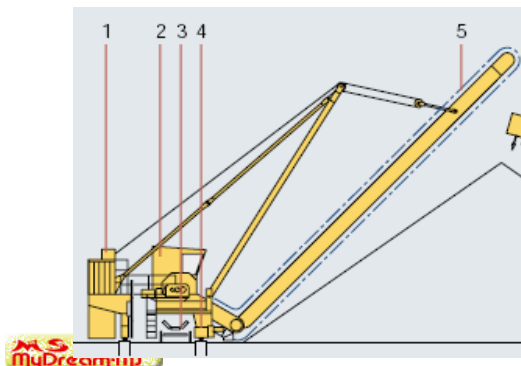
Untuk metode pengambilan material dapat digunakan metode *side reclaiming* yang bekerja di bagian samping tumpukan material yang akan diambil. *Side reclaimer* ini dilengkapi dengan *scraper* yang bisa dinaik-turunkan. *Side reclaimer* dapat mengambil material dari bagian depan atau dari samping tumpukan material.

4.1.2. Peralatan Penarikan (Reclaiming) Bahan Baku

Untuk penarikan material untuk bahan baku, terdapat beberapa jenis peralatan *reclaimer* antara lain yaitu :

a. *Side Reclaimer*

Side reclaimer merupakan salah satu alat penarikan material yang biasa digunakan di pabrik semen. Peralatan ini bergerak di jalur rel yang terletak di sepanjang *pile*/tumpukan material. *Side reclaimer* dilengkapi oleh satu *scraper chain* yang digunakan untuk menarik tumpukan material untuk selanjutnya ditransport oleh *belt conveyor* yang juga terletak sepanjang tumpukan material tersebut.

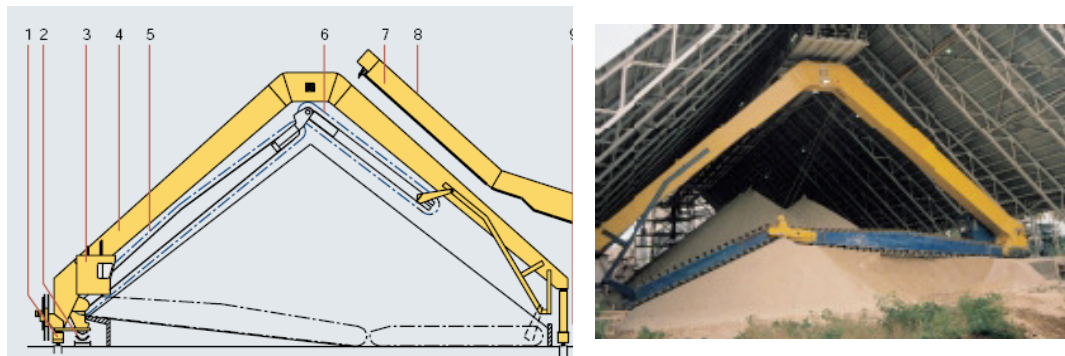


- Ket :**
- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Hoist untuk menaikkan/menurunkan <i>scraper chain</i> | 4. Roda dan rel |
| 2. Ruang operator | 5. <i>Scraper chain</i> |
| 3. <i>Belt conveyor</i> | |

Gambar 4 Bagian-bagian *side reclaimer*

b. *Portal Scrapper*

Portal Scrapper merupakan salah satu alat penarikan material yang juga biasa digunakan di pabrik semen. Sama seperti *side reclaimer*, peralatan ini bergerak di jalur rel yang terletak di sepanjang *pile*/tumpukan material. Bedanya, untuk *portal scrapper* dilengkapi oleh dua *scraper chain* di mana *scraper chain* sekunder digunakan untuk menarik material ke arah *scraper chain* primer dan selanjutnya ditarik oleh *scraper chain* primer tersebut untuk kemudian ditransport oleh *belt conveyor* yang juga terletak sepanjang tumpukan material tersebut.

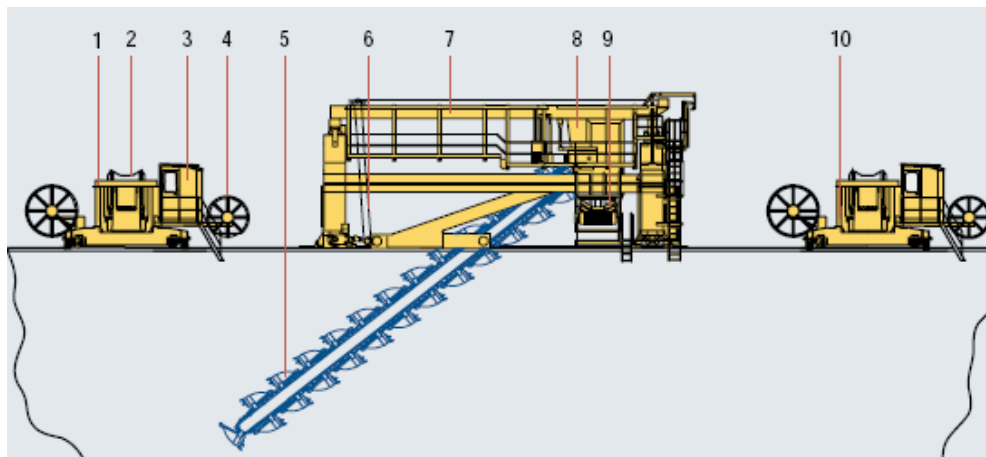


- Ket :**
- | | |
|-------------------------|----------------------------------|
| 1. Roda dan rel | 4. <i>Portal</i> |
| 2. <i>Belt conveyor</i> | 5. <i>Scraper chain primer</i> |
| 3. Ruang operator | 6. <i>Scraper chain sekunder</i> |

Gambar 5 Bagian-bagian *portal scrapper*

c. *Bucket Chain Excavator*

Bucket chain excavator merupakan salah satu alat penarikan material yang dirancang khusus untuk material yang lengket. Sistem *bucket chain*, disupport oleh *scraper arm* yang terpasang dengan sudut yang tetap dari jembatan penopang. *Storage* tempat pengisian material terdiri dari dua atau lebih *stockpile* yang ditumpuk mengacu pada metode *windrow*. Sistem *bucket chain* mengeluarkan material yang telah ditarik ke *belt conveyor* sepanjang *reclaiming bridge*. *Belt* tersebut kemudian mentransport material ke *belt* selanjutnya yang berada di sepanjang *storage*.



- Ket :**
- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. Jembatan <i>stacking</i> 1 | 6. <i>Bucket chain hoist</i> |
| 2. <i>Belt conveyor</i> di atas jembatan | 7. Jembatan <i>reclaiming</i> |
| 3. Ruang operator | 8. Ruang operator |
| 4. Roda kabel | 9. Jembatan <i>reclaiming</i> |
| 5. <i>Bucket chain</i> | 10. Jembatan <i>stacking</i> 2 |

Gambar 6 Bagian-bagian *bucket chain excavator*

Dari *storage*, batu kapur dan silika tersebut dibawa oleh *belt conveyor* A1/A2L04, A1/A2L05, dan A1/A2L06 untuk kemudian dimasukkan ke dalam *hopper* batu kapur A1/A2L10 dan *hopper* silika E1/E2A10 yang berkapasitas sekitar 200 dan 140 ton. Dari *hopper* tersebut batu kapur dan

silika diumpankan ke *mill* melalui *belt conveyor* R1/R2A02 dengan terlebih dahulu ditimbang massanya di *dosimat feeder* R1/R2A01 untuk batu kapur dan R1/R2E01 untuk silika.

Untuk *storage* tanah liat di Indarung II/III, tanah liat yang dibawa oleh truk dimasukkan ke dalam *hopper* yang kemudian digiling oleh dua buah *roller mill* C1M01 dan C2M02 untuk kemudian ditumpuk di *open storage*. Dari *hopper* sampai dengan ke *open storage*, silika tersebut ditransport oleh *belt conveyor* C1J02 s/d J07. Pengambilan tanah liat dari *open storage* mempergunakan *bucket excavator* yang kemudian dikirim melalui *belt conveyor* R1C05 yang dilengkapi dengan *weighting belt* R1C05F1 untuk menimbang massa tanah liat yang akan diumpankan. Tanah liat tersebut kemudian digiling kembali oleh *roller mill* R1M21 untuk kemudian ditransport dengan *belt conveyor* R1C06 dan R1C07.



Gambar 7 *Bucket excavator*

Iron sand atau copper slag yang digunakan dimasukkan ke dalam open storage, kemudian dikirim ke dump hopper D1L01 yang berkapasitas 220 ton. Dari hopper iron sand/copper slag tersebut diumpankan dengan dosimat feeder R1/R2D01 ke belt conveyor R1/R2C07 untuk disatukan bersama bahan baku tanah liat. Kedua bahan baku tersebut kemudian dikirim menuju belt conveyor R1/R2A02 untuk disatukan dengan batu kapur dan silika. Setelah keempat bahan baku disatukan maka bahan baku tersebut siap untuk diumpankan ke dalam mill.

4.2. Tahap Penggilingan Raw Meal

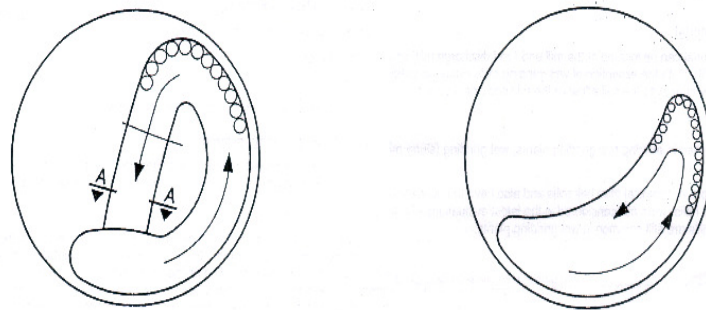
Maksud dari penggilingan bahan mentah adalah untuk menyiapkan campuran yang homogen dengan kehalusan tertentu sesuai dengan keperluan pembakaran di *Kiln*, yaitu sekitar 9-15 % tertahan ayakan 90 micron. Keempat bahan baku yang telah disatukan tersebut kemudian ditransport oleh *belt conveyor* R1A02/R2A02 untuk diumpankan ke dalam *tube mill*. Sebelum masuk ke dalam *tube mill*, bahan baku tersebut melewati sebuah *double, split sluice flap* yang terdiri dari 2 buah *flap gate*. Prinsip kerja alat ini adalah dimana kedua *gate* tersebut membuka bergantian untuk mencegah udara luar masuk ke dalam *tube mill*. Pencegahan masuknya udara luar ke dalam *mill* bertujuan untuk menjaga suhu di dalam *tube mill* tetap tinggi sehingga kondisi operasi tetap terjaga.

4.2.1. Penggilingan dengan Tube Mill

Penggilingan yang terjadi pada *tube mill* dikarenakan adanya tumbukan material dengan *grinding media*. Rotasi *tube mill* menyebabkan isi *mill* yang terdiri dari *grinding media* dan material umpan terangkat akibat gaya sentrifugal serta friksi antara media dan *lining*. Tinggi pengangkatan isi *tube mill* tergantung beberapa faktor, antara lain:

- *Liner design*
- Kecepatan putaran *mill*
- Bentuk, ukuran, dan berat *grinding media*
- Friksi antara *lining* dan *grinding media*
- Friksi antara *mill charge*

a) Cataracing of grinding media (Chamber 1) b) Cascading of grinding media (Chamber 2)



Gambar 8 Pergerakan grinding media di dalam mill

Gambar (8.a) menunjukkan grinding media menampilkan “Cataracing Motion” yang terjadi jika kecepatan rotasi mill cukup tinggi, pemilihan % loading yang tepat, ukuran grinding ball yang relatif besar dan terpasangnya lifting liner. Pada “Cataracing Motion” ini material umpan terutama digiling oleh tumbukan di zona “A” dimana hampir seluruh energi jatuh dari grinding media terpusat. Bentuk aksi ini terutama untuk mereduksi material besar yang masuk ke dalam mill.

Sedangkan gambar (8.b) menunjukkan grinding media menampilkan “Cascading Motion” yang terjadi pada kondisi yang mirip, tetapi dengan ukuran grinding ball yang lebih kecil dan tanpa lifting liner. Pada “Cascading Motion” ini, grinding media lebih bersifat mengalir dan berputar daripada terangkat dan jatuh. Gerakan ini menyebabkan gaya gesek sehingga “Cascading Motion” ini tidak cocok untuk mereduksi material yang berukuran besar, tetapi sangat efektif untuk penggilingan material yang halus.

4.2.2. Kondisi Operasi dari Tube Mill

a. Operasi normal

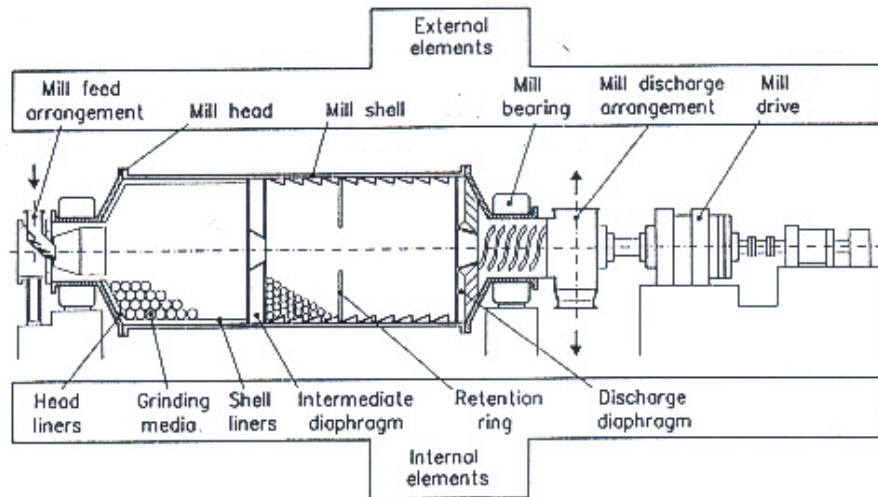
Yang dimaksud operasi normal pada sistem *mill* adalah dimana operasi sistem *mill* sehari-hari dengan *output mill* yang kontinyu dan kualitas produk yang stabil.

b. Operasi Abnormal

Operasi abnormal adalah ketika semua kondisi operasi diluar batas normal dimana laju output mill serta kualitas yang dibutuhkan tidak bisa dicapai seperti ketika kondisi normal.

4.2.3. Bagian-bagian Tube Mill

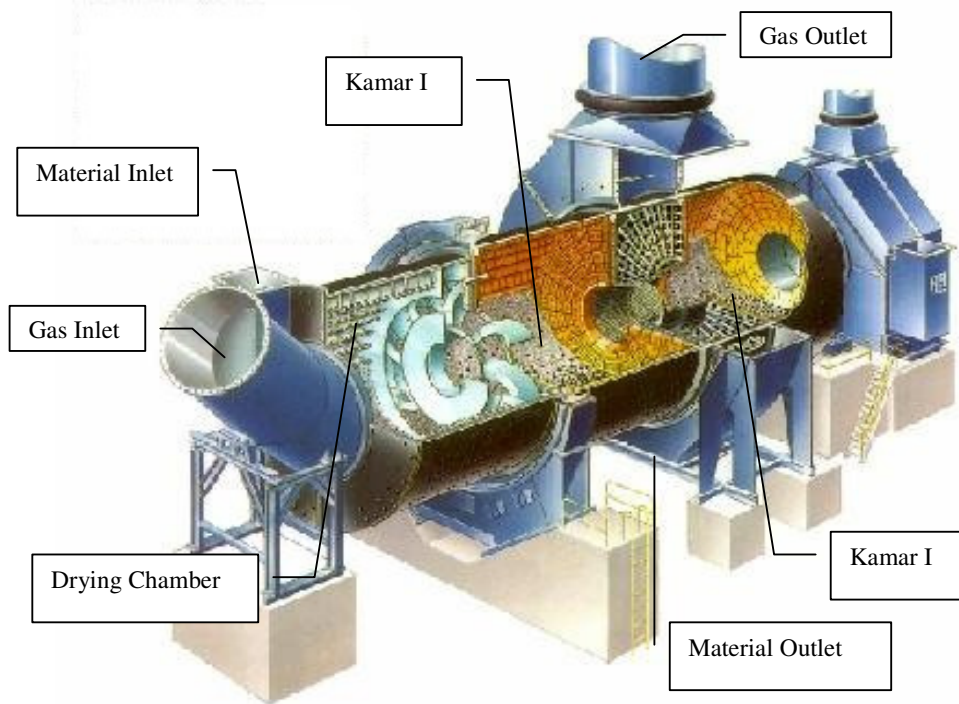
Bagian-bagian internal dan eksternal dari *tube mill* dapat dilihat pada gambar 9 berikut:



Gambar 9 Bagian-bagian internal dan eksternal tube mill

4.3. Penggilingan Raw Meal di Produksi II/III

Di departemen Produksi II/III, penggilingan bahan baku (*raw meal*) menggunakan *tube mill* dengan tipe *duodan mill* yang berkapasitas 160 ton/jam. *Feed Arrangements* yang digunakan berjenis *feed chute airswept mill* karena dibutuhkan ruang masuk yang besar bagi gas panas untuk pengeringan bahan baku. *Centre Discharge* digunakan sebagai *discharge arrangements* dimana letak keluaran produk hasil gilingan berada diantara kompartemen I dan kompartemen II.



Gambar 10 Raw mill tipe duodan mill

Material yang akan digiling dimasukkan bersamaan dengan aliran udara panas berasal dari *suspension preheater* yang ditarik oleh *fan R1/R2P11*, sehingga di dalam *tube mill* selain terjadi proses penggilingan juga terjadi proses pengeringan. *Tube mill* untuk *raw mill* ini terdiri dari 3 ruangan, yaitu *drying chamber*, kompartmen I dan kompartmen II. Pada *drying chamber* dipasang *lifter* yang berfungsi untuk mengangkat dan menghamburkan material sehingga proses pengeringan dapat berlangsung dengan efektif karena luas permukaan material yang kontak dengan gas panas bertambah besar. Sebagai pemisah antara *drying chamber* dengan kompartmen I digunakan *open diaphragm*.

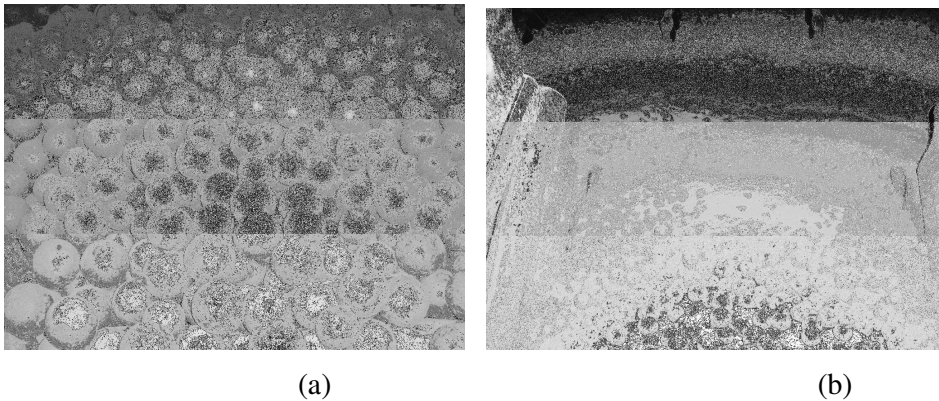
Di dalam kompartmen I terdapat *lifting liner* berjenis *step liner*. *Liner* jenis ini berfungsi untuk mengangkat dan menjatuhkan *grinding media* sehingga dihasilkan gaya tumbukan terhadap material yang akan digiling. Pada kompartmen II, permukaan *liner* yang digunakan bergelombang dikarenakan gaya yang diperlukan adalah gaya gesek antara material dengan *grinding media*

sehingga tidak diperlukan *liner* yang dapat mengangkat grinding media. Di kompartmen II juga digunakan *danula ring* yang bertujuan untuk memperpanjang waktu tinggal material di dalam *mill* sehingga efek penggilingan akan lebih baik.

Diaphragm digunakan di antara kompartmen I dan kompartmen II yang berfungsi sebagai saringan terhadap material hasil penggilingan. Karena sistem *discharge*-nya adalah *centre discharge* maka *diaphragm* yang digunakan berjenis *single diaphragm* untuk masing-masing keluaran kompartmen.

Material hasil penggilingan keluar melalui *diaphragm* dan *rima screen* yang selanjutnya akan mengalami penyaringan kembali di ruang bawah *tube mill* sehingga material yang masuk ke dalam *air slide* adalah benar-benar *raw mix* dan mencegah *grinding media* ikut keluar bersamanya.

Grinding media yang digunakan terbuat dari bola baja dengan ukuran yang berbeda untuk tiap kompartmen. Untuk kompartmen I digunakan *grinding media* berukuran 50-90 mm, sedangkan untuk kompartmen II, *grinding media* yang digunakan berukuran 25-40 mm.



Gambar 11 Grinding media di kompartmen I (a) dan kompartmen II (b)

4.4.Separator

Berdasarkan prinsip kerja peralatan, separator dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

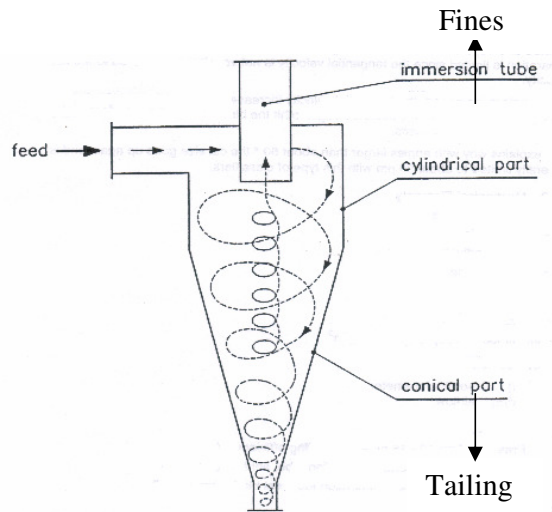
4.4.1.Static Separator

Pada static separator, tidak ada bagian peralatan pemisahan yang berputar/bergerak dalam proses pemisahan partikel.

Beberapa contoh static separator :

a. Cyclone

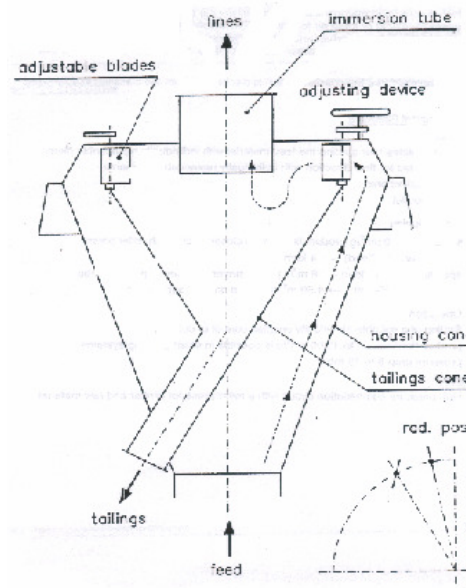
Prinsip pengoperasian cyclone : udara dengan material terdispersi masuk ke cyclone melalui inlet. Partikel kasar dengan adanya gaya sentrifugal akan mengendap sebagai tailing, sedangkan partikel halus akan terangkat udara keluar cyclone melalui immersion tube.



Gambar 12 Cyclone separator

b. Grit Separator

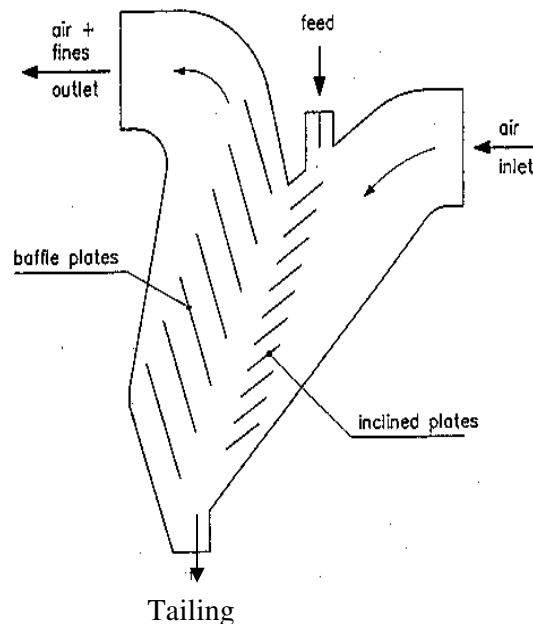
Udara yang mengandung debu masuk ke separator dari bawah dan mengalir ke sejumlah adjustable blade. Jika blade di set radial, maka partikel kasar akan mengendap karena aksi gaya inersia karena partikel kasar tidak bisa membelok 90° ketika akan masuk ke dalam immesion tube.



Gambar 13 Grit separator

c. VS-Separator

Material masuk dari atas, material mengalir ke zone pemisahan dengan melalui inclined plates. Udara pemisah masuk ke dalam zone pemisahan secara transversal (melintang) terhadap aliran material. Zone pemisahan sesungguhnya berada antara inclined plate dan baffle plate. Material halus akan keluar terbawa aliran udara melalui sela-sela antara baffle plate, sedangkan material kasar oleh gaya gravitasi akan terjatuh dan keluar pada bagian bawah separator.



Gambar 14 V-S separator

4.4.2. Dynamic Separator

Prinsip kerja dari *dynamic separator* ini adalah material umpan dimasukkan melalui *chute* ke atas *distributor plate* yang mendispersikan partikel ke dalam aliran udara. Udara bersama dengan partikel yang terdispersi mengalir ke atas dan melewati *rotating counterblade*. Partikel kasar terlempar keluar akibat gaya sentrifugal, kemudian menumbuk dinding dan jatuh masuk ke dalam *tailing cone* sedangkan udara dengan partikel halus mengalir melalui fan menuju *fine chamber*. Di sini material halus dipisahkan dari udara dan terkumpul di dalam *outer cone*. Udara bersama dengan sejumlah material halus kembali ke zona pemisahan melalui *air vane*.

Dynamic separator memiliki *fineness range* sekitar 3000-6000 cm²/g yang dapat dilakukan penyesuaian-penyesuaian untuk mendapatkan material yang lebih halus atau lebih kasar. Pada separator jenis ini ada sebagian peralatan pemisahan yang berputar/bergerak untuk melakukan proses pemisahan partikel.

Beberapa contoh separator yang termasuk dalam jenis dynamic separator :

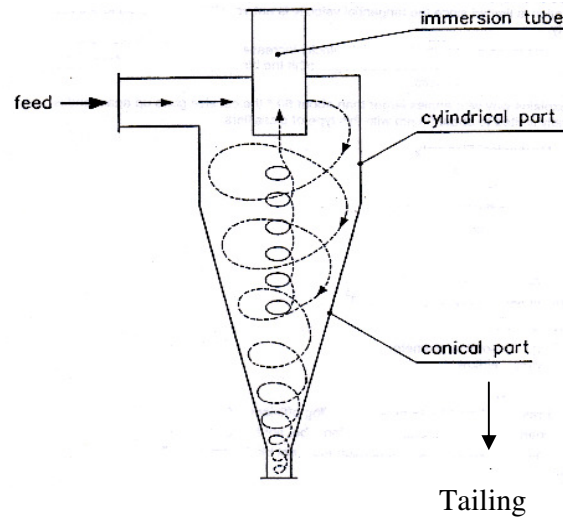
- a. Classifier dengan Counterblade dan Internal Fan
- b. Classifier dengan Counterblade dan Eksternal Fan
- c. Classifier dengan Rotor Cage dan Eksternal Fan (High Efficiency Separator)

Dynamic separator yang digunakan di Indarung II/III tidak memiliki *variable speed fan* sehingga kecepatan dari putaran kipas tidak bisa diatur. Pengaturan *fineness* produk hanya dilakukan dengan cara mengubah bukaan *slot vane*. Oleh karena itu, jenis *dynamic separator* yang digunakan lebih mendekati jenis *heyd separator*.

Fineness produk separator kemudian ditransport oleh *air slide* R1/R2U03 dan R1/R2U04 menuju ke *airlift* R1/R2U05 untuk selanjutnya dikirim ke *homogenizing silo* H1/H2H01-H02 dan H1/H2H11-H12. Udara yang digunakan oleh *airlift* untuk membawa produk berasal dari *rotary blower* R1/R2U06 dan R1/R2U07. Produk separator yang kasar (*tailing*) kemudian dibalikkan ke dalam *mill* melalui *air slide* R1/R2S16 untuk kompartemen I dan R1/R2S17 untuk kompartemen II. Produk kasar dari separator S01 sebanyak 35 % kembali ke kompartemen I sedangkan sisanya ke kompartemen II, sementara semua produk kasar S02 kembali ke kompartemen II.

Udara panas dari *mill* keluar melalui bagian atas *mill* dan suhu udara panas yang keluar dari *mill* harus dijaga suhunya di atas 65 °C karena jika dibawah suhu tersebut dikhawatirkan akan terjadi pengembunan sehingga aliran material dapat tersumbat dan transportasi menjadi tidak lancar. Udara panas tersebut kemudian masuk ke dalam *cyclone* untuk pemisahan antara material padat dan gas. Prinsip kerja dari *cyclone* yaitu udara dengan material yang terdispersi memasuki *cyclone* melalui *inlet*. Akibat adanya gaya sentrifugal maka partikel kasar terbentur dan berputar pada dinding sementara udara bersama partikel yang lebih halus meninggalkan *cyclone* melalui *immersion tube*. *Pressure drop* yang terjadi di dalam *cyclone* sekitar 10-15 mbar dan efisiensi *dedusting* sekitar 75-80 %.

Fines
↑



Gambar 15 Cyclone

4.5. Tahap Penyimpanan Raw Mix

Raw mix hasil penggilingan di *mill* kemudian ditransport ke dalam *homogenizing silo*. *Raw mix* tersebut harus dihomogenisasikan sebelum diumpankan ke dalam *kiln* karena homogen tidaknya komposisi umpan *kiln* akan sangat besar pengaruhnya terhadap kelancaran operasi *kiln*. Hal ini dikarenakan komposisi *raw mix* dapat memberikan efek terhadap pembentukan *coating*, *ring formation*, *clogging*, serta kerusakan *brick* sehingga homogenisasi adalah merupakan proses yang sangat mutlak sebelum pengoperasian kiln.

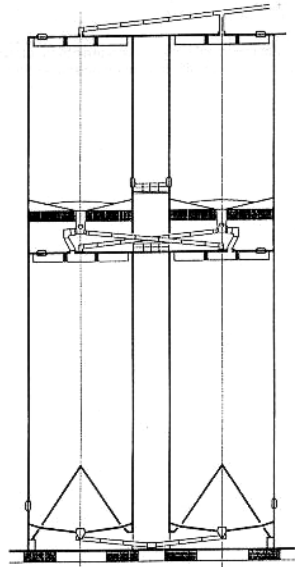
Homogenizing silo dapat dicapai dengan dua cara yaitu:

- Dengan *blending*, dimana dua atau lebih material dikeluarkan secara simultan.
- Dengan *mixing*, dimana dua atau lebih material yang berbeda diaduk dengan pengaduk atau aerasi (dengan udara), sehingga didapat suatu campuran material yang homogen.

4.5.1. Prinsip Kerja Homogenizing Silo

a. Discontinuous Batch Homogenizing Silos

Pada umumnya jenis ini terdiri dari dua pasangan silo, yang mana silo di atas sebagai homogenisasi dan yang bawah bersifat sebagai *storage* silo. Kapasitas homogenisasi silo ini adalah 6-11 kali kapasitas *raw mill*. Kedua pasangan ini diisi atau dikeluarkan secara bergantian.



Gambar 16 Discontinuous Silo

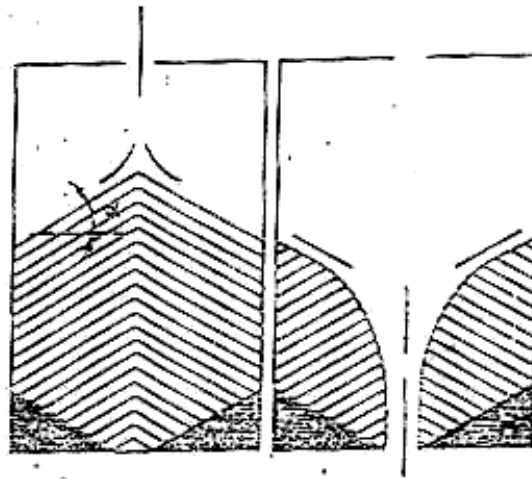
b. Continuous Over Flow Silos

Sistem ini biasanya terdiri atas sebuah *homogenizing silo* yang dikombinasikan dengan *raw meal storage silo*. Biasanya mempunyai kapasitas 6-10 kali kapasitas *raw mill* dengan perbandingan diameter : tinggi = 1 : 1,2. Prinsip dasar dari *over flow homogenizing silo* ini adalah dilakukan aerasi dari bawah silo secara bergantian dan pada saat pengisian, pengadukan dan pengeluaran terjadi bersamaan secara kontinyu. Pemakaian power sistem ini biasanya lebih besar daripada sistem *batch*.

4.5.2. Homogenizing Silo di Indarung II/III

Dari kedua jenis prinsip kerja silo di atas, dapat dilihat bahwa sistem *homogenizing silo* di operasi I adalah berjenis *discontinuous batch homogenizing silo*. *Homogenizing silo* di operasi I terdiri dari dua bagian

yaitu *blending silo* H01 dan H02 di bagian atas dan *storage silo* H11 dan H12 di bagian bawah. Prinsip kerja pengisian *homogenizing silo* ini adalah *raw mix* masuk ke dalam *blending silo* H01 sampai terisi setengah penuh, kemudian pengisian bergantian antara H01 dan H02 setiap 5 menit. Cara pengisian ini menyebabkan terbentuknya lapisan-lapisan *raw mix* yang berbeda pada *blending silo* sehingga ketika dilakukan pengeluaran diharapkan *raw mix* sudah terhomogenisasi. Pengisian dan pengeluaran di *blending silo* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 17 Pengisian dan pengeluaran pada blending silo

Pada bagian bawah silo ditiupkan udara yang berasal dari *blower*. Hal ini bertujuan untuk mengemburkan/aerasi dari *raw mix* sehingga *raw mix* lebih mudah untuk dikeluarkan. *Raw mix* yang telah dikeluarkan dari *storage silo* kemudian dibawa oleh *screw conveyor* H1/H2U1 untuk selanjutnya digunakan untuk umpan *kiln*.

V. PROSES PRODUKSI DI AREA KILN DAN COAL MILL

5.1. Proses Pada Sistem Kiln

Sistem *kiln* harus didesain untuk memenuhi proses kimia yang diperlukan selama *raw mix* yang diumpankan ke *kiln* dirubah menjadi klinker. Proses yang terjadi merupakan proses endotermis dan terjadi pada suhu maksimum material mencapai 1450 °C. Energi panas diterima dari gas panas dengan suhu mencapai 2000 °C yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk pembakaran.

Tabel 1 Jenis reaksi yang terjadi pada suhu tertentu di dalam rotary kiln

Range suhu (°C)	Jenis reaksi
Heating up	
20-100	Penguapan H ₂ O bebas
100-300	Penghilangan air yang terserap secara fisis
400-900	Penghilangan struktur H ₂ O (grup H ₂ O & OH) dari mineral tanah liat
>500	Perubahan struktural di dalam mineral silikat
600-900	Disosiasi karbonat
>800	Pembentukan belite, produk <i>intermediate</i> , aluminat & ferrite
>1250	Pembentukan fase <i>liquid</i> (lelehan aluminat & ferrite)
Mendekati 1450	Penyempurnaan reaksi dan rekristalisasi alite dan belite
Cooling	
1300-1240	Kristalisasi fase cair menjadi terutama aluminat dan ferrite

5.1.1. Proses Kering

1. Long Dry Kiln

a. Tanpa Peralatan Penukar Panas Internal

Merupakan jenis instalasi proses kering yang paling sederhana dengan konsumsi panas sekitar 5100 kj/kg klinker (1200 kcal/kg klinker) atau sekitar 90 % dari konsumsi panas pada proses basah sehingga dipertimbangkan sangat tidak ekonomis. Keuntungannya adalah kesederhanaan dan tidak sensitif terhadap masalah sirkulasi yang berat.

Jenis *kiln* ini cocok untuk dikombinasikan dengan *waste heat recovery steam boiler* untuk *power generation*. Dalam kasus tersebut, panas sisa yang terkandung di dalam gas buangan *kiln* selanjutnya digunakan untuk menghasilkan energi yang bermanfaat.

Data karakteristik *kiln*:

- Konsumsi panas (q) 4500-6000 kj/kg klinker (1075-1430 kcal/kg klinker)
- Suhu keluar gas *kiln* 450-500 °C
- *Pressure drop* pada sistem 0,5-1,0 KPa

b. Dengan Peralatan Penukar Panas Internal

Long dry kiln dengan peralatan penukar panas *internal* (rantai atau *crosses* dari baja atau keramik) merupakan solusi agar lebih ekonomis dimana konsumsi panas yang dicapai dapat kurang dari 4200 KJ/Kg.

Data karakteristik *kiln*:

- Konsumsi panas (q) 3800-4500 kj/kg klinker (910-1075 kcal/kg klinker)
- Suhu keluar gas *kiln* 400-450 °C
- *Pressure drop* pada sistem 1,0-1,5 KPa

2. Suspension Preheater (SP) Kiln

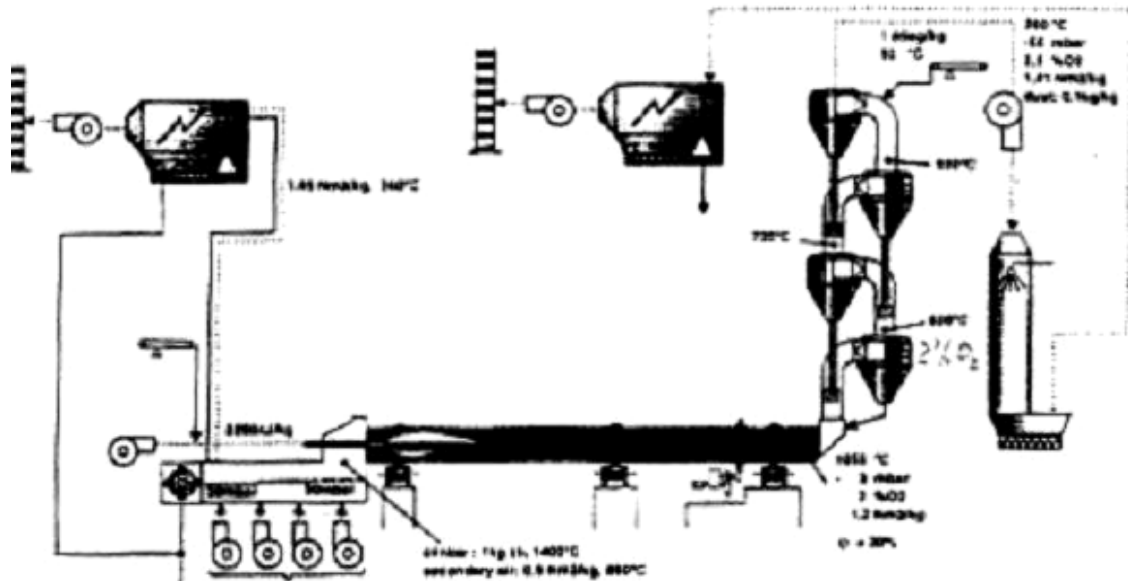
Selama 30 tahun terakhir, SP *kiln* menjadi sistem pembuatan klinker yang dominan. Pada sistem ini, *raw mix* yang telah digiling dan dikeringkan menggunakan gas sisa *kiln* sebagai media pengering pada *mill plant* kemudian diumpankan ke dalam sistem. *Raw mix* yang telah dihomogenisasi kemudian diumpankan ke dalam *preheater* dimana di dalam *preheater* tersebut *raw mix* tersuspensi oleh aliran gas *kiln* sehingga pertukaran panas yang terjadi sangat efektif.

3. Preheater Kiln dengan 4 Tingkat Siklon

Sampai pertengahan th 1980, jenis ini merupakan sistem dengan konsumsi bahan bakar terendah. *Preheater* jenis ini dibuat dalam beberapa konfigurasi dengan kapasitas sampai 4500 ton/hari yang kebanyakan dikombinasikan dalam bentuk *single* atau *twin cyclone stage*. Gas keluaran *kiln* masih dapat digunakan untuk mengeringkan *raw material* dengan kandungan air sampai 8

% jika *mill* beroperasi bersamaan dengan *kiln* sehingga suhu gas sisa yang relatif tinggi tidak dianggap sebagai kehilangan panas.

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*.



Gambar 18 Kiln proses kering (dengan 4 tingkat SP)

5.2. Rotary Kiln

Saat ini, semua industri penghasil klinker menggunakan *rotary kiln* karena *rotary kiln* merupakan satu-satunya cara yang *feasible* untuk mengatur proses dengan suhu tinggi dan material dengan beragam sifat. *Rotary kiln* harus memenuhi 3 jenis kebutuhan:

- *Combustion* : Sebagai *combustion chamber* untuk bahan bakar pada *burning zone*
- Proses : Sebagai reaktor untuk proses pembakaran klinker dan material *conveyor*
- Mekanikal : Stabilitas bentuk, *carrying load*, fleksibilitas panas, dan *tightness*

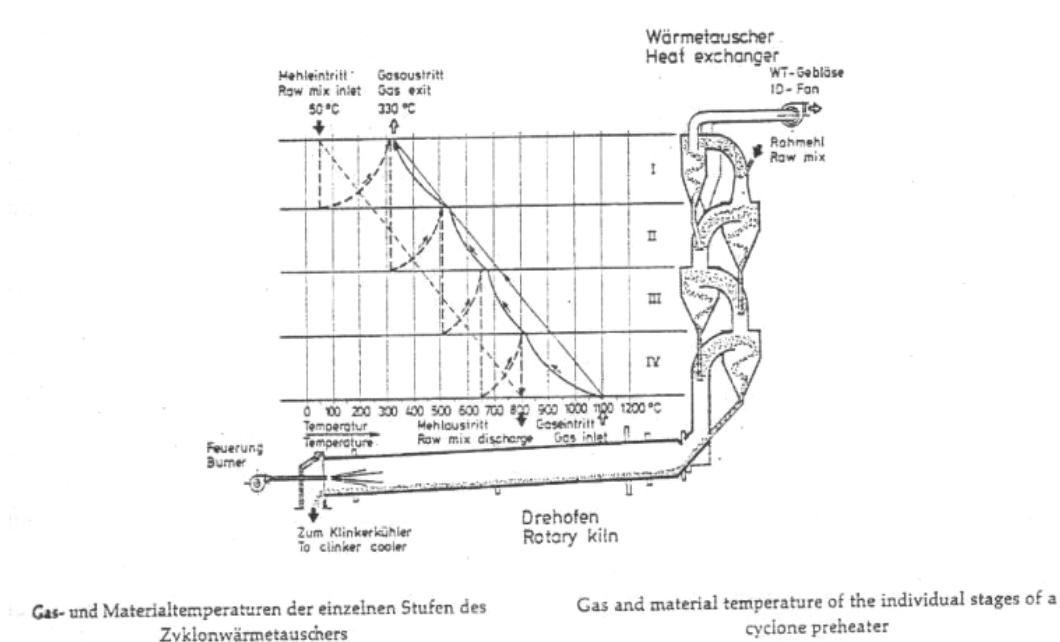
5.3. Suspension Preheater (SP)

Semua sistem *kiln* modern telah dilengkapi oleh siklon *suspension preheater*. Instalasi yang baru termasuk *precalciner* dengan *tertiary air duct* sehingga *preheater* dan *precalciner* menjadi 1 unit. Bagaimanapun, *preheater* memiliki tugas tertentu dan secara prinsip tidak terhubung ke *precalciner*.

Suspension preheater 4 tingkat pertama kali ditemukan tahun 1951. Keuntungan dari penggunaan *suspension preheater* adalah :

- Temperatur gas keluar cukup rendah, bisa < 350°C
- Perpindahan panas dari gas ke *raw mix* cukup baik (temperatur *raw mix* mencapai > 90% dari temperatur gas dalam waktu < 1 detik) untuk setiap *stage*-nya

Gambar berikut ini memperlihatkan proses aliran material dan gas di dalam *suspension preheater* 4 stage serta perubahan-perubahan temperatur pada setiap stagenya.



Gambar 19 Pola aliran dan temperatur di suspension preheater.

Pada perkembangan teknologi, desain *cyclone* yang lebih tinggi dan ramping serta *dip tube/center tube* yang lebih panjang, membuat *pressure drop* di setiap *stage*-nya menurun dari 15 mbar menjadi 5-10 mbar. Sehingga pada perkembangan selanjutnya, *suspension preheater* menjadi 5-6 tingkat.

5.4.Precalciner

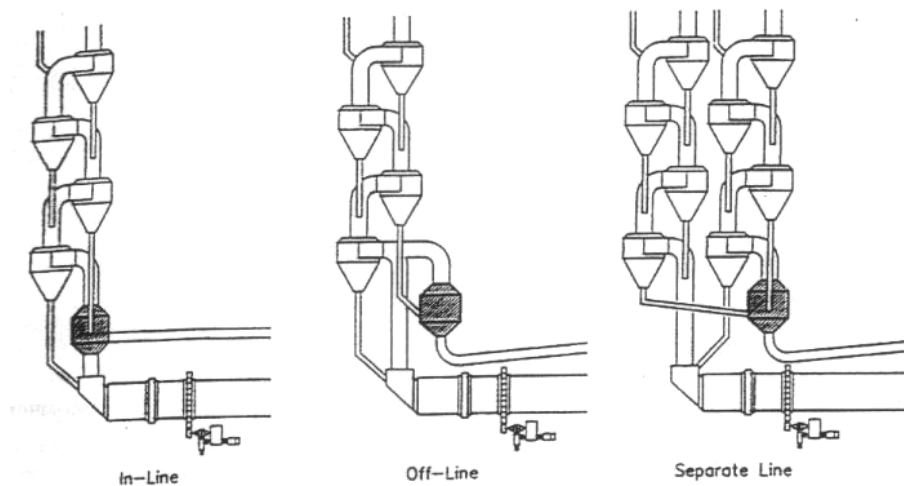
Diantara reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses pembuatan *klinker*, reaksi *kalsinasi* yang membutuhkan energi paling besar (+/- 60% dari total *heat consumption*). Reaksi *kalsinasi* ini tidak hanya membutuhkan temperatur reaksi, tetapi juga butuh waktu reaksi (*resident time*).

Pada grafik hubungan energi yang diserap (*endoterm*) dan energi yang diserap (*eksoterm*) dengan temperatur operasi di dalam proses pembuatan *klinker* terlihat bahwa:

- Dibutuhkan energi yang paling tinggi untuk *decarbonisation (kalsinasi)* pada temperature sekitar 850-900 °C
- Tahap kesempurnaan reaksi *klinkerisasi* sebenarnya melepaskan panas/energi (*eksoterm*). Tetapi untuk melepaskan panas tersebut, temperatur *klinkerisasi* harus tercapai >1400 °C.

Pembakaran di dalam *precalciner* cukup jauh berbeda dengan pembakaran di dalam *kiln*. Perbedaan itu adalah sebagai berikut:

- Temperatur pembakaran di *precalciner* hanya sekitar 900 °C, sementara di dalam *kiln* sekitar 2000 °C
- Beberapa *precalciner system* menggunakan campuran udara dan gas hasil pembakaran (*in-line calciner*)
- Menjaga *precalciner* pada posisi temperature relatif rendah, hal ini untuk menghindari terjadinya pelelehan yang bisa membentuk terjadinya *clogging*.



Gambar 20 Sistem precalciner

5.5.Clinker Cooler

Clinker cooler memiliki 2 tugas utama, yaitu:

- Memanfaatkan sebanyak mungkin panas dari klinker untuk memanaskan udara pembakaran
- Mendinginkan klinker dari 1400°C menjadi suhu yang sesuai untuk peralatan pada proses selanjutnya, normalnya $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$

Clinker cooler merupakan bagian yang vital pada sistem *kiln* dan memiliki pengaruh yang menentukan untuk kinerja pabrik. 3 indikator utama sebuah *cooler* yang baik, yaitu:

- Pemanfaatan panas yang maksimum
- Laju aliran udara pendingin yang minimum
- *Avaibility* yang tidak terbatas

5.6.Refractory Lining

Daya tahan dari *refractory lining* terutama dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu:

- Pemilihan kualitas material yang digunakan pada daerah yang berbeda
- Pemasangan lining dengan mempertimbangkan metode penempatan ukuran dan bahan sambungan

- Memperhatikan kriteria pengoperasian yang mempengaruhi daya tahan lining, seperti prosedur pemanasan dan pendinginan sistem kiln yang tepat dan meminimasi fluktuasi proses untuk mempertahankan operasi kiln yang berkelanjutan.

Sistem kiln dapat dibagi menjadi beragam daerah berdasarkan kondisi operasi dan material *refractory* yang digunakan:

a. Zona Preheating

Pada zona *preheating*, air hidrat dihilangkan dan *raw material* dipanaskan sampai suhu sekitar 700 °C. Panjang zona *preheating* pada *long kiln* dapat mencapai 4-8 diameter *kiln*, sedangkan pada *short preheater kiln*, daerah *preheating* merupakan bagian dari *preheater*.

Pada zona *preheating* di *long kiln* biasanya dilapisi dengan *low alumina firebrick* atau untuk insulasi panas yang lebih baik dengan menggunakan *light weight firebrick*.

b. Zona Calcining

Reaksi kalsinasi sudah dimulai pada saat suhu material di bawah 600 °C dan selesai pada suhu sekitar 1200 °C, tetapi bagian terbesar dari reaksi kalsinasi terjadi di antara suhu material 700-900 °C yang biasa disebut zona kalsinasi. *Refractory* yang digunakan adalah *fireclay brick* atau untuk lebih baik dengan menggunakan *fireclay lightweight brick*.

c. Zona Transisi

Zona transisi berlokasi pada kedua sisi dari zona *sintering*. Karena panjang zona *sintering* bervariasi dengan fluktuasi proses, maka zona transisi ditandai dengan adanya pembentukan *coating* yang tidak stabil.

Bagian inlet dari daerah transisi biasanya disebut *safety zone* dan dilapisi oleh *refractory* dengan jenis *alumina rich brick* dengan kandungan Al_2O_3 50-60 %, sedangkan bagian yang dekat dengan zona yang panas digunakan *synthetic material* atau *magnesia-chrome brick* dengan kandungan 69-70 % MgO.

d. Zona Sintering

Meskipun daerah ini sering disebut sebagai *burning zone*, tetapi *sintering zone* dipakai untuk lebih mendeskripsikan mekanisme reaksi yang terjadi pada daerah tersebut. *Sintering zone* biasanya ditutupi oleh *coating* yang stabil yang terbentuk dari klinker dan fase cair. Fase cair mulai terbentuk pada suhu material sekitar 1250 °C, tapi karena suhu permukaan lebih tinggi daripada suhu *raw material*, maka pembentukan *coating* suhu terjadi pada suhu material di atas 1050-1150 °C.

Istilah *sintering zone* dapat juga dijelaskan sebagai zona terjadinya difusi material dengan pembentukan modifikasi C₃S pada suhu sekitar 1100 °C. Suhu material maksimum pada *sintering zone* adalah 1400-1500 °C pada bagian awal *cooling zone*. Panjang *sintering zone* biasanya antara 3-5 diameter *kiln* dan sangat tergantung pada bentuk api dan tipe bahan bakar. Api dari bahan bakar batubara umumnya memberikan panjang *sintering zone* yang pendek, bahan bakar minyak memberikan daerah yang sedang, sedangkan bahan bakar gas memberikan daerah sintering yang panjang.

Batu tahan api pada *sintering zone* terkena *chemical attack* oleh fase cair dari klinker dan sulfat alkali, suhu yang tinggi dan *thermal shock* yang tinggi. Kondisi ini baik digunakan *basic brick* karena ketahanan yang baik terhadap *chemical attack*. Tapi umumnya, *chrome free magnesia spinell brick*, *magnesia-chrome* atau *dolomite brick* dipasang. *Dolomite brick* umumnya memiliki kinerja operasi yang baik pada daerah pembentukan *coating*. Harga untuk *dolomite brick* hanya sekitar 60 % dari harga magnesit. Kelemahan *dolomite brick* adalah sensitivitasnya terhadap kelembaban. Sehingga untuk stop *kiln* dalam waktu yang lama harus dilindungi terhadap kelembaban.

e. Zona Cooling

Cooling zone pada *rotary kiln* mencakup sekitar daerah *burner nozzle* sampai *kiln outlet*. Pada daerah ini, klinker didinginkan dari suhu maksimumnya. Sekitar 1400-1500 sampai sekitar 1350 °C pada *kiln* dengan *grate*, *rotary* atau *shaft cooler* dan sekitar 1250 °C pada *kiln* dengan *planetary cooler*.

5.7.Sistem Coal Firing

Sebelum batubara ditembakkan, harus dipersiapkan kehalusannya. Batubara harus dikeringkan sehingga kandungan airnya 0,5-1,5 % karena adanya kelembaban mengakibatkan hilangnya nilai kalori batubara dimana air harus diuapkan tersebut dahulu. Pengeringan batubara dilakukan bersamaan dengan penggilingan.

5.8. Bahan Bakar

Secara fisik dalam industri semen ada 3 jenis bahan bakar yang dapat digunakan untuk operasi pembakaran di dalam *kiln* dan *kalsiner*, yaitu :

- a. Bahan bakar padat: batu bara (*antrasit, lignit, coke*), alternatif *fuel* (kayu, cangkang kelapa sawit, ban bekas)
- b. Bahan bakar cair: solar, alternatif *fuel* (oli bekas)
- c. Bahan bakar gas: gas alam (natural gas)

5.9. Bahan Bakar Batu Bara

5.9.1. Klasifikasi dan Spesifikasi Batu Bara

Klasifikasi batu bara dapat didasarkan atas hasil analisa unsur-unsur yang terkandung didalamnya. Unsur utama dalam batu bara adalah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Karena hubungan antara unsur-unsur dasar tersebut dengan sifat-sifat teknis batu bara cukup kompleks, maka dicari parameter lain yang lebih sederhana dan dapat diterima di industri. Parameter yang sering digunakan adalah :

- Nilai kalor (*calorific value*)
- Kadar zat terbang (*volatile matter*)

Namun untuk daerah Sumbar-Jambi-Riau, terdapat berbagai jenis batu bara yang cukup beragam. Untuk memudahkan dalam klasifikasi jenis batu bara yang digunakan di PT Semen Padang, kita menggunakan satu parameter tambahan lagi yaitu:

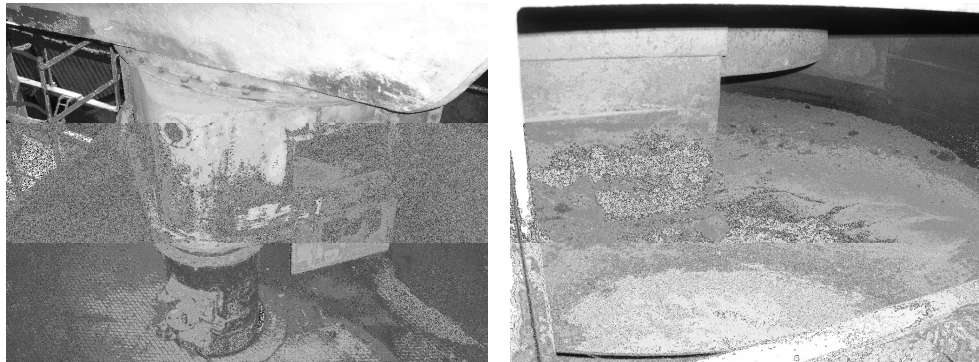
- Kadar abu (*ash*)

Untuk batu bara yang berasal dari daerah Sumbar (Sawahlunto dan sekitarnya), umumnya kadar abu berkisar antara 10-15%. Jika kadar abu melebihi nilai tersebut, bisa dipastikan batu bara ini sudah terkontaminasi dengan tanah. Biasanya karena penambangan yang kurang baik dimana lapisan atas (*overburden*) tidak terpisahkan dengan baik, sehingga ikut terbawa lapisan batu bara saat diambil.

5.10. Proses Penggilingan di Area Coal Mill Produksi II/III

Proses ini bertujuan untuk menggiling batubara yang berukuran kasar sehingga menjadi *fine coal* yang berukuran lebih kecil. *Fine coal* tersebut kemudian akan dipergunakan sebagai bahan bakar untuk proses pembakaran *raw mix* di *kiln*.

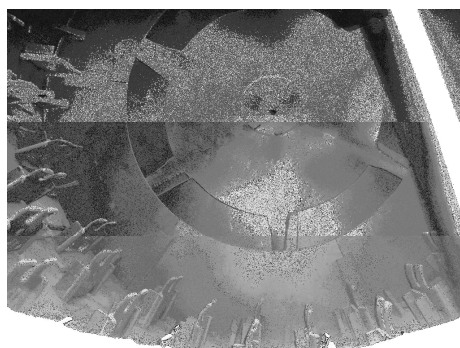
Batubara yang masih berukuran kasar disimpan di dalam *hopper* K1/K2L01 yang memiliki kapasitas 50-60 ton. Batubara tersebut kemudian diumpankan ke dalam *mill* melalui suatu alat pengumpan berjenis *rotary table feeder* K1/K2A01. *Rotary table feeder* adalah alat ekstraksi dan *volumetric feeding* yang digunakan untuk pengumpanan *raw coal* ke dalam *coal mill*. *Rotary table feeder* terdiri dari *disc* yang berputar yang terdapat di dalam *casing* kedap udara dan digerakkan oleh *worm gear* melalui poros vertikal. Material dari *hopper* ditransport ke *disc* melalui pipa teleskopik dan sebuah *scraper* untuk mengarahkan material ke lubang pengeluaran. Jumlah material umpan tergantung pada kecepatan putar *disc*.



Gambar 21 Rotary table feeder

Batubara kemudian masuk ke dalam *mill* melalui *inlet mill*. *Mill* yang digunakan untuk penggilingan *coal* di operasi I berjenis *tirax mill* berkapasitas 15 ton/jam dengan jenis *feed arrangement feed chute of airswept mill* untuk memudahkan masuknya udara panas bersamaan dengan material umpan. *Tirax mill* yang digunakan untuk penggilingan batubara mirip dengan *undan mill* tetapi berbeda dari rancangan aliran udara yang membawa produk keluar dari *mill*. Umumnya, *mill* jenis *tirax* memiliki dua kompartmen penggilingan yaitu kompartmen I (*precrushing*) dengan bola baja sebagai isi *grinding medianya* dan compartment II dengan *grinding media cylpebs*. Di operasi I sekarang ini tidak digunakan lagi *cylpebs* sebagai *grinding media* di kompartmen II tetapi digunakan bola baja dengan diameter berukuran 20-25 mm. *Tirax mill* dapat menggiling umpan dengan kandungan air lebih dari 1 % jika udara panas disuplai ke dalam *mill*.

Mill juga terdiri dari *drying chamber* dimana di dalam *drying chamber*, batubara masuk bersama dengan udara panas yang berasal dari *kiln* yang ditarik oleh *fan K1/K2S13*. Untuk membantu mensuplai udara panas dalam tahap *starting up kiln*, maka digunakan *heat generator K1/K2T11* dengan bahan bakar solar. Udara panas ini mutlak diperlukan karena selain digunakan untuk pengeringan batubara juga digunakan untuk membantu proses transportasi *fine coal* dari *mill* ke dalam *kiln*.



Gambar 22 Drying chamber yang dilengkapi dengan lifter

Drying chamber dilengkapi dengan *lifter* yang berfungsi untuk menghamburkan material ke aliran udara panas ketika terjadi putaran. Ketika *mill* berhenti berputar, ketinggian isi material di dalam *drying chamber* akan lebih tinggi dibandingkan ketika

mill berputar. Karena sebagian besar material terhambur di dalam aliran udara. Jika batubara kasar tersumbat pada bagian *inlet drying chamber*, mungkin disebabkan oleh kurangnya kandungan panas yang dibawa udara dengan kandungan air batubara sehingga suhu udara kering harus ditingkatkan atau *baffle plate* harus dipasang di bagian *inlet drying chamber* untuk mengarahkan udara panas ke sudut *drying compartment*.

Proses penggilingan di dalam *tirax mill* juga serupa dengan penggilingan di *duodan mill* dimana pada kompartmen I terjadi gerakan *cataracing motion* akibat bola yang digunakan lebih besar dan adanya *lifting liner* sehingga terjadi peristiwa tumbukan, sedangkan di kompartmen II terjadi gerakan *cascading motion* akibat bola yang digunakan berukuran lebih kecil sehingga hanya terjadi peristiwa penggerusan batubara. *Diaphragm* yang digunakan juga berjenis *single diaphragm* karena ukuran *mill* yang kecil.

5.11. Burner

Ukuran dan Temperatur *flame* tergantung pada:

- Temperatur udara pembakaran (udara sekunder)
 - Semakin tinggi udara pembakaran, maka *temperature flame* semakin tinggi dan *fine coal* semakin mudah dibakar. Temperatur udara pembakaran dipengaruhi oleh:
 - a. Semakin sedikit udara primer dibandingkan udara sekunder, temperatur udara pembakaran semakin tinggi.
 - b. Semakin banyak panas yang diambil dari *klinker cooler*, temperatur udara sekunder semakin tinggi sehingga temperatur udara pembakaran semakin tinggi.
- Jumlah *excess air* (udara berlebih)
 - Jumlah *excess air* sebaiknya dibatasi, kelebihan *excess air* akan berdampak pada kehilangan panas. Parameter yang bisa dipedomani dalam menjaga *excess air* adalah O_2 dan *CO analyzer*.
- Momentum = $Q \times V$ (1400-1600 % m/s)
 - dimana: Q = % udara primer
 - V = kecepatan udara di *nozzle burner*

Momentum yang besar sangat dibutuhkan dari udara primer, tujuannya adalah agar *fine coal* dapat terdistribusi dengan merata sehingga dapat terbakar sempurna.

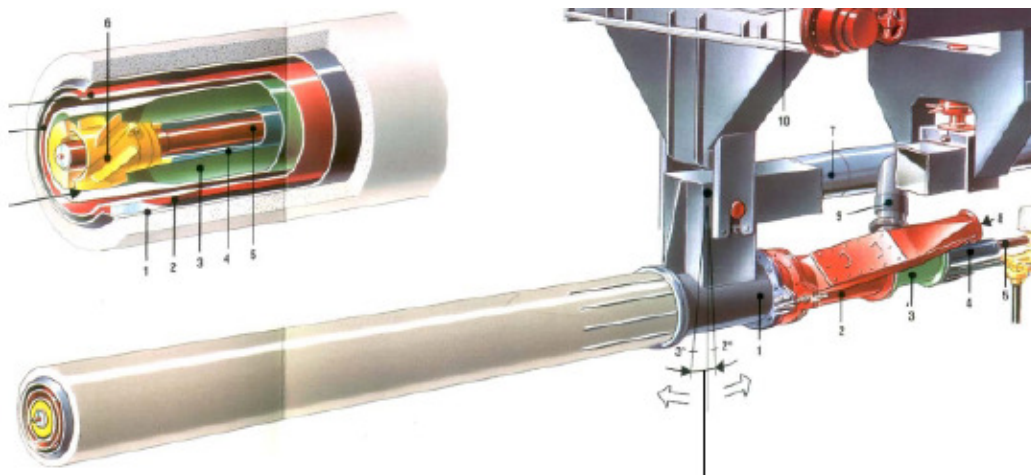
- Type Burner

Burner *multi channel* memiliki dimensi nyala yang lebih pendek dan lebih “strong”. Sehingga panas di *burning zone* dapat terkonsentrasi, nyala api lebih stabil, temperatur lebih tinggi dan stabil, pembentukan *coating* lebih stabil.

- Bahan bakar (kehalusan, *volatile matter*)

Temperatur *flame* yang dapat dicapai:

- Coal : 2150°C (energi radiasi paling tinggi)
- Oil : 2120°C (energi radiasi 70-90% Coal)
- Gas : 2050°C (energi radiasi 20-60% Coal)



Gambar 23 Multi channel burner

Dengan burner teknologi baru (*multi channel burner*), pemakaian udara primer 10-12 %. Jika udara primer terlalu banyak, maka udara sekunder yang dipakai lebih sedikit, sehingga temperatur udara pembakaran lebih rendah. Sebaliknya, jika udara primer terlalu rendah (6-8 %), maka energi kinetik dan momentum untuk pencampuran *coal*-udara lebih rendah, sehingga pembakaran lebih lambat, temperatur *inlet kiln* tinggi, temperatur *burning zone* rendah.

5.12. Proses Produksi Klinker di Produksi II/III

Proses produksi klinker di Departemen *Kiln* dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap penarikan dan pengumpanan *raw mix* ke dalam kiln, tahap pembakaran *raw mix* menjadi klinker, dan tahap penyimpanan klinker ke dalam silo.

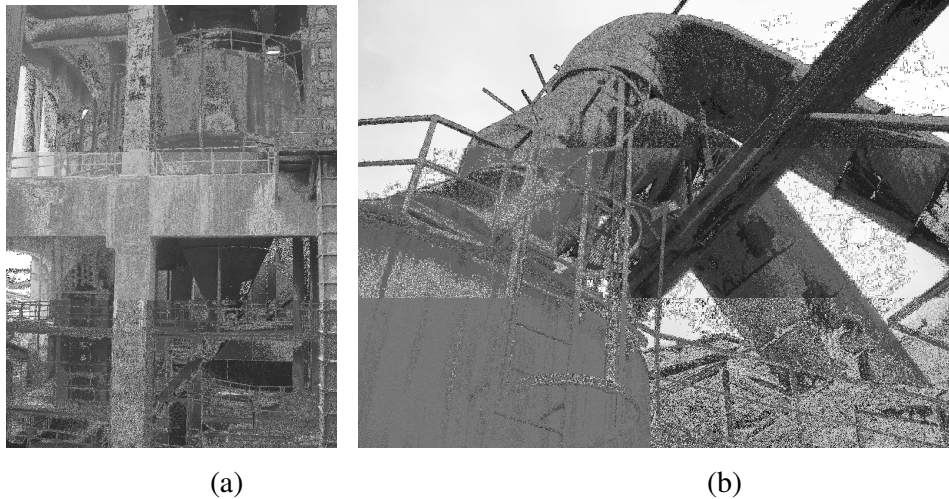
5.12.1. Tahap Penarikan dan Pengumpanan Raw Mix ke Dalam Kiln

Raw mix yang disimpan di dalam *homogenization silo* H1/H2H11-H12 di keluarkan melalui bagian bawah *silo* dengan bantuan *blower* untuk aerasi sehingga *raw mix* mudah ditarik keluar. *Raw mix* tersebut kemudian ditransport oleh *screw conveyor* H1/H2U01 dan dibawa ke atas oleh *bucket elevator* H1/H2U02-03 untuk selanjutnya disimpan di dalam *hopper* dengan *load cell (schenck feeder)* W1/W2A01 melalui *air slide* H1/H2U04.

5.12.2. Tahap Pembakaran Raw Mix Menjadi Klinker

Umpan *raw mix* ke dalam *kiln* terlebih dahulu melalui *suspension preheater* untuk tahap awal dari proses produksi klinker yaitu proses pengeringan dan penghilangan kadar air pada tanah liat. *Raw mix* yang diumpankan dari atas *suspension preheater* akan bertemu dengan aliran udara panas dari *kiln* sehingga terjadi proses perpindahan panas antara *raw mix* dengan udara panas tersebut. *Suspension preheater* yang digunakan berjenis siklon *preheater* dengan 4 tingkat yaitu berurutan dari atas W1/W2A51 dan A61, W1/W2A52, W1/W2A53, dan W1/W2A54.

Siklon tingkat atas (A51 dan A61) merupakan siklon yang dipasang paralel untuk meningkatkan efisiensi siklon bila dibandingkan dengan mempergunakan satu siklon yang berukuran lebih besar. Pipa keluaran material *raw mix* di tingkat bawah (A54) masuk ke *rotary kiln* sedangkan pipa keluaran material *raw mix* A51 sampai dengan A53 masuk ke *gas duct*. Material keluaran A54 kemudian masuk ke dalam *kiln* untuk menerima proses perlakuan panas berikutnya.



Gambar 24 Siklon suspension preheater (a) dan gas outlet dari A51-A61 (b)

5.12.3. Proses Pembakaran Klinker

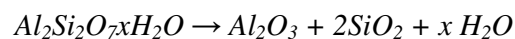
Pada proses pembakaran klinker di dalam *rotary kiln*, ada beberapa tahapan sesuai temperatur proses, yaitu:

Tabel 17 Tahapan reaksi pada suhu tertentu

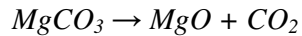
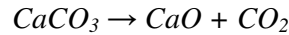
Reaksi	Suhu proses
1. Proses penguapan air	100 °C
2. Tahapan pelepasan air hidrat clay (tanah liat)	500 °C
3. Tahapan penguapan CO ₂ dari batu kapur dan mulai kalsinasi	805 °C
4. Tahapan pembentukan C ₂ S	800-900 °C
5. Tahapan pembentukan C ₃ A dan C ₄ AF	1095-1205 °C
6. Tahapan pembentukan C ₃ S	1260-1455 °C

5.12.4. Reaksi Pembentukan Fase Klinker

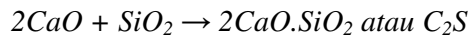
Pada suhu proses 100 °C terjadi penguapan air dan pada suhu proses 500 °C terjadi pelepasan air hidrat tanah liat yang ditunjukkan oleh reaksi berikut:



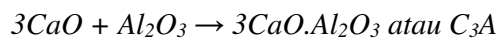
Pada suhu proses 600-800 °C terjadi *kalsinasi* dengan reaksi sebagai berikut:



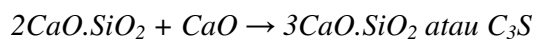
Pada suhu proses dari 800-900 °C terjadi pembentukan garam kalsium silikat yang sebenarnya sebelum mencapai suhu 800 °C sudah terjadi sebagian kecil pembentukan garam kalsium silikat terutama C₂S dengan reaksi sebagai berikut:



Pada suhu proses dari 1095-1205 °C terjadi pembentukan garam kalsium aluminat dan *ferrit* dengan reaksi sebagai berikut:



Pada suhu proses dari 1260-1455 °C terjadi pembentukan garam silikat terutama C₃S dimana persentase C₂S mulai menurun karena membentuk C₃S



Sementara bagian CaO yang tidak bereaksi dengan oksida-oksida alumina besi dan silika biasanya dalam bentuk CaO bebas atau *free lime* dan banyaknya persentase CaO bebas dibatasi di bawah 1 %.

Terjadinya reaksi-reaksi tersebut membutuhkan:

- Waktu reaksi (*resident time* dalam *cyclone* dan *kiln*)
- Temperatur/panas reaksi

Urutan proses perubahan dari *raw meal* menjadi *klinker* serta tempat terjadinya reaksi tersebut adalah sbb:

- a. *Drying* lanjutan: terjadi di SP stage 1
- b. *Preheating*: terjadi di SP
- c. *Calcining*: terjadi di SP 3-4, *kalsiner* dan *inlet kiln*
- d. *Sintering*: terjadi di *burning zone*
- e. *Cooling*: terjadi di *cooling zone*, *cooler*

Pada gambar dibawah ini dapat dilihat senyawa-senyawa yang ada di dalam *cyclone* dan *kiln* serta perkiraan jumlah senyawa tersebut pada setiap zona dan kondisi temperatur.

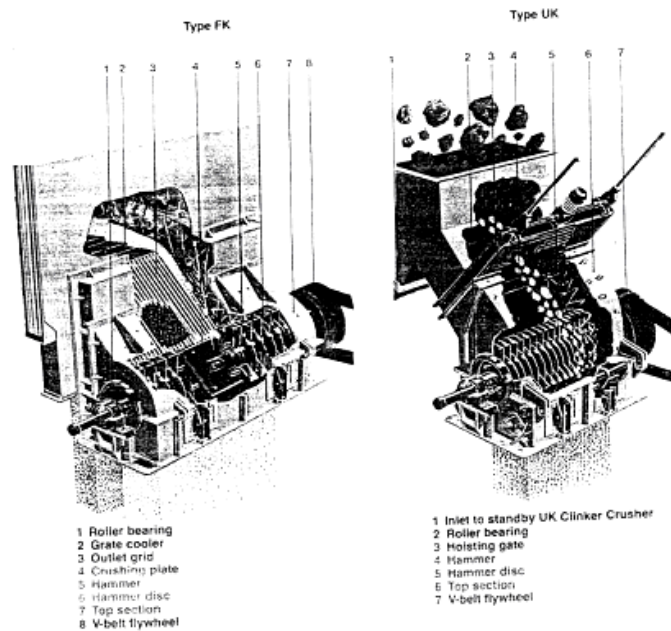
Reaksi *kalsinasi* selesai setelah mencapai temperature $>900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ditandai dengan mengecilnya ukuran bidang CaCO_3 . Sejalan dengan reaksi *kalsinasi*, terbentuklah CaO free , pada gambar terlihat mengecilnya bidang CaCO_3 menambah besar bidang CaO free . Proses *sintering* mulai terjadi pada temperatur $1100\text{-}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, hal ini ditandai dengan mulai terbentuknya bidang C_2S dan C_3S . Sebenarnya terbentuknya C_2S sudah mulai terjadi pada temperatur $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, tetapi penbentukannya mulai banyak dan naik secara drastis setelah mencapai temperature $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pada temperatur $1300\text{-}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, C_2S bereaksi lagi dengan CaO free untuk membentuk senyawa C_3S yang merupakan komponen utama dalam *klinker* dan yang sangat mempengaruhi nilai kekuatan tekan semen awal. Akibatnya jumlah C_2S dan CaO free menjadi berkurang. *Clay* mulai mengalami deformasi pada temperatur $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan diharapkan sudah terurai pada temperatur $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Terbentuknya C_3A dan C_4AF mulai terjadi pada temperatur $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kemudian pada temperatur $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ C_3A dan C_4AF mengalami pelelehan sehingga terbentuklah *liquid phase* (fase cair). Adanya *liquid phase* ini membantu proses perpindahan panas di dalam material, proses penggumpalan *klinker*, dan proses terbentuknya *coating* sebagai pelindung *brick* dan media pertukaran panas. Setelah *klinker* terbentuk, proses selanjutnya adalah *cooling* secara mendadak (*quenching*). Tujuan dari *quenching* ini adalah untuk pengambilan panas yang akan dimanfaatkan untuk udara pembakaran, membentuk *klinker* yang lebih rapuh/tidak membentuk kristal sehingga mudah digiling dan C_3A nya lebih tahan terhadap *sulfat*, serta menghindari reaksi balik C_3S menjadi C_2S .

Klinker masuk ke dalam *cooler* melalui *inlet cooler* pada saat *cooler* berada pada posisi di bawah. Pendinginan terjadi dengan cara menaburkan klinker sehingga kontak dengan udara sekunder lebih baik. Penaburan klinker ini mempergunakan lifter yang dipasang pada 14 section di *shell cooler*.

Klinker yang keluar dari *cooler outlet* kemudian disaring dengan mempergunakan *screen grid*. Klinker yang berukuran kecil langsung ditarik

ke *drag chain* W1U04/U05 sedangkan klinker yang berukuran besar dimasukkan ke *hammer crusher* W1/W2M01-M02 untuk direduksi ukurannya dan kemudian baru ditransportasikan oleh *drag chain* W1U04/U05. *Hammer crusher* dipasang setelah *planetary cooler* untuk memecah klinker yang ukurannya masih besar menjadi ukuran yang diinginkan.

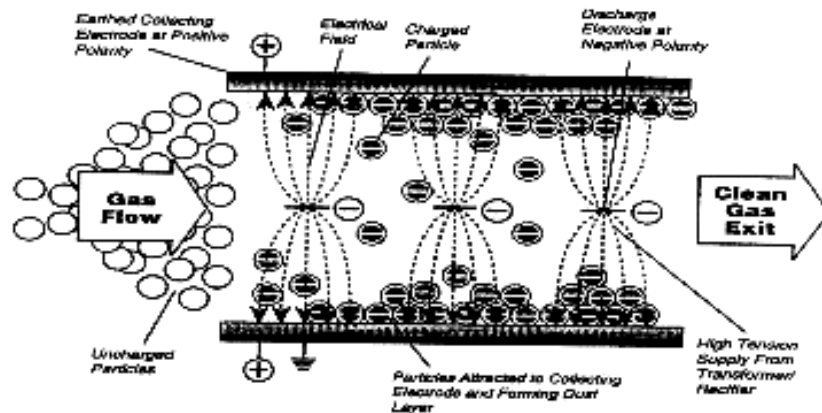


Gambar 25 Hammer crusher

Prinsip kerja dari *hammer crusher* yaitu klinker diumpankan ke *crusher* melalui *grate bar chute*, jadi dengan demikian akan mengatur ukuran klinker yang masuk ke *crusher* dan yang langsung ke alat transport. Material yang kasar akan jatuh ke dalam *crusher* dan akan dihantam oleh *hammer* serta dilemparkan ke sebuah *baffle plate* sehingga menjadi kepingan-kepingan klinker.

Gas panas yang keluar dari *suspension preheater* kemudian dimasukkan ke dalam *gas conditioning tower* J1K21/K11 untuk menurunkan suhu gas panas sebelum masuk ke dalam *electrostatic precipitator* (EP) J1/J2P11-P21 karena EP dapat bekerja optimal untuk suhu gas sekitar 105-140 0C. Secara sederhana EP adalah peralatan yang membersihkan gas-gas hasil proses dengan menggunakan kekuatan medan listrik untuk memindahkan partikel

padat yang terbawa didalam bentuk gas. Gas kotor dialirkan melewati sebuah medan listrik yang berada diantara elektroda yang mempunyai polaritas berlawanan. *Discharge electrode* menginduksikan muatan negatif pada partikel dan kemudian partikel akan ditangkap oleh *collecting electrode* yang berpolaritas positif relatif terhadap *discharge electrode*, dimana didalam prakteknya *collecting electrode* dihubungkan ke tanah. Partikel-partikel yang ditangkap oleh *collecting electrode* merupakan lapisan-lapisan debu yang kemudian dengan menggunakan gaya mekanik berupa *rapping* akan terhempaskan kedalam *hopper*.



Gambar 26 Prinsip kerja elektroda EP

5.12.4. Tahap Penyimpanan Klinker Ke Dalam Silo

Klinker hasil pembakaran di *kiln* kemudian ditransport oleh *bucket conveyor* W1U06/U07 yang kemudian disimpan ke dalam *silo* klinker atau *hopper* klinker untuk digiling di dalam *cement mill*. Produksi klinker di Indarung II/III dapat disimpan ke dalam *intermediate silo* U1L11 yang berkapasitas 800 ton melalui *drag chain* U1U01 dan *sliding gate* U02S1. Dari *intermediate silo*, klinker dapat langsung dikirim melalui truk atau dikembalikan lagi ke *drag chain* U1U01 dengan melalui *bucket elevator* U1J05 yang kemudian akan langsung dimasukkan ke dalam *hopper* klinker Z1/Z2L01.



(a)

(b)

Gambar 27 Bucket conveyor W1U06/U07 (a) dan silo klinker (b)

Selain disimpan dalam *intermediate silo*, klinker juga dapat disimpan di dalam *silo* klinker U1/U2L01 yang berkapasitas masing-masing 20.000 ton. Pengeluaran klinker dari *silo* tersebut ditransport oleh *bucket conveyor* U1J02, *drag chain* U1J04, dan oleh *bucket elevator* U1J05 yang selanjutnya sama seperti sebelumnya yaitu melalui *drag chain* U1U01 untuk dimasukkan ke dalam *hopper* klinker Z1/Z2L01.

VI. PROSES PRODUKSI DI AREA CEMENT MILL

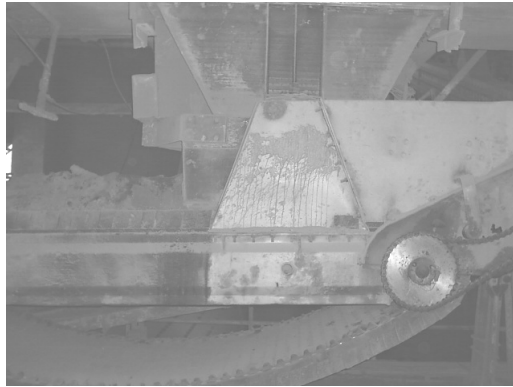
6.1. Proses Produksi di Area Cement Mill Indarung II/III

Proses produksi di area *cement mill* Produksi II/III dapat dibagi menjadi 3 tahapan yaitu tahap pengumpanan material (*klinker*, gypsum, material ketiga), tahap penggilingan, dan tahap pengiriman semen ke silo semen (*cement transport*).

6.1.1. Tahap Pengumpanan Material

Bahan yang digunakan untuk membuat semen terdiri dari 3 jenis bahan yaitu klinker (digunakan sebanyak $\pm 91\%$ untuk tipe I dan $\pm 72\%$ untuk tipe SMC), gypsum (digunakan sebanyak $\pm 3\%$ untuk semua tipe), dan material ketiga (batu kapur digunakan sebanyak $\pm 3\%$ untuk tipe I dan $\pm 25\%$ untuk SMC). Klinker yang disimpan di dalam *hopper* Z1/Z2L01 yang berkapasitas

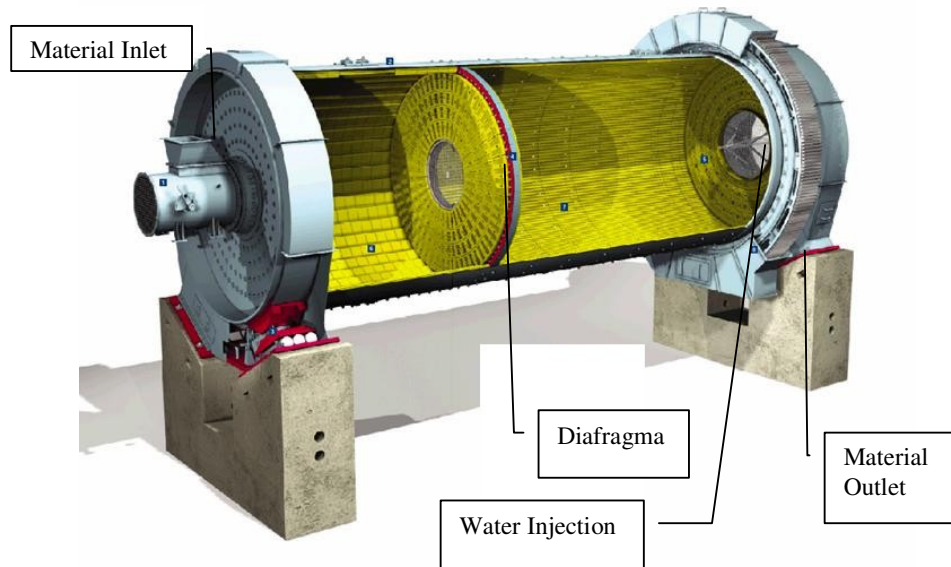
400 ton diumpankan oleh *dosimat feeder* Z1/Z2A01 ke dalam *cement mill*, sementara gypsum yang disimpan di dalam *hopper* Z1/Z2L02 yang berkapasitas 200 ton diumpankan oleh *dosimat feeder* Z1/Z2B01. Material ketiga (batu kapur) yang disimpan di dalam *hopper* Z1/Z2L03 dengan kapasitas 200 ton diumpankan oleh *dosimat feeder* Z1A02 yang dilanjutkan oleh *belt conveyer* Z1A03 ke dalam *cement mill* pada Indarung II. Untuk Indarung III, sebelum masuk ke *cement mill*, klinker dan gypsum dapat terlebih dahulu digiling di dalam *pregrinder*.



Gambar 28 Dosimat feeder

6.1.2. Tahap Penggilingan

Penggilingan ketiga material tersebut dilakukan di dalam *tube mill* Z1/Z2M01 yang berkapasitas 107 ton perjam. *Tube mill* yang digunakan bertipe *Unidan* dengan *feed arrangement* bertipe *drum feeder* karena memiliki fasilitas untuk menyemprotkan air yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu semen yang sedang digiling. *Discharge arrangement* yang digunakan berjenis *end discharge* yang memiliki dua pengeluaran dimana gas dikeluarkan melalui atas dan semen hasil penggilingan dikeluarkan melalui bagian bawah.



Gambar 29 Cement mill

Tube mill yang digunakan untuk penggilingan semen ini hanya memiliki dua buah kompartmen yaitu kompartmen I dan kompartmen II tanpa *drying chamber*. Penggilingan awal dilakukan di dalam kompartmen I dan kemudian menuju ke kompartmen II untuk penghalusan. Antara kompartmen I dan kompartmen II juga dipasang *diaphragm* yang berjenis *double diaphragm*. Di dalam kompartmen I dipasang *lifting liner* berjenis *step liner* dan untuk kompartmen II digunakan *classifying liner*. *Grinding media* yang digunakan di dalam kompartmen I berukuran 60-90 mm, sedangkan untuk kompartmen II, *grinding media* yang digunakan berukuran 20-30 mm.

Untuk mengatur dan mengendalikan suhu di dalam *mill* baik kamar I dan kamar II yang diakibatkan oleh proses penggilingan, maka dilakukan proses pendinginan dengan menembakkan air (*water injection*). Penyemprotan air (*water injection*) dilakukan secara otomatis pada kedua ujung mill dengan menggunakan *nozzle* yang dibantu oleh udara tekan dari kompresor. Suhu inlet dikontrol oleh *temperature partition* dan suhu outlet dikontrol oleh suhu semen keluar. Suhu di dalam mill dijaga pada tingkat yang aman yaitu antara 110-125

$^{\circ}\text{C}$ karena jika suhu semen di atas 125°C maka dapat menimbulkan *dry clogging* dan dehidrasi air kristal gypsum sehingga akan mengakibatkan *false set* pada semen, sedangkan jika di bawah 110°C , maka akan menimbulkan *wet clogging*. Pengaturan suhu ini juga penting untuk kondisi operasi *Electrostatic Precipitator* (EP) dimana EP tersebut akan bekerja dengan baik pada suhu di atas 100°C .

Hasil produk semen setelah penggilingan kemudian keluar melalui bawah mill dan dibawa oleh air slide Z1/Z2M13, *bucket elevator* Z1/Z2J01, dan air slide Z1/Z2J02-04 untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam separator Z1/Z2S01 dan Z1/Z2S02. Sedangkan gas dari *cement mill* yang ditarik dari fan Z1/Z2P05 masuk ke *Electrostatic Precipitator* Z1/Z2P11 dan gas dibuang menuju cerobong. Debu yang tertangkap EP ditransportasikan oleh *screw conveyor* Z1/Z2P12 dan Z1/Z2U02 ke air slide Z1/Z2U01.

Separator yang digunakan di indarung II/III adalah berjenis *dynamic separator classifier* dengan *Counterblades dan Internal Fan*. Produk separator yang kasar (*tailing*) kemudian dibalikkan seluruhnya ke dalam kompartmen I mill melalui air slide Z1/Z2S08. *Fineness* produk separator kemudian ditransport oleh air slide Z1/Z2U01 dan Z1/Z2U21A kemudian dilanjutkan oleh *belt conveyor* Z2U24 dan Z2U25 menuju ke silo semen.

6.1.3. Tahap Pengiriman Semen ke Silo Semen

Semen hasil produksi Indarung II/III dan Indarung IV kemudian disimpan ke dalam silo semen yang berjumlah 8 buah dengan kapasitas masing-masing silo sebesar 5000 ton. Pembagian silo semen untuk masing-masing tipe semen yaitu untuk tipe I disimpan di dalam silo 1,4,5 dan 8, PPC disimpan di dalam silo 2,3, dan 4, sedangkan SMC disimpan di dalam silo 7. Transportasi semen menggunakan *belt conveyor* Z2U24-U27 yang kemudian dilanjutkan oleh rangkaian air slide Z2U28-U31 sehingga semen dapat dimasukkan ke dalam tiap-tiap silo. Untuk mengatur masuknya semen ke dalam tiap-tiap silo, maka digunakan *bottom gate* yang digerakkan secara *pneumatic*, tetapi sekarang

pengoperasiannya dilakukan secara manual. Setiap hari juga dilakukan pengukuran ketinggian semen di dalam silo sehingga dapat diketahui volume semen di dalam silo tersebut



Gambar 30 Silo semen Indarung 2, 3 dan 4

6.2. Vertical Roller Mill

Prinsip kerja *vertical roller mill* adalah *klinker* digiling diatas *rotating table* oleh 3 (tiga) buah *roller*. *Roller* ini menekan *klinker* dengan tekanan *hydraulic system* 60 – 80 bar. Material yang telah digiling turun dari *grinding table* dan ditransport ke *vibrating screen* untuk mengontrol ukuran umpan material yang akan masuk ke *cement mill*. Ukuran umpan yang masuk ke *cement mill* adalah *blaine* 850 - 1000 cm²/gr, *sieve on* 90 mikron : 50 – 60%, *sieve on* 45 mikron : +/- 70%.

Peningkatan kapasitas *pregrinder* berkisar 25 – 100% tergantung pada konfigurasi. 1 kW power yang diserap *pregrinder*, mengurangi power yang diserap mill 2 – 2.5 kW.

Vertical roller mill merupakan peralatan yang tepat untuk menggiling dan mengeringkan material yang basah. Material yang dapat digiling di dalam *roller mill* antara lain seperti *raw material*, *coal*, *pozzolan/tras*, *slag*, dan semen.

Fungsi utama dari *roller mill* dapat dilihat pada gambar 106 yaitu:

- a. Menggiling (*grinding*)

Material digiling di antara *roller* dan *grinding table* sewaktu material tersebut bergerak dari tengah meja ke arah *nozzle ring*. Metode penggilingan ini merupakan proses penggilingan yang paling efisien di dalam industri semen.

b. Pemisahan (separation)

Material kering diangkat oleh gas kering. Kemudian di dalam separator, partikel yang terlalu kasar (*tailing*) dikembalikan lagi ke *grinding table*, sementara partikel yang halus meninggalkan *mill* dan dikirim ke *dust collector*.

c. Pengeringan (drying)

Udara proses yang digunakan terutama berasal dari *waste gas kiln* atau *cooler* atau disuplai oleh generator gas panas. Pengeringan berlangsung bersamaan dengan proses penggilingan dan pemisahan .

d. Transport

Gas kering digunakan sebagai media pengirim. Tahap pengiriman pertama adalah sirkulasi internal dan tahap yang kedua adalah separator. Akhirnya, produk diekstraksi dari separator dan secara *pneumatic* dikirim ke siklon atau filter dimana produk kemudian dikumpulkan dan diumpankan ke silo. Gas yang bersih dikeluarkan atau diresirkulasikan kembali ke dalam mill.

6.3. Kehalusan Semen

Pada penggilingan *klinker*, produk digiling halus dengan rentang ukuran partikel 3 - 30 μ . Kecuali untuk keadaan khusus semen tidak direkomendasikan untuk digiling terlalu halus. Kehalusan yang terlalu tinggi belum tentu memberikan efek positif. Fraksi ukuran partikel antara 3 – 30 μ adalah yang sangat menentukan perkembangan kekuatan semen. Partikel yang mempunyai ukuran < 3 μ hanya memberikan kontribusi bagi kuat tekan awal. Partikel ini akan terhidrasi dengan cepat, dan setelah 1 hari memberikan kuat tekan yang tinggi. Fraksi dengan ukuran partikel diatas 30 μ lambat bereaksi sehingga hanya memberikan sumbangan yang kecil terhadap kuat tekan beton.

6.4. Grindability Klinker

Dalam “Cement Data Book” *grindability* diartikan sebagai banyaknya material yang dihasilkan (gram per putaran mill) dari penggilingan dengan *grindability test mill* pada ukuran ayakan 200 *mesh*.

Pada kenyataannya, *klinker* yang digiling di *cement mill* mempunyai *grindability* yang berbeda antara satu dengan lainnya. Dari percobaan-percobaan yang dilakukan di laboratorium dan pengalaman pada penggilingan semen, terlihat bahwa konsumsi energi yang dibutuhkan untuk mencapai kehalusan semen tertentu, bervariasi 25% dari harga rata-rata.

Proses penggilingan *klinker* akan berpengaruh pada struktur, komposisi mineral, serta *grindability klinker*. Kecepatan pendinginan berpengaruh pada perbandingan antara kandungan mineral dan *fase liquid* dalam *klinker*.

6.5. Coating Pada Grinding Media

Coating pada *grinding media* sangat mengganggu keefektifan proses penggilingan. Penyebab *coating grinding media* adalah :

- Static Electricity.

Partikel yang sangat halus menjadi bermuatan. Material yang berbeda mengakibatkan partikel halusnya berbeda muatan. Partikel bermuatan (+) dan (-) saling tarik-menarik dan akhirnya tergumpal (*aglomerasi*).

- Energi Permukaan

Atom atau sejumlah group atom pada permukaan padatan dapat saja tidak jenuh pada valensinya dan membentuk daerah tidak homogen pada permukaannya.

- Adsorpsi

Partikel menyerap lapisan film dari udara. Lapisan film ini mencegah partikel bergabung. Jika lapisan film ini terlepas, partikel menjadi lebih mudah bergumpal.

- Mechanical Impact

Grinding media saling bertumbukan, dimana pada masing-masing permukaan *grinding media* terdapat partikel. Partikel-partikel ini menjadi menggumpal pada permukaan yang tidak merata/kasar.

Faktor-faktor yang dapat menyebabkan *coating* :

- Kenaikan temperatur
- Dehidrasi gypsum

Gypsum sebenarnya cenderung mencegah *ball coating*, tetapi gypsum yang terdehidrasi menyebabkan *ball coating*.

- Klinker yang tersimpan lama.

Klinker yang tersimpan lama memiliki kecenderungan *ball coating*, Tetapi *klinker* yang tersimpan lama lebih mudah digiling karena hidrasi *free lime* menyebabkan melemahnya dan pecahnya struktur *klinker*.

6.6. Grinding Aid

Grinding aid adalah material yang dapat menghilangkan *ball coating* atau dapat mendispersikan material yang telah digiling. *Grinding aid* dapat ditambahkan dalam bentuk larutan, Kandungan *grinding aid* adalah sekitar 0.006 – 0.08% dari berat *klinker*.

Bahan-bahan yang dapat dijadikan sebagai *grinding aid* adalah :

- Amine acetate
- Ethylene glycol
- Propylene glycol

6.7. Retarder

Retarder adalah suatu bahan yaitu *gypsum* yang berfungsi sebagai material yang mencegah proses kekakuan dini pada semen pada saat terjadi reaksi hidrasi pada semen. Dengan kata lain *gypsum* mengatur *setting time* semen.

Semen mengandung *gypsum* 3 – 6 %, dimana *gypsum* ini selain berpengaruh terhadap *setting time*, juga berpengaruh terhadap kuat tekan semen.

Gypsum di alam paling sering ditemui dalam bentuk *gypsum dyhidrat*. Bentuk –bentuk *gypsum* dapat berupa :

Tabel 2 Bentuk-bentuk senyawa gypsum

Nama	Dyhidrat (gypsum)	Hemihidrat (plester gips)	Anhidrat (terlarut dan tidak)
Komposisi Kimia	CaSO ₄ .2H ₂ O	CaSO ₄ .1/2H ₂ O	CaSO ₄
Air kristal	20.9%	6.2%	0%

Gypsum dihidrat dan *anhidrat* tidak terlarut sangat stabil dan dapat ditemukan di alam. Sedangkan *gypsum hemihidrat* dan *anhidrat* terlarut terbentuk karena dehidrasi gypsum, sangat reaktif dan bereaksi dengan air untuk membentuk kembali *gypsum dyhidrat*.

Oleh sebab itulah dehidrasi *gypsum* di dalam *cement mill* dapat mengakibatkan *false set* karena *gypsum hemihidrat* dan *anhidrat* terlarut ini bereaksi kembali dengan air pada saat hidrasi semen.

Dari pengalaman (FLS), *false set* dapat terjadi apabila 75% *gypsum dyhidrat* terdehidrasi menjadi *hemihidrat* dan *anhidrat*. Jika hal ini terjadi, maka cara mengatasinya dapat dengan cara mengurangi jumlah *gypsum* dalam semen.

Gypsum hemihidrat dalam semen pada saat tertentu dapat menaikkan kuat tekan semen. Hal ini dapat dilihat pada kurva dibawah ini. *Dehidrasi gypsum* dari 2.1% ke 0.1% pada uji kuat tekan 2 hari naik 7% dan pada uji kuat tekan 28 hari naik 3%.

Pada sisi lain, kandungan *gypsum* harus dibatasi karena *gypsum* yang berlebih dapat mengakibatkan *cracking*. Keretakan pada semen ini terjadi karena pembentukan *ettringite* (3C₃A.3CaSO₄.31H₂O) yang dihasilkan dari reaksi C₃A dengan *gypsum*, mengakibatkan peningkatan volume. Sehingga, kandungan SO₃ maksimum menurut standard BS 12 adalah 2.5% untuk semen yang kandungan C₃A nya kurang dari 7%, dan maksimum 3% untuk semen yang kandungan C₃A nya lebih dari 7%.

VII. PENUTUP

Dari uraian yang telah ditulis sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Penumpukan (*stacking*) bahan baku di *storage* menggunakan metode *conical shell stacking*, sedangkan penarikan bahan baku batu kapur dan silika menggunakan *side reclaimer* untuk Indarung II dan *portal reclaimer* untuk Indarung III serta *bucket excavator* untuk penarikan tanah liat.
- Mill yang digunakan untuk penggilingan *raw mill* di produksi II/III adalah *tube mill* tipe *duodan mill* berkapasitas 160 ton/jam dengan *feed arrangement* tipe *feed chute for airswept mill* dan *discharge arrangement* tipe *centre discharge*.
- Separator yang digunakan berjenis *dynamic separator* yang tidak memiliki *variable speed fan* dan pengaturan *fineness* produk hanya dilakukan dengan cara mengubah bukaan *slot vane*.
- Homogenisasi *raw mix* dilakukan dengan metode *discontinuous batch homogenizing silos* yang pada umumnya terdiri dari dua pasangan silo, yang mana silo di atas sebagai *blending silo* dan yang bawah bersifat sebagai *storage silo*.
- Mill yang digunakan untuk penggilingan batubara di produksi II/III adalah *tube mill* tipe *tirax mill* berkapasitas 15 ton/jam dengan *feed arrangement* tipe *feed chute for airswept mill* dan *discharge arrangement* yang dihubungkan langsung dengan separator.
- Kiln yang digunakan di Departemen Operasi I dilengkapi dengan *suspension preheater* bertipe 4 *stage cyclone* dan *planetary cooler* berjumlah 10 buah yang ikut berotasi bersama dengan *kiln*
- *Rotary kiln* yang digunakan di Departemen Operasi I memiliki panjang 80 m dan diameter 5 m, serta sudut kemiringan *kiln* sebesar 3,5 %. *Kiln* tersebut beroperasi dengan kecepatan putar sebesar 2 rpm dan besar *feeding* 155-160 ton/jam. Kapasitas *kiln* tersebut sebesar 2100 ton/hari.
- Daerah di dalam *kiln* dibagi menjadi beberapa zona berdasarkan suhu dan proses reaksi yang terjadi di dalamnya yaitu zona *calcining*, zona transisi, zona *sintering* (*burning zone*), dan zona pendinginan (*cooling zone*).
- *Rotary kiln* dilengkapi dengan batu tahan api (*firebrick*) yang berjenis *high alumina brick* (50-60 % Al_2O_3) untuk daerah pendinginan (*cooling zone*), *magnesia spinel*

brick (60-70 % MgO) untuk daerah transisi dan *sintering/burning zone*, serta *lightweight firebrick* untuk daerah *preheating* dan *calcining*

- Sistem *coal firing* yang digunakan di Indarung II/III adalah sistem *indirect firing* dimana sistem dilengkapi dengan *blower* dan *intermediate storage bin coal*
- Tahapan pada proses pembakaran klinker yaitu proses penguapan air pada suhu 100 °C, pelepasan air hidrat tanah liat pada suhu 500 °C, penguapan CO₂ dari batu kapur dan mulai kalsinasi pada suhu 805 °C, pembentukan C₂S pada suhu 800-900 °C, pembentukan C₃A dan C₄AF pada suhu 1095-1205 °C, dan pembentukan C₃S pada suhu 1260-1455 °C
- *Mill* yang digunakan untuk penggilingan *cement mill* di produksi II/III adalah *tube mill* tipe *unidan mill* berkapasitas 107 ton/jam dengan *feed arrangement* tipe *drum feeder* dan *discharge arrangement* tipe *end discharge*.
- Separator yang digunakan berjenis *dynamic separator* yang tidak memiliki *variable speed fan* dan pengaturan *fineness* produk hanya dilakukan dengan cara mengubah bukaan *slot vane*.
- *Roller mill (pregrinder)* yang digunakan di Indarung III diproduksi oleh Ishikawajima-Harima Heavy Industries (IHI) Co., Ltd dan memiliki kapasitas 160 ton/jam serta 3 buah *roller* yang dapat dinaik-turunkan.
- Perbedaan prinsip antara *tube mill* dan *roller mill* adalah pada media penggilingnya dimana pada *tube mill* digunakan gaya tumbukan (*impact force*) dari grinding media, sedangkan pada *roller mill* digunakan gaya tekan *roller* pada meja putar.