



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Definisi Semen

Semen adalah agen pengikat yang pada dasarnya terdiri dari senyawa kalsium oksida dengan silika, alumina, dan besi oksida yang dapat mengeras di udara dan stabil di dalam air setelah dikeraskan. Pada zaman dahulu biasanya semen dibuat dari kapur dan pasir. Karena jenis semen ini tidak stabil di dalam air maka ditambahkan bahan hidrolik seperti trass, pozzolana, atau tanah liat bakar. Bahan ini memiliki sifat hidrolik yang diaktifkan oleh kapur. Kapur hidrolik diperoleh dari kapur marmer dengan cara membakar bahan-bahan ini di bawah batas titik lelehnya, diikuti dengan hidrasi dan reduksi menjadi bubuk halus.

Semen juga didefinisikan sebagai zat yang dapat menggabungkan atau menyatukan dua atau lebih potongan dari beberapa zat lainnya bersama-sama untuk membentuk satuan massa. Dalam bidang konstruksi, semen berupa bubuk halus yang bila dicampur dengan air dan dibiarkan mengeras dapat menggabungkan komponen atau anggota yang berbeda untuk memberi struktur secara mekanis. Semen telah digunakan sejak zaman prasejarah untuk tujuan konstruksi salah satunya dalam pembangunan rumah, sehingga dapat dikatakan industri tertua dalam peradaban manusia. Semen dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk batu bata atau untuk mengikat partikel padat dengan ukuran yang berbeda (batu puing) untuk membentuk monolit.

Bahan baku utama pembuatan semen adalah batu kapur yang banyak mengandung kalsium karbonat (banyak mengandung CaCO_3) dan tanah lempung yang banyak mengandung silika (sejenis mineral berbentuk pasir) dan bahan pencampur aluminium oksida serta besi oksida. Pasir besi dan pasir silika merupakan bahan koreksi sebagai pelengkap komponen kimia esensial untuk pembuatan semen. Pasir silika digunakan untuk menaikkan kandungan SiO_2 . Sedangkan pasir besi digunakan menaikkan Fe_2O_3 . Semen jika dicampur dengan



air akan terjadi reaksi kimia yang sanggup mengubahnya menjadi sekeras batu. Jika ditambah dengan pasir maka akan tercipta perekat tembok bangunan yang kokoh.

II.1.2 Sejarah Perkembangan Semen

Secara luas semen merupakan material plastis yang memberikan sifat rekat antara batuan-batuan konstruksi bangunan. Semen pada awalnya dikenal di Mesir tahun 500 SM pada pembuatan piramida, yaitu sebagai pengisi ruang kosong diantara celah-celah tumpukan batu. Semen yang dibuat bangsa Mesir merupakan kalsinasi *gypsum* yang tidak murni, sedang kalsinasi batu kapur mulai digunakan pada zaman Romawi. Kemudian bangsa Yunani membuat semen dengan cara mengambil tanah vulkanik (*vulcanic tuff*) yang berasal dari pulau santoris yang kemudian dikenal dengan *santoris cement*. Bangsa Romawi menggunakan semen yang diambil dari material vulkanik yang ada dipengunungan vesuvius dilembah napples yang kemudian dikenal dengan nama *pozzulona cement*, yang diambil dari sebuah nama kota di Italia yaitu pozzoula.

Penemuan bangsa Yunani dan Romawi ini mengalami perkembangan lebih lanjut mengenai komposisi bahan dan cara pencampurannya, sehingga diperoleh *moltar* yang baik. Pada abad pertengahan, kualitas moltar mengalami penurunan yang disebabkan oleh pembakaran *limestone* kurang sempurna, dengan tidak adanya tanah vulkanik. Pada tahun 1756 John Smeaton seorang Sarjana Inggris berhasil melakukan penyelidikan terhadap batu kapur dengan pengujian ketahanan air. Dari hasil percobaannya disimpulkan bahwa batu kapur lunak yang tidak murni dan mengandung tanah liat merupakan bahan pembuat semen *hidrolis* yang baik. Batu kapur yang dimaksud tersebut adalah kapur hidrolis (*hydroulic lime*).

Kemudian oleh Vicat ditemukan bahwa sifat hidrolis akan bertambah baik jika ditambahkan juga silika atau tanah liat yang mengandung alumina dan silika. Akhirnya Vicat membuat kapur hidrolis dengan cara pencampuran tanah liat



(*clay*) dengan batu kapur (*limestone*) pada perbandingan tertentu, kemudian campuran tersebut dibakar (dikenal dengan *Artificial lime twicakilned*).

Pada tahun 1811, James Frost mulai membuat semen yang pertama kali dengan menggunakan cara seperti Vicat yaitu dengan mencampurkan dua bagian kapur dan satu bagian tanah liat. Hasilnya disebut *Frost’s cement*. Pada tahun 1812 prosedur tersebut diperbaiki dengan menggunakan campuran batu kapur yang mengandung tanah liat dan ditambahkan tanah Argillaceous (mengandung 9-40% *silica*). Semen yang dihasilkan disebut *Britishcement*. Usaha untuk membuat semen petama kali dilakukan dengan cara membakar campuran batu kapur dan tanah liat. Joseph Aspadin yang merupakan orang Inggris pada tahun 1824 mencoba membuat semen dari kalsinasi campuran batu kapur dengan tanah liat yang telah dihaluskan, digiling, dan dibakar menjadi lelehan dalam tungku, sehingga terjadi penguraian batu kapur (CaCO_3) menjadi batu tohor (CaO) dan karbondioksida (CO_2). Batuan kapur tohor (CaO) bereaksi dengan senyawa-senyawa lain membentuk *klinker* kemudian digiling sampai menjadi tepung yang kemudian dikenal dengan portland. (Firdaus, 2007)

II.1.3 Teknologi Pembuatan Semen

II.1.3.1 Proses Basah (*Wet Process*)

Menurut Walter H Duda, 1984, pada proses ini bahan baku dihancurkan dalam *raw mill* kemudian digiling dengan ditambah air dalam jumlah tertentu. Hasilnya berupa *slurry* / buburan, kemudian dikeringkan dalam *rotary dryer* sehingga terbentuk umpan tanur berupa *slurry* dengan kadar air 25 - 40%. Pada umumnya menggunakan “*Long Rotary Kiln*” untuk menghasilkan terak. Terak tersebut kemudian didinginkan dan dicampur dengan *gypsum* untuk selanjutnya digiling dalam *finish mill* hingga terbentuk semen.

Keuntungan dan Kerugian Proses Basah antara lain,

Keuntungan:

- a. Pencampuran dari komposisi *slurry* lebih mudah karena berupa luluhan.



- b. Kadar Na_2O dan K_2O tidak menimbulkan gangguan penyempitan dalam saluran *preheater* atau pipa.
- c. Debu yang dihasilkan relatif sedikit.
- d. Deposit yang tidak homogen tidak berpengaruh karena mudah mencampur dan mengoreksinya.

Kerugian:

- a. Tanur putar yang digunakan ukurannya lebih panjang dibandingkan tanur putar pada proses kering.
- b. Pemakaian bahan bakar lebih banyak dibandingkan proses lain karena kebutuhan panas pembakaran tinggi 1.500 - 1.900 kcal untuk setiap kilogram teraknya.
- c. Memerlukan air proses untuk membentuk material menjadi seperti lumpur.

Kapasitas produksi lebih sedikit dibandingkan dengan proses lain apabila menggunakan peralatan dengan ukuran yang sama, maka akan didapatkan hasil yang relatif lebih sedikit akibat adanya pencampuran bahan dengan air pada awal proses, yaitu pada proses penggilingan.

II.1.3.2 Proses Semi Basah (*Semi Wet Process*)

Pada proses semi basah, bahan baku (batu kapur, pasir besi, pasir silika) dipecah, kemudian pada unit homogenisasi ditambahkan air dalam jumlah tertentu serta dicampur dengan luluhan tanah liat, sehingga terbentuk bubur halus dengan kadar air 15 - 25% (*slurry*) disini umpan tanur disaring terlebih dahulu dengan *filter press*. *Filter cake* yang berbentuk pellet kemudian mengalami kalsinasi dalam tungku putar panjang (*Long Rotary Kiln*). Dengan perpindahan panas awal terjadi pada rantai (*chain section*). Sehingga terbentuk Clinker sebagai hasil proses kalsinasi.

Keuntungan dan Kerugian Proses Semi Basah antara lain,

Keuntungan:

- a. Umpan mempunyai komposisi yang lebih homogen dibandingkan dengan proses kering.
- b. Debu yang dihasilkan sedikit.



Kerugian:

- a. Tanur yang digunakan masih lebih panjang dari tanur putar pada proses kering.
- b. Membutuhkan *filter* yg berupa *filter* putar kontinyu untuk menyaring umpan yang berupa bubuk sebelum dimasukkan ke *kiln*.
- c. Energi yang digunakan 1.000 - 1.200 kcal untuk setiap kg terak.

II.1.3.3 Proses Semi Kering (*Semi Dry Process*)

Proses semi kering dikenal sebagai grate proses, dimana merupakan transisi dari proses basah dan proses kering dalam pembuatan semen. Umpan tanur pada proses ini berupa tepung baku kering, dengan alat granulator (*pelletizer*) umpan disemprot dengan air untuk dibentuk menjadi granular dengan kadar air 10 - 12% dan ukurannya 10 - 12 mm seragam. Kemudian *kiln feed* dikalsinasi dengan menggunakan tungku tegak (*shaft kiln*) atau *long rotary kiln*. Sehingga terbentuk Clinker sebagai hasil akhir proses kalsinasi.

Keuntungan dan Kerugian Proses Semi Kering antara lain,

Keuntungan:

- a. Tanur yang digunakan lebih pendek dari proses basah.
- b. Pemakaian bahan bakar lebih sedikit.

Kerugian :

- a. Menghasilkan debu
- b. Campuran tepung baku kurang homogen karena pada saat penggilingan bahan dalam keadaan kering.

II.1.3.4 Proses Kering (*Dry Process*)

Pada proses ini bahan baku dipecah dan digiling disertai pengeringan dengan jalan mengalirkan udara panas ke dalam *raw mill* sampai diperoleh tepung baku dengan kadar air 0,5 - 1%. Selanjutnya, tepung baku yang telah homogen ini diumpankan ke dalam *suspension preheater* sebagai pemanasan awal, disini terjadi perpindahan panas melalui kontak langsung antara gas panas dengan material dengan arah berlawanan (*Counter*



Current). Adanya sistem *suspension preheater* akan menghilangkan kadar air dan mengurangi beban panas pada *kiln*.

Material yang telah keluar dari *suspension preheater* siap menjadi umpan *kiln* dan diproses untuk mendapatkan terak. Terak tersebut kemudian didinginkan secara mendadak agar terbentuk kristal yang bentuknya tidak beraturan (amorf) agar mudah digiling. Selanjutnya dilakukan penggilingan di dalam *finish mill* dan dicampur dengan *gypsum* dengan perbandingan 96 : 4 sehingga menjadi semen.

Keuntungan dan Kerugian Proses Kering antara lain,

Keuntungan:

- Rotary kiln* yang digunakan relatif pendek.
- Heat consumption* rendah yaitu sekitar 800 – 1000 kcal untuk setiap kilogram terak sehingga bahan bakar yang digunakan lebih sedikit.
- Kapasitas produksi besar dan biaya operasi rendah

Kerugian:

- Impuritas Na_2O dan K_2O menyebabkan penyempitan pada saluran *preheater*.
- Campuran tepung kurang homogen karena bahan yang digunakan dicampur dalam keadaan kering.
- Adanya air yang terkandung dalam material sangat mengganggu operasi karena material lengket pada *inlet chute*.
- Banyak debu yang dihasilkan sehingga dibutuhkan alat penangkap debu.

Dari keempat teknologi pembuatan semen di atas pada PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk digunakan teknologi proses kering karena mempunyai keuntungan yaitu biaya operasi yang rendah dan kapasitas produksi yang besar sehingga sangat menguntungkan pabrik.

II.1.4 Sifat – Sifat Semen

Proses pembuatan semen dan kualitas bahan baku yang digunakan akan memengaruhi sifat semen yang dihasilkan. Sifat semen yang dihasilkan dibagi menjadi dua, yaitu sifat fisika semen dan sifat kimia semen.



II.1.4.1 Sifat Fisika Semen

Menurut Duda (1985), terdapat tujuh sifat fisika semen, yaitu hidrasi semen, pengikatan semu, kuat tekan, waktu pengikatan, kelenturan, kehalusan dan penyusutan.

1. Hidrasi Semen

Hidrasi semen merupakan reaksi yang terjadi antara semen dengan air sehingga menghasilkan senyawa hidrat. Pada reaksi tersebut dihasilkan panas yang akan mempengaruhi kualitas (mutu) beton. Panas hidrasi yang besar dapat menyebabkan keretakan pada semen. Faktor yang memengaruhi hidrasi semen adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur serta kandungan C_3A dan C_3S pada semen.

2. Pengikatan Semu (False Set)

False set adalah pengerasan semen yang terjadi lebih cepat dari waktu pengikatan. False set dapat dihindari dengan melindungi semen dari pengaruh udara luar serta menambahkan jumlah gipsium yang cukup dan belum terhidrasi.

3. Kuat Tekan (Compressive Strength)

Kuat tekan merupakan kemampuan semen dalam menambah beban yang diberikan. Kuat tekan merupakan sifat yang paling penting dari semen. Kuat tekan dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu komposisi mineral semen, kehalusan semen, temperatur, rasio air-semen, homogenitas semen, cara pengerjaan dan cara pengeringan. Kandungan C_3S dalam semen memengaruhi kekuatan tekan awal semen, sementara C_2S memengaruhi kekuatan tekan akhir semen.

4. Waktu Pengikatan (Setting Time)

Waktu pengikatan adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengikat dan mengeras setelah semen dicampur dengan air. Terdapat dua macam waktu pengikatan semen, yaitu waktu ikat awal (initial setting time) dan waktu ikat akhir (final setting time). Waktu ikat awal adalah waktu ikat yang dibutuhkan semen



untuk berubah dari kondisi plastis menjadi tidak plastis, sementara waktu ikat akhir adalah waktu ikat yang dibutuhkan semen untuk berubah dari kondisi plastis menjadi kondisi keras. Menurut metode Gillmore, waktu ikat awal semen lebih besar dari satu jam dan waktu ikat akhir semen kurang dari sepuluh jam. Faktor yang memengaruhi waktu pengikatan adalah komposisi semen, temperatur, udara, kandungan air dan kelembapan.

5. Kelenturan (Soundness)

Kelenturan merupakan pemuaiian atau pengembangan semen yang dapat merusak konstruksi. Pemuaiian semen dipengaruhi oleh kandungan CaO bebas, MgO, Na₂O dan K₂O.

6. Kehalusan (Blaine)

Kehalusan semen menentukan luas permukaan partikel semen pada proses hidrasi. Kehalusan semen disyaratkan sebesar 325 mesh (Rudi Pringadi, 1995). Kehalusan semen dapat memengaruhi kuat tekan semen, laju hidrasi semen, kebutuhan air dan gipsum semen serta kestabilan semen.

7. Penyusutan (Shrinkage)

Menurut Duda (1985), terdapat tiga jenis penyusutan yang terdiri dari pasta semen, yaitu hydration shrinkage, carbonation shrinkage dan drying shrinkage. Dari ketiga jenis penyusutan tersebut, drying shrinkage merupakan penyusutan yang paling mudah menyebabkan keretakan pada beton. Faktor yang memengaruhi penyusutan adalah komposisi semen, jumlah campuran air dan kandungan C₃A yang tinggi.

II.1.4.2 Sifat Kimia

Menurut Duda (1985), terdapat delapan sifat kimia semen, yaitu insoluble residue, hilang pijar, gipsum, magnesium oksida, sulfur trioksida, alkali, kapur bebas dan oksida fosfor.



1. Insoluble Residue

Insoluble Residue merupakan pengotor yang tetap tinggal setelah semen direaksikan dengan senyawa asam klorida dan natrium karbonat (Duda, 1985). Pengotor biasanya berasal dari senyawa clay di dalam gipsum dan SiO_2 yang tidak terikat dalam klinker. ASTM memberikan syarat batas maksimum insoluble residue sebesar 0,75%.

2. Hilang Pijar (Lost of Ignition)

Hilang pijar mengukur banyak senyawa yang terbebaskan menjadi gas saat terjadi pemanasan atau pemijaran dalam jangka waktu tertentu. Komponen utama hilang pijar adalah uap air yang berasal dari kandungan air (moisture) dalam bahan baku dan gas CO_2 yang dihasilkan dari proses kalsinasi CaCO_3 . Semakin tinggi nilai hilang pijar maka semakin sedikit klinker yang dihasilkan. Batas maksimum nilai hilang pijar sebesar 3,6%.

3. Gipsum

Jumlah gipsum yang dicampurkan dengan klinker harus diperhatikan karena pemberian gipsum berlebih dapat menyebabkan keretakan dan penyusutan pada semen serta mengacaukan waktu pengerasan semen. Kandungan gipsum yang optimum pada semen akan menghasilkan kuat tekan maksimum dan penyusutan minimum.

4. Magnesium Oksida (MgO)

Senyawa magnesium oksida dari semen sebagian besar berasal dari batu kapur (Rudi Pringadi, 1995). Senyawa magnesium oksida berlebih dapat menyebabkan magnesia expansion pada semen setelah jangka waktu kira-kira lebih dari setahun serta keretakan pada konstruksi beton. Magnesium Oksida (MgO) bereaksi dengan air (H_2O) menghasilkan magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) yang mempunyai volume lebih besar. Oleh karena itu, ASTM memberikan syarat batas maksimum kadar MgO dalam semen sebesar 5%.



5. Sulfur Trioksida (SO_3)

Sulfur trioksida berfungsi untuk menghambat terjadinya proses hidrasi mineral C_3A serta pengatur waktu pengikatan. Senyawa sulfur trioksida sebagian besar berasal dari gipsum yang ditambahkan pada tahap penggilingan akhir dan dari bahan bakar yang digunakan pada tahap pembentukan klinker seperti batubara dan fuel oil.

6. Alkali (Na_2 dan K_2O)

Kandungan oksida alkali dalam semen perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan ekspansi dan menimbulkan keretakan pada beton jika agregat yang digunakan mengandung silikat yang reaktif terhadap alkali. Semakin tinggi kandungan alkali pada semen dapat meningkatkan burnability pada suhu rendah dan menaikkan liquid content pembentuk coating.

7. Kapur Bebas (Free Lime)

Kapur bebas adalah kapur yang tidak bereaksi dengan komponen lain selama proses klinkerisasi dan tertinggal dalam keadaan bebas. Kapur bebas dapat terbentuk karena beberapa alasan, yaitu tepung baku (raw meal) yang digunakan kurang halus, pembakaran klinker kurang sempurna, kandung alkali dalam tepung baku terlalu tinggi dan mineral klinker terdekomposisi selama proses pendinginan. Kandungan kapur bebas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ekspansi dan menimbulkan keretakan sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan yang rendah dan menjadi tidak lentur. Kapur bebas (CaO) akan bereaksi dengan air (H_2O) menghasilkan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang mempunyai volume lebih besar. Untuk menghasilkan semen dengan kualitas yang baik, kandungan maksimum kapur bebas dalam semen sebesar 0,96%.

8. Oksida fosfor (P_2O_5)

Oksida fosfor pada semen dapat memperlambat pengerasan semen. Hal ini disebabkan turunnya kadar C_3S menjadi C_2S dan terbentuknya P_2O_5 serta CaO . Ketika kadar oksida fosfor melebihi 2,5%, akan terbentuk kapur bebas sehingga



menyebabkan ekspansi. Oleh karena itu pada umumnya kandungan oksida fosfor pada semen tidak lebih dari 0,2%

II.1.6 Jenis-jenis Semen

Perbedaan macam semen tergantung pada komposisi unsur-unsur penyusunnya dan unsur tambahan lain yang ditambahkan.

Berbagai jenis semen, antara lain :

1. *Semen Portland*

Merupakan semen hidrolis yang diperoleh dengan menggiling terak yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, bersama bahan tambahan biasanya digunakan gypsum.

Berdasarkan banyaknya presentase kadar masing-masing komponen ASTM (*American Society of Testing Material*) C 150 – 95 membagi lima macam type semen portland. Kelima tipe semen portland tersebut yaitu :

a. *Ordinary Portland Cement* (Semen Tipe 1)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen Portland yang umum digunakan untuk bangunan biasa. Semen ini ada beberapa jenis pula, misalnya semen putih yang kandungan feri oksidanya lebih kecil, semen sumur minyak, semen cepat keras, dan beberapa jenis lain untuk penggunaan khusus.

b. *Moderate Heat Cement* (Semen Tipe 2)

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini digunakan dalam situasi yang memerlukan kalor hidrasi yang tidak terlalu tinggi atau untuk bangunan beton biasa yang dapat terkena aksi sulfat. Kalor yang dilepas saat semen ini mengeras tidak boleh lebih dari 295 joule/gram sesudah 7 hari dan 335 joule/gram sesudah 28 hari.

c. *High Early Strength Cement* (Semen Tipe 3)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen dengan kekuatan awal tinggi yang terbentuk dari bahan baku yang mengandung perbandingan gamping-silika lebih tinggi dari yang digunakan untuk semen type I, dan penggilingannya pun lebih halus dari type I. Semen ini mengandung trikalsium silikat lebih banyak dari semen portland biasa. Hal ini



disamping kehalusannya menyebabkan semen ini lebih cepat mengeras dan lebih cepat mengeluarkan kalor.

d. *Low Heat Cement* (Semen Tipe 4)

Menurut G.T. Austin (1985), yaitu semen portland kalor-rendah, persen kandungan C_3S dan C_3A lebih rendah. Akibatnya persen tetra kalsium aluminoforit (C_4AF) lebih tinggi karena adanya Fe_2O_3 yang ditambahkan untuk mengurangi C_3A . Kalor yang dilepas pun tidak boleh lebih dari 250 dan 295 joule/gram masing-masing sesudah 7 dan 28 hari, dan kalor hidrasinya adalah 15 - 35 % dari kalor hidrasi semen biasa/HES.

e. *Sulfat Resistance Cement* (Semen Tipe 5)

Menurut G.T. Austin (1985), semen portland tahan sulfat adalah semen yang karena komposisinya atau cara pengolahannya, lebih tahan terhadap sulfat daripada keempat jenis lainnya. Semen type V ini digunakan bila penerapannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat. Semen ini mengandung C_3A lebih rendah dari ketiga semen lain. Akibatnya kandungan C_4AF -nya lebih tinggi.

2. *Semen Putih*

Menurut I Ketut Arsha Putra (1994), semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif bukan untuk tujuan konstruktif, misalnya untuk bangunan arsitektur. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatan yang khusus, misalnya bahan mentah mengandung oksida besi dan oksida mangan yang sangat rendah yaitu dibawah 1%.

3. *Semen Alumina Tinggi*

Menurut E. Jasjfi (1985), semen ini pada dasarnya adalah Semen Kalsium Aluminat yang dibuat dengan melebur campuran batu kapur dan bauksit. Bauksit ini biasanya mengandung oksida besi, silika dan magnesium. Semen ini mengeras sangat cepat dan banyak digunakan pada daerah pelabuhan, namun semen ini tidak tahan terhadap sulfat.

4. *Semen Anti Bakteri*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah campuran yang homogen antara semen portland dengan anti bacteriac agent seperti germicide. Bahan



tersebut ditambahkan untuk self desinfectant beton terhadap serangan bakteri dan jamur yang tumbuh. Biasa digunakan pada pembuatan kolam, kamar mandi. Semen ini mempunyai sifat hampir sama dengan semen portland type I.

5. *Semen Pozzoland*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini diperoleh dengan menggiling terak. Semen portland dengan trass sebagai bahan pozzolannya. Jenis semen ini diproduksi untuk pengecoran beton massa, irigasi, bangunan di tepi laut dan tanah rawa yang memerlukan katahanan sulfat dan panas hidrasi rendah.

6. *Water Proofed Cement*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah campuran yang homogen antara Semen Porland dengan Water Proofing agent dalam jumlah kecil seperti kalsium, aluminium atau logam stearat lainnya. Semen ini dipakai untuk kontruksi beton yang berfungsi sebagai penahan tekanan hidrolis, misalnya tangki penyimpan cairan kimia.

7. *Oil Well cement*

Menurut G.T. Austin (1985), semen ini adalah *Semen Portland* yang dicampur dengan bahan retarder seperti *asam borat, casein, lignin, gula atau organic hidroxid acid*. Fungsi retarder untuk mengurangi kecepatan pengerasan semen, sehingga adukan dapat dipompakan dalam sumur minyak atau gas. Umumnya semen ini digunakan pada *primary cementing*.

II.2 Uraian Tugas Khusus

Proses pembuatan semen PT. Solusi Bangun Indonesia (PT. SBI) secara garis besar terdapat 7 proses, yaitu penghancuran bahan baku, penggilingan dan pengeringan bahan, pemanasan awal, pembakaran, pendinginan, penggilingan akhir, dan penyimpanan semen.

Pada penghancuran bahan baku (Crushing), alat utama yang digunakan adalah crusher. Bahan baku pada proses crusher yaitu silica, pasir besi, limestone, dan clay. Kapasitas crusher yaitu 900 ton/jam, sedangkan kapasitas maksimum yaitu 1000 ton/jam.



Pada penggilingan dan pengeringan bahan baku (Raw Mill) alat utama yang digunakan adalah vertical roller mill. Media pengeringannya adalah udara panas yang berasal dari cooler dan kiln.

Pada pemanasan awal (Preheating) alat utama yang digunakan untuk proses pemanasan awal bahan baku adalah suspension preheater, sedangkan alat bantu nya adalah kiln feed bin.

Pada pembakaran (Firing) alat utama yang digunakan adalah tanur putar atau rotary kiln.

Pada pendinginan (Cooling) alat utama yang digunakan adalah cooler. Cooler ini dilengkapi dengan alat penggerak material sekaligus sebagai saluran udara.

Pada penggilingan akhir (Cement Mill) alat utama yang digunakan dimana terjadinya penggilingan clinker dengan gypsum dan high grade limestone adalah vertical roller mill. Peralatan yang menunjang pada proses penggilingan akhir ini adalah vertical roller mill, separator (clasifier), dan bag Filter.

Pada penyimpanan Semen (Cement Silo), Cement Silo Material yang telah mengalami penggilingan kemudian diangkut oleh bucket elevator menuju separator.

Pada bahan baku pembuatan semen terdapat 3 macam bahan yaitu bahan baku utama, bahan korektif, dan bahan additif. Bahan baku utama merupakan bahan dasar dalam pembuatan semen yang terdiri dari batu kapur (limestone) dan tanah liat.

Bahan korektif adalah bahan baku yang dipakai apabila terjadi kekurangan salah satu komponen pada campuran bahan baku utama. Pada umumnya, bahan baku korektif yang digunakan mengandung oksida silika, oksida alumina dan oksida yang diperoleh dari pasir silika (sand), tanah liat (clay), dan pasir besi/iron ore.

Bahan Additif dimasukkan kedalam campuran raw mix atau klinker untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diinginkan, misalnya gypsum biasanya ditambahkan sebagai bahan tambahan setelah terbentuk klinker untuk mengatur waktu ikat/waktu pengerasan dari semen yang dihasilkan dan pazzolan adalah



bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen.

Dari PKL yang sudah kami lakukan, didapatkan material feed dengan komposisi dan kadar air sebagai berikut

Tabel II.2.1 Data Komposisi dan Kadar Air pada Material Feed

Material Feed	Komposisi	Kadar Air
Raw mix	90%	10%
Limestone	5%	6%
Iron Ore	2,5%	5%
Silika	2,5%	8%

(Pabrik Semen PT. SBI, 2020)

Soal:

1. Tentukan kebutuhan masing-masing material feed yang digunakan dalam memproduksi 330 ton/jam pada kadar air 0,5%
2. Untuk menguapkan air dalam feed menggunakan gas panas dari kiln. Suhu kiln 220⁰C keluar dari raw mill 90⁰C. Berapa banyaknya panas yang diperlukan untuk menguapkan?

Penyelesaian:

1.



Gambar II.1 Raw Mix



Gambar II.2 Limestone



Gambar II.3 Iron Ore



Gambar II.4 Silica

Menghitung Neraca Massa (Wuryanti, 2016)

Neraca Massa Total

$$F = P + V \dots\dots\dots(1) \quad (\text{Soemargono, 2007})$$

Neraca Massa Komponen

$$F \cdot X_f = P \cdot X_p + V \cdot X_v \dots\dots\dots(2) \quad (\text{Soemargono, 2007})$$

Dimana:

F = Feed

X_f = Total filtrat dalam feed

P = Produk



X_p = Filtrat dalam produk

V = Vapor

X_v = Filtrat dalam vapor

Diketahui:

P = 330 ton/jam

Kadar air dalam P = 0,5%

kadar produk tanpa kadar air sebesar $100\% - 0,5\% = 99,5\%$

F = Raw mix = 0,9

Limestone = 0,5

Iron Ore = 0,025

Silica = 0,025

Untuk menentukan feed, dapat digunakan rumus persamaan ke (2)

$F \cdot X_f = P \cdot X_p + V \cdot X_v$

$F \cdot 0,9 + 0,05 \cdot 0,94 + 0,025 \cdot 0,95 + 0,025 \cdot 0,92 = 330 \text{ ton/jam} \cdot 0,995 + 0$

$0,81 F + 0,047 + 0,02375 + 0,023 = 328,35 \text{ ton/jam}$

$0,90375 F = 328,35 \text{ ton/jam}$

$F = 363,3195 \text{ ton/jam}$

Feed diperoleh 363,3195 ton/jam, maka kebutuhan masing-masing tiap komponen:

Kebutuhan = Komposisi x Feed

- Raw mix = $90\% \times 363,3195$
= 326,98755 ton/jam
- Limestone = $5\% \times 363,3195$
= 18,165975 ton/jam
- Iron ore = $2,5\% \times 363,3195$
= 9,0829875 ton/jam
- Silika = $2,5\% \times 363,3195$
= 9,0829875 ton/jam

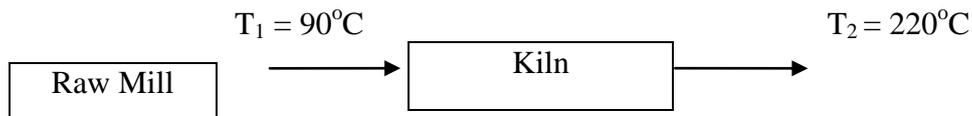
2. Kiln, material yang keluar dari preheater yang disebut kiln feed akan masuk ke dalam sistem unit operasi pembentuk klinker yang disebut rotary kiln. Untuk



mengetahui sistem kerja rotary kiln, proses pembakaran bahan bakarnya, rotary kiln dilengkapi dengan gas analyzer. Gas analyzer ini berfungsi untuk mengendalikan kadar O_2 , CO , dan NO_2 pada gas buang. O_2 , CO , dan NO_2 kualitas panas yang dideteksi. Jika terjadi kelebihan atau kekurangan, maka jumlah bahan bakar dan udara akan disesuaikan.



Gambar II.5 Kiln



Dari perhitungan neraca massa soal no 1, diperoleh hasil feed yaitu 363,3195 ton/jam

Dengan menggunakan rumus persamaan (1), dapat dicari air yang menguap

Diketahui:

$$F = 363,3195 \text{ ton/jam}$$

$$P = 330 \text{ ton/jam}$$

$$F = P + V$$

$$V = F - P$$

$$= 363,3195 \text{ ton/jam} - 330 \text{ ton/jam}$$

$$= 33,3195 \text{ ton/jam}$$

$$\text{Massa material in} = 33,3195 \text{ ton/jam}$$

$$= 33319,5 \text{ kg/jam}$$

Untuk mengetahui gas panas yang diperlukan untuk menguapkan, maka dapat dirumuskan,



Panas Penguapan = Panas Laten + Panas Sensible..... (3) (Coulson, 1983)

Diketahui:

Suhu keluar dari Raw Mill (T_2) = 220°C

Suhu Kiln (T_1) = 90°C

Untuk menentukan panas laten, maka dapat dirumuskan:

$$Q_L = M \times L \dots\dots\dots(4) \quad (\text{Halliday, 1985})$$

Dimana:

Q_L = Kalor Laten (Kj)

M = Massa (kg/jam)

L = Kalor Laten Penguapan ($\text{Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$)

Diketahui:

M = 33319,5 kg/jam

L = 2450 $\text{Kj/Kg}^{\circ}\text{C}$

Untuk menentukan kalor laten, maka digunakan rumus persamaan (4)

$$Q_L = M \times L$$

$$\begin{aligned} Q_L &= 33319,5 \text{ kg/jam} \times 2450 \text{ Kj/Kg}^{\circ}\text{C} \\ &= 81.632.775 \text{ Kj} \end{aligned}$$

Untuk menentukan panas sensible, maka dapat dirumuskan:

$$Q_S = M \times C_p \times \Delta T \dots\dots\dots(5) \quad (\text{Himmelblau, 1989})$$

Dimana:

Q_S = Kalor Sensible (Kj)

M = Massa (kg/jam)

C_p = Kalor Jenis (Kj/m^3)

ΔT = Perubahan Suhu (T_2-T_1)

Diketahui:

M = 33319,5 kg/jam

= 33,3195 m^3/jam

C_p = 1,35 Kj/m^3 (data pabrik)

ΔT = $T_2 - T_1$

= $220^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$

= 130°C



$$\begin{aligned} Q_s &= M \times C_p \times \Delta t \\ &= 33,3195 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1,35 \text{ Kj/m}^3 \times (220^0\text{C}-90^0\text{C}) \\ &= 5847,5723 \text{ Kj/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas Penguapan} &= \text{Panas Laten} + \text{Panas Sensible} \dots \dots \dots (6) \\ &= 81.632.775 \text{ Kj} + 5847,5723 \text{ Kj/jam} \\ &= 81.638.622,57 \text{ Kj/jam} \end{aligned}$$

Jadi, volume gas panas yang diperlukan untuk menguapkan air dalam feed yaitu sebesar 81.638.622,57 Kj/jam