



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya alam (SDA) yang sangat besar. Mungkin kalimat itu sangat terkesan klasik, apalagi jika tercantum pada pembukaan latar belakang sebuah tugas akhir. Sesungguhnya potensi sumber daya alam kita mungkin memang sebegitu besarnya, sampai-sampai hal tersebut yang paling sering terlintas ketika mencoba berbicara perihal Indonesia. Potensi sumber daya alam Indonesia yang besar salah satunya dibuktikan dengan keberadaan kawasan karst yang mencapai hampir 20% dari total luas wilayah Indonesia (Adji, 1999). Konon, Indonesia juga merupakan negara yang berkembang. Meskipun istilah ‘berkembang’ tersebut masih diperdebatkan, istilah itu juga memiliki jam terbang yang cukup tinggi ketika berbicara ihwal pembangunan berskala masif yang sedang terjadi di negeri ini. Berbicara soal pembangunan, hal tersebut mungkin memang belum dan akan menemukan banyak kesulitan jika ingin melihat kesetaraan didalamnya. Namun ‘kesetaraan’ bukanlah hal yang muskil, ia memang layak diagendakan dan dikampanyekan di tiap-tiap mimbar kemenangan. Sekiranya hal tersebut memang sungguh diperuntukkan untuk kepentingan khalayak umum, sehingga dukungan harus terus diperjualbelikan untuk membantu melancarkan pembangunan bangsa dan negara. Kawasan karst menjadi tempat sumberdaya mineral, diantaranya batuan karbonat. Batuan karbonat merupakan sumberdaya yang memiliki kegunaan sebagai bahan bangunan, batu hias, dan industri. Pemanfaatan terbesar batu gamping di Indonesia ialah sebagai bahan baku dari pembuatan semen.

Industri semen merupakan salah satu industri yang berkembang sangat pesat seiring dengan pertumbuhan pembangunan di Indonesia. Hampir semua pembangunan membutuhkan semen sebagai bahan perekatnya. Pada umumnya terdapat beberapa jenis semen yang berada dipasaran, salah satunya adalah Semen



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

Portland Pozzolan. Semen *portland pozzolan* adalah semen yang terbuat dari campuran homogen semen *portland* bersamaan dengan bahan yang mempunyai sifat *pozzolan*.

Perkembangan dalam sektor pembangunan memicu tingginya kebutuhan semen yang berpengaruh pada peningkatan produktifitas. Peningkatan produktifitas yang tinggi akan berdampak pada peningkatan biaya produksi dan eksploitasi alam yang terus - menerus. Kondisi tersebut akan berpengaruh pada kesediaan bahan baku maupun bahan aditif dalam produksi semen dimasa yang akan datang. Bila hal ini terus dilakukan maka suatu saat produksi semen dapat terhenti. Merujuk pada masalah tersebut, maka diperlukan bahan aditif alternatif untuk proses pembuatan semen. Salah satu bahan yang dapat dijadikan bahan aditif dalam pembuatan semen adalah *fly ash*.

Pemanfaatan limbah abu terbang batubara menjadi bahan aditif semen merupakan salah satu cara dalam mengatasi limbah yang dihasilkan. Abu terbang yang dihasilkan dari PLTU di Paiton, Jawa Timur mencapai 1.000.000 ton/tahun. Melihat begitu banyaknya jumlah limbah abu terbang yang dihasilkan maka masalah yang timbul adalah bagaimana memanfaatkan limbah tersebut agar tidak mencemari lingkungan dan bila perlu limbah tersebut menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis (Andoyo, 2006).

Pemerintah Indonesia memiliki perhitungannya sendiri bila berkaitan dengan semen dan hal tersebut terbukti dengan diumumkannya ibu kota baru di Kalimantan sebagai pengganti ibu kota yang sekarang, DKI Jakarta. “Pemindahan” ibukota baru ini tentunya membutuhkan semen sebagai bahan baku pembangunan yang mungkin menurut pemerintah belum tercukupi dengan populasinya sekarang. Apalagi pembangunan Papua menjadi salah satu fokus Joko Widodo selaku Presiden terpilih Indonesia periode 2019-2024. Selain itu semen tentunya juga merupakan komoditas ekspor yang cukup menjanjikan untuk mendatangkan devisa negara.



I.2. Sejarah Perkembangan Proses

Semen merupakan material perekat untuk kerikil (agregat kasar), pasir, batubata, dan material sejenis lainnya. Material semen telah banyak digunakan sejak zaman Yunani, Romawi, dan Mesir kuno. Sebagian monumen dan bangunan peninggalan sejarah yang masih ada, merupakan bukti bahwa material semen telah digunakan sejak zaman dulu. Pada masa itu, hanya mengandalkan bahan perekat berupa *gypsum*, batu kapur, gamping, dan abu vulkanik atau *pozzolan* untuk merekatkan batubatu raksasa. Dengan kemampuannya tersebut, berdirilah bangunan fenomenal, seperti Candi Borobudur, Candi Prambanan di Indonesia, dan tembok besar di Cina (Great Wall).

Sebelum mencapai bentuk seperti sekarang, perekat dan penguat bangunan ini awalnya merupakan hasil percampuran batu kapur dan abu vulkanis. Kedua bahan ini akan aktif setelah melalui proses pembakaran. Konon, campuran tersebut pertama kali ditemukan di zaman Kerajaan Romawi, tepatnya di Pozzuoli, dekat teluk Napoli, Italia. Campuran bahan perekat itu kemudian dinamakan *pozzoulana*. Kata semen sendiri berasal dari bahasa latin, yaitu *caementum*, yang artinya “memotong menjadi bagian-bagian kecil yang tidak beraturan”. Meski sempat populer di zamannya, campuran semen ini tidak berumur panjang, menyusul runtuhnya Kerajaan Romawi. Hingga abad pertengahan (1100 – 1500 M) resep ramuan *pozzoulana* sempat menghilang dari peredaran.

Pada abad ke-18, John Smeaton, seorang insinyur asal Inggris menemukan kembali ramuan kuno yang berkhasiat luar biasa ini. Ia membuat adonan dengan memanfaatkan campuran batu kapur dan tanah liat saat membangun menara suar *Eddystone* di lepas pantai Cornwall, Inggris. Namun, bukan Smeaton yang akhirnya mematenkan cikal bakal semen ini. Ia adalah Joseph Aspdin, seorang insinyur berkebangsaan Inggris yang pertama kali mengurus hak paten untuk ramuan semen ini pada tahun 1824. Hasil temuannya dinamakan semen *Portland*. Dinamai “*Semen Portland*” karena warna hasil olahannya mirip dengan tanah liat yang sering dijumpai di Pulau Portland, Inggris. Hasil rekayasa Aspdin inilah yang sekarang



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

banyak dijumpai di toko-toko bangunan. Sebenarnya, ramuan Aspdin tidak jauh beda dengan Smeaton. Dia tetap mengandalkan dua bahan utama, yaitu batu kapur sebagai sumber kalsium karbonat dan tanah lempung yang banyak mengandung silika, aluminium oksida, serta oksida besi. Kemudian tahun 1845 Isaac Johnson melakukan penelitian lanjutan mengenai semen dan hasilnya sangat berperan dalam pengembangan industri semen modern (Hidayat, 2009).

I.3. Kegunaan *Portland Pozzolan Cement*

1. Konstruksi beton untuk bangunan-bangunan umum dan bertingkat tinggi.
2. Konstruksi beton yang membutuhkan panas hidrasi dan suhu beton yang rendah, seperti *Raft Foundation* dan bendungan.
3. Konstruksi bangunan tepi pantai, saluran irigasi dan tempat-tempat dengan lingkungan garam agresif serta tahan terhadap garam dan sulfat.
4. Bangunan yang memerlukan kedekatan tinggi seperti sanitasi dan bak penampungan air

I.4. Kebutuhan dan Aspek Pasar

Kebutuhan semen di Indonesia semakin meningkat sejalan dengan semakin berkembangnya industri di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik, Data kebutuhan semen di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel I. 1. Kebutuhan Semen Dalam Negeri

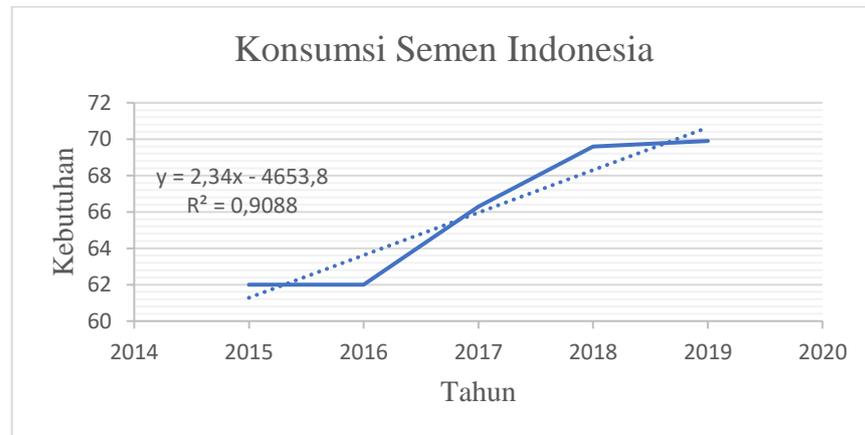
| Tahun | Jumlah Kebutuhan (Ton/tahun) |
|-------|------------------------------|
| 2015 | 62.000.000 |
| 2016 | 62.000.000 |
| 2017 | 66.000.000,7 |
| 2018 | 69.000.000,6 |
| 2019 | 69.000.000,9 |

Untuk memperkirakan kebutuhan semen pada tahun 2025 data pada Tabel 1.1 diplotkan sebagai berikut



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”



Gambar I. 1. Kebutuhan semen dalam negeri

Berdasarkan grafik, diperoleh persamaan linier $y = 2,34x - 4653,8$ maka kebutuhan semen *portland pozzolan* pada tahun 2025 dapat diperoleh sebagai berikut:

$$2,34 (2025) - 4653,8 = 84.000.000,7 \text{ juta ton/tahun}$$

Tabel I. 2 Produsen Semen Indonesia

| PT | Produksi (ton/tahun) |
|---------------------------------|----------------------|
| PT. Lafarge Cement Indonesia | 3.200.000 |
| PT. Semen Padang | 9.257.000 |
| PT. Semen Baturaja | 2.700.000 |
| PT. Indocement Tungal Prakarasa | 23.100.000 |
| PT. Holcim Indonesia | 10.700.000 |
| PT. Semen Gresik | 13.120.000 |
| PT. Semen Tonasa | 7.147.000 |
| PT. Semen Bosowa Maros | 5.500.000 |
| PT. Semen Kupang | 570.000 |
| PT. Semen Andalas Indonesia | 3.200.000 |
| Total | 75.614.000 |

Dari data yang sudah dikumpulkan maka dapat diperoleh data kebutuhan semen *portland pozzolan* di indonesia pada tahun 2025 adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan} = (\text{Kebutuhan-Produksi}) \times 5,4\%$$

$$\text{Kebutuhan} = (84.000.000,7 - 75.614.000) \times 5,4\% = 450.000 \text{ ton/tahun}$$



I.5. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

I.5.1. Spesifikasi Bahan Baku

1. Batu Kapur

A. Sifat Fisika

1. Fase : Padat
2. Warna : Putih
3. Kadar Air : 7-10%
4. *Specific gravity* : 2,49gr/cm³
5. *Bulk density* : 1,3 ton/m³
6. Kuat tekan : 31,6N/mm²
7. Silika ratio : 2,6
8. Alumina ratio : 2,57

B. Sifat Kimia

1. Mengalami kalsinasi pada suhu 600°C-800°C
2. Larut dalam air
3. Eksoterm saat bereaksi dengan air

| Unsur kimia | Kadar (%) |
|--------------------------------|-----------|
| CaCO ₃ | 89,13 |
| SiO ₂ | 0,23 |
| Al ₂ O ₃ | 0,91 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,90 |
| MgCO ₃ | 1,61 |
| H ₂ O | 6,22 |

2. Tanah Liat

A. Sifat Fisika

1. Fase : Padat
2. Warna : Coklat kekuningan
3. Kadar air : 18-25%
4. *Bulk density* : 1,7 ton/m³
5. *Specific gravity* : 2,36 gr/cm³



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

6. Kandungan CaO : 47-58%
7. Silika ratio : 2,9
8. Alumina ratio : 2,7

B. Sifat Kimia

1. Mengalami pelepas air hidrat bila dipanaskan pada suhu 500 °C
2. Tidak larut dalam air
3. Berkurang sifat keliatannya jika dipanaskan

| Unsur kimia | Komposisi (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 61,43 |
| Al ₂ O ₃ | 18,99 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,22 |
| CaO | 0,84 |
| MgO | 0,91 |
| K ₂ O | 3,21 |
| Na ₂ O | 0,15 |
| H ₂ O | 13,25 |

3. Gypsum

A. Sifat Fisika

1. Fase : Padat
2. Warna : Putih bening atau tergantung pengotornya
3. Kekerasan : 7 (Skala Mohs)
4. Berat jenis : 2,65
5. Titik lebur : 1.715 °C
6. Bentuk kristal : Hexagonal
7. Panas spesifik : 0,185

B. Sifat Kimia

1. Mengalami reaksi dengan CaO membentuk garam kalsium silikat
2. *Gypsum* dapat mengalami hidrasi dengan air menjadi hidrat kristal padat.
3. *Gypsum* yaitu dapat mengalami pelepasan air hidrat bila dipanaskan sedikit.



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

| Unsur kimia | Komposisi (%) |
|------------------|---------------|
| SO ₃ | 46,5 |
| CaO | 32,57 |
| H ₂ O | 20,93 |

4. Pasir Besi

A. Sifat Fisika

1. Fase : Padat
2. Warna : Hitam
3. *Bulk density* : 1,8 ton/m³

B. Sifat Kimia

1. Mengalami reaksi dengan Al₂O₃ dan CaO membentuk kalsium alumina ferrit

| Unsur kimia | Komposisi (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 7,89 |
| Al ₂ O ₃ | 0,41 |
| Fe ₂ O ₃ | 86,24 |
| CaO | 0,81 |

5. Pasir Silika

A. Sifat Fisika

1. Fase : Padat
2. Warna : Putih bening atau tergantung pengotor nya
3. Berat jenis : 2,65
4. Titik lebur : 1.715C

B. Sifat Kimia

1. Mengalami reaksi dengan Ca(OH)₂ membentuk kalsium silikat Larut dalam air.



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

| Unsur Kimia | Komposisi (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 98,8 |
| Al ₂ O ₃ | 0,29 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,25 |
| TiO ₂ | 0,15 |
| CaO | 0,21 |
| K ₂ O | 0,028 |

6. Fly Ash

A. Sifat Fisika

1. Densitas : 2.100-3000kg/m³
2. Warna : Abu-abu
3. Ukuran Partikel : <0,075mm

B. Sifat Kimia

2. Mengalami reaksi dengan Ca(OH)₂ membentuk kalsium silikat
3. Larut dalam air

| Unsur kimia | Komposisi (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 46,00 |
| CaO | 6,79 |
| MgO | 11,63 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,11 |
| Na ₂ O | 2,15 |
| SO ₃ | 2,77 |
| Al ₂ O ₃ | 6,35 |
| H ₂ O | 0,12 |
| LOI | 0,40 |

I.5.2. Spesifikasi Produk

1. Semen *Portland Pozzolan*

A. Sifat Fisika

Sifat fisika semen merupakan salah satu segi penting yang perlu diperhatikan, karena sifat fisik sangat mempengaruhi kualitas dan kemampuan semen.

Sifat– sifat fisik tersebut antara lain :

Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

1. Kehalusan

Kehalusan sangat berpengaruh terhadap kecepatan hidrasi semen, semakin tinggi kehalusan kecepatan hidrasi semen akan semakin meningkat. Efek kehalusandapat dilihat setelah 7 hari setelah reaksi semen dengan air. Alat pengukur kehalusan adalah ayakan dan alat *blaine*.

2. Pengembangan Volume

Sifat ini mengarah pada kemampuan pengerasan dan pengembangan volume semen setelah bereaksi dengan air. Kurangnya pengembangan volume semen disebabkan karena jumlah CaO bebas dan MgO yang terlalu tinggi. Alat pengembangan volume adalah *autoclave*.

3. Penyusutan (Shrinkage)

Penyusutan dibagi dalam tiga macam, yaitu *hidration shrinkage*, *drying shrinkage*, dan *carbonation shrinkage*. Penyebab keretakan yang terbesar pada beton adalah *drying shrinkage*, yang disebabkan oleh penguapan air yang terkandung dalam pasta semen selama berlangsungnya proses *setting* dan *hardening*. *Shrinkage* dipengaruhi oleh komposisi semen, jumlah air pencampur, *concentrate mix* dan *curing condition*.

4. Konsistensi

Konsistensi semen adalah kemampuan semen mengalir setelah bercampur dengan air. Alat pengujinya adalah *vicat*.

5. Pengikatan (*setting*) dan Pengerasan (*hardening*)

Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Semen yang bereaksi dengan air pada awalnya membentuk lapisan yang bersifat plastis dan lama-kelamaan akan membentuk kristal. Waktu mulai terbentuknya kristal atau timbulnya kekakuan pada semen disebut *initial set*. Setelah melalui tahap ini ronggayang ada di dalam semen terisi oleh senyawa–senyawa hidrat dan membentuk titik–titik



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

kontak yang menghasilkan kekakuan. Proses ini berlangsung hingga semua rongga terisi kristal dan akan semakin kaku akhirnya tercapai final set. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi semen adalah temperatur, rasio semen dengan air, karakteristik semen, kandungan dan kereaktifan SO_3 , jumlah dan reaktifitas C_3S serta kehalusan semen. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeras ditunjukkan melalui analisa *setting time*. Analisa *setting time* dapat menunjukkan normal atau tidaknya reaksi hidrasi semen. Alat pengujinya adalah alat *vicat* dan *gillmore*.

6. Kekuatan Kompresi

Kekuatan kompresi atau kuat tekan adalah sifat kemampuan semen menahan suatu beban tekan. Kekuatan kompresi semen sangat dipengaruhi oleh jenis komposisi semen dan kehalusan semen. Semakin halus ukuran partikel semen, maka kuat tekan yang dimilikinya akan semakin tinggi. Kadar C_3S di dalam semen memberikan kontribusi yang besar pada tekanan awal semen. Sedangkan C_2S memberikan kontribusi pada kekuatan tekan dalam umur yang panjang.

(Hidayat, 2009)

B. Sifat Kimia

Pembahasan sifat kimia semen di sini meliputi pembahasan komposisi zat yang ada di dalam semen, reaksi-reaksi yang terjadi dan perubahan yang terjadi saat penambahan air pada semen. Hal ini perlu dilakukan karena komposisi dan sifat komponen tersebut sangat mempengaruhi sifat semen secara keseluruhan.

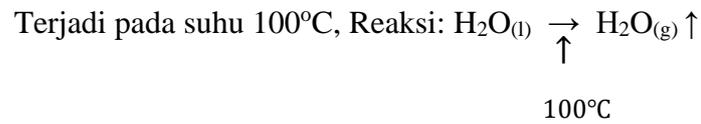
1. Reaksi Kimia dan Perubahan yang Terjadi Setiap Kenaikan Temperatur



Pra Perancangan Pabrik

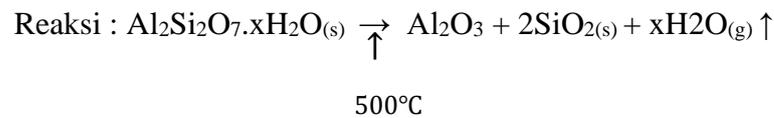
“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

a. Proses pengurangan kadar air



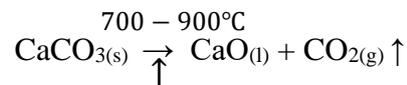
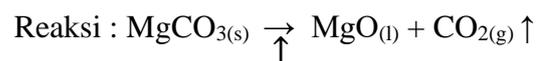
b. Pelepasan air hidrat *clay* (tanah liat)

Air kristal akan menguap pada suhu 500°C. Pelepasan kristal ini terjadi pada kristal hidrat dari tanah liat.



c. Proses kalsinasi

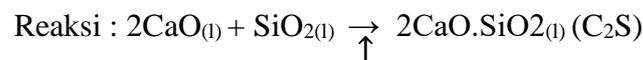
Tahapan penguapan CO₂ dari limestone dan mulai kalsinasi terjadi pada suhu 700-900°C.



700 – 900°C

d. Reaksi pembentukan senyawa semen C₂S

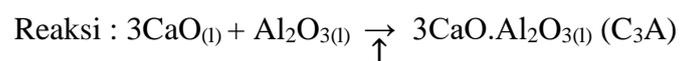
Pada suhu 800–900°C terjadi pembentukan kalsium silikat, sebenarnya sebelum suhu 800°C sebagian kecil sudah terjadi pembentukan garam kalsium silikat terutama C₂S.



800 – 900°C

a. Reaksi pembentukan senyawa semen C₃A dan C₄AF

Pada suhu 1095 – 1205°C terjadi pembentukan kalsium aluminat dan kalsium alumina ferrit.

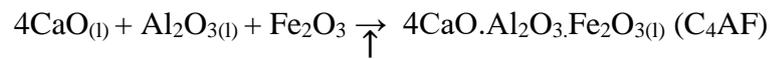


1095 – 1205°C



Pra Perancangan Pabrik

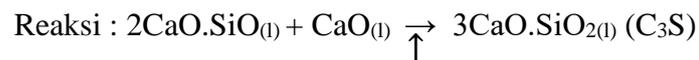
“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”



1095 – 1205°C

b. Reaksi pembentukan senyawa semen C₃S

Pada suhu 1260 - 1455 °C terjadi pembentukan kalsium silikat terutama C₃S yang mana persentase C₂S mulai menurun karena membentuk C₃S.



1260–1455°C

2. Hidrasi Semen

Jika semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi dengan komponen-komponen yang ada dalam semen dengan air yang reaksinya disebut reaksi hidrasi. Faktor - faktor yang mempengaruhi reaksi hidrasi adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur, dan komposisi kimia. Hasil dari reaksi-reaksi ini adalah senyawa hidrat. Di dalam semen, *gypsum* berfungsi untuk memperlambat *setting*. *Gypsum* terutama bereaksi dengan C₃A membentuk *ettringite* yang akan melapisi C₃A dan menahan reaksi C₃A, lapisan ini akan pecah dan akan digantikan dengan lapisan yang baru sampai seluruh *gypsum* habis bereaksi. Bila kadar *gypsum* dalam semen terlalu tinggi maka jumlah lapisan yang melindungi C₃A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama. Walau *gypsum* dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan *gypsum* dibatasi (berdasarkan jumlah SO₃). Karena bila kelebihan SO₃ di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfat yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO₃ dalam semen 1,6 – 3%.

3. *Durability*

Durability adalah ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa kimia, terutama terhadap senyawa sulfat. Senyawa sulfat biasanya terdapat di dalam air laut dan air tanah. Senyawa ini menyerang beton dan



Pra Perancangan Pabrik

“Pabrik Semen *Portland Pozzolan* Menggunakan Proses Kering”

menyebabkan ekspansi volume dan keretakan pada beton. Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrat* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah.

4. Kandungan Alkali dalam Semen

Kandungan alkali (Na_2O dan K_2O) dalam semen cukup menguntungkan yaitu mengatur pelepasan alkali pada proses hidrasi dan dalam bentuk senyawa alkali sulfat dapat meningkatkan kekuatan awal semen (10% dalam waktu 28 hari). Tetapi kandungan alkali dalam semen dibatasi $< 0,6\%$ (dalam bentuk Na_2O) karena kandungan alkali yang besar dapat menimbulkan fenomena ekspansi alkali. Alkali bereaksi dengan agregat yang terdapat dalam campuran beton.

5. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang ditimbulkan saat semen bereaksi dengan air. Besarnya panas hidrasi tergantung dari komposisi semen dan kehalusan dari semen serta temperatur proses. Alat pengujinya adalah *Bomb Calometer*.

(Philip, 2001)