

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan *bottom ash* terhadap waktu ikat awal dan akhir semen sehingga didapatkan hubungan antara penambahan prosentase kadar *bottom ash* dengan waktu pengikatan awal dan akhir semen. Sebagai acuan dalam penelitian ini maka perlu diketahui kadar optimum abu dasar dari penelitian terdahulu. Penelitian tentang kuat tekan yang dilakukan oleh Patcharaporn Suwanvitaya dan Prasort Suwanvitaya yang membuat mortar kontrol dengan perbandingan berat antara *bottom ash* : pasir = 0 : 3 (tanpa *bottom ash*) dan menghasilkan kuat tekan 21 Mpa pada 28 hari. Apabila perbandingan *bottom ash* dinaikkan dengan perbandingan berat antara *bottom ash* : pasir = 3 : 0 (dengan 100% *bottom ash*) terjadi penurunan kuat tekan mortar sebesar 4.31 Mpa. Penurunan kuat tekan ini terjadi antara lain karena adanya penambahan air untuk menjaga konsistensi air mortar tersebut (Suwanvitaya & Suwanvitaya 2006).

Begitu pula pada penelitian yang telah dilakukan oleh Reski Asmaningrum, 2006, mengenai Pengaruh Variasi Penambahan *Fly Ash* dalam Pasta Semen Terhadap Waktu Pengikatan Awal dan Akhir yang menyatakan bahwa dia menyimpulkan penambahan *fly ash* berpengaruh pada waktu ikat awal dan akhir pasta semen dan *fly ash*. Dari persamaan regresinya hubungan prosentase *fly ash* dan waktu ikat awal pasta semen dan *fly ash*, dapat ditentukan bahwa prosentase *fly ash* sebesar 24,5% dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum 144,95 menit dan prosentase *fly ash* sebesar 20,8% dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum 297,84 menit. Dari penelitian *fly ash* tersebutlah mengapa saya mengambil benda uji bottom ash, seberapa besarkah waktu ikat bottom ash yang pada bottom ash tersebut telah diuji yang kandungan silikanya serupa dengan *fly ash* meskipun kadarnya berbeda. Dan juga selain itu di waktu kedepannya dapat dijadikan bahan pertimbangan sebagai campuran karena dapat mengurangi sebagian polusi dengan pemanfaatan bahan yang terbuang.

2.2 Semen Portland

2.2.1 Definisi

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan [PUIB – 1982]. Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik.

2.2.2 Komposisi

Semen Portland dibentuk terutama dari bahan kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Isi kombinasi dari total 4 oksida tersebut kira-kira 90% dari berat semen, karenanya dikenal sebagai unsur utama atau *major oxydes* di dalam semen. 10% yang lainnya terdiri dari magnesia (MgO), oksida alkali (Na_2O dan K_2O), titania (TiO_2), fosforus pentoksida (P_2O_5), dan gypsum yang dikenal sebagai unsur minor atau *minor oxydes* di dalam semen.

Dengan demikian, karakteristik dan perilaku spesifik dari semen akan banyak tergantung pada jenis dan komposisi spesifik dari bahan-bahan dasar yang digunakan dalam campuran produksi semen tersebut. Komposisi bahan-bahan oksida di dalam semen, yang meliputi sebagian besar jenis semen yang biasa dijumpai di pasaran yaitu :

CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, TiO_2 , P_2O_5 , SO_3

Sebagian besar semen modern mempunyai kandungan kapur dibawah 65%. Semen dengan kandungan kapur dibawah 65%, pengerasannya sering kali agak lambat. Dalam hal ini, kandungan kapur maksimum dibatasi oleh kebutuhan untuk menghindari kapur bebas dalam semen. Keberadaan kapur bebas bisa menjadi sumber kelemahan pada permukaan interface antara pasta semen dengan agregat, dan juga bisa menyebabkan ketidakstabilan pada proses pengerasan semen, kapur dan silika menjadi penyumbang kekuatan terbesar.

Sedangkan alumina dan oksidasi besi akan lebih berfungsi untuk mengatur kecepatan proses hidrasi. Namun dalam proses produksi semen, terutama dalam proses pembakarannya alumina dan oksida besi akan bertindak sebagai suatu media pembakaran yang berfungsi untuk mengurangi tingkat suhu pembakaran semen. Kandungan minimum dari alumina dan oksida besi seringkali lebih ditentukan oleh

kebutuhan untuk menghindari kesulitan produksi klinker pada suhu tinggi, dan bukan oleh kebutuhan komposisi kimianya. Sementara itu kandungan maksimumnya pada umumnya dibatasi oleh kebutuhan untuk mengendalikan waktu pengikatan hidrasi semen. Dalam hal ini, semen dengan rasio $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ yang kurang dari 1,5 pada umumnya menunjukkan waktu pengikatan yang cepat, yang biasanya sukar dikontrol lagi oleh proporsi campuran gypsum yang ditambahkan. Dalam proses pembakaran klinker, oksida–oksida silica, alumina, dan besi akan bereaksi dengan kalsium-oksida untuk menghasilkan empat unsur utama semen Portland, yaitu :

1. $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (*tricalcium-silicate*), disingkat C3S
2. $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (*bicalcium-silicate*), disingkat C2S
3. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (*tricalcium-aluminate*), disingkat C3A
4. $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (*tetracalcium-aluminoferrite*), disingkat C4AF

Proses hidrasi semen

Ketika semen dicampur dengan air maka proses kimia akan berlangsung yang disebut proses hidrasi, bahan kimia dalam semen bereaksi dengan air dan membentuk menjadi senyawa baru.

Tabel 2.1 Kombinasi material unsur semen dan hasilnya

KOMBINASI MATERIAL	HASIL KOMBINASI
<i>Tricalcium Silicate + Air</i>	<i>Tobermorite Gel + Calcium Hydroxide</i>
<i>Dicalcium Silicate + Air</i>	<i>Tobermorite Gel + Calcium Hydroxide</i>
<i>Tetracalcium Aluminoferrite + Air + Calcium Hydroxyde</i>	<i>Calcium Aluminoferrite Hydrate</i>
<i>Tetracalcium Aluminate + Air + Calcium Hydroxyde</i>	<i>Tetracalcium Aluminate Hydrate</i>
<i>Tetracalcium Aluminate + Air + Gypsum</i>	<i>Calcium Monosulfoaluminate</i>

Jumlah *Tobermorite Gel* dalam semen yang terhidrasi sekitar 50%, senyawa ini merupakan yang paling utama dalam semen portland. Dalam semen terdapat beberapa mineral potensial yang fungsinya berbeda-beda antara lain sebagai berikut. *Tri Calcium Silicate* (C3S), memberikan kontribusi terhadap kuat tekan awal, ini disebabkan karena

C3S dapat mengalami setting (pengerasan) dalam beberapa jam. Reaksi dengan air menghasilkan panas dan ini juga mempengaruhi daripada laju pengerasan daripada semen portland. Mayoritas kekuatan yang disebabkan oleh C3S dicapai pada umur 7 hari. *Tri Calcium Aluminate* (C3A), Bereaksi sangat cepat dengan air, berkontribusi terhadap pengikatan awal semen, digunakan sebagai kontrol dalam penggunaan gypsum, semakin tinggi kadar C3A dalam semen maka semakin rentan terhadap serangan sulfat.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia dan Pengujian fisika Semen

Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji
		15-2049-04 PC I	C 150-02a PC I	
Komposisi Kimia:				
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-	-	20,92
Aluminium Oksida	(Al ₂ O ₃),%	-	-	5,49
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-	-	3,78
Kalsium Oksida	(CaO),%	-	-	65,21
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	2,22
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur Bebas	,%			0,59
Bagian Tidak Larut	,%	≤ 3,00	≤ 0,75	0,43
Alkali (Na ₂ O + 0,685K ₂ O),%		≤ 0,60	≤ 0,60	0,19
Tricalcium Silicate	(C ₃ S),%	-	-	57,82
Dicalcium Silicate	(C ₂ S),%	-	-	16,36
Tricalcium Aluminate	(C ₃ A),%	-	-	8,16
Tetracalcium Aluminate Ferrit	(C ₄ AF),%	-	-	11,50
Pengujian Fisika:				
Kehalusan:				
Dengan Alat Blaine	(M ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat:				
Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat Autoclave:				
Pemuai	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,06
Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan				
3 hari	(Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 122	230
7 hari	(Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
28 hari	(Kg/cm ²)	≥ 280	-	410
Pengikatan semu, (False Set):				
Penetrasi Akhir	(%)	50	50	73,79



PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.



PT SEMEN GRESIK (PERSERO) Tbk.
Jl. Veteran, Gresik 61122
Indonesia

Telp. (62-31) 3981731-2
Faks. (62-31) 3983209, 3972284
Bebas pulsa: 0800 10 88888

email: psg@sggrp.com
www.samingresik.com

STANDAR SPESIFIKASI

Semen Gresik, Portland Cement Tipe I (PC I)

Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji
		15-2049-04 PC I	C 150-02a PC I	
Komposisi Kimia:				
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-	-	20,92
Aluminium Oksida	(Al ₂ O ₃),%	-	-	5,49
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-	-	3,78
Kalsium Oksida	(CaO),%	-	-	65,21
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	2,22
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur Bebas	,%			0,59
Bagian Tidak Larut	,%	≤ 3,00	≤ 0,75	0,43
Alkali (Na ₂ O + 0,685K ₂ O),%		≤ 0,60	≤ 0,60	0,19
Tricalcium Silicate	(C ₃ S),%	-	-	57,82
Dicalcium Silicate	(C ₂ S),%	-	-	16,36
Tricalcium Aluminate	(C ₃ A),%	-	-	8,16
Tetracalcium Aluminate Ferrit	(C ₄ AF),%	-	-	11,50
Pengujian Fisika:				
Kehalusan:				
Dengan Alat Blaine	(M ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat:				
Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat Autoclave:				
Pemuai	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,06
Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan				
3 hari	(Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 122	230
7 hari	(Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
28 hari	(Kg/cm ²)	≥ 280	-	410
Pengikatan semu, (False Set):				
Penetrasi Akhir	(%)	50	50	73,79

2.2.3 Jenis-jenis semen

Tabel 2.3 Jenis dan penggunaan semen

Jenis	Penggunaan
I	Konstruksi yang tidak memerlukan persyaratan khusus
II	Konstruksi yang diinginkan tahan perlawanan terhadap panas hidrasi sedang
III	Konstruksi yang memerlukan kekuatan awal tinggi setelah pengikatan
IV	Konstruksi yang memerlukan tehan panas hidrasi rendah
V	Konstruksi yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

Sumber: SNI (*Chu-Kia-Wang, 1983*)

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland tipe I yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik. Tipe semen jenis ini digunakan untuk berbagai bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

2.3 Air

Air merupakan salah satu material yang paling penting dalam pembuatan pasta semen. Peranan air sebagai material pasta dapat mempengaruhi mutu dalam campuran pasta semen. Air digunakan untuk kelangsungan reaksi dengan semen portland. Air yang dicampurkan dalam semen akan menyebabkan proses hidrasi, air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai sehingga akan mengurangi kekuatannya.

Syarat-syarat air dapat dipakai sebagai air pencampur (Buku Diktat Teknologi Beton oleh Ari Wibowo, ST., MT dan Ir.Edhi Wahyuni, MT.):

1. Setiap air dengan pH (derajat keasaman) antara 6.0 sampai 8.0 dan rasanya tidak payau dapat digunakan untuk air campuran pasta. Air yang mengandung bahan organik (umum dijumpai pada air permukaan) dapat menghambat proses pengerasan pasta semen.

2. Air yang digunakan untuk pembuatan pasta semen harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garaman, zat organik, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak pasta semen.

Beberapa batasan yang ada (British Standard : BS 3148. 1980) untuk air pencampur :

1. Garam-garam organik

Ion-ion utama yang biasanya terdapat dalam air adalah kalsium, magnesium, natrium, kalium, bikarbonat, sulfat, khlorida, nitrat, dan terkadang karbonat. Air yang mengandung ion-ion tersebut dalam jumlah gabungan sebesar tidak lebih dari 2000 mg per liter, pada umumnya baik untuk pasta.

- 1.1 Garam-garam khlorida

Adanya garam khlorida didalam beton dapat merusak atau menimbulkan korosi pada logam yang tertanam dalam beton. Sebagai pedoman, kadar khlorida dalam air tidak boleh melampaui 500mg per liter. Air laut dapat meningkatkan resiko perkaratan tulangan, khususnya di daerah tropik, sehingga tidak diperbolehkan untuk digunakan sebagai air pencampur beton pratekan dan beton bertulang. Air laut dengan kandungan garam ≤ 35000 ppm (*part per million*) dapat digunakan sebagai air pencampur untuk beton tanpa tulangan, tetapi terdapat kecenderungan menimbulkan basah permukaan dan kristal berwarna putih di permukaan beton, serta sedikit mengurangi volume permukaan.

- 1.2 Garam-garam sulfat

Kadar sulfat yang diijinkan adalah maksimum 1000 mg per liter. Namun kadar sulfat yang dapat diijinkan dalam air pencampur tergantung dari kadar sulfat pada agregat dan semen karena faktor yang menentukan adalah besarnya jumlah sulfat yang terkandung dalam beton tidak boleh melampaui 4% SO₃ terhadap berat semen seperti ditentukan BS 5328 : 1976

2. Alkali karbonat dan bikarbonat

Air yang mengandung alkali karbonat dan bikarbonat akan mempengaruhi waktu pengikatan semen dan kekuatan beton, dan resiko terjadinya reaksi alkali agrgat dalam beton. Disyaratkan jumlah gabungan garam-garam ini tidak lebih dari 1000 mg per liter.

3. Zat-zat Organik

Air yang mengandung jamur jika digunakan sebagai pencampur dapat meningkatkan jumlah udara dalam campuran, sehingga dapat menimbulkan efek

samping terhadap kekuatan. Sebagai contoh, peningkatan kandungan jamur dari 0.09% menjadi 0.23% ternyata meningkatkan kandungan udara sebesar 10.6%. hal ini dapat menyebabkan reduksi kekuatan sebesar 50%.

4. Penilaian Waktu Pengikatan dan Uji Kekuatan

Air pengaduk dianggap tidak mempunyai pengaruh berarti terhadap waktu pengikatan dan sifat pengerasan beton apabila setelah diuji menunjukkan:

5. Perbedaan waktu pengikatan awal semen yang memakai air yang diragukan dan yang memakai air suling (kontrol) tidak lebih dari 30 menit.
6. Kuat tekan rata-rata dari kubus beton yang memakai air yang diragukan tidak boleh kurang dari 90% kuat tekan rata-rata dari kuat tekan kubus beton kontrol yang memakai air bersih atau air suling.

2.4. Abu Dasar (*Bottom Ash*)

2.4.1 Definisi

Bottom Ash merupakan material limbah padat yang tidak terbakar dengan sempurna dari pembakaran suatu material, seperti batu bara dan lainnya dalam PLTU. *Bottom Ash* ini didapatkan pada waktu setelah pembakaran selesai. Biasanya *bottom ash* terdapat pada bagian bawah dari tungku pembakaran tersebut (Wikipedia 2010).

Dengan kata lain *Bottom Ash* adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan lebih berat daripada *fly ash*, sehingga *bottom ash* jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) lalu dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot air untuk dibuang atau dipakai sebagai bahan tambahan pada perkerasan jalan. *Bottom Ash* dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu bara dan sistem pembakarannya (Santoso, Roy et al. 2003).

2.4.2. Karakteristik *Bottom Ash*

Beberapa sifat fisis, kimia, dan mekanis yang penting dari *bottom ash* adalah sebagai berikut :

1. Sifat fisik *bottom ash* berdasarkan bentuk, warna, tampilan, ukuran, *specific gravity*, *dry unit weight* dan penyerapan dari *wet* dan *dry bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 sifat fisik *bottom ash* secara umum pada saat kering dan basah

Sifat fisik <i>bottom ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran	No. 4 (90-100%)	1,5 s/d 3,4 in (100%)
(% lolos ayakan)	No. 10 (40-60%)	No. 4 (50-90%)
<i>Specific gravity</i>	No. 40 (5-10%)	No. 10 (10-60%)
	No. 200 (0-5%)	No. 40 (0-10%)
	2,3-2,9	2,1-2,7
<i>Dry unit weight</i>	960-1440 kg/m ³	720-1600 kg/m ³
penyerapan	0,3 1,1 %	0,8 2,0 %

Sumber: *Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000*(dalam Santoso, 1, et al., 2003,p.76)

2. Sifat kimia dari *bottom ash* sebagian besar tersusun dari unsur-unsur Si, Al, Fe, Ca, serta Mg, S, Na dan unsur kimia lain yang dapat dilihat pada tabel 2.2
3. Sifat mekanis dari *dry* dan *wet bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Santoso, Roy et al. 2003)

Tabel 2.5 sifat mekanis *bottom ash* secara umum pada saat kering dan basah

Sifat mekanis	<i>Dry bottom ash</i>	<i>Wet bottom ash</i>
<i>Max dry density</i>	1210-1620 kg/m ³	1330-1650 kg/m ³
Kelembaban optimum	12-24 % (umumnya <20)	8-20 %
Test abrasi LA (% kehilangan)	30-50	24-48
<i>Sodium sulfat Soundness test (% kehilangan)</i>	1.5-10	1-9
Kuat geser (sudut geser)	38 – 42 % 38–45%(ukuran butir <9,5 mm)	38 – 42 % 38–46%(ukuran butir <9,5 mm)
CBR (%)	40-70	40-70
Koefisien permeabilitas	10-2 – 10-3 cm/det	10-2 – 10-3 cm/det
<i>Friahle partikel (kerak batu bara)</i>	Ada	Tidak ada

tBottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000(dalam Santoso, 1, et al., 2003,p.77)

Gambar 2.1 Bottom ash basah yang digunakan



Bottom Ash biasanya mempunyai warna yang gelap seperti pada Gambar 2.1 dan memiliki kandungan garam dan pH yang rendah, sehingga berpotensi menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu,rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan

sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite* (*iron sulfide*) yang besar. *Pyrite* merupakan partikel yang ekspansif dan apabila terkena air dalam waktu lama dapat mempercepat kerusakan jalan. *Pyrite* ini ada di dalam kandungan *bottom ash*, sehingga harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan. (Santoso, Roy et al. 2003)

Satu contoh karakteristik *bottom ash* dari dua tungku di Israel, memiliki dua sampel dimana tingkat kepadatannya sama, yaitu rata-rata 1.32 dan 1.31 g/cm³. *Spesific gravity* kedua sampel adalah 2.5 g/cm³. Penyerapan *bottom ash* berkisar 25.3 dan 26.0 persen. Ukuran *bottom ash* sebagai agregat kasar antara 4.75-9.5 mm dan sebagai agregat halus kurang dari 4.75 mm (Nisnevich, Schlesinger et al. 1999).

Untuk penelitian *bottom ash* yang di gunakan memiliki kandungan kimia sebagai berikut :

2.6 Tabel Komposisi Kimia *Bottom Ash* PLTU Rembang Tanjungjati

No	Kode.	Parameter	Hasil Analisa		Metode Analisis	
			Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1	B	Si	29,40±0,03	%	Aquaregia	Gravimetri
2	B	Al	0,2576±0,0001	%	Aquaregia-Aluminon	Spektrofometri
3	B	Fe	590,33±0,89	Ppm	HNO ₃	AAS
4	B	Mg	1,17±0,00	%	HNO ₃	AAS
5	B	Ca	14,55±6,13	%	HNO ₃	AAS

2.5 Pasta Semen

“ Bila semen Portland dicampur dengan air, maka akan terjadi suatu pasta semen, dengan diamati perlahan-lahan pasta semen tersebut akan menjadi kaku dan keras” (Teknologi Beton, Indra Cahya)

Jika semen Portland diberi air, air akan berangsur-angsur mengadakan persenyawaan dengan senyawa-senyawa semen. Bagian dari senyawa semen akan larut membentuk senyawa dengan air, yaitu membentuk gel (agar-agar). Suatu semen yang baru saja bercampur dengan air (pasta semen), merupakan suatu massa plastis yang terdiri dari butiran semen dan air. Setelah pasta semen mulai mengeras, tampaknya bervolume tetap. Hasil pengerasan ini terdiri dari hidrat senyawa-senyawa semen yang ada yang berupa agar-agar, kristal-kristal kapur padat, sedikit senyawa lain, dan butiran semen yang tidak bersenyawa dengan air.

Senyawa C3S dan C2S bila bercampur dengan air akan membentuk agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat dan membebaskan sebagian kapur. Senyawa C3A dan C4AF juga bersenyawa dengan air, membentuk senyawa *trikalsium aluminat hidrat*. Air yang ada di dalam agar-agar dapat melanjutkan hidrasi bagi butir semen yang belum bersenyawa bila jumlah air dari luar berkurang. Persenyawaan air dengan semen tidak terjadi dalam waktu yang singkat. Derajat pengerasan ini terutama dipengaruhi oleh susunan senyawa semen, kehalusan dan butiran semen, jumlah air yang dicampurkan, dan jumlah air yang ada desekitar butiran semen. (Teknologi Beton, Dr. Wuryati Samekto dan Candra Rahmadiyanto, ST., 2001).

Jika digunakan suatu jenis pasta semen tertentu, variasi-variasi pasta semen pada adukannya memperlihatkan hal-hal sebagai berikut (Teknologi Beton, Dr. Wuryati Samekto dan Candra Rahmadiyanto, ST., 2001) :

1. Makin banyak jumlah pasta semen, mengakibatkan adukan makin encer, harga makin mahal, makin mudah mendapatkan permukaan yang halus atau licin, tetapi makin besar sudut pengerasannya,
2. Makin kurang jumlah pasta semen, berakibat adukan makin kaku atau kasar, harganya makin murah, makin sulit –pengisian rongga-rongga, makin kasar permukaannya, makin kurang susut pengerasannya,

3. Jumlah pasta semen yang terlalu kurang sehingga tidak semua rongga terisi penuh, menghasilkan adukan kasar yang sukar ditempatkan dan mudah terjadi sarang-sarang kerikil.

2.5.1. Reaksi Hidrasi

Semen jika terkena air akan bereaksi membentuk suatu bahan yang lengket seperti lem (bonding agent), akhirnya mengeras. Peristiwa ini disebut hidrasi. Sifat reaksi dari senyawa di atas adalah bersifat exotermis. Sifat ini menandakan panas dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen. Jumlah panas yang dilepas oleh semen adalah panas hidrasi. (Paulus Nugraha, 1989 : 22-23)

Semen dan air dikombinasikan dalam proporsi yang tertentu. Untuk semen Portland I, bagian berat semen membutuhkan sekitar 0.25 bagian berat air untuk hidrasi. (Bahan dan Praktek Beton, L. J. Murdock dan K. M. Brook)

Karena hidrasi dimulai pada permukaan partikel semen, maka luas permukaan total menjadi faktor penentu hidrasi. Makin halus semen, maka makin besar pula luas permukaan total semen, sehingga pertumbuhan kekuatan makin cepat pula terjadi. Baik British Standard (BS) maupun ASTM mensyaratkan penentuan *specific surface* pada semen (dalam m²/kg).

2.5.2. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah jumlah panas (dalam joule) per gram semen yang belum terhidrasi yang dikeluarkan sampai terjadi hidrasi yang komplit pada temperatur tertentu. Hidrasi senyawa semen bersifat *ekshotermie*. Kecepatan pertumbuhan panas hidrasi total. (Buku Diktat Teknologi Beton oleh Ari Wibowo, ST., MT dan Ir. Edhi Wahyuni, MT.)

Untuk semen Portland biasa :

1. ½ dari panas total dikeluarkan antara 1-3 hari
2. ¾ dari panas total dikeluarkan dalam waktu 7 hari
3. Dan mencapai 90% dalam waktu 1 bulan

Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimiawi semen dan besarnya kira-kira sama dengan jumlah panas hidrasi dari masing-masing senyawa individual bila

proporsinya dalam masa berhidrasi sendiri. Dengan mengurangi jumlah kandungan senyawa C3A dan C3S, panas hidrasi (dan laju kecepataannya) semen dapat dikurangi. Senyawa semen yang paling besar mengeluarkan panas adalah C3A, kemudian C3S, C4AF, dan yang terendah adalah C2S seperti terlihat pada tabel.

2.2 Gambar Skema Hidrasi Semen

Silikat (SiO_2)	ditulis	[S]
Aluminat (Al_2O_3)	ditulis	[A]
Kalsium Oksida (CaO)	ditulis	[C]
Ferrit (Fe_2O_3)	ditulis	[F]

DIBAKAR $\pm 1400\text{ }^\circ\text{C}$

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S)	45 - 70 %
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S)	15 - 35 %
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A)	0 - 15 %
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF)	3 - 15 %

“Tidak ada hubungan antara panas hidrasi dan sifat pengikatan (cementing properties) dari senyawa-senyawa individual semen. Kekuatan semen yang telah terhidrasi tidak dapat diramalkan atas dasar kekuatan masing-masing senyawa.” (Buku Diktat Teknologi Beton oleh Ari Wibowo, ST., MT dan Ir.Edhi Wahyuni, MT.)

Tabel 2.7 Panas hidrasi senyawa semen

Senyawa	Panas Hidrasi (kal/gr)
C_3S	120
C_2S	62
C_3A	207
C_4AF	100

2.6 Konsistensi Normal

2.6.1 Konsistensi Normal Semen

Konsistensi normal semen adalah kekentalan antara campuran semen, dan air dalam pembuatan adonan dimana dinyatakan dengan prosentase jumlah air terhadap berat campuran yang dipergunakan untuk percobaan. Jumlah air untuk konsistensi normal semen, sebagai variabel kontrol tipe semen jenis I (ASTM C187-04) berkisar antara 21% - 31%. Hal ini untuk menentukan tingkat perkembangan cepat kaku dari

pasta semen atau untuk menetapkan campuran tersebut memenuhi batas spesifikasi cepat kaku atau tidak. Tujuan dan penggunaan metode uji ini digunakan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan pada penyiapan pasta semen hidrolis untuk pengujian.

Semen dengan pengikatan semu yang sangat cepat biasanya memerlukan air sedikit lebih banyak untuk menghasilkan konsistensi yang sama, yang dapat menghasilkan kuat tekan sedikit lebih rendah dan memperbesar penyusutan. Pengikatan cepat akan menyebabkan kesulitan dalam penanganan dan pengecoran beton yang biasanya akan menyebabkan pasta gagal memenuhi persyaratan waktu pengikatan.

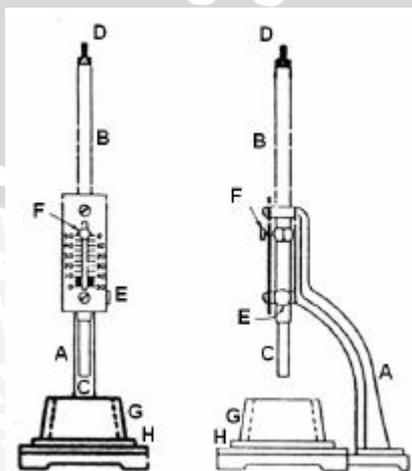
2.6.2 Konsistensi Normal Campuran (Semen dan *bottom ash*)

Konsistensi normal semen dan *bottom ash* adalah kekentalan antara campuran semen, *bottom ash* dan air dalam pembuatan adonan dimana dinyatakan dengan prosentase jumlah air terhadap berat campuran yang dipergunakan untuk percobaan. Variabel kontrol untuk masing-masing presentase campuran dicari terlebih dahulu. Tujuan dari metode uji ini digunakan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan pada setiap campuran yang di terapkan pada uji berikutnya yaitu mencari waktu ikat pasta campuran semen dan *bottom ash*.

Untuk melakukan uji konsistensi normal pasta semen dan campuran semen dan *bottom ash* digunakan alat-alat yang meliputi :

- 1) Timbangan dan batu timbangan harus sesuai spesifikasi
- 2) Gelas ukur dengan kapasitas 200 mL atau 250 mL, sesuai spesifikasi
- 3) Alat vicat

2.3 Gambar Alat Vicat



Alat vicat harus terdiri dari rangka A (Gambar 2.2) yang mempunyai batang B yang dapat digerakkan, beratnya 300 gram, salah satu ujung torak C berdiameter 10 mm, berjarak sekurang-kurangnya 50 mm, dan ujung lainnya jarum D yang dapat dibongkar pasang berdiameter 1 mm dan panjang 50 mm. Batang B dapat dipergunakan secara bolak balik dan dapat dipasang dalam beberapa posisi dengan pengatur sekrup E dan mempunyai indikator F yang dapat diatur, dapat bergerak pada skala (ditunjukkan dalam mm) yang skalanya dilekatkan pada rangka A.

Pasta semen yang akan diuji dimasukkan ke dalam cincin G, yang kaku berbentuk kerucut, diletakkan di atas pelat datar H yang tidak menyerap air, lebar masing-masing sisinya ± 100 mm. Batang B terbuat dari baja tahan karat mempunyai kekerasan tidak kurang dari 35 HRC dan harus lurus dengan ujung torak yang tegak lurus terhadap sumbu batang B. Cincin terbuat dari bahan tidak korosi, tidak menyerap air mempunyai diameter dalam bagian bawah 70 mm dan bagian atas 60 mm dengan tinggi 40 mm. Disamping ketentuan tersebut diatas, alat vicat harus sesuai dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Berat batang yang dapat bergerak (B) ($300 \pm 0,5$) gram.
- b. Diameter ujung batang torak (C) ($10 \pm 0,05$) mm.
- c. Diameter jarum ($1 \pm 0,005$) mm.
- d. Diameter dalam cincin bagian bawah (70 ± 3) mm.
- e. Diameter dalam cincin bagian atas (60 ± 3) mm.
- f. Tinggi cincin (40 ± 1) mm.
- g. Pembagian skala

Pembagian skala, bila dibandingkan dengan skala standar yang ketelitiannya 0,1 mm pada setiap titik, tidak boleh menunjukkan penyimpangan lebih besar dari 0,25 mm.

- 4) Mesin pengaduk, pengaduk, mangkuk aduk, dan penggaruk.
- 5) Pisau aduk, pisau segitiga dengan tepi lurus ukuran (100 – 150) mm

2.7 Waktu Ikat Semen dan *bottom ash*

Semen Portland dalam keadaan kering mempunyai energi dan mulai aktif setelah dibubuhi air. Semen portland yang telah ditambahkan air akan menjadi plastis sehingga dapat dikerjakan dengan mudah. Pengerasan pada semen tergantung pada reaksi kimia antara air, *bottom ash* dan semen. Dibutuhkan sebanyak % air dari berat campuran *bottom ash* dan semen yang dipakai agar semen dapat mengeras. Reaksi antara semen, *bottom ash* dan air terdiri dari 2 periode :

1. Periode pengikatan → keadaan plastis, keadaan keras
2. Periode pengerasan → penambahan kekuatan setelah pengikatan itu selesai.

Pengujian waktu ikat bertujuan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasta dengan konsistensi yang normal. Disamping itu juga untuk menentukan waktu ikat itu sendiri.

Proses setting time adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah setting time dari pasta semen tidak kuat dan kekuatan desaknya menjadi kecil. Dengan berlalunya waktu dan bersamaan dengan proses hidrasi, pasta semen tersebut menjadi keras dan dengan sendirinya kekuatan desaknya menjadi bertambah. (Teknologi Beton, Indra Cahya)

Waktu pengikatan merupakan periode yang berlangsung antara permulaan semen menjadi kaku dan saat semen itu beralih kedalam keadaan keras atau padat. Pada periode ini semen menjadi keras tetapi belum cukup kuat. Setelah itu pengerasan berlangsung terus, mula-mula cepat kemudian berlangsung lambat dalam waktu yang lama. Pengikatan terus berlangsung dengan lambat, jika tidak demikian maka adukan beton akan sulit dikerjakan. (Buku Diktat Teknologi Beton oleh Ari Wibowo, ST., MT dan Ir.Edhi Wahyuni, MT.)

Berdasarkan (SNI 15-2049-2004) menunjukkan bahwa pada tipe semen jenis I untuk penggunaan konstruksi yang tidak memerlukan persyaratan khusus pada berbagai bangunan adalah: waktu pengikatan awal terjadi pada rentang 49 – 207 menit. Sedangkan untuk waktu pengikatan akhir terjadi pada rentang 185 – 312 menit.

Setting time dan pengerasan pasta semen, terutama akibat proses hidrasi dari keempat komponen yang khas semen, yaitu C3S, C2S, C3A, C4AF. Selain itu C3S (*tricalcium-silicate*) adalah bahan semen yang baik, makin besar persentasenya, makin baik semen yang dihasilkan.

Sedangkan komponen aluminat sangat responsiv terhadap initial setting time dari semen. Jadi initial setting time dari semen tergantung pada proporsi aluminat. Setting time ini dapat diperlambat dengan memberikan 1-3% gips. Meskipun proses setting time dan pengerasan ini berlangsung secara terus-menerus dan bersamaan, tetapi kedua proses ini berbeda

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen yaitu :

1. Umur semen

Selama semen disimpan untuk jangka waktu lama, semen akan menghisap air yang ada di udara sehingga terjadi reaksi prahidrasi. Sebagai akibatnya semen akan menunjukkan proses pengikatan yang lambat dan akhirnya semen akan dapat menurunkan kuat tekannya.

2. Suhu dan kelembaban Suhu udara sekitar meja tempat pencampuran semen kering, cetakan dan pelat dasar harus dipertahankan antara (20 – 27,5) derajat Celcius, sedangkan kelembaban ruang. laboratorium uji lengas nisbi tidak kurang dari 50%. Yang dimaksud dengan ruang lembab, ialah ruang dengan lengas nisbi sekitar 95%.

3. Jumlah air yang dibutuhkan

Agar proses hidrasi berlangsung sempurna memerlukan air sekitar 24% sampai 27% dari berat semen (jumlah air untuk konsistensi normal)

4. Kehalusan semen

Lebih halus butiran semen berarti lebih luas permukaan yang dapat terhidrasi sehingga makin banyak gel semen yang dapat terbentuk pada umur muda, berarti lebih tinggi kekuatan tekan awal yang dapat dicapai,

5. Penambahan Admixture

Tergantung jenis bahan tambahan yang digunakan, apakah termasuk pemercepat atau penghambat pengikatan semen.

2.8 Hipotesis

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan sebelumnya bahwa, Senyawa kimia yang terdapat pada *bottom ash* sebagian besar terdapat kesamaan kandungan senyawa kimia pada semen, pada khususnya pada atom silica dan kalsium.

Maka dapat dirumuskan hipotesis penelitian sebagai berikut :

Penambahan *bottom ash* sebagai pengganti sebagian dari semen berpengaruh pada semakin lambatnya waktu ikat pasta semen.