

## KETAHANAN SULFAT SEMEN OPC + FLY ASH DENGAN PORLAND COMPOSITE CEMENT (PCC) PADA MUTU BETON K-300

Rajiman<sup>1</sup>, Dewa Gede Putra<sup>2</sup>, Moh. Andi Susanto<sup>3</sup>

Prodi Teknik Sipil Universitas Bandar Lampung<sup>1</sup>

Prodi Teknik Sipil Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai<sup>2,3</sup>

E-mail : rajiman.mt@gmail.com<sup>1</sup>, dewagedeputra@gmail.com<sup>2</sup>,  
m.andisusanto@yahoo.com<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Industri konstruksi berkaitan erat dengan bangunan beton. Material penyusun beton yang paling utama adalah semen dan semen yang paling banyak digunakan adalah semen murni (klinker). Perkembangan diberbagai bidang industri selain memberi manfaat bagi masyarakat namun juga memberikan masalah yaitu limbah buangan dari industri tersebut. Tujuan Mengetahui pengaruh dari penambahan *fly ash* yang ditambahkan ke dalam semen murni (klinker) dengan *Portland Composite Cement* (PCC) terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Mengetahui pengaruh kuat tekan beton yang mengalami perendaman dengan larutan sulfat. Alur penelitian yang dilakukan dibagi menjadi empat tahap, yaitu: pemeriksaan material, pembuatan rencana campuran (mix design) dan pembuatan benda uji, pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil penelitian. Penambahan *fly ash* ke dalam semen murni (*klinker*) mengindikasikan terjadinya peningkatan kuat tekan pada beton. Dengan kadar *fly ash* 10% pada umur beton 56 hari menghasilkan kuat tekan paling tinggi yaitu mencapai 462,22 kg/cm<sup>2</sup> atau meningkat 18,6% tanpa penrendaman sulfat, sedangkan dengan perendaman sulfat menghasilkan kuat tekan 276,30 kg/cm<sup>2</sup> atau meningkat 11,34%. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton, perendaman dalam larutan sulfat mengakibatkan penurunan kuat tekan beton mencapai 59,77% dan mengalami kerusakan beton secara fisik.

**Kata Kunci :** Konstruksi, PCC, Sulfat, beton, kuat tekan

### PENDAHULUAN

Kemajuan dalam bidang industri terutama dalam industri konstruksi di Indonesia saat ini pertumbuhan yang signifikan, sehingga diperlukan material bangunan dengan jumlah besar untuk mendukung kemajuan industri konstruksi di Indonesia. Industri konstruksi berkaitan erat dengan bangunan beton.

Perkembangan diberbagai bidang industri selain memberi manfaat bagi masyarakat namun juga memberikan masalah yaitu limbah buangan dari industri tersebut. Berbagai cara dilakukan

untuk memanfaatkan limbah buangan tersebut, termasuk oleh produsen semen untuk memanfaatkan limbah buangan sebagai bahan campuran dalam pembuatan semen. Salah satu limbah buangan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran semen adalah limbah buangan dari industri batubara yaitu *fly ash* (abu terbang). PT. Semen Baturaja adalah salah satu industri semen terbesar yang ada di Indonesia yang memproduksi semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*). Semen jenis PCC adalah semen yang dibuat dengan memanfaatkan bahan tambahan

anorganik seperti *fly ash* dan *trass*. Dalam terapan beton terdapat anggapan bahwa semen jenis PCC memiliki karakter yang mirip, bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan OPC. Beton adalah konstruksi bangunan sipil yang paling banyak digunakan saat ini. Hal tersebut dikarenakan beton memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan konstruksi lain diantaranya karena harga, yang relatif murah (ekonomis), kemampuan menahan gaya tekan yang tinggi, dapat dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi yang diinginkan, mudah dalam perawatannya serta ketahanan yang baik terhadap cuaca dan lingkungan sekitar.

*Fly ash* dan *bottom ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga type pembakaran batubara pada industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace*. Apabila batubara dibakar dengan type *dry bottom boiler*, maka lebih kurang 80% dari abu meninggalkan pembakaran sebagai *fly ash* dan masuk dalam corong gas. Apabila batubara dibakar dengan *wet-bottom boiler* sebanyak 50% dari abu tertinggal di pembakaran dan 50% lainnya masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, di mana potongan batubara digunakan sebagai bahan bakar, 70-80 % dari abu tertahan sebagai *boiler slag* dan hanya 20-30% meninggalkan pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas.

PLTU merupakan salah satu penyumbang terbanyak untuk produksi limbah *fly ash* maupun *bottom ash* karena penggunaan batu-bara sebagai bahan bakar utamanya. Seperti PLTU Tarahan yang terdapat di provinsi Lampung. Abu terbang yang tertangkap dapat menjadi limbah yang membahayakan makhluk hidup disekitar area.

Dengan berkembangnya teknologi terutama di bidang ilmu material, saat ini *fly ash* mulai mendapat perhatian lebih dari kalangan peneliti. Sebagai contoh,

saat ini material *fly ash* mulai digunakan sebagai campuran komposisi semen, bangunan rumah, bahkan digunakan dalam pembuatan aspal jalan. Namun penggunaannya belum maksimal, untuk PLTU Tarahan sendiri saja *fly ash* yang dimanfaatkan hanya 1/3 dari total produksi *fly ash* perbulan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan *fly ash* yang ditambahkan ke dalam semen murni (klinker) dengan *Portland Composite Cement* (PCC) terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Mengetahui pengaruh kuat tekan beton yang mengalami perendaman dengan larutan sulfat.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lain, agregat hahis, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat (SK SKI T-15-1991-03). Nawy (1985: 8) mendefinisikan beton sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya yaitu semen hidrolis (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan (*admixture* atau *additive*). Sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai banyak kelebihan, antara lain dapat dengan mudah dibentuk sesuai kebutuhan serta mampu memikul beban yang berat. Akan tetapi, disamping senroa kelebihannya, beton juga mempunyai kekurangan antara lain bersifat getas, tidak kuat menahan tegangan tarik, dan kurang baik menahan beban lentur.

Kemampuan beton memikul beban yang berat berkaitan dengan kekuatan tekan beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi kekuatan beton, yaitu proporsi bahan-bahan

penyusunnya, metode perancangan, perawatan, dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan terutama dipengaruhi oleh Hngkungan setempat. Kekuatan akhir beton banyak dipengaruhi oleh agregat kasar dan matrik semen-pasir, namun ada hal lain yang juga penting dan mempengaruhi kuat tekan beton, yaitu ikatau antara pennukaan (*interface*) antara agregat kasar dan matriks semen-pasir. *Interface* merupakan suatu daerah peralihan sebesar 30 um disekeliling agregat kasar dan matriks semen-pasir.

Menurut Sutarno, 1997 berdasarkan kekuatannya beton dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu, beton normal kuat tekannya antara 17,5 Mpa-41 Mpa, beton mutu tinggi memiliki kuat tekan antara > 41 Mpa - 83 Mpa, dan beton mutu sangat tinggi yang memiliki kuat tekan > 83 Mpa.

### **Semen Portland Biasa**

Semen merupakan bahan campuran beton yang bereaksi aktif terhadap air (semes hidrolik) atau udara (semen non-hidrolik). Fungsi utama semen pada adukan beton adalah mengikat butir-butir agregat hingga membenruk suatu massa yang padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Menurut ASTM C-150, 1985, semen *portland* didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik yang umumnya mengandung satu atau lebih beatuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang. digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Komposisi yang sebenarnya dari berbagai senyawa yang ada berbeda-beda dari jenis semen yang satu dengan yang lainnya. Semen Portland Biasa (*Ordinary Portland Cement*) biasanya diguriakan dalam pelaksanaan konstruksi beton secara umum apabila tidak diperlukan sifat-sifat khusus, misalnya ketahanan terhadap sulfat, panas hidrasi rendah, kekuatan

awal yang tinggi dan sebagainya. ASTM mengklasifikasikan semen jenis ini sebagai semen tipe 1.

### **Semen Portland Komposit**

Berdasarkan SNI 15-7064-2004, semen *portland* komposit didefmisikan sebagai bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips- dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast jurnace slag*) pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 - 35 % dari massa semen portland komposit. Menurut Supartono (2001:12) bahan-bahan anorganik tersebut merupakan bahan-bahan mineral yang memiliki sifat pozzolanik, yaitu bahan-bahan mineral yang unsur-unsurnya tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun bila bereaksi dengan kalsium-oksida dan air pada temperatur biasa, bisa membentuk senyawa yang mempunyai ciri-ciri semen (*cementitious*).

### **Agregat**

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini menempati sebanyak 60%-80% dari volume mortar atau beton. Meskipun hanya sebagai bahan pengisi, tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat mortar atau beton. Bentuk, tekstur, dan gradasi agregat mempengaruhi sifat pengikatan dan pengerasan beton segar. Sedangkan sifat fisik, kimia, dan mineral mempengaruhi kekuatan, kekerasan dan ketahanan dari beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan mortar atau beton. Secara umum, agregat penyusun beton dapat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Ukuran agregat kasar sangat mempengaruhi kekuatan tekan

beton. Semakin besar agregat maksimum yang digunakan, semakin berkurang kekuatan beton yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin besar agregat kasar, ruang antara agregat yang dihasilkan semakin besar sehingga pctensi terjadinya void akan semakin tinggi. Semakin banyak void yang ada pada beton maka akan semakin kecil kekuatan tekannya. Menurut standar ASTM, agregat halus adalah batuan yang ukuran butirnya lebih kecil dari 4,75 mm (ASTM C33, 1994). Agregat harus adalah salah satu unsur beton yang berfungsi mengisi pori-pori yang ada diantara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimalkan kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton

#### Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan limbah pembakaran batu bara yang butirannya lebih halus daripada semen Portland, yang mempunyai sifat-sifat hidrolis. Produksi abu terbang batubara (*fly ash*) didunia pada tahun 2000 diperkirakan berjumlah 349 milyar ton. Penyumbang produksi abu terbang batubara terbesar adalah sektor pembangkit listrik. Produksi abu terbang dari pembangkit listrik di Indonesia terus meningkat, pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 milyar ton dan mencapai 2 milyar ton pada tahun 2006. Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina, ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang (Putri. Marindra, 2008).

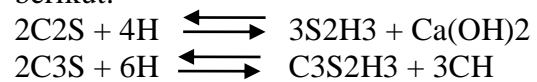
Sementara itu dalam penelitian Yamamoto (2006) menyebutkan bahwa *fly ash* ditambahkan selama reaksi hidrasi dimana semen dan air bereaksi dalam satu kesatuan, hal itu menyebabkan reaksi kimia dalam waktu yang lama membentuk fase *glass* seperti silika dan aluminium dengan semen hidrat (kalsium hidroksida). Sifat-sifat *fly ash*

tergantung pada sumber batu bara dan proses pembakaran yang ada di pembangkit listrik.

#### Sulfat

Sulfat merupakan sejenis anion poliatom dengan rumus empiris  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan massa molekul 96.06 satuan massa atom, sulfat terdiri dari atom pusat sulfur dikelilingi oleh empat atom oksigen dalam susunan tetrahedron. Sulfat merupakan senyawa yang stabil secara kimia karena merupakan bentuk oksida paling tinggi dari unsur belerang. Sulfat dapat dihasilkan dari oksida senyawa sulfida oleh bakteri. Sulfat didalam lingkungan (air) dapat berada secara ilmiah dan atau dari aktivitas manusia, misalnya dari limbah industry dan limbah laboratorium. Secara ilmiah sulfat biasanya berasal dari pelarutan mineral yang mengandung S, misalnya gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan kalsium sulfat anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ).

Menurut Husin (2010) pengrusakan akibat senyawa sulfat pada semen dapat dituangkan mekanismenya sebagai berikut:



Jadi bila semen mengeras, tiap molekul dikalsium silikat akan membebaskan 0,5 mol kapur dan tiap mol trikalsium silikat akan melepaskan 1,5 mol kapur. Jadi bila semen Portland yang dipakai tinggi kadar  $\text{C}_3$  nya, kapur yang akan dibebaskan selama semen mengeras akan lebih besar, dibanding dengan semen yang kadar  $\text{C}_2$  nya tinggi. Terjadinya pembebasan kapur selama semen mengeras, maka pada pasta semen terbentuk saluran kapiler, dimana  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  akan mengalir keluar (bila ia dapat mengalir) atau pada saluran itu terisi kapur. Bila pasta terendam dalam larutan yang mengandung  $\text{SO}_4^{2-}$  maka kapur tadi akan bersenyawa membentuk gips.  $\text{CaSO}_4$ , terbentuknya Kalsium sulfat ini bila kemudian suasananya kering, gips akan membentuk kristal

yang seperti jarum dan mengembang, mendesak sisi sekitarnya sehingga terjadi pengrusakan pada sisi sekitar itu dan dapat terlihat pasta atau adukan betonnya merapuh.

Magnesium sulfat mempunyai keseimbangan yang tercapai lebih jauh daripada sulfat lainnya dan menguraikan Kalsium silikat hidrat berlebih bila bereaksi dengan Aluminat dan Kalsium hidrat. Apabila tri atau dikalsium silikat berada dalam larutan Magnesium sulfat, pembentukan kristal gypsum terjadi sangat cepat. Hal itu didapatkan dalam kelarutan yang rendah dari Magnesium hidroksida dan menghasilkan pH rendah dalam larutan yang jenuh dan hanya larut pada tingkat kira-kira 0,01g/L. Larutan jenuhnya mempunyai pH kira-kira 10,5. Ini lebih rendah daripada pH yang dibutuhkan untuk menstabilkan Kalsium silikat hidrat (Masruri, 1993)

### Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin penekan (*Compression Testing Machine*). Menurut ASTM C39-93a, kuat tekan beton dihitung dengan cara membagi beban maksimum selama pengujian dengan luas penampang beton kubus. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :  $\sigma_c = \frac{P}{A}$

Keterangan :

- $\sigma_c$  = Kuat tekan beton (kg/cm )
- P = Beban tekan maksimum (KN)
- A = Luas penampang tertekan (cm<sup>2</sup>)

Kuat tekan dari beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain faktor air semen dan tingkat kepadatannya. Selain kedua hal tersebut, faktor-faktor lain yang tidak kalah penting adalah (Murdock dan Brook, 1999).

### Standart Deviasi

Rencana komposisi campuran beton (*mix design*) mengacu pada peraturan ACI 318-89. Kuat tekan beton yang

direncanakan adalah K-300 dengan *slump* rencana 75 - 100 mm. Ukuran agregat maksimum yang direncanakan adalah 20 mm, Penggunaan semen portland komposit yaitu dengan menggunakan semen jenis PCC. Standar Deviasi memiliki beberapa karakteristik khusus lainnya. SD tidak berubah apabila setiap unsur pada gugus datanya di tambahkan atau dikurangkan dengan nilai konstan tertentu. SD berubah apabila setiap unsur pada gugus datanya dikali/dibagi dengan nilai konstan tertentu. Bila dikalikan dengan nilai konstan, standar deviasi yang dihasilkan akan setara dengan hasilkali dari nilai standar deviasi aktual dengan konstan.

Untuk data sample menggunakan rumus :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Untuk data populasi menggunakan rumus :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

## METODE PENELITIAN

### Bahan material

Material yang digunakan adalah :

1. Semen yang digunakan adalah semen murni (klinker) asal PT. Baturaja dan *Portland Composite Cement* (PCC), dalam kemasan 50 kg/sak yang diperoleh dari toko dalam keadaan baik dan tertutup rapat
2. *Fly ash* yang digunakan berasal dari pabrik batubara yang ada di daerah Tarahan, Lampung Selatan. *Fly ash* ini berungsi sebagai pengganti sejumlah semen OPC
3. Agregat halus yang digunakan berasal dari Tanjung Bintang, Lampung Selatan yang terlebih dahulu diperiksa kadar lumpur, bahan organis, analisis saringan, berat jenis dan penyerapan, dan kadar airnya (memenuhi ASTM C 33)
4. Agregat Kasar (Batu Pecah) yang digunakan batu pecah putih yang

- diperoleh dari Tanjungan Lampung Selatan yang merupakan hasil produksi *stone crusher*, dengan diameter maksimum 20 mm Agregat kasar ini terlebih dahulu diuji berat jehis dan penyerapan agregat kasar, serta analisis saringannya (memenuhi ASTM C 33)
5. Larutan sulfat yang digunakan adalah sulfat pekat yang diperoleh dari toko yang kemudian dilarutkan dengan menggunakan air sampai didapat larutan sulfat dengan konsentrasi 5%
  6. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memenuhi persyaratan untuk air minum

#### Alat

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Compression Testing Machine*, Mesin ini berkapasitas beban maksimum 150 ton dengan ketelitian 0,5 ton. Alat ini dipakai pada pengujian kuat tekan dengan kecepatan pembebanan sebesar 0,14 - 0,34 Mpa/det
2. *Concrete mixer* yang digunakan memiliki kapasitas 0..125 m<sup>3</sup> dengan kecepatan 20 -30 putaran per menit yang digerakkan dengan menggunakan diesel. Alat ini berfungsi untuk mengaduk bahan
3. *Slump Test Apparatus*, Kerucut Abrams digunakan beserta tilam pelat baja dan tongkat besi untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan dengan percobaan *Slump Test*. Ukuran kerucut Abrams adalah diameter bawah 200 mm dan diameter bagian atas 100 mm dengan tinggi 300 mm
4. Cetakan beton yang digunakan untuk mencetak benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cmx 15 cmx 15cm
5. Timbangan digunakan untuk pemeriksaan seluruh agregat dan untuk memastikan berat masing-masing komposisi campuran beton

6. Oven, Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan campuran beton yang perlu dikeringkan terlebih dahulu pada saat pemeriksaan
7. Saringan, Alat ini berguna untuk mengetahui gradasi agregat sehingga dapat dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat kasar dan agregat halus. Untuk penelitian ini gradasi agregat kasar dan agregat halus berdasarkan standar *ASTM C-33*
8. Piknomeler, Alat ini digunakan untuk mengetahui beidt jenis *SSD (Surface Saturated Dry)* berat jenis kering, berat jenis'jenuh, dan penyerapan agregat halus
9. Mesin getar dalam (*internal vibrator*) digunakan untuk memadatkan adukan beton pada saat memasukkan adukan beton ke dalam cetakan. Tujuannya untuk menghilangkan rongga-rongga udara dan untuk mendapatkan kepadatan yang maksimal serta menjamin suatu perekatan antara material penyusun beton

#### Lokasi/ Tempat

Penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium PT. Semen batu Raja. Penelitian ini dilakukan terhadap pengaruh penambahan *fly ash* (abu terbang) pada semen murni atau OPC (*Ordinary Portland Cement*) dengan semen PCC (*Portland Composite Cement*) terhadap kuat tekannya apabila direndam dalam larutan sulfat.

#### HASIL PENELITIAN

Data awal itu antara lain modulus kehalusan agregat, berat jenis relatif, kapasitas absorsi, berat isi padat kering dan ukuran agregat. Data-data yang didapat akan dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton. Adapun data-data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Pengujian Bahan Penyusun Beton

Jenis pengujian	Material yang digunakan	Nilai hasil pengujian	Standar ASTM
Modulus kelulusan	Agregat kasar	6,9075	6,0-8,0
	Agregat halus	3,00	2,9-3,1
Berat jenis	Agregat kasar	2,511	2,5-2,9
	Agregat halus	2,54	2,5-2,9
Penyerapan	Agregat kasar	2,95%	1-3%
	Agregat halus	1,2%	1-3%
Kadar Air	Agregat kasar	2,43%	0-3%
	Agregat halus	0,7%	0-1%
Kadar lumpur	Agregat kasar	2,1%	<5%
	Agregat halus	1,475 gr/cm <sup>3</sup>	-
Berat volume	Agregat kasar	1,45 gr/cm <sup>3</sup>	-
	Agregat halus	1,45 gr/cm <sup>3</sup>	-
Kandungan Zat Organik	Agregat Halus	warna standar	Tidak boleh lebih terang dari warna standar

Berdasarkan data hasil uji pada Tabel 1 menunjukkan bahwa material penyusun beton tersebut telah memenuhi standar ASTM

### Kelecekan (*Workability*)

Kelecekan adukan beton (*workability*) dapat diketahui dengan pengujian nilai *slump*. ACI mendefinisikan kelecekan beton (*workability*) adalah sifat-sifat adukan beton atau mortar yang ditentukan oleh kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pencetakan, pemadatan, dan finishing. Prosedur pengujian kelecekan adukan beton mengacu pada peraturan standar ASTM C-143. Pengujian kelecekan dilakukan dengan cara *slump test* pada masing-masing adukan beton mutu K300. Nilai *slump* beton masing-masing campuran adukan beton disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran nilai slump pada beton mutu K300

No.	Jenis Semen	Mutu	Slump (cm)	Slump Rencana (cm)
1	OPC Baturaja	K300	3,1	7,5-10
2	OPC Baturaja + 5% fly ash	K300	3,3	7,5-10
3	OPC Baturaja + 10% Fly ash	K300	4,2	7,5-10
4	OPC Baturaja + 15% fly ash	K300	5,4	7,5-10
5	OPC Baturaja + 20% Fly ash	K300	6	7,5-10
6	PCC Baturaja	K300	4	7,5-10
7	PCC TigaRoda	K300	3,8	7,5-10
8	PCC Semen Padang	K300	4	7,5-10

Dari Tabel 2 dapat terlihat bahwa semakin banyak jumlah kandungan *fly ash* yang digunakan maka tingkat kelecekan beton akan semakin tinggi dan menyebabkan nilai *slump* juga semakin tinggi. Meskipun nilai *slump* akibat penggantian dengan *fly ash* meningkat, akan tetapi nilai *slump* yang dihasilkan tidak sesuai dengan *slump* rencana yang

direncanakan. Hal ini disebabkan karena dalam perencanaan *mix* untuk mutu beton K300 menggunakan nilai faktor air semen (fas) yang kecil 0,50. Karena menggunakan nilai fas yang kecil sehingga menghasilkan nilai *slump* yang kecil pula. *Slump* yang dihasilkan untuk fas 0,4 - 0,5 adalah berkisar antara 2 - 4 cm (Mulyono, 2004). Sehingga *slump* yang didapatkan dalam penelitian ini dapat digunakan karena berkisar antara 3-4 cm.

### Berat Volume Beton

Berat volume beton didapatkan dengan cara membagi berat beton dengan volumenya, beratnya didapat dari menimbang sanipel sebelum diuji kuat tekannya. Penimbangan dilakukan pada saat beton sudah mengering. Untuk benda uji dengan umur pengujian 7 hari, sampel diangkat dari rendaman 3 hari sebelum hari pengujian, sedangkan untuk beton dengan umur pengujian 28 hari dan 56 hari, beton diangkat seminggu sebelum pengujian agar beton benar-benar sudah mengering saat dilakukan penimbangan. Hasil dari penimbangan kemudian dikonversi ke dalam satuan berat volume yaitu kg/m<sup>3</sup>. Hasil pengukuran berat volume dapat dilihat dari tabel berikut ini :

Tabel 3. Hasil Pengukuran Berat Volume Beton K300 (Tanpa Perendaman Sulfat)

Jenis Semen	Kandungan Fly Ash (%)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )		
		7 Hari	28 Hari	56 Hari
OPC Baturaja	0%	2377,28	2417,58	2391,90
OPC Baturaja	5%	2373,14	2387,95	2382,62
OPC Baturaja	10%	2368,89	2380,54	2375,21
OPC Baturaja	15%	2362,47	2367,21	2364,74
OPC Baturaja	20%	2357,83	2357,53	2362,07
PCC Baturaja	0%	2372,84	2346,67	2336,99

Tabel 4. Hasil Pengukuran Berat Volume Beton K300 (Dengan Perendaman Sulfat)

Jenis Semen	Kandungan Fly Ash (%)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )		
		7 Hari	28 Hari	56 Hari
OPC Baturaja	0%	2319,60	2294,32	2325,73
OPC Baturaja	5%	2321,88	2306,47	2351,01
OPC Baturaja	10%	2323,26	2317,04	2377,68
OPC Baturaja	15%	2362,17	2347,95	2387,06
OPC Baturaja	20%	2368,79	2355,85	2396,94
PCC Baturaja	0%	2336,59	2331,95	2314,57
PCC TigaRoda	0%	2362,17	2344,00	2391,70
PCC Semen Padang	0%	2366,42	2367,51	2365,33

## Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan cara memberikan pembebanan pada benda uji kubus kemudian memcatat beban ultimit (P) pada saat benda uji runtuh, Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari, 28 hari, dan 56 hari setelah pengecoran. Dilakukan pengujian pada umur 56 hari karena adanya *campuran fly ash* (abu terbang) yang menyebabkan penurunan panas hidrasi. Penurunan panas hidrasi ini terjadi karena reaksi antara  $C_3S$  dan  $C_3A$  terganggu *butiran fly ash* yang menjadikan rantai reaksi akan lebih panjang yang mengakibatkan panas hidrasi akan menurun dan beton akan lebih lama untuk mengeras, Oleh karena itu beton yang dicampur dengan *fly ash* pengikatan betonnya akan membutuhkan waktu yang lebih lama daripada beton biasa. Untuk pengujian 7 hari, sampel diangkat 3 hari sebelum pengujian, sedangkan untuk umur pengujian 28 hari dan 56 hari, sampel diangkat dari bak perendaman seminggu sebelum hari pengujian kondisi beton benar benar telah kering.

Hasil pengujian kuat tekan beton karakteristik didapatkan dari pengujian kuat rata-rata tiga buah benda uji beton kubus berukuran sisi 15 cm. Beton yang menggunakan dua jenis semen yang berbeda yaitu semen murni (klinker) dan PCC (*Portland Composite Cement*). Untuk semen murni ditambahkan *fly ash* (abu terbang), sedangkan semen PCC digunakan tiga merk yaitu Baturaja, Semen Padang, dan Tiga Roda. Untuk perendaman beton digunakan air biasa dan menggunakan larutan suifat dengan konsentrasi 5%, karena pada kenyataan sebenarnya, senyawa suifat ini dapat merusak struktur beton dan menurunkan kekuatan beton. Digunakan konsentrasi 5% karena konsentrasi suifat yang ada di alam tidak sampai 5%, sehingga untuk mengetahui pengaruh terhadap beton yang paling maksimum menggunakan

suifat dengan konsentrasi 5%. Untuk mendapatkan larutan suifat dengan konsentrasi 5% harus mencampurkan dengan air karena larutan suifat biasanya dijual di pasaran dengan konsentrasi kepekatan 90% - 100%. Oleh karena itu larutan suifat yang dibeli kemudian dicampur dengan air sampai mendapatkan konsentrasi suifat yang diinginkan. Perhitungan konsentrasi suifat dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

Dengan:

$V_1$  = Volume awal (liter)

$M_1$  = Konsentrasi larutan awal (%)

$V_2$  = Volume akhir (liter)

$M_2$  = Konsentrasi larutan akhir (%)

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan beton K300 (Tanpa Perendaman Sulfat)

Jenis Semen	Kandungan Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )			Peningkatan Terhadap 28 Hari pada 56 Hari (%)
		7 hari	28 hari	56 hari	
Semen murni Baturaja	0%	299,26	365,19	416,30	13,99545
Semen murni Baturaja	5%	249,63	369,63	428,15	15,83205
Semen murni Baturaja	10%	288,15	389,63	462,22	18,6305
Semen murni Baturaja	15%	222,22	344,44	363,70	5,591685
Semen murni Baturaja	20%	230,67	341,48	365,19	6,943306
PCC Baturaja	0%	202,22	317,78	352,59	10,95412
PCC Tiga Roda	0%	222,22	293,41	380,51	29,68542313
PCC Semen Padang	0%	230,67	241,89	283,12	17,04493778

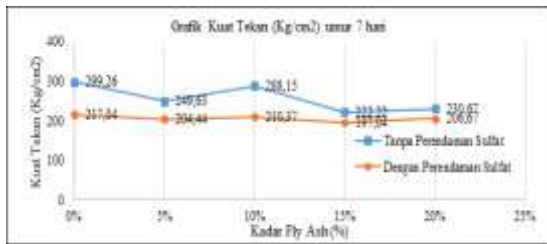
Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan beton K300 (Dengan Perendaman Sulfat)

Jenis Semen	Kandungan Fly Ash (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )			Peningkatan Terhadap 28 Hari pada 56 hari (%)
		7 hari	28 hari	56 hari	
Semen murni Baturaja	0%	217,04	232,59	243,70	4,776646
Semen murni Baturaja	5%	204,44	236,30	269,63	14,10495
Semen murni Baturaja	10%	210,37	248,15	276,30	11,34395
Semen murni Baturaja	15%	197,04	234,81	258,52	10,09753
Semen murni Baturaja	20%	206,67	239,26	277,04	15,79035
PCC Baturaja	0%	187,41	214,81	227,41	5,865649
PCC Tiga Roda	0%	232,15	267,41	311,85	16,61868
PCC Semen Padang	0%	190,37	232,89	272,59	17,04667

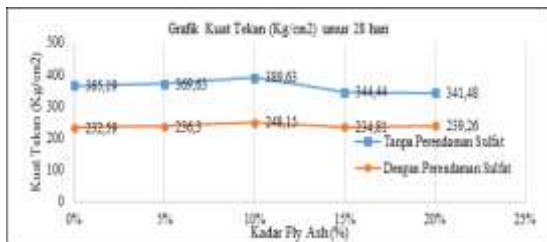
## Pengaruh Penambahan Fly Ash ke Dalam Semen murni (klinker)

Dari table hasil pengujian kuat tekan di atas dapat terlihat sekali perbedaan kekuatan beton antara beton yang direndam larutan sulfat dengan beton yang direndam dengan air biasa. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap

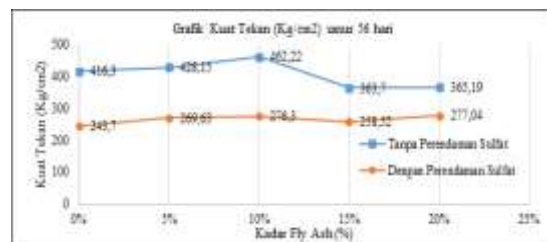
semen murni pada beton umur 7 hari dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1. Kuat Tekan Beton Pada Semen Murni atau OPC Umur 7 Hari



Gambar 2. Kuat Tekan Beton Pada Semen Murni atau OPC Umur 28 Hari



Gambar 3. Kuat Tekan Beton Pada Semen Murni atau OPC Umur 56 Hari

Berikut ini adalah tabel persentase perbedaan kuat tekan beton dengan penggunaan *fly ash* ke dalam semen murni :

Tabel 7. Persentase Pengaruh *Fly Ash* Ke Dalam Semen murni

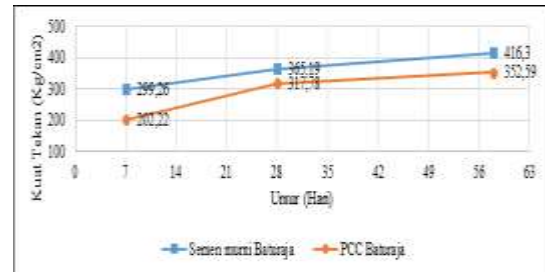
Jenis Semen	Kandungan Fly Ash	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Perbandingan Kuat Tekan (%)
Semen murni Baturaja	0%	416.3	-
	5%	428.15	2.85
	10%	462.22	11.03
	15%	363.7	-12.64
	20%	365.19	-12.28

Tabel 8. Persentase Pengaruh Fly Ash Ke Dalam Semen murni Umur 56 Hari (Pengan Perendaman Sulfat)

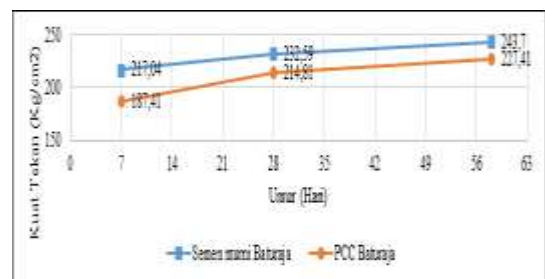
Jenis Semen	Kandungan Fly Ash	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Perbandingan Kuat Tekan (%)
Semen murni Baturaja	0%	243.7	-
	5%	269.63	10.64
	10%	276.3	13.38
	15%	258.52	6.08
	20%	277.04	13.68

### Perbandingan Kuat Tekan Antara PCC Baturaja dan OPC Baturaja

Hasil pengujian kuat tekan beton antara semen murni dan PCC dapat disajikan dalam grafik pada gambar berikut ini :



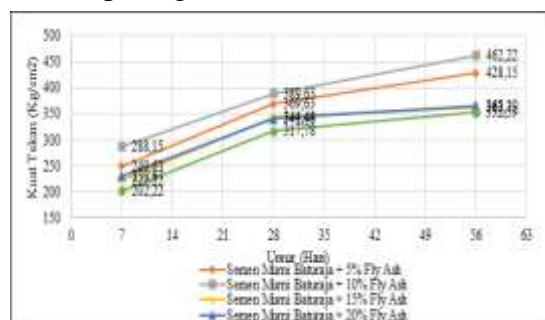
Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan Beton OPC dan PCC Baturaja (Tanpa Perendaman Sulfat)



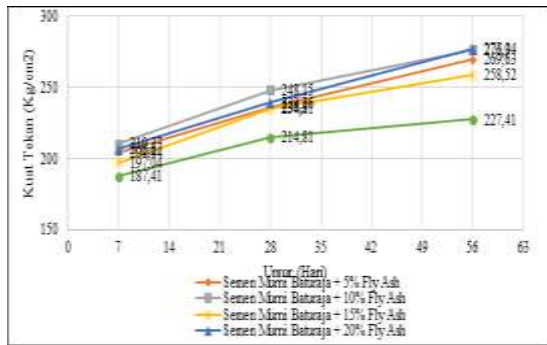
Gambar 5. Perbandingan Kuat Tekan Beton Semen Murni (OPC) dan PCC Baturaja (Dengan Perendaman Sulfat)

### Kuat Tekan Antara semen murni (OPC) Baturaja+Fly Ash dengan PCC Baturaja

Perbedaan kuat tekan antara PCC dan semen murni (OPC) + *Fly ash* dapat dilihat pada gambar berikut ini :



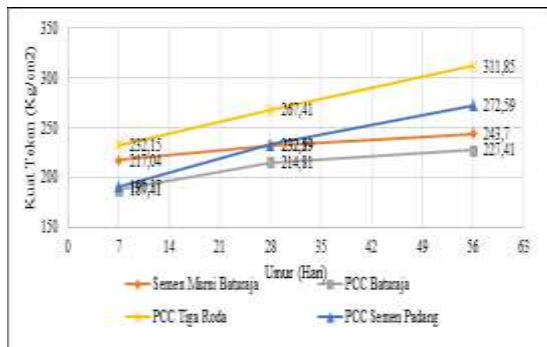
Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara semen murni (OPC) + *Fly Ash* dan PCC Baturaja (Tanpa Perendaman Sulfat)



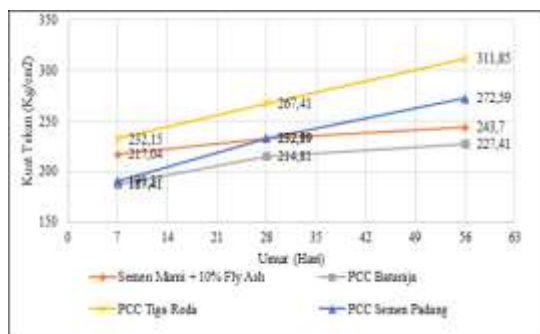
Gambar 7. Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara semen murni (OPC) + Fly Ash dan PCC Baturaja (Dengan Perendaman Sulfat)

### Perbandingan Kuat Tekan Antara semen Murni (OPC) Baturaja Dengan PCC Merk Lain

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat dalam gambar berikut ini :



Gambar 8. Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara semen murni (OPC) dan PCC Baturaja dan PCC Merk Lain (Dengan Perendaman Sulfat)



Gambar 9. Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Semen Murni (OPC) + 10% Baturaja dan PCC Merk Lain (Dengan Perendaman Sulfat)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *fly ash* ke dalam semen murni (*klinker*) mengindikasikan terjadinya peningkatan kuat tekan pada beton. Dengan kadar *fly ash* 10% pada umur beton 56 hari menghasilkan kuat tekan paling tinggi yaitu mencapai 462,22 kg/cm<sup>2</sup> atau meningkat 18,6% tanpa penrendaman sulfat, sedangkan dengan penrendaman sulfat menghasilkan kuat tekan 276,30 kg/cm<sup>2</sup> atau meningkat 11,34%
2. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton, penrendaman dalam larutan sulfat mengakibatkan penurunan kuat tekan beton mencapai 59,77% dan mengalami kerusakan beton secara fisik

## DAFTAR PUSTAKA

- ESDM. (2015). *Indonesia Mineral and Coal Information 2015*. Jakarta: Direktorat Jendral EDSM Republik Indonesia
- Fadillah, D. A., Sustiawan, F., & Lee, H. A. (2014). Pengaruh Komposisi Nano Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Karya Teknik Sipil Vol 3 No. 4*, 1-10.
- Fediuk, R., & Yushin, A. (2015). The use of fly ash the thermal power plants in the construction. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 93 (2015) 012070*, 1-5.
- Hasaan, M. (2001). Basalt Rock as an Alternative Raw Material in Portland Cement Manufacture. *Materials Letters. Vol. 50. Issue 2-3*, 172-178.
- Indah Pratama, S. W., Rauf, N., & Juarlina, E. (2015). Pembuatan dan Pengujian Kualitas Semen Portland Yang Diperkaya Silikat

- Abu Ampas Tebu. *Jurnal Fisika FMIPA Unhas*, 1-5.
- Kurniawan, S. (2016). Analisa Perawatan Beton Cetak Menggunakan Uap. TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 5(2).
- Lestari, F. (2012). Minimisasi Limbah Pada Industri Semen Dalam Rangka Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan Iso 14001. *Jurnal AGRIPUS, Volume 22 Nomor : 02*, 110-116.
- Miswar, K. (2011). Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif. *JURNAL PORTAL, ISSN 2085-7454, Volume 3 No. 2*, 45-51.
- Purba, W. (2014). Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Portland Composite Cement (PCC) Dan Portland Cemen Type I (PC 1). *JURNAL TEKNOLOGI Fakultas Teknologi Industri, Volume 4, No. 2*, 47-55.
- SNI. (2002). *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suarnita, I. W. (2011). Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *Jurnal SMARTek, Vol. 9 No. 1*, 1-10.
- Syafpoetri, N. A., Monita, O., & Lita, D. (2013). Pemanfaatan Abu Kulit Kerang (Anadara Grandis) Untuk Pembuatan Ekosemen. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Riau*, 1-14.
- Tekmira. (2016, Mart 14). *Informasi Mineral dan Batu Bara*. Retrieved from [www.tekmira.esdm.go.id](http://www.tekmira.esdm.go.id): <http://www.tekmira.esdm.go.id/data/Timah/ulasan.asp?xdir=Timah&commI d=31&comm=Timah>