

## PEMANFAATAN BAHAN LIMBAH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PADA CAMPURAN BETON K-225

Oleh:

Hendra Alexander, Lusyana, Sukatik, Dalrino dan B. Army

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang

### ABSTRACT

*Fly Ash is a waste material from coal burning at thermal power plant. Power Plant Sijantang produces  $\pm 600$  tons per day and it is an environmental problem in the area. In this study, the waste fly ash substituted into concrete K-225 or  $f_c' = 19.04$  MPa amounted to 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%. Results optimum compressive strength at 5% substitution. After that the additive is added Sikamen NN 0.3%, 1.3% and 2.3%.*

*The addition of 2.3% additive produces compressive strength of 298.59 kg / cm<sup>2</sup> very much required at 225 kg / cm<sup>2</sup>. On the addition of additive 0.3% age 28 day compressive strength of 279.19 kg / cm<sup>2</sup>, the larger the required amount of 225 kg / cm<sup>2</sup>. Without the addition of additive, compressive strength of 218.35 kg / cm<sup>2</sup>, less than the required amount of 225 kg / cm<sup>2</sup>. So for concrete K-225, mix with the substitution of 5% and 0.3% addition of additives can be used as a standard mixture.*

### Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap menghasilkan limbah yang berbahaya salah satunya yaitu abu sisa pembakaran dari batu bara yang dinamakan abu terbang atau *fly ash*. Batu bara yang merupakan sumber bahan baku dari pembangkit listrik menghasilkan limbah yang sangat banyak dan dapat membahayakan lingkungan.

Beton sebagai bahan konstruksi tidak hanya terdiri sebagai bahan campuran semen, pasir, kerikil dan air, tapi juga adanya bahan tambahan (*admixture*) yang dapat meningkatkan

kelecekan (*workability*), kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, memperlambat atau mempercepat waktu ikat awal dan sebagainya, sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya yaitu **abu terbang (*fly ash*)** merupakan sisa pembakaran batu bara yang berasal dari **Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sijantang, Sawahlunto Sumatera Barat.**

Menurut data dari PLTU Sijantang, tiap hari pembangkit ini menghasilkan sisa pembakaran batu bara berupa abu terbang sebanyak  $\pm 600$  ton. Hal ini akan dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan kalau tidak cepat untuk dicarikan solusi. Apalagi saat ini

perusahaan atau industri sudah diwajibkan untuk bebas dari pencemaran lingkungan.

**Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan ini adalah :

1. Mempublikasikan pemanfaatan abu terbang ( *fly ash* ) sebagai substitusi sebagian semen pada pembuatan beton.
2. Mengetahui jumlah optimum abu terbang ( *fly ash* ) sebagai substitusi sebagian semen untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik beton khususnya kuat tekan.
3. Membuat suatu komposisi beton dengan menggunakan abu terbang ( *fly ash* ) sehingga bisa langsung dimanfaatkan.

**Tinjauan Pustaka**

Semen merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kinerja beton. Semen portland mempunyai empat komponen utama yaitu trikalsium silikat (C<sub>3</sub>S), dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S), trikalsium aluminat (C<sub>3</sub>A), dan tetrakalsium aluminofेरite (C<sub>4</sub>AF) yang prosentase kandungannya berbeda tiap-tiap unsurnya seperti terlihat pada Table 2.1

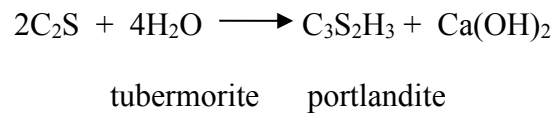
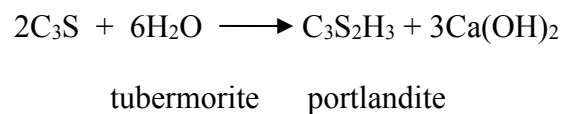
Tabel 1. Kandungan unsur-unsur dalam semen portland (Gambhir, 1986)

Unsur	Persentase
C <sub>3</sub> S	30 – 50
C <sub>2</sub> S	20 – 45
C <sub>3</sub> A	8 – 12

C <sub>3</sub> AF	6 - 10
-------------------	--------

• **Reaksi Hidrasi Kalsium Silikat (C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S)**

Reaksi-reaksi hidrasi dari dua kalsium silikat hidrat terlihat sangat mirip, perbedaannya terletak pada jumlah kalsium yang terbentuk.

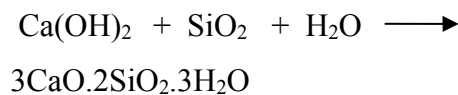


Dari reaksi hidrasi semen dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (*tubermorite*) yang merupakan material dengan susunan kristal yang sangat sedikit, yang tersusun dari partikel-partikel yang sangat kecil dengan dimensi kurang dari 1 μm dan menghasilkan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) atau kapur bebas, yang dikenal dengan nama mineralnya *portlandite*, yang merupakan material yang mempunyai susunan kristal dengan komposisi lengkap.(Kushartomo, 1999)

Keberadaan Ca(OH)<sub>2</sub> dalam beton memberikan sifat negatif pada beton :

1. Menyebabkan retak beton saat terjadi pembentukan  $\text{Ca(OH)}_2$  dari  $\text{CaO}$  dalam semen portland.
2. Sangat rentan terhadap serangan kimia  $\text{Cl}^-$  ataupun  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam air dimana beton itu terkontaminasi.

Jika  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terbentuk pasca hidrasi semen itu diikat dengan unsur lain seperti unsur *pozzolanic material* maka terjadi reaksi :



Portlandite      silika amorfus  
 calcium silikat hidrat

Kalsium silikat hidrat (CSH) ini merupakan senyawa padat yang tidak mudah larut dalam air yang mengisi pori-pori beton yang dapat memberikan kontribusi mekanik pada beton yang lebih baik namun proses hidrasi memerlukan waktu lama, sehingga *setting timenya* lama.

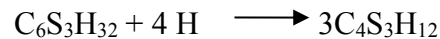
• **Reaksi Hidrasi Kalsium Aluminat (C3A)**

Didalam semen portland, hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  melibatkan reaksi dengan ion-ion sulfat yang diberikan oleh gypsum. Pada dasarnya reaksi  $\text{C}_3\text{A}$  adalah sebagai berikut :



Trikalsium gypsum air  
 ettringite Aluminat

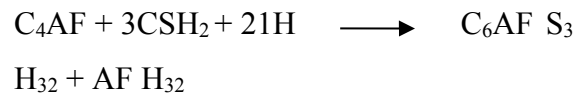
$(\text{C}_6\text{S}_3\text{H}_{32})$  atau *ettringite* ini adalah produk hidrasi yang pada akhirnya membentuk kalsium silikat hidrat dengan reaksi :



Apabila kalsium silikat hidrat ini diserang oleh sulfat maka akan menghasilkan kalsium sulfoaluminat ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) yang volumenya membesar dan dapat mengakibatkan retak pada beton. Oleh karena itu, semen tahan sulfat tidak boleh mengandung unsur  $\text{C}_3\text{A}$  lebih dari 5 % (ASTM C 150-94).

• **Reaksi Hidrasi Tetrakalsium Aluminoferrite (C4AF)**

Hidrasi  $\text{C}_4\text{AF}$  ini berlangsung lambat dan melibatkan sedikit panas. *Gypsum* dapat menghambat hidrasi  $\text{C}_4\text{AF}$ . Kandungan besi yang ada pada  $\text{C}_4\text{AF}$  menyebabkan hidrasi menjadi pelan seperti terlihat pada reaksi :



Pada pelaksanaannya menunjukkan semen dengan  $\text{C}_3\text{A}$  rendah tetapi tinggi dalam  $\text{C}_4\text{AF}$  adalah resistan terhadap serangan sulfat yang mengakibatkan

terjadinya pengembangan volume dan retak-retak pada beton sehingga beton menjadi porous dan hilangnya ikatan antara agregat dan pasta.

- **Abu Terbang (Fly ash)**

Fly ash (abu terbang) adalah salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran dan terdiri dari partikel-partikel halus. Abu yang tidak naik disebut bottom ash. Dalam dunia industri, fly ash biasanya mengacu pada abu yang dihasilkan selama pembakaran batubara. Fly ash umumnya ditangkap oleh electrostatic precipitators atau peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap batu bara pembangkit listrik, dan bersama-sama dengan bottom ash dihapus dari bagian bawah tungku dalam hal ini bersama-sama dikenal sebagai abu batubara. Tergantung pada sumber dan makeup dari batubara yang dibakar, komponen fly ash bervariasi, tetapi semua fly ash termasuk sejumlah besar silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) (baik amorf dan kristal) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), kedua bahan endemik yang di banyak batubara-bantalan lapisan batuan.

Di masa lalu, fly ash atau abu terbang pada umumnya dilepaskan ke atmosfer, tetapi sekarang disyaratkan harus ditangkap sebelum dirilis. Di AS, fly ash umumnya disimpan di pembangkit listrik batubara atau ditempatkan di tempat

pembuangan sampah. Sekitar 43% didaur ulang, sering digunakan untuk melengkapi semen dalam produksi beton.

Dalam beberapa kasus, seperti pembakaran limbah padat untuk menciptakan listrik ("resource recovery" Fasilitas alias limbah-ke-energi), fly ash dapat mengandung kadar tinggi dari kontaminan dari bottom ash dan pencampuran fly ash dan bottom bersama-sama membawa tingkat proporsional kontaminan dalam jangkauan untuk memenuhi syarat sebagai limbah tidak berbahaya dalam keadaan tertentu, sedangkan bila tidak dicampur, fly ash akan berada dalam jangkauan untuk memenuhi syarat sebagai limbah berbahaya.

Berikut ini adalah penggunaan fly ash sebagai bahan bangunan:

1. Baik untuk campuran agregat beton ( ready mix )
2. Bahan campuran pembuatan genteng, beton, paving block, batako dan sebagainya.
3. Untuk campuran mortar (adukan luluh) pasangan batu, pondasi, batu merah atau batako.
4. Untuk campuran mortar pasangan keramik dan bangunan.
5. Untuk campuran mortar plesteran, perataan lantai dan acian

- **Sikament-NN**

Sikament NN adalah merupakan zat aditif yang sangat efektif untuk memproduksi beton encer dengan cairan super plasticizer yang berfungsi ganda sebagai pengurangan kadar air dan untuk membantu tegangan awal. Bebas dari chlorida (complies with ASTM C 494 -92 Type F). Sikament-NN adalah suatu campuran terpadu yang dirancang untuk mengurangi tingkat transmisi moisture melalui beton. Sikament-NN tidak berisi reduktor air, akselerator, entraining udara atau bahan kimia surfactant yang dapat menyebabkan efek samping yang tidak diinginkan ketika digunakan bersama dengan campuran secara normal yang digunakan pada beton ( Sika Indonesia, 2003).

Sikament-NN dapat digunakan untuk beton kedap air seperti dinding landasan dan lantai, tangki, pipa, terowongan, silo dan kolam, blok beton dan batu bata, panel bersemen tipis dan cladding, dan dinding dan pondasi tangki rendering (Sika Indonesia, 2003).

### **Metodologi dan Tahapan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Abu dari sisa pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sijantang Sawahlunto

Sumatera Barat dan lolos saringan 0,15 mm. (PUBI-1982 mensyaratkan lolos saringan 0,21 mm)

2. Memakai semen type PCC merek Semen Padang.
3. Agregat halus yang berasal dari Sawahlunto dan Statika Lubuk Alung Pariaman
4. Agregat kasar yang berasal dari Sawahlunto dan Statika Lubuk Alung Pariaman
5. Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang.

### **Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang. Adapun tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut:

- **Tahap Persiapan**

Pada tahap ini dilakukan penyiapan bahan dan alat yang akan digunakan. Selain itu juga dilakukan beberapa pemeriksaan alat yang mendukung jalannya penelitian.

- **Tahap Pengujian Bahan**

Bahan-bahan yang dilakukan pengujian yaitu :

- A. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu sisa pembakaran batu bara PLTU Sijantang Sawahlunto Sumatera Barat uji kualitas dan kuantitas. Untuk pemeriksaan

kualitas atau keaktifan abu terbang dilakukan pengujian *X-Ray Deffraction (XRD)* di Laboratorium Pusat Survey Geologi. Sedangkan untuk mengetahui kuantitas dan kandungan zat kimianya dilakukan pemeriksaan *X-Ray Fluorescence (XRF)* di Laboratorium Kimia ITB Bandung.

B. Agregat kasar atau kerikil.

C. Agregat halus atau pasir.

- **Tahap Perhitungan Rencana Campuran Beton**

Perencanaan campuran (*mix design*) beton bertujuan untuk mendapatkan proporsi dari masing-masing bahan (semen, kerikil, pasir, abu terbang dan air) untuk kuat tekan beton tertentu. Penentuan proporsi dari masing-masing bahan dihitung berdasarkan SK SNI T-15-1990-03 dengan faktor air semen (fas) sebesar 0,45. Pada penelitian ini abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan substitusi semen dalam campuran adukan beton diambil bervariasi sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% , 25%, dan 30% dari berat semen untuk mendapatkan substitusi semen yang optimum. Untuk beton kontrol digunakan campuran adukan beton tanpa abu terbang (*fly ash*). Dari komposisi abu terbang optimum, kemudian dibuat lagi benda uji dengan mencampurkan bahan additive.

- **Tahap Pembuatan dan Perawatan**

- **Tahap Pengujian Slump Beton**

- **Tahapan Pengujian Benda Uji**

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm dengan umur beton 3, 7, 14, 28, 56 dan 90 hari dengan substitusi abu terbang (*fly ash*) dan penambahan bahan additive. Untuk mengetahui besar kuat tekan beton dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f_c' = P/A_c$$

$f_c'$  = kuat tekan beton pada umur pengujian (MPa)

P = Gaya tekan yang terbaca (kN)

$A_c$  = Luas permukaan bidang tekan ( $\text{mm}^2$ )

### Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian X-Ray Fluorecence Fly Ash didapatkan hasil data sebagai berikut :

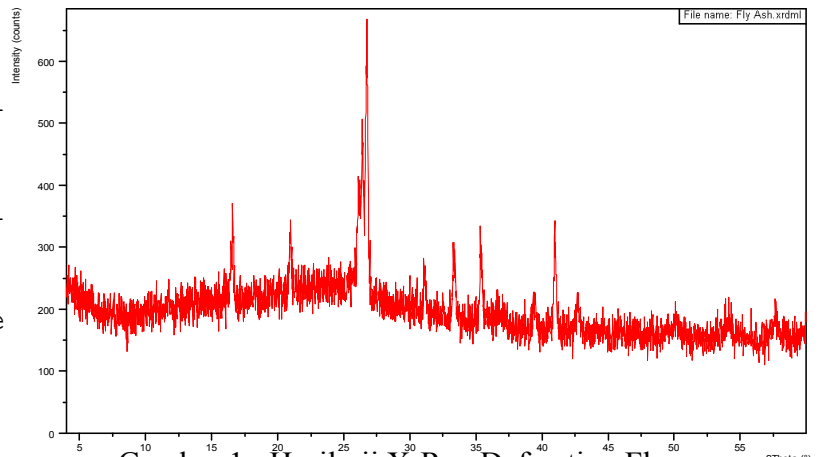
5,38% yang akan dapat menambah kuat tekan beton. Dari hasil diatas, bahan fly ash bisa dikategorikan bahan pozzolan.

Hasil pengujian X-Ray Defraction Fly Ash dapat dilihat pada grafik 1.

Tabel 2. Hasil Uji X-Ray Fluorence

Compound	m/m%	StdErr	El
	m/m%	StdErr	
SiO2	46.65	0.25	Si
	21.81	0.12	
Al2O3	29.63	0.23	Al
	15.68	0.12	
Fe2O3	5.38	0.11	Fe
	3.77	0.08	
K2O	2.20	0.07	K
	1.82	0.06	
CaO	1.40	0.06	Ca
	1.00	0.04	
MgO	1.00	0.05	Mg
	0.606	0.030	
TiO2	0.750	0.037	Ti
	0.450	0.022	
SO3	0.535	0.027	Sx
	0.214	0.011	
Na2O	0.445	0.022	Na
	0.330	0.016	
Cl	0.146	0.007	Cl
	0.146	0.007	

Hasil tes X-Ray Fluorence terlihat adanya kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 46,65%, Al2O3 sebesar 29,63%, dan Fe2O3 sebesar



Gambar 1 : Hasil uji X-Ray Defraction Fly Ash

Uji X-Ray Defraction, terlihat pada fly ash adanya unsur yang bersifat kristal yang dapat menambah kekuatan secara fisis dan bersifat amorfus yang dapat menambah kekuatan secara kimiawi. SiO<sub>2</sub> yang ada pada fly ash dan bersifat amouf akan bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> atau kapur bebas hasil dari reaksi semen dan air yang menghasilkan senyawa padat yang dapat menambah kekuatan beton secara kimia.

umur beton, kuat tekan makin bertambah tetapi bertambahnya tidak signifikan.

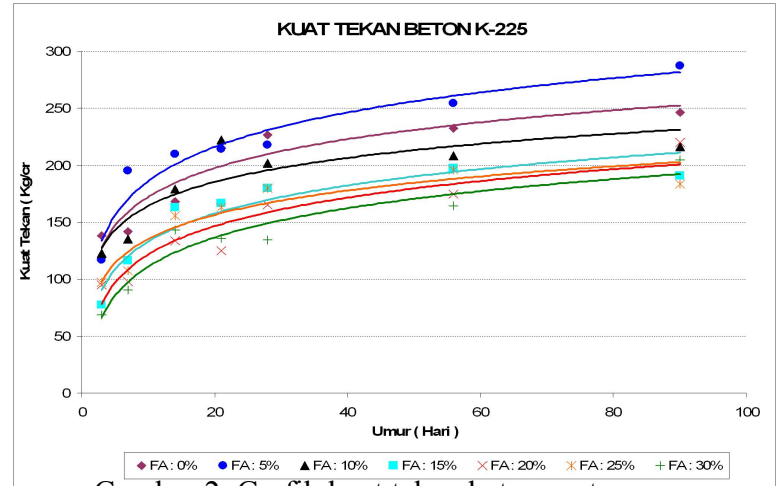
• **Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Campuran Fly Ash**

Dari hasil analisa dan uji propertis material, dilakukan pembuatan rencana campuran untuk mutu beton K-225 ( $f_c' = 19,04$  MPa) tanpa dan campuran fly ash dan pemberian additive. Proporsi campuran material  $1,00 \text{ m}^3$  K-225 adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Komposisi campuran beton

Material	Satuan	K-225
Semen	kg	375.00
Pasir	kg	667.70
Kerikil		
1.0 - 2.5	kg	652.50
2.0 - 3.0	kg	432.50
Air	liter	187.20

Hasil pengujian kuat tekan beton K-225, pada umur 28 dan 90 hari, campuran dengan substitusi fly ash 5% paling tinggi, diikuti substitusi fly ash 0%, substitusi 10%, substitusi 15%, substitusi 20%, substitusi 25% dan substitusi 30% (terlihat pada Gambar 4.3). Bertambahnya persentase substitusi fly ash, kuat tekan beton menjadi berkurang. Jadi untuk K-225, campuran beton dengan substitusi 5% yang optimum. Bertambahnya



Gambar 2. Grafik kuat tekan beton mutu

K-225 dengan berbagai komposisi substitusi fly ash terhadap semen

Hasil pengujian kuat tekan beton K-225 dengan substitusi fly ash 5%, didapatkan kuat tekan dengan additive Sikament NN 2,3% menghasilkan hasil yang paling tinggi, diikuti dengan penambahan additive 1,3%, penambahan additive 0,3% dan tanpa penambahan additive. Penambahan additive 2,3% menghasilkan kuat tekan sebesar 298,59 kg/cm<sup>2</sup> sangat jauh yang disyaratkan sebesar 225 kg/cm<sup>2</sup>. Pada penambahan additive 0,3% kuat tekan umur 28 hari sebesar 279,19 kg/cm<sup>2</sup>, lebih besar yang disyaratkan sebesar 225 kg/cm<sup>2</sup>. Tanpa penambahan additive, kuat tekannya sebesar 218,35 kg/cm<sup>2</sup>, kurang dari yang



disyaratkan sebesar 225 kg/cm<sup>2</sup>. Jadi untuk beton K-225, campuran dengan substitusi 5% dan penambahan additive 0,3% bisa dijadikan standar campuran.

kg/cm<sup>2</sup>, melebihi dari yang disyaratkan untuk beton K-225 sebesar 225 kg/cm<sup>2</sup>.

**DAFTAR PUSTAKA**

Anonim, 1990, Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, SK SNI M-62-1990-03, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Anonim, 1990, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal , SK SNI T-15-1990-03, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

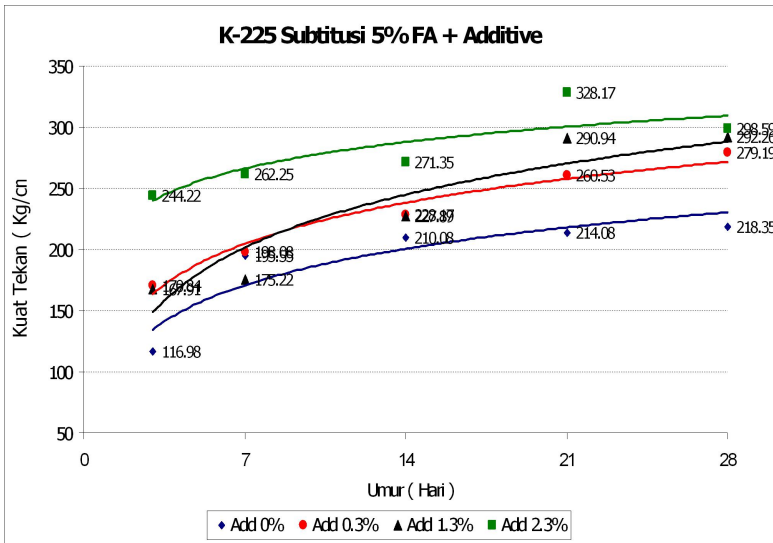
Anonim, 1999, Petunjuk Praktikum Teknologi Beton, Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Anonim, 1982, Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982), Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Bandung

Anonim, 2003, Katalog Produk Sika Indonesia.

Anonim, ASTM C494-92 Type F.

Gambhir, M.L., 1986, Concrete Technology, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton mutu K-225 dengan berbagai komposisi substitusi fly ash terhadap semen dan penambahan additive

**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pengujian kuat tekan beton, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

Beton K-225 dapat dibuat dengan mensubstitusikan semen dengan fly ash sebesar 5% dan ditambahkan additive Sikament NN sebesar 0,3% akan menghasilkan kekuatan sebesar 279,19

Kushartomo, W., 1999, Hidrasi Kimia Pada Semen Portland, Jurnal Teknik Sipil Universitas Tarumanagara No 1 Tahun ke V-Maret, pp 55-64, Jakarta

Tjokrodinuljo, K., 1986, Teknologi Beton, Nafiri, Yogyakarta.

