

Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Memanfaatkan *Fly Ash* dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengisi

Rivaldo Hartono Putra¹⁾

Laksmi Irianti²⁾

Surya Sebayang³⁾

Ratna Widyawati⁴⁾

Abstract

Considering that the waste from burning coal (fly ash) increases every year and can cause quite dangerous environmental impacts, especially on air pollution in surrounding life, it is necessary to use fly ash as a concrete mixture. In this study, the author will use fly ash as a partial replacement for cement and silica fume as an added material to increase the setting time. Variations of fly ash used were 0%, 5%, 10%, and 15% of the total weight of cement and variations of silica fume used were 5% and 10% with a test time of 28 days and 60 days of concrete and added a superplasticizer of 0, 5% by weight of cement. Based on the analysis of research data, it was found that there was an increase in the compressive strength of concrete between concrete containing fly ash and silica fume to concrete without fly ash and silica fume. The greatest compressive strength of concrete occurred in the addition of 15% fly ash and 5% silica fume with a compressive strength value of 41.48 MPa at the age of 28 days and 47.03 MPa at the age of 60 days. This shows that the fly ash content of 15% and the silica fume content of 5% are the optimum levels of addition of fly ash and silica fume for the concrete age of 28 days and 60 days.

Keywords: Fly Ash, Compressive Strength, Silica Fume

Abstrak

Mengingat limbah sisa hasil pembakaran batu bara (*fly ash*) meningkat setiap tahunnya dan dapat menyebabkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama pada polusi udara dalam kehidupan sekitar, maka perlu dilakukan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran beton. Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dan *silica fume* sebagai bahan tambah untuk meningkatkan waktu *setting time*. Variasi *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat total semen dan variasi *silica fume* yang digunakan adalah 5% dan 10% dengan waktu pengujian beton berumur 28 hari dan 60 hari serta ditambahkan *superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen. Berdasarkan analisis data penelitian, didapatkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton antara beton yang memiliki kandungan *fly ash* dan *silica fume* terhadap beton tanpa kandungan *fly ash* dan *silica fume*. Kuat tekan beton terbesar terjadi pada penambahan *fly ash* sebesar 15% dan *silica fume* 5% dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 41,48 MPa dan pada umur 60 hari sebesar 47,03 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kadar *fly ash* 15% dan kadar *silica fume* 5% adalah kadar optimum penambahan *fly ash* dan *silica fume* untuk umur beton 28 hari dan 60 hari.

Kata Kunci : *Fly Ash*, kuat tekan, *Silica Fume*

¹⁾ Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: RivaldoH567@gmail.com

²⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang memiliki peranan cukup penting dan semakin luas seiring dengan laju pembangunan saat ini. Beton terbuat dari pencampuran antara bahan material seperti agregat halus dan agregat kasar dengan menambahkan bahan perekat secukupnya seperti semen, dan air sebagai bahan pembantu untuk membantu berjalannya proses reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung serta jika diinginkan dapat ditambahkan juga bahan tambah (*admixture*). Seiring berjalannya waktu, teknologi beton terus berkembang dan menghasilkan beton mutu tinggi yang dapat menjadi solusi akan kebutuhan beton yang semakin meningkat.. Mengingat limbah sisa hasil pembakaran batu bara (*fly ash*) meningkat setiap tahunnya dan dapat menyebabkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama pada polusi udara dalam kehidupan sekitar, maka dilakukan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran beton. Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dan *silica fume* sebagai bahan tambah untuk mempersingkat waktu *setting time*. Penulis akan melakukan perbandingan antara pengaruh kuat tekan beton mutu tinggi (*high strength concrete*) yang menggunakan *fly ash* dan *silica fume* sebagai terhadap kuat tekan beton mutu tinggi (*high strength concrete*) tanpa menggunakan *fly ash* dan *silica fume*. Variasi *fly ash* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat total semen dan variasi *silica fume* yang digunakan adalah 5% dan 10% dengan waktu pengujian beton berumur 28 hari dan 60 hari.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) merupakan beton yang memiliki kuat tekan yang disyaratkan yaitu F_c' 40 MPa sampai 80 MPa dengan benda uji standar silinder pada umur 56 hari ataupun 90 hari atau tergantung waktu yang ditentukan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2004). Untuk mendapatkan beton dengan mutu tinggi, maka dapat dilakukan dengan beberapa cara. Salah satunya meningkatkan mutu material seperti kekerasan agregat dan kehalusan butir semen. Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah, dari beberapa bahan pengganti dan bahan tambah yang ada seperti *silica fume* dan abu terbang (*fly ash*).

2.2 Bahan Penyusun Beton Mutu Tinggi

2.2.1 Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen PCC (*portland composite cement*) adalah bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gypsum dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain (Badan Standardisasi Nasional, 2004).

2.2.2. Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*)

Semen OPC merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dari proses penggilingan klinker semen dan gypsum. Semen jenis ini digunakan untuk bangunan umum dengan kekuatan tekan yang tinggi yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

2.2.3 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat berupa pasir alam yang berasal dari hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimum 4,75 mm. Syarat gradasi agregat halus untuk adukan dapat dilihat Tabel 1.

Tabel 1. Gradasi Agregat Halus

Saringan	Persen Lolos	
	Pasir Alam	Pasir Olahan
No 4 (4,76 mm)	100	100
No. 8 (2,36 mm)	90 - 100	95 - 100
No. 16 (1,18 mm)	70 - 100	70 - 100
No. 30 (600 μ m)	40 - 75	40 - 75
No. 50 (300 μ m)	10 - 35	20 - 45
No. 100 (150 μ m)	2 - 15	10 - 25
No. 200 (75 μ m)	0	0 - 10

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional, 2002)

2.2.4 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerikil yang berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang didapat dari industri pemecah batu dan memiliki ukuran butiran antara 5 mm - 40 mm. Agregat kasar sebagai material penyusun berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton.

2.2.5 Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton. Penggunaan air diperlukan agar dapat terjadi reaksi kimia dengan semen yang menyebabkan pengikatan antara pasta semen dengan agregat pada saat terjadinya pengerasan, serta menjadi bahan pelumas campuran antara kerikil, pasir, dan semen sehingga memudahkan dalam pengerjaan (*workability*) dan pemadatan. Berdasarkan (ASTM International, 2006), kriteria kandungan zat kimia yang terdapat dalam air dengan batasan tingkat konsentrasi tertentu dalam adukan beton, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batasan Maksimum Kandungan Zat Kimia Dalam Air

No.	Kandungan Unsur Kimia	Konsentrasi Maksimum (ppm)
1	Chlorida (Cl ⁻) Untuk Beton Prategang	500
	Chlorida (Cl ⁻) Untuk Beton Bertulang	1.000
2	Sulfat (SO ₄)	3.000
3	Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O)	60
4	Total Solid	50.000

Sumber: (ASTM International, 2006)

2.3 Silica Fume

Silica fume adalah hasil produksi sampingan dari pemurnian silika dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferrosilikon (ACI 211 committee, 1998). *Silica fume* merupakan partikel kecil yang memiliki ukuran kurang dari 0,1 mikrometer dimana ukurannya lebih kecil dari ukuran portland cement pada umumnya. Sehingga *silica fume* dapat mengisi ruang pada beton. Berdasarkan spesifikasi dari (Holland, 2005), sifat fisik *silica fume* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat Fisik *Silica Fume*

Sifat	Spesifikasi
Ukuran Butiran	< 1 μm
Berat Volume Produksi	130 – 430 kg/m^3
Berat Volume Dipadatkan	480 – 720 kg/m^3
Berat Jenis	2,2
Luas Permukaan	15.000 – 30.000 m^2/kg

Sumber : (Holland, 2005)

2.4 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang merupakan salah satu jenis pozzolan yaitu bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan aluminat yang reaktif (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, 1982). Pozzolan sendiri tidak memiliki sifat semen, tetapi dalam keadaan halus (lolos ayakan 0.21 mm) bereaksi dengan air dan kapur padam pada suhu normal ($24^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}$) menjadi suatu masa yang padat yang tidak larut dalam air.

2.5 Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan tambah kimia (*chemical admixture*) yang dapat melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat tersebar dengan merata pada adukan beton dan dapat meningkatkan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar.

2.6 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 dan 60 hari dengan benda uji berbentuk silinder yang memiliki ukuran 150 mm dan tinggi 300 mm. Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2011), untuk menghitung kuat tekan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

F_c' = Kuat tekan beton (MPa)
 P = Gaya tekan maksimum (N)
 A = Luas penampang benda uji (mm^2).

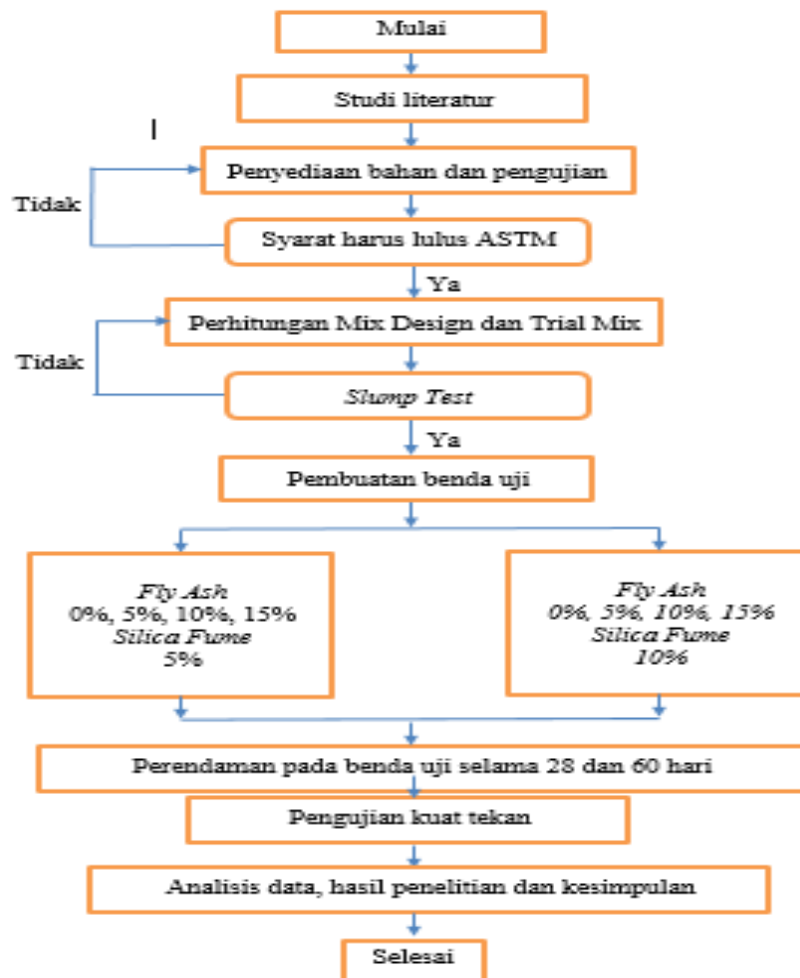
III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dengan judul kuat tekan beton mutu tinggi dengan memanfaatkan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengisi dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3.3 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat berupa silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang digunakan untuk uji kuat tekan. Setiap variasi terdiri dari 3 benda uji yang pengujiannya akan dilakukan pada umur beton 28 hari dan 60 hari. Data dari jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah Benda Uji

Kadar Persentase <i>Fly Ash</i>	Kadar Persentase <i>Silica Fume</i> 5%		Kadar Persentase <i>Silica Fume</i> 10%	
	28 Hari	60 Hari	28 Hari	60 Hari
0%	3	3	3	3
5%	3	3	3	3
10%	3	3	3	3
15%	3	3	3	3
Jumlah	12	12	12	12
Total	48			

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen dan *silica fume* sebagai bahan tambah terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Adapun data hasil dari pengujian yang telah dilakukan akan dibahas lebih detail pada penjelasan dibawah ini.

4.2 Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui data awal material yang akan dipakai pada campuran beton. Pengujian material yang diuji meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan, gradasi, berat volume, kadar lumpur, dan kandungan zat organik. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian digunakan untuk perhitungan campuran beton (*mix design*). Adapun hasil pengujian material dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Material Penyusun Beton

Jenis Pengujian	Material Yang Dipakai	Nilai Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar Air	Agregat Halus	0,6745%	0% - 1%
	Agregat Kasar	2,0408%	0% - 3%
	<i>Fly Ash</i>	1,0286%	-
Berat Jenis	Agregat Halus	2,4962	2,0 – 2,7
	Agregat Kasar	2,5049	2,5 – 2,7
	<i>Fly Ash</i>	1,6640	-
	<i>Silica Fume</i>	2,200	-
Penyerapan	Agregat Halus	1,4590%	2,0 – 2,7
	Agregat Kasar	2,3242%	2,5 – 2,7
	<i>Fly Ash</i>	18,0638%	-
Modulus Kekhalusan	Agregat Halus	2,9834	2,3 – 3,0
Berat Volume	Agregat Halus	1621,8 kg/m ³	-
	Agregat Kasar	1500 kg/m ³	-
Kadar Lumpur	Agregat Halus	1,05%	< 5%
Kandungan Zat Organik	Agregat Halus	Nomor Warna 2	< Nomor Warna 3

Berdasarkan data yang diperoleh dalam tabel 5 diatas, maka dapat dikatakan bahwa material penyusun beton yang digunakan telah memenuhi standar ASTM sehingga dapat digunakan sebagai campuran beton.

4.3 Kebutuhan Material Campuran Beton

Kebutuhan material dihitung dengan menggunakan metode ACI 211.4R-93. Variasi penggunaan *fly ash* yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dari berat semen dan variasi penggunaan *silica fume* yaitu 5% dan 10% dari berat semen. Selain itu, digunakan juga *superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen. Dari hasil perhitungan didapat komposisi kebutuhan material per m³ beton yaitu :

Tabel 6. Komposisi Kebutuhan Material Per m³ Beton Mutu Tinggi Untuk *Silica Fume* 5%

Kebutuhan Material (Kg)	Kandungan <i>Fly Ash</i>			
	0%	5%	10%	15%
Semen (28 Hari)	512,7100	487,0745	461,4390	435,8035
Semen (60 Hari)	485,1004	460,8453	436,5903	412,3353
Air	180,1663	180,1663	180,1663	180,1663
Agregat Halus (28 Hari)	545,6980	545,6980	545,6980	545,6980
Agregat Halus (60 Hari)	568,4785	568,4785	568,4785	568,4785
Agregat Kasar	1080	1080	1080	1080
<i>Fly Ash</i> (28 Hari)	-	25,6355	51,2710	76,9065
<i>Fly Ash</i> (60 Hari)	-	24,2551	48,5101	72,7651
<i>Silica Fume</i> (28 Hari)	-	25,6355	25,6355	25,6355
<i>Silica Fume</i> (60 Hari)	-	24,2551	24,2551	24,2551
<i>Superplasticizer</i> (28 Hari)	2,5636	2,5636	2,5636	2,5636
<i>Superplasticizer</i> (60 Hari)	2,4255	2,4255	2,4255	2,4255

Tabel 7. Komposisi Kebutuhan Material Per m³ Beton Mutu Tinggi Untuk *Silica Fume* 10%

Kebutuhan Material (Kg)	Kandungan <i>Fly Ash</i>			
	0%	5%	10%	15%
Semen (28 Hari)	512,7100	487,0745	461,4390	435,8035
Semen (60 Hari)	485,1004	460,8453	436,5903	412,3353
Air	180,1663	180,1663	180,1663	180,1663
Agregat Halus (28 Hari)	545,6980	545,6980	545,6980	545,6980
Agregat Halus (60 Hari)	568,4785	568,4785	568,4785	568,4785
Agregat Kasar	1080	1080	1080	1080
<i>Fly Ash</i> (28 Hari)	-	25,6355	51,2710	76,9065
<i>Fly Ash</i> (60 Hari)	-	24,2551	48,5101	72,7651
<i>Silica Fume</i> (28 Hari)	-	48,5101	48,5101	48,5101
<i>Silica Fume</i> (60 Hari)	-	24,2551	24,2551	24,2551
<i>Superplasticizer</i> (28 Hari)	2,5636	2,5636	2,5636	2,5636
<i>Superplasticizer</i> (60 Hari)	2,4255	2,4255	2,4255	2,4255

Berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 diatas, dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan jumlah material yang digunakan pada beton umur 28 hari dan 60 hari. Hal ini dikarenakan menurut (ACI 211 committe, 1998), jika umur beton yang digunakan berbeda maka memiliki nilai FAS yang digunakan berbeda juga. Sehingga, pada penelitian ini digunakan nilai FAS sebesar 0,3514 untuk beton umur 28 hari dan nilai FAS sebesar 0,3714 untuk beton umur 60 hari.

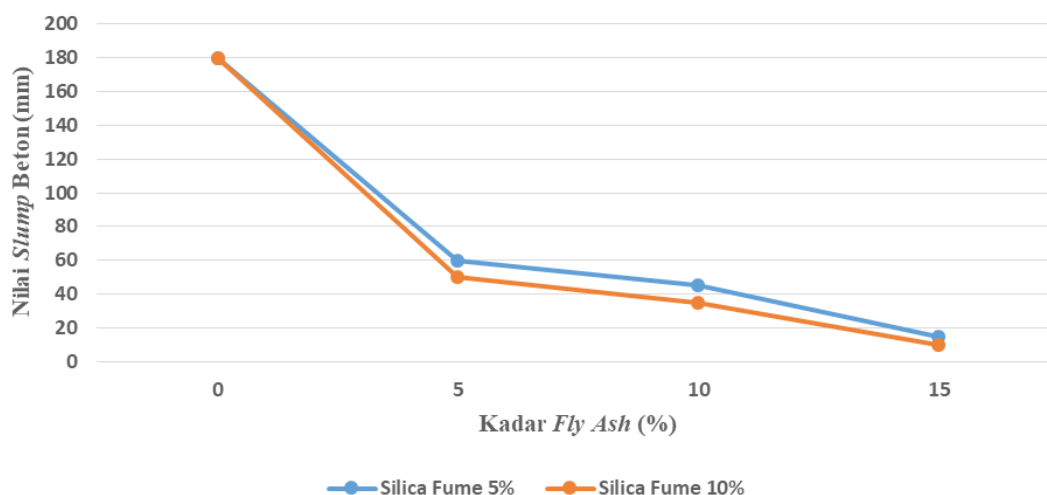
4.4. Kelecekan (*Workability*)

Kelecekan adukan beton (*workability*) dapat dilihat dari nilai *slump*. Kelecekan beton (*workability*) merupakan sifat adukan beton yang menentukan kemudahan dalam pencampuran, pengangkutan, pencetakan, pemadatan, dan *finishing*. Semakin tinggi nilai

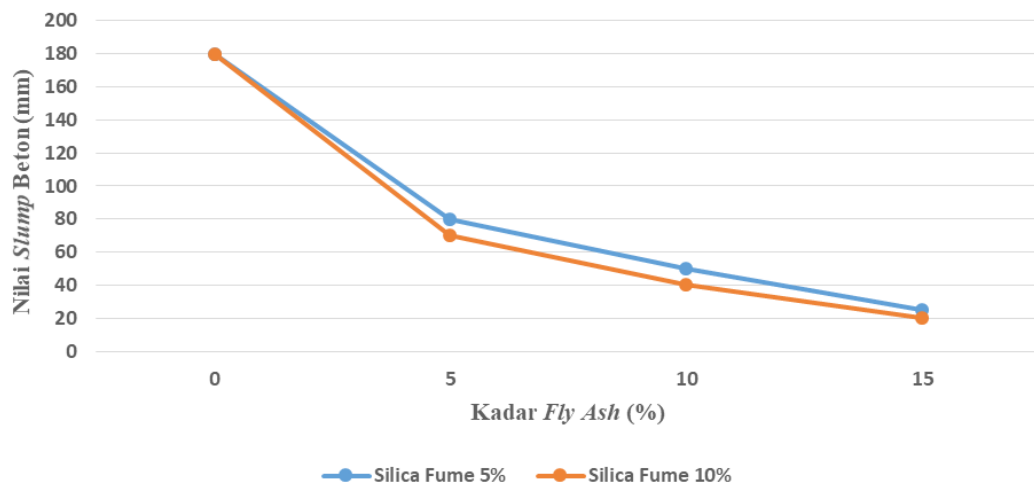
slump maka semakin mudah proses pengerjaan betonnya (*workability* nya). Dalam penelitian ini, nilai *slump* rencana antara 70 mm - 180 mm dengan menggunakan *superplasticizer* sebesar 0,5% dari berat semen. Hasil penelitian nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Slump Beton Mutu Tinggi

Persentase Benda Uji (28 Hari)	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Persentase Benda Uji (60 Hari)	Nilai <i>Slump</i> (mm)
FA 0% + SF 0%	180	FA 0% + SF 0%	180
FA 5% + SF 5%	60	FA 5% + SF 5%	80
FA 10% + SF 5%	45	FA 10% + SF 5%	50
FA 15% + SF 5%	15	FA 15% + SF 5%	25
FA 5% + SF 10%	50	FA 5% + SF 10%	70
FA 10% + SF 10%	35	FA 10% + SF 10%	40
FA 15% + SF 10%	10	FA 15% + SF 10%	20



Gambar 2. Hubungan nilai *slump* beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* umur 28 hari.



Gambar 3. Hubungan nilai *slump* beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* umur 60 hari.

Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 diatas, dapat dilihat bahwa beton dengan kandungan *fly ash* dan *silica fume* memiliki nilai *slump* lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa kandungan *fly ash* dan *silica fume*. Dapat terlihat juga bahwa semakin besar persentase kadar *fly ash* dan *silica fume* dalam campuran beton, maka kelecakan beton (nilai *slump*) akan semakin rendah. Nilai *slump* pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Panjaitan, 2015) dan (Mohamad et al., 2020) yang menyatakan bahwa beton mutu tinggi menggunakan nilai FAS rendah yang berarti air yang digunakan sangat sedikit, sehingga nilai *slump* rendah. Penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap nilai *slump*, semakin besar persentase *fly ash* pada adukan beton maka nilai *slump* semakin kecil. Hal ini dikarenakan *fly ash* dan *silica fume* memiliki ukuran butiran yang sangat halus sehingga memiliki sifat penyerapan air (*absorpsi*) yang tinggi.

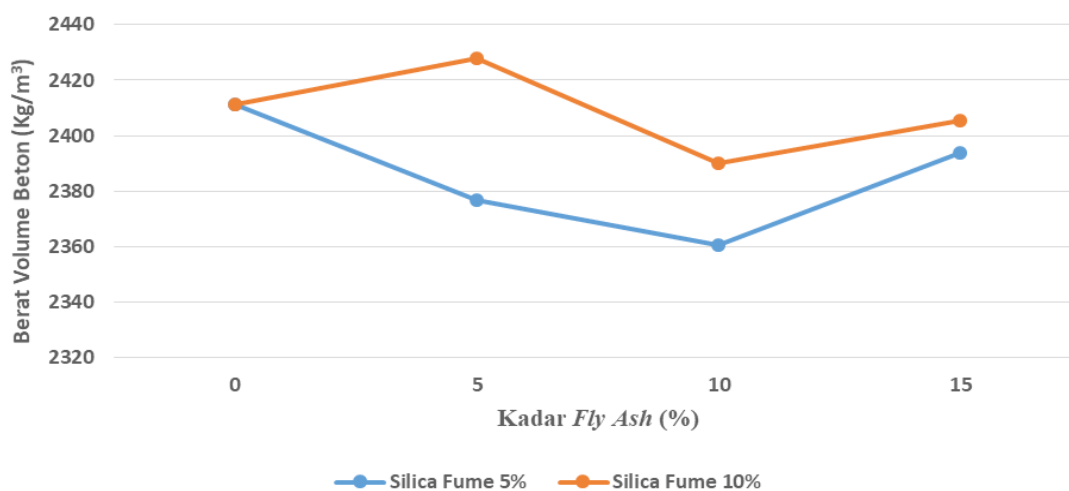
Berdasarkan Tabel 8, dapat terlihat juga bahwa nilai *slump* beton berumur 28 hari lebih rendah dibandingkan nilai *slump* beton berumur 60 hari. Hal ini dikarenakan walaupun persentase *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada beton berumur 28 hari dan 60 hari sama, namun memiliki jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang berbeda dimana jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada campuran beton berumur 28 hari lebih besar dibandingkan jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada campuran beton berumur 60 hari. Sehingga, nilai FAS beton umur 28 hari lebih kecil dibandingkan nilai FAS beton umur 60 hari dan menghasilkan nilai *slump* beton umur 28 hari lebih rendah dibandingkan beton umur 60 hari.

4.5 Berat Volume Beton

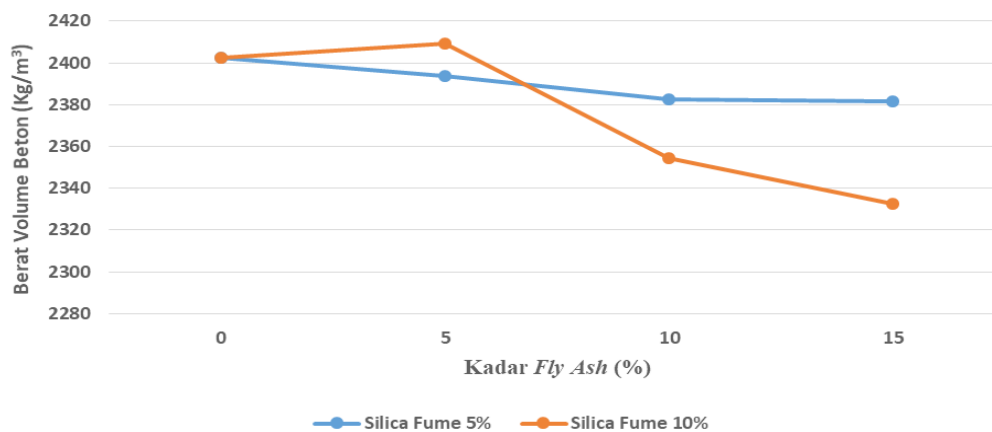
Berat volume beton didapatkan dari perbandingan antara berat beton dengan volumenya. Pengujian berat volume beton dilakukan sebelum pengujian benda uji silinder. Hasil pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 9. Hubungan berat volume beton dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 9. Hasil Pengujian Berat Volume Beton Mutu Tinggi

Persentase Benda Uji	Berat Volume (kg/m ³)	
	28 Hari	60 Hari
FA 0% + SF 0%	2411,3863	2402,5163
FA 5% + SF 5%	2376,7241	2393,7721
FA 10% + SF 5%	2360,4309	2382,7632
FA 15% + SF 5%	2393,8979	2381,8196
FA 5% + SF 10%	2427,9311	2409,1216
FA 10% + SF 10%	2389,8718	2354,2030
FA 15% + SF 10%	2405,2843	2332,7514



Gambar 4. Hubungan berat volume beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* untuk umur 28 hari.



Gambar 5. Hubungan berat volume beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* untuk umur 60 hari.

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 diatas, dapat dilihat bawah semakin besar kadar *fly ash* dalam adukan beton, maka berat volume beton akan semakin kecil. Hasil pengujian berat volume pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Panjaitan, 2015) yang menyatakan bahwa penggunaan variasi abu terbang cenderung menurunkan berat volume beton. Hal ini dikarenakan berat volume beton berbanding lurus dengan berat jenis material penyusun beton dimana berat jenis *fly ash* lebih rendah daripada berat jenis semen. Akan tetapi, semakin besar kadar *silica fume* dalam adukan beton maka berat volume beton akan semakin besar. Hal ini dikarenakan *silica fume* dalam penelitian ini berfungsi sebagai bahan tambah, sehingga *silica fume* dapat menambah berat volume beton dimana semakin besar kadar *silica fume* maka semakin besar pula berat volume beton. Berat volume beton yang beragam dapat dipengaruhi oleh proporsi campuran beton, proses pemadatan beton segar saat pengecoran dan banyaknya *fly ash* dan *silica fume* yang terdapat pada beton.

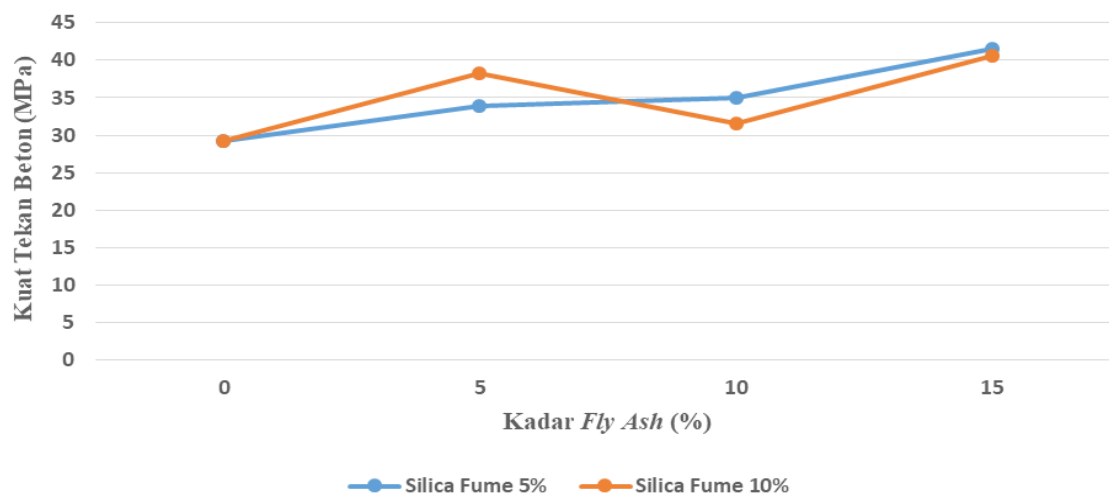
Berdasarkan Tabel 9, dapat terlihat juga bahwa berat volume beton berumur 28 hari lebih besar dibandingkan berat volume beton berumur 60 hari. Hal ini dikarenakan walaupun persentase *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada beton berumur 28 hari dan 60 hari sama, namun memiliki jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang berbeda dimana jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada campuran beton berumur 28 hari lebih besar dibandingkan jumlah *fly ash* dan *silica fume* yang digunakan pada campuran beton berumur 60 hari. Sehingga, beton berumur 28 hari memiliki berat volume yang lebih besar dibandingkan berat volume beton berumur 60 hari.

4.6 Kuat Tekan Beton

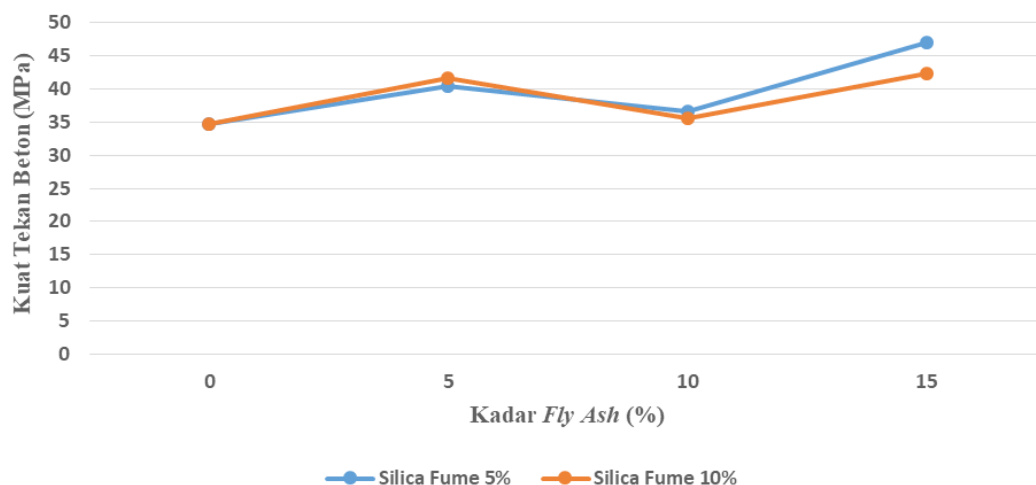
Hasil pengujian kuat tekan beton mutu tinggi didapatkan dari pengujian kuat tekan rata-rata tiga buah benda uji beton silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada setiap masing-masing variasi *fly ash* dan *silica fume* pada umur 28 hari dan 60 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 10 dan Gambar 6 dan Gambar 7 berikut ini.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Persentase Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	
	28 Hari	60 Hari
FA 0% + SF 0%	29,16	34,70
FA 5% + SF 5%	33,87	40,38
FA 10% + SF 5%	35,06	36,64
FA 15% + SF 5%	41,48	47,03
FA 5% + SF 10%	38,30	41,74
FA 10% + SF 10%	31,63	35,58
FA 15% + SF 10%	40,58	42,42



Gambar 6. Hubungan kuat tekan beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* untuk umur 28 hari.

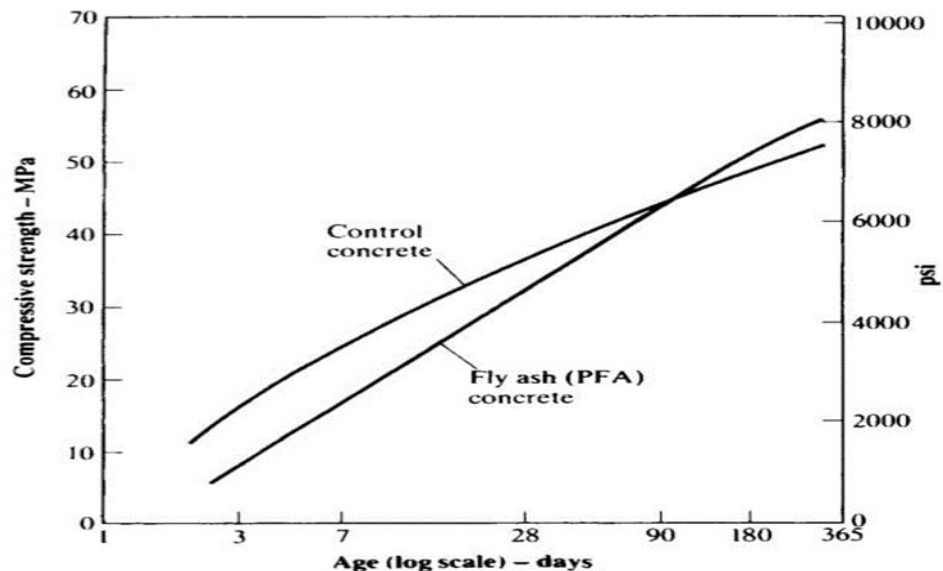


Gambar 7. Hubungan kuat tekan beton terhadap kadar *fly ash* dan *silica fume* untuk umur 60 hari.

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 diatas, terlihat bahwa penggunaan *fly ash* dan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal. Dapat terlihat bahwa semakin besar kadar *fly ash*, maka kuat tekan beton akan semakin tinggi. Hasil pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wayan Suarnita, 2011) yang menyatakan bahwa semakin besar kadar abu terbang (*fly ash*) yang digunakan semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Hal ini karena *fly ash* memiliki sifat pozzolan untuk memperbaiki mutu beton dimana terdapat kandungan utama silikat dioksida (SiO_2) maka pada suhu biasa dapat bereaksi secara kimiawi dengan kapur bebas (Ca(OH)_2) yang merupakan hasil sampingan proses hidrasi antara semen dan air menghasilkan calcium-silikat-hidrat (C-S-H) yang merupakan sumber kekuatan beton. Sedangkan semakin besar kadar *silica fume*, maka kuat tekan

beton akan semakin rendah. Hasil pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Wicaksono, 2018) yang menyatakan bahwa pada kadar tertentu, kuat tekan beton dengan *silica fume* akan menurun. Hal ini dikarenakan *silica fume* yang menyerap air menyebabkan kandungan air didalam beton berkurang dan menyebabkan nilai FAS beton menjadi lebih kecil. Nilai FAS beton yang rendah tidak selalu meningkatkan kuat tekan beton. Akan tetapi, pada suatu nilai FAS tertentu akan menghasilkan kuat tekan yang rendah.

Berdasarkan Tabel 10 diatas, dapat terlihat juga bahwa kuat tekan beton berumur 28 hari lebih rendah dibandingkan kuat tekan beton berumur 60 hari. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama umur beton maka kuat tekannya akan semakin meningkat pada setiap faktor air semen. Hal ini dikarenakan kuat tekan beton dapat terus meningkat hingga umur 365 hari dimana proses hidrasi dari C_3S dan C_2S terus berlangsung hingga hari ke 365 menyebabkan meningkatnya kuat tekan beton. Oleh karena itu, kuat tekan beton berumur 60 hari akan lebih besar dibandingkan kuat tekan beton berumur 28 hari.



Sumber: (M., A.Neville, 2010)

Gambar 8. Perbandingan kuat tekan beton terhadap umur beton.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Material penyusun beton yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi standar ASTM sehingga dapat digunakan sebagai campuran beton.
2. Beton dengan kandungan *fly ash* dan *silica fume* memiliki nilai *slump* lebih rendah dibandingkan dengan beton tanpa kandungan *fly ash* dan *silica fume*. Semakin besar persentase kadar *fly ash* dan *silica fume* dalam campuran beton, maka kelecakan beton (nilai *slump*) akan semakin rendah.

3. Semakin besar kadar *fly ash* dalam adukan beton, maka berat volume beton akan semakin kecil. Akan tetapi, semakin besar kadar *silica fume* dalam adukan beton maka berat volume beton akan semakin besar.
4. Penggunaan *fly ash* dan *silica fume* dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal. Dapat terlihat bahwa semakin besar kadar *fly ash*, maka kuat tekan beton akan semakin tinggi. Akan tetapi, semakin bertambahnya kadar *silica fume*, maka kuat tekan beton akan semakin rendah.
5. Kuat tekan beton normal umur 28 hari sebesar 29,16 MPa. Sedangkan kuat tekan beton dengan kadar *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15% dengan penambahan kadar *silica fume* 5% dan 10% berturut-turut sebesar 33,87 MPa, 35,06 MPa, 41,48 MPa, 38,30 MPa, 31,63 MPa, dan 40,58 MPa.
6. Kuat tekan beton normal umur 60 hari sebesar 34,70 MPa. Sedangkan kuat tekan beton dengan kadar *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15% dengan penambahan kadar *silica fume* 5% dan 10% berturut-turut sebesar 40,38 MPa, 36,64 MPa, 47,03 MPa, 41,74 MPa, 36,58 MPa, dan 42,42 MPa.
7. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran pada beton memiliki dampak positif untuk meningkatkan kuat tekan beton mutu tinggi. Pemanfaatan *fly ash* juga sebagai bahan campuran beton juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan menguntungkan secara ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211 committe, 1998. ACI 211.4R-93 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal. *ACI Materials Journal*.
- ASTM International, 2006. ASTM C1602 2006 Standard Specification for Ferrosilicon.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002. *SNI 03-6820-2002 Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2004. *SNI 15-7064-2004 Semen Portland Komposit*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional, 2011. SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*. Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Holland, T.C., 2005. *Silica fume user's manual*. Federal Highway Administration. Washington.
- Kementrian Pekerjaan Umum, 2004. *SNI PD T-04-2004-C Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta. Bandung: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- M., A.Neville, J.J.B., 2010. *Concrete Technology*. Second. England: Pearson Education.

- Mohamad, R.M., Rachman, A., and Mointi, R., 2020. Kuat Tekan Beton Untuk Mutu Tinggi 45 MPA Dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti, 8 (1), 25–33.
- Panjaitan, A. dkk, 2015. Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Sebagian Sifat Beton Segar dan Beton Keras. *Jom FTEKNIK*, 2 (2), 47–55.
- Wayan Suarnita, 2011. Kuat Tekan Beton Dengan Aditif Fly Ash EX. PLTU Mpanau Tavaeli. *Jurnal SMARTek*, 9 No.1, 1–10.
- Wicaksono, B. dkk, 2018. Pengaruh Fly Ash Dengan Penambahan Cacahan Karet, Silica Fume Dan Superplasticizer Terhadap Beton. *Forum Mekanika*, 7 (1), 1–12.