

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Bahan

Bahan campuran beton, sebelum digunakan harus melalui serangkaian pengujian bahan terlebih dahulu. Selain dibutuhkan dalam perhitungan *mix design* aktual, data pengujian tersebut juga berfungsi sebagai acuan apakah bahan yang digunakan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan atau tidak. Karena kualitas beton yang dihasilkan sangat ditentukan oleh bahan penyusun beton tersebut. Pengujian bahan yang dilakukan adalah pengujian agregat halus, pengujian agregat kasar, dan pengujian abu terbang (*fly ash*).

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat halus. Pengujian tersebut meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, berat satuan volume, gradasi butiran agregat, kadar air, kandungan lumpur, kandungan zat organik.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,70 dan nilai penyerapan pada agregat halus sebesar 1,01%. Berat jenis agregat halus akan mempengaruhi berat beton yang dihasilkan. Berat jenis yang tinggi akan menyebabkan beton yang dihasilkan menjadi lebih berat. Penyerapan agregat halus mempengaruhi jumlah air yang dibutuhkan pada *mix design*. Penyerapan

yang tinggi akan menyebabkan kebutuhan air yang digunakan menjadi lebih tinggi.

b. Pemeriksaan berat satuan volume agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai berat satuan volume agregat halus sebesar 1,605 gr/cm³. Berat satuan volume agregat halus mempengaruhi jumlah kebutuhan agregat halus jika ditinjau dari volumenya. Berat satuan volume yang tinggi akan meningkatkan jumlah agregat halus yang didapat tiap satuan volume.

c. Pemeriksaan gradasi butiran agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai gradasi butiran agregat halus sebesar 3,146. Gradasi butiran agregat halus mempengaruhi kepadatan suatu beton. Gradasi butiran yang beragam akan saling mengisi rongga yang terdapat pada beton. Syarat gradasi butiran agregat halus adalah 1,5 hingga 3,8.

d. Pemeriksaan kadar air pada agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai kadar air agregat halus sebesar 5%. Kadar air agregat halus akan mempengaruhi kebutuhan air pada *mix design*. Kadar air agregat yang tinggi akan menimbulkan pengurangan kebutuhan air yang tinggi pada *mix design*.

e. Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai kandungan lumpur agregat halus sebesar 1%. Kandungan lumpur agregat halus akan mempengaruhi ikatan agregat halus dengan air, sehingga kebutuhan air akan mengalami peningkatan. Kandungan lumpur yang tinggi akan menurunkan kuat tekan beton. Syarat

kandungan lumpur agregat halus adalah $\leq 5\%$.

f. Pemeriksaan kandungan zat organik agregat halus

Pada pengujian ini didapatkan nilai kandungan zat organik dengan indikator Gardner Standard Color no. 5. Kandungan zat organik akan mempengaruhi proses hidrasi semen dengan menimbulkan asam yang mampu bereaksi dengan semen yang sedang mengeras. Kandungan zat organik yang tinggi akan menghambat proses hidrasi semen dan membuat beton lebih lama mengeras. Syarat kandungan zat organik agregat halus adalah indikator dengan warna kuning.

Secara keseluruhan, hasil pengujian terhadap agregat halus cukup baik, karena telah memenuhi persyaratan yang ditentukan. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat halus layak untuk digunakan sebagai bahan bangunan.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat kasar. Pengujian tersebut meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, berat satuan volume, gradasi butiran agregat, kadar air, kandungan lumpur, dan keausan agregat.

a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada pengujian ini didapatkan nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,62 dan nilai penyerapan pada agregat kasar sebesar 2,88%. Berat jenis agregat kasar akan mempengaruhi berat beton yang dihasilkan. Berat jenis yang rendah akan menyebabkan beton yang dihasilkan menjadi lebih ringan. Penyerapan agregat

kasar mempengaruhi jumlah air yang dibutuhkan pada *mix design*. Penyerapan yang rendah akan menyebabkan kebutuhan air yang digunakan menjadi lebih rendah.

b. Pemeriksaan berat satuan volume agregat kasar

Pada pengujian ini didapatkan nilai berat satuan volume agregat kasar sebesar $1,27 \text{ gr/cm}^3$. Berat satuan volume agregat kasar akan mempengaruhi jumlah kebutuhan agregat kasar jika ditinjau dari volumenya. Berat satuan volume yang rendah akan menurunkan jumlah agregat kasar yang didapat tiap satuan volume.

c. Pemeriksaan gradasi butiran agregat kasar

Pada pengujian ini didapatkan nilai gradasi butiran agregat kasar sebesar 6,468. Gradasi butiran agregat kasar mempengaruhi kepadatan suatu beton. Gradasi butiran yang seragam akan menimbulkan rongga yang terbuka pada beton. Syarat gradasi butiran agregat kasar adalah 6 hingga 7,1.

d. Pemeriksaan kadar air pada agregat kasar

Pada pengujian ini didapatkan nilai kadar air agregat kasar sebesar 2%. Kadar air agregat kasar akan mempengaruhi kebutuhan air pada *mix design*. Kadar air agregat yang rendah akan menimbulkan pengurangan kebutuhan air yang rendah pada *mix design*.

e. Pemeriksaan kandungan lumpur agregat kasar

Pada pengujian ini didapatkan nilai kandungan lumpur agregat kasar sebesar 1%. Kandungan lumpur agregat kasar akan mempengaruhi ikatan agregat kasar dengan air, sehingga kebutuhan air akan mengalami peningkatan.

Kandungan lumpur yang rendah akan meningkatkan kuat tekan beton. Syarat kandungan lumpur agregat kasar adalah $\leq 1\%$.

f. Pemeriksaan keausan agregat kasar dengan mesin LAA

Pada pengujian ini didapatkan nilai keausan agregat kasar sebesar 21,42%.

Keausan agregat kasar akan mempengaruhi tingkat kekerasan dan ketahanan suatu beton terhadap sifat mekanis. Keausan agregat yang rendah akan meningkatkan kuat tekan beton. Syarat keausan agregat kasar adalah $\leq 40\%$.

Secara keseluruhan, hasil pengujian terhadap agregat kasar cukup baik, karena telah memenuhi persyaratan yang ditentukan. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat kasar layak untuk digunakan sebagai bahan bangunan.

5.1.3 Pengujian Abu Terbang (*Fly ash*)

Pengujian *fly ash* bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia dalam *fly ash* dan untuk mengetahui golongan atau tipe *fly ash* tersebut. Sebelum dilakukan pengujian, *fly ash* terlebih dahulu harus melalui proses pembakaran oleh *furnace*. Hal tersebut bertujuan agar didapat hasil yang akurat saat dilakukan pengujian kandungan senyawa kimia. Karena jika *fly ash* diuji tanpa dibakar, kandungan karbon yang terdapat dalam *fly ash* akan terlihat sangat besar, sehingga hasil pengujian tidak memenuhi syarat. Pengujian *fly ash* ini dilaksanakan di Laboratorium Analisis Instrumental, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan adalah dengan metode analisis EDX. Hasil pengujian senyawa kimia yang terdapat pada *fly ash* dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Abu Terbang (*Fly ash*)

No.	Parameter	Persentase (%)	Standar
1	SiO ₂	44,257	
2	Al ₂ O ₃	21,725	
3	Fe ₂ O ₃	12,264	
4	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	78,246	≥70%
5	CaO	9,199	≤ 10%
6	MgO	8,876	
7	SO ₃	1,674	
8	K ₂ O	0,780	
9	TiO ₂	0,748	
10	MnO	0,189	
11	Er ₂ O ₃	0,106	
12	SrO	0,060	
13	V ₂ O ₅	0,051	
14	ZnO	0,017	
15	ZrO ₂	0,016	
16	Cr ₂ O ₃	0,014	
17	PbO	0,010	
18	NiO	0,008	
19	Y ₂ O ₃	0,004	

Berdasarkan data yang didapatkan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa abu terbang (*fly ash*) yang digunakan adalah tipe F. Penetapan tipe tersebut karena jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ yang terkandung sebesar 78.246% dan CaO yang terkandung sebesar 9.199% masuk dalam persyaratan abu terbang (*fly ash*) tipe F. Persyaratan tersebut adalah jumlah SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ ≥ 70% dan CaO ≤ 10%.

Menurut ASTM C.618 abu terbang (*fly ash*) tipe F adalah *fly ash* yang memiliki sifat *pozzolan* yang pada dasarnya juga memenuhi kriteria sebagai *fly ash* tipe C. *Fly ash* tipe F cenderung memiliki kandungan silika yang lebih tinggi (≥ 70%) dibandingkan dengan tipe C (≥ 50%), akan tetapi memiliki kandungan kalsium yang lebih rendah (≤ 10%) dibandingkan dengan tipe C (≥ 10%). Dengan demikian *fly ash* tipe F cocok untuk penggunaan dalam kadar yang tinggi sebagai

beton struktural, *fly ash* tipe F juga memiliki ketahanan terhadap paparan sulfat yang tinggi. Hal tersebut juga didukung dengan beberapa konstruksi di dunia yang juga menggunakan beton HVFA. Konstruksi yang menggunakan beton HVFA tersebut dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Bangunan dengan Beton *High Volume Fly ash*

No	Nama Bangunan	Kelas <i>Fly ash</i>	Jumlah <i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Jumlah Semen (kg/m ³)	Mutu Beton (MPa)
1	Concrete blok untuk satelit komunikasi di Ottawa, Kanada (1987)	Kelas F	193	151	46 (91 hari)
2	Landasan parkir di komplek hotel dan perkantoran, Haliax, Canada (1988)	Kelas F	220	180	50 (120 hari)
3	Tempat kerja pekerja seni, Vancouver, Canada (2001)	Kelas F	195	195	41 (28 hari)
4	Peningkatan struktur tahan gempa Barker Hall University of Caliornia Berkeley, USA (2001)	Kelas F	197	160	38 (28 hari)
5	Perkerasan jalan beton, Punjab, India (2002)	Kelas F	225	225	41 (28 hari)

Sumber: Solikin, 2012

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa *fly ash* yang digunakan mencapai kadar > 50%. Kenyataan tersebut menjawab keraguan tentang penerapan teknologi beton HVFA di lapangan. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa *fly ash* tipe F tersebut layak digunakan sebagai bahan substitusi semen.

5.2 Kebutuhan Bahan Susun Beton

Perhitungan *mix design* menggunakan perhitungan sesuai SNI 03-6468-2000 tentang “Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen *Portland* dengan Abu Terbang”. Kebutuhan bahan per 1 m³ campuran beton dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Kebutuhan Bahan Susun per 1 m³ Campuran Beton

Kode Beton	Pasir (kg)	Split (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Air (kg)	Superplasticizer (kg)
BN	700,643	842,010	637,542	0,000	160,515	3,825
BFA 50	700,643	842,010	318,771	318,771	160,515	3,825
BFA 60	700,643	842,010	255,017	382,525	160,515	3,825
BFA 70	700,643	842,010	191,263	446,279	160,515	3,825

Pembuatan benda uji untuk setiap variasi dilaksanakan pada hari yang sama. Dalam satu kali proses, dibuat benda uji sebanyak 8 silinder besar dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dan 2 silinder kecil dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Kebutuhan bahan tiap variasi dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Kebutuhan Bahan Susun Tiap Variasi Beton

Kode Beton	Pasir (kg)	Split (kg)	Semen (kg)	Fly ash (kg)	Air (kg)	Superplasticizer (kg)
BN	43,459	52,227	39,545	0,000	9,956	0,237
BFA 50	43,459	52,227	19,772	19,772	9,956	0,237
BFA 60	43,459	52,227	15,818	23,727	9,956	0,237
BFA 70	43,459	52,227	11,863	27,681	9,956	0,237

5.3 Analisis Beton Segar

Selama pembuatan benda uji sempat terjadi perubahan kebutuhan air yang digunakan. Perubahan tersebut dikarenakan penggunaan *superplasticizer* sangat berpengaruh pada *workability* adukan beton. *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam tipe *high range water reducer*, sehingga dalam penggunaannya *superplasticizer* tersebut mampu mereduksi 20% - 30% kebutuhan air. Penambahan air yang telah dicampur *superplasticizer* dilakukan secara bertahap untuk menghindari adukan beton yang terlalu encer. Penambahan air dihentikan apabila adukan telah terlihat lecek dan mudah untuk dikerjakan. Kebutuhan air setelah proses *mixing* berkurang sebesar 20% dari kebutuhan air

yang telah dihitung pada *mix design*. Perhitungan kebutuhan air dilakukan dengan cara menambahkan kembali kebutuhan air yang sebelumnya telah dikurangi dengan kadar air agregat halus dan kasar, kemudian kebutuhan air untuk 1m^3 dibagi dengan kebutuhan bahan bersifat semen untuk 1m^3 . Nilai f.a.s. yang didapat berubah dari 0,33 menjadi 0,28. Dengan berubahnya nilai f.a.s. menjadi lebih kecil, maka akan berdampak pada kuat tekan yang semakin tinggi. Perubahan kebutuhan air saat pembuatan benda uji dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perubahan Kebutuhan Air Saat Pembuatan Benda Uji

Jenis Beton	Kode	Kebutuhan Air Awal (liter)	Kebutuhan Air Akhir (liter)
Beton Normal dengan <i>Superplasticizer</i>	BN	9,956	7,965
Beton HVFA dengan <i>Superplasticizer</i>	BFA 50	9,956	7,965
	BFA 60	9,956	7,965
	BFA 70	9,956	7,965

Dari data perubahan kebutuhan air saat pembuatan benda uji di atas dapat dilihat bahwa *superplasticizer* dapat mereduksi kebutuhan air 20%, akan tetapi adukan beton tetap mudah dikerjakan. Dengan penggunaan air yang sama pada setiap variasi beton, nilai *slump* yang didapatkan tetap berbeda-beda dan jauh dari target *slump* yang diinginkan. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penambahan kadar *fly ash* pada beton HVFA juga dapat meningkatkan *workability*. Bentuk partikel *fly ash* yang berupa butiran bulat memberikan keuntungan untuk mengurangi gesekan antara bahan pengikat dengan agregat. Berkurangnya gesekan antar partikel mengakibatkan jumlah air yang dibutuhkan untuk pembuatan beton dengan tinggi *slump* yang sama menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan beton normal yang dibuat tanpa *fly ash* (Sata dkk., 2007).

Nilai *slump* yang didapat pada penelitian ini sesuai dengan kebutuhan air akhir dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Slump*

Jenis Beton	Kode	Kebutuhan Air (liter)	Nilai <i>Slump</i> (mm)
Beton Normal dengan <i>Superplasticizer</i>	BN	7,965	170
Beton HVFA dengan <i>Superplasticizer</i>	BFA 50	7,965	200
	BFA 60	7,965	210
	BFA 70	7,965	230

5.4 Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis beton bertujuan agar beton yang dihasilkan pada penelitian ini dapat diklasifikasikan ke dalam jenis beton yang telah ditentukan. Pengujian berat jenis beton dilakukan dengan cara menimbang beton terlebih dahulu dan dicatat beratnya. Kemudian berat beton tersebut dibagi dengan luas penampang silinder beton. Setelah itu, berat jenis tiap variasi beton dirata-rata sehingga didapat berat jenis beton rerata. Berat jenis beton rerata inilah yang akan diklasifikasikan ke dalam jenis beton yang telah ditentukan. Beton dibagi menjadi 4 jenis sesuai dengan berat jenis dan pemakaiannya. Jenis beton menurut berat jenis dan pemakaiannya dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Jenis Beton Menurut Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (gram/cm ³)	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	<1,00	Non Struktur
Beton Ringan	1,00-2,00	Struktur Ringan
Beton Normal	2,30-2,50	Struktur
Beton Berat	>3,00	Perisai Sinar

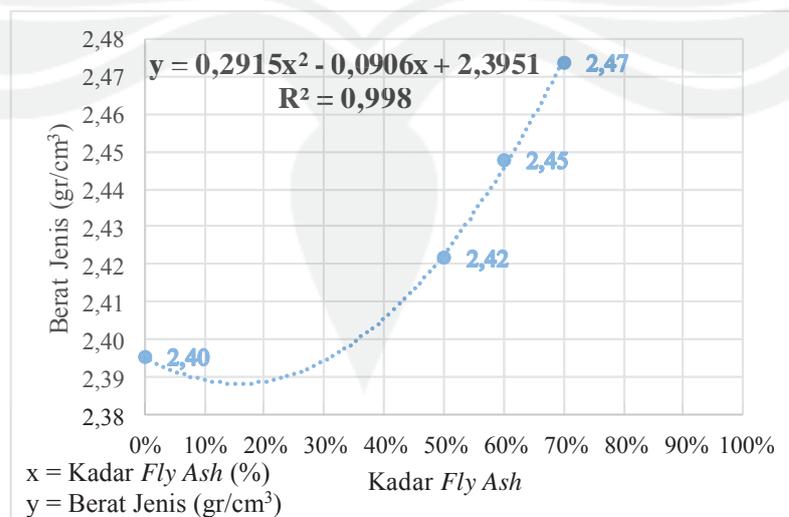
Sumber: Tjokrodinuljo, 1996

Hasil pengujian berat jenis setiap variasi benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 5.8.

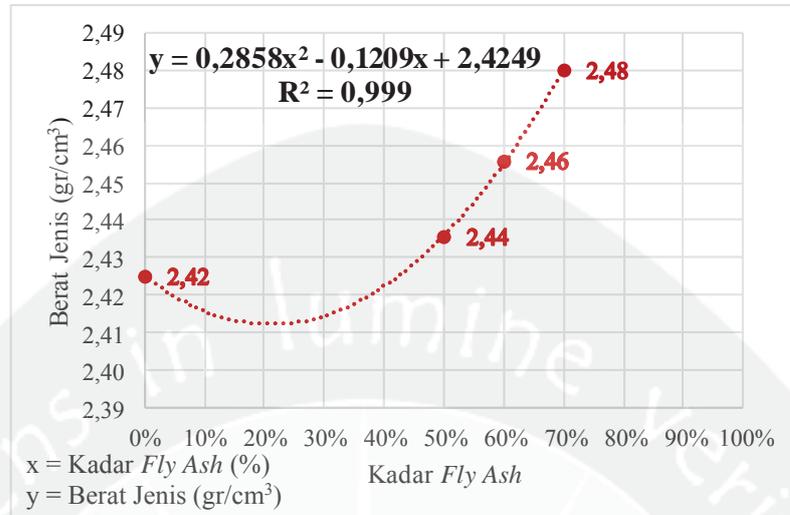
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Beton 28 Hari dan 56 hari

Kode Beton	Berat Jenis Beton (gr/cm ³)		Kode Beton	Berat Jenis Beton (gr/cm ³)	
	Hasil	Rerata		Hasil	Rerata
BN – A	2,37	2,40	BN – F	2,52	2,42
BN – B	2,45		BN – G	2,33	
BN – C	2,35		BN – H	2,41	
BN – D	2,47		BN – I	2,47	
BN – E	2,34		BN – J	2,41	
BFA 50 – A	2,42	2,42	BFA 50 – F	2,42	2,44
BFA 50 – B	2,47		BFA 50 – G	2,32	
BFA 50 – C	2,43		BFA 50 – H	2,47	
BFA 50 – D	2,49		BFA 50 – I	2,51	
BFA 50 – E	2,31		BFA 50 – J	2,46	
BFA 60 – A	2,48	2,45	BFA 60 – F	2,46	2,46
BFA 60 – B	2,44		BFA 60 – G	2,43	
BFA 60 – C	2,42		BFA 60 – H	2,46	
BFA 60 – D	2,44		BFA 60 – I	2,47	
BFA 60 – E	2,46		BFA 60 – J	2,46	
BFA 70 – A	2,44	2,47	BFA 70 – F	2,44	2,48
BFA 70 – B	2,46		BFA 70 – G	2,45	
BFA 70 – C	2,45		BFA 70 – H	2,51	
BFA 70 – D	2,55		BFA 70 – I	2,51	
BFA 70 – E	2,47		BFA 70 – J	2,49	

Untuk lebih jelasnya, *trend* peningkatan berat jenis beton HVFA 28 hari dan 56 hari dapat dilihat pada gambar 5.1 dan 5.2.



Gambar 5.1 Berat Jenis Beton Rata-rata 28 Hari



Gambar 5.2 Berat Jenis Beton Rata-rata 56 Hari

Dari data berat jenis di atas, dapat disimpulkan bahwa beton HVFA termasuk ke dalam beton normal karena berat jenisnya berkisar antara 2,4 gr/cm³ – 2,5 gr/cm³ dan termasuk ke dalam beton struktural. Penambahan kadar *fly ash* dapat menyebabkan berat jenis beton HVFA meningkat. Pada umur beton 28 hari peningkatan berat jenis beton HVFA terhadap beton normal untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut sebesar 1,10%; 2,19%; dan 3,28%, sedangkan pada umur beton 56 hari berturut-turut sebesar 0,44%; 1,27%; dan 2,27%. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran butir *fly ash* (1 μm – 150 μm) yang lebih halus dibandingkan dengan semen menyebabkan beton yang dihasilkan menjadi lebih padat karena setiap rongga yang terdapat pada beton dapat terisi penuh, sehingga beton menjadi lebih berat daripada beton normal.

5.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

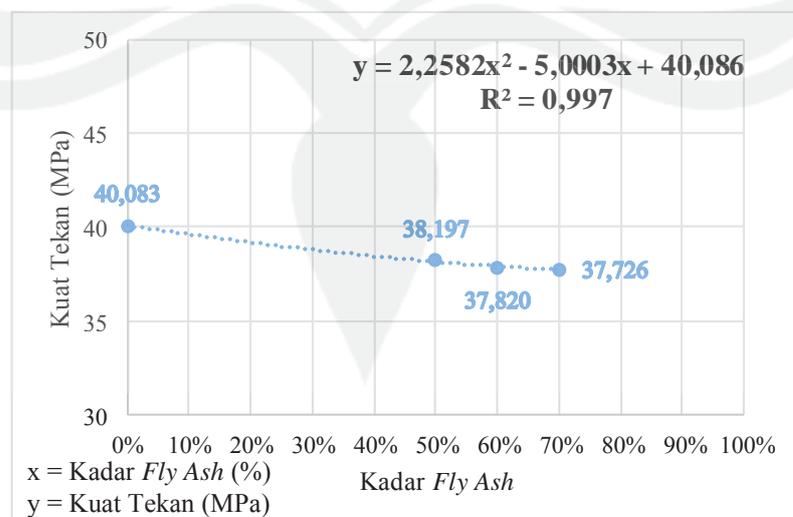
Pengujian kuat tekan beton ini menggunakan mesin *Compressing Testing Machine* merek *ELE* dengan cara silinder beton ditekan pada permukaan atasnya

hingga hancur. Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan *capping* belerang pada permukaan silinder beton untuk memperbaiki permukaan beton yang tidak rata ataupun miring. Pengujian dilakukan pada variasi beton dengan umur beton 28 hari dan 56 hari. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta pada hari yang sama pada setiap variasi. Hasil pengujian kuat tekan umur beton 28 hari dan 56 hari dapat dilihat pada tabel 5.9.

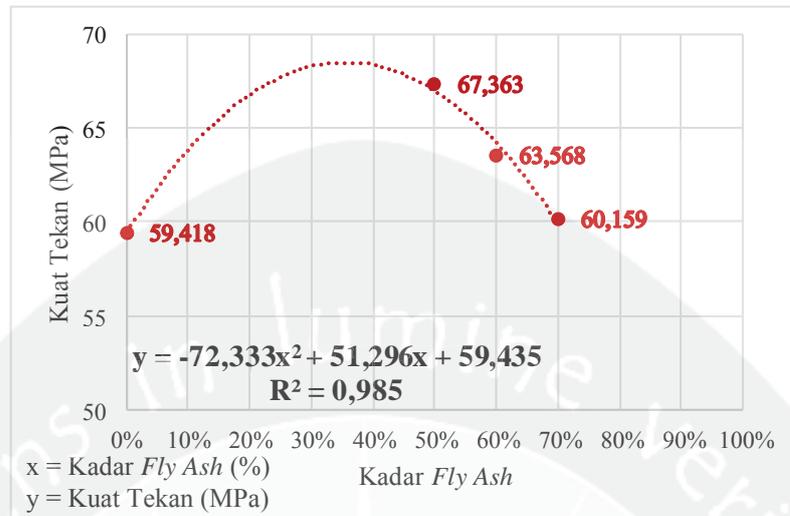
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 28 Hari dan 56 Hari

Umur Beton	Kode Beton	Kuat Tekan Beton (MPa)			Kuat Tekan Rerata (MPa)
		1	2	3	
28 Hari	BN	39,046	41,592	39,612	40,083
	BFA 50	35,085	39,329	40,178	38,197
	BFA 60	39,612	37,914	35,934	37,820
	BFA 70	37,631	36,782	38,763	37,726
56 Hari	BN	61,964	61,398	54,891	59,418
	BFA 50	62,530	75,338	64,222	67,363
	BFA 60	65,643	61,115	63,945	63,568
	BFA 70	62,530	58,665	59,282	60,159

Untuk lebih jelasnya, *trend* perkembangan kuat tekan beton normal dan beton HVFA pada umur 28 hari dan 56 hari dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4.



Gambar 5.3 Kuat Tekan Beton Rata-rata 28 Hari



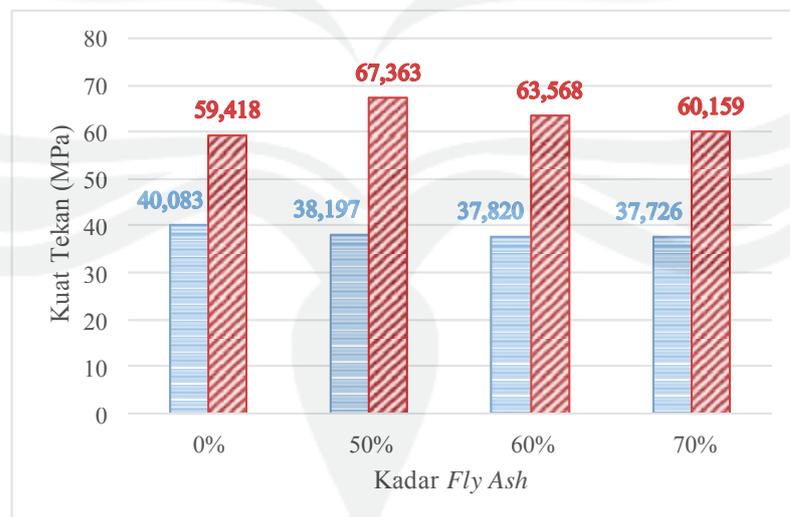
Gambar 5.4 Kuat Tekan Beton Rata-rata 56 Hari

Dari data kuat tekan di atas, dapat dilihat bahwa pada umur beton 28 hari beton cenderung mengalami penurunan kuat tekan seiring penambahan kadar *fly ash*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan semen yang berkurang menyebabkan panas hidrasi menjadi lebih rendah. Dengan demikian, proses hidrasi tersebut akan berjalan lebih lambat. Selain itu, pada *fly ash* terjadi 2 reaksi secara berurutan, reaksi primer adalah hidrasi semen, dan reaksi sekunder adalah pengikatan silika terhadap kapur yang akan menghasilkan CSH. Penurunan kuat tekan beton HFVA terhadap beton normal yang terjadi pada umur beton 28 hari untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut sebesar 4,706%, 5,647% dan 5,882%, sehingga pada umur beton 28 hari didapat kadar optimal *fly ash* sebesar 50%.

Pada umur beton 56 hari kuat tekan beton HVFA telah menunjukkan peningkatan kuat tekan dengan penambahan kadar *fly ash* 50%, akan tetapi kuat tekan berangsur-angsur turun setelah penambahan *fly ash* sebesar 50%. Meski di atas kadar *fly ash* 50% beton mengalami penurunan kuat tekan, akan tetapi ketiga

variasi beton HVFA memiliki kuat tekan di atas beton normal. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan kedua reaksi pada beton HVFA telah selesai pada umur 56 hari sehingga beton HVFA telah mencapai kekuatan penuh. Peningkatan kuat tekan beton HVFA terhadap beton normal yang terjadi pada umur beton 56 hari untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut sebesar 13,372%; 6,984%; dan 1,247%, sehingga pada umur beton 56 hari didapat kadar optimal *fly ash* sebesar 50%.

Perbandingan juga dilakukan pada kuat tekan umur beton 28 hari terhadap 56 hari dengan variasi yang sama. Peningkatan kuat tekan pada beton normal, kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut sebesar 48,235%, 76,357%, 68,080%, dan 59,464%. Peningkatan kuat tekan optimal adalah pada kadar *fly ash* 50%. Untuk lebih jelasnya, peningkatan kuat tekan beton normal dan beton HVFA terhadap umur beton 28 hari dan 56 hari dapat dilihat pada gambar 5.5.



Gambar 5.5 Perbandingan Kuat Tekan Beton 28 Hari dan 56 Hari

Kuat tekan beton akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Hal itu dapat terjadi karena pada beton normal setelah

28 hari kuat tekan beton akan terus meningkat meskipun sangat kecil. Akan tetapi pada beton HVFA peningkatan kuat tekan beton setelah 28 hari masih relatif besar, dikarenakan beton HVFA baru mencapai kuat tekan optimal pada umur beton di atas 28 hari. Hal tersebut terbukti dengan hasil peningkatan kuat tekan di atas 28 hari pada beton normal berada dibawah 50%, sedangkan pada setiap variasi beton HVFA berada di atas 50%. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa kandungan *fly ash* tinggi pada umur beton awal akan menurunkan kuat tekan beton, akan tetapi pada umur beton akhir akan meningkatkan kuat tekan beton, bahkan dapat mencapai kuat tekan yang sama atau lebih tinggi dari beton normal.

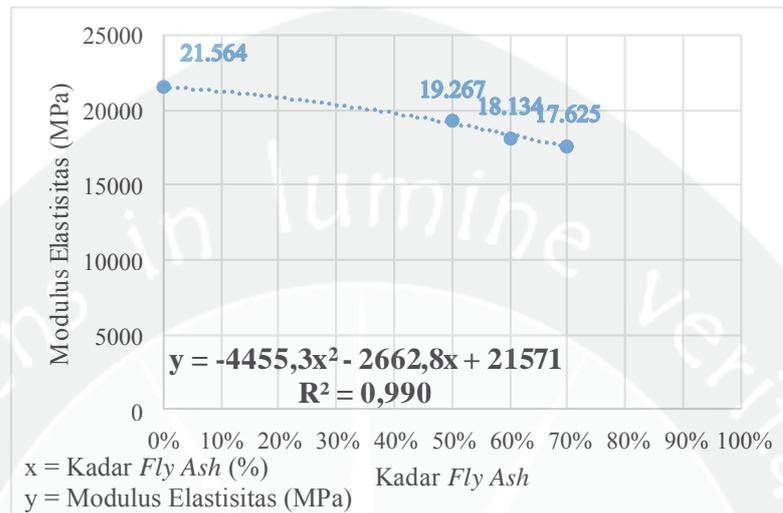
5.6 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan mesin *Universal Testing Machine* merek *Shimadzu*. Pengujian dilakukan pada variasi beton dengan umur beton 28 hari. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Nilai modulus elastisitas diambil 30% dari kuat tekan beton. Hasil pengujian modulus elastisitas umur beton 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 28 Hari

Jenis Beton	Kode Beton	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Rerata (MPa)
Beton Normal dengan <i>Superplasticizer</i>	BN - D	21753,41	21563,94
	BN - E	21374,47	
Beton HVFA Dengan <i>Superplasticizer</i>	BFA 50 - D	19464,97	19266,73
	BFA 50 - E	19068,49	
	BFA 60 - D	18238,77	18133,60
	BFA 60 - E	18028,43	
	BFA 70 - D	17786,52	17624,53
	BFA 70 - E	17462,54	

Untuk lebih jelasnya, *trend* modulus elastisitas beton normal dan beton HVFA pada umur beton 28 hari dapat dilihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Modulus Elastisitas Beton Rata-rata 28 Hari

Dari data modulus di atas, beton terlihat mengalami penurunan nilai modulus elastisitas. Hal tersebut berbanding lurus dengan hasil kuat tekan pada umur beton 28 hari yang juga mengalami penurunan. Penurunan modulus elastisitas terjadi seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash* pada beton HVFA. Penurunan nilai modulus elastisitas pada beton HVFA terhadap beton normal pada umur beton 28 hari untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut sebesar 10,65%, 15,91%, dan 18,27%. Penurunan nilai modulus tersebut, juga disebabkan oleh perkembangan yang lambat dari *fly ash* yang termasuk dalam material *pozzolan*. Akan tetapi seiring bertambahnya umur beton, maka nilai kuat tekan beton juga akan meningkat, bersamaan dengan nilai modulus elastisitasnya. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa beton dengan kandungan *fly ash* yang tinggi memiliki nilai modulus elastisitas yang cenderung rendah, sesuai dengan kuat tekan yang rendah pada umur beton 28 hari.

5.7 Perbandingan Harga Beton HVFA dengan Beton Normal

Harga *fly ash* yang tergolong murah dibandingkan dengan semen dapat dipertimbangkan apabila beton HVFA dapat mencapai kuat tekan yang sama atau lebih tinggi dari beton normal. Penghematan harga beton tiap variasi beton HVFA terhadap beton normal dengan peningkatan kuat tekan yang terjadi dapat dihitung. Harga satuan bahan susun beton, total harga bahan susun per m³ campuran beton, dan penghematan harga beton dan peningkatan kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.11, 5.12, dan 5.13.

Tabel 5.11 Harga Satuan Bahan Susun Beton

Bahan	Jumlah (kg)	Harga (Rp)
Air	1	0
Semen	1	1250
<i>Fly ash</i>	1	700
<i>Split</i>	1	142
Pasir	1	93
<i>Superplasticizer</i>	1	75000

Tabel 5.12 Total Harga Bahan Susun per m³ Campuran Beton

Kadar <i>Fly ash</i>	Pasir (Rp)	<i>Split</i> (Rp)	Semen (Rp)	<i>Fly ash</i> (Rp)	Air (Rp)	SP (Rp)
0%	65.481	119.340	796.928	0	0	286.894
50%	65.481	119.340	398.464	223.140	0	286.894
60%	65.481	119.340	318.771	267.768	0	286.894
70%	65.481	119.340	239.078	312.396	0	286.894

Tabel 5.13 Penghematan Harga Beton HVFA terhadap Beton Normal

Kadar <i>Fly ash</i>	f^c 56 Hari (MPa)	Total Harga (Rp)	Penghematan Harga Beton (%)
0%	59,418	1.268.642	-
50%	67,363	1.093.318	-13,820%
60%	63,568	1.058.253	-16,584%
70%	60,159	1.023.189	-19,348%

Dengan total harga bahan susun per m³ kita dapat mengetahui harga bahan yang dibutuhkan tiap variasi. Peningkatan kuat tekan beton HVFA terhadap beton normal yang terjadi pada umur beton 56 hari untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut adalah 13,371%, 6,984%, dan 1,247%. Penghematan harga beton HVFA terhadap beton normal pada umur beton 56 hari untuk kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% berturut-turut adalah 13,820%, 16,584%, dan 19,348%.

Dengan peningkatan kuat tekan disertai dengan penghematan harga beton, beton HVFA dapat menjadi sangat menguntungkan. Maka, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan *fly ash* dalam jumlah besar dapat menurunkan biaya produksi beton pada umur 56 hari yang memiliki kuat tekan di atas beton normal.