

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DENGAN ABU TERBANG TERHADAP KARAKTERISTIK TEKNIS BETON

Partogi H. Simatupang¹ (simatupangpartogi@yahoo.com)

Tri M. W. Sir² (trimwsir@yahoo.com)

Anna S. Kurniaty³ (viyakurniaty92@gmail.com)

ABSTRAK

Penggantian sebagian atau secara total semen dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan dalam proses pembuatan beton menjadi pilihan alternatif. Dalam penelitian ini komposisi abu terbang yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton sebanyak 40% dari massa total semen (beton *High Volume Fly Ash*) dan kemudian akan dibandingkan dengan beton normal mengenai sifat-sifat teknis dari kedua jenis beton tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang pada beton terhadap sifat-sifat teknis beton yaitu berat jenis beton, kuat tekan beton dan keausan beton. Hasil penelitian diperoleh sifat-sifat teknis beton pada umur beton 56 hari untuk beton normal memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2434,39 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 22,72 MPa dan persentase keausan beton sebesar 19,74% sedangkan untuk beton HVFA memiliki berat jenis rata-rata sebesar 2407,22 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 22,51 MPa dan persentase keausan beton sebesar 20,12%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang pada beton menghasilkan sifat-sifat teknis beton yaitu berat jenis beton, kuat tekan beton dan keausan beton yang tidak berbeda jauh ataupun setara dengan sifat-sifat teknis dari beton normal.

Kata Kunci : *Fly Ash, Beton High Volume Fly Ash, Sifat-Sifat Teknis.*

ABSTRACT

Partly or totally substitution of cement with another environmentally products in making concrete become the alternative. In this research the composition of the fly ash used as a partial replacement of cement in concrete as much as 40% out of total mass of cement (High Volume Fly Ash Concrete) and then will be compared with normal concrete about the technical characteristics of the two types of concrete. The purpose of this research was to determine the effect of partial replacement of cement with fly ash in concrete on technical characteristics of concrete which are specific gravity of concrete, compressive strength of concrete and concrete abrasion. The results obtained by the technical characteristics of concrete at the concrete age of 56 days for normal concrete has an average of specific gravity is 2434.39 kg/m³ with an average of compressive strength is 22.72 MPa and concrete abrasion percentage is 19.74%, for HVFA concrete has an average of specific gravity is 2407.22 kg/m³ with an average of compressive strength of 22.51 MPa and concrete abrasion percentage is 20.12%. The result of this research shows that the effect of the partial replacement of cement with fly ash in concrete produce the technical characteristics of concrete which are specific gravity of concrete, compressive strength of concrete and concrete abrasion are similliar with the technical characteristics of normal concrete.

Keywords : *Fly Ash, High Volume Fly Ash Concrete, Technical Characteristics*

¹ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, FST Undana;

² Dosen pada Jurusan Teknik Sipil, FST Undana;

³ Penamat dari Jurusan Teknik Sipil, FST Undana

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Meningkatnya jumlah pemakaian semen dalam pembuatan beton mengakibatkan jumlah emisi gas CO₂ ke atmosfer juga meningkat. Peningkatan emisi gas CO₂ ke atmosfer meningkatkan masalah efek rumah kaca dan menjadi penyebab peningkatan pemanasan global. Penggantian sebagian atau secara total semen dengan bahan lain yang lebih ramah lingkungan dalam proses pembuatan beton menjadi pilihan alternatif.

Dalam penelitian ini komposisi abu terbang yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton sebanyak 40% dari massa total semen (beton *High Volume Fly Ash*) dan kemudian akan dibandingkan dengan beton normal mengenai sifat-sifat teknis dari kedua jenis beton tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang pada beton terhadap sifat-sifat teknis beton yaitu berat jenis beton, kuat tekan beton dan keausan beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Beton

Beton adalah bahan bangunan yang dibuat dari air, semen Portland, agregat halus, dan agregat kasar, yang bersifat keras seperti batuan (Tjokrodimuljo, 2007).

Beton HVFA (*High Volume Fly Ash*)

Beton *High Volume Fly Ash* adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan abu terbang baik berupa abu terbang kelas F maupun kelas C (Malhotra dan Mehta, 2005 dalam Alfian dkk., 2014).

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang atau *fly ash* merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. Abu terbang dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu kelas C (Abu terbang yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara atau batu bara muda), kelas F (Abu terbang yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara) dan kelas N (*Pozzolan* alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik).

Semen

Semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat.

Agregat

Agregat ialah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat yang mempunyai butir-butir yang besar disebut agregat kasar yang ukurannya lebih besar dari 4,8 mm, sedangkan butir agregat yang kecil disebut agregat halus yang memiliki ukuran lebih kecil dari 4,8 mm (Tjokrodimuljo, 2007).

Air

Air merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan beton karena fungsinya yaitu menciptakan reaksi bagi semen agar bisa menjadi pasta dan mengikat agregat yang ada di dalam campuran beton tersebut.

Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (fas) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65 (Mulyono, 2003).

Mix Design Beton

Mix design beton ditentukan oleh sifat yang beragam dari material penyusunnya, kondisi yang ada di tempat kerja dan kondisi yang dituntut untuk pekerjaan tertentu, sehingga membutuhkan pemahaman dari berbagai bahan penyusunnya seperti sifat material dan sifat beton bahkan proporsi bahan beton di laboratorium yang memerlukan penyesuaian modifikasi dengan kondisi lapangan. *Mix design* beton dalam penelitian ini sesuai dengan Departemen P.U. 2000 mengenai Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, dimana benda uji beton akan hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pembebanan pada pengujian kuat tekan termasuk pembebanan statik monotorik dengan menggunakan *Compressive Test*. Nilai kuat tekan beton didapatkan dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu dan menggunakan benda uji berupa silinder. Selanjutnya benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai pecah. Beban tekan maksimum yang didapat pada saat benda uji pecah kemudian dibagi dengan luas penampang benda uji. Hasil bagi yang didapat merupakan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam satuan MPa atau kg/cm².

Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah :

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

Keterangan :
 $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 A = luas penampang benda uji (mm²)

METODE PENELITIAN

BAHAN

Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang atau fly ash yang dipakai berasal dari PLTU Bolok. Berdasarkan hasil pengujian pada Balai Besar Penelitian Keramik Bandung, abu terbang ini memiliki kadar CaO < 10% sehingga abu terbang ini termasuk dalam kelas F.

Tabel 1. Komposisi Kimia Abu Terbang atau Fly Ash (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O ₃	LOI ^{*)}
57,47	21,88	3,61	0,81	3,64	1,41	2,69	1,59	1,77

^{*)}Loss in ignition

Semen

Semen Kumpang yang termasuk dalam jenis semen PCC (*Portland Composite Cement*).

Agregat

Agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah berukuran 20 mm, sedangkan untuk agregat halus yaitu pasir. Kedua jenis agregat tersebut berasal dari Desa Takari.

Air

Air yang digunakan adalah air bersih PDAM Kupang yang ada di Laboratorium Beton Teknik Sipil Undana.

BENDA UJI

Benda uji yang dipersiapkan dalam penelitian ini sesuai dengan variasi perbandingan komposisi abu terbang dengan semen yaitu 0 : 100% (beton normal) dan 40% : 60% (beton HVFA). Cetakan benda uji yang digunakan yaitu silinder yang ukuran diameternya 10 cm dan tinggi 20 cm. Setelah benda uji dibuat, selanjutnya dilakukan perawatan beton yaitu direndam dalam air selama 7, 28 dan 56 hari dan kemudian dilakukan pemeriksaan berat jenis beton, pengujian kuat tekan beton serta keausan beton. Jumlah sampel secara keseluruhan dalam penelitian ini adalah 18 sampel.

PROSEDUR PENELITIAN**TAHAP I (Persiapan)**

Pada tahap ini semua bahan material serta alat-alat yang akan digunakan harus dipersiapkan terlebih dahulu.

TAHAP II (Pengujian Bahan Material)

Pada tahap ini semua material yang akan digunakan untuk campuran beton dilakukan pemeriksaan dan pengujian terlebih dahulu. Pemeriksaan dan pengujian material yang dilakukan antara lain yaitu pemeriksaan terhadap semen, pemeriksaan terhadap air, pengujian gradasi agregat, pengujian berat jenis agregat, pengujian kadar lumpur agregat halus, pengujian keausan agregat kasar dan pengujian kadar air agregat. Pengujian-pengujian agregat dilakukan menurut SNI yang berlaku.

TAHAP III (Pembuatan Benda Uji)

Pembuatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan hasil perhitungan *mix design* yang telah dihitung dengan memperhatikan kapasitas *concrete mixer* (molen) dan jumlah cetakan yang tersedia. Setelah benda uji dibuat kemudian dilakukan perawatan yaitu direndam dalam bak perendaman sesuai umur rencana.

TAHAP IV (Pengujian)

Setelah dilakukan perawatan terhadap benda uji sesuai umur rencana masing-masing, kemudian dilakukan beberapa pengujian terhadap benda uji tersebut. Pengujian-pengujian tersebut yaitu pengujian berat jenis beton, pengujian kuat tekan beton dan pengujian keausan beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN**HASIL PENGUJIAN BAHAN****Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat**

Pengujian analisis saringan agregat dilakukan sesuai Departemen P.U. 1990 (a) tentang Analisis Saringan Agregat. Dari hasil pengujian didapat modulus kehalusan untuk agregat kasar batu pecah yaitu sebesar 3,48 dan untuk agregat halus pasir yaitu sebesar 3,55. Berdasarkan syarat batas gradasi agregat maka hasil pengujian terhadap batu pecah yang digunakan termasuk dalam Zona 2 yaitu berukuran 20 mm dan hasil pengujian terhadap pasir yang digunakan termasuk dalam Zona 3 yaitu pasir agak halus.

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan sesuai Departemen P.U. 1990 (b) tentang Berat Jenis dan Serapan Air Agregat Kasar dan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dilakukan sesuai Departemen P.U. 1990 (c) tentang Berat Jenis dan Serapan Air Agregat Halus. Hasil dari pengujian kedua jenis agregat diketahui bahwa berat jenis kering permukaan agregat kasar dan agregat halus masing-masing sebesar 2,69 dan 2,57.

Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan sesuai Departemen P.U. 2002 tentang Penentuan Kadar Lumpur Bahan Pasir. Hasil dari pengujian ini diperoleh kadar lumpur pada pasir sebesar 1,05%.

Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pengujian keausan agregat kasar dilakukan sesuai Departemen P.U. 1991 tentang Pengujian Keausan Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Hasil dari pengujian ini diperoleh keausan pada batu pecah yang digunakan sebesar 18,26%.

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat

Pengujian kadar air agregat dilakukan sesuai Departemen P.U. 1990 (d) tentang Pengujian Kadar Air Agregat. Hasil dari pengujian ini diperoleh kadar air agregat kasar sebesar 0,50% sedangkan kadar air agregat halus 0,71%.

HASIL MIX DESIGN BETON

Perhitungan *mix design* beton dalam penelitian ini sesuai dengan Departemen P.U. 2000 mengenai Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Hasil perhitungan *mix design* pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Mix Design Beton

Rasio Fly Ash/Semen	Komposisi	kg/m ³	m ³	kg
40% : 60% (Beton HVFA)	Air	266,464	0,00942	2,510
	Semen Tipe I	337,002	0,00942	3,175
	Fly Ash Kelas F	224,668	0,00942	2,116
	Agregat Kasar	1256,345	0,00942	11,835
	Agregat Halus	632,395	0,00942	5,957
0 : 100% (Beton Normal)	Air	266,464	0,00942	2,510
	Semen Tipe I	561,670	0,00942	5,291
	Fly Ash Kelas F	-	-	-
	Agregat Kasar	1256,345	0,00942	11,835
	Agregat Halus	632,395	0,00942	5,957

HASIL PENGUJIAN BETON

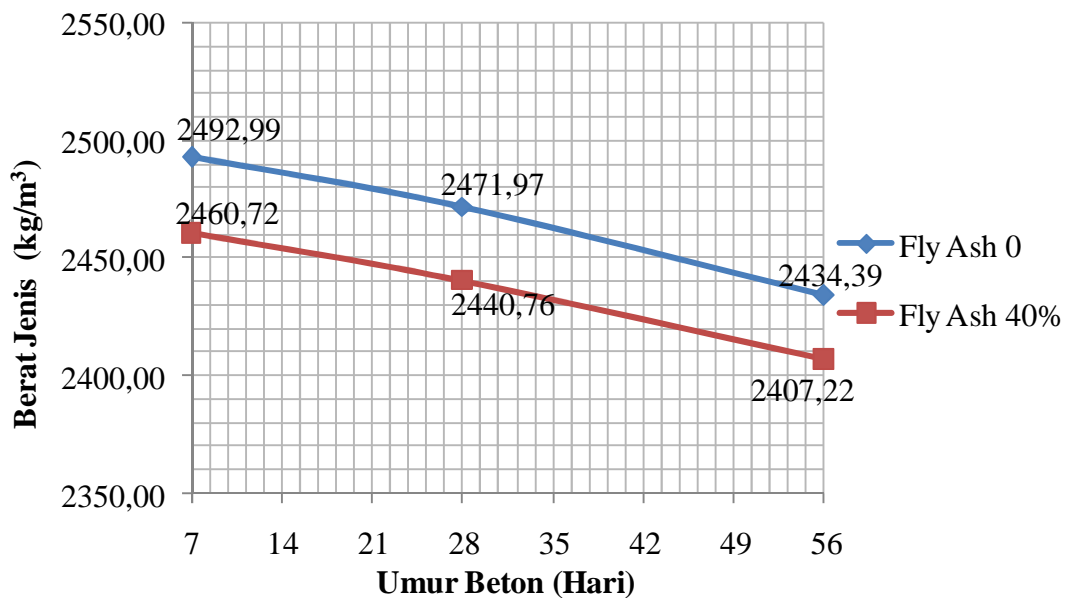
Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

Pengujian berat jenis dilakukan setelah masa perawatan terhadap beton berakhir sesuai umur rencana masing-masing. Hasil pengujian berat jenis beton dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

Rasio Fly Ash/Semen	Umur Beton (Hari)	Berat Jenis Rata-rata (kg/m ³)
40% : 60%	7	2460,72
	28	2440,76
	56	2407,22
0 : 100%	7	2492,99
	28	2471,97
	56	2434,39

Berdasarkan tabel hasil pengujian berat jenis beton di atas, maka dapat dilihat grafik hubungan antara berat jenis beton dengan umur beton pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Hubungan antara Berat Jenis Beton dengan Umur Beton

Berdasarkan Gambar 1 tentang grafik hubungan antara berat jenis beton dengan umur beton, terlihat bahwa berat jenis beton normal lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang ditambahkan 40% *fly ash* (beton HVFA). Hal ini bisa menjadi salah satu keunggulan bagi beton HVFA dari pada beton normal karena apabila beton ini digunakan pada proyek bangunan tinggi (gedung bertingkat), dengan berat jenisnya yang lebih rendah akan dapat mengurangi berat sendiri dari bangunan tersebut.

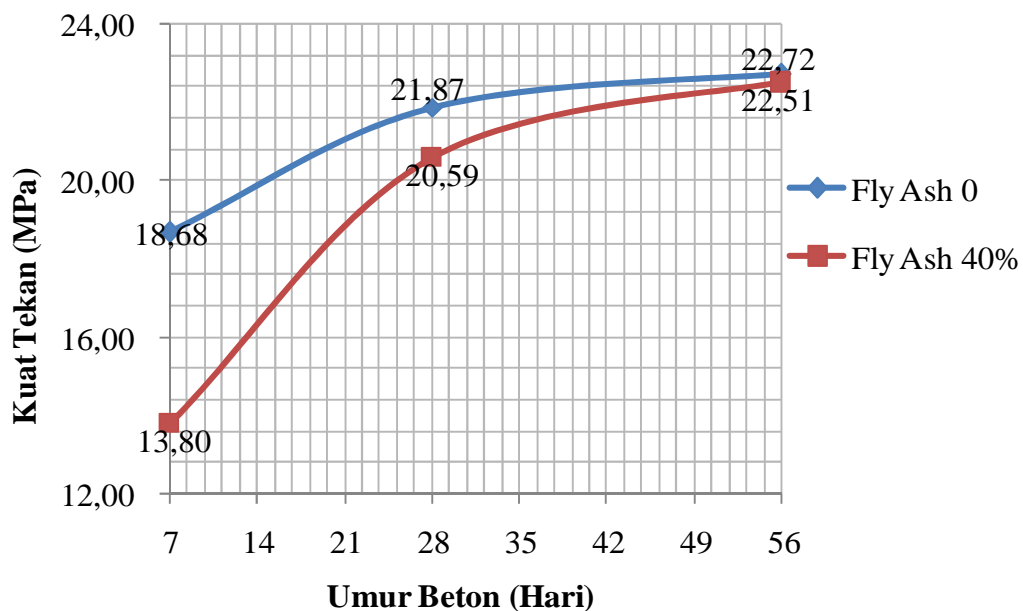
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah mengetahui berat jenis dari beton maka selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan terhadap beton. Pengujian kuat tekan beton sesuai Departemen P.U. 1990 (e) tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Rasio Fly Ash/Semen	Umur Beton (Hari)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
40% : 60%	7	13,80
	28	20,59
	56	22,51
0 : 100%	7	18,68
	28	21,87
	56	22,72

Berdasarkan tabel hasil pengujian kuat tekan beton di atas, maka dapat dilihat grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan umur beton pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

Berdasarkan Gambar 2 tentang grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan umur beton dapat diketahui bahwa pada umur awal beton, beton HVFA memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa beton HVFA mengalami perkembangan kuat tekan yang lambat pada umur awal beton karena mekanisme reaksi *fly ash* terjadi setelah reaksi hidrasi semen. Namun seiring dengan bertambahnya umur beton, beton HVFA mengalami peningkatan kekuatan dan kekuatannya tidak berbeda jauh dengan kekuatan beton normal. Dengan demikian pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang/*fly ash* pada beton (beton HVFA) dapat menghasilkan kekuatan beton yang setara ataupun lebih dari kekuatan beton normal. Secara tidak langsung pembuatan beton dengan menggunakan bahan-bahan limbah juga bermanfaat dalam mengurangi pencemaran lingkungan dan pemanasan global, karena mengurangi pemakaian semen yang pada proses produksinya menghasilkan emisi gas CO₂ ke atmosfer serta limbah dari bahan-bahan berbahaya lainnya. Selain memiliki kelebihan ramah lingkungan, beton HVFA juga lebih ekonomis karena memakai jumlah semen yang sedikit dan dapat mengurangi panas hidrasi semen yang menimbulkan keretakan halus pada permukaan beton.

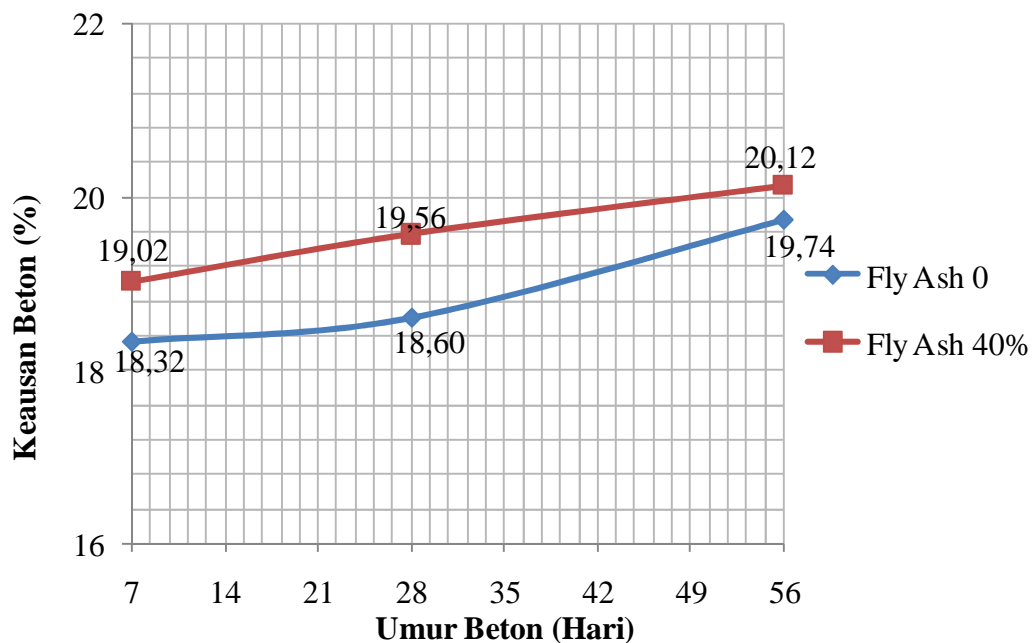
Hasil Pengujian Keausan Beton

Proses pengujian keausan beton sama seperti pengujian keausan pada agregat kasar. Pengujian keausan beton dilakukan dengan cara menghancurkan beton-beton sesuai dengan ukuran agregat yang digunakan kemudian dimasukan kedalam mesin Abrasi Los Angeles. Hasil pengujian keausan beton dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Keausan Beton

Rasio Fly Ash/Semen	Umur Beton (Hari)	Keausan (%)
40% : 60%	7	19,02
	28	19,56
	56	20,12
0 : 100%	7	18,32
	28	18,60
	56	19,74

Berdasarkan tabel hasil pengujian keausan beton di atas, maka dapat dilihat grafik hubungan antara keausan beton dengan umur beton pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Keausan Beton dengan Umur Beton

Berdasarkan Gambar 3 tentang grafik hubungan antara keausan beton dengan umur beton, terlihat bahwa beton HVFA memiliki ketahanan terhadap keausan yang tidak berbeda jauh dengan beton normal dan dapat diketahui pula bahwa ketahanan beton terhadap keausan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya umur beton karena nilai persen lolos hasil keausan beton yang semakin besar. Menurut Departemen P.U. 1991 tentang pengujian keausan dengan mesin Abrasi Los Angeles, persentase lolos keausan yang baik untuk digunakan dalam konstruksi adalah < 40%. Berdasarkan hal tersebut, maka beton HVFA yang dihasilkan dalam penelitian ini memenuhi standar dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi karena memiliki nilai persentase lolos hasil keausan maksimal sebesar 20,12%.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan terhadap hasil pengujian yang didapatkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton normal (Beton tanpa *fly ash*) memiliki sifat-sifat teknis yaitu :
 - a. Berat jenis rata-rata sebesar 2492,99 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 18,68 MPa dan persentase keausan beton sebesar 18,32% untuk umur beton 7 hari.
 - b. Berat jenis rata-rata sebesar 2471,97 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 21,87 MPa dan persentase keausan beton sebesar 18,60% untuk umur beton 28 hari.
 - c. Berat jenis rata-rata sebesar 2434,39 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 22,72 MPa dan persentase keausan beton sebesar 19,74% untuk umur beton 56 hari.
2. Beton HVFA (Beton dengan *fly ash* 40%) memiliki sifat-sifat teknis yaitu :
 - a. Berat jenis rata-rata sebesar 2460,72 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 13,80 MPa dan persentase keausan beton sebesar 19,02% untuk umur beton 7 hari.
 - b. Berat jenis rata-rata sebesar 2440,76 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 20,59 MPa dan persentase keausan beton sebesar 19,56% untuk umur beton 28 hari.
 - c. Berat jenis rata-rata sebesar 2407,22 kg/m³ dengan kuat tekan rata-rata 22,51 MPa dan persentase keausan beton sebesar 20,12% untuk umur beton 56 hari.
3. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diketahui beberapa hal yaitu :
 - a. Pengaruh dari penggantian sebagian semen dengan abu terbang/*fly ash* pada beton (beton HVFA) menghasilkan sifat-sifat teknis beton yaitu berat jenis beton, kuat tekan beton dan keausan beton yang tidak berbeda jauh ataupun setara dengan sifat-sifat teknis dari beton normal.
 - b. Berat jenis beton HVFA yang lebih rendah dari beton normal menjadi salah satu keunggulan bagi beton HVFA dari pada beton normal karena apabila beton ini digunakan pada proyek bangunan tinggi (gedung bertingkat), dengan berat jenisnya yang lebih rendah akan dapat mengurangi berat sendiri dari bangunan tersebut.
 - c. Selain berat jenisnya yang lebih rendah, beton HVFA juga memiliki keunggulan lainnya yaitu sebagai beton yang ramah lingkungan karena mengurangi pemakaian semen, lebih ekonomis karena memakai jumlah semen yang sedikit dan juga dapat mengurangi panas hidrasi semen yang menimbulkan keretakan halus pada permukaan beton. Dalam sifat keausan beton, beton HVFA juga memenuhi standar dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi.

Saran

Hal-hal yang perlu disarankan dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi peneliti selanjutnya yang ingin melanjutkan penelitian yang lebih luas mengenai beton HVFA sebaiknya persentase penambahan *fly ash* dibuat lebih dari 40% dan masa *curing* dipertambah ataupun dengan menggunakan bahan tambah (*admixture*) yaitu *Superplasticizer* agar bisa diperoleh mutu beton yang lebih tinggi.
2. Dalam proses pembuatan beton diperlukan ketelitian dalam melakukan penimbangan bahan, ketelitian dalam pengecoran, dan juga melakukan perawatan beton yang intensif karena hal-hal tersebut juga dapat menentukan kualitas dan kekuatan beton.
3. Sebaiknya perhitungan *mix design* beton dilakukan menurut SNI yang berlaku dan juga perlu dikaji tentang pembuatan campuran beton HVFA yang dapat menghasilkan kekuatan beton yang lebih besar dari 22,5 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, H. U., Marthin D. J. S., dan Reky S. W. 2014. *Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Sipil Statik Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Departemen P.U. 1990 (a). SNI-03-1968-1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 1990 (b). SNI-03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 1990 (c). SNI-03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 1990 (d). SNI-03-1971-1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 1990 (e). SNI-03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 1991. SNI-03-2417-1991. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 2000. SNI-03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. LPMB Bandung.
- Departemen P.U. 2002. SNI-03-6669-2002. *Metode Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus*. LPMB Bandung.
- Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*. Jakarta: Biro Penerbit Universitas Negeri Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Biro Penerbit Universitas Gadjadarda.