

PENGARUH PENAMBAHAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON

Adrian Philip Marthinus

Marthin D. J. Sumajouw, Reky S. Windah

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : popjazzstar@gmail.com

Abstrak

Beton menjadi material yang sangat penting dan banyak digunakan untuk membangun berbagai infrastruktur seperti jembatan, jalan raya dan sarana prasarana perkotaan lainnya. Dengan persyaratan yang diperlukan tidak terlalu tinggi, pembuatan beton dapat menggunakan material substitusi parsial semen melalui penggunaan bahan hasil produk sampingan industri (*by product material*) seperti abu terbang (*fly ash*). Abu Terbang (*fly ash*) merupakan produk sampingan hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tarik belah beton mutu normal pada kondisi High Volume Fly Ash Concrete. Untuk tipe abu terbang yang digunakan yaitu abu terbang kelas C. Komposisi variasi penambahan abu terbang (*fly ash*) sebanyak 0%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dari berat semen. Benda uji yang digunakan adalah berbentuk silinder dan balok yang diuji pada umur 7, 14 dan 28 hari. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji silinder (diameter 100 mm dan tinggi 200 mm) dan balok (panjang 400mm, lebar 100mm dan tinggi 100mm) sebanyak 120 sampel dan terdiri dari 6 variasi konsentrasi abu terbang pada pengujian 7, 14, 28 hari dan masing-masing variasi sebanyak 20 sampel.

Dari hasil pengujian, penambahan persentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi pada persentase abu terbang (*fly ash*) 30% yaitu sebesar 3,21 MPa untuk umur beton 28 hari. Dan nilai kuat tarik belah terendah pada presentase abu terbang (*fly ash*) 70% yaitu sebesar 0,82 MPa untuk umur beton 7 hari.

Penggunaan High Volume Fly Ash (HVFA) Concrete dengan presentase abu terbang (*fly ash*) 30% pada umur perawatan 28 hari dapat digunakan untuk konstruksi struktural seperti konstruksi bangunan bertingkat dua lantai, ruko, rumah tinggal standar, dan untuk presentase abu terbang (*fly ash*) 40%-50% pada umur perawatan 28 hari dapat digunakan untuk konstruksi non-struktural seperti pembuatan paving blok, plesteran/mortar dan lain sebagainya.

Kata kunci : abu terbang (*fly ash*), kuat tarik belah, struktural, non-struktural

PENDAHULUAN

Abu terbang apabila dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran karena abu terbang mengandung beberapa elemen beracun seperti arsenik, vanadium, antimony, boron dan chromium. Maka salah satu cara agar material hasil produksi sampingan tersebut tidak mengkontaminasi lingkungan adalah dengan menggunakan material tersebut sebagai bahan pengganti sebagian semen (Sumajouw M.D.J dan Dapas S.O, 2013).

Saat ini di Sulawesi Utara abu terbang adalah produk sampingan limbah dari PLTU II Sulawesi Utara yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk pembangkit tenaga listrik, berupa butiran halus ringan, bundar, serta

bersifat pozzolanik. Penambahan abu terbang (*fly ash*) pada campuran beton bersifat pozzolan, sehingga bisa menjadi bahan tambah mineral yang baik untuk beton. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau silika dan aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa membentuk senyawa bersifat *cementitious* (bersifat mengikat).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi komposisi campuran beton mutu normal yang menggunakan material bahan tambahan Abu terbang dengan konsentrasi Abu terbang yang tinggi, terhadap kuat tarik belah beton bila menggunakan Abu terbang yang berasal dari PLTU II Sulawesi Utara tersebut.

Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tarik belah beton mutu normal pada kondisi *High Volume Fly ash Concrete* akibat pengaruh penggantian sebagian semen terhadap abu terbang (*fly ash*).

Manfaat penelitian ini adalah

1. Diharapkan dapat dijadikan acuan dalam melaksanakan pembuatan campuran beton mutu normal dengan penggantian semen terhadap *fly ash* yang tinggi dengan kuat tarik belah optimum untuk mendapatkan biaya yang ekonomis, yang menggunakan bahan tambah abu terbang yang berasal dari PLTU II Sulawesi Utara.
2. Menambah pengetahuan tentang sifat mekanik beton mutu normal dengan variasi bahan tambah abu terbang (*fly ash*), terutama pengaruhnya terhadap kuat tarik belah beton mutu normal tersebut.
3. Sebagai bekal bagi peneliti selanjutnya untuk dapat melanjutkan penelitian mengenai sifat-sifat mekanik lain dari pengaruh pencampuran abu terbang pada *high volume fly ash (HVFA) concrete*.
4. Mengurangi limbah yang ada di PLTU II Sulawesi Utara, mengingat sudah begitu banyak tumpukan di tempat pembuangan limbah *fly ash* di PLTU ini, untukantisipasi dampak penuh penampungan limbah ini pada 50-100 tahun kemudian.

LANDASAN TEORI

Beton adalah material yang dibuat dari campuran agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dan semen Portland atau bahan pengikat hidrolis yang lain yang sejenis, dengan menggunakan atau tidak menggunakan bahan tambah lain (SK.SNI T-15-1990-03:1).

Fly-ash atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang berbentuk partikel halus dan merupakan bahan anorganik yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran dari proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan terbentuk dua jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*).

Fly-ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan NO. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman (ACI

Committee 226). Sifat proses *pozzolanic* dari *fly-ash* mirip dengan bahan *pozzolan* lainnya.

Abu terbang atau *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 parts 1 226.3R-3), yaitu :

1. Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO₂ (30-50%), Al₂O₃ (17-20%), Fe₂O₃, MgO, Na₂O dan sedikit K₂O. mempunyai *specific gravity* 2,31-2,86. Mempunyai sifat *pozzolan*, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH (CaO.SiO₂.2H₂O). kalsium Hidroksida dan Ettringite yang mengeras seperti semen.

2. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO₂ (30-50%), Al₂O₃ (45-60%), MgO, K₂O dan sedikit Na₂O. mempunyai *specific gravity* 2,15-2,45. bersifat seperti *pozzolan*, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

3. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui peoses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

High volume fly ash (HVFA) concrete adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash*. Istilah *high volume fly ash concrete* sendiri pertama kali diperkenalkan oleh peneliti di pusat penelitian CANMET Kanada pada tahun 1980an (Malhotra and Mehta, 2005).

Pemakaian *HVFA concrete* memberikan beberapa keuntungan terhadap beton yang dihasilkan, baik dalam keadaan beton segar maupun beton yang telah mengeras. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh tersebut adalah:

- a. Peningkatan kelecakan beton
- b. Kemudahan dalam finishing permukaan beton.
- c. *Drying shrinkage* dan *creep*
- d. Peningkatan durabilitas beton

Tabel 1. Bangunan yang dibangun memakai *High Volume Fly ash Concrete (HVFA)*

No	Nama Bangunan	Kelas Fly ash	Jumlah Fly ash	Jumlah Semen	Mutu Beton
			(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(MPa)
1	Concrete blok untuk satelit komunikasi di Ottawa - Kanada	Kelas F	193	151	46 (91 hari)
2	Landasan parkir dikomplek hotel dan perkantoran, Haliac 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, 2011)

Penggunaan abu terbang pada beton tidak saja memberikan keuntungan pada lingkungan tapi juga meningkatkan kinerja dan kualitas beton itu sendiri (Sumajouw dan Dapas, 2013).

Meskipun pemakaian *high volume fly ash concrete* sangat bersesuaian dengan kampanye “*green concrete*”, masih ada beberapa kendala yang menyebabkan teknologi ini belum dapat diterima secara luas.

Hambatan-hambatan tersebut dapat disebutkan, yaitu:

- a. Hambatan dari segi peraturan.
- b. Perkembangan kuat tekan yang lambat
- c. Umur perawatan beton yang lama.

campuran beton akibat faktor pengerjaan adukan terbang selama pemadatan dan perataan permukaan beton, berat setiap material yang dipakai dalam pencampuran adalah 1.20 kali berat tiap material hasil perhitungan.

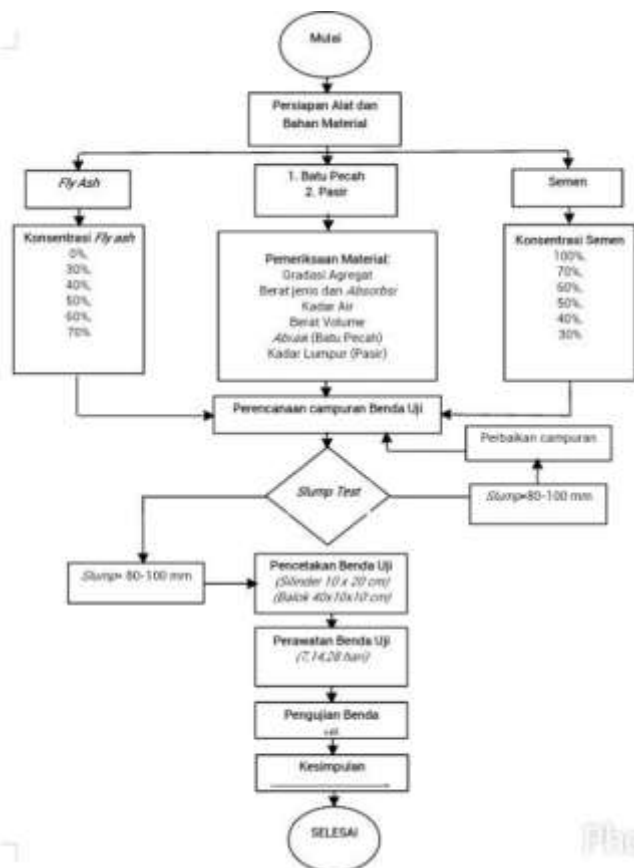
PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Material Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi. Dalam penelitian ini akan dibuat benda uji beton untuk pengujian kuat tarik belah. Diagram alir metode penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 1.

Perencanaan komposisi rancangan metode SNI 03-2834-2000.

Pelaksanaan campuran dilakukan di Laboratorium Rekayasa Material Bangunan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Material yang telah disiapkan, ditimbang sesuai dengan hasil perhitungan komposisi campuran yang telah dihitung dengan memperhatikan jumlah cetakan yangtersedia. Dan alat-alat yang akan digunakan telah disiapkan. Untuk mengantisipasi kekurangan



Gambar 1. Flowchart metode penelitian

Tabel 2. Komposisi Campuran Beton dengan Variasi Abu Terbang pada Kondisi Lapangan per m³

No	Semen Kg/m ³	Fly Ash Kg/m ³	Total Kg/m ³	Air Kg	fas	Pasir Kg/m ³	Agregat < 10mm Kg/m ³	Agregat > 10mm Kg/m ³	Slump mm	% Fly Ash
	1	2	3 = 1 + 2	4	5 = 4/3	6	7	8	9	
1	450	0	450	225	0,5	840	396	264	80-100	0%
2	315	135	450	225	0,5	840	396	264	80-100	30%
3	270	180	450	225	0,5	840	396	264	80-100	40%
4	225	225	450	225	0,5	840	396	264	80-100	50%
5	180	270	450	225	0,5	840	396	264	80-100	60%
6	135	315	450	225	0,5	840	396	264	80-100	70%

(Sumber : hasil pengujian)

- Campurkan terlebih dahulu semen dengan *fly ash* dengan konsentrasi tertentu yang sudah dipersiapkan terlebih dahulu secara manual dengan menggunakan tropol di dalam ember/Loyang secara merata.
- Masukkan batu pecah dan pasir yang sudah dipersiapkan ke dalam molen terlebih dahulu, lalu mesin dihidupkan selama ±5 menit. Kemudian matikan mesin dan masukkan semen yang telah disubstitusi sesuai presentase abu terbang (0%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%). Hidupkan kembali mesin molen ±5 menit agar campuran benar-benar tercampur rata.
- Tuangkan air secara bertahap dan sesekali mesin dihentikan dan dicek keencerannya atau di campur secara manual dengan tropol pada bagian-bagian yang belum tercampur secara merata.
- Setelah dicampur ±5 menit beton siap diukur nilai slumpnya kemudian dicetak. Nilai slump tetap dipertahankan dalam penelitian sehingga jumlah air yang digunakan berubah-ubah.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Bentuk fisik *fly ash*
(Sumber : Hasil pengujian)

Tabel 3. Hasil pemeriksaan kandungan kimia abu terbang (*fly ash*)

No	Parameter	Hasil Analisis	Satuan	Metode Analisis
1	Air	0,65	%	Oven
2	SiO ₂	48,06	%	Gravimetri k
3	Al ₂ O ₃	34,76	%	S.S.A
4	Fe ₂ O ₃	3,91	%	S.S.A
5	CaO	25,06	%	S.S.A
6	Mgo	14,53	%	S.S.A
7	K ₂ O	28,56	%	S.S.A
8	Na ₂ O	0,75	%	S.S.A

(Sumber : Umboh, 2014)

Pemeriksaan Berat volume beton

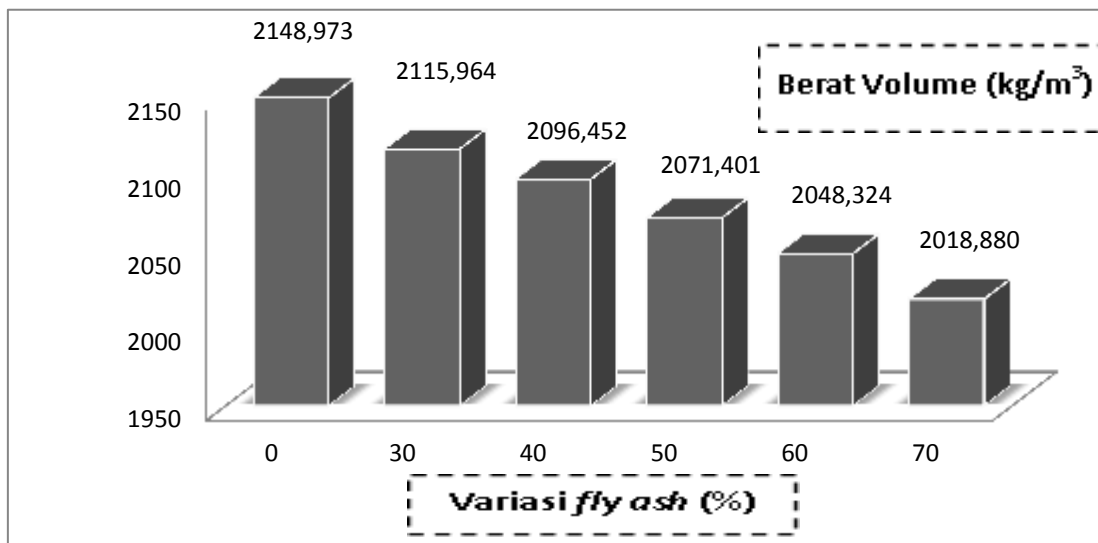
Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton yang sangat tergantung dari komposisi material adukan beton yang direncanakan. Sehingga apabila bahan penyusunnya memiliki berat volume yang besar, maka beton yang dihasilkan akan memiliki berat volume yang besar pula.

Dari hasil penelitian pada tabel 5. dan gambar 3. dapat diketahui bahwa berat volume beton terbesar terdapat pada variasi *fly ash* 0%³ beton normal yaitu sebesar 2148,973 Kg/m³. Berat volume beton terkecil terdapat pada variasi beton variasi *fly ash* 70% yaitu sebesar 2018,880 Kg/m³.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan berat volume beton rata-rata.

Kadar fly ash	Jumlah sampel	Ukuran benda uji		Volume benda uji	Berat rata-rata benda uji	Berat volume rata-rata
		Diameter	Tinggi			
%		mm	mm	mm ³	Kg	Kg/m ³
0	16	100	200	1570796	3,37	2213,8
30	16	100	200	1570796	3,32	2199,1
40	16	100	200	1570796	3,29	2181,2
50	16	100	200	1570796	3,25	2173,7
60	16	100	200	1570796	3,22	2163,3
70	16	100	200	1570796	3,17	2151,4

(Sumber : hasil pengujian)



Gambar 3. Grafik Berat Volume Beton

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan metode uji belah silinder (*tensile splitting cylinder test*) setelah benda uji silinder telah berumur 28 hari. Penelitian ini menunjukkan seberapa besar pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* pada adukan beton terhadap peningkatan kuat tarik beton.

Dari hasil pengujian kuat tarik dimana benda dibebani hingga mencapai kehancuran diperoleh nilai beban runtuh dan nilai kuat tarik dihitung dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

- Benda uji fly ash 0% (benda uji 1) pada umur 28 hari
Diketahui : P = 101,2 KN = 101200 N
Diameter benda uji = 100 mm
Panjang benda uji = 200 mm
Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu
 $f_{sp} = (2 \times 101200) / (\pi \times 100 \times 200)$

$$= 3,22 \text{ Mpa}$$

- Benda uji fly ash 30% (benda uji 1) pada umur 28 hari

Diketahui : P = 101 KN = 101000 N
Diameter benda uji = 100 mm
Panjang benda uji = 200 mm

Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu

$$f_{sp} = (2 \times 101000) / (\pi \times 100 \times 200)$$

$$= 3,21 \text{ Mpa}$$

- Benda uji fly ash 40% (benda uji 1) pada umur 28 hari

Diketahui : P = 99,43 KN = 99430 N
Diameter benda uji = 100 mm
Panjang benda uji = 200 mm

Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu

$$f_{sp} = (2 \times 99430) / (\pi \times 100 \times 200)$$

$$= 3,16 \text{ Mpa}$$

- Benda uji fly ash 50% (benda uji 1) pada umur 28 hari
 Diketahui : $P = 85,28 \text{ KN} = 85280 \text{ N}$
 Diameter benda uji = 100 mm
 Panjang benda uji = 200 mm
 Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu

$$f_{sp} = (2 \times 85280) / (\pi \times 100 \times 200)$$

$$= 2,71 \text{ Mpa}$$

- Benda uji fly ash 60% (benda uji 1) pada umur 28 hari
 Diketahui : $P = 57,55 \text{ KN} = 57550 \text{ N}$
 Diameter benda uji = 100 mm
 Panjang benda uji = 200 mm
 Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu

$$f_{sp} = (2 \times 57550) / (\pi \times 100 \times 200)$$

$$= 1,83 \text{ Mpa}$$

- Benda uji fly ash 70% (benda uji 1) pada umur 28 hari
 Diketahui : $P = 32,77 \text{ KN} = 32770 \text{ N}$
 Diameter benda uji = 100 mm
 Panjang benda uji = 200 mm
 Dari persamaan (2.2) diperoleh nilai f_{sp} yaitu

$$f_{sp} = (2 \times 32770) / (\pi \times 100 \times 200)$$

$$= 1,04 \text{ Mpa}$$

Tabel 6. Rekapitulasi kuat tarik belah beton dengan presentase *fly ash* terhadap umur perawatan beton

Presentase <i>fly ash</i>	Kuat Tarik Belah Beton		
	7 hari	14 hari	28 hari
0%	2,39	3,18	3,22
30%	2,33	2,65	3,21
40%	2,06	2,61	3,17
50%	1,63	2,34	2,68
60%	1,12	1,44	1,82
70%	0,82	1,00	1,04

Dari tabel dapat dilihat bahwa kuat tarik belah maksimum diperoleh dari substitusi *fly ash* sebesar 0% dengan nilai sebesar 3,22 MPa dan kuat tarik belah terendah terjadi pada substitusi *fly ash* sebesar 70% dengan nilai sebesar 1,04 MPa. Secara keseluruhan penggunaan substitusi *fly ash* hingga 30% menghasilkan kuat tarik belah beton yang signifikan yang tidak berbeda jauh dengan beton tanpa *fly ash*. Selanjutnya

akan disajikan data hubungan kuat tarik belah dan presentase *fly ash* dalam bentuk grafik.



Gambar 4. Grafik hubungan antara presentase *fly ash* terhadap umur perawatan beton

Dari grafik terlihat hubungan kuat tarik belah dan presentase abu terbang 30% hingga 70% menunjukkan model grafik di mana terjadi kenaikan kuat tarik belah pada beton seiring menurunnya presentase *fly ash* pada beton. Pada kondisi presentase *fly ash* 0% maka nilai kuat tarik belah berada pada kondisi maksimum, namun pada presentase *fly ash* 70% maka nilai kuat tarik belah berada pada kondisi minimum.

Berikut ini disajikan pula data dan hasil penelitian lainnya untuk pengujian kuat tarik belah untuk variasi umur perawatan beton yang berbeda-beda disertai dengan Grafik pula.



Gambar 5. Grafik hubungan antara presentase *fly ash* vs kuat tarik belah beton

Nilai kuat tarik beton relatif kecil dibandingkan dengan kuat tekannya. Kuat tarik beton umumnya adalah sekitar seperdelapan hingga seperduapuluh kuat tekannya.

Tabel 7. Nilai kuat tarik dan kuat tekan beton dengan presentase *fly ash* terhadap umur perawatan beton 28 hari

Presentase <i>fly ash</i>	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Lentur	Kuat Tekan
	28 hari	28 hari	28 hari
0%	3,22	10,3	29,58
30%	3,21	9,66	29,38
40%	3,17	8,16	24,34
50%	2,68	8,11	24,00
60%	1,82	6,75	13,4
70%	1,04	2,85	8,96

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah diadakan tahap pembuatan benda uji, perendaman benda uji di dalam air, pengujian kuat tarik dan tekan beton, serta analisis yang telah dilakukan, akhirnya penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

Dalam penelitian ini, penambahan persentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 30%, 40%, 50%, 60%, 70% memiliki nilai kuat tarik belah maksimum pada persentase abu terbang (*fly ash*) 30% yaitu sebesar 3,21 MPa untuk umur beton 28 hari, dan nilai kuat tarik belah terendah pada persentase abu terbang (*fly ash*) 70% yaitu sebesar 0,82 MPa untuk umur beton 7 hari.

Dalam perencanaan beton *High Volume Fly Ash (HVFA) Concrete* (30%, 40%, 50%, 60%, 70%) untuk tipe abu terbang (*fly ash*) kelas C dari PLTU II Sulawesi Utara, persentase yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah maksimum yaitu persentase 30% abu terbang (*fly ash*).

Beton dengan persentase abu terbang (*fly ash*) sebesar 0% dan 30% mencapai kuat tekan rencana sebesar 30 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, penggunaan *High Volume Fly Ash (HVFA)*

Concrete dengan persentase abu terbang (*fly ash*) 30% pada umur perawatan 28 hari dapat digunakan untuk konstruksi struktural seperti konstruksi bangunan bertingkat dua lantai, ruko, rumah tinggal standar, dan untuk persentase abu terbang (*fly ash*) 40%-50% pada umur perawatan 28 hari dapat digunakan untuk konstruksi non-struktural seperti pembuatan paving blok, plesteran/mortar dan lain sebagainya.

Saran

Untuk penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan penelitian dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Diharuskan memakai alat pelindung masker dan sarung tangan saat melakukan pencampuran bahan, dalam hal ini *fly ash* sebagai bahan substitusi parsial semen, karena bahan *fly ash* tergolong dalam limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya).
2. Dalam proses pencampuran semen dan *fly ash*, sebaiknya dilakukan secara manual sebelum menggunakan mesin pengaduk, agar bahan tercampur merata.
3. Pada saat pengujian kuat tarik dan tekan beton, benda uji harus dalam keadaan kering baik bagian luar maupun dalam, karena benda uji yang masih basah mempunyai kuat tarik dan tekan lebih rendah jika dibandingkan dengan benda uji yang sudah kering.
4. Perlu adanya penelitian mengenai proses perawatan beton *High Volume Fly Ash (HVFA) Concrete* dengan cara dipanaskan dalam oven, mengingat abu terbang (*fly ash*) tahan terhadap suhu yang *ekstreme*.
5. Untuk umur perawatan beton, diperlukan pengujian hingga 56 hari perendaman mengingat proses pengikatan abu terbang (*fly ash*) ini tidak sama dengan semen yang hanya 28 hari umur perawatan.

DAFTAR PUSTAKA

ACI. *Manual of Concrete Practice*. 1993 parts 1 226.3R-3

American Society for Testing and Materials (ASTM). 1993. *Concrete and aggregate*. Volume 04.02. Philadelphia USA.

MALHOTRA, V. M. & MEHTA, P. K. 2005. *High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories*.

Ottawa, Canada. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa Canada.

Mehta P.K. 2004. *High-performance, high-volume fly Ash concrete for sustainable Development*. University of California. Berkeley USA.

Paat, F. 2014. Kuat Tarik Lentur Beton Geopolymer Berbasis Abu Terbang (*Fly Ash*). Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi

SNI 03-2847-2002

Sumajouw M.D.J dan Dapas S.O. 2013. Elemen Struktur Beton Bertulang *Geopolymer*. Penerbit Andi, Yogyakarta.

Solikin, M. Simposium nasional RAPI XI FT UMS, 2011

Umboh, A. 2014. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) dari PLTU II Sulawesi Utara Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi