

PEMANFAATAN ABU BATU BARA (*FLY ASH*) PADA BETON

Irzal Agus¹ dan SURIANTI²

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Indonesia

²Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Indonesia

Email : irzalagus@unidayan.ac.id

Abstrak

Abu batu bara (*fly ash*) merupakan limbah padat dari hasil pembakaran batu bara yang banyak mengandung silika yang dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam pembuatan beton yang sampai saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar pengaruh nilai kuat tekan beton pada substitusi semen dengan *fly Ash* pada umur 3, 7 dan 28 hari.

Pada penelitian ini menggunakan 4 variasi komposisi beton yaitu, normal, substitusi *fly Ash* 7,5%, 10%, dan 12,5% pada semen. Pengujian ini meliputi uji karakteristik dan kuat tekan beton dilakukan pada umur perawatan 3, 7 dan 28 hari, dengan dimensi benda uji berupa silinder 15 cm x 30 cm. Setiap komposisi dibuat 9 benda uji dengan jumlah keseluruhan sebanyak 36 benda uji. Hasil dari uji kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* 7,5% pada umur 3 hari sebesar 100,03 kg/cm², umur 7 hari sebesar 168,33 kg/cm², dan pada umur 28 hari sebesar 225,08 kg/cm², untuk substitusi *fly ash* 10% hasil uji kuat tekan pada umur 3 hari sebesar 125,04 kg/cm², umur 7 hari sebesar 162,56 kg/cm², dan pada umur 28 hari sebesar 236,62 kg/cm², dan pada substitusi *fly ash* 12,5% hasil uji kuat tekan beton pada umur 3 hari sebesar 126,97 kg/cm², umur 7 hari sebesar 178,91 kg/cm², dan pada umur 28 hari sebesar 242,97 kg/cm², dari hasil rata-rata uji kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penambahan substitusi *fly ash* pada beton, maka semakin tinggi nilai kuat tekannya. Namun dari hasil rata-rata uji kuat tekan pada umur 28 hari pada substitusi *fly ash* 7,5%, 10% dan 12,5% mengalami penurunan di bandingkan pada beton normal (tanpa substitusi *fly ash*).

Kata kunci : abu batu bara (*fly ash*), beton, kuat tekan.

Pendahuluan

Beton adalah hasil campuran dari agregat yang terdiri dari batu hancur, pasir, semen, air dan bahan *aditif* (campuran). Komposisi utama beton adalah penggunaan semen sebagai bahan gabungan untuk pengikat beton, air sebagai bahan penolong, reaksi kimia sebagai bahan pemercepat perkerasan campuran dalam proses pencampuran, dan agregat kasar dan halus sebagai bahan baku campuran.

Apakah ada formula khusus untuk membuat beton? Dimasa lalu Belanda, memiliki formula khusus untuk pencampuran beton yaitu dengan perbandingan beton 1:2:3, yang merupakan 1 semen, 2 pasir, 3 krikil. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan peneliti menciptakan formula baru yaitu penambahan bahan baku campuran (*aditive*) dalam hal ini *fly Ash* sebagai bahan tambah pembuatan beton dalam formula khusus dalam proses pencampuran yang disebut dengan *hybrid* kelompok tertentu merahasiakan formula *hybrid* karena dianggap sebagai formula medis. Skripsi ini mengungkapkan rahasia bagi siapa saja yang dapat belajar dan mengunakanya. Selain itu untuk mendapatkan perencanaan yang

lebih baik, diperlukan pemahaman yang lebih dalam tentang sifat setiap elemen material, peranya dan kontribusi terhadap kualitas beton yang di butuhkan.

Batu bara

Batu bara adalah bahan bakar fosil. Batu bara yang terbentuk dari sedimen, batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, *hydrogen*, dan oksigen dapat dinyalakan. Batu bara yang terbentuk dari flora, yang telah terkonsolidasi diantara lapisan batuan lainya dan telah mengalami perubahan di bawah tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batuan.

Fly ash batu bara sebagai bahan tambah beton

Menurut ASTM C618-86, ada dua jenis *fly Ash*, kelas F dan kelas C. Grade F didasarkan pada pembakaran batu bara *antrasit* dan *bitumen*. Sedangkan Grade C didasarkan pada jenis *lignit* dan sub-batu bara.

Keunggulan penggunaan abu terbang *fly Ash*

Penggunaan *fly Ash* pada campuran beton memiliki berbagai keunggulan yaitu pada beton segar : (1) kehalusan pada bentuk partikel *fly Ash* yang bulat dapat meningkatkan *wolkability*, (2) Mengurangi *eksudasi* (pemisahan air dalam mortal) dan *segregasi* (pemisahan agregat campuran). Agregat tidak rata akan menyebabkan dengan hasil pencampuran yang diinginkan. Pada beton keras : (1) kontribusi peningkatan kuat tekan beton pada umur setelah 52 hari, (2) meningkatkan *durabilitas* beton, (3) meningkatkan kepadatan (*density*) beton, (4) mengurangi terjadinya penyusutan beton.

Beton

Beton adalah bahan komposit (campuran) dari beberapa bahan. Bahan utama terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air dan *additive* (campuran) lain dengan proporsi tertentu. Karena beton merupakan bahan komposit, kualitas beton sangat tergantung pada kualitas bahan cetakan (Kardiyono Tjokodimulyo, 2007). Menurut pasal 3.12 dari SNI-03-2847-2002, beton adalah campuran semen *Portland* atau semen *hidrolik* lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan *aditif* berbentuk padat.

Materi pembentuk beton

Adapun material pembentuk beton yaitu :

(a) semen adalah bahan perekat yang bersifat *kohesif* yang dapat menempelkan *fragmen* mineral sebagai pematat. Semen yang digunakan dalam komposisi beton merupakan produk jadi yang dapat dikeraskan dengan air yang disebut dengan *hidrolik*.

Tabel 1. Susunan unsur semen.

No	Oksida	Persen (%)
1	Kapur, CaO	60-65
2	Silika, SiO ₂	18-25
3	Alumina, Al ₂ O ₃	2-8
4	Besi, Fe ₂ O ₃	0,5-6
5	Magnesia, MgO	0,5-4
6	Sulfur, SO ₂	1-2
7	Soda/Potas, Na ₂ + K ₂ O	0,5-1

Sumber : Teknologi Beton (Kardiyono Tjokodimulyo)

(b) Agregat adalah partikel mineral alami yang dapat digunakan sebagai pengisi untuk campuran beton. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, terhitung 60%-70% dari volume beton. Agregat terdiri atas :
 Agregat halus ; merupakan mineral alami yang dapat berperan sebagai pengisi pada campuran

beton dengan ukuran partikel kurang dari 5 mm atau melewati *filter* No. 4 dan tertahan pada saringan No. 200.

Tabel 2. Gradasi saringan ideal agregat halus

Diameter saringan (mm)	Persen lolos (%)	Gradasi ideal (%)
9,5 mm	100	100
4,75 mm	95-100	97,5
2,36 mm	80-100	90
1,18 mm	50-85	67,5
600 µm	25-60	42,5
300 µm	5-30	17,5
150 µm	0-10	5

Sumber : ASTM C33, 2002

Agregat kasar ; Sesuai dengan SNI 03-2847-2002, bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.

Tabel 3. Gradasi ideal agregat kasar

Diameter saringan (mm)	Persen lolos (%)	Gradasi ideal (%)
25,00	100	100
19,00	90-100	95
12,50	-	-
9,50	20-55	37,5
4,75	0-10	5
2,36	0-5	2,5

Sumber : ASTM C 33, 2002.

(c) Air ; diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan (Tri Mulyono).

Sifat-sifat beton segar

Sifat beton segar baik sangat menunjukkan bahwa beton tersebut mudah di proses sehingga dapat dibentuk menjadi beton berkualitas tinggi. Karakteristik beton segar adalah : (1) kemudahan pengerjaan (*workability*), (2) *bleeding*, (3) *segregasi* (pemisahan agregat).

Faktor yang mempengaruhi kualitas beton

Antara lain : (1) kualitas bahan, (2) cara menakar dan mencampur, (3) cara pelaksanaan pekerjaan.

Bahan-bahan pembentuk beton (semen, agregat halus, agregat kasar dan air) harus ditentukan secara proposional, sehingga terpenuhi : (a) penentuan faktor air semen, (b) penentuan nilai *Slump*, (c) penentuan nilai kadar air bebas, (d) pembuatan benda uji, (e) pengujian nilai *Slump*, (f) perawatan benda uji, (g) prosedur pengujian kuat tekan, (h) pengujian kuat tekan.

Keunggulan dan Kelemahan Beton

Kelebihan dari beton antara lain ; (a) kemudahan pengelolaannya, (b) material yang mudah di dapat, (c) kekuatan tekan tinggi, (d) dapat menyesuaikan terhadap api dan cuaca, (e) harga yang relative murah, Mampu memikul beban yang berat, (f) mudah di bentuk sesuai dengan kebutuhan kontruksi, (g) biaya perawatan dan pemeliharaan relative kecil, (h) tahan terhadap temperature yang tinggi. Kelemahan dari beton antara lain ; (a) beton mempunyai kuat Tarik yang rendah, sehingga mudah retak, (b) beton sulit untuk daot kedap air secara sempurna sehingga dapat dimasukin air, (c) bentuk yang sudah dibuat sulit untuk diubah, (d) pelaksanaan pekerjaan dibutuhkan ketelitian yang tinggi, (e) berat, (f) daya pantul yang sangat besar.

Untuk mengetahui dan memahami perilaku beton maka diperlukan pengetahuan tentang karakteristik masing-masing komponen pembentuknya. Kekuatan, keawetan dan sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, nilai perbandingan bahan-bahan tersebut, cara pengadukkan maupun cara pengerjaan selama penuangan beton, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan.

Nilai kuat tekan beton :

$$f'_c = P/A \quad (1)$$

dimana :

f'_c = Kuat tekan beton dari masing-masing benda uji (kg/cm^2).

P = Beban maksimum (kg).

A = Luas bidang tekan beton atau luas permukaan (cm^2).

Hasil penelitian yang pernah dilakukan

Abu batu bara (*fly ash*) merupakan sisa pembakaran batubara berupa partikel halus dengan komposisi 80-80%, yang saat ini

pengelolaan limbah tersebut hanya terbatas pada penubunan di areal pabrik. Telah banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh bahan tambah untuk meningkatkan mutu beton. Menurut A. H. Umboh (2014) melakukan penelitian dengan pemanfaatan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen menghasilkan kuat tekan tertinggi pada presentase *fly ash* 30 % sebesar 24,18 MPa dan terendah pada presenyase *fly ash* 70% sebesar 3,645 MPa. M. Danasi dan A. Lisantono (2015) melakukan penelitian dengan penambahan *fly ash* pada beton dengan *silica fume* dan *filler* pasir kuarsa menghasilkan nilai kuat tekan beton tertinggi sebesar 75,06 MPa pada variasi kadar *fly ash* 5% yang dapat meningkatkan kuat tekan sebesar 99,15 % dari beton tanpa *fly ash*. Kemudian pada penelitian M. Setiawati (2018) dengan judul *fly ash* sebagai pengganti Semen dengan memperoleh hasil nilai kuat tekan beton dengan penggunaan *fly ash* sebesar 5%, 10 % dan 12% masih memenuhi kuat tekan beton K-300.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen, yaitu suatu metode penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan beton. Untuk pengujian yang dilakukan menggunakan standar SK-SNI dan beberap standar yang relevan.

Prosedur pembuatan benda uji antara lain ; (1) bersihkan bagian dalam *concrete mixer*, (2) timbang bahan yang akan digunakan sesuai hasil perhitungan *mix design*, (3) jalankan *mixer concrete*, (4) masukan agregat ke dalam *mixer*, (5) masukan air sedikit demi sedikit sampai air yang telah disediakan masuk semua sambil *mixer* jalan terus, (6) setelah semua bahan dimasukan, jalankan *mixer* sampai ± 2 menit berikutnya, (7) lakukan pengukuran nilai *slump*, (8) setelah nilai *slump* tercapai, tuangkan campuran kedalam talang, (9) beton segar dimasukan kedalam cetakan silinder yang telah diolesi pelumas (oli bekas), (10) tiap 1/3 bagian silinder terisi, padatkan dengan tongkat pemadat, (11) padatkan dengan vibrator, (12) ratakan permukaan beton dalam cetakan, (13) diamkan selama 24 jam, (14) setelah 24 jam, buka cetakan dengan hati-hati, usahakan beton tidak menerima getaran, (15) beton yang sudah dibuka dari cetakan langsung direndam dalam bak perendaman.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik material

Sumber material :

Agregat halus (pasir alami) berasal dari Kecamatan Kambowa dan agregat kasar (batu pecah/*split*) berasal dari kecamatan Batauga kedua-duanya dari Kabupaten Buton Selatan, yang selama ini dikenal sebagai daerah penghasil material agregat halus dan kasar di kepulauan Buton.

Agregat halus

Tabel 4. Hasil pemeriksaan sifat-sifat agregat halus.

No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan agregat
1	Berat jenis :		
	Berat jenis bulk	2,62	--
	Berat jenis SSD	2,58	--
	Berat jenis semu	2,68	--
	Penyerapan	1,48	%
2	Berat isi lepas	1,57	gr/cm ³
3	Berat isi padat	1,47	gr/cm ³
4	Kadar air	3,31	%
5	Kadar lumpur	3,67	%

Sumber : Hasil analisa data

Berdasarkan hasil pemeriksaan distribusi ukuran butir (gradasi) agregat halus diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 4,06. Adapun pemeriksaan analisa saringan dan gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus

No saringan	Lubang ayakan (mm)	Material 1500 gram			
		Berat tertahan rata-rata (gr)	% Tertahan	% Kumulatif tertahan	% Kumulatif lolos
1	25	0,00	0,00	0,00	100
¾	19	0,00	0,00	0,00	100
½	12,5	0,00	0,00	0,00	100
3/8	9,50	1,20	0,06	0,05	99,95
4	4,75	122,00	6,10	6,16	94,00
8	2,36	319,00	15,99	22,15	77,25
16	1,18	628,00	31,40	53,55	46,00
30	0,60	396,00	19,80	73,35	26,25
50	0,30	283,00	14,15	87,50	12,25
100	0,15	223,00	11,15	98,65	1,25
Pan	-	27,00	1,35	100,00	0,00

Sumber : Hasil analisa data

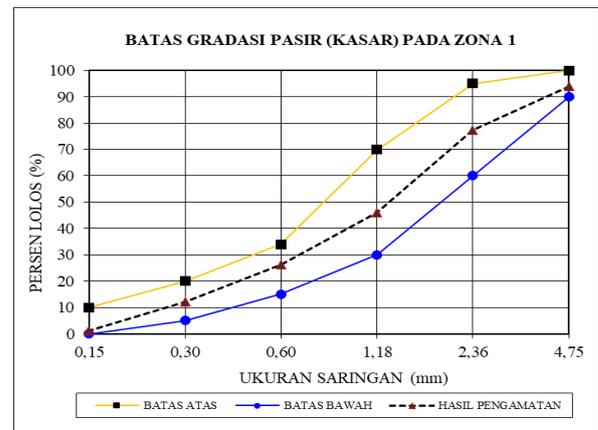
Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus (pasir alami) dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan gradasi agregat halus

Lubang ayakan	Porsentase berat butir yang lewat ayakan				Agregat yang digunakan	
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV	Pasir	Ket.
3/8"	100	100	100	100	99,95	I
No. 4	90-100	90-100	90-100	95-100	94,00	I
No. 8	60-95	75-100	85-100	95-100	77,25	I
No. 16	30-70	55-90	75-100	90-100	46,00	I
No. 30	15-34	35-59	60-79	80-100	26,25	I
No. 50	5-20	8-30	12-40	15-50	12,25	I
No. 100	0-10	0-10	0-10	0-15	1,25	I

Sumber : Hasil analisa data

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus diatas diperoleh gradasi agregat halus masuk pada zona 1 yaitu kategori gradasi pasir kasar. Gambar grafik gradasi butiran pasir dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Batas gradasi agregat halus (pasir alami)



Gambar 2. Gambar agregat halus (pasir alami)

Agregat kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar batu pecah dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini.

Tabel 7. Hasil pemeriksaan sifat-sifat agregat kasar

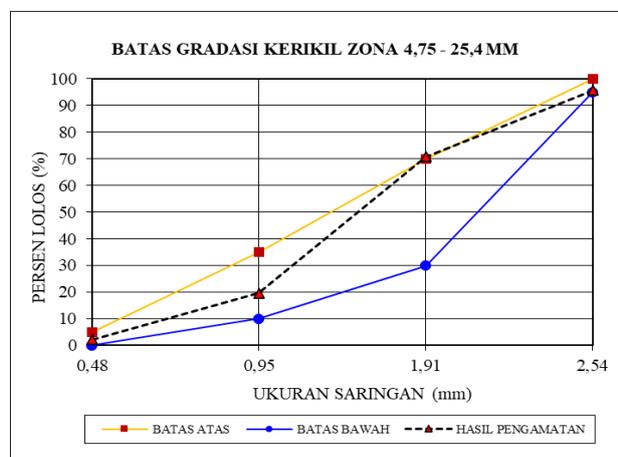
No	Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan	Satuan agregat
1	Berat jenis :		
	Berat jenis bulk	2,32	--
	Berat jenis SSD	2,30	--
	Berat jenis semu	2,36	--
	Penyerapan	1,08	%
2	Keausan	20,30	%
3	Berat isi lepas	1,65	gr/cm ³
4	Berat isi padat	1,76	gr/cm ³
5	Kadar air	0,43	%
6	Kadar lumpur	0,57	%

Sumber : Hasil analisa data

Tabel 8. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar

Nomor Saringan	Material 2500 Gram			
	Berat Tertahan (Gr)	Persen Tertahan (%)	Tertahan (%)	Lewat (%)
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	110,00	4,40	4,40	95,60
3/4"	620,00	24,80	29,20	70,80
1/2"	685,00	27,40	56,60	43,40
3/8"	595,00	23,80	80,40	19,60
No. 4	435,00	17,40	97,80	2,20
No. 8	55,00	2,20	100,00	0,00
No. 16	0,00	0,00	100,00	0,00
No. 30	0,00	0,00	100,00	0,00
No. 50	0,00	0,00	100,00	0,00
PAN	0,00	0,00	100,00	0,00

Sumber : Hasil analisa data



Gambar 3. Batas gradasi agregat kasar (batu pecah/split)



Gambar 4. Gambar agregat kasar (batu pecah/split)

Komposisi perancangan campuran beton

Dari hasil perencanaan *mix desain* maka komposisi perancangan campuran beton normal dengan faktor air semen (FAS) 0,46 dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini :

Tabel 9. Perencanaan *mix design*

Bahan beton	Berat/m ³ beton (Kg)	Rasio terhadap jml. semen	Berat untuk 1 sampel (Kg)	Berat untuk 9 sampel (Kg)
Air	187,10	0,45	0,99	8,88
Semen	416,67	1,00	2,21	19,88
Pasir	580,19	1,39	3,08	27,68
Kerikil	1068,05	2,56	5,66	50,96

Sumber : Hasil analisa data

Komposisi perancangan campuran beton dengan menggunakan abu batu bara (*fly ash*) sebagai substitusi dari berat semen dapat dilihat pada tabel 10 :

Tabel 10. Substitusi *fly ash* terhadap berat semen

<i>Fly ash</i> (%)	Berat untuk 1 sampel (kg)	Berat untuk 9 sampel (kg)
7,5	0,17	1,53
10	0,22	1,98
12,5	0,28	2,52

Sumber : Hasil analisa data

Hasil pengujian kuat tekan beton

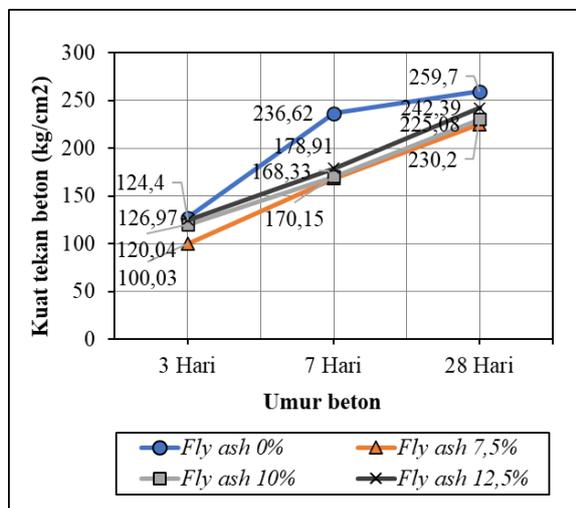
Hasil pengujian yang dilakukan terhadap 36 benda uji diperoleh kuat tekan rata-rata beton pada tiap-tiap umur pengujian berdasarkan substitusi *fly ash* batu bara terhadap berat semen dengan presentase 7,5%, 10%, dan 12,5% dapat dilihat pada tabel 12 dibawah ini :

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata substitusi *fly ash* terhadap semen.

No	Uraian (umur)	Kuat tekan (kg/cm ²)			
		Substitusi <i>fly ash</i>			
		0%	7,5 %	10%	12,5 %
1	3 hari	126,97	100,03	120,04	124,40
2	7 hari	236,62	168,33	170,15	178,91
3	28 hari	259,70	225,08	230,20	242,39

Sumber : Hasil analisa data

Adapun gambar grafik hasil pengujian kuat tekan beton dengan dengan substitusi *fly ash* batu bara terhadap berat semen dengan nilai kuat tekan sesuai umur beton masing-masing dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Grafik kuat tekan beton menggunakan substitusi *fly ash* 0%, 7,5 %, 10%, 12,5% pada umur 3, 7 dan 28 hari

Nilai kuat tekan beton pada penggunaan fly ash untuk umur 3, 7 dan 28 hari mengalami peningkatan, hal ini terlihat dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 5 diatas, dimana untuk umur 3 hari nilai kuat tekan pada penggunaan fly ash 7,5%, 10% dan 12,5% adalah 100,03 kg/cm², 120,04 kg/cm², dan 126,97 kg/cm². Sedangkan pada umur 7 hari adalah sebesar 168,33 kg/cm², 170,15 kg/cm², dan 178,91 kg/cm², sedangkan pada umur 28 hari adalah 225,08 kg/cm², 230,20 kg/cm², dan 242,39 kg/cm².



Gambar 6. Benda Uji Silinder

Kesimpulan

Nilai kuat tekan pada penggunaan *fly ash* 7,5%, 10%, dan 12,5% untuk umur 28 hari mengalami peningkatan, namun untuk perbandingan pada beton normal (0%) mengalami penurunan. Penurunan nilai kuat tekan tersebut di sebabkan pada penggunaan *fly ash* kelas C dalam campuran beton tidak memenuhi Standar 15%-35% dari total berat semen (ASTM C618-86), serta terjadinya porositas (rongga) pada sempel penggunaan *fly ash*.

Fly ash sebagai substitusi dari semen berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton hal ini dapat dilihat pada hasil uji kuat tekan umur 28 hari, dimana pada beton normal (0%) sebesar 259,70 kg/cm², sedangkan penggunaan *fly ash* 7,5% sebesar 225,08 kg/cm², mengalami penurunan kuat tekan sebesar 13,33 % sedangkan *fly ash* 10% sebesar 230,20 kg/cm², mengalami penurunan kuat tekan sebesar 11,35 % dan *fly ash* 12,5% sebesar 242,39 kg/cm² mengalami penurunan kuat tekan sebesar 6,66 %.

Daftar Pustaka

- ASTM C 33/03. *Standar Spesifikasi For Concrete Aggregates*.
- Neville A.M., (1995), *Properties of Concrete*, Prentice Hall.
- Naibaho, A., Takim, T., & Ningrum, D. (2016). Pengaruh Penggunaan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Air Pada Mortar. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 1(2), 91-100.
- Umboh, A. H., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2014). Pengaruh pemanfaatan abu terbang (fly ash) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai substitusi parsial semen terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 2(7).
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh penggunaan high volume fly ash pada kuat tekan

- mortar. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 10(2), 103-114.
- Marthinus, A. P., Sumajouw, M. D., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh penambahan abu terbang (Fly Ash) terhadap kuat tarik belah beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11).
- Denny Dermawan, Moch. Luqman Ashari (2018). Studi Koperasi Kelayakan Lingkungan Pemanfaatan Limbah B3 *Sandblastin* dan *Fly Ash* sebagai campuran beton, *Jurnal Presipitasi : Media komunikasi dan pengembangan Teknik Lingkungan*. Vol. 15 No. 1 Maret 2018, Proram Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- SNI-03-6468-2000, *Tata cara campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang*
- Tjkrodimulyo, K, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gaja Mada, Yogyakarta.