

## PEMANAATAN ABU TERBANG BATU BARA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN UNTUK CAMPURAN BETON

Muhammad Idris<sup>1)</sup>, Ashari Ibrahim<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

The current trend due to rising prices of industrial diesel oil, many companies have turned to using coal as fuel. Coal that has been used as fuel will create a new problem, namely industrial waste in the form of fly ash which can cause environmental pollution so that it needs to be utilized. Fly ash is pozzolanic so it can react with lime at room temperature and through the medium of water to form cementitious compounds like cement. This study aims to determine the effect of the use of fly ash as a partial substitute for cement on the K-250 concrete compressive strength. Procedure: with the Bili-Bili aggregate characteristics, the K-250 concrete mixture design, adding the Jeneponto PLTU coal fly ash as a substitute for PCC cement: 15%, 30%, and 45%, making concrete cube specimens 150 mm x 150 mm x 150 mm, curing, concrete press test 7 days, 28 days and 90 days. The results showed that the concrete age of 7 days there was a decrease in the compressive strength of the average concrete, the percentage of the average compressive strength reduction of normal concrete 0% to concrete fly ash 15%, 30%, and 45% respectively: 4.6%, 15.7% and 27.9%. Concrete age of 28 days, the percentage of compressive strength decrease - average of 0% normal concrete to fly ash concrete: 30%, and 45% respectively: 6.6%, and 21.8%, while 15% fly ash concrete, occurred percentage increase: 1.2%. Concrete age of 90 days there was a decrease in compressive strength on average at 45% fly ash, the percentage reduction in average compressive strength of normal concrete 0% to 45% fly ash concrete was: 5.7%, while 15% and 30% fly ash concrete an increase in compressive strength average of concrete: 1.28%, 3.8%. The use of coal fly ash (15% to 30% as a substitute for cement) can be applied to the K-250 concrete mixture.

**Keywords:** *Compressive strength, fly ash, age of concrete*

### I. PENDAHULUAN

Secara umum kita melihat bahwa pertumbuhan atau perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup pesat, hampir 60% material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi adalah beton (*concrete*), yang pada umumnya dipadukan dengan baja (*composite*) atau jenis lainnya. Konstruksi beton dapat dijumpai dalam pembuatan gedung-gedung, jalan (Rigid Pavement), jembatan, bendung, saluran, beton pracetak, beton pratekan, panel – panel beton dan lain lain. Berdasarkan kegunaan dan perkembangan ini maka sangat dibutuhkan pengembangan pengetahuan mengenai sifat – sifat beton agar kualitas pelaksanaan konstruksi beton tetap terjamin.

Batu bara adalah bahan bakar fosil yang tersedia dalam jumlah yang cukup melimpah dan diperkirakan mencapai 38,9 miliar ton. Jumlah tersebut 67% tersebar di Sumatera, 32% di Kalimantan dan sisanya tersebar di Pulau Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Batu bara sebagai bahan bakar banyak digunakan di PLTU (Termasuk PLTU Jeneponto Sulawesi-Selatan). Kecenderungan dewasa ini akibat naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak perusahaan yang beralih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar.

Batu bara yang telah digunakan sebagai bahan bakar akan menimbulkan masalah baru yaitu limbah industri berupa abu terbang (*fly ash*). *Fly ash* apabila dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran karena mengandung beberapa elemen beracun seperti arsenik, vanadium, antimony, boron dan chromium. Dengan demikian limbah ini perlu dimanfaatkan agar dampak terhadap pencemaran lingkungan dapat dikurangi. *Fly ash* bersifat *pozzolan* sehingga dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dan melalui media air membentuk senyawa yang bersifat mengikat (*cementitious*) sama seperti semen. Salah satu cara mengurangi limbah tersebut adalah memanfaatkan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen kedalam campuran beton (Sumajou, 2013).

Fly ash mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos saringan no.325(45 milimikron) 5-25%, *specific gravity* 2,15-2,8 dan berwarna abu – abu kehitaman (ACI Committe 226). Abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat *pozzolanik* (SNI 03-6863-2002). Kecenderungan dewasa ini akibat naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak perusahaan yang beralih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik. Fly ash kelas F: merupakan fly ash ( $\text{CaO} < 10\%$ ) yang diproduksi dari

<sup>1</sup> Korespondensi penulis : Muhammad Idris. Telp.082196581993, muhammad Idris.ab@poliupg.ac.id

pembakaran batu bara untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime* dan semen. *Fly ash* kelas C: (CaO) > 20% diproduksi dari pembakaran batubara lignite atau sub-bituminous selain mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat self-cementing dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur.

Menurut Idris(2017), mortar yang ditambahkan abu terbang (*fly ash*) sisa pembakaran batu bara PLTU Jeneponto sebagai pengganti sebagian semen PCC (*Portland Cement Composite*) : 10%, 20% dan 30% dapat memperbaiki kualitas mortar mortar. Kuat tekan mortar yang ditambahkan fly ash pada umur 3 hari dan 7 hari secara umum tidak mengalami peningkatan yang signifikan bila dibandingkan dengan mortar tanpa *fly ash*, namun sebaliknya meningkat pada umur 28 hari dan 90 hari. Hal ini menunjukkan bahwa fly ash batu bara mempunyai sifat mengikat sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen. Masalah yang mendasar adalah limbah ini tidak dapat menggantikan semen secara keseluruhan(100%) terhadap campuran beton dan lebih lambat bereaksi dibandingkan semen PCC sehingga berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton . Dengan demikian perlu dikaji berapa persen abu terbang batu bara PLTU Jeneponto ditambahkan kedalam campuran beton sebagai pengganti semen yang memberikan nilai kuat tekan optimal pada umur 7,28 dan 90 hari.Selanjutnya, mutu beton ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan karakteristik beton(K). Mutu beton karakteristik yang umum diterapkan pada konstruksi bangunan adalah: K-225, K-250,K-300. Mutu beton normal (tanpa menggunakan fly ash) yang direncanakan dalam penelitian ini adalah K-250 ( kuat tekan minimum adalah 250kg/cm<sup>2</sup> pada umur 28 hari dengan menggunakan kubus beton 15cmx15cmx15cm).

Penelitian terdahulu adalah : Soni(2015), campuran beton yang mengandung fly ash batu bara (sebagai pengganti sebagian semen) hingga 30% menghasilkan kuat tekan kurang lebih sama dengan kuat tekan beton tanpa fly ash. Goud (2016), campuran beton yang mengandung fly ash batu bara (sebagai pengganti sebagian semen) hingga 30% menghasilkan kuat tekan yang baik pada umur 28 hari dan meningkatkan tingkat kemudahan pemadatan campuran beton(*workability* meningkat). Kumar(2018), penambahan fly ash batu bara hingga 40% umur 28 hari dan 56 hari menghasilkan campuran beton yang ekonomis dan bermanfaat terhadap lingkungan(mengurangi limbah industri). Karthikeyan(2017), penambahan fly ash batu bara hingga 50% umur 56 hari menghasilkan sifat mekanis (kuat tekan, kuat tarik, dan lentur) lebih tinggi terhadap beton tanpa fly ash batu bara. Subramani dkk(2017), penambahan fly ash batu bara hingga 40% umur 28 hari menghasilkan kuat tekan dan durabilitas(ketahanan beton dalam berbagai kondisi) maksimum. Dermawan(2018), limbah sandblasting dan fly ash batu bara dapat meningkatkan kuat tekan beton dan konsentrasi penambahan logam berat berada dibawah baku mutu TCLP(Toxicity Characterisistic Leaching Procedure). Danasi (2015), penambahan fly ash batu bara hingga 25% umur 28 hari menghasilkan modulus elastisitas beton 15,08% dibanding beton tanpa fly ash batu bara. Martinus dkk(2015), penggunaan High Volume Fly Ash(HVFA) yaitu 30% umur 28 hari dapat digunakan untuk konstruksi struktural dan 40-50% untuk konstruksi nonstruktural. Jyoti(2017), penggunaan fly ash sebagai pengganti semen atau agregat halus meningkatkan kuat tekan beton dan *workability* yang disebabkan oleh aktifitas pozzolanic. Berdasarkan penelitian tersebut diatas menunjukkan hasil kuat tekan dan persentase fly ash batu bara yang ditambahkan ke dalam campuran beton sangat bervariasi, namun secara umum menghasilkan beton yang memenuhi mutu yang direncanakan. Hal ini disebabkan oleh kelas mutu beton, jenis semen dan kandungan kimia fly ash batu bara yang digunakan dalam penelitian tidak sama.

Kekuatan tekan beton adalah kriteria untuk menentukan kualitas beton, dimana prosedur pengukuran didasarkan pada SK SNI T – 15 – 1990 – 03. Pembebanan pada pengujian kuat tekan termasuk pembebanan statik monotonic dengan menggunakan alat uji tekan( *compressive test*). Beban yang bekerja akan terdistribusi melalui titik berat adalah:

$$f_{c28} = P/A$$

$$f_{cr} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{28}}{n}$$

$f_{c28}$ (kuat tekan masing-masing benda uji (kg/cm<sup>2</sup>),  $f_{cr}$  (kuat tekan rata-rata benda uji (kg/cm<sup>2</sup>), P(beban maksimum, kg), A(luas penampang (cm<sup>2</sup>) dan (jumlah benda uji).

Urgensi penelitian ini diharapkan memberi kontribusi yang sangat bermanfaat pada konstruksi ketekniksipilan, terutama yang menyangkut beton ramah lingkungan (*Environmentally Friendly*). Urgensi penelitian ini adalah bagaimana memanfaatkan limbah industri *fly ash* dan mengurangi penggunaan semen

agar emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dapat dikurangi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan beton dengan menggunakan *fly ash* batu bara sebagai pengganti sebagian semen (0%, 15%, 30%, dan 45%) pada campuran beton K-250 pada umur 7, 28, dan 90 hari. Berdasarkan kuat tekan yang diperoleh dalam penelitian ini, maka dapat direkomendasikan persentase maksimum *fly ash* PLTU Jenepoto yang layak digunakan dalam campuran beton K250 (*fly ash* sebagai pengganti sebagian semen).

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian berlangsung selama 8 (delapan) bulan. Pengujian karakteristik pasir dan batu pecah, pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil PNU. Uji karakteristik : timbangan digital, saringan, oven dan lain – lain. Pembuatan kubus beton : timbangan, mixer, cetakan kubus beton 15cmx15cmx15cm, slump test, dan bak perendam. Uji tekan : mesin uji tekan kapasitas 2000 kN. Bahan penelitian: semen PCC, *fly ash* batu bara PLTU Jeneponto, Pasir Bili – Bili, batu pecah Bili – Bili, dan air bersih. Proses pengambilan data : uji kualitas pasir, uji kualitas batu pecah, rancangan campuran beton normal K-250, membuat benda uji kubus beton 15cmx15cmx15cm dengan penambahan *fly ash* batu bara 0%,15%,30% dan 45% (pengganti semen). Selanjutnya perawatan benda uji dalam air bersih, dan uji tekan beton umur 7, 28, dan 90 hari. Matrik sampel uji kuat tekan seperti pada Tabel 2.1. Jumlah semen, *fly ash* batu bara, pasir, batu pecah dan air yang dibutuhkan /m<sup>3</sup> ditentukan berdasarkan hasil rancangan beton K-250 menggunakan metode Departement of Environment (DoE).

Tabel 2.1 Matriks sampel uji kuat tekan beton

No.	Persentase <i>fly ash</i>	Persentase PCC	Jumlah kubus beton			Total sampel (buah)
			7 hari	28 hari	90 hari	
1	0%	100%	5	5	5	15
2	15%	85%	5	5	5	15
3	30%	70%	5	5	5	15
4	45%	55%	5	5	5	15
Total kubus beton						60

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Uji karakteristik agregat

#### Karakteristik Agregat Halus (Pasir)

Analisa karakteristik agregat halus ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari pasir yang akan digunakan sebagai material dalam pembuatan campuran beton. Pasir yang digunakan berasal dari daerah Bili-Bili, kabupaten Gowa. Hasil dari pengujian karakteristik agregat halus dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1. Hasil uji agregat halus(pasir)

No	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil Uji	Standar Uji
1	Kadar Air	3,0% – 5,0 %	3,966 %	SNI 1971-2011
2	Kadar Lumpur (<75 $\mu$ m (no.200)	0,2% - 6,0%	4,899	SNI 03-4142-1996
3	Kadar Organik	Kuning ( $\leq 3$ )	Kuning Bening (1)	SNI 03-4141-1996
4	Modulus Kehalusan	2,2 – 3,1	2,026	SNI 03-1968-1990
5	Berat Volume	1,4 kg/ltr – 1,90 kg/ltr	1,423	SNI 03-4804-1998
6	Berat Jenis SSD	1,60 – 3,20	2,574	SNI 03 - 1969-1990
7	Penyerapan	0,20% - 2,00%	1,85	SNI 03 - 1969-1990

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa kualitas pasir (agregat halus) memenuhi standar pengujian, sehingga layak digunakan sebagai bahan campuran dalam produksi beton.

#### Karakteristik Agregat Kasar (Batu Pecah)

Analisa agregat kasar ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari batu pecah yang akan digunakan sebagai material dalam pembuatan campuran beton. Batu Pecah yang digunakan berasal dari daerah Bili-Bili, kabupaten Gowa. Hasil dari pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2 Hasil uji agregat kasar(batu pecah) ukuran 10-20 mm

No	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil Uji	Standar Uji
1	Kadar Air	0,5% – 2,0 %	1,802 %	SNI 1971-2011
2	Kadar Lumpur (<75µm (no.200))	0,2% - 1,0%	0,910%	SNI 03-4142-1996
3	Modulus Kehalusan	5,50 – 8,50	6,928	SNI 03-1968-1990
4	Berat Volume	1,4 kg/ltr – 1,90 kg/ltr	1,456	SNI 03-4804-1998
5	Berat Jenis SSD	1,60 – 3,20	2,568	SNI 03 - 1969-1990
6	Penyerapan	0,20% - 4,00%	1,30	SNI 03 - 1969-1990

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)

Tabel 3.3 Hasil uji agregat kasar(batu pecah) ukuran 20-30 mm

No	Karakteristik	Spesifikasi	Hasil Uji	Standar Uji
1	Kadar Air	0,5% – 2,0 %	1,735 %	SNI 1971-2011
2	Kadar Lumpur (<75µm (no.200))	0,2% - 1,0%	0,51%	SNI 03-4142-1996
3	Modulus Kehalusan	5,50 – 8,50	7,839	SNI 03-1968-1990
4	Berat Volume	1,4 kg/ltr – 1,90 kg/ltr	1,437	SNI 03-4804-1998
5	Berat Jenis SSD	1,60 – 3,20	2,593	SNI 03 - 1969-1990
6	Penyerapan	0,20% - 4,00%	1,27	SNI 03 - 1969-1990

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)

Tabel 3.2. dan Tabel 3.3 menunjukkan bahwa kualitas batu pecah (agregat kasar) memenuhi standar pengujian, sehingga layak digunakan sebagai bahan campuran dalam produksi beton.

### 3.2. Hasil uji tekan kubus

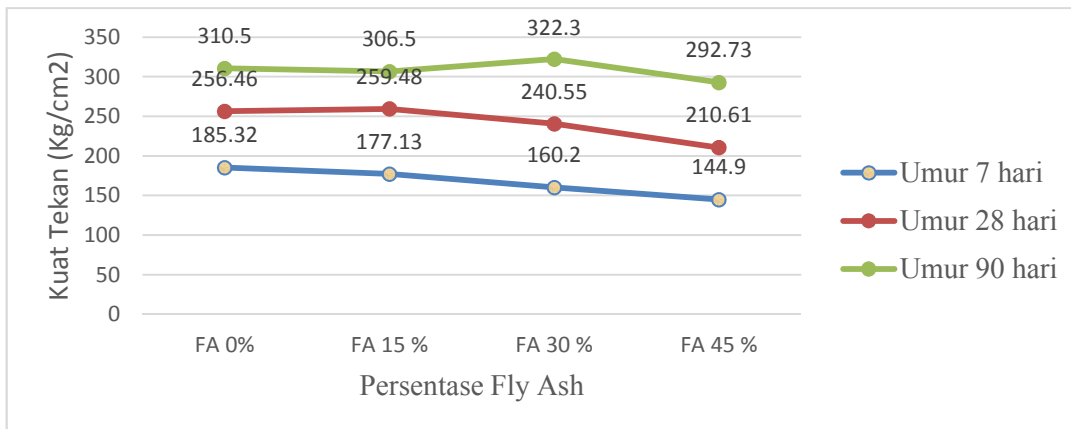
Hasil uji kuat tekan rata – rata kubus kubus untuk semua perlakuan beton FA-0%,FA-15%,FA-30% dan FA-45% pada umur 7, 28 dan 90 hari disajikan pada Tabel 3.4. Nilai slump untuk beton normal maupun beton yang menggunakan *fly ash* memenuhi sarat yaitu 60-180 mm. Makin tinggi persentase *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen, menyebabkan nilai slump semakin meningkat (meningkatkan *workability* beton), hal ini disebabkan bentuk partikel dari *fly ash* yang bulat dan sangat halus. Berdasarkan Tabel 3.1 dan Grafik 3.1. memperlihatkan bahwa hasil kuat tekan beton pada umur 7,28, dan 90 hari untuk semua perlakuan beton. Kuat tekan rata – rata beton dengan perlakuan FA-0%,FA-15%,FA-30% dan FA 4 5% berturut – turut untuk beton umur 7 hari: 185,32kg/cm<sup>2</sup>, 177,13kg/cm<sup>2</sup>, 160,20kg/cm<sup>2</sup> dan 144,90kg/cm<sup>2</sup>, umur 28 hari berturut – turut : 256,46kg/cm<sup>2</sup>, 259,48kg/cm<sup>2</sup>,240,55kg/cm<sup>2</sup> dan 210,61kg/cm<sup>2</sup>, umur 90 hari berturut – turut : 310,10kg/cm<sup>2</sup>,306,49kg/cm<sup>2</sup>, 322,88kg/cm<sup>2</sup> dan 292,73kg/cm<sup>2</sup>. Umur awal beton yaitu 7 hari terjadi penurunan kekuatan tekan, persentase penurunan kuat tekan beton : FA-15%, FA-30% dan FA 45% terhadap FA-0% berturut- turut : 4,6%,15,7%, dan 27,9% . Umur beton 28 hari hanya terjadi penurunan kuat tekan beton : FA-30% dan FA 45% yaitu: 6,6%, dan 21,8% dan FA-15% terjadi peningkatan kuat tekan beton : 1,2% . Selanjutnya, umur beton 90 hari, FA-15% dan FA-30% terjadi peningkatan kuat tekan beton berturut – turut : 1,28%, 3,8% dan terjadi penurunan pada FA-45% sebesar :5,7%. Hal yang menyebabkan lambatnya pengaruh penggunaan *fly ash* pada umur awal beton disebabkan reaksi senyawa *kalsium hidroksida*, Ca(OH)<sub>2</sub> yang merupakan produk hidrasi dengan senyawa silika yang ada pada *fly ash* berlangsung lambat sehingga terbentuknya *calcium silica hidrat* (CSH) lebih lama (di atas 28 hari), selanjutnya senyawa CSH ini yang memberikan kekuatan tambahan pada beton. Secara mekanik ukuran butiran *fly ash* yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan beton, yang pada akhirnya meningkatkan kuat tekan beton. Jyoti(2017), penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen atau agregat halus meningkatkan kuat tekan beton dan *workability* yang disebabkan oleh aktifitas *pozzolanic*.

Tabel 3.4. Hasil uji kuat kubus beton

No.	Perlakuan beton	Kuat tekan rata –rata (kg/cm <sup>2</sup> )			Rata-rata slump(mm)
		Umur 7 hari	Umur 28 hari	Umur 90 hari	
1.	FA-0%	185,32	256,46	310,50	85

2.	FA-15%	177,13	259,48	306,49	85
3.	FA-30%	160,20	240,55	322,88	100
4.	FA-45%	144,90	210,61	292,73	115

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium)



Grafik 3.1. Hasil kuat tekan rata-rata beton

Berdasarkan hasil penelitian untuk semua perlakuan penggunaan limbah hasil pembakaran batu bara berupa abu terbang (*fly ash*) PLTU Jenepono sebagai pengganti semen dengan persentase 15%, 30%, dan 45%. Persentase maksimum abu terbang batu bara PLTU Jenepono sebagai pengganti semen yang direkomendasikan yaitu maksimum 30%. Pemanfaatan persentase 30% sebagai pengganti semen ini sangat bermanfaat terhadap efisiensi biaya pembuatan beton setiap  $1\text{m}^3$ . Mengurangi penggunaan semen (produksi semen dapat direduksi sejumlah 30%) secara tidak langsung mengurangi produksi  $\text{CO}_2$ . Salah satu cara mengurangi limbah tersebut adalah memanfaatkan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen kedalam campuran beton (Sumajou, 2013). Goud (2016), campuran beton yang mengandung *fly ash* batu bara (sebagai pengganti sebagian semen) hingga 30% menghasilkan kuat tekan yang baik pada umur 28 hari dan meningkatkan tingkat kemudahan pemadatan campuran beton (*workability* meningkat). Kumar (2018), penambahan *fly ash* batu bara hingga 40% umur 28 hari dan 56 hari menghasilkan campuran beton yang ekonomis dan bermanfaat terhadap lingkungan (mengurangi limbah industri). Produksi semen menghasilkan sejumlah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) secara signifikan yang menyebabkan timbulnya efek rumah kaca (a greenhouse gas effect). Sejumlah 65% pemanasan global (Global Warming) disebabkan oleh emisi  $\text{CO}_2$ , sekitar 6% bersumber dari industri semen (produksi satu ton semen portland memancarkan kira-kira satu ton  $\text{CO}_2$  ke dalam atmosfer).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan hasil evaluasi penelitian dengan menggunakan *fly ash* batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Beton umur 7 hari terjadi penurunan kuat tekan beton rata-rata, persentase penurunan kuat tekan rata-rata beton normal 0% terhadap beton *fly ash* 15%, 30%, dan 45% berturut-turut: 4,6%, 15,7%, dan 27,9%.
2. Beton umur 28 hari, persentase penurunan kuat tekan rata-rata beton normal 0% terhadap beton *fly ash*: 30%, dan 45% berturut-turut: 6,6%, dan 21,8%. Sedangkan beton *fly ash* 15%, terjadi peningkatan persentase: 1,2%.
3. Beton umur 90 hari terjadi penurunan kuat tekan rata-rata pada *fly ash* 45%, persentase penurunan kuat tekan rata-rata beton normal 0% terhadap beton *fly ash* 45% adalah: 5,7%, sedangkan beton *fly ash* 15% dan 30% terjadi peningkatan kuat tekan rata-rata beton: 1,28%, 3,8%.
4. Penggunaan abu terbang (*fly ash*) batu bara 15% sampai dengan 30% sebagai pengganti semen dapat diaplikasikan kedalam campuran beton K-250.

## V. REFERENSI

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

Danasi, M., dan Lisantono, A. 2015. Pengaruh Penambahan Fly Ash Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Silica Fume dan Filler Pasir Kwarsa. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 9 (Konteks 9). Oktober-2015. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Dermawan, D dan Ashari, Moch. L. 2018. Studi Komparasi Kelayakan Teknis dan Lingkungan Pemanfaatan Limbah B3 Sandblasting terhadap Limbah B3 Sandblasting dan Fly Ash sebagai Campuran Beton. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan. Volume: 15 No: 01 /Maret-2018. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Goud, V and Soni, N. 2016. Partial Replacement of Cement with Fly Ash In Concrete And Its Effect. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). Vol. 106 Issue 10 (Oct. 2016). (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019)

Jyoti, and Kumar, P. 2017. Partial Replacement of Cement with Fly Ash for Concrete Pavement: A Review. International Journal of Technical Research (IJTR). Volume: 06 Issue :01 /Mar-Apr-2017. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Karthikeyan, R. M., and Suryakumaran, K 2017. Mechanical Properties of High Volume Fly Ash Concrete. International Journal of ChemTech Research. Volume: 10 No :08 /2017. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Kumar S, V., Rao, A. V. 2018. Experimental Investigation on Flexural Behaviour of Fly Ash Concrete by Replacing Sand with M-Sand. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume: 09 Issue :06 /June-2018. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Martinus, A. P., Sumajouw, M. D. J., dan Windah, R. S. 2015. Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. Jurnal Sipil Statik Vol. 3 No. 11 Nopember 2015. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Muhammad Idris, dan Hasriana (2017). Analisis Kualitas Mortar yang Ditambahkan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Pengganti Sebagian Semen. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017 (pp. 129-132)

Mulyono, Tri. 2004. Teknologi Beton. Jogyakarta: Andi

Samekto, W dan Candra, R. 2000. Teknologi Beton. Jogyakarta : Kanisius.

Soni, Rakesh. 2005. Behaviour of Fly Ash in Cement-Concrete Pavement. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume: 02 Issue :05 /August-2015. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Subramani, T., Sengottaiyan, R., Kumar, K. R., Kumar, V. A., and Sood, S. S. S. 2017. An Experimental Investigation On Mineral Admixture For High Performance Of Concrete. International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM). Volume: 06 Issue :05 /May-2017. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019).

Sumajouw M. D. J dan Dapas S. O. 2013. Elemen Struktur Beton Bertulang Geopolymer. Jogyakarta : Andi.

SNI. T. 15-1990-03. 1990. Tata Cara Pembuatan Rencana Campur Beton Normal.

. Bandung: Yayasan LPMB (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019)

SNI 03-6863-2002. Metode Pengambilan Contoh Dan Pengujian Abu Terbang Atau Pozzolan Alam Sebagai Mineral Pengcampur Dalam Beton Semen Portland. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019)

SNI. T-15-1990-03. Tata Cara Pembuatan Rancangan Campuran Beton. (<http://www.google>, diakses 5 Pebruari 2019)