

PENGARUH PERBEDAAN SUMBER FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE YANG DIBUAT DENGAN MENGGUNAKAN SEMEN PPC

Mochamad Solikin¹⁾, Siti Kholishoh²⁾, Budi Setiawan³⁾

¹⁾ Staf pengajar Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta; e-mail: ¹⁾ msolikin@ums.ac.id

²⁾ Mahasiswa S-1 Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta e-mail ²⁾: cholis_elipo04@yahoo.com

³⁾ Staf pengajar Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta e-mail: iwanabirawa@yahoo.com

ABSTRACT

This paper reports the investigation of mechanical properties of high volume fly ash concrete which are produced using two different sources i.e. *fly ash* from Jepara Power plant and that from market source. Particularly, this research focuses on the influence of using PPC (Pozzolanic Portland Cement) cement in high volume fly ash concrete production on its compressive strength and water absorption. The research departs from the question whether or not the compressive strength of high volume fly ash concrete with PPC is similar to that with OPC. The experiment on normal concrete was also conducted as a control mix. The result shows that fly ash from Jepara Power plant can be classified as class C fly ash whereas fly ash from the market is only classified as pozzolanic material. In terms of compressive strength, the utilization of PPC cement makes the compressive strength of the concrete lower than that of the design strength. Furthermore, the compressive strength is much lower when the PPC is used in high volume fly ash concrete. Despite the strength, the use of high volume fly ash concrete is beneficial in terms of water absorption.

Keywords: high volume fly ash concrete, compressive strength, water absorption, PPC cement

ABSTRAKSI

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan fly ash dari PLTU Jepara dan fly ash yang dijual di pasaran dalam pembuatan High volume fly ash Concrete. Tujuan penelitian adalah mengetahui karakteristik mekanik beton High volume fly ash Concrete apabila semen yang digunakan adalah jenis Pozzolanic Portland Cement (PPC). Pemakaian semen jenis PPC dalam pembuatan beton menimbulkan permasalahan apakah kuat tekan beton yang dihasilkan sama dengan beton yang dibuat dengan bahan semen jenis OPC (Ordinary Portland Cement). Penelitian dilakukan dengan menguji beberapa karakteristik beton segar dan beton yang telah mengeras. Selain pengujian terhadap High volume fly ash Concrete, pengujian terhadap beton normal juga dilakukan sebagai kontrol kekuatannya. Setelah dilakukan penelitian dan pengujian hasilnya menunjukkan bahwa fly ash dari PLTU Jepara termasuk kelas C, sedangkan fly ash yang dijual di pasaran tidak termasuk kelas C, F dan N. Hasil pengujian menunjukkan pemakaian semen PPC mengakibatkan kuat tekan pada beton normal hasilnya lebih rendah dari kuat rencana hasil perhitungan mix design dan semakin rendah ketika digunakan dalam high volume fly ash concrete. Hal yang paling menguntungkan dari pemakaian high volume fly ash dalam beton adalah serapan air yang rendah.

Kunci : beton, fly ash, high volume fly ash concrete, kuat tekan, serapan air, semen PPC

PENDAHULUAN

Beton merupakan komposisi dari semen, agregat, air dan bahan tambah, kemudian diaduk menjadi satu kesatuan dan mengeras dalam waktu tertentu. Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air yang dibuat dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (Mulyono, 2004).

Saat ini semen yang beredar di pasaran Indonesia dibedakan menjadi 3 golongan yaitu OPC, PPC dan PCC. Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*)

adalah semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum atau bangunan yang tidak membutuhkan persyaratan khusus dan mengandung kadar silika lebih banyak (Kresna, 2011). Semen PCC (*Portland Composite Cement*) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064-2004). Semen PPC (*portland pozzoland cement*) adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran

yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen *portland* dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6%-40% massa semen *portland* pozolan. Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini menggunakan semen PPC (*portland pozzoland cement*). Semen PPC ini sekarang banyak ditemui di pasaran. Kegunaan semen PPC adalah semakin lama semakin kuat, tahan terhadap retak, tahan terhadap sulfat dan asam (SNI 15-0302-2004).

Salah satu bahan pozzolan yang saat ini digunakan secara luas di dunia adalah *fly ash* (abu terbang) yang merupakan hasil sisa pembakaran batu bara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap dan industry. *Fly ash* memiliki berbentuk partikel bulat halus dan bersifat pozzoland, dimana abu terbang tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar (24°C - 27°C) dengan adanya media air membentuk senyawa yang sifatnya mengikat (Tjokrodimulyo, 1996) dalam (Suarnita, 2011). Unsur yang terkandung dalam *fly ash* (abu terbang) antara lain Oksida Silika (SiO_2), Oksida Alumina (Al_2O_3), Oksida besi (Fe_2O_3), dan Trioksida Sulfur (SO_3). Apabila direaksikan secara kimia dengan temperatur biasa maka akan membentuk senyawa yang sifatnya mengikat (Paul Nugraha dan Antoni, 2007). Menurut ASTM C 618-03 (2003) *fly ash* itu dibagi menjadi 3 kelas yaitu kelas C, kelas F, dan kelas N.

Dalam rangka mengurangi pemakaian semen secara signifikan dalam produksi beton maka pada tahun 2000 peneliti dari Canmet Canada mempopulerkan pemakaian *High volume fly ash* (HVFA) *Concrete*. HVFA *concrete* adalah beton yang dibuat dengan menggantikan minimal 50% semen dengan *fly ash* kelas F atau kelas C. Meskipun penggantian semen mencapai 50%, namun beton yang terbentuk menunjukkan sifat-sifat yang baik (Malhotra and Mehta, 2005).

Semen yang saat ini beredar di masyarakat hanya ada dua jenis yaitu semen jenis PCC dan jenis PPC, sedangkan semen OPC harus melalui pemesanan khusus dan tidak dijual dalam bentuk kemasan (zak). Tidak diedarkannya semen OPC di masyarakat disebabkan, semen tersebut lebih mahal dan kurang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan pozzolan namun seluruhnya merupakan semen hasil produksi industri semen.

Pemakaian semen bukan OPC dalam campuran beton menimbulkan suatu permasalahan, apakah kuat tekan yang dihasilkan sesuai dengan rancangan campuran beton yang dibuat, di mana dalam rancangan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834 (2000) semen yang digunakan adalah semen OPC jenis I. De-

ngan demikian penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh pemakaian semen PPC untuk pembuatan beton normal dan pembuatan beton *High volume fly ash Concrete*.

RANCANGAN PENELITIAN

Perencanaan campuran beton dalam penelitian ini menggunakan metode SNI 03-2832-2000, Tata Cara Perancangan Campuran Beton Normal. Dalam standar perancangan campuran beton, jenis semen yang digunakan adalah semen Jenis I atau OPC. Dengan demikian penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh karakteristik mekanik beton bila semen PPC digunakan dalam campuran beton normal dan digunakan dalam *high volume fly ash concrete*. *High volume fly ash concrete* yang dimaksud, dengan menggunakan proporsi *fly ash* sebesar 50% sebagai pengganti sebagian semen.

Selanjutnya pembuatan beton dilakukan dengan mencetak beton sesuai dimensi standar pengujian sifat mekanik beton. Pengujian sifat mekanik beton meliputi kuat tekan dan pengujian berat volume dan serapan air beton. Umur pengujian disesuaikan dengan jenis pengujian sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran penampang benda uji dan umur pengujian

No	Pengujian	Ukuran (cm)	Umur (hari)
1	Kuat tekan	Panjang : 15	14,28,56
2	Serapan air	Diameter: 10 Tinggi : 5	56

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari 2 sumber, yaitu berasal dari PLTU Jepara dan berasal dari UD Sinar Mandiri Mojosoongo (*fly ash* pasaran). *Fly ash* tersebut sebelum digunakan diperiksa kandungan kimianya di Laboratorium Balai Konservasi Candi Borobudur. Magelang di mana hasil pengujian kandungan kimia ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Fly ash*

No	Parameter	Kode Benda Uji		Satuan
		A	B	
1	SiO_2	24,110	32,5900	%
2	CaO	0,7182	0,8753	%
3	MgO	3,1117	4,6351	%
4	Fe_2O_3	6,9445	6,4722	%
5	Al_2O_3	13,3993	12,6828	%
6	TiO_2	0,8420	0,8120	%

Hasil pengujian kandungan kimia *fly ash* menunjukkan jumlah kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ untuk benda uji A (*fly ash* yang dijual di pasaran) sebesar 44,4538% dan benda uji B (*Fly ash* dari PLTU Jepara) sebesar 51,745%. Berdasarkan hasil

pengujian kandungan kimia tersebut, *fly ash* yang berasal dari pasaran tidak termasuk *fly ash* kelas C dan kelas F karena batas ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) kelas C minimal 50 % dan kelas F ($\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) minimal 70%. Sedangkan yang masuk pada *fly ash* kelas C adalah *Fly ash* dari PLTU Jepara (ASTM C618-03, 2002).

Selain kandungan mineral dari *fly ash*, kandungan mineral dari semen PPC yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Kandungan kimia semen PPC dan OPC

Jenis Komposisi Kimia	PPC (%)	OPC (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	23,13	20,92
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	8,76	5,49
Ferri Oksida (Fe_2O_3)	4,62	3,78
Kalsium Oksida (CaO)	58,66	65,21
Magnesium Oksida (MgO)	0,90	0,97
Sulfur Trioksida (SO_3)	2,18	2,22
Hilang Pijar (LOI)	1,69	1,35
Kapur Bebas	0,69	0,59
Bagian tidak larut	8,82	0,43

(Sumber : Astuti, 2006)

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kandungan kimia pada semen PPC dengan semen OPC dimana jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ pada PPC sebesar 36,51% sedangkan pada semen OPC sebesar 30,19%. Jumlah tersebut menunjukkan semen PPC memiliki sifat pozzolan yang lebih tinggi dibandingkan semen OPC. Sifat pozzolan tersebut akan mengakibatkan kekuatan beton yang semakin baik dengan bertambahnya umur beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil penelitian merupakan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, dan hasilnya ditampilkan pada uraian berikut ini.

Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat meliputi kandungan zat organik, kandungan lumpur, berat jenis, serapan air, dan gradasi baik untuk agregat halus maupun agregat kasar, dimana hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4, di mana dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa agregat yang digunakan dalam campuran beton baik agregat halus maupun agregat kasar sudah memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian		Standar SNI
	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Kandungan zat organik	Larutan NaOH 3% berwarna kuning	-	No 1-3
Kandungan lumpur	3.67 %	-	Maksimum 5 %
Berat jenis kering (SSD)	2.659 %	2.638	2.5-2.7
BJ semu	2.714	2.649	-
BJ curah kering	2.628	2.630	-
Penyerapan air	1.215	0.255	- Max 5 % (AH) - Max 3 % (AK)
Modulus halus butir	3.28	7.05	- 1.5-3.8 (AH) - 5-8 (AK)
Gradasi	Gradasi 3	Max 20 mm	

Rancangan campuran beton (*Mix Design*)

Rancangan campuran beton digunakan untuk menentukan proporsi suatu bahan material dalam membuat campuran beton. Dalam penelitian ini, rancangan campuran beton ditujukan untuk menghasilkan kuat tekan karakteristik sebesar $f'_c = 30$ MPa dengan $f_{as} = 0,55$ (jumlah air = 190 kg/m^3)

Tabel 5. Proporsi Campuran Beton

No	Nama	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	<i>Fly ash</i> (kg)
1	K ₁	345,45	755,82	1.133,73	-
2	K ₂	172,73	755,82	1.133,73	172,73
3	K ₃	172,73	755,82	1.133,73	172,73

Keterangan :

K₁= Beton normal

K₂= Beton yang ditambah dengan *fly ash* dari PLTU Jepara

K₃= Beton yang ditambah dengan *fly ash* yang dijual di pasaran

Hasil Pengujian Slump

Pada saat kondisi beton masih segar, masing-masing campuran adukan beton dilakukan pengujian *slump*. Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui *workability* beton segar dari masing-masing campuran beton.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Slump*

No	Nama	Nilai <i>Slump</i>	Satuan
1	K ₁	5	cm
2	K ₂	5,5	cm
3	K ₃	3	cm

Hasil pengujian *slump* menunjukkan nilai *slump* rancangan campuran beton telah memenuhi syarat nilai *slump* rencana yaitu sebesar 30-60 mm.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan sesuai perkembangan umur beton yaitu pada umur 14 hari, 28 hari dan 56 hari. Pengujian dilakukan dengan menekan benda uji pada mesin *Universal Testing Machine* (UTM) dengan *loading rate* sebesar 2-4 kg/cm² per detik sebesar hingga mencapai beban maksimumnya (SNI 03-1974, 1990). Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

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

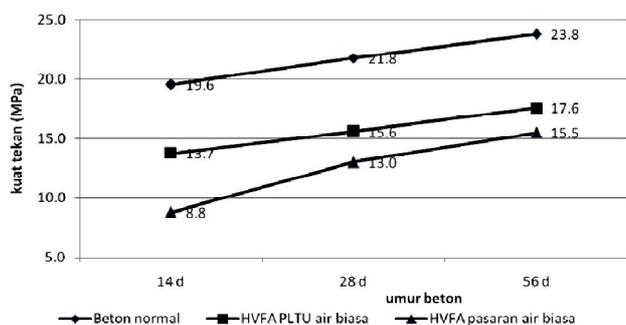
dengan :

f'_c = kuat tekan beton, MPa

P = beban maksimum, N

A = luas penampang, mm²

Berdasarkan rata-rata kuat tekan dan umur beton maka dapat digambarkan grafik perkembangan kuat tekan beton sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan rata-rata kuat tekan beton dengan umur beton

Dari gambar 3 grafik hubungan antara rata-rata kuat tekan beton dan umur beton, maka dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya umur beton maka kekuatan beton semakin bertambah. Apabila dibandingkan dengan *mix design*, kuat tekan beton normal lebih rendah dibandingkan kuat tekan rencana sebesar 30 MPa. Rendahnya kuat tekan beton normal tersebut, penurunan mencapai 27,3%, sangat mungkin disebabkan oleh dipakainya semen jenis PPC bukan semen jenis I (OPC) sebagaimana dinyatakan dalam SNI tata cara perancangan beton normal. Hasil ini juga hampir sama dengan penelitian Salain (2009) yang menunjukkan bahwa pemakaian semen PPC mengakibatkan sedikit penurunan kuat tekan dibandingkan pemakaian semen OPC.

Pemakaian *High volume fly ash* juga semakin menurunkan kuat tekan beton dibandingkan kuat rencana, dimana hal ini disebabkan semen jenis PPC telah mengandung *fly ash* yang cukup besar. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Perwitasari (2005), kandungan *fly ash* dalam semen

PPC bisa dibuat dengan campuran 20% *fly ash* terhadap OPC.

Hasil Pengujian Serapan Air Beton

Pengujian serapan air dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar daya serap beton terhadap air yang berkaitan erat dengan jumlah pori-pori beton. Pengujian serapan air beton dilakukan dengan cara mencari perbedaan berat benda uji dalam keadaan jenuh air dan berat benda uji ketika kering oven. Benda uji dalam kondisi jenuh air diperoleh dengan mengikuti metode ASTM dengan cara melakukan proses vacuum benda uji kemudian dalam kondisi *vacuum* ditambahkan air hingga jenuh. Nilai serapan air pada beton diperoleh dengan rumus:

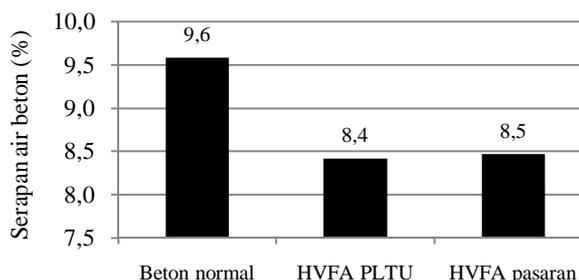
$$\text{Penyerapan air \%} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100 \quad (2)$$

dengan:

W_1 = berat kering oven

W_2 = berat jenuh

Berdasarkan rata-rata serapan air beton pada beton normal dan penambahan *high volume fly ash* maka didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram hasil rata-rata serapan air beton

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa serapan air pada beton normal lebih tinggi dibandingkan beton *high volume fly ash*. Besarnya serapan air baik untuk *fly ash* yang berasal dari pasaran maupun yang berasal dari PLTU adalah relatif sama, yaitu menghasilkan penurunan nilai serapan air terhadap beton normal sebesar 11%.

Rendahnya nilai serapan air beton tersebut disebabkan pemakaian *fly ash* yang memiliki butir-butir yang sangat halus sehingga mampu menurunkan pori-pori beton yang ditinggalkan oleh air yang menguap. Nilai serapan air beton normal yang lebih tinggi dibandingkan beton normal juga diperoleh berdasarkan penelitian (Crouch dkk, 2007).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

1. Seiring dengan bertambahnya umur perawatan beton, kekuatan beton juga meningkat.
2. Beton normal mempunyai kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan beton *high volume fly ash*.
3. Pemakaian semen PPC menghasilkan kuat tekan beton yang lebih rendah dibandingkan kuat tekan rencana.
4. Pada pengujian serapan air beton, beton normal lebih banyak menyerap air dibandingkan dengan beton *high volume fly ash*.
5. *Fly ash* yang dijual dipasaran tidak memenuhi spesifikasi *fly ash* kelas C, kelas F dan kelas N.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 363R-92., 1992. *State of the Art Report on High Strength Concrete*. America Concrete Institute., 1990. *ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete*. Part II. Material Concrete Quality. Fifth Addition. Skokie. Illinois. PCA.
- ASTM., 1995. *Concrete and Agregat. Annual Book of ASTM Standart*, 4(2). Philadelphia: ASTM, 1995.
- ASTM C 469-94-02., *Standart Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poissons's Ratio of Concrete in Compression*.
- ASTM C 618-03 2003. *Standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in portland cement concrete*. Philadelphia, United States: Annual Book of ASTM Standard
- ASTM C 642-97. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*.
- Astuti, A. W., 2006. *Perancangan Kegiatan Perawatan Yang Optimal Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance II (RCM II). Tugas Akhir*, Fakultas Teknologi Industri. ITS Surabaya.
- Crouch, L. K., Hewitt, R. and Byard, B., 2007. *High Volume Fly Ash Concrete. 2007 World Coal Ash (WOCA)*. Northern Kentucky, USA.
- Istianto, M. M., 2010. *Kajian Kuat Desak dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan tambah Metakolin dan Serat. Skripsi*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universits Sebelas Maret Surakarta.
- Kurniawandy, A., Djauhari, Z., Napitu, E. T., 2011. *Pengaruh Abu Terbang terhadap Karakteristik Mekanik Beton Mutu Tinggi. Jurnal Teknologi*, 11 (1), 55-99.
- 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.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*. (2nd ed). Yogyakarta : Andi.
- Nawy, E.G., 1990. *Reinforce Concrete a Fundamental Approach*. Terjemahan. (1st ed). Bandung : PT. Erisco.
- Nugraha, P. & Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi.
- SK SNI T15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 1970:2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1972-1990. *Metode Pengujian Slump Beton*. Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2493-1991. *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. Pusjatan-Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2816-1992. *Metode Pengujian Kotoran Organik dalam Pasir untuk Campuran Mortar atau Beton*. Pusjatan-Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2834-2000. *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Subakti, A., 1995. *Teknologi Beton dalam Praktek*. Surabaya : Institut Teknologi Surabaya.
- Tjokrodimuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Biro Penerbit KMTS FT UGM.

Hal-hal yang perlu disarankan dari penelitian ini dan untuk penelitian selanjutnya tentang pemakaian *high volume fly ash* pada beton adalah sebaiknya digunakan fas rendah dengan konsekuensi penambahan *superplasticizer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terselenggara dengan biaya Hibah Bersaing dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementrian Pendidikan dan kebudayaan serta bantuan dari Mahasiswa Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta untuk melakukan percobaan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Perwitasari , D. S., 2005. Fly ash Batubara sebagai Bahan Substitusi untuk Ordinary Portland Cement (OPC) dengan Portland Pozzolan Cement (PPC). *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebar D10 Brotohardjono, Surabaya*.
- Salain, I. M. A. K., 2009. Pengaruh Jenis Semen Dan Jenis Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton. *Teknologi dan Kejuruan, Vol. 32, 63 - 70*.