

## PEMANFAATAN ABU TERBANG DALAM JUMLAH BESAR PADA PEMBUATAN BETON

(The Use of High Volume Fly Ash in The Concrete Production)

I Made Alit Karyawan Salain<sup>1\*</sup>, Ida Bagus Dharma Giri<sup>1</sup> dan Mayun Adi Alice Saraswati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

<sup>2</sup>Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bukit Jimbaran Bali

\*Korespondensi Pembicara. Phone: 08123656541

Email: imaksalain@yahoo.com

### ABSTRACT

Study on the use of high volume fly ash as a partial replacement of ordinary Portland cement in the concrete production has been realized by using cubical specimens of 150 mm x 150 mm x 150 mm. The specimens were made by using a mixture of, in weight ratio, cementitious material : sand : crushed stone = 1 : 2 : 3 and water cementitious material ratio (w/cm) 0.35. The cementitious material was made by blending ordinary Portland cement and fly ash. The quantity of fly ash in the blend was 50%, 55% and 60% of the total weight of the blend. The distributions of grains of sand and crushed stone were designed by using SNI T-15-1990-03: the zone 2 for the gradation of fine aggregate and the maximum diameter of 20 mm for the gradation of coarse aggregate. At the mixing time of the concrete, it was added superplasticizer of 1.5% by weight of the cementitious material. To see the possibility utilization of high volume fly ash in the concrete production, compressive strength test was realized at age 3, 7, 28 and 90 days by using three specimens for each of the age test. As a control, it is also made the specimens using 100% of ordinary Portland cement. The results of this study show that the concrete made with high volume fly ash can develop, with the age of hydration, an interesting compressive strength compared with concrete made by using 100% of ordinary Portland cement. The use of 50%, 55% and 60% of fly ash in the concrete, as a partial replacement of ordinary Portland cement, can produce compressive strength at 90 days of hydration respectively 37,52 MPa, 32,07 MPa and 30,52 MPa. These compressive strength is equal respectively to 105%, 90% and 85% of the compressive strength of concrete made by using 100% ordinary Portland cement. This fact indicates that the fly ash, as industrial waste, can be used in large quantities in the concrete industry, so that it can reduce environmental problems both in the management of industrial waste and in the concrete production.

**Keywords:** fly ash, concrete, compressive strength, environment.

### 1. PENDAHULUAN

Semen Portland merupakan komponen utama dalam teknologi beton yang berfungsi sebagai perekat hidrolik untuk mengikat dan menyatukan agregat menjadi masa padat. Di dunia ini, tidak ada bahan buatan manusia yang digunakan melebihi dari beton. Data menunjukkan bahwa dewasa ini konsumsi beton dunia telah mencapai sekitar 22 milyar ton per tahun [Mehta and Meryman, 2009], ekuivalen dengan 3,2 ton untuk tiap manusia di bumi, dengan jumlah konsumsi semen sekitar 3 milyar ton [Mehta, 2009]. Jumlah ini cenderung akan terus meningkat mengikuti perkembangan jumlah penduduk serta ilmu pengetahuan dan teknologi. Berbagai jenis semen Portland, melalui pengaturan rancangan bahan dasar, telah dikembangkan sesuai dengan jenis bangunan dan persyaratan lingkungan dimana beton akan digunakan. Namun demikian produksi semen telah mengeksploitasi sumber daya alam secara besar-besaran dan berdampak terhadap lingkungan. Hal ini terkait dengan kegiatan penambangan batu kapur maupun lempung, sebagai bahan baku utama semen, serta polusi udara yang ditimbulkan dari proses fabrikasinya. Data menunjukkan bahwa industri semen telah menyumbangkan kurang lebih 7% [Mehta and Meryman, 2009; Vanderley, 2003] dari total emisi gas CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Dalam proses pengadaan material pembuat beton, semen Portland menempati posisi tertinggi dalam mengkonsumsi energi. Sekitar 90% energi yang dibutuhkan untuk pengadaan material beton dikonsumsi oleh semen dan sisanya oleh material yang lain. Semakin tinggi kualitas beton yang dibuat semakin tinggi energi yang diperlukan untuk pengadaan bahannya dan semakin banyak jumlah semen Portland yang dibutuhkan sehingga semakin banyak gas CO<sub>2</sub> yang dilepas ke atmosfer. Semua ini praktis akan membebani sumber daya alam yang ada serta atmosfer lingkungan akibat efek rumah kaca.

Salah satu jenis semen yang dikembangkan sebagai upaya untuk mereduksi biaya produksi serta mengatasi permasalahan lingkungan adalah semen Portland pozolan. Semen jenis ini diproduksi 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 [SNI 15-0302-2004]. Semen Portland pozolan mempunyai karakter seperti panas hidrasi lebih rendah serta workabilitas, kekuatan dan daya tahan terhadap sulfat lebih baik [Lea, 1970; Mehta, 1986] dibandingkan dengan semen Portland tipe I yang umumnya dipakai untuk bangunan-bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti panas dan atau waktu hidrasi serta kondisi lingkungan agresif [SNI 15-2049-2004].

Pozolan adalah bahan mineral, terutama mengandung silika dan alumina, yang bila dihaluskan setara dengan butiran semen dan dicampur dengan air pada temperatur normal akan bereaksi dengan kapur untuk membentuk senyawa kalsium silikat hidrat C-S-H dan kalsium aluminat hidrat C-A-H, sejenis dengan senyawa yang dihasilkan pada proses hidrasi semen [Lea, 1970]. Diketahui bahwa, reaksi mineral utama semen Portland, trikalsium silikat C<sub>3</sub>S dan dikalsium silikat C<sub>2</sub>S, dengan air akan menghasilkan C-S-H dan kapur bebas Ca(OH)<sub>2</sub>. Kapur bebas ini tidak banyak memberikan kontribusi terhadap kekuatan dan bahkan cenderung merugikan dari sisi keawetan, bila dalam perjalanan waktu kapur tersebut bereaksi dengan unsur yang bersifat agresif seperti sulfat [Lea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998]. Dengan mengkombinasikan klinker semen Portland dan pozolan, kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen Portland akan bereaksi dengan silika dan alumina dari pozolan, disebut reaksi pozolanik, membentuk senyawa perekat tambahan berupa C-S-H dan C-A-H.

Pozolan yang digunakan pada pembuatan semen Portland pozolan dapat bersumber dari alam seperti batu apung maupun berasal dari limbah industri seperti abu terbang yang merupakan sisa pembakaran batu bara pada pusat pembangkit listrik. Dalam SNI 15-0302-2004 disebutkan bahwa kadar pozolan dalam semen Portland pozolan berkisar antara 6% sampai dengan 40% dari massa semen Portland pozolan. Namun tidak ditegaskan lebih lanjut kenapa kadar pozolan dalam semen Portland pozolan dibatasi maksimum 40%. Padahal penelitian-penelitian yang dilaksanakan di negara maju terkait dengan pemanfaatan abu terbang dalam jumlah besar sebagai pengganti semen Portland, berkisar 50-65% dari massa semen, untuk aplikasi beton telah mulai dilaksanakan dan dilaporkan memberikan hasil yang menjanjikan [Sivasundaram et al., 1990; Bouzoubaâ et al., 1998; Collepari, et al., 2000; Langley, 2000; Mehta and Manmohan, 2006; Malhotra and Mehta, 2008].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebanyak 50-60% sebagai pengganti semen Portland. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan pemakaian abu terbang dalam jumlah besar dalam teknologi beton sebagai upaya untuk menekan kegiatan eksploitasi alam dalam fabrikasi semen sekaligus memanfaatkan residu industri sehingga permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah abu terbang dapat dikurangi.

## 2. BAHAN DAN ALAT

Pada penelitian ini digunakan bahan-bahan pembuat beton yang terdiri dari air, semen Portland tipe I (SPI), agregat halus dan agregat kasar. Sebagai pengganti sebagian SPI digunakan pozolan berupa abu terbang (ATB) yang merupakan residu dari pembakaran batu bara dari pusat pembangkit listrik. Air untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM pada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk agregat halus dipilih pasir alami sedangkan agregat kasar berupa batu pecah, dengan diameter maksimum butirannya adalah 20 mm. Beberapa properti kimia dari SPI dan ATB diberikan pada Tabel 1, sedangkan properti fisik dari agregat halus dan kasar dicantumkan pada Tabel 2. Pada Gambar 1 dan Gambar 2 berturut-turut ditunjukkan gradasi rancangan dari agregat halus dan kasar yang digunakan dalam penelitian. Gradasi butiran agregat halus dirancang memenuhi kategori zona 2 sedangkan untuk agregat kasar, distribusi butirannya dirancang untuk butiran dengan diameter maksimum 20 mm sesuai standar SNI 03-2834-2000.

**Tabel 1**

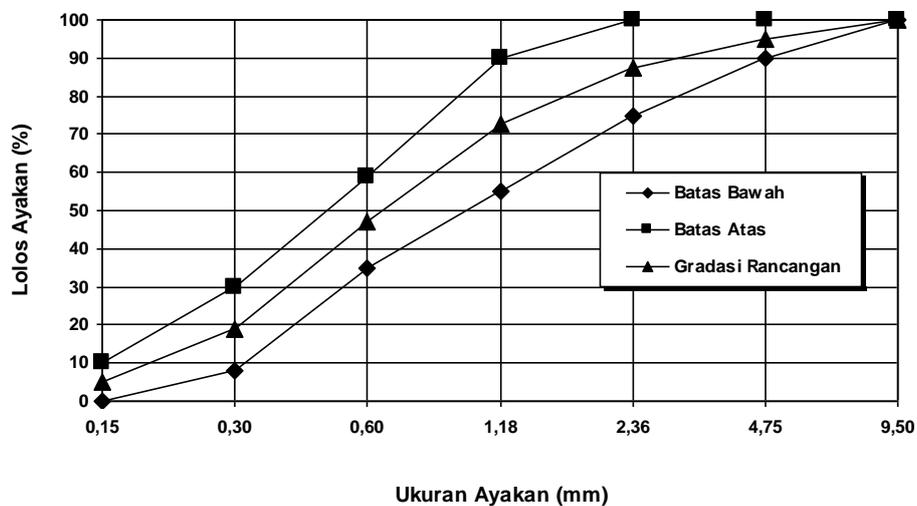
Properti kimia dan fisik dari SPI dan ATB

Oksida	SPI	ATB
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,20	2,78
CaO (%)	61,46	0,82
SiO <sub>2</sub> (%)	28,44	69,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0,54	0,49

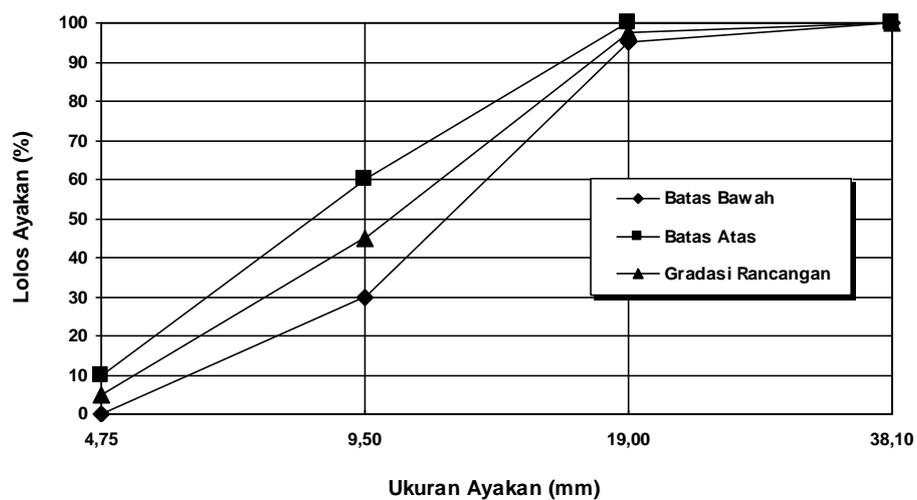
**Tabel 2**

Properti fisik dari agregat halus dan kasar

	Agregat	Pasir	Batu Pecah
Sifat Fisik			
Berat Satuan (kg/l)		1,54	1,47
Berat Jenis SSD		2,62	2,68
Penyerapan Air (%)		2,04	0,60
Kadar Lumpur (%)		3,85	0,10
Kadar Air (%)		4,60	0,60
Kekerasan dengan Los Angeles (%)		-	21,94



**Gambar 1.** Gradasi rancangan agregat halus



**Gambar 2.** Gradasi rancangan agregat kasar

Empat jenis perekat dibuat dari campuran SPI dan ATB dengan berat ATB untuk setiap jenis perekat ditetapkan sebesar 0%, 50%, 55% dan 60% dari berat total perekat. Perekat dengan kandungan 0% ATB (100% SPI) merupakan perekat kontrol. Untuk setiap jenis perekat dibuat benda uji beton berupa kubus dengan ukuran rusuk 150 x 150 x 150 mm. Beton dirancang dengan menggunakan perbandingan berat yang konstan antara semen : agregat halus : agregat kasar sebesar 1,0 : 2,0 : 3,0 dengan nilai faktor air perekat (FAP) ditetapkan sebesar 0,35. Untuk memudahkan dalam pengerjaan beton, saat pencampuran ditambahkan superplastisizer (SPS) sebesar 1,5% dari berat perekat. Karakteristik dari masing-masing beton dengan empat jenis perekat tersebut diberikan pada Tabel 2. Pencampuran beton dilaksanakan dengan *mixer* yang mana sebelum dicampur agregat disiapkan dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD).

**Tabel 3**  
Karakteristik beton

Jenis Beton	Perekat	Perekat : Pasir : Batu Pecah (Perbandingan berat)	F AP	S PS
B1	100% SPI	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B2	50% SPI + 50% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B3	45% SPI + 55% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%
B4	40% SPI + 60% ATB	1 : 2 : 3	0,35	1,5%

Jumlah benda uji yang disiapkan disesuaikan dengan jumlah jenis perekat yang digunakan, umur uji serta jumlah benda uji per pengujian. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur 3, 7, 28 dan 90 hari dengan menggunakan masing-masing 3 benda uji untuk setiap umur uji. Dengan demikian total benda uji yang dibuat secara keseluruhan dengan variasi 4 jenis semen yaitu 48 (empat puluh delapan) buah. Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetaknya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetaknya untuk selanjutnya mendapatkan perawatan. Perawatan dilaksanakan dengan menutup benda uji dengan karung goni yang dibasahi secara periodik sampai dengan waktu yang ditentukan untuk pengujian kuat tekan. Uji kuat tekan dilaksanakan dengan menggunakan mesin tekan dengan kapasitas 2000 kN. Gambar 3 berikut menampilkan pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm.



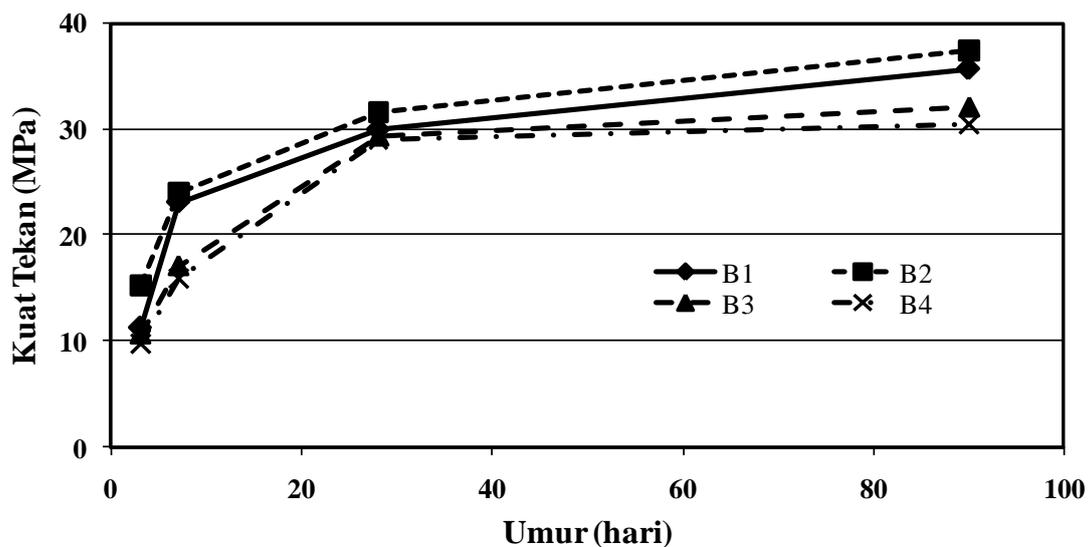
**Gambar 3.** Pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Uji Kuat Tekan

Perkembangan kuat tekan dari masing-masing beton yang dibuat dengan menggunakan perekat berupa campuran SPI dan ATB berdasarkan waktu hidrasi diberikan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kuat tekan, untuk semua jenis beton, meningkat dengan bertambahnya umur hidrasi. Peningkatan kuat tekan beton nampak lebih cepat pada umur hidrasi awal, sampai dengan 28 hari, dan selanjutnya peningkatannya cenderung lebih lambat bahkan pada beton B4 perkembangan kuat tekannya mulai mengalami stabilisasi.

Beton yang dibuat dengan menggunakan ATB sebanyak 55% dan 60% sebagai pengganti SPI (B3 dan B4) mengembangkan kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton kontrol yang dibuat dengan 0% ATB (B1) untuk setiap umur hidrasi. Sebelum mencapai umur 28 hari, perkembangan kuat tekan dari beton B3 dan B4 terlihat lebih lambat bila dibandingkan dengan B1, namun demikian dengan bertambahnya umur hidrasi perbedaan perkembangan kuat tekannya terlihat berkurang. Pada umur 90 hari, kuat tekan yang dihasilkan beton B3 dan B4 dapat mencapai berturut-turut 90% dan 85% dari kuat tekan B1 yang nilainya sebesar 35,70 MPa.



**Gambar 4.** Kuat tekan beton yang dibuat dengan perekat berupa campuran SPI dan ATB

Di sisi lain, beton dengan kandungan ATB sebesar 50% sebagai pengganti SPI (B2) memperlihatkan perkembangan kuat tekan yang cenderung lebih cepat bila dibandingkan dengan beton B1 sampai dengan umur 28 hari dan selanjutnya perkembangan kuat tekan tersebut nampak menyerupai perkembangan pada beton B1. Untuk setiap umur hidrasi beton B2 menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh beton B1. Pada umur 90 hari, kuat tekan yang dihasilkan oleh beton B2 bahkan mampu melampaui sekitar 5% dari kuat tekan beton B1. Dari Gambar 4 tersebut juga dapat dilihat bahwa kuat tekan untuk beton B2 dan B3, seperti halnya dengan beton B1, nampak masih menunjukkan perkembangan setelah melampaui umur hidrasi 90 hari. Kecenderungan perkembangan kuat tekan yang diamati pada beton dengan penggunaan ATB ini

selaras dengan hasil penelitian sejenis yang telah dilaksanakan oleh peneliti lain [Sivasundaram et al., 1990; Bouzoubaâ et al., 1998; Collepari, et al., 2000; Langley, 2000; Mehta and Manmohan, 2006; Malhotra and Mehta, 2008].

### 3.2. Pembahasan

Secara umum terlihat bahwa perkembangan kuat tekan dari masing-masing beton yang dibuat dengan menggunakan perekat berupa campuran SPI dan ATB berdasarkan waktu hidrasi memiliki kecenderungan yang sama dengan beton yang dibuat dengan 100% SPI : cepat di umur awal dan lebih lambat pada umur selanjutnya. Diketahui bahwa mineral C3S bereaksi dengan air lebih cepat bila dibandingkan dengan C2S. Dengan demikian perkembangan kuat tekan yang cepat di awal hidrasi berhubungan dengan kontribusi dari hasil hidrasi C3S sedangkan perkembangan kuat tekan pada umur selanjutnya lebih banyak disumbangkan dari hasil hidrasi C2S. Namun demikian dapat dicatat bahwa kontribusi hasil reaksi pozolanik terhadap perkembangan kuat tekan beton pada penggunaan ATB sebanyak 50% bahkan sudah terlihat dari awal hidrasi.

Beton yang dibuat dengan menggunakan ATB sebanyak 50%, 55% dan 60% sebagai pengganti SPI tercatat mampu mengembangkan kuat tekan mencapai berturut-turut 105%, 90% dan 85% dari kuat tekan beton yang dibuat dengan 100% SPI pada umur 90 hari. Hal ini menunjukkan bahwa alumina ( $Al_2O_3$ ) dan silika ( $SiO_2$ ) yang ada pada ATB bersifat reaktif dan dapat mengikat kapur bebas yang dilepaskan saat hidrasi SPI untuk membentuk senyawa tambahan bersifat perekat, seperti C-A-H dan C-S-H. Kenyataan inilah, terutama, yang menyebabkan penggantian sebanyak 50%-60% SPI dengan ATB tersebut dapat menghasilkan beton dengan kekuatan yang mampu mengimbangi dan bahkan, pada penggunaan ATB sebanyak 50%, dapat melampaui kuat tekan beton yang dibuat dengan menggunakan 100% SPI pada umur 90 hari.

Kemampuan dari masing-masing jenis perekat untuk mengembangkan kuat tekan beton berhubungan erat dengan jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI. Ini berhubungan dengan ketersediaan kapur bebas yang dilepaskan saat reaksi hidrasi dari C3S dan C2S pada SPI dengan jumlah alumina dan silika reaktif yang ada pada ATB sebagai pengganti SPI. Secara proporsional, jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI mengakibatkan C-S-H dan kapur bebas yang dihasilkan dari reaksi C3S dan C2S dengan air berkurang intensitasnya. Dengan adanya alumina dan silika reaktif dari ATB, hasil reaksi kedua oksida ini dengan kapur bebas mampu mengganti pengurangan jumlah C-S-H yang dihasilkan dari reaksi hidrasi C3S dan C2S dengan C-S-H dan C-A-H yang dihasilkan dari reaksi pozolanik ATB. Efektifitas substitusi senyawa ini akan tergantung dari keseimbangan ketersediaan kapur bebas yang diperoleh dari reaksi hidrasi SPI yang ada pada perekat dan alumina serta silika reaktif dari ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI untuk menghasilkan senyawa C-S-H dan C-A-H hasil reaksi pozolanik. Fenomena ini mengakibatkan kecepatan perkembangan kekuatan maupun kuat tekan akhir yang dihasilkan beton untuk tiap jenis perekat yang digunakan menjadi berbeda-beda sesuai dengan jumlah ATB yang digunakan sebagai pengganti SPI dalam setiap jenis perekat yang digunakan.

## 4. PENUTUP

### 4.1. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disampaikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat tekan yang dikembangkan oleh beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebagai pengganti sebagian semen Portland tipe I tergantung dari umur hidrasi dan jumlah abu terbang yang digunakan.
2. Beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang sebanyak 50%, 55% dan 60% sebagai pengganti semen Portland tipe I mampu mengembangkan kuat tekan sebesar berturut-turut 105%, 90% dan 85% dari kuat tekan beton yang dibuat dengan 100% semen Portland tipe I, yang besarnya 35,70 Mpa, pada umur 90 hari.
3. Abu terbang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki reaktivitas pozolanik yang sangat baik sehingga dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai komponen dari perekat hidrolik dalam jumlah besar dalam rangka mengurangi permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh fabrikasi semen sekaligus memanfaatkan residu industri.

### 4.2. SARAN

Untuk melengkapi pemahaman terhadap kinerja dari beton yang dibuat dengan menggunakan abu terbang dalam jumlah besar, pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian terhadap properti beton lainnya seperti modulus elastisitas dan permeabilitas. Selain itu perlu juga dilakukan penelitian sejenis dengan menggunakan berbagai jenis pozolan.

## 5. REFERENCES

- Mehta, P. K. and Meryman H. 2009. *Tools for Reducing Carbon Emissions Due to Cement Consumption*. Structure Magazine. <http://www.structuremag.org>. [10 November 2010].
- Mehta, P. K. 2009. *Global Concrete Industry Sustainability*. Concrete International. <http://www.allbusiness.com>. [10 November 2010].
- Vanderley, M. J. 2003. *On the Sustainability of the Concrete*. UNEP Journal : Industry and Environment. <http://vmjohn.pcc.usp.br>. [10 November 2010].
- Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland Pozolan (SNI 15-0302-2004).
- Badan Standardisasi Nasional, 2004, Standar Nasional Indonesia Semen Portland (SNI 15-2049-2004).
- Lea F.M., 1970, *The Chemistry of Cement and Concrete*, third edition, Edward Arnold Ltd, London.
- Mehta, P.K., 1986, *Concrete Structure Properties, and Materials*, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Neville, A.M. and Brooks J.J., 1998, *Concrete Technology*, Longman, Singapore.
- Sivasundaram, V., Carette, G. C. and Malhotra, V. M. 1990. *Long-Term Strength Development of High Volume Fly Ash Concrete*. Cement and Concrete Composite, 12, 1990, pp. 263-270.
- Bouzoubaâ, N., Zhang, M. H., Bilodeau, A. and Malhotra, V. M. 1998. *Laboratory-Produced High-Volume Fly Ash Blended Cements: Physical Properties and*

- Compressive Strength of Mortars*. Cement and Concrete Research, 28, 1998, pp. 1555-1569.
- Collepari, S., Coppola, L., Troli, R. and Collepari, M. 2000. *High-Volume Fly Ash Blended Cements According to European Standards for High Performance Concrete*. CANMET/ACI International Seminar on High-Volume Fly Ash Blended Cements and Concrete : Their Role in Growth and Sustainability. Lyon, France. November 29, 2000.
- Langley, W. S. 2000. *Practical Uses for High-Volume Fly Ash Concrete Utilizing a Low Calcium Fly Ash*. CANMET/ACI International Seminar on High-Volume Fly Ash Blended Cements and Concrete : Their Role in Growth and Sustainability. Lyon, France. November 29, 2000.
- Mehta, P. K. and Manmohan, D. 2006. Sustainable High-Performance concrete Structures. ACI Concrete International, Vol. 28, No. 7, July 2006, pp. 37-42.
- Malhotra, V. M. and Mehta, P. K. 2008. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. 3<sup>rd</sup> edition, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. Ottawa, Canada, January 2008, 142 pages.