

## **PENGARUH KONDISI PERAWATAN PADA KEKUATAN DAN STRUKTUR MIKRO BETON MEMADAT SENDIRI DENGAN VOLUME ABU TERBANG TINGGI**

Chichilya S. P. Sondakh <sup>1)</sup>  
H. Manalip, S.E. Wallah <sup>2)</sup>

Email : chichilya.s.p.sondakh@gmail.com

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Program studi Teknik Sipil Pasca Sarjana Unsrat

### **Abstract**

*In the process of normal concrete casting is often to experience constraints due to the distance between the reinforcement is too dense, so it can resulting segregation. Therefore the last few years started to develop Self Compacting Concrete (SCC). SCC is a concrete that is able to solidify themselves with fairly high of slump. In contrast to normal concrete, the composition of cement that needed in the mix design of SCC more than the normal concrete's. This is also often used as research to find an additives for cement replacement which is appropriate to the nature and characteristics of the cement itself. Fly ash is a waste remnants of coal combustion, an inorganic oxide material that have forming properties such as cement and high water binding capacity. So that the fly ash become a potential material to replace cement in high volume (more than 50%). To obtain the desired strength of concrete there are several factors that must be considered, one of which is the concrete curing. So the researchers conducted a study that aims to observe the effect of curing to the strength and microstructure of High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete.*

*Mix design of concrete used with the following composition (1) The volume of coarse aggregate approximately 50% of the volume of solid material, in this study use 40%; (2) The volume of fine aggregate approximately 40% of the volume of mortar, in this study use 48%. (3) water cementitious ratio is 0.72. (4) superplasticizer 2.5%. The volume of fly ash are 0%, 50%, 60% and 70%. Curing is done with 4 ways: Elevated Temperature in the oven for 24 hours in a temperature of 90 ° C and 60 ° C, immersion curing, and without curing.*

*The results showed that the slump flow values increase along with the amount of volume replacement of cement with fly ash. In 60% and 70% of fly ash volume were qualified of self compacting concrete is over 65 cm. The maximum average compressive strength is found at 50% fly ash by mass is on without curing (17.30 MPa). Based on the results of SEM and EDS, It discovery that the higher temperature of treatment indicated a reduction of calcium and silica. So that the reduced of the elements calcium and silica showed reduced the major compounds builder of concrete strength.*

**Keywords:** *Curing, Compressive Strength, Microstructure, High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Beton adalah suatu material yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan (*admixture*) bila diperlukan. Umumnya beton yang banyak digunakan dalam proses konstruksi adalah beton normal. Selain proses pembuatannya yang relatif mudah karena tidak memerlukan bahan tambahan, beton normal juga dinilai lebih ekonomis. Namun, tidak jarang dalam proses pengecoran beton normal sering mengalami kendala yang dikarenakan jarak antar tulangan yang terlalu rapat. Akibatnya terjadi pemisahan antara agregat halus, semen, dan air dengan agregat kasar (segregasi). Oleh karena itu, dalam perjalanannya beton normal terus mengalami perubahan yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi yang ada. Salah satunya adalah dengan dikembangkannya beton jenis *Self Compacting Concrete* (SCC).

*Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan beton yang mampu memadat sendiri dengan slump yang cukup tinggi. Dalam proses penempatan pada volume bekisting (*placing*) dan proses pematatannya (*compaction*), SCC tidak memerlukan proses penggetaran seperti pada beton normal. SCC mempunyai *flowability* yang tinggi sehingga mampu mengalir, memenuhi bekisting, dan mencapai kepadatan tertingginya sendiri (EFNARC, 2002). Berbeda dengan beton normal pada umumnya, komposisi semen yang dibutuhkan pada mix design *Self Compacting Concrete* (SCC) lebih banyak jika dibandingkan komposisi semen pada beton normal (Okamura dan Ouchi, 2003). Hal inilah yang juga sering dijadikan sebagai penelitian untuk menemukan bahan tambahan pengganti semen yang sesuai dengan sifat dan karakteristik semen itu sendiri.

*Fly ash* atau abu terbang merupakan limbah sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang pembakaran. Abu terbang (*Fly ash*) berupa serbuk yang sangat ringan dan berwarna keabu-abuan. Abu terbang (*Fly ash*) merupakan material oksida anorganik yang mempunyai sifat pembentuk seperti semen dan kapasitas pengikatan air tinggi (Muthoharoh *et al*, 2011).

Sri Wardani (2008) menuliskan bahwa produksi semen dunia pada tahun 2010 diperkirakan mencapai 2 milyar ton, pada

kenyataannya dilaporkan *International Cement Review* (2011) ternyata mencapai 3,5 milyar ton, di mana setiap produksi 1 ton semen turut berkontribusi menyumbang 1 ton CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Sehingga penggantian semen dengan material lain seperti abu terbang (*fly ash*) dapat menjadi salah satu alternatif mengurangi emisi gas carbon secara dramatis.

Malhotra dan Billodeau (1999) telah menunjukkan bahwa beton dengan Abu terbang (*Fly ash*) volume tinggi atau yang dikenal dengan *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFA) adalah salah satu nilai tambah yang terbaik dari pemanfaatan material hasil produksi sampingan (*by-product material*) industri. Abu terbang (*Fly ash*) juga dapat meningkatkan *workability* dari semen dengan berkurangnya pemakaian air. Dari penelitian-penelitian sebelumnya ditemukan bahwa penggantian partial semen dengan Abu terbang (*Fly ash*) volume tinggi bisa mendapatkan kuat tekan yang diharapkan. Untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, satu diantaranya adalah perawatan (*curing*) beton. Perawatan (*curing*) beton adalah prosedur setelah pengecoran yang dilakukan untuk menjaga beton selama proses hidrasi berlangsung agar kekuatan beton yang diinginkan dapat tercapai. Ada beberapa metode dalam perawatan beton (*curing*), sehingga peneliti bermaksud melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengobservasi pengaruh perawatan (*curing*) beton terhadap kekuatan dan struktur mikro Beton memadat sendiri dengan volume Abu terbang (*fly ash*) tinggi atau *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC).

### Perumusan Masalah

Bagaimana pengaruh perawatan (*curing*) beton terhadap Kuat Tekan dan struktur mikro Beton memadat sendiri dengan volume Abu terbang (*fly ash*) tinggi atau *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC).

### Batasan dan Ruang Lingkup

Dalam penelitian ini pembatasan masalah, sebagai berikut:

1. Volume Abu terbang pengganti semen sebesar 50%, 60%, dan 70%.

2. Jenis uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:
  - a. Uji Keleccakan beton segar dengan *Slump Flow test* & Uji kuat tekan beton di Laboratorium Struktur & Material, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
  - b. Observasi Struktur Mikro dilakukan dengan Scanning Electron Microscopy (SEM) di Laboratorium Material Fisika dan Riset, Fakultas FMIPA Universitas Negeri Manado.
  - c. Observasi komposisi unsur dari *fly ash* dengan *X-ray Fluorescence* (XRF) di laboratorium Uji Departemen Teknik Metalurgi & Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Perawatan (*curing*) benda uji dilakukan dengan 4 tipe yaitu:
  - a. Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 90°C.
  - b. Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 60°C.
  - c. Perawatan perendaman dalam air.
  - d. Tanpa perawatan di Udara terbuka.
4. Pengujian kuat tekan benda uji dilakukan pada umur beton 28 hari.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

1. Meneliti penggantian partial semen dengan abu terbang (*fly ash*) volume tinggi dengan variasi 50%, 60% dan 70% dari total berat *powder* yang menghasilkan beton yang memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*).
2. Meneliti nilai kuat tekan *High Volume Fly Ash- Self Compacting Concrete* rata-rata pada umur 28 hari yang bisa dicapai dengan komposisi abu terbang 50%, 60% dan 70%.
3. Meneliti pengaruh perawatan (*curing*) beton yaitu Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 90°C, Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 60°C, Perawatan perendaman dalam air dan

Tanpa perawatan di Udara terbuka, terhadap kuat tekan *High Volume Fly Ash- Self Compacting Concrete*.

4. Meneliti pengaruh perawatan (*curing*) beton yaitu Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 90°C, Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 60°C, Perawatan perendaman dalam air dan Tanpa perawatan di Udara terbuka, terhadap Struktur Mikro *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete*.

### Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk memberikan informasi penggunaan abu terbang (*fly ash*) volume tinggi sebagai substansi partial semen pada beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*).

### METODOLOGI PENELITIAN

#### Rancangan Eksperimental

1. Komposisi Campuran Beton Memadat Sendiri dengan Volume Abu Terbang Tinggi (HVFAc)

Komposisi campuran yang digunakan mengacu pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Okamura dan Ouchi (2003), Mehta (2004), dan Ikra Alil (2009). Tetapi pada saat melakukan penelitian, penulis melakukan metode *trial and error*, terlebih dalam penentuan jumlah material penyusun dikarenakan adanya perbedaan karakteristik material penyusun beton. Berdasarkan mix design acuan, dilakukan *trial and error* dengan beberapa tahapan dalam menentukan komposisi campuran beton *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete* pada penelitian ini. Metode *trial and error* dilakukan dengan mengacu pada rekomendasi campuran SCC Okamura-Ouchi (1) Volume agregat kasar sekitar 50% volume material padat, pada penelitian ini digunakan sebesar 40%; (2) Volume agregat halus sekitar 40% dari volume mortar, pada penelitian ini digunakan sebesar 48%. Dari hasil percobaan keleccakan untuk mendapatkan dosis superplasticizer dan *w/c Ratio*, penulis sepakat dengan mix design Alil (2009) sehingga didapatkan komposisi campuran seperti dalam tabel 1.

Tabel 1. Mix Design *High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete*

Material	Kg/ m <sup>3</sup>	Komposisi abu terbang ( <i>fly ash</i> )			
		0%	50%	60%	70%
Semen	525	525	262.5	210	157.5
Fly Ash		-	262.5	315	367.5
Pasir	850	850	850	850	850
Kerikil	998	998	998	998	998
Air	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Superplasticizer	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%

**Pelaksanaan Penelitian**

1. Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan Metode *Slump Flow*. *Slump flow* bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton segar untuk mengalir serta mengetahui kemampuan beton segar dalam mengisi ruangan (*filling ability*).

2. Perawatan (*curing*)

Perawatan dilakukan dengan 4 cara :

- 1) Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 90°C, setelah itu benda uji dikeluarkan dan dibiarkan di udara terbuka sampai waktu pengujian kuat tekan.
- 2) Perawatan *Elevated Temperature* dalam Oven selama 24 Jam dalam suhu 60°C, setelah itu benda uji dikeluarkan dan dibiarkan di udara terbuka sampai waktu pengujian kuat tekan.
- 3) Perawatan perendaman dalam air. Benda uji dibiarkan selama 24 jam sampai mengeras kemudian direndam dalam air sampai waktu pengujian kuat tekan.
- 4) Tanpa perawatan. Benda uji dibiarkan dalam suhu ruangan di udara terbuka sampai waktu pengujian kuat tekan.

3. Pengujian kuat tekan pada umur beton 28 hari.
4. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**Pemeriksaan Abu Terbang (*Fly Ash*)**

Komposisi kimia *Fly Ash* dengan pengujian XRF, hasilnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kimia Fly Ash PLTU Amurang

Nama Komponen	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)
Fly Ash PLTU II Amurang	0.032	0.236	15.96	38.84	-	0.55	2.21	3.50	0.970
	Mn (%)	Fe (%)	Ni (%)	Rb (%)	Sr (%)	Y (%)	Zr (%)	Ba (%)	Nd (%)
	0.371	36.77	0.02	0.00	0.04	0.00	0.03	0.31	0.113

Dilakukan pada tanggal 31 Agustus 2015, *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini didominasi oleh unsur Alumina, Besi dan Silika. Dengan kandungan Kalsium 3,501% < 10% sesuai *ACI Manual 232.2R-96* (2002), maka hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa *fly ash* PLTU Amurang termasuk dalam *fly ash* rendah kalsium – Kelas F. Diperkuat dengan klasifikasi dari ASTM C618-05 (2005) dimana *fly ash* – *Class F* ditunjukkan dengan jumlah Aluminium, Silikon dan Besi yang lebih besar dari 70%, pada pengujian ini ditemukan kadar ketiga unsur tersebut sudah lebih dari 70%.

**Pemeriksaan *Slump Flow***

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui *workability* campuran beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*) adalah dengan cara pemeriksaan nilai *Slump Flow*. Makin besar nilai slump, maka beton semakin mudah untuk dikerjakan. Nilai *Slump Flow* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai *Slump Flow* pada variasi prosentase volume abu terbang

No.	Volume Abu Terbang	Nilai Slump maximum (cm)	EFNARC Guideline (cm)
1	0%	54	65 - 80
2	50%	63	65 - 80
3	60%	66	65 - 80
4	70%	67	65 - 80

Dari hasil pemeriksaan *slump flow* terhadap variasi volume abu terbang (*fly ash*) pada beton memadat sendiri dengan volume abu terbang (*fly ash*) tinggi, ditemukan bahwa semakin besar volume abu terbang (*fly ash*) sebagai substansi partial dari semen maka semakin besar pula nilai *slump flow*-nya. EFNARC mensyaratkan batas minimum *slump flow* pada beton memadat sendiri pada 65 cm dan batas maksimum pada 80 cm. Pada penelitian ini ditemukan bahwa pada volume abu terbang 60% dan 70% sudah memenuhi syarat beton memadat sendiri yaitu diatas 65 cm.

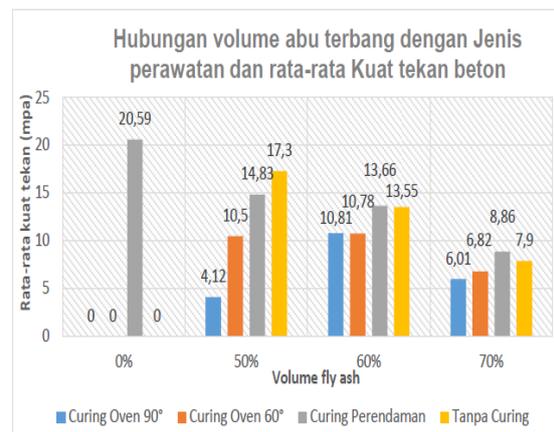
Sofwan Hadi (2000) yang menyatakan bahwa penggunaan abu terbang akan mengurangi serapan air pada beton atau mortar dan menambah workability mortar. Sehingga untuk penambahan volume abu terbang (*fly ash*) tanpa mengurangi jumlah air akan meningkatkan kelecakan dari beton segar. Mehta (2002) juga mengatakan bahwa penggunaan fly ash dengan kadar 50% bahkan lebih dari berat total binder selain dapat meningkatkan kekuatan maksimum dan ketahanan, juga dapat meningkatkan kelecakan dari beton tersebut.

Hasil pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa beton cenderung mengalami *early stiffing* (kekakuan terlalu awal) namun tidak terlalu mempengaruhi kelecakan karena beton memadat sendiri tidak memerlukan pemadatan dengan penggetaran.

### Pengaruh Kondisi Perawatan terhadap Kuat Tekan Beton Memadat Sendiri dengan Volume Abu Terbang Tinggi

Kekuatan tekan beton adalah kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul persatuan luas. Kuat tekan beton pada umumnya dipengaruhi oleh umurnya, bahan yang digunakan, perbandingan campuran serta suhu pengersannya. Disamping itu masalah perawatan sangat mempengaruhi sekali terhadap mutu dan kekuatan beton.

Melalui hasil pengujian kuat tekan beton dapat diketahui pengaruh jenis perawatan terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dari masing-masing komposisi penggantian partial semen dengan abu terbang volume tinggi yaitu pada prosentase 50%, 60% dan 70%. Hubungan volume abu terbang dengan jenis perawatan dan rata-rata kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Hubungan volume abu terbang dengan jenis perawatan dan rata-rata kuat tekan beton memadat sendiri dengan volume abu terbang tinggi

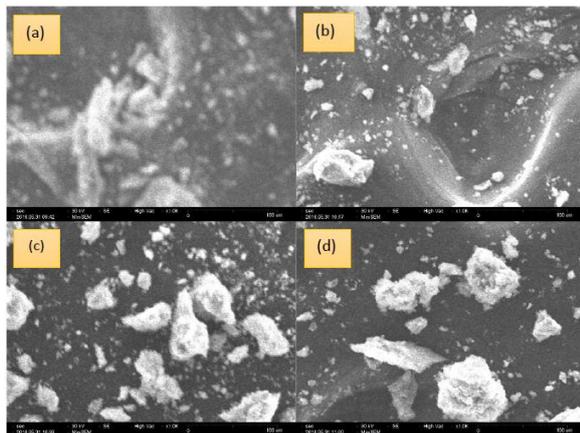
Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa rata-rata kuat tekan terendah didapatkan dari perawatan *elevated temperature* 90°, hal ini disebabkan karena laju hidrasi yang mula-mula berlangsung cepat pada umur muda beton lama kelamaan menjadi lambat. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perawatan yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat tekan yang dicapai pada umur 28 hari (Kullit *et al*, 2013). Selain itu, perawatan dalam oven menyebabkan terjadinya penguapan air yang lebih cepat, sehingga menimbulkan penyusutan dan selanjutnya memungkinkan terjadinya keretakan pada beton. Dengan terjadinya keretakan pada beton maka kekuatan beton akan berkurang (Indrayurmansyah, 2001).

Kuat tekan maksimum didapatkan pada komposisi campuran dengan abu terbang (*fly ash*) 50% tanpa perawatan yaitu benda uji diletakkan di udara terbuka dalam suhu ruangan. Pada beton normal, beton yang dibiarkan diudara akan mengalami penyusutan, penyusutan bagian luar akan lebih besar daripada bagian dalam beton. Karena perbedaan panas tersebut, maka timbul retak pada beton dan menurunkan kualitas beton (Nizal dalam Kullit, 2013). Namun hal tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap beton dengan volume abu terbang (*fly ash*) tinggi, karena penggantian sejumlah besar semen portland dengan abu terbang (*fly ash*), mengubah reaksi hidrasi yang seharusnya terjadi pada beton normal.

Atis (2005) menyatakan bahwa salah satu kelebihan *high volume fly ash concrete* adalah berkurangnya potensi terjadinya retak karena perbedaan temperatur hidrasi. Penggantian semen dengan abu terbang (*fly ash*) kelas F mengurangi temperatur yang dihasilkan selama hidrasi. Beberapa eksperimen yang dilakukan menggunakan 50% abu terbang (*fly ash*) menunjukkan pengurangan panas 23%.

Gambar 13 di atas juga menunjukkan terjadinya inkonsistensi data pada komposisi volume abu terbang 60% dan 70% yang dapat dilihat dari tren perkembangan kuat tekan rata-rata pada masing-masing perawatan. Hal ini disebabkan karena masalah teknis pada sumber daya listrik oven yang digunakan untuk perawatan akibat terjadinya pemadaman listrik di luar kontrol peneliti, sehingga mempengaruhi laju hidrasi menjadi lebih lambat atau lebih cepat dari seharusnya. Selain itu, hal lainnya yang turut berperan penting dalam hal pencapaian kuat tekan adalah kualitas dari abu terbang (*fly ash*) itu sendiri. Kualitas abu terbang memberikan pengaruh yang besar terhadap kuat tekan beton (Haynes dalam Malhotra, 2004).

### Pengaruh Kondisi Perawatan terhadap Struktur Mikro Beton Memadat Sendiri dengan Volume Abu Terbang Tinggi

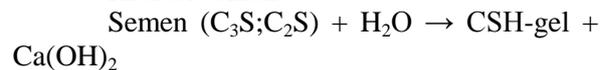


Gambar 2. Foto Hasil SEM Beton memadat sendiri pada variasi Volume Abu Terbang pada perbesaran 1000x. (a) Perawatan di Oven 90° (b) Perawatan di Oven 60° (c) Perawatan perendaman (d) Tanpa Perawatan

Berdasarkan hasil SEM dan EDS pada perawatan (*curing*) beton dengan *elevated*

*temperature* 60° dan 90° ditemukannya bahwa semakin tinggi suhu perawatan terindikasi berkurangnya unsur kalsium dan silika. Dimana kedua unsur tersebut merupakan unsur utama dalam hidrasi semen dan reaksi *fly ash*. Reaksi kimia yang terjadi di dalam beton yang menggunakan *fly ash* ditunjukkan dengan reaksi kimia di bawah ini (Oner *et al*, 2005):

Hidrasi semen:



Reaksi *fly ash*:



Pemakaian *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen berguna terutama untuk meningkatkan durabilitas beton, karena kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) di dalam *fly ash* yang tinggi akan mengikat  $\text{Ca(OH)}_2$  untuk menghasilkan CSH (Calcium Silikat Hydrate), senyawa utama yang membangun kekuatan beton (Solikin, 2012).  $\text{Ca(OH)}_2$  sendiri adalah produk hidrasi reaksi dari semen dengan air namun memiliki sifat rapuh dan larut di dalam air. Sehingga berkurangnya unsur kalsium dan silika menunjukkan berkurangnya senyawa utama pembangun kekuatan beton.

Dari hasil SEM dan EDS pada perawatan (*curing*) beton dengan perendaman ditemukan bahwa silikat pada abu terbang dan kalsium pada semen masih cukup untuk proses pengikatan campuran beton. Sedangkan pada beton tanpa perawatan (*curing*) terindikasi unsur Kalsium, silika dan alumina masih lebih besar dari perawatan (*curing*) beton dengan perendaman sehingga kuat tekan terbesar dihasilkan dari beton memadat sendiri dengan volume abu terbang tinggi (*High volume fly ash - Self compacting concrete*) tanpa perawatan atau dibiarkan di udara terbuka dalam suhu ruangan. Peningkatan kekuatan ini disebabkan karena unsur silikat dan aluminat yang reaktif akan bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$ , yang merupakan hasil sampingan dari proses hidrasi antara semen portland dan air menjadi kalsium silikat hidrat ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$  atau “*tobermorite*”). Sisa Abu terbang (*Fly ash*) pada reaksi tersebut tersisa menjadi *tobermorite*. *Tobermorite* ini akan mengisi ruang yang kosong pada beton. Sehingga kuat tekan meningkat dan koefisien permeabilitas beton menurun, ini menunjukkan pori pada beton terisi oleh *tobermorite* dari *fly ash*. *Fly ash* dapat mengurangi panas hidrasi dan juga pori – pori

pada beton dapat terisi oleh reaksi sekunder dari Abu terbang (*Fly ash*), sehingga beton dapat menyembuhkan dirinya ketika terjadi retakan sebelum dibebani (Muthoharoh *et al*, 2011).

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Nilai *slump flow* meningkat seiring dengan makin besarnya volume penggantian semen dengan abu terbang (*fly ash*). Pada penelitian ini ditemukan bahwa pada volume abu terbang 60% dan 70% sudah memenuhi syarat beton memadat sendiri yaitu diatas 65 cm.
2. Kuat tekan beton rata-rata maksimum pada penggantian partial semen dengan abu terbang (*fly ash*) sebesar 50% dari total volume *powder* yaitu pada tanpa perawatan (*curing*) 17,30 Mpa. Kuat tekan beton rata-rata maksimum pada penggantian partial semen dengan abu terbang (*fly ash*) sebesar 60% dari total volume *powder* yaitu pada perawatan (*curing*) perendaman 13,66 Mpa dan tanpa perawatan (*curing*) 13,54 Mpa. Kuat tekan beton rata-rata maksimum pada penggantian partial semen dengan abu terbang (*fly ash*) sebesar 70% dari total volume *powder* yaitu pada perawatan (*curing*) perendaman 8,86 Mpa dan tanpa perawatan (*curing*) 7,91 Mpa.
3. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perawatan yang digunakan maka semakin rendah nilai kuat tekan yang dicapai pada umur 28 hari. Kuat tekan maksimum didapatkan pada komposisi campuran dengan abu terbang (*fly ash*) 50% tanpa perawatan. Penggantian semen dengan abu terbang (*fly ash*) kelas F mengurangi temperatur yang dihasilkan selama hidrasi sehingga tidak terjadi penguapan berlebihan sehingga potensi terjadinya retak berkurang yang memungkinkan pencapaian kuat tekan yang lebih tinggi. Rata-rata kuat tekan terendah didapatkan dari perawatan *elevated temperature* 90°, hal ini disebabkan karena laju hidrasi yang mula-mula berlangsung cepat pada umur muda beton lama kelamaan menjadi lambat.

4. Berdasarkan hasil SEM dan EDS pada perawatan (*curing*) beton dengan *elevated temperature* 60° dan 90° ditemukannya bahwa semakin tinggi suhu perawatan terindikasi berkurangnya unsur kalsium dan silika. Dimana kedua unsur tersebut merupakan unsur utama dalam hidrasi semen dan reaksi *fly ash* karena kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) di dalam *fly ash* yang tinggi akan mengikat Ca(OH)<sub>2</sub> untuk menghasilkan CSH (Calcium Silicat Hydarate), senyawa utama yang membangun kekuatan beton. Sehingga berkurangnya unsur kalsium dan silika menunjukkan berkurangnya senyawa utama pembangun kekuatan beton. Pada perawatan (*curing*) beton dengan perendaman ditemukan bahwa silikat pada abu terbang dan kalsium pada semen masih cukup untuk proses pengikatan campuran beton. Sedangkan pada beton tanpa perawatan (*curing*) terindikasi unsur Kalsium, silika masih lebih besar dari perawatan (*curing*) beton dengan perendaman, selain itu masih terdapat kandungan aluminat sehingga kuat tekan terbesar dihasilkan dari *High volume fly ash - Self compacting concrete* tanpa perawatan atau dibiarkan di udara terbuka dalam suhu ruangan. Peningkatan kekuatan ini disebabkan karena unsur silikat dan aluminat yang reaktif akan bereaksi dengan (Ca(OH)<sub>2</sub>), yang merupakan hasil sampingan dari proses hidrasi antara semen portland dan air menjadi kalsium silikat hidrat (C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> atau "*tobermorite*"). Sisa Abu terbang (*Fly ash*) pada reaksi tersebut tersisa menjadi *tobermorite*. *Tobermorite* ini akan mengisi ruang yang kosong pada beton sehingga kuat tekan meningkat.

### Saran

1. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari penelitian ini, disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh perawatan terhadap sifat mekanis lainnya dari *High volume fly ash - Self compacting concrete*.
2. Penggantian abu terbang (*fly ash*) terhadap semen dalam jumlah besar

menyebabkan proses hidrasi dan pengikatan kimia yang berbeda dengan beton konvensional, sehingga disarankan untuk penelitian lanjutan penggunaan bahan tambahan yang berfungsi sebagai pengikat abu terbang (*fly ash*), seperti alkalin aktivator.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ACI 232.2R-96. 2002. *Use of Fly Ash in Concrete*.
- Alil, Ikra. 2009. Sifat Mekanis *Lightweight Self Compacting Concrete*. Tesis : Magister Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Hal. 31.
- ASTM C618-05.2005. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- Atis, Cengiz D. 2005. *Carbonation-Porosity-Strength Model for Fly Ash Concrete*. Journal of Materials in Civil Engineering Vol. 17 No. 1.
- EFNARC.2002. *Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete*.
- Indrayurmansyah. 2001. Pentingnya perawatan beton untuk mencapai nilai kekuatan. Jumat R & B. Volume 1 Nomor 2.
- International cement review. 2011. <https://debudanabu.wordpress.com/2011/10/04/kondisi-industri-semen-di-dunia/>
- Kullit, Veronika, S. E. Wallah, W. J. Tamboto, dan R. Pandaleke. 2013. Pengaruh Variasi Suhu pada Perawatan Elevated Temperature terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. Jurnal Sipil Statik Vol. 1 No.7, Juni. ISSN : 2337-6732. Hal 473-478.
- Malhotra, V. M. 2004. *Properties of high volume fly ash concrete, and its role in sustainability of cement and concrete*. CANMET Material Technology Laboratory.
- Mehta, P. Kumar. 2002. *High Performance-High Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development*. Proceeding : International workshop on sustainable development and concrete technology. University of California: USA.
- Muthoharoh, Isna, R. S. Agustin dan Sunanarsih. 2011. Self Healing Capabiliity beton dengan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen ditinjau dari Workability, Kuat Tekan dan Permeabilitas. Jurnal. UNS : Semarang.
- Okamura, Hajime dan M. Ouchi. 2003. *Self Compacting Concrete*. Jurnal : Journals of Advanced Concrete Technology, Vol. 1 No. 1, hal. 5-15.
- Oner, A., S. Akyuz dan R. Yildiz. 2005. *An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete*. Cement and Concrete Research Vol. 35, Hal. 1165– 1171.
- Sofwan, Hadi. 2000. Pengaruh Ukuran Butir dan Komposisi Abu Terbang PLTU.Surabaya sebagai Pengisi dan Pozolan. <http://digilib.itb.ac.id/go.php?id=jbptit-gdl-s2-2005-robytriaw-1813>. Diunduh Mei 2016.