

KAJIAN PENGARUH VARIASI KOMPOSISI *HIGH VOLUME FLY ASH* TERHADAP PARAMETER BETON MEMADAT MANDIRI DAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI

Shabina Aulia Utami¹⁾, Wibowo²⁾, Endah Safitri³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2) 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jalan Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Tlp 0271-647069, Email: shabinaauliautami@gmail.com

Abstract

Concrete technology has grown rapidly following the challenges that develop in the construction field. Lots of new innovations are produced, either by adding a chemical or pozzolanic material or by changing the composition of the concrete mixture itself. High strength self-compacting concrete (HSSCC) is one of the innovation. Fly ash is one of the filler that can be used on concrete mixture and provides as cement replacement material. Fly ash is the result of coal combustion which is commonly found in PLTU. Because the size of the fly ash grains is very small (45 μm) and smaller than the size of the cement grains (75 μm), the fly ash can minimize the pores of the concrete so that the concrete has a high compressive strength value. The use of large amounts of fly ash (50% or more) or commonly referred to as high volume fly ash in concrete mixtures can be a solution in minimizing environmental issues in the construction industry. This study aims to examine the effect of variations of high volume fly ash composition on self-compacting concrete and high strength concrete compound. The type of fly ash used is fly ash type C with variation of 0%, 55%, 60%, 65% and 70% of cement weight. Fresh concrete test to know the nature of SCC on concrete in the form of fillingability, passingability, and segregation resistance include flow table test, l-box test, and v-funnel test. Meanwhile, on hard concrete testing performed in the form of compressive strength test by using Compression Testing Machine (CTM). The specimens used were cylindrical with diameter of 15 cm and height of 30 cm. Based on the test results, the addition of fly ash content of 70% is the best level that meets all the requirements of fresh concrete testing, which meets all the properties of SCC concrete. Meanwhile, the maximum compressive strength is at fly ash content of 60%, in the amount of 22.82 MPa for 14 days of concrete age and 29.43 MPa for 28 days of concrete age.

Keywords: high strength concrete, self-compacting concrete, high volume fly ash, compressive strength

Abstrak

Teknologi beton telah berkembang dengan pesat menyusul tantangan yang berkembang di bidang konstruksi. Banyak sekali inovasi-inovasi baru yang dihasilkan, baik dengan menambahkan suatu bahan kimia atau pozzolanic material maupun dengan mengubah komposisi dari campuran beton itu sendiri. Beton mutu tinggi yang memadat sendiri atau *high strength self compacting concrete* (HSSCC) merupakan salah satu hasil dari inovasi yang telah dilakukan. *Fly ash* merupakan salah satu *filler* atau pozzolan yang dapat digunakan pada campuran beton dan berfungsi sebagai bahan pengganti semen. *Fly ash* adalah hasil dari pembakaran batu bara yang pada umumnya terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Karena ukuran butiran *fly ash* sangat kecil (45 μm) dan lebih kecil dibandingkan ukuran butiran semen (75 μm), *fly ash* bisa meminimalkan pori pada beton sehingga membuat beton memiliki nilai kuat tekan yang tinggi. Penggunaan *fly ash* dalam kadar yang besar (50% atau lebih) atau biasa disebut dengan *high volume fly ash* pada campuran beton dapat menjadi solusi dalam meminimalkan dampak lingkungan pada industri konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi *high volume fly ash* terhadap parameter beton memadat mandiri dan kuat tekan beton mutu tinggi. Untuk tipe *fly ash* yang digunakan yaitu *fly ash* tipe C dengan variasi kadar 0%, 55%, 60%, 65% dan 70% dari berat semen. Pengujian beton segar untuk mengetahui sifat SCC pada beton berupa *fillingability*, *passingability*, dan *segregation resistance* meliputi *flow table test*, *l-box test*, dan *v-funnel test*. Sementara itu, pada beton keras pengujian yang dilakukan berupa uji kuat tekan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan hasil pengujian, penambahan kadar *fly ash* sebesar 70% merupakan kadar terbaik yang memenuhi semua persyaratan pengujian beton segar, yaitu memenuhi semua sifat dari beton SCC. Sementara itu, kuat tekan maksimum terdapat pada beton dengan kadar *fly ash* sebesar 60%, yaitu 22,82 MPa untuk beton umur 14 hari dan 29,43 MPa untuk beton umur 28 hari.

Kata Kunci : beton mutu tinggi, beton memadat mandiri, *high volume fly ash*, kuat tekan

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan infrastruktur yang semakin pesat saat ini, pemakaian beton dituntut untuk menggunakan bahan-bahan yang bermutu tinggi, mudah dalam pengerjaannya serta mencukupi kebutuhan dalam proses konstruksi bangunan. Banyak penelitian yang muncul untuk memenuhi kebutuhan tersebut, salah satu hasil penelitian tersebut adalah *self compacting concrete* (SCC). Menurut EFNARC (2005), SCC merupakan beton yang mampu memadat sendiri dengan *slump* yang cukup tinggi. Dalam proses penempatan pada volume bekisting (*placing*) dan proses pemadatan (*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.

Fly ash adalah hasil dari pembakaran batu bara yang pada umumnya terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Fungsi dari *fly ash* sendiri adalah sebagai bahan pengganti semen. Karena ukuran butiran *fly ash* sangat kecil ($45\ \mu\text{m}$) dan lebih kecil dibandingkan ukuran butiran semen ($75\ \mu\text{m}$), *fly ash* bisa meminimalkan pori pada beton sehingga membuat beton memiliki nilai kuat tekan yang tinggi. Penggunaan *fly ash* dalam jumlah yang besar atau biasa disebut dengan *high volume fly ash* pada campuran beton juga dapat menjadi solusi dalam meminimalkan dampak lingkungan pada industri konstruksi.

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton langsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan susun kasar campuran, merupakan komponen utama beton. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor, di antaranya ialah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan *finishing*, temperatur, dan kondisi perawatan pengerasannya (Dipohusodo, 1994).

Beton mutu tinggi dapat dikatakan sebagai beton dengan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal biasa. Menurut Nawy (2001), yang disebut beton mutu tinggi menurut ACI 318 adalah yang mempunyai kuat tekan silinder melebihi 6000 psi (41,4 MPa).

Self Compacting Concrete (SCC)

Suatu campuran beton dapat dikatakan SCC apabila pada beton segar memiliki workabilitas yang baik. Menurut EFNARC (2002), beton dapat dikatakan SCC jika memiliki kriteria sebagai berikut.

- a) *Fillingability*, atau dapat diartikan sebagai kemampuan dari campuran beton segar untuk mengisi ruangan (bekisting) dengan adanya gaya gravitasi tanpa bantuan alat vibrator.
- b) *Passingability*, yaitu kemampuan dari campuran beton segar untuk dapat melewati tulangan-tulangan pada bekisting tanpa mengalami segregasi maupun *aggregate blocking*.
- c) *Segregation Resistance*. Campuran beton yang kelebihan air akan menyebabkan segregasi, dimana material yang berat mengendap ke dasar bekisting dan material yang lebih ringan akan naik menuju permukaan. Hal ini akan mengakibatkan adanya lubang-lubang pada beton, sehingga beton menjadi tidak *homogeny*, permeabilitas berkurang, dan juga kurang awet. Dengan penggunaan *superplasticizer*, faktor air semen menjadi lebih kecil, sehingga kemungkinan terjadinya segregasi dapat dihindari.

Sementara itu, pada beton keras (*hardened concrete*) kriteria SCC adalah sebagai berikut:

- a) Memiliki tingkat absorpsi dan permeabilitas rendah,
- b) Memiliki tingkat durabilitas tinggi,
- c) Mampu membentuk campuran beton yang homogen.

Fly Ash

Komponen paling utama yang dikandung *fly ash* adalah *Oksida Silika* (SiO_2). Berdasarkan ACI 226.3R-3 1993, *fly ash* yang digunakan sebagai pozzolan dapat dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu:

a. Tipe C

Fly ash tipe C mengandung CaO di atas 10% yang diperoleh dari pembakaran batu bara muda

- 1) Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) $> 50\%$
- 2) Kadar CaO mencapai 50%

b. Tipe F

Fly ash tipe F mengandung CaO di bawah 10% yang diperoleh dari pembakaran bitumen batu bara

- 1) Kadar ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) > 70%
- 2) Kadar CaO mencapai 10%

c. Tipe N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain *diatomic, opalin chert, shales, tuff* dan abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat *pozzolan* yang baik.

Beton dengan penggunaan *fly ash* dalam prosentase tinggi disebut *high volume fly ash concrete (HVFAC)* adalah beton dimana setidaknya minimal 50% penggunaan jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash* (Solikin, 2012).

Kelebihan pemakaian HVFAC adalah:

- a. *Fly ash* dalam volume tinggi dapat menurunkan panas hidrasi yang terjadi, sehingga dapat mencegah terjadinya retak
- b. Jumlah air yang digunakan (fas) kecil, sehingga kekuatan beton akan meningkat
- c. Relatif dapat menghemat biaya karena mengurangi pemakaian semen
- d. Beton akan lebih kedap air karena kapur bebas yang dilepas pada proses hidrasi akan terikat oleh silikat dan alumina aktif yang terkandung di dalam *fly ash* dan menambah pembentukan silika gel, yang berubah menjadi kalsium silikat hidrat yang akan menutupi pori-pori yang terbentuk sebagai akibat dibebaskannya Ca(OH)_2
- e. Pada beton segar, kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* yang bulat pada HVFAC dapat meningkatkan *flowability, workability, pumpability* serta mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi
- f. HVFAC lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah yang beracun
- g. Pada beton keras, penggunaan HVFA dapat meningkatkan kuat tekan beton setelah 28 hari, bahkan mampu melebihi 100% dari kekuatannya. Jadi tidak diperlukan *overdesign* untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi
- h. HVFAC memiliki penyelesaian permukaan yang lebih cepat dan lebih baik
- i. HVFAC dengan waktu *curing* yang mencapai tiga sampai enam bulan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap *electrical* dan *chloride ion penetratiton* berdasarkan ASTM C 1202-12.

Kekurangan pemakaian HVFAC adalah:

- a. HVFAC kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi, karena proses pengerasan (*setting time*) dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat pada umur beton kurang dari 28 hari
- b. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu *fly ash* sangat tergantung pada proses pembakaran (suhu) serta jenis batubaranya

METODE

Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dimana eksperimen yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi *high volume fly ash* terhadap beton mutu tinggi memadat mandiri (*high strength self compacting concrete*). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dengan menggunakan kadar *fly ash* sebesar 0%, 55%, 60%, 65%, dan 70% dari berat semen, dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine (CTM)*.

Rancang Campur (*Mix Design*)

Mix design per m³ dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Rancang Campur untuk Setiap Variasi *Fly Ash* per m³

Kode	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	<i>Fly Ash</i> (kg/m ³)	Air (lt/m ³)	<i>Superplasticizer</i> (lt/m ³)
B _{FA} - 1 (0%)	784,77	703,53	696,03	0	187,93	11,11
B _{FA} - 2 (55%)	784,77	703,53	282,96	345,83	169,77	10,04
B _{FA} - 3 (60%)	784,77	703,53	249,33	373,99	168,3	9,95
B _{FA} - 4 (65%)	784,77	703,53	216,28	401,66	166,84	9,86
B _{FA} - 5 (70%)	784,77	703,53	183,79	428,85	165,42	9,78

Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar yang dilakukan untuk mengetahui parameter SCC yaitu *fillingability*, *passingability*, dan *segregation resistance* meliputi *Flow Table Test*, *L-Box Test*, dan *V-funnel Test*.

Pengujian Beton Keras

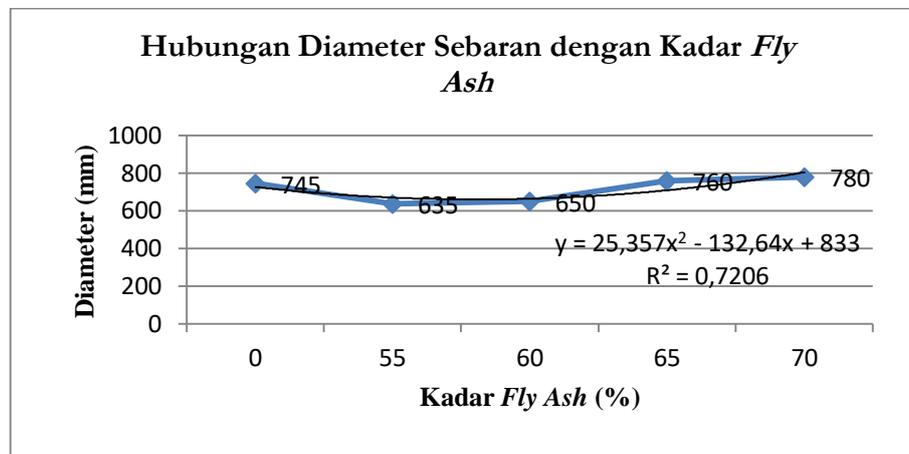
Pengujian beton keras yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) pada beton dengan umur 14 hari dan 28 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

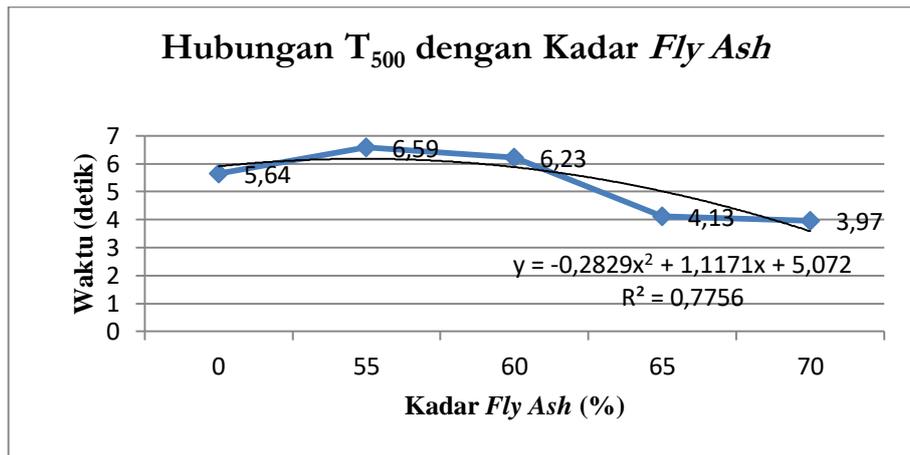
Pengujian Beton Segar

1) *Flow Table Test*

Hasil dari pengujian *Flow Table* dapat dilihat pada Gambar 1. dan Gambar 2. Di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Hubungan Diameter Sebaran *Flow Table Test* dengan Kadar *Fly Ash*



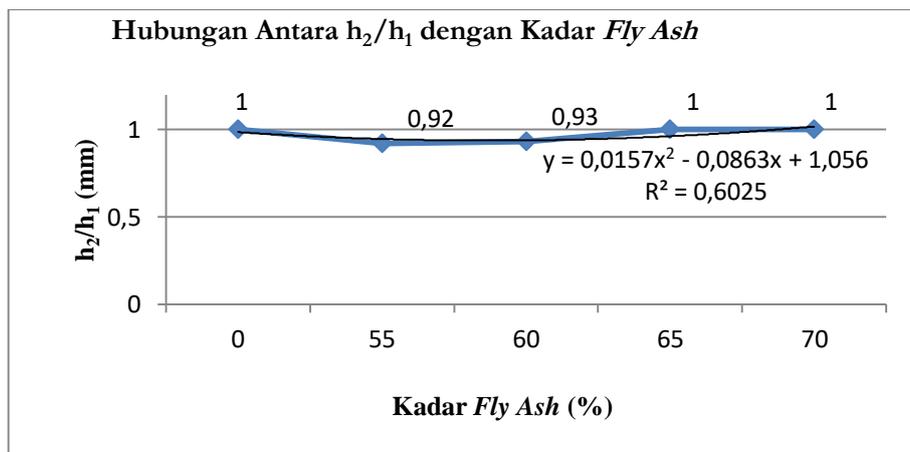
Gambar 2. Grafik Hubungan T_{500} pada *Flow Table Test* dengan Kadar Fly Ash

Pengujian *flow table* dilakukan untuk mengetahui sifat *fillingability* yang ditandai oleh kemampuan beton untuk mengalir yang ditunjukkan oleh sebaran diameter beton segar. Berdasarkan Gambar 1. dan Gambar 2. dapat diketahui bahwa beton segar dengan kadar *fly ash* 70% memiliki sifat *fillingability* yang paling optimum, yaitu memiliki diameter sebaran 780 mm dengan waktu t_{500} sebesar 3,97 detik. Hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki butiran yang lebih halus, sehingga membuat gesekan antar butir menjadi sangat kecil yang berpengaruh dalam pengerjaan atau memiliki *workability* yang tinggi. Hal ini sesuai dengan pernyataan Malhotra dan Mehta (2003), bahwa menurut pertimbangan referensi dan beberapa pengalaman percobaan, penggunaan *fly ash* dengan kadar 50% bahkan lebih dari berat total binder selain dapat meningkatkan kekuatan maksimum dan ketahanan, juga dapat meningkatkan *workability* dari beton tersebut.

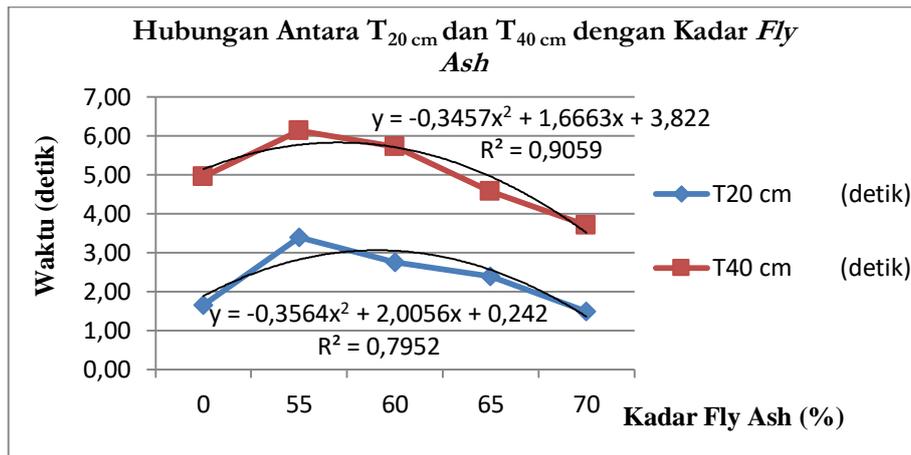
Berdasarkan Gambar 1. dan Gambar 2. dapat dilihat bahwa penambahan kadar *fly ash* memiliki pengaruh yang linear terhadap parameter SCC. Namun pada kenyataannya, terjadi penurunan diameter sebaran dari beton dengan kadar *fly ash* 0% (beton acuan). Hal itu dikarenakan proses pencampuran dan pengadukan beton dengan kadar *fly ash* 0% (beton acuan) dilakukan pada waktu yang berbeda dengan beton yang telah ditambahkan kadar *fly ash*, sehingga memungkinkan adanya perbedaan kondisi temperatur, keadaan alat uji dan homogenitas material yang digunakan.

2) L-Box Test

Hasil dari penelitian *L-Box* dapat dilihat pada Gambar 3. dan Gambar 4. di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara h_2/h_1 dengan Kadar Fly Ash pada *L-Box Test*

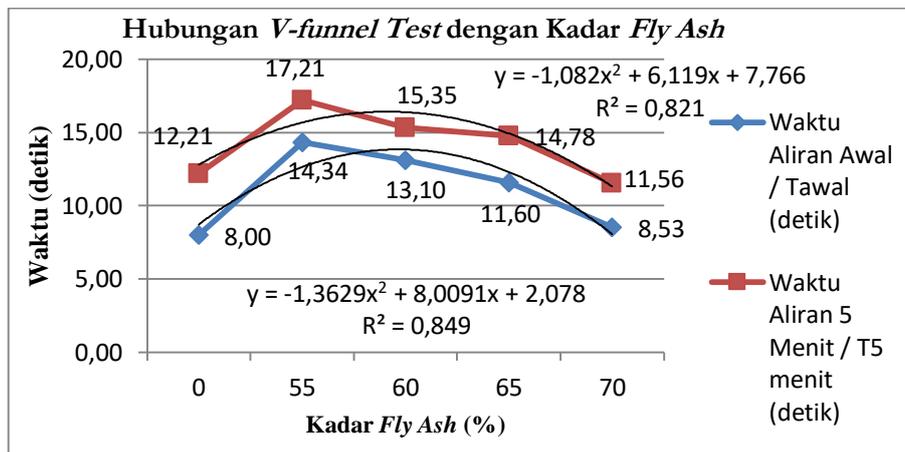


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara $t_{20\text{ cm}}$ dan $t_{40\text{ cm}}$ dengan Kadar Fly Ash pada L-Box Test

Pengujian L-Box bertujuan untuk mengetahui sifat *passingability* dari beton segar tersebut. Beton dengan kekentalan yang rendah akan lebih cepat mengalir dari prisma vertikal menuju prisma horizontal dan melewati tulangan dengan baik, begitu pula sebaliknya. Pada Gambar 3. dapat dilihat bahwa semua kadar fly ash dapat memenuhi syarat yang telah ditentukan EFNARC 2002 yaitu nilai h_2/h_1 berada di antara 0,8-1. Sementara itu, Gambar 4. menunjukkan hubungan antara $t_{20\text{ cm}}$ dan $t_{40\text{ cm}}$ dengan masing-masing kadar fly ash. Dapat dilihat bahwa semakin banyak kadar fly ash yang digunakan, maka waktu pengaliran beton juga semakin cepat. Hal ini dikarenakan ukuran butir fly ash yg bulat dan halus, sehingga mengurangi gesekan antar butir yang membuat waktu pengaliran menjadi lebih cepat. Akan tetapi, terjadi kenaikan waktu pengaliran dari beton dengan kadar fly ash 0% (beton acuan) ke beton dengan kadar fly ash 55% ke atas (60%, 65% dan 70%). Hal ini disebabkan oleh proses pengadukan yang beton acuan berbeda dengan beton yang telah ditambahkan fly ash, sehingga memungkinkan adanya perbedaan kondisi temperatur, keadaan alat uji dan homogenitas material yang digunakan.

3) V-funnel Test

Hasil dari penelitian V-funnel dapat dilihat pada Gambar 5. di bawah ini.

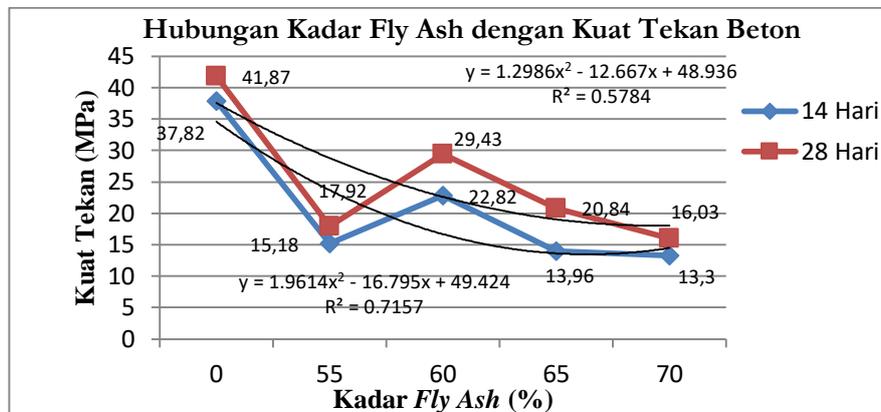


Gambar 5. Grafik Hubungan V-funnel Test dengan Kadar Fly Ash

Bedasarkan Gambar 5. dapat dikatakan bahwa semakin banyak kadar fly ash yang digunakan maka semakin cepat pula waktu yang dibutuhkan beton segar untuk mengalir hingga habis. Namun pada kenyataannya, beton segar dengan bahan tambah tidak memiliki toleransi yang baik terhadap beton dengan kadar fly ash 0% (beton acuan). Hal ini dikarenakan proses pencampuran dan pengadukan beton acuan dilakukan pada waktu yang berbeda dengan beton yang telah ditambahkan variasi kadar fly ash, sehingga memungkinkan terjadinya perbedaan kondisi temperatur, keadaan alat uji dan homogenitas material yang digunakan.

Pengujian Beton Keras

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan grafik hubungan kuat tekan beton umur 14 hari dan 28 hari dengan variasi kadar *fly ash* yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar *Fly Ash*

Berdasarkan Gambar 6. menunjukkan bahwa kadar optimum kuat tekan umur 14 hari dan 28 hari terdapat pada beton dengan kadar *fly ash* 60% yaitu 22,82 MPa dan 29,43 MPa. Pada penelitian ini terlihat bahwa kuat tekan beton dengan kadar *fly ash* 0% (beton acuan) pada umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang sudah ditambahkan variasi kadar *fly ash*. Beton dengan kadar *fly ash* yang lebih besar dan umur lebih pendek cenderung memiliki kuat tekan yang rendah. Hal ini sesuai dengan penurunan kuat tekan yang terjadi pada beton dengan kadar *fly ash* 70%, dimana penurunan yang terjadi sebesar 64,8% untuk beton umur 14 hari dan 61,71% untuk beton umur 28 hari. Hal ini besar kemungkinan akibat dari proses pengikatan dan reaksi unsur-unsur senyawa pada *fly ash* belum terjadi secara maksimal. Seperti yang dikatakan oleh Umboh, dkk (2014), pemakaian *high volume fly ash* menyebabkan perkembangan kuat tekan beton yang lambat, sehingga masih dimungkinkan terjadinya peningkatan kuat tekan pada kadar tertentu di umur beton lebih dari 28 hari. Kadar SiO_2 pada *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini juga cenderung kecil, yaitu hanya 30,84%, sehingga menyebabkan proses hidrasi semen cenderung lambat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- 1) penambahan kadar *fly ash* sebesar 70% dari berat semen dalam campuran beton adalah kadar optimum yang memenuhi ketiga sifat dari beton SCC, yaitu *fillingability*, *passingability*, dan *segregation resistance*,
- 2) Kuat tekan maksimum pada umur beton 28 hari didapat dari beton dengan kadar *fly ash* 60%, yaitu sebesar 29,43 Mpa. Terjadi penurunan kuat tekan dari beton dengan kadar *fly ash* 0% (beton acuan) sebesar 29,71%. Hal ini dikarenakan penggunaan *fly ash* dalam jumlah yang besar dapat memperlambat reaksi hidrasi semen, sehingga kuat tekan yang dihasilkan pada beton dengan umur 28 hari cenderung lebih rendah dibandingkan dengan beton acuan.

REFERENSI

- ACI 226.3R-3. 1993. *Manual of Concrete Practice*
- ASTM C 1202-12. 2012. *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- EFNARC. 2002. *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*.
- EFNARC. 2005. *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*.
- Malhotra, V.M. and Mehta, P.K. 2003. *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development*. University of California, USA.
- Nawy, E.G. (alih bahasa : Bambang Suryoatmono). 2001. *Beton Prategang*. PT. Erlangga, Jakarta.
- Umboh, A.H., Sumajouw, M.D.J., dan Windah, R.S. 2014. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) dari PLTU II Sulawesi Utara sebagai Substitusi Parsial Semen terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Teknik Sipil Statik Vol. 2 No. 7.