

PENGARUH VOLUME AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT SEGAR DAN KUAT TEKAN PADA *HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE* (HVFA)

Valentino Rio Andriawan¹⁾, Stefanus A Kristiawan²⁾, Sunarmasto³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret

^{2,3)}Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami 36 A, Kentingan Surakarta 57126. Telp (0271) 647069, Fax 662118

Email : iiioo.inhere@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to analyze effect volume fine aggregate for fresh properties characteristic and compressive strength of concrete with high volume fly ash. The method used in this study is an experimental method, which makes the composition of the concrete mix with fine aggregate volume variations ideal to produce a mixture of High Volume Fly Ash Concrete (HVFA). Testing fresh concrete made with 5 (five) methods, namely: Slump flow test, J-ring flow test, L-box test, Box-type test and V-funnel test. Tests carried out on the hard concrete cylinder compressive strength of concrete with compressive strength using test equipment at the age of 7 days, 28 days, 56 days and 90 days. The results of this study show that the variation of fine aggregate to some extent influence the properties of fresh concrete mix. In this study the addition of fine aggregate, there are some concrete mixtures that meet the requirements of fresh properties. The addition of fine aggregate at certain levels can raise or lower the compressive strength. In this test the value of the highest compressive strength is the variation of the fine aggregate 30%, for age testing 7 days, 28 days, 56 days and 90 days.

Keyword : *fly ash, high-volume fly ash concrete, fresh concrete, compressive strength*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh volume agregat halus terhadap karakteristik sifat segar dan kuat tekan pada beton yang memiliki kandungan *fly ash* dalam volume tinggi. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu membuat komposisi campuran beton dengan variasi volume agregat halus yang ideal untuk menghasilkan campuran *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFA). Pengujian beton segar dilakukan dengan 5 (lima) metode, yaitu : *slump flow test, j-ring flow test, l-box test, box type test dan v-funnel test*. Pengujian beton keras dilakukan terhadap kuat tekan silinder beton dengan menggunakan alat uji kuat tekan pada umur 7 hari, 28 hari, 56 hari serta 90 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi agregat halus dengan kadar tertentu mempengaruhi sifat segar dari campuran beton. Pada penelitian ini dengan penambahan agregat halus, terdapat beberapa campuran beton yang memenuhi syarat sifat segar. Penambahan agregat halus pada kadar tertentu dapat menaikkan ataupun menurunkan kuat tekannya. Pada pengujian ini nilai kuat tekan yang paling tinggi yaitu pada variasi agregat halus 30%, untuk umur pengujian 7 hari, 28 hari, 56 hari serta 90 hari.

Kata Kunci : *fly ash, high-volume fly ash concrete, sifat segar, kuat tekan*

PENDAHULUAN

Pemakaian *buterbang (fly ash)* pada beton telah banyak dilakukan baik untuk beton berkekuatan tekan tinggi (*high strength concrete*) maupun untuk beton ringan (*light weight concrete*). Penggunaan *high volume fly ash* pada beton dengan ukuran butiran *fly ash* ($45\mu\text{m}$) yang lebih kecil daripada butiran semen ($75\mu\text{m}$) akan memperkecil ruang antar partikel yang ada pada beton. *Fly ash* sebagai lubrikan dapat meningkatkan *workability* dari beton akibat dari bentuknya yang cenderung bulat dan halus (Haque et al, 1984), hal ini akan memungkinkan untuk mengurangi penggunaan kadar air. Penambahan *fly ash* juga dapat meningkatkan sifat deformasi dari beton dan dapat meningkatkan viskositas pula. Viskositas perlu dijaga agar beton tidak mengalami segregasi (Ouchi et al, 1998). Segregasi dapat terjadi apabila campuran beton tidak homogen (Tangstermsirikul dan Khayat, 2000). Sifat beton untuk dapat berdeformasi dan viskositas yang moderat sangat diperlukan untuk membuat beton segar dapat mengalir dengan baik, sehingga dapat meningkatkan sifat segar dari beton tersebut.

Agregat merupakan bahan pembentuk beton yang mempunyai komposisi yang paling besar dalam struktur beton yang telah mengeras. Untuk agregat halus ukurannya dibawah 4,75mm. Berdasarkan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa ukuran partikel yang halus akan menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kepadatan dari campuran mortar, sementara luasan agregat pada mortar berkurang. Studi ini membuktikan bahwa kuat tekan optimal pada silinder beton diperoleh bukan sebagai fungsi modulus kehalusan agregat, tetapi sebagai hubungan langsung terhadap distribusi ukuran agregatnya.

Sifat deformasi pada beton segar dapat diperoleh dengan mengoptimalkan penggunaan bahan yang berbutir halus dan dengan menurunkan penggunaan komponen agregat kasar. Semakin tinggi jumlah butir halus yang digunakan akan menyebabkan viskositas semakin tinggi pula, sehingga akan semakin besar energi yang dibutuhkan campuran tersebut untuk dapat mengalir. Semakin rendah jumlah butir halus yang digunakan akan menyebabkan viskositas semakin rendah pula, sehingga dimungkinkan terjadi segregasi serta *aggregate blocking*. Persson (2000) mengatakan, bahwa untuk meningkatkan homogenitas dan viskositas beton segar perlu ditambahkan *filler* yang berbutir halus, berupa *fly ash*, *silica fume*, maupun *limestone*. Dalam penelitian ini butir halus yang dimaksud adalah *fly ash*.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Proporsi Campuran

Pada penelitian ini perancangan campuran beton HVFAC antara lain :

1. Agregat kasar 30% dari volume beton, dengan diameter maksimum 10 mm dan *specific gravity* 2,703 gr/cm³.
2. Agregat halus 40% dari volume beton, dengan *specific gravity* 2,781 gr/cm³.
3. Fly ash dengan volume substitusi terhadap semen sebesar 60% dari berat binder.
4. Rasio air-binder sebesar 0,3.

Hasil akhir proporsi campuran secara lengkap ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Proporsi Campuran HVFAC Setiap 1 m³

Kode	Variasi Agregat Halus	Semen	Fly Ash	Pasir	Kerikil	Air	Superplasticizer
FA30	30%	317,52	476,28	495,98	703,2	172	11,907
FA32,5	32,5%	306,18	459,27	536,13	703,2	172	11,482
FA37,5	37,5%	283,5	425,25	618,79	703,2	172	10,631
FA40	40%	272,16	408,24	661,3	703,2	172	10,206

Pengujian Parameter HVFAC

Pengujian parameter memadat mandiri menggunakan 5 jenis metode sebagaimana dikatakan oleh Kumar (2006) dan Takada dan Tangstermsirikul (2000), antara lain : *flow table test*, *j-ring flow table test*, *l-box test*, *box type test*, dan *v-funnel test*.

Pengujian Kuat Tekan HVFAC

Pengujian beton keras dilakukan saat beton berumur 7 hari, 28 hari, 56 hari, dan 90 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Segar Beton HVFAC

Hasil pengujian beton segar dari masing-masing campuran HVFAC dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Beton Segar HVFAC

Jenis Pengujian	Parameter	Hasil Uji Pada Beton Segar			
		FA 30	FA 32.5	FA 37.5	FA 40
<i>Flow Table</i>	diameter (mm)	745	740	640	635
	t500 (detik)	11,2	13,86	12,63	6,88
	kecepatan (mm/detik)	22,231	18,038	19,794	36,337
<i>J-Ring Flow Table</i>	diameter (mm)	525	530	475	455
	t500 (detik)	41,71	25,65	-	-
	kecepatan (mm/detik)	5,994	9,747	-	-
<i>L-Box</i>	t200 (detik)	11,2	13,86	12,63	6,88
	t400 (detik)	34,41	40,01	35,87	23,89
	h2/h1	0,833	0,714	0,824	0,895
<i>Box Type</i>	h2 (mm)	340	240	340	280
	h2/h1	1	0,545	1	0,700
<i>V-funnel</i>	t (detik)	123	88	43,5	17,27

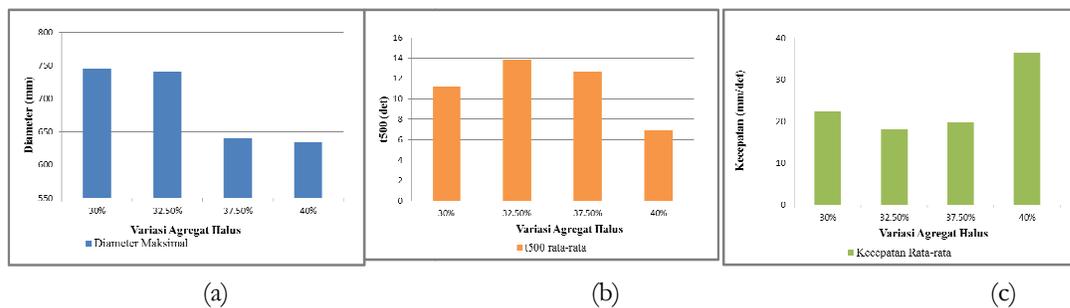
Pada pengujian *slump flow*, terdapat beberapa campuran beton yang memiliki sifat *flowability* yang baik karena sebaran diameter yang dihasilkan baik dan memenuhi syarat *flowability* untuk beton SCC, yaitu pada campuran beton dengan variasi agregat halus 30%, dan 32,5%, sedangkan dua variasi agregat halus yang lain tidak memenuhi persyaratan *flowability* untuk beton SCC. Pada variasi agregat halus 40% waktu alir untuk mencapai sebaran

500mm(t_{500}) selama 2-7 detik memenuhi syarat *fillingability* untuk beton SCC. Pada pengujian *j-ring flow table*, terdapat beberapa campuran beton yang memiliki sifat *passingability* yang baik karena sebaran diameter yang dihasilkan baik dan memenuhi syarat untuk beton SCC, yaitu pada campuran beton dengan variasi agregat halus 30%, dan 32,5%. Pada keempat variasi menunjukkan bahwa waktu alir dan kecepatan aliran tidak memenuhi syarat *fillingability* untuk beton SCC. Pada pengujian *l-box* keempat variasi agregat halus tidak memiliki sifat *fillingability* yang baik untuk beton SCC, karena tidak memenuhi persyaratan waktu untuk mencapai panjang sebaran sebesar 200(t_{200}) mm dan 400 mm (t_{400}). Tetapi perbandingan nilai ketinggian (h_2/h_1) variasi agregat halus 30%, 37,5% dan 40% memiliki syarat *passingability* untuk beton SCC, karena nilai ketinggian (h_2/h_1) $\geq 0,8$. Variasi agregat halus 32,5% tidak memenuhi syarat *passingability* untuk beton SCC, karena nilai ketinggian (h_2/h_1) $\leq 0,8$. Pada pengujian *box type*, kedua variasi agregat halus, yaitu 30%, dan 37,5% memiliki sifat *passingability* yang baik, karena pada kedua variasi ini mampu melewati halangan dan mengisi prisma kedua lebih dari 300mm. Dapat disimpulkan bahwa kedua variasi telah memenuhi syarat *passingability* untuk beton SCC. Sedangkan pada pengujian *v-funnel*, keempat variasi tersebut tidak memenuhi persyaratan waktu alir 6-12 detik.

Pengaruh Variasi Agregat Halus Terhadap Sifat Segar HVFAC

Slump Flow Test

Hasil pengujian *slump flow test* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan variasi agregat halus dengan diameter maksimal rata-rata (a), Waktu Mencapai Sebaran 500 mm (b), dan Kecepatan Aliran Rata-rata (c) Pada Pengujian *Slump Flow*

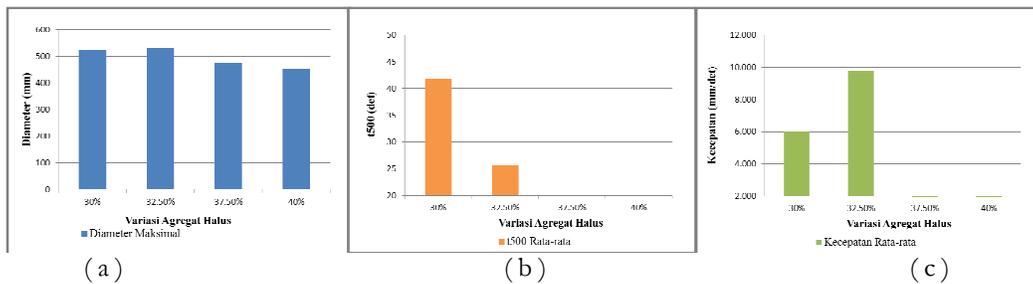
Gambar (a) diketahui bahwa campuran beton dengan variasi agregat halus 30% memiliki sifat *flowability* yang paling optimum, yaitu memiliki diameter sebaran 750 mm. Hal ini dikarenakan agregat halus memiliki butiran yang bulat dan keras, akibatnya akan membuat gesekan atau friksi antar butiran kecil. Agregat halus juga memiliki daya serap yang tinggi. Pada variasi agregat halus 30% memiliki kadar agregat halus yang lebih sedikit, sehingga campuran beton memiliki kemampuan mengalir yang baik karena air masih belum banyak terserap oleh agregat halus. Variasi agregat halus mencapai nilai minimum pada variasi agregat halus 40%, penurunan diameter sebaran dikarenakan jumlah agregat halus lebih banyak, sehingga air semakin banyak terserap oleh agregat halus. Hal ini menyebabkan homogenitas campuran beton semakin kecil dan campuran beton cenderung tidak dapat mengalir dengan baik dan memperlambat pengaliran beton tersebut, sehingga nilai diameter sebaran aliran menjadi kecil.

Gambar (b) menunjukkan pengaruh variasi agregat halus 40% dengan waktu alir paling optimum untuk mencapai sebaran 500mm, yaitu 6,88 detik. Hal ini dikarenakan campuran beton segar memiliki viskositas yang tinggi. Viskositas merupakan suatu sifat cairan yang berhubungan erat dengan hambatan untuk mengalir. Hal ini juga dapat dikarenakan semakin bertambah agregat halus semakin bertambah pula volume beton, sehingga kecepatan aliran semakin cepat untuk mencapai waktu T_{500} .

Gambar (c) menunjukkan pengaruh variasi agregat halus 40% dengan kecepatan aliran paling maksimum sebesar 36,337 mm/det. Hal ini menunjukkan sifat *fillingability* (kemampuan beton untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan menggunakan berat sendirinya) yang tinggi dari variasi agregat halus tersebut.

J-Ring Flow Test

Hasil pengujian *j-ring* dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Grafik Hubungan agregat halus dengan diameter maksimal rata-rata (a), Waktu Mencapai Sebaran 500 mm (b), dan Kecepatan Aliran Rata-rata (c) Pada Pengujian J-Ring *Flow Test*

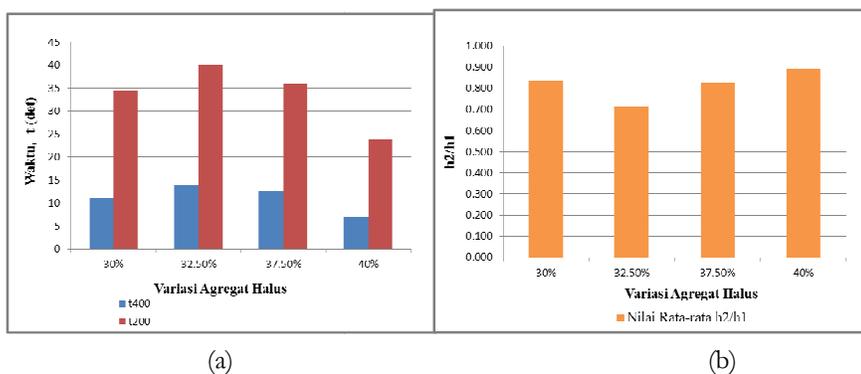
Gambar (a) menunjukkan pengaruh variasi agregat halus pada campuran beton terhadap nilai diameter sebaran yang dicapai. Variasi agregat halus 32,5% menunjukkan sebaran yang maksimal, yaitu 530 mm. Hal ini dikarenakan agregat halus memiliki butiran yang bulat dan keras, sehingga membuat gesekan atau friksi antar butir kecil, akibatnya beton segar untuk melewati tulangan semakin tinggi dan campuran beton lebih mudah mengalir dibandingkan variasi agregat halus 40% yang memiliki nilai sebaran yang minimum, dikarenakan cenderung memiliki kadar agregat halus yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan viskositas pada campuran beton lebih tinggi, sehingga beton segar lebih sulit untuk melewati tulangan. Dapat ditarik kesimpulan variasi agregat halus 32,5% adalah campuran beton yang ideal untuk pengujian *j-ring flow* dan memiliki sifat *passingability* (kemampuan beton untuk mengalir melalui celah-celah antar besitulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau *blocking*) untuk beton SCC.

Gambar (b) menunjukkan pengaruh variasi agregat halus optimum untuk mencapai diameter sebaran sebesar 500 mm (T_{500}) pada kadar 32,5% sebesar 25,65 detik, kemudian terus menurun hingga pada kadar 37,5% dan 40% untuk pengujian *j-ring flow* tidak mencapai persyaratan diameter sebaran sebesar 500 mm (T_{500}). Hal ini disebabkan beton segar lebih sulit untuk melewati tulangan, karena viskositas pada campuran beton tinggi. Campuran beton tersebut akan membutuhkan energi yang besar untuk melewati halangan/tulangan. Semakin tinggi jumlah butir halus yang ditambahkan dalam campuran beton, maka akan membuat campuran beton menjadi lebih kental atau memiliki nilai viskositas yang tinggi. Sebaliknya, semakin rendah jumlah butir halus yang dimasukkan dalam campuran beton, maka akan membuat nilai viskositas atau kekentalan cenderung menurun.

Gambar (c) menunjukkan pengaruh variasi agregat halus 32,5% dengan kecepatan aliran paling maksimum sebesar 9,747 mm/det. Hal ini menunjukkan sifat *fillingability* (kemampuan beton untuk mengalir dan mengisi keseluruhan bagian cetakan menggunakan berat sendirinya) yang tinggi dari variasi agregat halus tersebut.

L-Box Test

Hasil pengujian *L-box test* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Agregat Halus Dengan Waktu Mencapai Sebaran 200 mm dan 400 mm (a), dan Nilai h_2/h_1 Rata-rata (b) Pada Pengujian L-Box Test

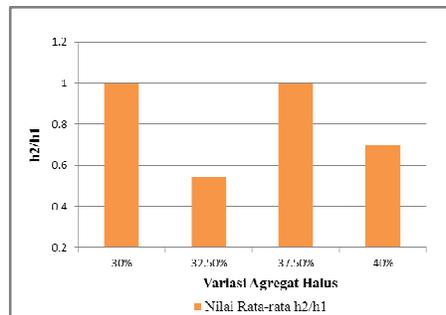
Gambar (a) menunjukkan bahwa campuran beton ini mampu mengalir dari prisma tegak menuju prisma mendatar dengan baik. Hal ini ditunjukkan pada agregat halus 40% adalah yang memiliki syarat *fillingability* yang

lebih baik untuk mencapai jarak 200 mm dan 400 mm. Kecepatan alir ini dipengaruhi oleh viskositas beton. Semakin tinggi kadar agregat halus akan semakin tinggi energi yang dihasilkan untuk mendorong campuran beton itu sendiri untuk dapat mengalir. Hal ini juga disebabkan berat sendiri beton yang berada di prisma tegak juga sangat berpengaruh terhadap kecepatan alirnya, berat sendiri beton yang ada pada prisma tegak akan menghasilkan energi untuk mendorong campuran beton.

Gambar (b) menunjukkan bahwa pada kadar agregat halus 40% memiliki nilai h_2/h_1 yang paling optimum, yaitu 0,895. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada kadar agregat halus 40% memiliki *passingability* (kemampuan beton untuk mengalir melalui celah-celah antar besitulangan atau bagian celah yang sempit dan cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau *blocking*) dan kemampuan perataan permukaan yang paling baik. Kemampuan suatu campuran untuk mengisi ruangan dan perataan permukaan dipengaruhi oleh sifat deformasi dan viskositas beton. Beton yang memiliki sifat deformasi tinggi akan dapat mengalir yang kemudian mencapai stabilitas perataan permukaan dengan baik walaupun harus melewati halangan/tulangan. Pengurangan jumlah agregat kasar secara otomatis akan menambah volume pasta dan mortar, yang dapat menyebabkan friksi antar agregat menjadi berkurang sehingga beton mudah berdeformasi. Selain untuk menghasilkan mortar yang *deformable*, penggunaan agregat halus dengan butir yang semakin kecil juga dapat meningkatkan viskositas dari beton itu sendiri. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Tangstermsirikul dan Khayat (2000), yang menyarankan untuk mengurangi jumlah agregat kasar. Pengurangan jumlah agregat kasar secara otomatis akan menambah volume pasta dan mortar, yang dapat menyebabkan friksi antar agregat menjadi berkurang sehingga beton mudah berdeformasi.

Box-Type Test

Hasil pengujian *box-type* dapat dilihat pada Gambar 4.

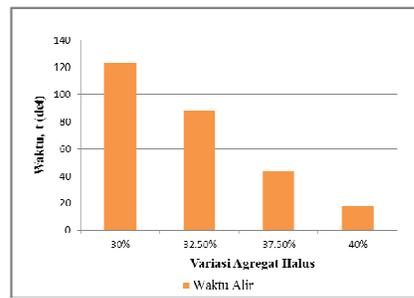


Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Agregat Halus Dengan Nilai h_2/h_1 Rata-rata Pada Pengujian *Box Type*

Gambar diatas menunjukkan kecenderungan beton dapat mengalir melewati halangan dan kemudian dapat mengisi ruangan dengan baik. Hal ini juga menunjukkan bahwa pada kadar agregat halus 30 dan 37,5% memiliki kemampuan beton untuk mengalir melalui celah-celah antar besitulangan atau bagian celah yang sempit dan cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau *blocking* (*passingability*) dan kemampuan perataan permukaan yang paling baik dengan nilai perbandingan mencapai 1. Kemampuan beton untuk mengalir melalui celah-celah antar besitulangan atau bagian celah yang sempit dan cetakan tanpa terjadi adanya segregasi atau *blocking* oleh sifat deformasi dan viskositas beton. Beton yang memiliki sifat deformasi tinggi akan dapat mengalir yang kemudian mencapai stabilitas perataan permukaan dengan baik walaupun harus melewati halangan/tulangan. Pengurangan jumlah agregat kasar secara otomatis akan menambah volume pasta dan mortar, yang dapat menyebabkan friksi antar agregat menjadi berkurang sehingga beton mudah berdeformasi. Selain untuk menghasilkan mortar yang *deformable*, penggunaan agregat halus dengan butir yang semakin kecil juga dapat meningkatkan viskositas dari beton itu sendiri. Hal ini sesuai dengan pernyataan dari Tangstermsirikul dan Khayat (2000), yang menyarankan untuk mengurangi jumlah agregat kasar. Pengurangan jumlah agregat kasar secara otomatis akan menambah volume pasta dan mortar, yang dapat menyebabkan friksi antar agregat menjadi berkurang sehingga beton mudah berdeformasi.

V-Funnel Test

Hasil pengujian *v-funnel* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar5.GrafikHubunganVariasi Agregat HalusDenganWaktu Aliran Rata-rata PadaV-Funnel

Gambar diatas untuk mengetahui pengaruh variasi agregat halus terhadap sifat *fillingability* dan viskositas pada campuran beton. Kemampuan beton untuk mengalir ini ditunjukkan ketika proses penuangan dilakukan. Viskositas campuran beton ditunjukkan dari kecepatan aliran beton (Ouchi, 2000). Gambar 4.12 menunjukkan beton dengan variasi agregat halus 40% memiliki waktu alir yang paling singkat. Hal ini juga sekaligus menunjukkan campuran ini memiliki viskositas yang moderat. Penggunaan agregat halus dengan butir yang semakin lembut diperlukan untuk menjaga viskositas campuran beton. Semakin banyak agregat halus yang digunakan akan membuat viskositas semakin tinggi pula, sehingga energi untuk mendorong campuran beton untuk dapat mengalir lebih besar. Hal ini disebabkan besarnya volume beton akibat variasi agregat halus yang banyak. Seperti yang terjadi pada variasi agregat halus 30%,32,5%,37,5%. Sebaliknya, semakin rendah agregat halus yang digunakan, akan semakin rendah pula viskositas dari beton tersebut. Viskositas yang semakin tinggi juga dapat menyebabkan berkurangnya waktu campuran beton untuk mengalir. Waktu alir pada pengujian ini selain dipengaruhi oleh viskositas campuran beton, juga dipengaruhi oleh gaya gravitasi yang menyebabkan beton dapat mengalir menuju tempat yang lebih rendah dengan melewati celah pada bagian bawah alat uji.

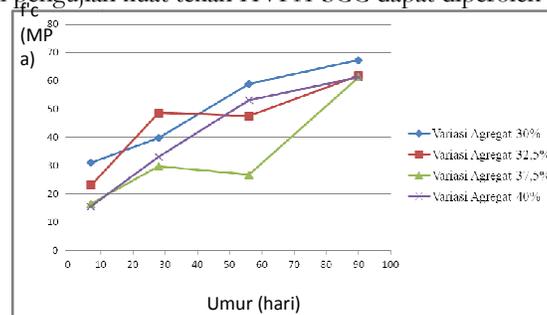
Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan *High Volume Fly Ash Concrete* disajikan pada Tabel 3.

Tabel3.Hasil PengujianKuat TekanHVFAc

Kode	Variasi Agregat Halus (%)	Kuat Tekan Umur (f'c)			
		7 hari (MPa)	28 hari (MPa)	56 hari (MPa)	90 hari (MPa)
FA 30	35%	31,124	39,801	58,946	67,340
FA 32,5	50%	23,107	48,666	47,629	61,8780
FA 37,5	55%	16,599	29,803	26,785	61,304
FA 40	60%	15,656	33,199	53,193	61,304

Dari hasil pengujian kuat tekan HVFA-SCC dapat diperoleh Gambar 6.



Gambar6.GrafikHubunganAntara Kuat Tekan Beton Dengan Umur Pengujian

Gambar diatas menunjukkan bahwa semua variasi agregat halus HVFAc memiliki nilai kuat tekan yang rendah pada awalnya, namun pada usia-usia selanjutnya mengalami kenaikan nilai kuat tekan, bahkan pada usia 90 hari mengalami kenaikan kuat tekan melebihi 100% dari usia 7 hari. Hasil nilai kuat tekan ini juga sesuai dengan pernyataan dari Limantara dan Sugiarto (2010) yang menyatakan bahwa berdasarkan hasil pengujian di lapangan dan tes di laboratorium, penggunaan *fly ash* dengan volume lebih dari 50% berat binder mengalami peningkatan

kekuatannya antara usia 7 hari sampai 90 hari, bahkan mampu melebihi 100% dari kekuatannya. Hal ini dikarenakan dengan penambahan kadar *fly ash* lebih dari 50% dari berat binder dapat meningkatkan ketahanan dan keawetan beton. Butiran *fly ash* akan mengisi ruang kosong antar agregat sehingga kepadatan beton akan menjadi lebih baik sehingga dapat menambah nilai kuat tekan beton menjadi lebih baik. Penggunaan *fly ash* dalam volume tinggi akan mengurangi friksi antar partikel sehingga meningkatkan *workability*. Peningkatan *workability* juga memungkinkan untuk mempertahankan kondisi faktor air-semen (fas) dalam kondisi yang rendah, sehingga nilai kuat tekan beton yang dihasilkan akan semakin meningkat pula. Dalam hal ini, variasi agregat halus 30% mempunyai nilai kuat tekan yang tinggi disbanding variasi agregat halus dengan kadar agregat halus 40%. Hal ini disebabkan prosentase variasi agregat halus dengan kadar 30% dapat berimbang dengan agregat kasar, sehingga beton dapat saling mengisi dan tidak terjadi keropos (porous) pada beton. Sebaliknya, variasi agregat halus 40%, sebaliknya memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan volume pasir lebih banyak daripada volume kerikil, sehingga kuat tekan yang dihasilkan lebih kecil. Pada variasi 32,5% dan 37,5% umur 56 hari mengalami penurunan kuat tekan dikarenakan saat memasukkan beton segar ke dalam silinder proporsi agregat halus lebih banyak daripada air, sehingga kuat tekan beton mengalami penurunan. Faktor lain yang mempengaruhi agregat halus terhadap kuat tekan adalah karakteristik dari masing-masing sumber agregat halus yang memiliki nilai yang berlainan. Pengaruh karakteristik yang berlainan dari agregat halus tersebut akan mempengaruhi terhadap kualitas beton yang dihasilkan seperti kuat tekan, kadar udara, berat dan penyusutannya. Pengaruh tersebut dikarenakan banyaknya sifat yang langsung berpengaruh terhadap proses pengikatan beton antara agregat, semen dan *fly ash*. misalnya, kadar lumpur, kadar organik, dan lain-lain. Hal ini ditunjukkan dengan variasi agregat halus 30% yang memiliki nilai kuat tekan yang paling optimum pada usia 7 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari.

Dapat diambil kesimpulan kuat tekan yang paling optimum adalah variasi agregat halus 30% dengan nilai kuat tekan umur 7 hari 31,1124 MPa, nilai kuat tekan umur 28 hari 39,801 MPa, nilai kuat tekan umur 56 hari 58,946 MPa, dan nilai kuat tekan umur 90 hari 67,340 MPa. Menurut SNI 03-2847-2002 beton dapat dikategorikan memenuhi syarat beton struktur apabila kuat tekan beton mempunyai nilai yang sama atau lebih dari 20 MPa pada umur 90 hari. Hasil kuat tekan variasi agregat halus 30%,32,5%,37,5% dan 40% menunjukkan bahwa beton ini memenuhi syarat beton struktur.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan agregat halus dengan kadar tertentu dapat mempengaruhi sifat segar dari campuran beton. Pada penelitian ini semakin besar kadar agregat halus tidak menjamin hasil pengujian sifat segar akan semakin baik.
2. Penggunaan agregat halus juga berpengaruh pada sifat *flowability*, seperti yang ditunjukkan pada variasi agregat halus 40% semakin besar variasi agregat halus diameter sebaran semakin kecil dengan nilai 635 mm, dikarenakan jumlah agregat halus lebih banyak, sehingga air semakin banyak terserap oleh agregat halus dan besar kecepatan alir 36, 337 mm/det.
3. Penggunaan agregat halus juga berpengaruh pada sifat *passingability*, semakin banyak agregat halus membuat gesekan atau friksi semakin besar, sehingga lebih sulit untuk melewati tulangan. Tetapi dalam beberapa pengujian seperti *L-Box test* semakin banyak agregat halus dapat mempengaruhi kecepatan alir, dikarenakan semakin tinggi kadar agregat halus akan semakin tinggi energi yang dihasilkan untuk mendorong campuran beton untuk dapat mengalir. Seperti yang ditunjukkan pada pengujian *L-Box* pada variasi agregat halus 40% memiliki nilai t_{200} sebesar 6,88 det dan t_{400} sebesar 23,89 det.
4. Penggunaan agregat halus juga berpengaruh pada sifat *fillingability*, agregat halus dengan butir yang semakin lembut diperlukan untuk menjaga viskositas campuran beton. Semakin banyak agregat halus yang digunakan akan membuat viskositas semakin tinggi pula, sehingga energi untuk mendorong campuran beton untuk dapat mengalir lebih besar. Seperti yang ditunjukkan pada variasi agregat halus 40% memiliki nilai kecepatan alir sebesar 17,27 det.
5. Berdasarkan pengujian kuat tekan, HVFAC memiliki nilai kuat tekan yang rendah pada awal pengujian, yaitu pada usia pengujian 7 hari, namun pada usia pengujian 90 hari nilai kuat tekan dapat meningkat mencapai lebih dari 100% dibandingkan kuat tekan awalnya.
6. Penambahan agregat halus pada kadar tertentu dapat menaikkan ataupun menurunkan kuat tekannya apabila penambahannya berlebihan. Pada pengujian ini kadar agregat halus 30% memiliki nilai kuat tekan yang paling optimum untuk umur pengujian 7 hari memiliki nilai sebesar 31,1124 MPa, 28 hari memiliki nilai sebesar 39,801 MPa, 56 hari, maupun 90 hari memiliki nilai sebesar 58,946 MPa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan dana sehingga penelitian ini dapat terlaksana melalui skema hibah desentralisasi (Hibah Unggulan Madya Perguruan Tinggi) pada tahun 2013. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah mengarahkan penulis dalam melakukan penelitian ini, serta kepada seluruh rekan yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian di laboratorium.

REFERENSI

As'ad, Sholihin. (2009). *Pengembangan Kanal Fleksibel Berbahan Beton Memadat Mandiri Berserat Limbah Kaleng dan Limbah Plastik*. Usulan Penelitian Hibah Bersaing. Surakarta.

CALTRANS. 2010. *Standard Specifications*. 1900 Royal Oaks Drive, Sacramento, California.

EFNARC. 2002. *Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete*. Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK.

Limantara, S. dan Sugiarto, H. 2010. *Penelitian Awal Pada High Volume Fly Ash Concrete*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Kristen Petra. Surabaya.

Mehta, Kumar (2006). *High Performance, high volume fly ash concrete for sustainable development*. USA, Berkeley: University of California.

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit ANDI Yogyakarta.

Okamura, Handouchi, M., 2003, *Self Compacting Concrete*. Vol.1, No.1, 5-15, April 2003. Japan Concrete Institute.

Okamura, H. and Ozawa, K., 1994, *Self-Compacting high-Performance Concrete in Japan*, ACI SP-159: International Workshop on High Performance Concrete, Michigan.

Persson, B., 2000, *A Comparison Between Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete and the Corresponding Properties of Normal Concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 31, Pergamon.

RMCAO. 2009. *Best Practices Guidelines for Self Consolidating Concrete*. 365 Brunel Road, Unit 3, Mississauga.

Self Compacting Concrete European Project Group. 2005. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*. UK.

Siddique, R., Khatib, J. M., Yüksel, I. and Aggarwal, P. 2009. *Strength properties of high-volume fly ash (HVFA) concrete incorporating steel fibres*, *Excellence In Concrete Construction Through Innovation*, 149-157, September 2008, Kingston University-London.

Tangstermsirikul, S. and Khayat, K. (2000). "Part III : Fresh Concrete Properties", in: *A. Skarendahl, O. Petersson (Eds.), Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee*, 17-22.