

PEMAKAIAN FLY-ASH SEBAGAI CEMENTITIOUS PADA BETON MUTU TINGGI DENGAN STEAM CURING (THE USE OF FLY-ASH AS CEMENTITIOUS ON HIGH-STRENGTH CONCRETE WITH STEAM CURING)

Erwin Rommel¹ & Yunan Rusdianto²

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang
Alamat Korespondensi :Jalan Raya Tlogomas 246 Malang 65144
email : erwin67pro@yahoo.com HP 08123314432

ABSTRACT

The use of fly-ash as cementitious will be made to utilize physical and chemical properties of fly-ash that has a dominant of silica and good of modulus fines. The use of steam curing will be done in this study which can speed up the cycle of making concrete. This is advantageous in the production of precast concrete and velocity field construction.

The research was conducted by making concrete cube 15x15x15 cm for 80 pieces and then tested the compressive strength and absorption of concrete. Achieve the quality of concrete made with the provision of K600 with giving the fly-ash respectively 7.5%, 15% and 30% by weight of cement.

The results of the research obtained by the use of fly-ash as much as 7.5% as a cementitious that was given to the steam curing will provide the initial strength of concrete reached 47% of compressive strength at 28 days. While the effect of giving fly-ash in concrete has not seen absorption significantly when compared to concrete without fly-ash.

Key word : concrete, fly-ash, steam curing

PENDAHULUAN

Dengan makin meningkatkan keinginan konsumen untuk mendapatkan konstruksi berbahan beton serta memenuhi persyaratan lingkungan, maka dibutuhkan beton yang tidak saja mampu dari aspek kekuatan tetapi aspek ketahanan “*durabilitas*” terhadap lingkungan agresif semakin diminati. Berbagai terobosan pembuatan beton yang dapat memenuhi kedua aspek tersebut harus juga diimbangi dengan penyediaan material beton yang cepat dilapangan, seperti konstruksi pracetak.

Pembuatan beton dengan sistem bertekanan merupakan salah satu penyelesaian permasalahan diatas guna mempercepat waktu pembuatan dan produksi beton dilapangan. Tetapi kondisi tersebut membuat lapisan beton menjadi lebih *porous* karena pemberian tekanan pada suhu panas menyebabkan rusaknya lapisan terluar dari beton, karena semen sebagai material yang paling halus akan mudah

mengalami susut-regang yang besar jika tekanan yang diberikan terlalu lama pada suhu yang tinggi.

HES (*High-Early-Strength*) Concrete menggunakan campuran beton yg mengandalkan penggunaan kadar semen yang tinggi dan akselerator untuk meningkatkan kecepatan perkembangan kekuatannya. Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa metode konvensional untuk meningkatkan kekuatan awal beton dengan menggunakan kadar semen tinggi dan *akselerator* dapat meningkatkan susut suhu dan susut kering pada beton. Penyusutan yang tertahan pada kondisi aktual di lapangan menimbulkan tegangan tarik sehingga terjadi retak *mikro* yang akan meningkatkan *permeabilitas* beton serta mempercepat berbagai proses *deteriorasi* (kerusakan). Sehingga dapat digunakan serat untuk mengontrol retak *mikro* akibat susut pada beton tersebut. Hasil uji laboratorium dan uji lapangan menunjukkan ketahanan jangka pendek yang cukup tinggi pada beton HES yang menggunakan serat

selulosa terhadap retak akibat susut beton. (Soroushian and Ravanbakhsh, 1999)

Penelitian ini akan memberikan alternatif pemakaian *fly-ash* sebagai bahan pengganti semen yang memiliki sifat alkalis sebagai perekat “sama dengan semen”, juga memiliki butiran material halus yang dapat berfungsi sebagai *filler* pada beton. Perubahan karakteristik pada beton yang diberi *fly-ash* akan dilihat sejauh mana pengaruhnya akibat pemberian tekanan pada saat perawatan dengan metode *steam curing*. Hal ini dapat membuat material beton yang unggul tidak saja dari sisi kekuatan tetapi memiliki keunggulan dalam kecepatan produksinya dibandingkan dengan beton konvensional “masa perawatan selama 28 hari”.

Pengaruh *fly ash* sebagai bahan tambah mengakibatkan terjadi reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam *fly ash*. Selain itu, butiran *fly ash* yang jauh lebih kecil membuat beton lebih padat karena rongga antara butiran agregat diisi oleh *fly ash* sehingga dapat memperkecil pori-pori yang ada dan memanfaatkan sifat pozzolan dari *fly ash* untuk memperbaiki mutu beton. *Fly ash* merupakan bahan tambah yang bersifat aktif bila dicampur dengan kapur atau semen, dan beton dengan campuran *fly ash* memiliki kuat tekan lebih tinggi daripada beton normal pada komposisi tertentu. Penggunaan *fly ash* memperlihatkan dua pengaruh abu terbang di dalam beton yaitu sebagai agregat halus dan sebagai pozzolan. Selain itu abu terbang di dalam beton menyumbang kekuatan yang lebih baik dibanding dengan beton normal (Shann, 1994). Persyaratan komposisi kimia *fly-ash* menurut SNI dijelaskan pada Tabel-1.

Tabel 1. Persyaratan Kimia Abu Terbang

Unsur kimia	Kadar (%)
Jumlah Oksida $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ minimum	70
SO_3 maksimum	5
Hilang pijar maksimum	6
Kadar air maksimum	3
Total alkali dihitung sebagai Na_2O maksimum	1,5

Penggunaan pozzolan alami pada mortar tanpa semen (campuran kapur ;pozzolan;pasir) pasca umur 3 tahun mengalami perubahan sifat mekanik tergantung pada campuran bahan dan perawatan mortar tersebut. Penurunan mekanik tersebut terjadi secara bertahap tergantung pada kelembaman dan kondisi awal mortar. Sifat-sifat mekanik mortar yang diberi material pozzolan menjadi lebih tahan pada lingkungan dengan tingkat salinitas yang tinggi dibandingkan dengan mortar konvensional (Velosa and Veiga, 2005)

Beton yang dibuat dari semen yang mengandung material *pozzolan* atau disebut semen PPC memiliki *permeabilitas* lebih rendah dibandingkan dengan beton normal yang memakai semen tipe-1. Tetapi perbedaan sifat *permeabilitas* tersebut hanya terjadi sampai umur hidrasi 20 hari, bahkan pada umur beton 90 hari *permeabilitas* berkurang hingga 50% dibanding dengan beton memakai semen tipe-1 (Alit Karyawan, 2007)

Penelitian pemakaian abu ketel sebagai pengganti semen juga telah dilakukan untuk memperbaiki kuat tekan mortar dan beton mutu tinggi beton dengan perawatan memakai *steam curing* pada suhu 30°C samapai 50°C selama 10 jam, 2 hari dan 3 hari. Dengan memakai abu ketel 5% dari berat semen, kuat tekan beton mutu tinggi meningkat seiring dengan kenaikan suhu *steam curing* yang diberikan, kenaikannya mencapai 49,81% dibandingkan dengan perawatan beton memakai metode konvensional (*moist curing method*) (Irianti, 2007)

Penggunaan material *trass* sebagai *pozzolan* untuk mengganti sebagian semen pada pembuatan beton mutu tinggi juga telah dilakukan, dimana kelemahan dari campuran tersebut adalah lamanya waktu pengikatan semen sehingga dilakukan alternatif perawatan dengan metode penguapan atau *steam curing*. Dengan pemberian penguapan pada beton tersebut selam 6 jam pada suhu 60°C menghasilkan kuat tekan yang sama dengan beton yang diberi perawatan dengan cara perendaman selama 28 hari, demikian juga untuk nilai modulus elastisitas beton dimana nilainya lebih besar 8,34% pada beton dengan material *pozzolan trass* yang diberi penguapan dibandingkan beton konvensional (Hidayat, 2008).

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai adalah mendapatkan kekuatan dan durabilitas beton mutu tinggi yang optimal dengan memakai bahan *flay*

ash sebagai *cementitious* pada beton dengan perawatan *steam*.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan kelanjutan penelitian sebelumnya (Erwin, 2010) yang menguji beton memakai bahan *pozzolan* (semen *pozzolan*) yang diberi perawatan *steam*. Pada penelitian sekarang dilakukan penggantian bahan *pozzolan* memakai bahan limbah *flay-ash* yang digunakan sebagai pengganti atau *cementitious* sebagian semen untuk pembuatan

material beton mutu tinggi (rencana mutu beton K600), serta diberi perlakuan *steam curing* selama 6,5 jam pada suhu 70-80^o C. Jumlah bahan *flay ash* yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen diberikan pada komposisi berat, masing-masing perlakuan 0% (tanpa *flay ash*), 7,5%, 15%, 30% dari berat total semen yang digunakan. Sedangkan variable terikat yang akan dihasilkan adalah kekuatan beton, serapan air pada beton. Penelitian dilakukan di laboratorium Pabrik Beton Pracetak WIKA BETON Jawa Timur untuk pembuatan dan perawatan benda uji serta pengujian beton. Jumlah dan rancangan benda uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel 2. Rancangan benda uji

Tutu Beton	Komposisi pemakaian <i>flay ash</i> (%)	Metode Perawatan	Durasi Pemberian tekanan (jam)	Jenis Pengujian	Jumlah BU tiap pengujian
K600	0	<i>Steam Curing</i>	6,5 jam	Uji Kuat Tekan	15
	0			Uji Penyerapan	5
	7,5			Uji Kuat Tekan	15
	7,5			Uji Penyerapan	5
	15			Uji Kuat Tekan	15
	15			Uji Penyerapan	5
	30			Uji Kuat Tekan	15
	30			Uji Penyerapan	5
Jumlah benda uji					80

*) pengujian tekan dilakukan pada umur ; 7 ; 14; dan 28 hari, @ 5 benda uji

Perancangan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton

Perancangan campuran beton memakai metode SNI 03-2834-2000. Bahan agregat yang dipakai pada kondisi SSD (*saturated surface dry*), akan tetapi untuk penyesuaian kondisi kadar air agregat dilapangan dengan dilaboratorium, dibuat koreksi perhitungan

volume campuran dengan bahan yang dipakai. Perancangan campuran beton yang telah dibuat untuk mutu beton K-600 (beton mutu tinggi) akan diperoleh kebutuhan bahan penyusun per-meter kubik beton dan dilakukan koreksi pada kondisi kadar air agregat dilapangan. Beberapa variasi komposisi campuran beton dengan memakai *fly-ash* sebagai *cementitious* seperti terlihat pada Tabel-3.

Tabel-3 : Kebutuhan bahan penyusun per-meter kubik beton

Material	Volume beton awal				Volume beton setelah dikoreksi			
	Tanpa <i>fly-ash</i>	Kandungan <i>fly-ash</i>			Tanpa <i>fly-ash</i>	Kandungan <i>fly-ash</i>		
		7.5%	15%	30%		7.5%	15%	30%
men (kg)	603	558	512	422	603	558	512	422
y-ash (kg)	-	45	91	181	-	45	91	181
lit (kg)	1012	1012	1012	1012	1039	1039	1039	1039
sir (kg)	620	620	620	620	633	633	633	633
r (kg)	205	205	205	205	165	165	165	165

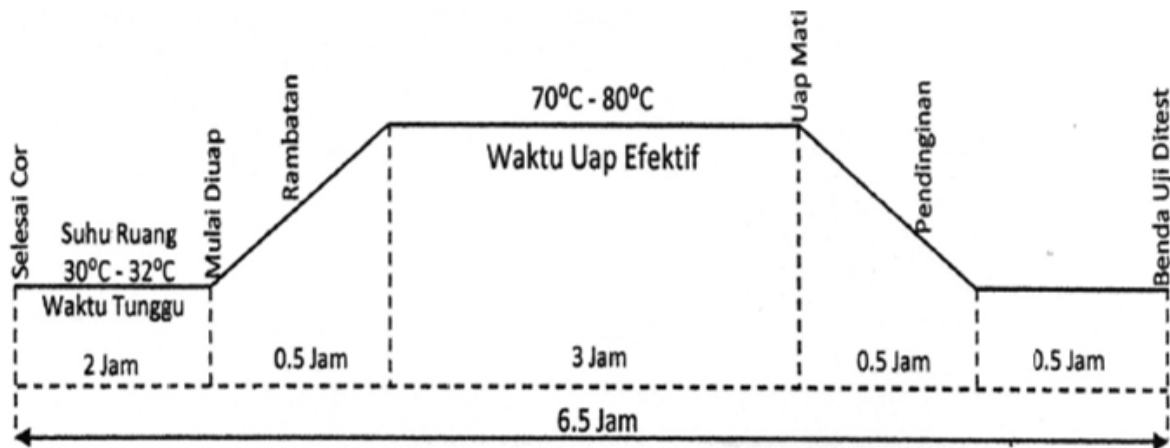
berat Isi (g/m^3)	2440	2567	2522	2440	2440	2567	2522	2440
faktor air men, w/c	0,34	0,37	0,40	0,485	0,27	0,29	0,32	0,39

Perawatan Beton

Perawatan benda uji dilakukan dengan cara dialirkan uap panas bertekanan kedalam beton (*steam curing*). Beton yang telah diaduk dimasukkan kedalam cetakan kubus ($15 \times 15 \times 15$) cm, kemudian bersama-sama cetakan beton dimasukkan kedalam *box steam* bertekanan dan dialirkan uap panas dengan waktu awal 30 menit (sampai tekanan stabil mencapai suhu 70 sampai 80 °C didalam *box steam*) kemudian dibiarkan selama 3 jam dan setelah itu katup tekanan

dimatikan selama 30 menit untuk proses pendinginan. Sehingga total variasi lama pemberian steam adalah 6,5 jam. Skema lengkap pemberian suhu dan tekanan uap dapat dilihat pada Gambar-1.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat *Steam Curing* dengan skala Laboratorium yaitu kotak beton persegi berukuran ($200 \times 100 \times 100$) cm. Sedangkan uap yang digunakan dalam perawatan benda uji berasal dari *boiler* yang disalurkan melalui pipa uap



Gambar-1 : Pemberian suhu dan waktu tekanan pada alat *steamer*

Proses Pengujian

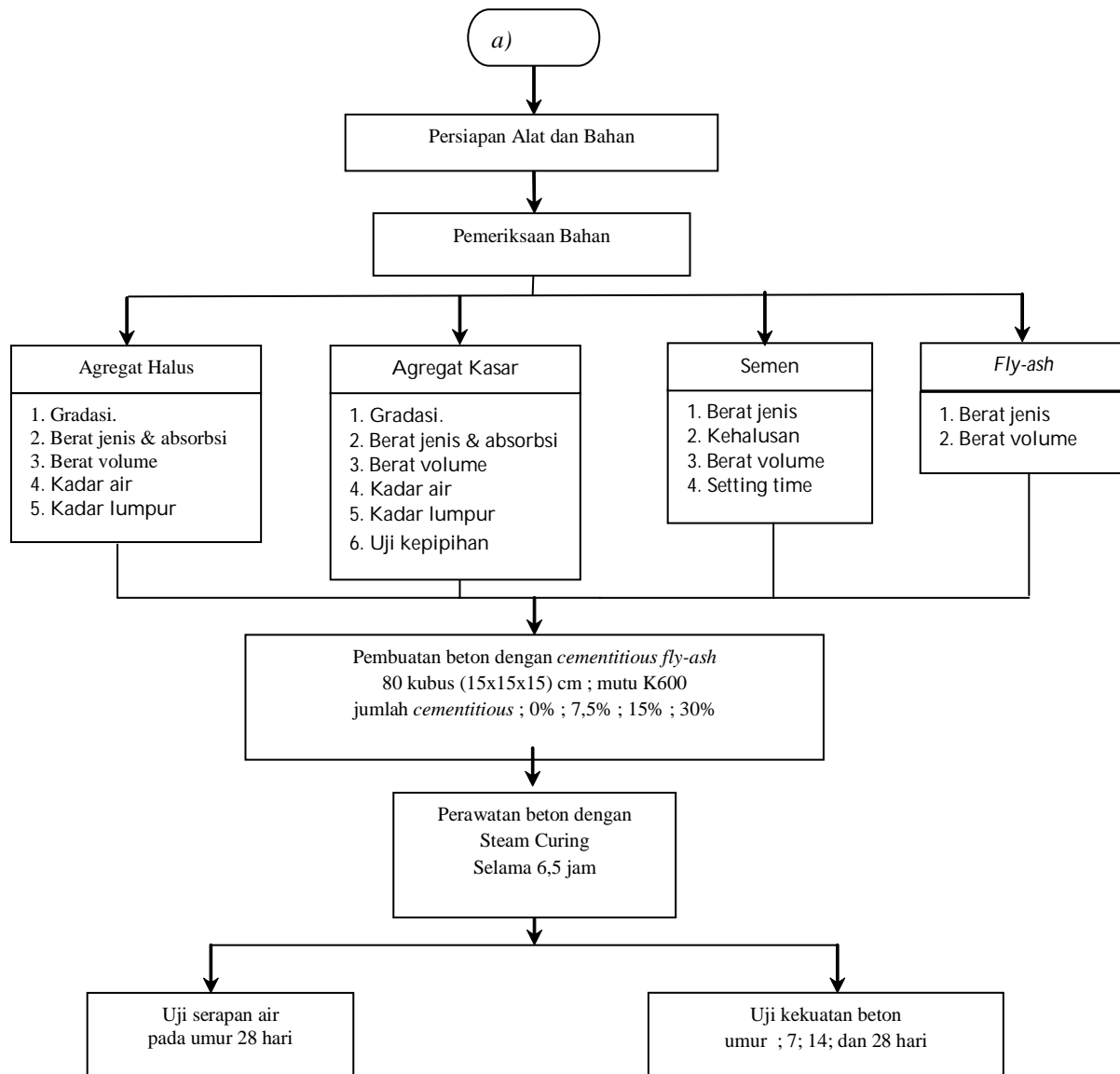
Pengujian dilakukan setelah beton di *steam* dan dibiarkan pada suhu ruangan sampai umur pengujian yang diinginkan, yaitu umur : 7, 14 dan 28 hari . Pengujian kekuatan dilakukan dengan mesin tekan (*compression machine testing*), dimana benda uji diletakkan secara simetris kemudian diberi beban yang konstan. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan dicatat beban maksimum yang terjadi. Sedangkan untuk pengujian serapan air dilakukan pada umur beton sudah mencapai 28 hari. Pengujian serapan air pada beton bersifat *non-destructive*. Alur penelitian selengkapny dapat dilihat pada Gambar -2.

Peralatan Penelitian

Penelitian utama yang digunakan pada penelitian ini antara lain ; Mesin Uji Tekan kapasitas 2000 kN, *Steamer Tank* (alat *steam curing*) ukuran ($200 \times 200 \times 100$) cm; *water tank*; oven dengan kapasitas suhu (110 ± 5) °C;

Bahan Campuran Beton

Semen, digunakan Semen Portland (PC); Agregat Halus (pasir) ; Agregat Kasar dipakai batu pecah split 1/2; bahan *flay ash* dari sisa pembakaran batu bara PLTU Paiton Jawa Timur



Gambar-2 : Alur penelitian

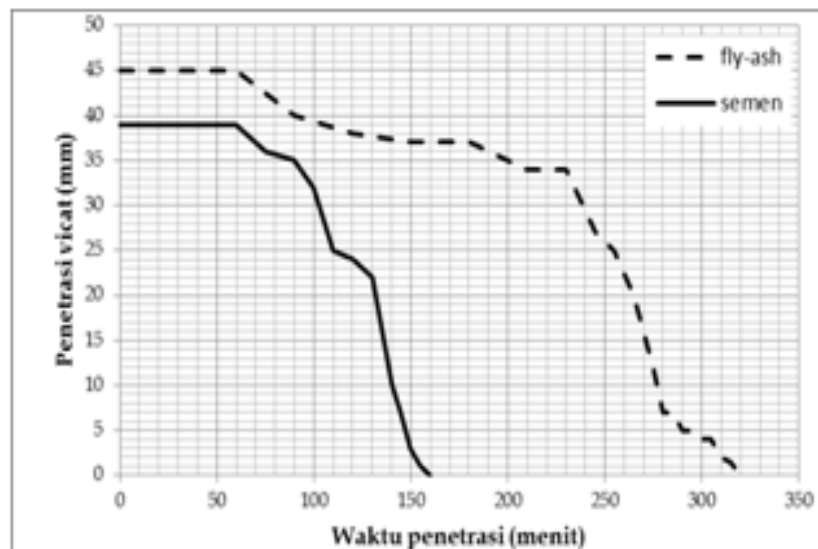
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Semen dan Fly-ash

Pemeriksaan dilakukan pada berat jenis, berat volume dan kehalusan masing-masing material semen dan fly-ash. Berdasarkan hasil pemeriksaan yang tercantum pada grafik setting time, diperoleh waktu ikat awal (*initial setting time*) semen selama 110 menit dan *fly-ash* selama 255 menit yang di *plotting* saat penetrasi pada alat *vicat* sebesar 25 mm, sedangkan waktu ikat akhir (*final setting time*) diperoleh masing-masing 160 menit dan 320 menit untuk semen dan *fly-ash* yang diukur ketika pembacaan penetrasi *vicat* menunjukkan angka nol

Tabel-4 : Hasil Pemeriksaan Semen dan Fly-ash

Parameter pengujian	satuan	Semen	Fly-ash
Berat jenis	(gr/cm ³)	3.15	2,53
Berat volume	(ton/m ³)	1.26	1,22
Kehalusan	(%)	6,00	10,1
Initial Setting time	(menit)	110	255
Final setting time	(menit)	160	320



Gambar-3 : Grafik Setting Time Semen dan fly-ash

Dari hasil pengujian nilai *slump* menunjukkan bahwa nilai *slump* menurun seiring bertambahnya persentase *fly ash* dalam campuran beton. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dapat menyerap air dengan baik. Beton mutu tinggi menggunakan nilai *fas* rendah, berarti air yang digunakan sangat sedikit, sehingga nilai *slump* rendah. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan *fly ash* berpengaruh terhadap nilai *slump*, makin besar persentase *fly ash* pada adukan beton maka nilai *slump* makin kecil.

Tabel-5 : Hasil Uji Slump Beton

Kandungan Fly-ash pada beton	Nilai Slump (cm)
Tanpa fly-ash	10
7.5%	9,5
15%	11
30%	12

Kuat Tekan Beton

Pada Gambar-4 menjelaskan bahwa pemberian *fly-ash* sebagai *cementitious* pada campuran beton cukup berpengaruh pada kekuatan beton. Pemberian perawatan dengan cara dialiri uap panas (*steam curing*) juga memberikan peningkatan kekuatan awal beton cukup signifikan. Campuran beton konvensional (tanpa pemberian *fly-ash*) yang diberi perawatan *steam curing* dapat menghasilkan kekuatan

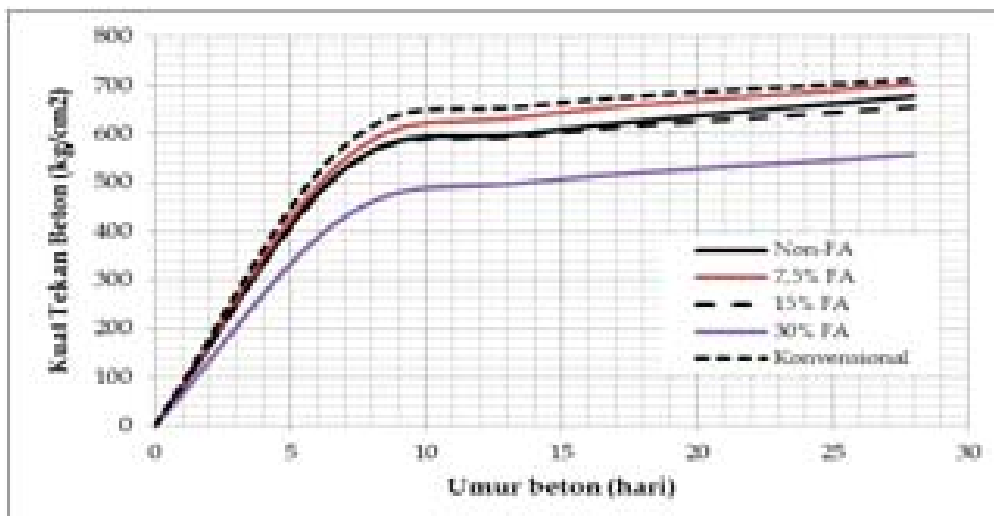
beton mencapai 360 kg/cm² atau mencapai 53% dari kekuatan beton pada umur 28 hari, sedangkan pada beton yang diberi *fly-ash* sebesar 7,5% kuat tekannya sudah mencapai 47% yakni sebesar 331 kg/cm². Kenaikan tersebut tidak berlaku bagi campuran beton yang diberi *fly-ash*, sebagai pengganti sebagian semen, dimana justru dengan makin banyak pemberian *fly-ash* sebagai *cementitious* peningkatan awal kekuatan beton pasca *steam* tidak terjadi bahkan mengalami penurunan kekuatan awal. Kekuatan beton yang tanpa diberi *steam curing* (perawatan beton dengan cara perendaman atau konvensional) memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang diberi *steam*. Kenaikan kuat tekan beton tersebut mencapai 713 kg/cm² atau meningkat 5% dibandingkan dengan beton yang diberi perawatan dengan *steam curing* dan tanpa diberi *fly-ash*.

Beton dengan diberi *steam curing* memiliki kekuatan awal yang lebih baik dibandingkan beton dengan perawatan konvensional, dimana kuat tekan awal beton dapat mencapai diatas setengah dari kuat tekan yang direncanakan setelah *steam* diberikan. Hal ini menjelaskan bahwa yang menjadi kelebihan dari pemberian *steam curing* tersebut bukan kuat tekan setelah umur 28 hari tetapi proses akselerasi hidrasi semen yang dapat dimanfaatkan untuk mempercepat proses pelaksanaan pekerjaan beton. Sedangkan pada umur beton 28 hari kekuatan beton tertinggi diperoleh pada pemakaian *fly-ash* sebanyak 7,5% dimana kuat tekan yang dicapai sebesar 702 kg/cm² atau lebih besar 3% dibandingkan dengan beton konvensional (tanpa *fly-ash*). Tetapi pada umur beton 28 hari, pemakaian

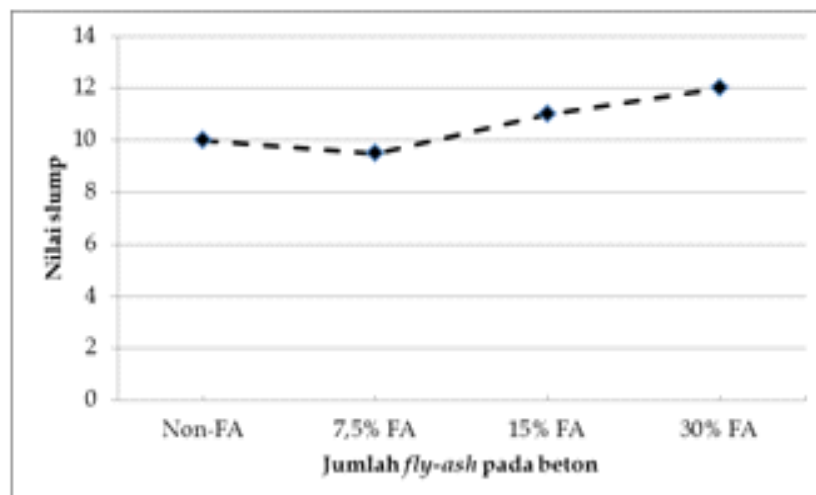
fly-ash sampai 15% sebagai *cementitious* dapat mencapai kekuatan beton yang direncanakan sebesar 600 kg/cm² (atau K600). Kecendrungan perilaku perjalanan kuat tekan beton tersebut juga sama pada berbagai umur beton yakni pada 7 dan 14 hari.

Perilaku penurunan kekuatan beton ini didukung oleh *workability* saat pembuatan beton dimana pemakaian *fly-ash* mempengaruhi jumlah air atau faktor air semen pada campuran beton. Faktor air semen meningkat dengan pemakaian *fly-ash*, dimana *fas* masing-masing 0,27 ; 0,29 ; 0,32 dan 0,39 untuk beton konvensional (tanpa *fly-ash*) ; 7,5% FA ; 15%

FA ; dan 30% FA. Peningkatan pemakaian jumlah air pada campuran mempengaruhi kekuatan awal beton. *Fly-ash* sebagai bahan pengganti semen belum dapat bereaksi secara sempurna dengan air pada proses hidrasi semen. Hal tersebut didukung dari uji nilai slump untuk masing-masing campuran dimana pada pemakaian 30% *fly-ash* menghasilkan nilai *slump* 12 cm, dimana nilai sudah berada diluar batas nilai *slump* yang direncanakan yakni 8 sampai 12 cm. Hubungan antara nilai *slump* dan pemakaian jumlah *fly-ash* sebagai *cementitious* dapat dilihat pada Gambar-5.



Gambar-4 : Hubungan kuat tekan dan umur beton



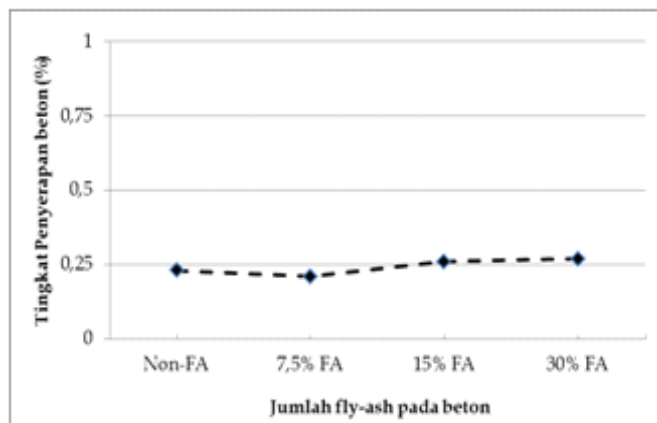
Gambar-5 : Hubungan nilai *slump* dengan kandungan *fly-ash*

Pengujian absorpsi beton dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, Hasil pengujian absorpsi beton secara lengkap dapat dilihat pada lampiran, dari pengujian *absorpsi* beton dengan perbedaan variasi

penggantian sebagian semen terhadap *fly ash* dapat dilihat hasilnya pada Tabel-6

Tabel-6 : Tingkat Penyerapan Beton

Kandungan <i>fly-ash</i> pada campuran beton	Tingkat Penyerapan beton (%)
Non FA	0.23
7,5% FA	0.21
15% FA	0.26
30% FA	0.27



Gambar-6 : Hubungan tingkat penyerapan dengan kandungan *fly-ash*

Gambar-6 menjelaskan bahwa kandungan *fly-ash* yang diberikan untuk mengganti sebagian jumlah semen yang digunakan pada campuran beton belum banyak berpengaruh pada tingkat penyerapan beton. Walaupun pada penambahan *fly-ash* sebanyak 7,5% memberikan tingkat penyerapan yang paling rendah yakni mencapai 0,21%. Sedangkan pemakaian *fly-ash* yang berlebih (kandungan *fly-ash* diatas 7,5%) justru mengakibatkan tingkat penyerapan beton menjadi bertambah dibandingkan dengan beton tanpa *fly-ash*. Hal ini sejalan dengan kualitas beton yang juga makin berkurang dengan pemberian *fly-ash* pada 15% dan 30%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya pada **PT WIKA BETON unit Pabrik Beton Pracetak Pasuruan** atas kerjasama dan bantuan pemakaian bahan dan laboratorium dalam penelitian ini serta kepada DP2M UMM yang telah

bersedia mendanai sebagian dari penelitian ini pada tahun anggaran 2011/2012

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

- Pemakaian *fly-ash* pada beton sebagai bahan pengganti sebagian semen (*cementitious*) akan menghasilkan kualitas beton yang kurang baik jika diberikan pada kadar yang relatif banyak (atau lebih dari 7,5% FA).
- Penggunaan perawatan beton dengan metode *steam curing* hanya akan memberikan percepatan kekuatan awal pada beton dimana pada umur 7 hari dimana kuat tekan beton sudah mencapai 53% pada beton dengan tanpa *fly-ash* dan mencapai 47% pada beton dengan memakai *fly-ash* sebanyak 7,5% dari kuat tekan beton umur 28 hari.
- Tingkat penyerapan air pada beton belum terlihat signifikan pengaruhnya terhadap pemakaian *fly-ash* sebagai *cementitious* pada beton. Walaupun tingkat penyerapan beton terendah terjadi pada pemakaian *fly-ash* pada kandungan 7,5% yakni tingkat penyerapan beton sebesar 0,21%

SARAN

- Penggunaan *fly-ash* terlihat belum memberikan kualitas beton yang signifikan terutama jika dibandingkan dengan beton yang diberi perawatan secara *konvensional*.
- Material *fly-ash* perlu dilakukan perbaikan struktur dan komposisi serta karakteristik terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai *cementitious*

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Journal, 1965. *High Pressure Steam Curing*. Journal of The American Concrete Institute.
- Alit Karyawan, I Made, 2007, *Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton yang menggunakan Semen Portland Pozzolan dengan yang menggunakan Semen Portland Tipe-1*, Seminar dan Pameran HAKI, Jakarta

Hidayat,.Hendy, 2008, ***Pengaruh Metode Perawatan dengan Penguapan (Steam Curing) Terhadap Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi dengan Additif Superplasticiz***

Irianti., Laksmi, 2007, *Pengaruh Steam Curing terhadap Kekuatan Beton Abu Ketel Mutu Tinggi*, Laporan Penelitian

Shan,T.T. 1994. *Metode DOE Untuk Perencanaan Rancang Campur Beton Dengan Fly Ash Cement*. TA no 573.S, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas teknik UK Petra.

Soroushian dan Siavosh Ravanbakhsh, 1999, ***“High Early Strenggh Concrete : Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibres for Durability”***, ACI Journal vol 96, no 5, Sept-Oct 1999, pp 593-599.

Velosa, AL and MR Veiga,2005 , ***Pozzolanic Materials – Evolution of Mechanical Properties***, Int’ Building Lime Symposium 2005, Orlando, Florida, USA