

PENGARUH PEMBERIAN PERAWATAN STEAM CURING TERHADAP KEKUATAN DAN DURABILITAS BETON DENGAN SEMEN POZZOLAN (EFFECT OF STEAM CURING ON STRENGTH AND DURABILITY CONCRETE WITH CEMENT POZZOLAN)

Erwin Rommel

Staf pengajar Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang
Jalan Raya Tlogomas 246 Malang 65144, email :
erwin67pro@yahoo.com

ABSTRACT

The use of concrete as a building material has been developed both in quantity and quality aspects. Concrete production time is long term in a foundry to make many breakthroughs to make a concrete material that fast food, such as precast concrete. The use of precast concrete in the area of an aggressive environment than expected strength factors are also needed high durability, including resistance to porosity and permeability properties of concrete.

This research was conducted with the cooperation of one of Precast Concrete Factory in East Java, including the manufacture of 15x15x15 cm cube of concrete and steam curing system. This variable on research ; use the type of cement (pozzolan cement and cement type-1), the length of steam (5 and 7 hours), and the quality concrete (K350 and K700). As for the testing performed on compressive strength, permeability and porosity of concrete.

This study concluded that steam curing system to provide early strength concrete that is better than conventional curing (non-steam), where compressive strength of the post-steam can reach 51% of high-strength concrete (K700) with the results 361 kg/cm², whereas in normal concrete (K350) reached 52% (compressive strength 192 kg/cm²). Pozzolan cement concrete also has the advantage in increasing the durability of concrete, especially in high-strength concrete, where the concrete porosity becomes smaller either by steam curing and non-steam. Permeability of concrete is given a steam becomes smaller than the normal concrete with conventional curing (non-steam).

Key word : *steam curing*, pozzolan cement, strength of concrete

PENDAHULUAN

Secara umum klasifikasi beton dibedakan menurut kekuatannya yaitu beton mutu normal (200 – 500 kg/cm²), beton mutu tinggi (500 – 800 kg/cm²) dan beton mutu sangat tinggi (lebih dari 800 kg/cm²). Untuk menghasilkan beton berkekuatan tinggi, dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambahan tertentu yang berfungsi meningkatkan kekuatan beton diantaranya *pozzolan*.

Dalam praktek dilapangan, sangatlah tidak efisien apabila mencampur pozzolan dalam beton karena sangat sulit untuk mengontrol proses pencampurannya maupun kualitas *pozzolan* itu sendiri,

yang tentunya akan berpengaruh terhadap kekuatan beton. Dikawatirkan akan didapat kekuatan beton yang lebih rendah dari beton tanpa campuran yang disebabkan ketidak sempurnaan dari campuran tersebut. Kualitas beton tergantung pada bahan-bahan penyusunnya. Namun untuk membuat mutu tinggi yang sesuai dengan yang diinginkan tidak serta merta diperoleh dengan hanya mencampurkan semen Portland atau jenis semen yang lain, agregat kasar, agregat halus, dan air.

Dengan perkembangan teknologi dan usaha yang dilakukan untuk menghemat biaya dan energi produksi serta untuk mengatasi permasalahan lingkungan, ~~diyakini telah produksi Semen Portland Pozzolan~~ (PPC) yang merupakan campuran dari klinker semen

Portlad dengan bahan yang mempunyai sifat *pozzolan* [SNI 15-0302-2004]. *Pozzolan* yang digunakan dapat bersumber dari alam seperti batu apung maupun berasal dari limbah industri seperti abu terbang (residu dari pembakaran batu bara dari pembangkit listrik). PPC ini diketahui memiliki karakter dan propertis yang berbeda dibandingkan dengan semen *Portland* umum [Iea, 1970; Mehta, 1986; Neville and Brooks, 1998].

Untuk terpenuhinya kuat tekan yang disyaratkan, maka perlu adanya beberapa alternatif perlakuan terhadap beton, diantaranya yaitu perawatan menggunakan *steam curing*. *Steam curing* adalah proses perawatan dengan menggunakan penguapan dimana beton dimasukkan dalam alat steam (*curing tank*) setelah pengecoran dengan menggunakan tekanan uap, suhu dan waktu yang diinginkan.

Penelitian ini menjadi penting karena selain bahan *pozzolan* memiliki sifat alkalis sebagai perekat “sama dengan semen”, juga memiliki butiran material halus yang dapat berfungsi sebagai *filler* pada beton. Perubahan karakteristik bahan *pozzolan* pada beton akan dilihat sejauh mana pengaruhnya akibat pemberian tekanan pada saat perawatan beton dengan metode *steam curing*. Penelitian ini akan menguji hasil pemberian tekanan dan suhu serta waktu yang tepat terhadap beton yang diberi bahan *pozzolan* “lebih halus dari semen”. Hal ini dapat membuat material beton yang unggul tidak saja dari sisi kekuatan tetapi juga unggul dari sisi *durabilitasnya*. Berbagai terobosan pembuatan beton yang dapat memenuhi kedua aspek tersebut harus juga diimbangi dengan penyediaan material beton yang cepat dilapangan, seperti jenis konstruksi pracetak. Hal tersebut untuk memecahkan masalah lamanya produksi beton pada masa perawatan (selama 28 hari).

Pembuatan beton dengan perawatan sistem penguapan (*steam curing*) 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.

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% dibandingkan 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 yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan kualitas dan *durabilitas* beton dengan memakai semen *pozzolan* serta

pengaruhnya terhadap perawatan beton dengan sistem *steam curing*.

METODELOGI PENELITIAN

Rancangan penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah pembuatan beton K350 dan K700 dengan memakai semen pozzolan (PPC) dan semen tipe-1 (PC-I), pemberian perawatan dengan steam pada suhu 70°C selama 5 jam dan 7 jam. Sedangkan sebagai pembanding digunakan beton dengan metode perawatan konvensional. Pengujian tekan kubus 15x15x15 cm dilakukan pasca-steam setelah umur beton 7, 14, 21 dan 28 hari (tanpa perendaman). Sedangkan pengujian durabilitas beton meliputi permeabilitas dan porositas diuji setelah umur beton mencapai 28 hari. Penelitian dilakukan seluruhnya di laboratorium PT.WIKA BETON untuk pembuatan dan perawatan benda uji, pengujian tekan beton,

permeabilitas dan porositas. Jumlah dan rancangan benda uji yang digunakan dapat dilihat pada tabel-1.

Proses Steam Curing

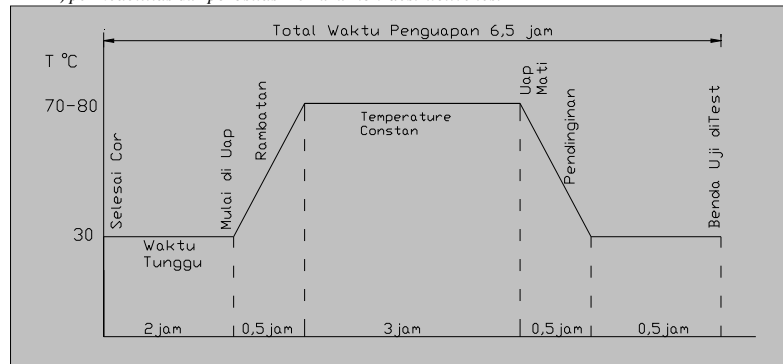
Perawatan benda uji kubus dengan *steam curing* dilakukan dengan memasukkan kubus beton berikut cetakkannya kedalam *steam box* setelah 2 jam pembuatan benda uji. Tahapan pemberian steam adalah sebagai berikut ; 2 jam pemberian steam awal, 0,5 jam pertama untuk peningkatan suhu mencapai 70°C, pemberian *steam* pada suhu konstan 70°C selama 2 jam, dan penurunan suhu selama 0,5 jam, sehingga total lamanya steam sebesar 5 jam (lihat Gambar-1). Sedangkan untuk lama *steam* 7 jam diberikan penambahan waktu pada suhu konstan sebesar 5 jam. Alat *steam* yang digunakan adalah skala laboratorium dengan dinding beton berukuran (2x1x1)m yang dilengkapi dengan kontrol tekanan dan suhu, sedangkan tekanan uap disalurkan melalui pipa *boiler* kedalam *steam box*.

Tabel 1. Rancangan Benda Uji

Mutu Beton	Jenis semen	Metode Perawatan	Durasi Pemberian tekanan (jam)	Jumlah benda uji**)
K350	PPC	Steam Curing	5	12
	PC-I	Steam Curing	5	12
	PPC	Konvensional*)		12
K700	PC-I	Konvensional*)		12
	PPC	Steam Curing	5 dan 7	24
	PC-I	Steam Curing	5 dan 7	24
	PPC	Konvensional*)		12
	PC-I	Konvensional*)		12

*) perawatan dengan perendaman umur 7, 14, 21 dan 28 hari

**) permeabilitas dan porositas memakai *non-destructive test*



Gambar 1. Tahapan pemberian suhu dan uap bertekanan pada benda uji

Perancangan Campuran Beton

Bahan penelitian yang digunakan antara lain ; Semen *Pozzolan* (PPC), Semen *Portland* tipe-1 (PC-I), pasir, batu pecah split ½. Pemeriksaan semen meliputi ; *setting time*, kehalusan, *konsistensi*, berat volume, dan berat jenis semen. Sedangkan pemeriksaan agregat pasir dan batu pecah meliputi ; *gradasi* agregat, tingkat kehalusan, berat jenis, penyerapan air, berat volume, kadar air, keausan agregat.

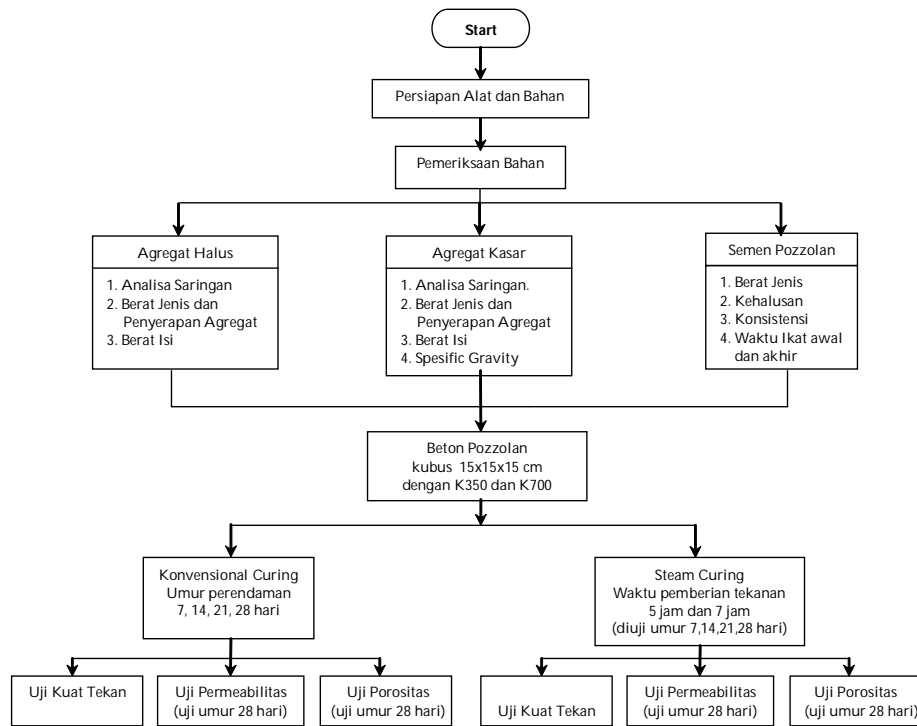
Perancangan campuran beton memakai metode pada SNI-03-2834-2000. Batu pecah yang dipakai pada kondisi jenuh permukaan, tetapi untuk penyesuaian kondisi kadar air agregat dilapangan dengan dilaboratorium, dibuat koreksi perhitungan volume campuran dengan bahan yang dipakai. Hasil perancangan campuran beton dilakukan pada mutu beton K-700 (beton mutu tinggi) dan mutu beton K-350 (beton normal) seperti pada tabel-2 dan tabel-3.

Tabel 2. Hasil perancangan campuran beton

Langkah ke-	Spesifikasi perancangan	satuan	Mutu rencana beton	
			K-350	K-700
1	Kuat tekan yang direncanakan umur 28 hari	kg/cm ²	350	700
2	Deviasi standart (S)	kg/cm ²	50	50
3	Nilai tambah (margin) = s x 1,64	kg/cm ²	82	82
4	Kekuatan rata-rata yang hendak dicapai = (1+3)	kg/cm ²	432	782
5	Jenis semen yang digunakan		PC-I	PPC
6	Menentukan jenis agregat			
	- Agregat halus		pasir halus	pasir halus
	- Agregat kasar		batu pecah	batu pecah
			split1/2	split1/2
7	Faktor air semen maksimum	-	0,51	0,28
8	Slump, ditetapkan	mm	45 ± 15	80 ± 20
9	Ukuran agregat maksimum	mm	20	20
10	Kadar air bebas = (2/3 wh) + (1/3 wk)	kg/m ³	190	202
11	Kadar semen minimum	kg/m ³	372	720
12	Faktor air semen, disesuaikan	-		0,28
13	Prosentase agregat halus	%	42	37,5
14	Berat jenis agregat halus	t/m ³	2,72	2,72
15	Berat jenis agregat kasar	t/m ³	2,70	2,70
16	Berat jenis relatif agregat gabungan SSD (0,375 x 14) + (0,625 x 15)	t/m ³	2,71	2,71
17	Berat jenis beton, dari grafik	kg/m ³	2435	2440
18	Kadar agregat gabungan (17-11-10)	kg/m ³	1873	1518
19	Kadar agregat halus (0,375 x 18)	kg/m ³	371	569
20	Kadar agregat kasar (18 - 19)	kg/m ³	1142	949

Tabel 3. Volume bahan per-m³ campuran beton

No	Bahan susun beton	satuan	Mutu beton			
			K-350		K-700	
			awal	terkoreksi	awal	terkoreksi
1	Semen PPC	kg	372	372	720	720
2	Pasir	kg	731	731	569	584.93
3	Batu pecah split 1/2	kg	1142	1142	949	958.93
4	Air	kg	190	190	202	176.58
5	Faktor air semen		0,51	0,51	0,28	0,28



Gambar 2. Alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

yang memenuhi syarat untuk dapat digunakan pada campuran beton.

Pemeriksaan Bahan Susun Beton

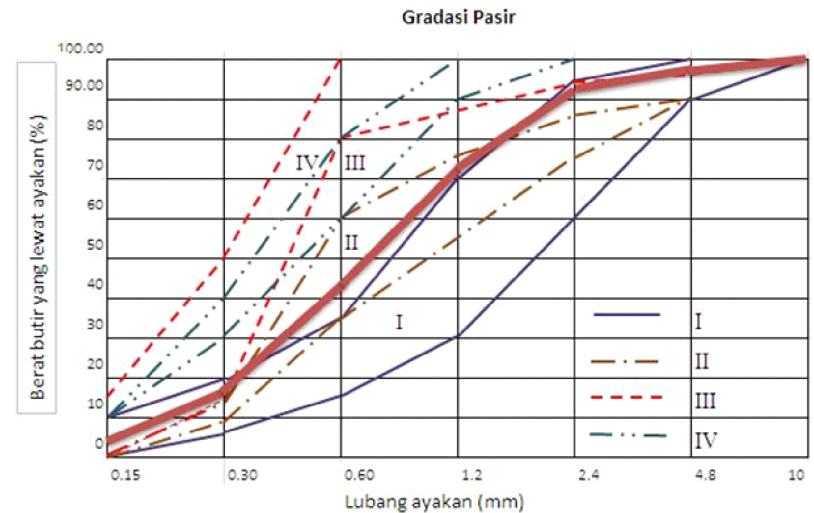
Pada penelitian ini telah dilakukan beberapa pemeriksaan material penyusun beton yang meliputi agregat halus, agregat kasar, dan semen. Pemeriksaan material ini bertujuan untuk mendapatkan material

Pemeriksaan Pasir

Pemeriksaan agregat halus (pasir) meliputi ; pemeriksaan gradasi, berat jenis, penyerapan, berat volume, kadar lumpur dan kadar air pasir. Hasil pemeriksaan seperti tercantum pada tabel-4.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Pasir

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan
Kehalusan pasir (FM)	2,71	-
Zona gradasi	II	-
Berat jenis	2,72	t/m ³
Absorpsi	0,80	%
Berat volume	1,53	t/m ³
Kadar lumpur	0,30	%
Kadar air	3,60	%



Gambar 3. Gradasi Pasir

Pemeriksaan Batu Pecah

Pemeriksaan agregat kasar (batu pecah split 1/2) meliputi pemeriksaan gradasi, berat jenis,

penyerapan, berat volume, kadar lumpur, kadar air, abrasi dan kepipihan batu pecah. Hasil pemeriksaan seperti yang tercantum pada tabel-5 dan gambar-4.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Batu Pecah

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan
Kehalusan pasir (FM)	7,62	-
Zona gradasi	I	-
Berat jenis	2,70	t/m ³
Absorpsi	1,20	%
Berat volume	1,40	t/m ³
Kadar lumpur	0,48	%
Kadar air	2,20	%
Abrasi	14,48	%
Kepipihan	5,56	%

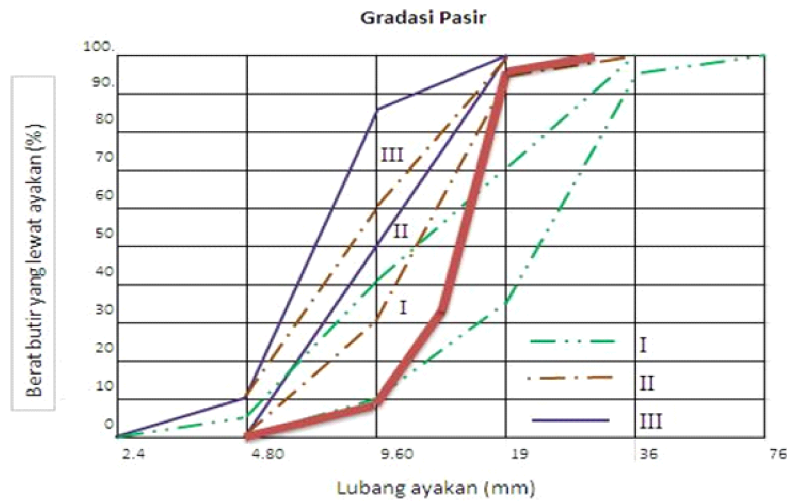
Pemeriksaan Semen

Pemeriksaan semen dilakukan pada 2 (dua) jenis semen yakni ; semen portland pozzolan (PPC) dan

semen Portland biasa (PC) merk Semen Gresik. Hasil pemeriksaan semen seperti tercantum pada tabel-6.

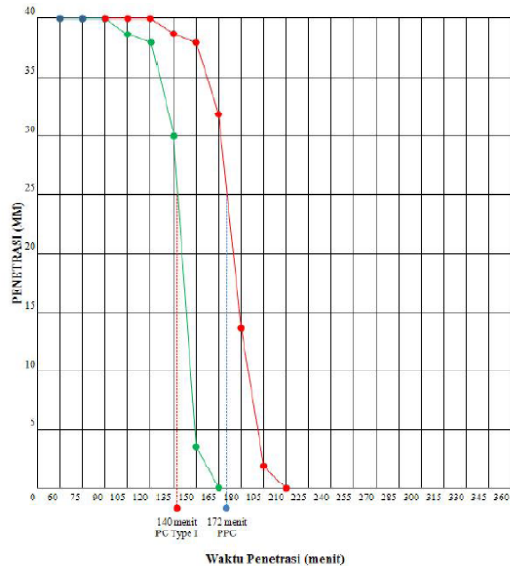
Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Semen

Jenis Semen	Parameter pengujian		
	Berat jenis (gr/cm ³)	Berat Volume (ton/m ³)	Kehalusan Semen (%)
Portland Pozzolan Cement	3.05	1.19	0.48
Portland Cement Type I	3.15	1.26	0.60



Gambar 4. Gradasi Agregat Kasar

No.	Waktu		Penetrasi (mm)	
	I	II	I	II
1	10.30	10.45	40	40
2	10.45	11.00	40	40
3	11.00	11.15	40	40
4	11.15	11.30	40	40
5	11.30	11.45	40	40
6	11.45	12.00	40	40
7	12.00	12.15	40	40
8	12.15	12.30	40	39
9	12.30	12.45	39	38
10	12.45	13.00	38	30
11	13.00	13.15	32	4
12	13.15	13.30	14	0
13	13.30		2	
14	13.45		0	
15				
16				
17				
18				
19				
20				



Gambar 5. Grafik Setting Time Semen

Berdasarkan hasil pemeriksaan yang tercantum pada tabel dan grafik, diperoleh waktu ikat awal (*initial setting time*) PC selama 140 menit (garis hijau) dan PPC selama 172 menit (garis merah) yang diplot pada tabel dan grafik, diperoleh waktu ikat awal (*initial setting time*) PC selama 140 menit (garis hijau) dan

PPC selama 172 menit (garis merah) yang diplot pada tabel dan grafik, diperoleh waktu ikat awal (*initial setting time*) PC selama 140 menit (garis hijau) dan

waktu ikat akhir (*final setting time*) diperoleh masing-masing 180 menit dan 225 menit untuk PC dan PPC

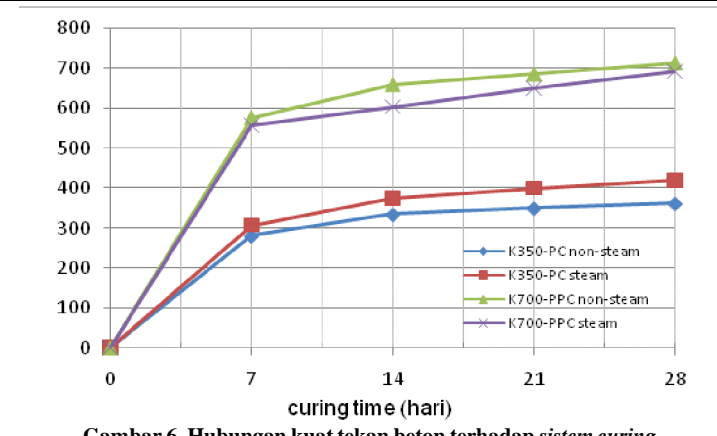
Kekuatan Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari berbagai variasi pemakaian semen dan perlakuan perawatan yang diberikan dapat dilihat pada tabel-7. Beton yang diberi perawatan dengan cara penguapan (*sistem steam curing*) akan menghasilkan kekuatan tekan awal yang lebih tinggi baik pada beton normal (K350) maupun beton mutu tinggi (K700), tetapi setelah umur beton 7 hari terjadi perbedaan antara

kenaikan kekuatan tekan pada beton dengan perawatan *steam* dengan *non-steam* (beton dengan konvensional curing). Beton normal (K350) yang diberi perawatan *steam* memiliki kecenderungan kekuatan tekan lebih tinggi dari beton normal yang tidak *disteam* dengan kenaikan rata-rata antara 10% sampai 14%, dimana kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 420 kg/cm². Sedangkan pada beton mutu tinggi (K700) kekuatan tekan diatas umur 7 hari memiliki nilai yang hampir sama bahkan pemberian *steam* akan menghasilkan kekuatan yang relatif lebih rendah dibanding beton yang diberi perawatan konvensional (direndam atau disiram).

Tabel 7. Hasil pengujian kuat tekan beton (rata-rata dari 3 kubus beton)

Kode benda uji	Mutu Beton	Jenis semen	Lama steam (jam)	pasca-steam	Kuat tekan (kg/cm ²), curing time (hari)					
					0	3	7	14	21	28
K350-PC	K300	PC-I	-	-	0		280	334	350	362
K350-PPC steam	K350	PPC	7	192	0	192	270	343	360	372
K350-PC steam	K350	PC-I	7	220	0	220	307	374	400	420
K700-PPC non-steam	K700	PPC	-	-	0	200	576	659	685	713
K700-PPC steam5	K700	PPC	5	336	0	336	557	604	650	693
K700-PPC steam7	K700	PPC	7	361	0	361	587	633	670	703



Gambar 6. Hubungan kuat tekan beton terhadap sistem curing

Hal ini diakibatkan oleh pemakaian jenis semen yang berbeda pada beton, dimana pada beton K350 dipakai semen tipe-I (PC-I) sedangkan pada beton K700 digunakan semen *pozzolan* (PPC). Penggunaan semen *pozzolan* (PPC) pada beton akan

memperlihatkan hasil yang kurang dapat menambah kekuatan beton dibandingkan dengan beton dengan memakai semen konvensional (PC-I), beberapa penyebab hal tersebut dapat terjadi antara lain ; semen *pozzolan* memiliki setting time yang relatif lebih

panjang, adanya unsur silika yang dominan secara fisik tetapi belum memperlihatkan sifat *reaktifitas* yang cukup baik pada saat reaksi *hidrasi* berlangsung, pemberian *steam* dalam rentang waktu 5 sampai 7 jam akan mempengaruhi proses *hidrasi* semen dimana pada rentang tersebut proses ikatan semen masih berlangsung (waktu ikat akhir maksimal 8 jam setelah proses pencampuran adukan beton).

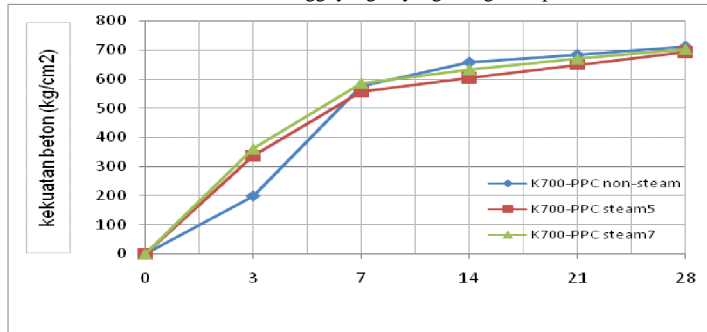
Pada beton mutu tinggi gangguan pada proses *hidrasi* semen oleh pemberian *steam* tersebut akan mempengaruhi proses pengerasan beton sampai umur 28 hari. Beton mutu tinggi (K700) dengan proses non-steam (melalui proses perendaman atau disiram) terlihat lebih besar kuat tekannya setelah 7 hari hingga 28 hari dengan kuat tekan rata-rata 3% sampai 8% lebih besar dibandingkan dengan beton yang melalui proses *steam*.

Secara umum hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa kedua metode perawatan memiliki kelebihan masing-masing, terutama untuk metode *steam curing* yang bisa memberikan kekuatan awal yang tinggi. Namun kuat tekan umur 28 harinya sedikit lebih kecil dibanding beton dengan metode perawatan konvensional. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu, bahwa beton mutu tinggi yang

dirawat dengan *steam* selama 6 jam pada suhu 60°C mempunyai kuat tekan umur 28 hari yang sedikit lebih rendah dibanding beton mutu tinggi yang dirawat dengan perendaman (Hidayat, 2008).

Pemberian lama *steam* (antara 5 jam dan 7 jam) pada proses perawatan beton yang diberikan pada beton mutu tinggi (K700) tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan pada kuat tekannya, walaupun pengujian pada beton setelah 7 hari *pasca-steam* diperoleh hasil kuat tekan lebih tinggi pada beton yang diberi *steam* lebih lama (pemberian *steam* selama 7 jam) tetapi pada umur pengujian 28 hari memiliki nilai kuat tekan yang sama.

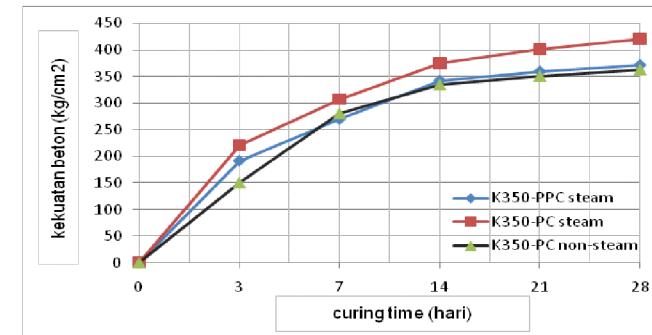
Dari tabel 4.1 dan Gambar 4.2 juga terlihat bahwa beton yang dirawat dengan metode *steam curing* selama 5 jam, kuat tekan awal mencapai 48% (kuat tekan sebesar 336 kg/cm²) dari kuat tekan yang ditargetkan pada umur 28 hari. Hal ini disebabkan penguapan yang diberikan pada beton yang menyebabkan hidrasi berjalan cepat sehingga diperoleh *early strength* (kekuatan awal) yang tinggi, sedangkan beton yang dirawat dengan metode *steam curing* selama 7 jam memiliki kuat tekan *pasca steam* sebesar 51% (kuat tekan sebesar 361 kg/cm²) dari kuat tekan yang ditargetkan pada umur 28 hari.



Gambar-7. Hubungan kuat tekan beton mutu tinggi terhadap lama steam

Pemakaian jenis semen antara PC tipe-1 (PC-I) dan semen *pozzolan* (PPC) lebih jelas terlihat perbedaannya pada hasil pengujian beton normal (K350) dimana beton yang dibuat dari semen tipe-1 akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang dibuat dengan memakai semen *pozzolan* baik dengan atau tanpa proses perawatan *steam* sekalipun. Hal ini

memperlihatkan kelemahan semen *pozzolan* yang memiliki *setting time* lebih lama (172 menit untuk *initial setting time* dan 210 menit untuk *final setting time*) dibandingkan dengan semen tipe-1 (PC-I).



Gambar 8. Hubungan kekuatan beton pasca steam terhadap pemakaian jenis semen Permeabilitas dan Porositas Beton

Tingkat *porositas* beton yang memakai semen *pozzolan* terlihat lebih baik dibandingkan dengan semen tipe-1 terutama pada beton mutu tinggi (K700) dimana *porositas* yang terjadi dapat ditekan lebih kecil separuhnya (0,42% ; 0,47% dan 0,48% masing-masing untuk beton dengan semen *pozzolan* yang non-steam; steam 5 jam; dan steam 7 jam) dibandingkan dengan beton normal. Penggunaan semen PC-I dan semen *pozzolan* pada beton normal tidak memperlihatkan pengaruh terhadap sifat *porositas* beton, dimana nilai *porositas* beton tidak berbeda jauh antara beton yang memakai semen tipe-1 dengan semen *pozzolan* (0,83% pada semen PC-I dan 0,84 pada semen PPC). Pemakaian semen *pozzolan* jika ditinjau dari perbaikan porositas beton lebih terlihat penggunaannya pada beton mutu tinggi dibandingkan dengan beton normal. Hal ini dikarenakan proses pembentukan pori-pori pada beton sangat bergantung kepada kehalusan semen dan reaksi yang terbentuk pada proses *hidrasi* semen.

Pada beton mutu tinggi pemakaian semen *pozzolan* (sebanyak 720 kg/m³) makin besar dibandingkan dengan beton normal (sebanyak 372 kg/m³) sesuai dengan hasil perancangan campuran beton

pada tabel-2 diatas. Sehingga pemakaian semen *pozzolan* akan berpengaruh terhadap sifat *porositas* beton yang dihasilkan, makin banyak semen *pozzolan* yang digunakan akan makin sedikit yang terjadi pada beton.

Hal yang berbeda terjadi pada sifat *permeabilitas* beton dimana pemakaian semen *pozzolan* dan pemberian steam pada proses perawatan beton tidak terlalu berpengaruh secara signifikan pada kemampuan *permeabilitas* beton baik pada beton normal (K350) maupun pada beton mutu tinggi (K700). *Permeabilitas* beton yang dilakukan perawatan dengan *steam* memiliki nilai *permeabilitas* lebih baik dibandingkan dengan beton yang tidak diberi *steam* dalam perawatannya. Pemakaian semen *pozzolan* juga akan memperbaiki sifat *permeabilitas* beton dimana pada beton normal (K350) dengan memakai semen PPC dan diberi steam selama 5 jam, menghasilkan nilai *permeabilitas* sebesar 0,01944 gr/menit. Nilai tersebut lebih kecil dari mutu beton yang sama tetapi memakai semen tipe-1 dan tidak melalui perawatan *steam* sebesar 0,02202 gr/menit.

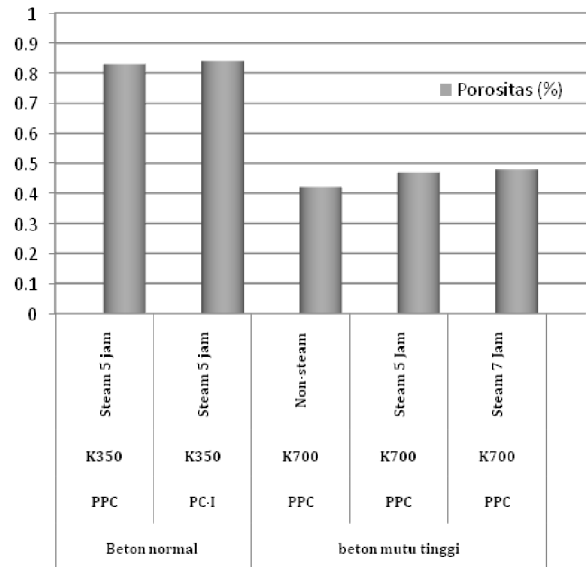
Tabel 8. Nilai Porositas dan Permeabilitas Beton

Jenis Beton	Jenis Semen	Mutu beton	Metode Perawatan	Porositas (%)	Permeabilitas (gr/menit)
Beton normal	PPC	K350	Steam 5 jam	0.83	0.01944
	PC-I	K350	Steam 5 jam	0.84	0.01968
	PC-I	K300	Non-steam	-	0.02202
Beton mutu tinggi	PC-I	K500	Non-steam	-	0.01596
	PC-I	K600	Steam 5 jam	0,28	-
	PPC	K700	Non-steam	0.42	-
	PPC	K700	Steam 5 Jam	0.47	-
	PPC	K700	Steam 7 Jam	0.48	0.02202

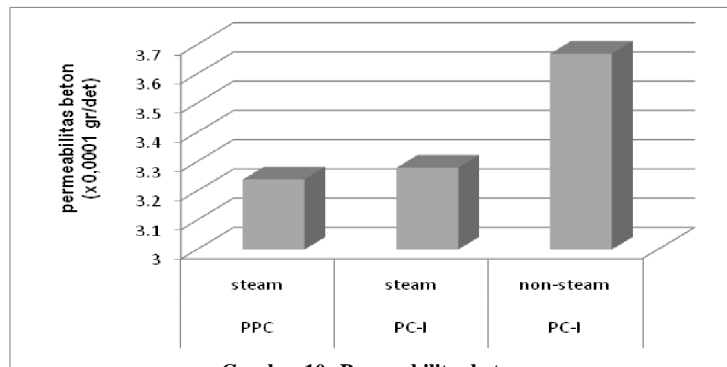
Permeabilitas tidak hanya akibat porositas yang ada tetapi tergantung juga pada ukuran, penyebaran, bentuk dan *kontinuitas* pori-pori yang ada. *Permeabilitas* pasta semen tergantung pada proses *hidrasi* yang terjadi. Pada pasta segar aliran air dikontrol oleh ukuran, bentuk dan konsentrasi partikel semen. Dengan adanya proses *hidrasi* permeabilitas turun dengan cepat akibat volume dari gel termasuk pori-pori gel membesar dan gel mengisi ruang *original water*. Pada pasta yang telah cukup umur

permeabilitas tergantung pada ukuran, bentuk dan konsentrasi partikel semen, baik dalam kondisi yang *kontinuitas* ataupun tidak.

Pada *hidrasi* semen dengan derajat yang sama, *permeabilitas* akan menurun pada fas yang rendah (Neville, 1995). Pemakaian beton pada sejumlah struktur yang bertekanan air pada konstruksi khusus meyakinkan para pelaku konstruksi bahwa kedepan beton dapat menjadi lebih penting daripada kekuatannya. (Kardiyono, 1996)



Gambar 9. Porositas beton



Gambar 10. Permeabilitas beton

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemakaian sistem perawatan dengan *steam curing* akan memberikan kekuatan awal yang lebih baik pada beton dengan semen *pozzolan* dibandingkan dengan beton konvensional (*non-steam*), dimana kekuatan beton mutu tinggi (K700) pada *pasca steam* dapat mencapai 51% (kuat tekan sebesar 361 kg/cm²), sedangkan pada beton normal (K350) mencapai 52% (kuat tekan 192 kg/cm²) dari umur rencana 28 hari.

Beton dengan semen *pozzolan* memiliki keunggulan dalam meningkatkan *durabilitas* beton terutama pada beton mutu tinggi, dimana *porositas* beton menjadi lebih kecil baik dengan perawatan *steam* maupun *non-steam*. *Permeabilitas* beton yang diberi *steam* menjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton normal dengan perawatan konvensional (*non-steam*).

Ucapan Terimakasih

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.

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
- Gambir, M.L. *Concrete Technology*. New Delhi.
- <http://www.pertambangan-energi-bali>, 2004, *Pertambangan dan Energi Provinsi Bali*
- 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

Mawardi, Z.N. 1998. *Pengaruh Lama Steam Curing Terhadap Kuat Tekan Beton Pada Campuran Beton Dengan Penambahan Abu Sekam 13.68 %*. Malang : TA Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang.

Melana, D. 1997. *Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Pada beton Mutu Tinggi Terhadap Perilaku Mekanis (Kuat Tarik dan Porositas) Dengan Steam Curing*. TA no. T 16.12.1997 : Institut Teknologi Nasional Malang, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Oztek, E. 1987. *Accelerated Strength Testing of Portland - Pozzolan Cement Concretes by The Warm Water Method*. ACI : Materials Journal, January - February 1987.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, *Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Untuk Konstruksi Beton*, Bandung

PT Indocemet Tunggal Prakarsa. *Produksi Semen Abu Terbang*. Bandung :

PT. Wijaya Karya Beton, *Sheet Piles*. Jakarta

Pratiwi, D.S. 1997. *Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Silica Fume Pada beton Mutu Tinggi Terhadap Perilaku Mekanis (Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas) Dengan Steam Curing*. TA no. T 21.4.1997 : Institut Teknologi Nasional Malang, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Price, R.E. 1969. *Recommended Practice For Atmosphere Pressure Steam Curing Of Concrete*. ACI Journal.

Purnomo, R. 2002 *Seminar Nasional Perkembangan Terkini Perencanaan Beton Bertulang*. Surabaya : Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Saputro, Aswin Budhi, 2008, *Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi dengan Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan $f'c$ 45 MPa*, skripsi Jurusan Teknik Sipil UII, Yogyakarta.

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 Strength Concrete : Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibres for Durability", ACI Journal vol 96, no 5, Sept-Oct 1999, pp 593-599.

Sidharta, S.K. 1987. *Pengaruh Abu Terbang Pada Campuran Beton dan Upaya Pemanfaatannya Untuk Struktur Beton Dalam Konstruksi*. Jakarta : Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia.

Tjokrodinuljo, K. 1998. *Pengetahuan Bahan Dasar Beton*. Yogyakarta :

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