

PENGARUH PERBEDAAN PROSES PENDINGINAN TERHADAP PERUBAHAN FISIK DAN KUAT TEKAN BETON PASCA BAKAR

Edhi Wahyuni, Retno Anggraini
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : aht_wahjuni@yahoo.com

ABSTRAK

Kebakaran merupakan suatu bencana yang tidak diinginkan datangnya, serta perlu diwaspadai dan diperhatikan dalam suatu pembangunan baik berupa sarana maupun prasarana. Selain terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, adanya pengaruh siklus pemanasan dan cara pendinginan menyebabkan struktur beton akan mengalami proses perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks. Hal tersebut juga berpengaruh terhadap perubahan perilaku material fisik beton yang mengakibatkan menurunnya kekuatan struktur beton. Dari beberapa penjelasan di atas, maka pada penelitian ini akan dibahas tentang kekuatan struktur beton khususnya perbandingan kuat tekan sisa beton akibat temperatur tinggi suhu pembakaran pada saat kondisi pendinginan normal dengan kondisi pendinginan yang disertai dengan penyiraman serta keadaan beton (perubahan warna, kerusakan, perubahan struktur mikro) yang terjadi.

Penelitian ini dilakukan dengan memberikan temperatur pada benda uji yaitu 200°C, 400°C, 600°C, dan 800°C dengan faktor air semen tetap pada umur setelah 28 hari dan akan dilakukan penyiraman setelah beton dibakar pada suhu yang telah ditetapkan. Proses pembakaran dilakukan dengan menggunakan burner dengan kapasitas suhu maksimum 1000°C dengan dimensi 2 x 1,5 x 1,5 m.

Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan beton pada benda uji yang diberi temperatur tinggi menurut suhu-suhu yang diinginkan dan melalui proses pendinginan (disiram dan tidak disiram) mengalami penurunan kuat tekan dari benda uji normal yang tidak dibakar. Dari uji statistik analisis varian didapatkan hasil bahwa cara pendinginan memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan. Suhu memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan dan interaksi antara variasi cara pendinginan dan suhu memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan. Dan dari analisis regresi diperoleh persamaan regresi kuadratik ganda yang menunjukkan bahwa kuat tekan menurun seiring dengan adanya peningkatan suhu (saat pembakaran). Terjadi perubahan warna pada beton setelah mengalami pembakaran di setiap suhu yaitu pada suhu 200°C warna beton berubah menjadi abu – abu keputihan, suhu 400°C warna beton menjadi coklat, suhu 600°C warna beton menjadi coklat susu dengan bintik-bintik merah tua dan suhu 800°C warna beton menjadi putih. Pada tiap suhu pembakaran, beton mengalami kerusakan yang berbeda-beda seperti retak rambut, terkelupas, rapuh, pecah dan muncul pori.

Kata kunci : hasil kuat tekan, temperatur tinggi, proses pendinginan.

PENDAHULUAN

Kebakaran sebagai salah satu bencana baik pada bangunan maupun industri, perlu semakin diwaspadai dalam setiap pembangunan sarana dan prasarana agar hasil-hasil pembangunan tersebut dapat dimanfaatkan hingga mencapai umur ekonomis yang diharapkan. Ditinjau dari jenis bangunan yang terbakar maka bangunan tempat tinggal menempati urutan pertama dengan jumlah kejadian 62 %, bangunan industri 15 %, pertokoan 11 %, perkantoran 7 %

dan lainnya 5 %. Dimana penyebab utama kebakaran tersebut adalah akibat kelalaian manusia, baik kelalaian pada tahap perencanaan, pelaksanaan, maupun tahap pemanfaatan.

Terjadinya perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran akan membawa dampak pada struktur beton. Gejala yang umum timbul akibat kebakaran pada suatu gedung ialah permukaan struktur berwarna hitam atau lebih sering kita katakan gosong yang di akibatkan tingginya temperatur suhu api, hal

tersebut akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut. Sehingga menyebabkan kekuatan beton menurun, dan penggunaan struktur bangunan tersebut juga akan berkurang (tidak maksimal). Akan tetapi kekuatan struktur bangunan beton pasca kebakaran juga ditentukan oleh durasi waktu yang diterima bangunan terhadap api pada saat terbakar.

Berbagai teknik untuk mengontrol atau mengurangi pengaruh kebakaran telah dikembangkan akhir-akhir ini. Perkembangan tentang fenomena dan dinamika kebakaran telah dijadikan tuntutan perencana dalam melindungi bangunan dan memprediksi kemampuan bangunan tahan api. Adanya pengaruh siklus pemanasan dan cara pendinginan menyebabkan struktur beton akan mengalami proses perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks. Hal tersebut berpengaruh terhadap perubahan perilaku material fisik beton yang mengakibatkan menurunnya kekuatan struktur beton.

Dari beberapa penjelasan di atas, maka pada laporan skripsi ini akan dibahas tentang kekuatan struktur beton khususnya perbandingan kuat tekan sisa beton akibat temperatur tinggi suhu pembakaran pada saat kondisi pendinginan normal dengan kondisi pendinginan yang disertai dengan penyiraman pada saat umur beton 28 hari.

Rumusan Masalah

1. Berapa kuat tekan sisa beton akibat temperatur tinggi pada saat umur beton setelah 28 hari yang didinginkan dengan kondisi pendinginan tanpa penyiraman?
2. Berapa kuat tekan sisa beton akibat temperatur tinggi pada saat umur beton setelah 28 hari yang didinginkan dengan cara penyiraman?
3. Bagaimana perbandingan dari kuat tekan sisa beton dan keadaan beton

yang didinginkan secara normal dengan kuat tekan sisa beton dan keadaan beton yang didinginkan melalui cara penyiraman ?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh perbandingan kuat tekan sisa beton akibat temperatur atau suhu yang tinggi pada kondisi pendinginan normal dibandingkan dengan kondisi pendinginan yang disertai dengan adanya penyiraman pada waktu yang sudah ditentukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengaruh Temperatur Pada Beton

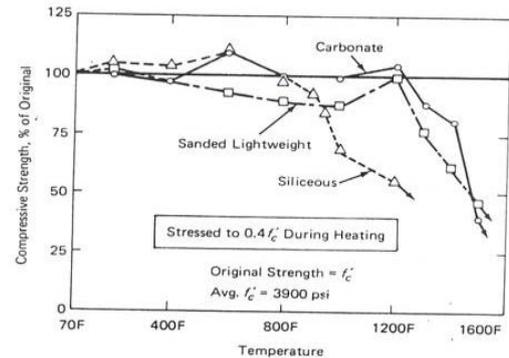
Neville (1975), mengemukakan bahwa ada tiga sifat yang mempengaruhi beton bila dipanasi yaitu : koefisien muai panas, panas jenis dan daya hantar panas. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton jika terjadi kenaikan temperatur pada beton dengan agregat batu kapur dan batu silika. Diduga untuk temperatur di atas 400°C kuat tekan beton hanya turun hingga tinggal 90% dari kuat tekan pada suhu ruang dan maksimum tinggal 40% apabila pembakaran mencapai temperatur diatas 600°C.

Pada saat suhu pembakaran, keadaan panas yang diterima beton di permukaan berbeda dengan suhu yang ada di tengah suatu beton. Sehingga terkadang tingkat kerusakan beton hanya terjadi di permukaan saja yang ditandai dengan retak rambut. Dalam penelitian ini, suhu beton akan diatur secara homogen sehingga didapat suhu yang rata untuk setiap bagian beton. Beton akan mengalami proses pemanasan dan pendinginan secara bergantian. Panas yang dialami beton akan diterima langsung oleh permukaan beton pada semua sisinya, sedangkan suhu di dalam beton (tengah) masih dingin. Hal ini

akan menyebabkan kerusakan pada beton.

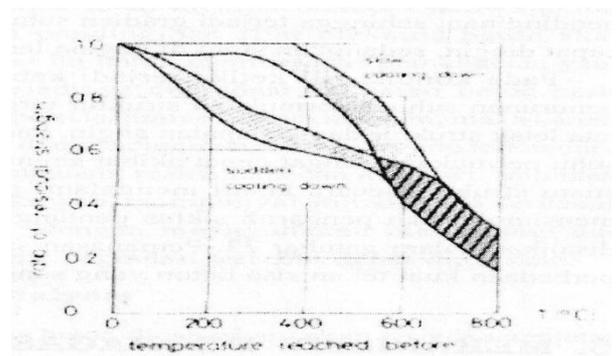
Beton yang terkena suhu pembakaran / beton yang terbakar, sebenarnya pada suhu 200°C biasanya struktur beton belum akan terpengaruh, meskipun secara teoretis pada suhu 100°C air yang terkandung dalam pori sudah menguap. Tetapi berhubung air tersebut terjebak di antara pori, maka air tersebut baru akan habis menguap pada suhu 200°C. Pada suhu antara 200°C - 600°C air dalam pori sudah menguap seluruhnya dan meninggalkan pori-pori kosong yang akan mengurangi kuat tekan beton. Meskipun demikian penurunan kuat tekan beton pada fase ini relatif sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Selama pemanasan akan terjadi penguapan air yang terdapat pada pori-pori sehingga tekanan uap pada pori beton akan meningkat dan mengakibatkan terjadi explosive spalling yang menyebabkan sebagian segmen beton terlepas dari permukaan beton. Sedangkan pada suhu 700°C - 900°C akan terjadi perubahan senyawa, yaitu CaCO_3 akan berubah menjadi CaO dan CO_2 yang akan mengakibatkan crack pada beton sehingga kuat tekannya akan menurun secara signifikan (Sudarmoko, 2000:1).

Kekuatan tekan dari beton akan menurun dengan kenaikan temperatur, pada temperatur 200°C, 400°C dan 550°C secara berturut-turut besarnya sisa kekuatan tekan adalah 95%, 62% dan 25%.



Gambar 1. Pengaruh temperatur pada kuat tekan beton (f_c)

Pada kondisi rill ketika terjadi kebakaran, maka setelah api padam penurunan suhu di permukaan struktur tergantung pada saat pemadaman api, tata letak struktur dan kecepatan angin pada kondisi yang ekstrem. Penurunan suhu permukaan sangat cepat akibat siraman air pemadam api dan di sisi lain suatu struktur secara alami mengalami pendinginan secara lambat. Untuk mensimulasikan pengaruh siklus pendinginan dilakukan percobaan yang hasilnya disajikan seperti gambar di bawah. Pemanasan sampai suhu 600°C memperlihatkan perbedaan kuat tekan sisa beton yang sangat signifikan.



Gambar 2. Pengaruh kondisi pendinginan dan suhu terhadap kuat tekan sisa beton

Treatment penyiraman air pada proses recovery kekuatan beton terbakar bertujuan agar air dapat meresap ke dalam beton dan bereaksi dengan senyawa C2S dan C3S pada butiran-butiran semen yang belum bereaksi

maupun senyawa β C2S pada semen akibat beton yang terbakar. Hasil dari reaksi ini adalah CSH dan Ca(OH)_2 . Penyiraman dilakukan hingga kondisi beton jenuh.

Menurut penelitian Amir Partowiyatmo (1996) tingkat recovery kekuatan beton setelah dilakukan treatment penyiraman dengan air mampu mendekati 100% dari kekuatan awal beton sebelum terbakar. Faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap proses recovery kekuatan beton terbakar adalah lamanya beton terbakar. Semakin lama beton terbakar berarti panas yang diterima beton pun semakin tinggi, akibatnya proses treatment yang harus dilakukan semakin lama dan tingkat recovery beton justru tidak terlalu tinggi.

Akibat pemanasan, beton berubah warna pula. Menurut Hansen T.C (1976), bila beton dipanasi sampai sedikit di atas 300°C , akan berubah warna menjadi merah muda, jika sampai di atas 600°C akan menjadi abu-abu agak hijau, jika sampai di atas 900°C menjadi abu-abu, namun jika sampai di atas 1200°C akan berubah menjadi kuning.

Warna beton yang terbakar dapat menentukan tingkat kebakaran. Seperti warna mulai dari abu-abu sampai merah dapat menunjukkan bahwa kebakaran tersebut cukup parah. Dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Perubahan Warna dan Kondisi Beton Sesuai Perubahan Suhu

suhu	Warna Beton	Kondisi
0- 300°C	Normal	Tidak mengalami penurunan kekuatan
300°C - 600°C	Merah jambu	Mengalami penurunan kekuatan
600°C - 900°C	Putih keabu-abuan	Tidak mempunyai kekuatan lagi

$>900^\circ\text{C}$	Kuning muda	Tidak mempunyai kekuatan lagi
----------------------	-------------	-------------------------------

Sumber: Adang Surahman, 1998

Akibat terjadinya kebakaran pada suatu struktur bangunan, mengakibatkan adanya kerusakan-kerusakan pada beton. Kerusakan-kerusakan tersebut antara lain:

1. Keretakan (cracking)

Sedangkan jenis kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton akibat kebakaran antara lain :

- a. Retak ringan, yakni pecah pada bagian luar beton yang berupa garis-garis yang sempit dan tidak terlalu panjang dengan pola menyebar. Retak ini disebabkan oleh proses penyusutan beton pada saat terjadi kebakaran.
- b. Retak berat, yakni ukuran retak lebih dalam dan lebar, terjadi secara tunggal atau kelompok (Triwiyono, 2000:2).

2. Spalling (pengelupasan)

Spalling dapat diartikan tertekan dengan penampakan bagian permukaan beton yang keluar/lepas/terpisah.

- a. Beton keropos dan kualitas beton buruk
- b. Suhu tinggi akibat kebakaran (Munaf & siahaan, 2003:14)

3. Voids

Lubang-lubang yang cukup dalam atau keropos yang biasanya disebabkan oleh pemadatan saat pelaksanaan yang kurang baik dimana mortar tidak dapat mengisi rongga-rongga antar agregat.

Kuat Tekan Beton

Perhitungan kuat tekan adalah dengan rumus :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

dengan :

$f'c$ = Kuat tekan (kg/cm^2)

A = Luas penampang benda uji (Silinder) (cm^2)

P = Beban (kg)

Nilai persentase penurunan kekuatan beton yang mengalami perubahan suhu dinyatakan dengan :

$$\Delta f'c = \frac{f'c_i - f'c_x}{f'c_i} \times 100\%$$

dimana :

$\Delta f'c$ = perubahan kekuatan beton (%)

$f'c_i$ = kekuatan hancur beton pada suhu normal/25°C (Mpa)

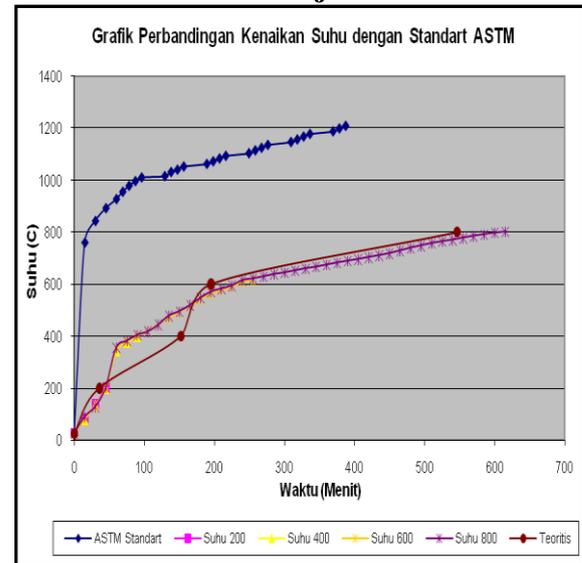
$f'c_x$ = kekuatan hancur beton pada suhu yang ditinjau (Mpa)

Metodologi Penelitian

1. Pembuatan benda uji berdasarkan pada Peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI).
2. Pembakaran benda uji:
 - Dilakukan pada umur beton telah melewati umur 28 hari.
 - Alat : oven pembakaran keramik Dinoyo dengan panas maksimum 1000°C dilengkapi mesin pembakar (burner machine) dan termokopel.
 - Pembakaran benda uji dilakukan dengan variasi suhu yaitu 200, 400, 600, hingga 800°C.
3. Perlakuan pendinginan benda uji:
 - Cara penyiraman: setelah benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran kemudian diberi perlakuan penyiraman selama 1 jam.
 - Cara normal (biasa): setelah benda uji dikeluarkan dari tungku pembakaran lalu diberi perlakuan pendinginan tanpa adanya penyiraman pada suhu ruang 27°C selama 1 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembakaran Benda Uji



Gambar 3. Perbandingan perubahan suhu standart, penelitian dan teoritis

Berdasarkan gambar diatas dapat dapat dijelaskan bahwa lamanya durasi waktu pembakaran dari hasil penelitian dibandingkan dengan suhu standart ASTM dapat disebabkan oleh perbedaan tungku pembakaran yang dipakai, hal ini dapat dilihat dari cepatnya kenaikan temperatur berdasarkan suhu standart ASTM yang dimana untuk mencapai suhu $\pm 800^{\circ}\text{C}$ pembakaran berdasarkan suhu standart ASTM, hanya membutuhkan waktu ± 30 menit atau 0,5 jam. Sedangkan berdasarkan hasil penelitian dibutuhkan waktu lebih lama, yaitu ± 615 menit atau 8 jam 55 menit. Oleh karena itu, pengaruh alat pembakaran yang digunakan terhadap kenaikan suhu pada pembakaran benda uji beton sangat mempengaruhi durasi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang diinginkan.

Perubahan Fisik Beton

Tabel 2. Perubahan Warna

Suhu	Perubahan Warna
200°C	Abu - abu keputihan
400°C	Coklat
600°C	Coklat susu dengan bintik-bintik merah tua
800°C	Putih

Tabel 3. Kerusakan Pada Beton

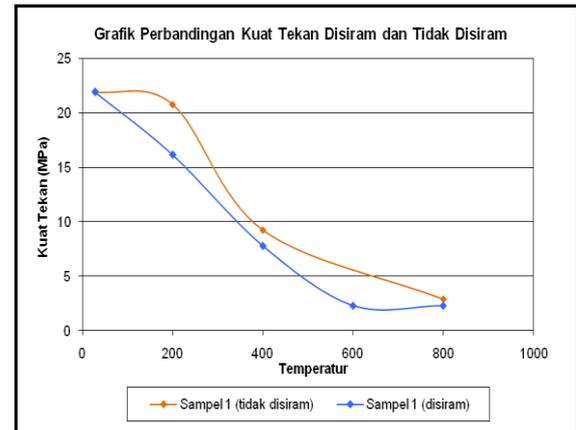
Cara Pendinginan	Suhu	Kerusakan Yang Terjadi
Biasa	200°C	Tidak terjadi kerusakan yang jelas pada beton
	400°C	Tampak terlihat Retak-retak rambut, sedikit pori.
	600°C	Retak terkelupas
	800°C	Retak, retak rambut, terkelupas..
Disiram	200°C	Retak rambut
	400°C	Retak rambut, retak besar.
	600°C	Terkelupas
	800°C	Retak, rapuh, terkelupas, dan ada bagian yang pecah (spalling)

Pengujian Kuat Tekan Beton

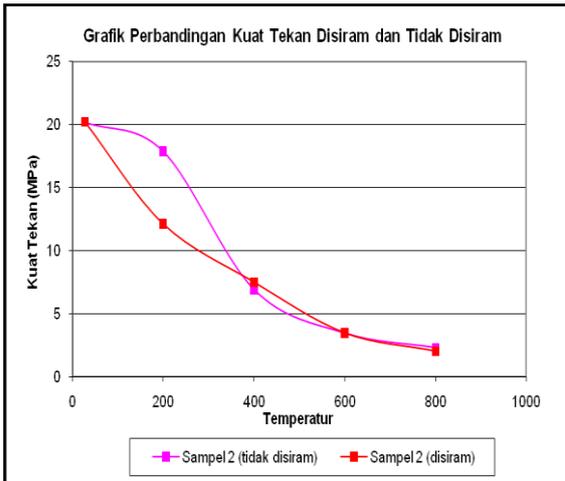
Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Cara Pendinginan	Suhu	Sampel	Kuat Tekan (MPa)
-	Suhu Kamar (Tidak dibakar)	1	21.931201
		2	20.199790
		3	17.314106
Disiram	200°C	1	16.159832
		2	12.119874
		3	11.542737
	400°C	1	7.791348
		2	7.502779
		3	8.079916
	600°C	1	2.308547
		2	3.462821
		3	2.885684
	800°C	1	2.308547
		2	2.019979
		3	2.597116
Biasa	200°C	1	20.776927
		2	17.891243
		3	12.697011
	400°C	1	9.234190
		2	6.925642
		3	8.079916
	600°C	1	-
		2	3.462821
		3	4.617095
	800°C	1	2.885684
		2	2.308547
		3	3.751390

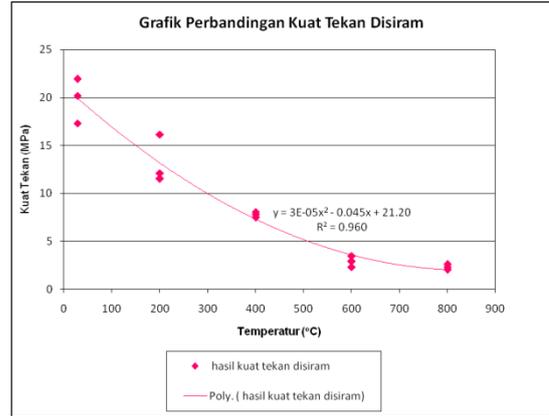
Pengaruh Berbagai Variabel dengan Kuat Tekan



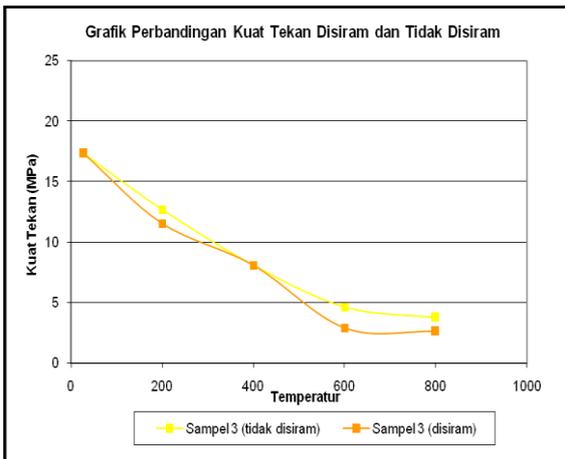
Gambar 4. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap perilaku pendinginan disiram dan tidak disiram (sampel1)



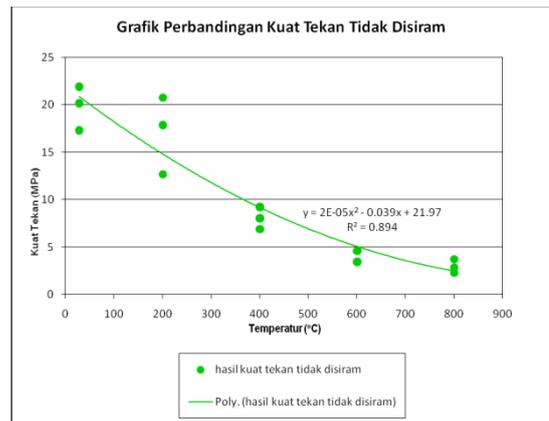
Gambar 5. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap perilaku pendinginan disiram dan tidak disiram (sampel2)



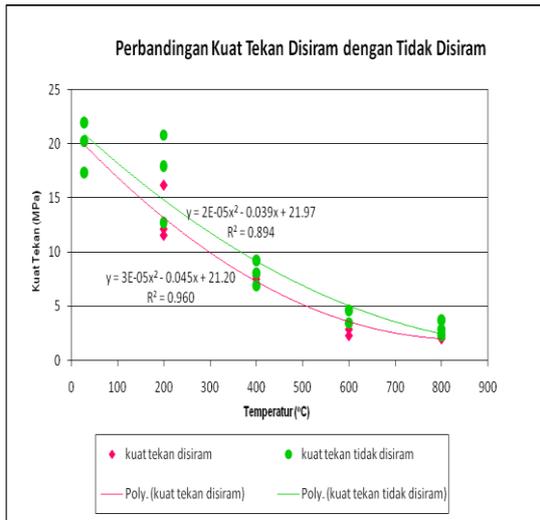
Gambar 7. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap perilaku pendinginan disiram sampel 1, sampel 2, sampel 3



Gambar 6. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap perilaku pendinginan disiram dan tidak disiram (sampel3)



Gambar 8. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap perilaku pendinginan tidak disiram sampel 1, sampel 2, sampel 3



Gambar 9. Hubungan perbandingan kuat tekan beton terhadap proses perilaku pendinginan disiram dan tidak disiram sampel 1, sampel 2, sampel 3

Pengujian Hipotesis Statistik

- Uji kenormalan data

Tabel 5. Hasil Uji Kenormalan. *Kolmogorov-smirnov Test*

Pengujian	Signifikansi	Resiko Kesalahan (α)	Keterangan
Kuat Tekan	0,410	0,05	Terima Ho

- Analisis varian

Tabel 6. Hasil Analisis Varian Terhadap Kuat Tekan.

Pengaruh Variasi	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (df)	Rataan Kuadrat (KT)	F	Sig.
Cara Pendinginan	12,553	1	12,553	3,651	0,075
Suhu	576,332	3	192,111	55,875	0,000
Cara Pendinginan * Suhu	11,636	3	3,879	1,128	0,369
Galat	51,573	15	3,438		
Total	1937,900	23			

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan pada tabel 4.17 di atas dapat dikatakan bahwa :

1. F hitung cara pendinginan sebesar 3.651 lebih kecil dari F tabel 5% db1 = 1, db2 = 15 sebesar 4,543. Jadi cara pendinginan memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan (menerima H_0)

2. F hitung suhu sebesar 55.875 lebih besar dari F tabel 5% db1 = 3, db2 = 15 sebesar 3,287. Jadi suhu memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan (menolak H_0).
3. F hitung interaksi antara cara pendinginan dan suhu sebesar 1,128 lebih kecil dari F tabel 5% db1 = 3, db2 = 15 sebesar 3,287. Jadi interaksi antara variasi cara pendinginan dan suhu memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan (menerima H_0).

- Analisa regresi dan korelasi

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara suhu terhadap nilai kuat tekan beton adalah :

$$Y = 26.0016 - 0.0619X + 0.000041X^2$$

Dimana X = suhu

Y = kuat tekan

Bentuk persamaan regresi yang dipilih adalah persamaan regresi kuadratik ganda, karena nilai-nilai karakteristik campuran yang dicari berupa kurva lengkung.

KESIMPULAN

1. Dari hasil penelitian yang diperoleh, diketahui bahwa pada umur 28 hari kuat tekan beton pada temperatur tinggi pada kondisi pendinginan tanpa penyiraman mengalami penurunan kuat tekan sebesar 13.592 % pada suhu 200°C, 59.223 % pada suhu 400°C, 79.612 % pada suhu 600°C, 84.951 % pada suhu 800°C.
2. Kuat tekan beton pada temperatur tinggi saat umur 28 hari pada kondisi pendinginan disertai penyiraman mengalami penurunan kuat tekan 33.01 % pada suhu 200°C, 60.68 % pada suhu 400°C, 85.437 % pada suhu 600°C, 88.35 % pada suhu 800°C.
3. Dari hasil pengujian kuat tekan beton terhadap perlakuan pendinginan

dengan cara disiram akan mengalami penurunan kekuatan lebih besar dibandingkan dengan beton yang diberi perlakuan tidak disiram. Namun perbedaan antara kedua perlakuan pendinginan tidak terlalu besar. Hal tersebut diperkuat dari hasil analisa statistik. Dari uji statistik analisis varian didapatkan hasil cara pendinginan memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan, suhu memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan dan interaksi antara variasi cara pendinginan dan suhu memberikan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan terhadap kuat tekan.

4. Terjadi perubahan warna pada beton setelah mengalami pembakaran di setiap suhu yaitu pada suhu 200°C warna beton berubah menjadi abu – abu keputihan, suhu 400°C warna beton menjadi coklat namun hanya setengah badan saja, suhu 600°C warna beton menjadi coklat susu dengan bintik-bintik merah tua dan suhu 800°C warna beton menjadi putih.
5. Pada tiap suhu pembakaran, beton mengalami kerusakan yang berbeda-beda seperti retak rambut, terkelupas, rapuh, pecah dan muncul pori.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Program Hibah Kompetisi A2 Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, selaku penyandang dana penelitian serta untuk tim beton pasca bakar : Henny dan Deddy atas dukungan dan partisipasinya selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Hansen, T.C., 1976, *Text Book on Concrete Technology*,

Directorate of Building Research, Bandung.

Munaf dan siahaan. *Diagnosa dan Perbaikan Untuk Peningkatan Kinerja Struktur Beton. Concrete Repair & Maintenance*, 2003.

Neville, A. M., 1975, *Properties of Concrete*, The English Language Book Society & Pitman Publishing, London.

Partowiyatmo, A., 1996, *Efek Kebakaran pada Konstruksi Beton Bertulang*, Majalah Konstruksi, Februari, Jakarta.

Sudarmoko. *Metode Perbaikan dan Cara Pelaksanaan*. Disampaikan dalam Kursus Singkat Evaluasi Dan Penanganan Struktur Beton Yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa . Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Yogyakarta, 24-25 Maret 2000.

Surahman, A., 1998, *Evaluasi Bangunan yang Mengalami Kebakaran*, Majalah Konstruksi, Desember, Jakarta.

Triwiyono, A. *Kerusakan Struktur Gedung Pasca Kebakaran*. Disampaikan dalam Kursus Singkat Evaluasi Dan Penanganan Struktur Beton Yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa . Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Yogyakarta, 24-25 Maret 2000.