

LAPORAN PENELITIAN SDPF 2003

**PENGARUH PROSES PENDINGINAN TERHADAP
KARAKTERISTIK BETON PASCABAKAR
(EFFECT COOLING TREATMENT ON CHARACTERISTIC OF
CONCRETE AFTER EXPOSED TO FIRED)**

DISUSUN OLEH :

Drs. SARWA, MT
Drs. SEMPURNA PERANGINANGIN, M.Pd
Drs. ZULKIFLI MATONDANG, M.Si
Ir. HAMIDUN BATUBARA, MT

PROYEK PENINGKATAN PENELITIAN PENDIDIKAN TINGGI,
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI DEPDIKNAS
NOMOR : 408/PAT/DPPM/PPD-TEK/VI/2003



THE
Character Building
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI MEDAN
JANUARI, 2004



**HALAMAN PENGESAHAN
LAORAN PENELITIAN SDPF 2003**

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|--|
| 1 | a. Judul Penelitian | : | Pengaruh Proses Pendinginan terhadap Karakteristik Beton Pascabakar
<i>(Effect Cooling Treatment on Characteristic of Concrete after Exposed to Fired)</i> |
| | b. Bidang Ilmu | : | Teknologi |
| | c. Kategori Penelitian | : | I (satu) |
| 2 | Ketua Peneliti | | |
| | a. Nama Lengkap dan Gelar | : | Drs. Sarwa, MT |
| | b. Jenis Kelamin | : | Laki-laki |
| | c. Golongan/Pangkat/NIP | : | IIIc/Penata/132049023 |
| | d. Jabatan Fungsional | : | Lektor |
| | e. Jabatan Struktural | : | Sekretaris Jurusan Pend. Teknik Bangunan |
| | f. Fakultas/Jurusan | : | Teknik/Pend. Teknik Bangunan |
| | Lembaga Penelitian | : | Lemlit UNIMED |
| 3 | Alamat ketua peneliti | | |
| | a. Alamat Kantor/Telp. | : | Jl. Willem Iskandar Ps.V/061-6625971 |
| | b. Alamat Rumah/Telp. | : | Komp. Vetpur D-23/08163109469 |
| | c. e-mail | : | |
| 4 | Jumlah Anggota Peneliti | : | 3 (tiga) orang |
| | a. Nama Anggota Peneliti I | : | Drs. Sempuma Peranginangin, M.Pd |
| | b. Nama Anggota Peneliti II | : | Drs. Zulkifli Matondang, M.Si |
| | c. Nama Anggota Peneliti III | : | Ir. Hamidun Batubaram, MT |
| 5 | Lokasi Penelitian | : | Laboratorium |
| 6 | Kerjasama dengan Institusi Lain | | |
| | a. Nama Institusi | : | - |
| | b. Alamat | : | - |
| | c. Telepon/Faks./e-mail | : | - |
| 7 | Lama Penelitian | : | 6 (enam) bulan |
| 8 | Biaya yang Diperlukan | | |
| | a. Sumber Dana Depdiknas | : | Rp. 4.000.000 (empat Juta Rupiah) |
| | b. Sumber lain | : | - |

Mengetahui :
Dekan Fakultas Teknik,

(Selamat Triono, M.Sc.,Ph.D)
NIP. 131411225

Medan, 20 Januari 2004
Ketua Peneliti,

(Drs. Sarwa, MT)
NIP. 132049023

Menyetujui :

Kepala Lembaga Penelitian,

(Prof. Dr. Abdul Muin Sibuea)
NIP. 130935473

RINGKASAN

PENGARUH PROSES PENDINGINAN TERHADAP KARAKTERISTIK BETON PASCABAKAR

Sarwa, dkk

Dalam proses evaluasi kekuatan struktur gedung pascabakar dibutuhkan data tentang tingkat kerusakan secara fisik dan mekanik beton pascabakar (selanjutnya disingkat BPB). Parameter kondisi fisik dapat dilihat dari eretak permukaan, sedang kondisi mekanik dapat dilihat dari nilai kuat tekan. Bila dilihat dari proses terjadinya kebakaran, maka tingkat kerusakan BPB sebagai material pembentuk struktur ditentukan oleh besarnya tingkat pemanasan yang terjadi yang tergantung pada suhu dan durasi pemanasannya. Untuk itulah penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kerusakan BPB tersebut dilihat dari kondisi retakan dan kuat tekan sisa berdasarkan perlakuan suhu dan durasi pemanasan.

Metode penelitian dilakukan melalui eksperimen laboratorium, dengan membuat spesimen benda uji berbentuk silinder \varnothing 15-30 cm dengan mutu $f_c' = 30$ MPa yang dipanaskan pada oven listrik pada suhu 800°C , dengan durasi 4 jam. Setelah dilakukan pemanasan, BPB dianalisis kondisi retakan permukaan yang terjadi dan diuji tekan. Analisis data retakan diulas secara deskriptif, sedangkan data kuat ditampilkan dalam bentuk grafik.

Hasil penelitian menunjukkan retak permukaan dan kuat tekan BPB semakin parah bila proses pendinginan dilakukan secara mendadak dengan penyiraman air, dibandingkan dengan pendinginan secara perlahan menggunakan suhu ruang (diinginkan). Beton pascabakar bila didinginkan secara perlahan (diinginkan) dan dilakukan penyiraman kembali nilai kuat tekannya relatif akan meningkat.

THE
Character Building
UNIVERSITY

SUMMARY

EFFECT COOLING TREATMENT ON CHARACTERISTIC OF CONCRETE AFTER EXPOSED TO FIRED

Sarwa, et.al

For analysis of building structure after being exposed to fire needs physical and mechanical condition of concrete. The Physical condition is showed by surface cracking, and mechanical condition is shown by compressive strength. The surface cracking and compressive strength will change according to level combustion by degrees of high temperature and duration. This was to find out the characteristic of surface cracking and the residual of compressive strength of fire-damaged concrete.

Experimental study initially done by making 20 pieces specimen models of cylinder concrete in \varnothing 15-30 cm by $f_c' = 30$ MPa strength. The models were heat by electric furnace on 800°C in 4 hours duration. The concrete after exposed to fire were test of visual description of surface cracking and compressive strength.

The result that there was significant of characteristic of surface cracking and compressive strength of concrete after exposed to fire, between air cooling treatment and water cooling treatment. Surface cracking and compressive strength of concrete after exposed to fire by water cooling treatment is more broken than air cooling treatment.

KATA PENGANTAR

Kegiatan penelitian sebagai elemen penting dalam pengembangan ilmu dan teknologi juga merupakan suatu komponen penting bagi dosen dalam tugas pengajaran. Untuk itulah kegiatan penelitian bagi seorang dosen bukan semata tuntutan tugas rutin, tetapi sekecil apapun harus memberikan implikasi dari hasil yang diperoleh.

Bidang *Forensic Engineering* sebagai cabang ilmu teknologi terapan yang salah satunya berguna untuk mengevaluasi gedung pasca kebakaran membutuhkan sebanyak mungkin data pendukung yang berhubungan dengan karakteristik properti beton pascabakar. Berdasarkan itulah penelitian dilakukan, sehingga diperoleh karakteristik kerusakan beton akibat kebakaran menurut suhu dan durasi pemanasan yang dilihat dari kondisi retak permukaan dan nilai kuat tekan yang tersisa.

Pada bagian ini peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, khususnya Heds Project yang telah mengalokasikan dan demi terlaksananya penelitian ini. Kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam proses penelitian baik di Laboratorium Beton jurusan Teknik Sipil FT UISU, Laboratorium Keramik Jurusan Seni Rupa FBS, dan Laboratorium Kimia FMIPA UNIMED saya ucapkan banyak terimakasih.

Akhirnya semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu dan terapan teknologi yang terkait. Kekurangan dan ketidak sempurnaan dari penelitian ini merupakan tanggung jawab peneliti dan tanggung jawab kita semua untuk menelitinya lebih lanjut.

Medan, Januari 2004

Ketua,

Drs. Sarwa, MT

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Pengertian Beton dan Kuat Tekan Beton	4
B. Penelitian Terdahulu	4
C. Efek Pembakaran Terhadap Beton	5
D. Kuat Tekan Sisa BPB Tanpa Penyiraman	6
E. Struktur Kimia dan Kadar CaO pada Semen Portland (PC)	7
F. Efek Penyiraman Mendadak pada BPB	9
G. Metode Uji Beton	10
H. Kerangka Berfikir	12
I. Hipotesis Penelitian	13
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
A. Tujuan Penelitian	14
B. Manfaat Penelitian	14
BAB IV METODE PENELITIAN	15
A. Bahan dan Alat Penelitian	15
B. Tempat Penelitian	16
C. Variabel Penelitian	16
D. Sampel dan Model Benda Uji	17
E. Proses Penelitian	17
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN	20
A. Bahan Susun Beton	20
1. Pasir	20
2. Kerikil	21
B. Rencana Adukan	22
C. Kuat tekan Beton Prabakar	23
D. Kuat Tekan Beton Pracabakar	23
E. Karakteristik Retak Permukaan BPB	24
F. Kuat Tekan Beton Pascabakar	26
BAB VI KESIMPULAN DAN IMPLIKASI PENELITIAN	28
A. Kesimpulan	28
B. Implikasi Penelitian	28
DAFTAR PUSTAKA	29

DAFTAR TABEL

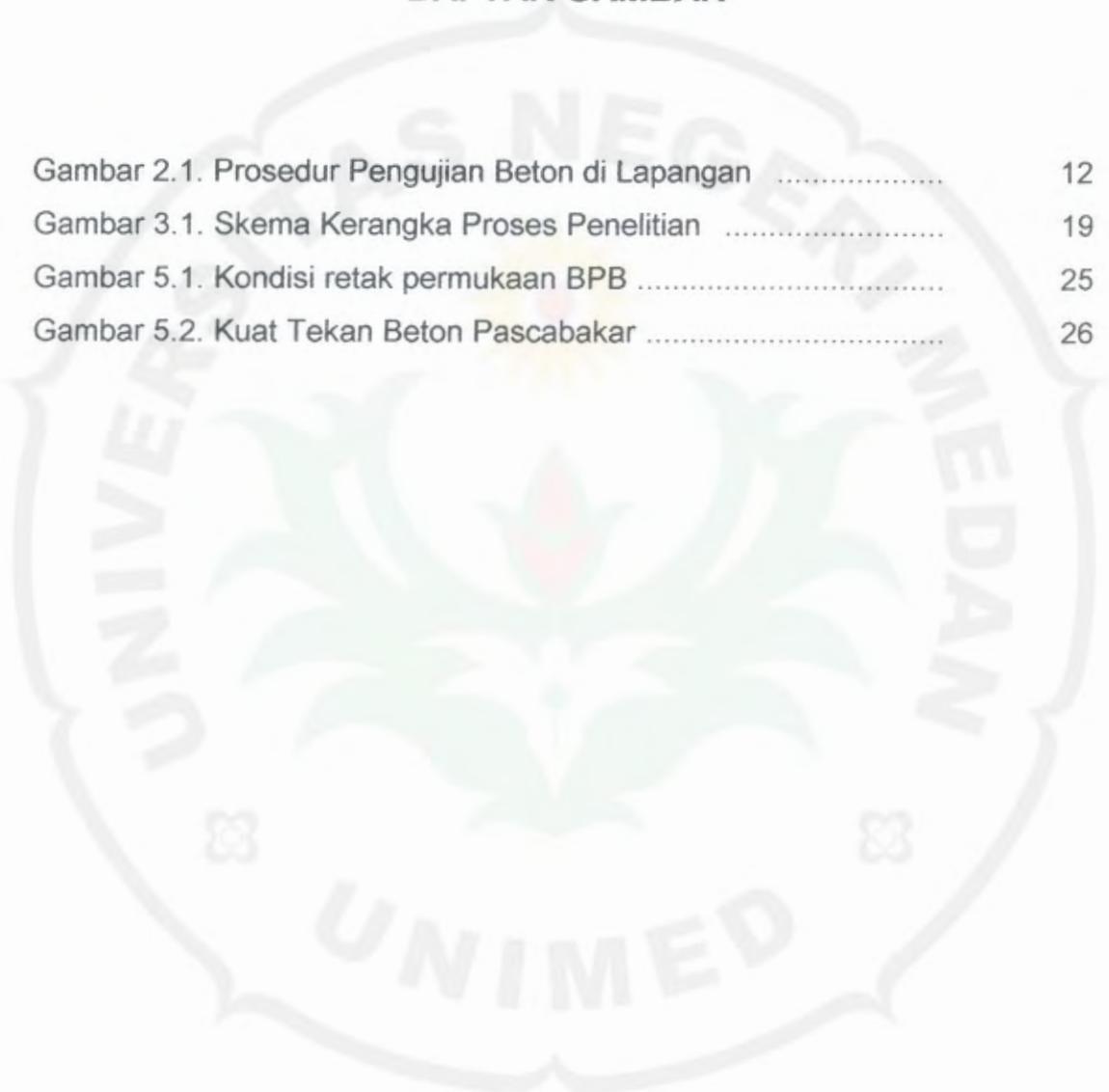
Tabel 2.1. Karakteristik Beton Pascabakar	6
Tabel 2.2. Sisa Kuat Tekan BPB	6
Tabel 2.3. Metode Pengujian Beton di Lapangan	11
Tabel 4.1. Perlakuan Proses Pendinginan dan Jumlah Sampel....	17
Tabel 5.1. Komposisi Campuran Beton	22
Tabel 5.2. Hasil Pengamatan Secara Visual	24
Tabel 5.3. Kuat Tekan Beton Pascabakar (Mpa)	26

UNIVERSITAS NEGERI
MEDAN
UNIMED

THE
Character Building
UNIVERSITY

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prosedur Pengujian Beton di Lapangan	12
Gambar 3.1. Skema Kerangka Proses Penelitian	19
Gambar 5.1. Kondisi retak permukaan BPB	25
Gambar 5.2. Kuat Tekan Beton Pascabakar	26



THE
Character Building
UNIVERSITY

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sebuah struktur gedung dibangun dengan fungsi sebagai tempat pelayanan yang aman bagi kegiatan berdasarkan peruntukannya. Pada saat fungsi itu tidak dapat lagi dipenuhi oleh gedung tersebut, maka dapat dikatakan bahwa gedung tersebut telah mengalami kerusakan (kegagalan). Dalam hal menilai kemampuan (kinerja) struktur gedung mendefinisikan batas kegagalan sangatlah penting. Kegagalan tidaklah ditunjukkan oleh runtuhnya bangunan, tetapi lebih luas dari itu. Jika sebuah gedung tidak dapat lagi memberikan pelayanan dan kinerja sesuai dengan rancangannya, maka gedung tersebut sudah dapat dikatakan mengalami kegagalan.

Banyak faktor yang dapat menyebabkan kegagalan dari sebuah struktur, antara lain akibat kesalahan perancangan, pemilihan lokasi, faktor alam atau karena kesalahan dalam operasi (pemakaian). Untuk kesalahan yang diakibatkan pemakaian tersebut dapat berupa pembebanan yang berlebihan atau terjadinya kebakaran yang menimpa gedung tersebut.

Tragedi kebakaran telah menimpa banyak gedung dengan nilai kerugian yang sangat besar dan banyak menyisakan "bangkai-bangkai" gedung yang tidak difungsikan lagi. Dalam upaya mengembalikan fungsi

sisanya bangunan gedung pasca kebakaran tersebut, sangat menguntungkan jika dapat ditempuh dengan memperbaiki gedung sisa kebakaran karena biaya yang diperlukan relatif lebih kecil dibandingkan membangun gedung baru (yang harus ditempuh dengan membongkar gedung lama yang berarti membutuhkan biaya yang tidak sedikit serta waktu yang lama). Renovasi bangunan lama pun relatif dapat dilakukan lebih cepat dibanding membangun gedung baru sehingga akan dapat segera digunakan, yang berarti dapat segera menghasilkan keuntungan untuk menutup investasi yang telah dikeluarkan. Meskipun demikian keputusan untuk membangun gedung baru ataupun merenovasi bangunan lama harus melalui prosedur tertentu. *Rekayasa forensik* adalah suatu proses yang harus dilewati dalam mengetahui tingkat kerusakan dan sisa kekuatan struktur keseluruhan.

Bila melihat waktu proses pemadamannya, anggota pemadam kebakaran pasti telah dibekali oleh prosedur standar sebagai pedoman operasional di lapangan yang menyangkut cara tercepat mematikan api untuk menyelamatkan penghuni dan gedungnya, tanpa memikirkan bagaimana jika "bangkai-bangkai" gedung nanti bisa difungsikan lagi. Bagi ahli struktur penanganan pencegahan kerusakan gedung (*distress*) akibat api perlu dipersiapkan sebelum kejadian maupun selama proses pemadaman. Metode perlakuan pengamanan struktur beton agar tahan terhadap api telah banyak diberikan, tetapi bagaimana teknik pemadaman yang aman agar perlakuan yang diberikan tidak meracuni kerusakan

struktur belum direkomendasikan. Oleh karena itu perlu dikaji tentang pengaruh proses teknik pendinginan (penyemprotan air) terhadap **Beton Pascabakar (selanjutnya disingkat BPB)**.

B. PERUMUSAN MASALAH

Bila melihat proses pemadaman api pada saat gedung terbakar sangat sulit untuk mengendalikan penyemprotan air agar dapat langsung ditujukan kepada titik api. Keadaan ini diperkirakan mempunyai dampak yang buruk pada elemen material beton pembentuk struktur gedung oleh akibat terjadinya pendinginan secara mendadak (*cooling shock*). Untuk meminimalkan kerusakan tingkat kerusakan struktur beton, bagaimanakah prosedur pemadaman api sebaiknya dilakukan?

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Beton dan Kuat Tekan Beton

Beton merupakan salah satu material yang sangat luas digunakan dalam struktur bangunan. Material ini dibentuk bentk dari susunan kerikil dan pasir yang ikat dengan semen. Karakteristik penting yang menjadi parameter penentu kualitas beton dapat dilihat dari nilai kuat tekan (f_c' dalam satuan MPa) yang diperbolehkan dari hasil uji spesimen model beton silinder berdiameter 15 cm yang ditekan dengan alat uji tekan standar, sehingga besarnya nilai nominal kuat tekan dipakai sebagai identitas dari mutu beton.

B. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil beberapa penelitian terdahulu baik oleh peneliti sendiri atau oleh peneliti lain menyimpulkan bahwa kuat tekan sisa BPB yang diinginkan dalam suhu ruang dengan model benda uji berbentuk silinder, menunjukkan bahwa kuat tekan beton akan secara nyata meurun bila pemanasan telah melampaui 400°C dengan sisa 95%, dan pada suhu pemanasan 800°C hanya tinggal 20% dari kuat tekan awal (prabakar).

Sedangkan dari penelitian Lin dkk. (1996), yang menguji BPB melalui SEM (*Scaning Electron Microscope*) memberikan indikasi bahwa

penyiraman air pada BPB memberikan dampak terjadinya rehidrasi, karbonasi, peretakan dan penyerapan air oleh BPB.

Penelitian oleh Andang (1999) yang menguji dampak penyiraman pada BPB dengan abu sekam padi (ASP) atau tanpa ASP, menunjukkan pengaruh positif dimana kuat tekan sisa BPB dengan penyiraman lebih besar bila dibandingkan tanpa disiram. Tetapi berdampak pada penambahan pelebaran dan perpanjangan retakan permukaan yang terjadi.

Beberapa penelitian terdahulu Sarwa (2000) menyimpulkan quantity kadar kapur bebas (*CaO free*) BPB akan sebanding dengan tingginya suhu pemanasan pada rentang 0-800°C. Sarawa (2001) menyimpulkan bahwa hanya pada durasi 4 jam pada pemanasan 400, 600 dan 800°C beton akan mengalami retakan yang berarti.

C. Efek Pembakaran Terhadap Beton

Menurut ASTM C 856 dampak pembakaran dapat merubah beberapa karakter fisik dari beton. Secara ringkas disajikan pada Tabel 2.1.

THE
Character Building
UNIVERSITY

Tabel 2.1 Karakteristik Beton Pascabakar

KARAKTERISTIK	E F E K	PENYEBAB
Kekerasan	Retakan, perapuhan, perlemahan	Dehidrasi, dekomposisi ikatan kimia semen, tegangan internal butiran dengan pasta semen
Retakan	Retakan permukaan (290°C) Retakan dalam (540°C)	Tegangan internal butiran dengan pasta semen
Perubahan warna	Warna normal sampai 230°C Pink-merah pada suhu 290°C-590°C Merah-kelabu pada 290°C-590°C Kelabu-kuning coklat 900°C lebih Terjadi serbuk putih	Terjadinya reaksi kimia dari elemen beton
Perilaku butiran	Rontokan, lepasnya butiran bag permukaan dari kesatuan beton pada suhu di atas 573°C	Perbedaan karakteristik koefisien muai, koefisien ekspansif, rambatan panas dari butiran, pasta semen.
Rontokan (<i>Spalling</i>)	Rontoknya bagian beton pada bagian permukaan, sudut, tepi struktur	Perlemahan kekuatan ikatan beton

^{*)} Dimodifikasikan dari ASTM C 856

Berdasarkan Tabel 2.1 menunjukkan bahwa ada tiga pokok yang perlu dikaji dalam menganalisis BPB yaitu 1) Uji Mekanika, 2) Uji Fisik, dan 3) Uji Kimia.

D. Kuat Tekan Sisa BPB Tanpa Penyiraman

Dari beberapa penelitian terdahulu kuat tekan sisa BPB yang diinginkan dalam suhu ruang mempunyai nilai yang hampir mirip, dengan ringkasan sebagai berikut seperti disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sisa Kuat Tekan BPB¹⁾

Suhu (°C)	Sisa Kuat Tekan (%)					
	Malhotra	ASTM	Djoko Wahjono	Widjaja	Armand	Patterson
200	95	75	95	105	105	92
400	75	50	78	70	88	71
600	40	20	52	25	50	20
800	15	-	-	15	25	-

¹⁾ Dimodifikasi dari beberapa sumber

Dari Tabel 2.2 juga dapat dilihat bahwa akan memberikan dampak pada penurunan kuat tekan setelah suhu pembakaran melampaui 400°C. Hal ini sejalan dengan pernyataan Malhotra (1982), bahwa kuat tekan beton akan turun drastis setelah suhu melampaui 300°C. sedangkan Petterson (1993) mengatakan bahwa pada pemanasan sampai dengan suhu 200°C mutu beton tidak berkurang, dan setelah pemanasan melampaui 500°C kuat tekan beton akan berkurang secara drastis. Selanjutnya Malhotra (1982) juga memberikan prediksi nilai sisa kuat tekan untuk beton normal berdasarkan perlakuan suhu pembakaran sebagai berikut :

$$\sigma_T = 0,95 - [(T^\circ - 300)/588] \quad (1)$$

Dimana :

σ_T = faktor reduksi kuat tekan beton, untuk suhu 300-800°C

T° = suhu pembakaran dalam Celcius

E. Struktur Kimia dan Kadar CaO pada Semen Portland (PC)

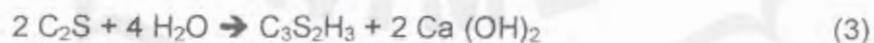
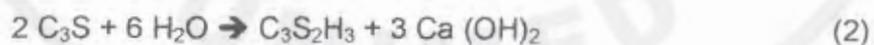
Beton dibentuk dari susunan butiran kerikil dan pasir dengan ikatan semen sebagai pengikat. Bahan pengikat yang digunakan adalah Portland Cemen (PC) yang dibuat dari bahan utama Ca (Calsium), Si (Silikat), Al (Alumunium), dan Fe (Ferrum). Dalam nomenklatur industri semen campuran kimia pembentuk PC ini biasa ditulis dalam bentk C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF , dimana C menyatakan CaO, S sebagai SiO_2 , A menyatakan Al_2O_3 , dan F adalah Fe_2O_3 . Komposisi terbesar dari susunan

semen PC tersebut ditempati oleh C (CaO) yang mencapai 65,5% berikatan dengan unsur kimia lain, sedangkan nilai CaO bebas (kapur bebas) yang ada sebesar 0,9% (Wahyudi, 1997). Semen jenis ini termasuk dalam golongan semen hidrolis dimana proses kerjanya hanya akan terjadi setelah direaksikan dengan air (H₂O).

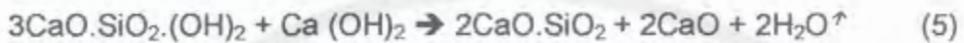
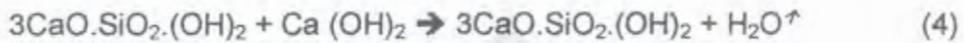
Bila melihat keberadaan komposisi CaO pada struktur kimia PC baik yang bebas maupun yang berikatan menunjukkan kadar ini bisa dipedomani sebagai satu parameter yang sangat penting untuk dikaji.

Struktur Kimia BPB

Struktur kimia beton prabakar adalah terdiri atas kristal C-S-H dan C [Ca(OH)₂], yang merupakan reaksi hidrasi C₃S, C₂S, C₃A (struktur kimia semen PC) dengan air (H₂O) (Zbigniew, 1987).



Setelah mengalami pemanasan suhu tinggi akan terjadi penguraian bagian Ca(OH)₂, menjadi dua bagian yaitu CaO (calcium oxide/kapur bebas) dan H₂O (air) yang menguap, seperti ditunjukkan persamaan reaksi (4).



Bila pemanasan diteruskan lepasnya H₂O tidak hanya dari kesatuan Ca(OH)₂, akan tetapi berdampak pada kesatuan C₃S₂H₃ [CaO.SiO₂.(OH)₂], sehingga jumlah CaO yang bebas akan meningkat seiring dengan durasi dan tingginya suhu pemanasan.

F. Efek Penyiraman Mendadak pada BPB

Berdasarkan penelitian oleh Lin dkk. (1987) menyimpulkan bahwa :

- 1) pada suhu pemanasan 500°C, penyiraman BPB pada kondisi panas menyebabkan retakan selebar 1 mm dengan panjang 10-20 mm akibat tegangan butiran oleh perbedaan angka muainya,
- 2) terjadi rehidrasi butiran semen,
- 3) terjadi karbonasi calcium oxid (CaO).

Sedangkan Andang (1999) mencoba pengaruh penyiraman terhadap beton normal dan beton dengan penambahan ASP (abu sekam padi) yang baru saja dipanaskan menyimpulkan bahwa pada perlakuan suhu pemanasan 200-500°C kuat tekan BPB yang disiram lebih besar 10% daripada yang tidak disiram. Untuk suhu pemanasan 500-1000°C kuat tekan BPB yang disiram lebih besar 5% daripada yang tidak disiram. Begitu pula dengan panjang retakan Andang melihat terjadi perpanjangan retakan pada saat beton mengalami penyiraman.

Berdasarkan kedua hasil penelitian ini terdapat nilai positif dan negatif pengaruh penyiraman pada beton yang baru dibakar, positif dalam memulihkan kekuatan tetapi negatif karena mamacu terjadinya retakan. Pada kedua penelitian ini dilakukan sampel yang berbeda dimana masih belum menunjukkan karakter material pembentuk beton yang sama spesifikasinya.

G. Metode Uji Beton

Metode pengujian beton meliputi pengujian : 1) beton segar (*fresh concrete*). 2) beton umur tertentu, dan 3) uji beton pada *existing* struktur. Tujuan uji (1) dan (2) adalah untuk kontrol kualitas saat beton masih dalam proses perawatan, sedang metode yang ke-3 adalah untuk mengevaluasi kondisi beton setelah berdiri setelah melewati masa perawatan. Pekerjaan pengujian ini dapat dilakukan di laboratorium maupun pada struktur bangunan yang berdiri (*existing*) yang disebut *in-situ test*.

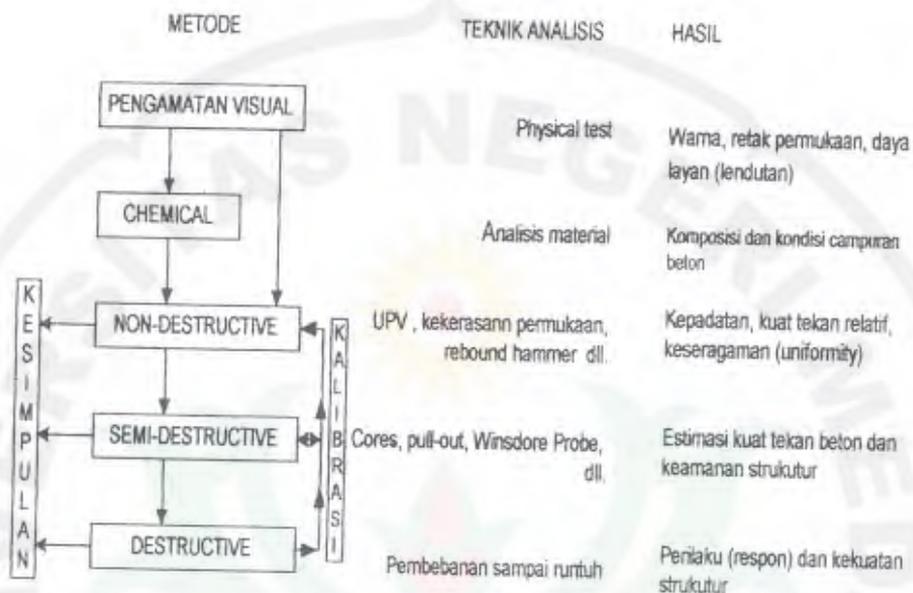
Metode dan teknik pengujian beton pada bangunan yang telah berdiri yang sudah dibakukan sesuai dengan tujuan dan alat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Metode Pengujian Beton di Lapangan

Informasi yang dibutuhkan	Metode yang dapat digunakan
Perilaku dan kekuatan	Uji pembebanan : untuk ukur regangan dan lendutan Cores test Rebound hammer test Pull-out&internal fracture test Break-off and pull-off test Penetration resistance test
Retakan	UPV (ultra pulse velocity) test UPV (ultra pulse velocity) test Acoustic emission & holography
Kerapatan dan porositas	UPV test γ -radiography Cores test Pulse echo techniques
Kepadatan (density)	γ -radiometry
Daya rembes (permeability)	Absorption, flow test
Kandungan air	Nuclear methods Electrical resistivity
Kandungan semen	Microwave absorption
Campuran susunan	Chemical analysis Nuclear methods
Deteksi perkuatan baja	Chemical analysis Cores test Micrometric methods
Penurunan mutu beton	Magnetics methods X and γ -radiography
Ketahanan aus permukaan	Chemical analysis Thermoluminescence UPV test Micrometric methods
	Rebound hammer test Wear test Physical methods

Sumber : Bungey, J.H (1982)

Berdasarkan Tabel 2.3. menunjukkan bahwa untuk BPB pengujian kekuatan tekan dan keadaan retakan merupakan parameter penting yang harus dievaluasi. Dalam aplikasinya hasil dari beberapa metode pengujian akan sangat bermanfaat dalam menghasilkan tingkat akurasi pengukuran yang lebih baik. Artinya dengan mendasarkan atas berbagai data kesimpulan dari beberapa pengujian akan menjamin tingkat validitas atas angka-angka yang diperoleh. Seperti disarankan oleh bagan prosedur pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prosedur Pengujian Beton di Lapangan

H. Kerangka Berfikir

Bila melihat proses pemadaman api pada saat gedung terbakar, selanjutnya juga merupakan proses pendinginan pada elemen gedung (struktur beton), maka akan terdapat tiga kondisi pendinginan yang bias terjadi dilapangan :

- Pendinginan mendadak akibat penyemprotan (penyiraman) yang tidak terkendali sehingga secara langsung air akan mengenai elemen struktur yang seharusnya hanya ditujukan pada titik api saja.
- Pendinginan perlahan (dalam suhu ruang) yang dapat terjadi bila proses penyemprotan air berlangsung secara terkendali hanya

dikonsentrasikan pada titik api tanpa mengenai elemen struktur secara berlebihan.

- c. Pendinginan perlahan dan penyiraman air kembali. Hal ini dapat terjadi bila secara teknis penanganan dengan pendinginan perlahan-lahan seperti butir (b) dapat dilakukan, maka untuk memberikan perlakuan agar beton dapat ber-rehidrasi lagi penyiraman air harus dilakukan.

Berikutnya ketiga kemungkinan ini diperkirakan dapat berakibat pada perbedaan karakteristik material BPB baik secara fisik dan kimia, meliputi :

- a. Nilai kuat tekan sisa
- b. Kondisi retakan permukaan

I. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka dari dua penelitian yang terpisah pengaruh penyiraman secara mendadak pada BPB yang saling berlawanan, Lin dkk (1996) mengindikasikan kerusakan yang lebih parah secara fisik dari kondisi retakannya, tetapi Andang (1999) menunjukkan gejala yang lebih baik pada perbaikan kuat tekan.

Berdasarkan hal tersebut, bila proses pendinginan secara perlahan dalam suhu ruang untuk menghambat pertumbuhan retakan, dilanjutkan dengan penyiraman yang memberikan rehidrasi kembali, diperkirakan akan mengurangi tingkat kerusakan BPB.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

A. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perbedaan **kuat tekan** BPB yang didinginkan mendadak dengan penyiraman, yang didinginkan perlahan pada suhu ruang, dan yang didinginkan perlahan pada suhu ruang kemudian disiram air.
2. Mengetahui perbedaan **kondisi retakan permukaan** BPB yang diinginkan mendadak dengan penyiraman, yang didinginkan perlahan pada suhu ruang dan yang didinginkan perlahan pada suhu ruang kemudian disiram air.

B. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk :

1. Memberikan informasi teoritis tentang pengaruh metode pendinginan terhadap karakteristik kuat tekan, dan retakan BPB.
2. Menentukan solusi alternatif praktis prosedur penyiraman air terbaik dalam menanggulangi kebakaran gedung agar kerusakan struktur beton bertulang dapat diminimalkan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang menjadi penelitian ini adalah beton dengan mutu $f_c' 30$ Mpa yang dibuat dari Pasir dan Kerikil yang diambil dari kali di sekitar Medan. Semen yang digunakan adalah semen Andalas Type 1, sedang air yang digunakan diambil dari instalasi air minum di lingkungan UNIMED.

Alat yang digunakan adalah meliputi :

1. Alat uji pasir dan kerikil yaitu : ayakan standar, oven listrik dan timbangan.
2. Alat pencampur beton (*concrete mixer*).
3. Alat pemanas yang mampu memanaskan sampai 1000°C yaitu *electric furnace*.
4. Alat uji tekan beton standar.
5. Kaca pembesar.
6. Pita ukur
7. Alat pengukur lebar retakan

B. Tempat Penelitian

Tempat penelitian akan dilakukan sepenuhnya di laboratorium, meliputi :

1. Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik : sebagai tempat pembuatan model benda uji dan proses uji kuat tekan BPB setelah mengalami pendinginan.
2. Laboratorium Keramik Jurusan Seni Rupa Fakultas Bahasa dan Seni : digunakan sebagai tempat proses pembakaran.

C. Variabel Penelitian

Variabel Bebas (Perlakuan)

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan variabel bebas perlakuan pendinginan. Setelah semua benda uji dipanaskan dengan perlakuan yang sama, proses pendinginan dilakukan dengan 3 cara yang berbeda, yaitu :

1. Pendinginan mendadak dengan penyiraman dengan air.
2. Pendinginan perlahan pada suhu ruang.
3. Pendinginan perlahan pada suhu ruang kemudian disiram dengan air.

Variabel Terikat

Variabel perubahan karakter material yang dilihat sebagai akibat perlakuan pendinginan yang berbeda tersebut meliputi :

1. Kuat tekan beton pascabakar (BPB)

2. Karakteristik retakan dari kondisi jumlah (kepadatan), panjang dan lebarnya retakan BPB.
3. Kadar kapur bebas.

D. Sampel dan Model Benda Uji

Sampel penelitian dibuat dengan model benda uji berbentuk silinder beton Ø 15 cm tinggi 30 cm yang merupakan bentuk standar benda untuk uji kuat tekan beton sehat (beton tanpa pemanasan). Sesuai dengan rancangan penelitian maka akan terdapat 3 perlakuan dengan masing-masing perlakuan digunakan sebanyak 5 buah benda uji, sehingga diperlukan 15 buah ditambah cadangan 5 buah dan 5 buah untuk acuan mutu, total 25 buah.

Tabel 4.1 Perlakuan Proses Pendinginan dan Jumlah Sampel

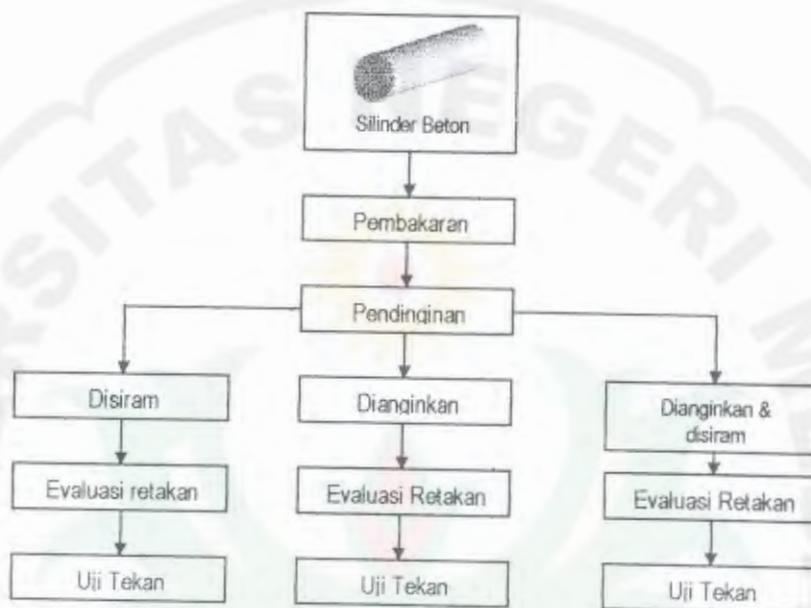
Suhu Pemanasan	800°C	
Durasi	4 Jam	
		Jumlah Sampel
Perlakuan pendinginan	Disiram	5 buah
	Dianginkan	5 buah
	Dianginkan → disiram	5 buah
	Tanpa dipanaskan (untuk uji mutu beton awal/prabakar)	5 buah
	Cadangan	5 buah
	Total	25 buah

E. Proses Penelitian

Tahapan penelitian :

1. Persiapan : meliputi uji material bahan beton yaitu uji pasir dan kerikil dan proses perancangan mutu beton (*mix design*) untuk $f_c' = 30$ Mpa.

2. Pembuatan benda uji : sesuai dengan hasil perhitungan perbandingan campuran pasir, kerikil, semen dan air dari prosedur *mix design* maka pengadukan beton dilakukan untuk pembuatan 30 buah benda uji silinder.
3. Perawatan : perawatan yang dimaksud adalah pemeliharaan benda uji sesuai prosedur standar selama 1 bulan, dan dianginkan dalam suhu ruang selama 3 bulan.
4. Pembakaran : proses pembakaran benda uji dilakukan dengan simulasi pemanasan pada oven listrik selama 4 jam pada suhu 800°C.
5. Pendinginan : 1) dianginkan, 2), disiram langsung 3) dianginkan terus disiram
6. Uji visual : kondisi kepadatan, lebar, dan panjang retak permukaan.
7. Uji tekan BPB.



Gambar 3.1 Skema Kerangka Proses Penelitian

Teknik Analisis Data

1. Data sisa kuat tekan BPB akan ditampilkan secara deskriptif dalam bentuk grafik dan tabel tentang prosentase kuat tekan sisa BPB berdasarkan perlakuan proses pendinginannya dan diuji tingkat perbedaannya dengan uji Statistik dengan Anava (analisis varians).
2. Dari data hasil evaluasi visual karakteristik retak permukaan BPB akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel kondisi retak permukaan berdasarkan perlakuan proses pendinginan, selanjutnya dianalisis secara deskriptif.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

A. Bahan Susun Beton

Bahan campuran beton terdiri atas material agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), *Portland Cement* (PC) dan air. Sebelum dilakukan perhitungan perbandingan campuran bahan-bahan penyusun beton sesuai dengan mutu beton yang diinginkan, maka terlebih dahulu dilakukan uji material sehingga dapat memenuhi persyaratan. Berdasarkan beberapa pertimbangan, maka uji material hanya dilakukan pada pasir dan kerikil saja. Parameter yang diuji adalah berat jenis kering (b_{jkr}), berat jenis kering muka (s.s.d) dan nilai serapan air. Pertimbangan yang menentukan sehingga parameter lain dari pasir dan kerikil tidak diuji dengan metode baku atas dasar bahwa parameter-parameter tersebut tidak berhubungan langsung dengan perhitungannya rancangan adukan. Pengujian pada material air dan semen juga dilakukan secara visual dengan pertimbangan bahwa berdasarkan banyak penelitian sebelumnya kualitas air dan semen sudah memenuhi syarat.

1. Pasir

Pasir yang digunakan adalah pasir kali yang telah tersedia dilaboratorium. Pada penelitian ini pengujian sifat-sifat fisik pasir meliputi uji, uji gradasi, berat jenis kering (b_{jkr}), berat jenis kering muka (S.S.D),

nilai penyerapan. Pengujian kandungan lumpur, kekerasan, dan kandungan kimia dilakukan secara visual, dengan kesimpulan bahwa pasir tersebut sudah cukup memenuhi syarat. Berdasarkan hasil pengujian maka pasir yang digunakan mempunyai nilai :

- a. Modulus halus butir (m.h.b) : 2,86 dan masuk dalam kategori pasir gradasi II atau pasir agak kasar.
- b. Berat Jenis Kering (b_{jkr}) : 2,65
- c. Berat Jenis Kering Muka (S.S.D) : 2,72
- d. Penyerapan : 1,25%

Hasil lengkap uji pasir dapat dilihat pada Lampiran nomor 1.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut secara umum pasir yang digunakan dapat memenuhi persyaratan untuk campuran beton.

2. Kerikil

Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil batu kali pecah dengan ukuran butiran lolos ayakan $\frac{1}{2}$ ". Berdasarkan besar butiran bisa dikatakan bahwa kerikil yang digunakan mempunyai ukuran butir yang seragam. Pada penelitian ini uji kerikil dilakukan untuk mengetahui parameter modulus halus butir (m.h.b), berat jenis kering (b_{jkr}), berat jenis kering muka (S.S.D), dan nilai penyerapan. Berdasarkan hasil pengujian yang lain secara visual butiran sudah bersih dari kotoran serta dilihat dari warna dan kepadatan butiran menunjukkan tingkat kekerasan yang baik, maka kerikil yang digunakan mempunyai nilai :

- a. Modulus halus butir (m.h.b) : 7,66 dengan ukuran butir seragam.
- b. Berat Jenis Kering (b.j_{kr}) : 2,53
- c. Berat Jenis Kering Muka (S.S.D) : 2,65
- d. Penyerapan : 2,18%

Hasil lengkap uji kerikil dapat dilihat pada Lampiran 1.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, secara umum agregat kasar yang digunakan dapat memenuhi persyaratan untuk campuran beton dan dapat digunakan untuk beton sampai dengan kuat tekan 50 MPa.

B. Rencana Adukan

Proses perancangan perbandingan campuran (*mix design*) dilakukan setelah uji bahan susun beton selesai.

Seperti direncanakan dalam penelitian ini mutu beton yang akan dibuat adalah mutu 30 MPa. Berdasarkan hasil perhitungan rencana campuran untuk mutu 30 MPa dengan memakai cara menurut Departemen Pekerjaan Umum diperoleh perbandingan bahan susun beton seperti ditunjukkan Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Komposisi Campuran Beton

Kesimpulan :					
Volume	Berat Total	Air	Semen	Ag. Halus	Ag. Kasar
1 m ³	2350 kg	165 liter	268 kg	893 kg	1096 kg
1 adukan	49,8	3,5 liter	5,2 kg	19 kg	23,2 kg

Perhitungan mix design secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran nomor 1.

C. Kuat tekan Beton Prabakar

Kuat tekan beton rencana pada umur 28 hari adalah 30 MPa. Untuk kontrol kualitas, dilakukan uji kuat tekan silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm pada umur 28 hari dan hasilnya disajikan pada tabel 5.3. Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 pasal 1.3 No. 14, kuat tekan karakteristik (f_c') adalah kuat tekan yang diperoleh dari pengujian model beton silinder berdiameter 15 cm tinggi 30 cm. Berdasarkan hasil pengujian pada saat umur beton 3 bulan sesuai dengan saat dilakukannya proses pembakaran, kuat tekan beton prabakar nominal rata-rata dari 3 buah benda uji adalah sebesar $f_c' = 28,1$ MPa dengan S_d (standar deviasi) sebesar 1,23. Berdasarkan nilai S_d dan f_c' , maka nilai simpangan kuat tekan nominal adalah besarnya $1,23/28,1 \times 100\% = 4,77\%$ yang secara statistik nilai ini mengindikasikan bahwa kuat tekan beton prabakar relatif seragam, sehingga implikasi dari asumsi kuat tekan beton awal (prabakar) sebesar 28,1 MPa dengan tingkat kesalahan maksimum 5% dapat diterima.

D. Kuat Tekan Beton Prabakar

Kuat tekan beton prabakar sesuai dengan desain rencana yaitu f_c' 30 MPa dengan simpangan rata-rata 5,6%. Kuat tekan yang dimaksud adalah yang diuji pada umur 28 hari dengan spesimen $\varnothing 15-30$ cm, selanjutnya ditetapkan sebagai kuat tekan karakteristik beton prabakar.

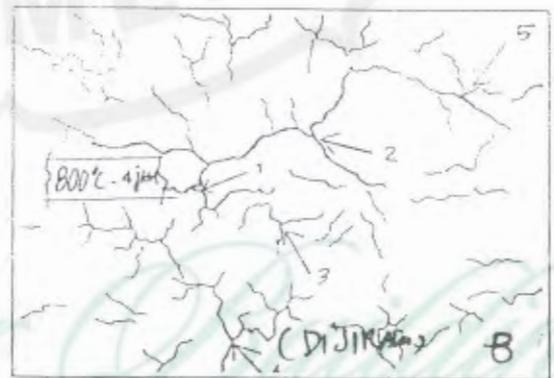
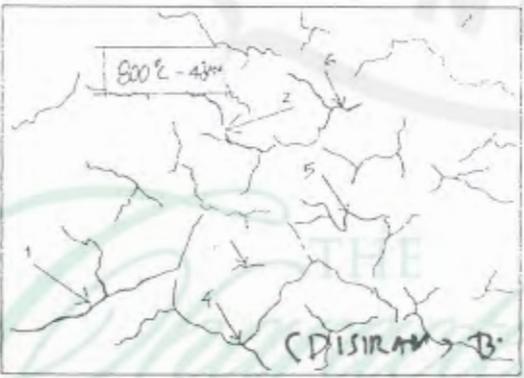
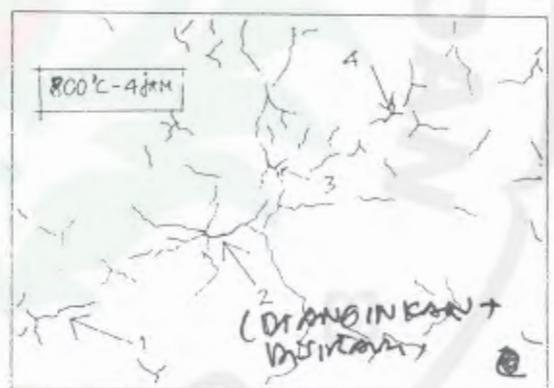
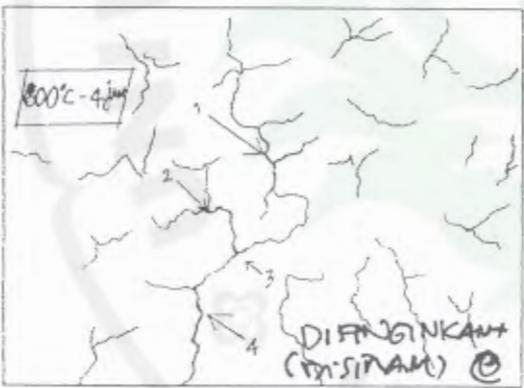
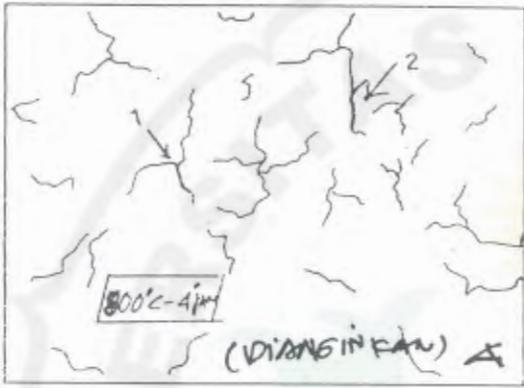
E. Karakteristik Retak Permukaan BPB

Berdasarkan hasil pengamatan secara visual dengan bantuan kaca pembesar kondisi retakan pada permukaan BPB ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Pengamatan Secara Visual

No	Suhu (Celcius)	Durasi (jam)	Kondisi Retakan		
			Dianginkan	Disiram	Dianginkan + Disiram
1	800	4	Parah, lebar dan banyak	Parah, lebar, banyak dan panjang	Parah, lebar dan banyak
2	800	4	Parah, lebar dan banyak	Parah, lebar, banyak dan panjang	Parah, lebar dan banyak
3	800	4	Parah, lebar dan banyak	Parah, lebar, banyak dan panjang	Parah, lebar dan banyak
4	800	4	Parah, lebar dan banyak	Parah, lebar, banyak dan panjang	Parah, lebar dan banyak
5	800	4	Parah, lebar dan banyak	Parah, lebar, banyak dan panjang	Parah, lebar dan banyak

Berdasarkan tabel 5.2. dan gambar 5.1. karakteristik BPB dengan perlakuan pendinginan menggunakan suhu ruang (dianginkan) dibanding dengan disiram atau dianginkan + disiram menunjukkan retak permukaan lebih parah pada perlakuan disiram (pendinginan secara mendadak). Kondisi ini diperkirakan akibat adanya perbedaan angka muai dalam susunan agregat dan reaksi hidrasi pasta semen oleh akibat penyiraman. Jadi dapat disimpulkan bahwa perlakuan penyiraman pada proses pendinginan BPB dapat memperparah tingkat kerusakan. Perlakuan pendinginan sebaiknya diberikan seminimal mungkin penggunaan air pada pemadaman sumber api tanpa memberikan penyemprotan yang berlebihan pada bagian yang tidak terbakar.



Gambar 5.1. Kondisi retak permukaan BPB

F. Kuat Tekan Beton Pascabakar

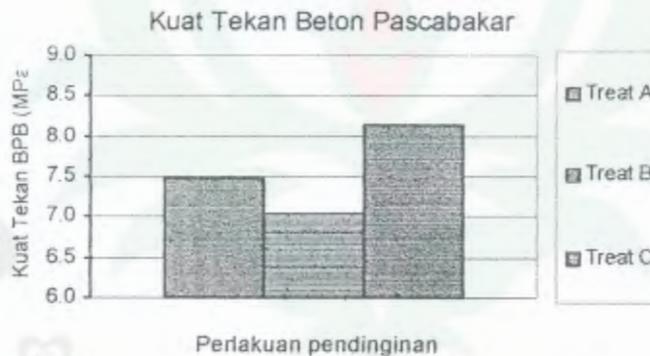
Tabel 5.3. Kuat Tekan Beton Pascabakar (Mpa)

No.	Mutu awal	Kuat Tekan (MPa)		
		Treatment A	Treatment B	Treatment C
1	30	5.4	6.3	6.5
2	30	9.6	6.8	8.6
3	30	7.1	6.4	7.9
4	30	8.5	8.3	8.2
5	30	6.8	7.3	9.5
Rata-rata	30	7.48	7.02	8.14

Treatment A : pendinginan dengan suhu ruang

Treatment B : pendinginan dengan penyiraman air

Treatment C : pendinginan dengan suhu ruang + penyiraman



Gambar 5.2. Kuat Tekan Beton Pascabakar

Kuat tekan relatif BPB terhadap beton prabakar dengan perlakuan pendinginan secara diangin-anginkan rata-rata 25% (7,48 MPa). Kuat tekan relatif BPB terhadap beton prabakar dengan perlakuan pendinginan secara disiram dengan air rata-rata 23% (7,02 MPa). Kuat tekan relatif BPB terhadap beton prabakar dengan perlakuan pendinginan secara diangin-anginkan + disiram dengan air rata-rata 27% (8,14 MPa).

BAB VI

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI PENELITIAN

A. Kesimpulan

1. Kerusakan yang diakibatkan dengan teknik penyiraman air (*cooling shock*) dapat meningkatkan penambahan retakan permukaan.
2. Kerusakan yang diakibatkan dengan teknik penyiraman air (*cooling shock*) dapat memperparah kerusakan BPB, ditinjau dari kuat tekan.

B. Implikasi Penelitian

1. Prosedur teknis pemadaman api pada gedung saat terbakar diupayakan agar meminimalisir penyiraman air pada bagian yang tidak terbakar.
2. Penyemprotan diupayakan hanya dikonsentrasikan pada titik api saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI-2*, Bandung : DPMB Departemen Pekerjaan Umum RI
- Anonim, 1991, "*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*", SK SNI-M-14-1989, Bandung : Badan Penerbit DPU
- Anonim, 1992, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Rumah dan Gedung*", SNI.03-2487-1992, Bandung : Badan Penerbit DPU
- Anonim, 1988, *Standard Practice For Petrographic Examination of Hardened Concrete*, ASTM C856-83
- Anonim, 1977, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia N.I-2*, Bandung : DPMB Dirjen Cipta Karya DPU
- Anonim, 1997, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95)*
- Armand, H.G., 1996, *Design Criteria : Fire Resistance*, Handbook of Concrete Engineering, New York : McGraw Hill
- Malhotra, H.L., 1982, *Design of Fire-Resisting Structures*, New York: Surrey University Press
- Neville, A.M. and Brook, J., 1987, *Concrete Technology*, New York: Longman Scietifies Technian
- Patterson, J., 1993, *Simplified Design for Building Fire Safety*, New York : John Wiley & Sons
- Somayaji, S., 1995, *Civil Engineering Material*, New Jersey : Prantice Hall
- Lin, W.M., Lin, T.D., and Powers, C.L.J., 1996, "Microstructure of Fire-Damaged Concrete", *ACI Material Journal*, 93, 199-205
- Widjaja, A., 1999, "Karateristik Beton Pascabakar", *Naskah Seminar Hasil Penelitian Tesis S₂*, Program Pascasarjana UGM , Yogyakarta



LAMPIRAN

THE
Character Building
UNIVERSITY

Lampiran 1 : Bahan Susun Beton dan Desain Adukan Beton

A. Bahan Susun Beton

1. Pasir

Deskripsi material pasir yang digunakan mempunyai :

Berat Jenis Kering (b_{jk}) = 2,65

Berat Jenis Kering Muka (SSD) = 2,72

Penyerapan = 1,25%

Tabel Perhitungan Modulus Halus Butir Pasir

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal Kumulatif (%)
40	0	0	0
20	0	0	0
10	0	0	0
4,80	85	4,99	4,99
2,40	120	6,94	11,93
1,20	270	15,60	27,53
0,60	550	31,79	59,32
0,30	475	27,46	86,78
0,15	178	10,29	97,07
sisa	27	1,56	-
Jumlah	1705	100	2,8562

$$\text{Modulus-halus-butir} : \frac{2,8562}{100} = 2,86$$

2. Kerikil

Deskripsi material pasir yang digunakan mempunyai :

Berat Jenis Kering (b_{jkr}) = 2,53

Berat Jenis Kering Muka (SSD) = 2,65

Penyerapan = 2,18%

Tabel Perhitungan Modulus Halus Butir Kerikil

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (kg)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal Kumulatif (%)
40	0	0	0
20	85	80,2	80,2
10	11	10,4	90,6
4,80	6	5,7	96,3
2,40	3	2,4	98,7
1,20	1	0,9	100
0,60	0	0	100
0,30	0	0	100
0,15	0	0	100
sisa	0	0	-
Jumlah	106	100	765,8

Modulus-halus-butir : $\frac{765,8}{100} = 7,66$

B. Desain Adukan Beton

1. Mutu Beton 30 MPa

Tabel Formulir Perancangan Adukan Beton Mutu 30 MPa

No.	Uraian	Nominal
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28 hari	30 MPa
2	Deviasi standar (s)	3,5
3	Nilai tambah (m)	5,75
4	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr})	35,75
5	Jenis semen	Type I biasa
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah
	Jenis agregat halus	Alam
7	Faktor air semen	0,55
	Faktor air semen maksimum	0,6
	>> dipakai faktor air semen	0,6
8	Nilai slam	11
9	Ukuran maksimum agregat kasar	20 mm
10	Kebutuhan air	160 liter
11	Kebutuhan PC	267 kg
	Kebutuhan PC minimum	275 kg
	>> dipakai kebutuhan PC	275 kg
	Penyesuaian jumlah air (f.a.s)	165 liter
12	Daerah degradasi agregat halus	II (agak kasar)
13	Persen agregat halus terhadap campuran	38 %
14	Berat jenis agregat campuran	2,6 t/m ³
15	Berat jenis beton	2350 kg/m ³
16	Kebutuhan agregat	2030 kg/m ³
	Kebutuhan agregat halus	913 kg/m ³
	Kebutuhan agregat kasar	1087 kg/m ³
Kesimpulan :		
Volume	Berat total	Air Semen Ag. halus Ag. kasar
1 m ³	: 2350 kg	165 liter 268 kg 893 kg 1096 kg
1 adukan	: 49,8 kg	3,5liter 5,2 kg 19 kg 23,2 kg

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP
KETUA PENELITI**

1. Nama Lengkap dan Gelar Akademik : Drs.Sarwa,MT
2. Tempat dan Tanggal Lahir : Brebes, 13 April 1967
3. Jenis Kelamin : Laki-laki
4. Fakultas/Jurusan/ Program Studi/Pusat : FT/Teknik Sipil
5. Pangkat/Golongan/NIP : Asisten Ahli/IIIb/132049023
6. Bidang Keahlian : Teknik Sipil/Struktur
TahunPerolehan Gelar Akademik : 2000
Terakhir
7. Kedudukan dalam Tim : Ketua Tim
8. Alamat Kantor : Jl. Willem Iskandar Ps.-V
Medan 20021
Telepon : (061) 6625971
Alamat Rumah : Kompleks Veteran B-15,
Medan Estate-Medan 20371
Telepon : 0816-3109469
9. Pengalaman dalam Bidang Penelitian :

Judul Penelitian	Tahun	Sumber Dana
PENELITIAN KANDUNGAN KAPUR BEBAS DAN PENGARUH PENETRASI PANAS TERHADAP DEGRADASI KUAT TEKAN BETON PASCABAKAR	2000	Beasiswa BPPS

Medan, 7 Maret 2001
Ketu Tim

Drs. Sarwa, MT
NIP.132049023

THE
Character Building
UNIVERSITY



Foto spesimen enda uji beton prabakar

Foto spesimen benda uji BPB



Foto proses pemanasan



Foto proses uji tekan Beton pascabakar