



## **ANALISIS MATERIAL BETON BERTULANG PASCA KEBAKARAN DAN METODE PERBAIKAN ELEMEN STRUKTURNYA**

I Ketut Sulendra<sup>1</sup>, Burhan Tatong<sup>1</sup>

*Diterima 28 Juni 2007*

### **ABSTRACT**

*Fire is often destroyed on building structures at any time. Fired caused to change physically and mechanically of properties of reinforced concrete building. Strength, stiffness and ductility of structures generally decrease and degradation after fired. Some method to estimate and assessment residual strength of reinforced structured after fired are very important to research and to forensic engineering structure after fired. Estimated high temperature and duration of fired after fired by phenolphthalein indicator (PP-test), CaO-free test and Hammer Test. Values of concrete compression strength and tensile strength of reinforced estimate from field samples. Some samples are put by core drill apparatus to give cylindrical concrete and testing by compression testing unit. Some concrete beams to made and to give 400°C, 600°C, 800°C and 1000°C temperature to indicated middle and heavy destroyed after fired. Flexural and shear repairing to give to those beams. To found little to middle destroyed at GUDANG building and middle to heavy destroyed at PASAR INPRES MANONDA building after test by phenolphthalein indicator (PP-test), CaO-free test and Hammer Test. Concrete compression strength more than 50% decrease after 800°C fired and more than 20% decrease reinforced tensile strength after fired at 1000°C fired temperature indicated middle to heavy destroyed. Repairing by CFS to the beams give result only 63% flexural strength at 800°C and 53% shear strength at 800°C. If fired 400°C to 600°C fired temperature the repaired to the beams by CFS can increase flexural and shear strength more than intact beams..*

**Keywords** : Reinforced Concrete, Fire, Repairing

---

<sup>1</sup> S3 Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro  
Jl. Hayam Wuruk Semarang

## PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang memiliki tingkat ketahanan yang lebih baik terhadap peningkatan suhu (kebakaran) dibandingkan struktur baja atau kayu. Keruntuhan struktur beton bertulang akibat kebakaran terjadi secara gradual atau bertahap.

Sehingga perlu diketahui hubungan antara perubahan sifat material dan temperatur, distribusi temperatur dan distribusi kekuatan sisa beton, distribusi temperatur dan kandungan *CaO-free* sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui suhu permukaan struktur pada saat terbakar dan menghitung penurunan kekuatan struktur beton yang terbakar.

Bangunan yang diteliti dengan tingkat kerusakan yang ringan hingga berat yang secara visual dapat diperkirakan berdasarkan perubahan tekstur dan struktur serta penampakan elemen bangunan pasca kebakaran. Sifat fisik dan mekanis beton yang akan diteliti meliputi *perubahan warna*, retakan, kadar kapur bebas dan kuat tekan. Sedangkan sifat fisis dan mekanis tulangan yang akan diperiksa adalah tegangan, regangan dan modulus elastisitasnya.

Penelitian ini diharapkan mampu menilai sifat fisis dan memprediksi kekuatan mekanis dari suatu struktur beton bertulang pasca kebakaran, serta mengupayakan suatu rehabilitasi dengan perbaikan jika memungkinkan atau melakukan rekonstruksi/membongkar secara keseluruhan jika kekuatan bangunan sudah tidak memungkinkan untuk diperbaiki.

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis kekuatan sisa dari beton pasca kebakaran dilakukan dengan metode non destructive test serta destructive test dengan benda uji yang diambil dari lapangan (gedung yang terbakar) dan yang dibuat di laboratorium.
2. Analisis kekuatan sisa dari baja tulangan pasca kebakaran diambil dari baja tulangan dari elemen bangunan di lapangan yang telah terbakar dan yang dibuat di laboratorium.
3. Metode perbaikan elemen struktur beton bertulang menggunakan *Carbon Fibre Strip* hanya dilakukan pada balok yang diuji di laboratorium.

## Tinjauan Pustaka

### ***Jenis, Penyebab dan Klasifikasi Tingkat Kerusakan Akibat Kebakaran***

Jenis kerusakan yang sering terjadi akibat kebakaran antara lain : retak ringan, retak berat/struktur, beton pecah/terkelupas, voids ( lobang-lobang yang cukup dalam atau keropos, lendutan balok dan tulangan putus, hilang atau tekuk. Klasifikasi tingkat kerusakan gedung pasca kebakaran antara lain : tanpa kerusakan, kerusakan ringan, kerusakan sedang dan kerusakan berat.

### ***Pengaruh Kebakaran Terhadap Struktur Beton***

Perubahan warna pada beton

Warna beton setelah terjadi proses pendinginan membantu dalam mengindikasikan temperatur maksimum yang pernah dialami beton dalam

beberapa kasus, suhu di atas 300° C mengakibatkan perubahan warna beton menjadi sedikit kemerahan (*pink*), jika sampai di atas 600° C akan menjadi abu-abu agak hijau, jika sampai di atas 900° C menjadi kekuning-kuningan namun jika sampai di atas 1200° C akan berubah menjadi kuning.

#### *Spalling* dan *crazing* pada beton

*Spalling* adalah gejala melepasnya sebagian permukaan beton dalam bentuk lapisan tipis beberapa cm. *Crazing* adalah gejala remuk pada permukaan beton (seperti pecahnya kulit telur).

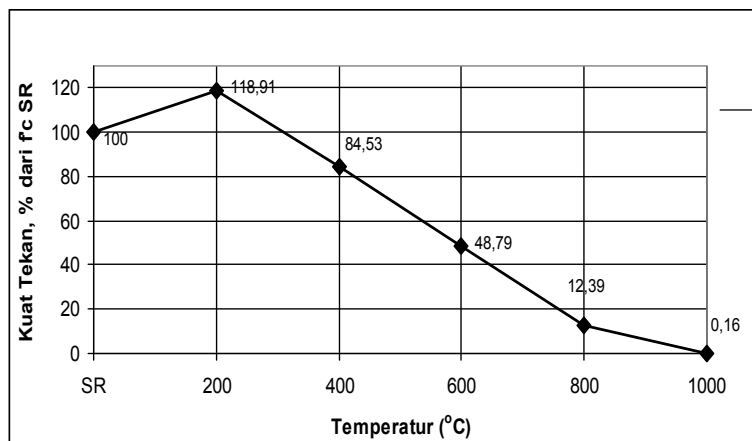
#### Retak (*cracking*)

Pada temperatur tinggi, pemuaian besi beton akan lebih besar daripada betonnya sendiri. Tetapi pada konstruksi beton, pemuaian akan tertahan sampai suatu taraf tertentu karena adanya lekatan antara besi beton dengan beton.

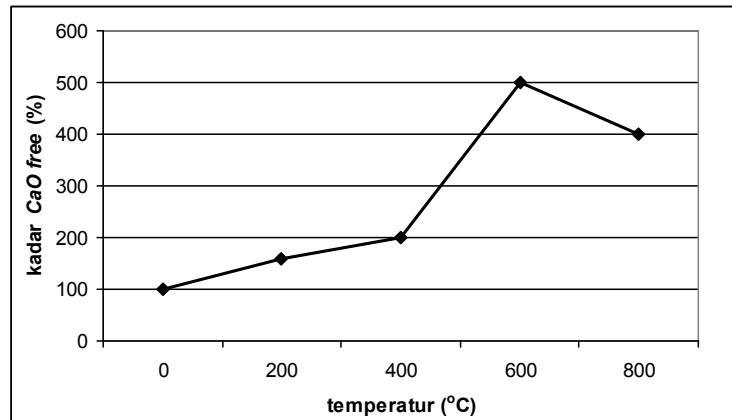
#### Beton pada suhu tinggi

Menurut Tjokrodimulyo (2000), bila pasta semen dipanasi, dari suhu kamar sampai sekitar 200° C, kekuatannya tampak sedikit meningkat, karena ketika sedikit di atas 100° C air bebas serta air yang terserap dalam pasta menguap, selanjutnya ketika jauh di atas 100° C air yang secara kimiawi terikat erat dalam pasta juga menguap. Selanjutnya panas dinaikkan lagi kekuatan beton menurun. Pada suhu antara 400 - 600° C kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) berubah komposisi menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) yang sama sekali tidak mempunyai kekuatan. Selanjutnya di atas suhu 600° C atau 700° C unsur hasil hidrasi yang lain berubah komposisi sehingga kekuatan beton kehilangan kekuatan sama sekali, sebagaimana tampak pada gambar 1.

Grafik hasil penelitian Sarwa seperti disajikan pada gambar 2. berikut menunjukkan hubungan antara kadar kapur bebas dengan temperatur.



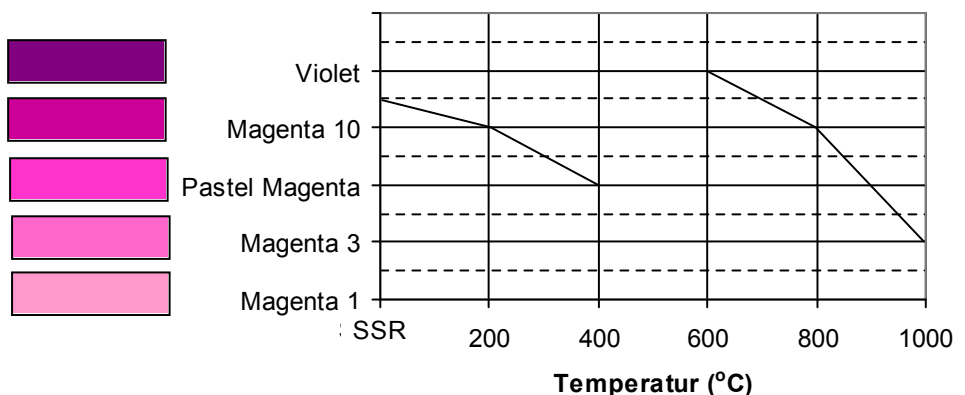
Gambar 1. Degradasi kuat tekan beton pada berbagai temperatur (Suhendro,2000)



Gambar 2. Grafik hubungan antara temperatur dan kadar *CaO free* (Rahma, 2000)

*Phenolphthalein* merupakan indikator kimia yang lazim digunakan untuk mengetahui sifat asam atau basa suatu material, melalui respon warna material yang diuji akibat diolesi/ditetesi phenolphthalein tersebut (Brady dkk, 1997). Apabila terjadi perubahan warna pada saat diolesi berarti material yang di uji bersifat basa, dan sebaliknya, apabila tidak terjadi perubahan warna berarti material yang diuji bersifat

asam. Menurut Parker (1983), rentang PH Phenolphthalein adalah antara 8,4 ~ 10, yang ditunjukkan oleh respon warna : merah sangat tua (*violet 3*) ~ merah sangat muda (*magenta 1*). Untuk membuat indikator, setiap 1 gr *Phenolphthalein* dilarutkan kedalam 50 ml (atau dapat juga 100 ml) alkohol murni.



Gambar 3. Hubungan temperatur dengan indikator warna dengan *Phenolphthalein*

### Jenis-jenis Pengujian Beton Pasca Bakar

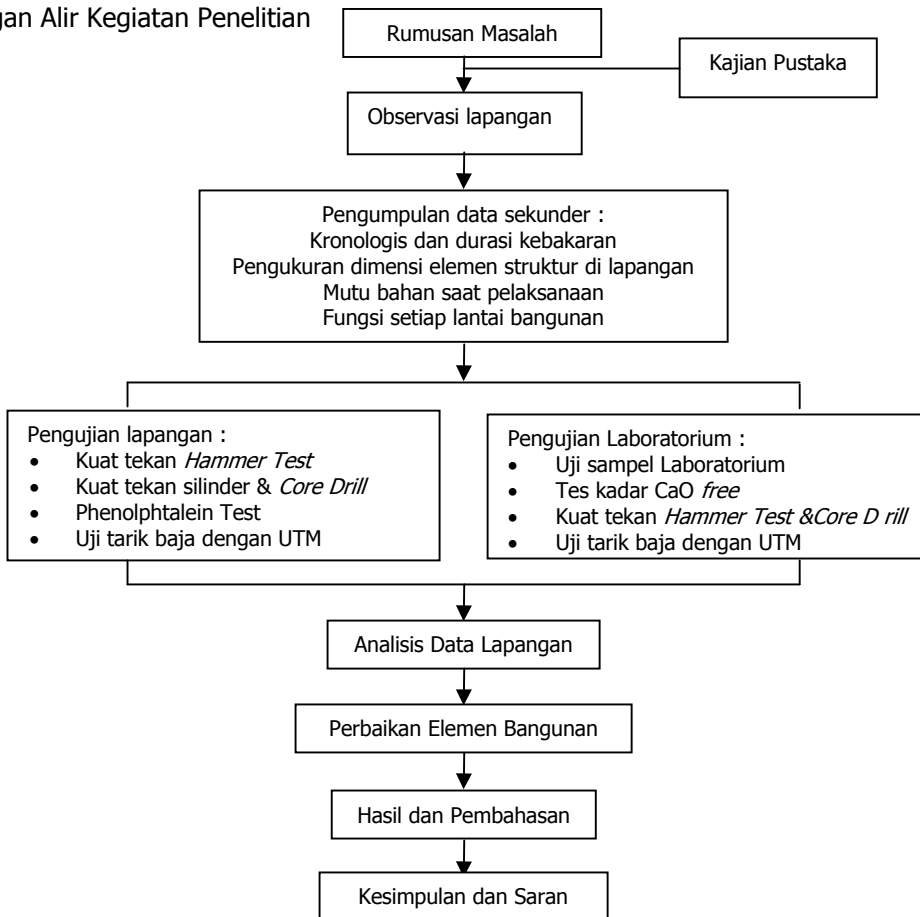
Menurut Priyosulistyo (2000) setelah kebakaran terjadi pada suatu struktur beton bertulang, penelitian harus dilaksanakan untuk pemeriksaan berkenaan dengan kekuatan sisa pada struktur tersebut sebelum dilakukan perbaikan struktur pasca kebakaran.

Pengambilan sampel sedapat mungkin tidak menambah rusaknya struktur

(*non destructive*) sekalipun dalam hal tertentu terpaksa dilakukan uji setengah merusak (*semi destructive*) sampai uji merusak (*destructive*). Beberapa tipe pengujian dan alat-alat yang digunakan untuk pengambilan data di lapangan: *Rebound Hammer Test, Ultrasonic apparatus, Pull out test, MiniCore Drill, Penetration Resistance Test, Internal Fracture Test, Break-off Test, Pull Off Test, Chemical Test* dan *Loading Test*.

### METODOLOGI PENELITIAN

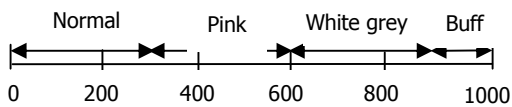
Bagan Alir Kegiatan Penelitian



Gambar 4. Bagan alir penelitian

### Observasi Lapangan

Pengamatan awal dilakukan untuk mengetahui tingkat kerusakan setiap elemen struktur pada seluruh bangunan serta pengelompokan tingkat kerusakan, meliputi : pengamatan permukaan beton, pengamatan perubahan warna, retakan dan lendutan



Gambar 5. Parameter perubahan warna berdasarkan suhu

### Pengumpulan Data Sekunder

Untuk mendukung data primer dari visual inspection dan dari pengujian lapangan maka data sekunder dapat membantu proses assesmen struktur pasca kebakaran diantaranya : kronologis dan durasi kebakaran, dimensi elemen struktur awal, data tes mutu bahan pada saat pelaksanaan, fungsi setiap lantai bangunan.

### Pengujian Lapangan

Pengujian lapangan yang dilakukan setelah observasi lapangan dan pengumpulan data sekunder meliputi pengujian palu beton (*Schmidt Hammer Test*), pengujian *Phenolphthalein Test*, uji kuat tekan silinder yang diperoleh dari pengambilan dengan alat *core drill* dan uji tarik baja tulangan dari benda uji dari lapangan.

### Analisa data pengujian

Analisa hasil pengujian *Hammer test* yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan standar deviasi dengan rumus :

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (f'ci - f'cr)^2}}{n - 1} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- s = Standar deviasi pengujian (kg/cm<sup>2</sup>)
- n = Jumlah pengujian
- f'ci = Kuat tekan beton yang didapatkan dari masing-masing benda uji (kg/cm<sup>2</sup>)
- f'cr = Kuat tekan beton rata-rata (kg/cm<sup>2</sup>)

Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dari beberapa pengujian diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$f'c = f'cr - k . s \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- f'c = Nilai kuat tekan beton sisa (kg/cm<sup>2</sup>)
- f'cr = Nilai kuat tekan rata-rata dari seluruh pengujian (Kg/cm<sup>2</sup>)
- k = Koefisien yang besarnya ditunjukkan dengan jumlah pengujian (1,64)
- s = Standar deviasi pengujian (kg/cm<sup>2</sup>)

### Pengujian Laboratorium

#### 1. Pengujian balok laboratorium

Balok yang dibuat di laboratorium dengan ukuran 400 x 200 x 200 (mm), di panaskan selama 2 jam dengan suhu pemanasan 400 °C, 600 °C, 800 °C, 1000 °C dengan kuat tekan awal 23,01

MPa. Dilakukan uji kuat tekan untuk mengetahui penurunan kuat tekan dengan alat Hammer Test, Uji tekan silinder dari hasil pengambilan dengan alat *core drill*, tes *Phenolphthalein* untuk mengetahui reaksi warna yang terjadi pada keempat suhu dan tes *CaO free* untuk mengetahui kadar karbon yang dikandung pada masing-masing suhu. Sampel ini kemudian dijadikan pembandingan untuk sampel dari lapangan. Serta dilakukan uji kuat tarik baja dari baja yang diambil dari lapangan serta dari benda uji yang dibuat di laboratorium. Perbaikan dilakukan dengan menambahkan CFS pada daerah tarik lentur serta pada daerah gesernya, lalu dilakukan uji lentur untuk mengetahui kekuatan setelah diperbaiki.

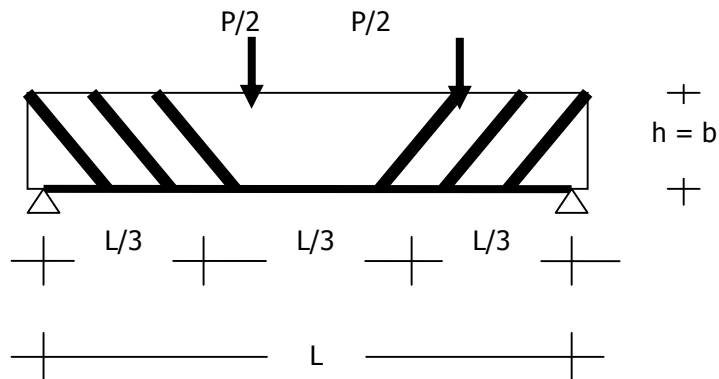
## 2. Pengujian *CaO free*

Salah satu indikasi yang dicoba untuk membedakan besarnya temperatur pada beton pasca bakar adalah dengan cara menghitung kandungan *CaO free* yang tersisa dalam material beton pasca bakar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengamatan Visual

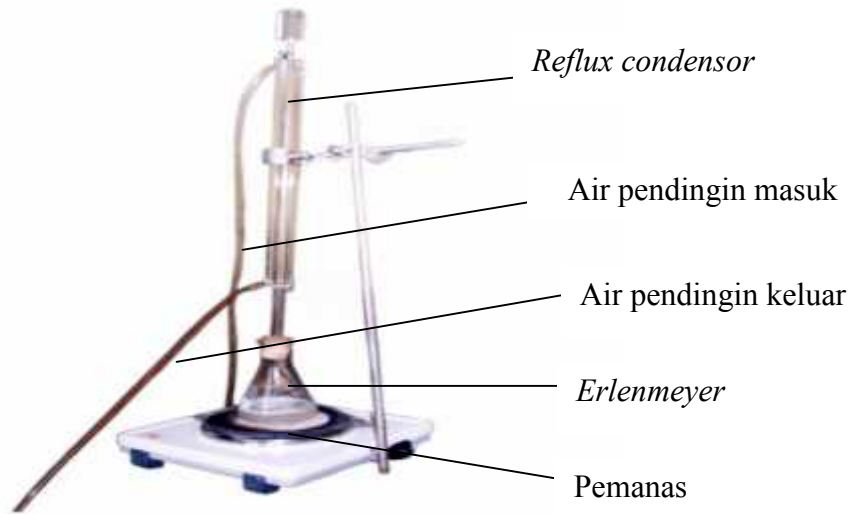
*Crazing* juga terlihat pada plat dinding terutama bagian tengah bangunan. *Spalling* terdapat pada kolom dan balok. Hampir seluruh tulangan dalam keadaan masih tertutup selimut beton dan walaupun ada yang ter-*exposed* terbatas pada beberapa lokasi saja pada kolom.



Gambar 5. Setting – up pengujian balok pasca kebakaran dengan perbaikan dengan CFS

**I Ketut Sulendra, Burhan Ttong**

Analisis Material Beton Bertulang Pasca Kebakaran dan Metode Perbaikan Elemen Strukturnya



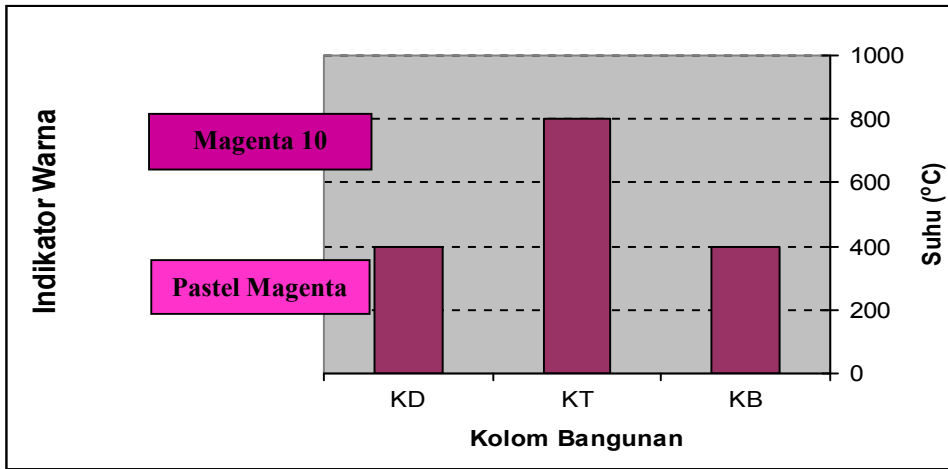
Gambar 6. Alat Pemanas dengan System *reflux*



Gambar 7. Tulangan yang ter-*exposed* pada kolom



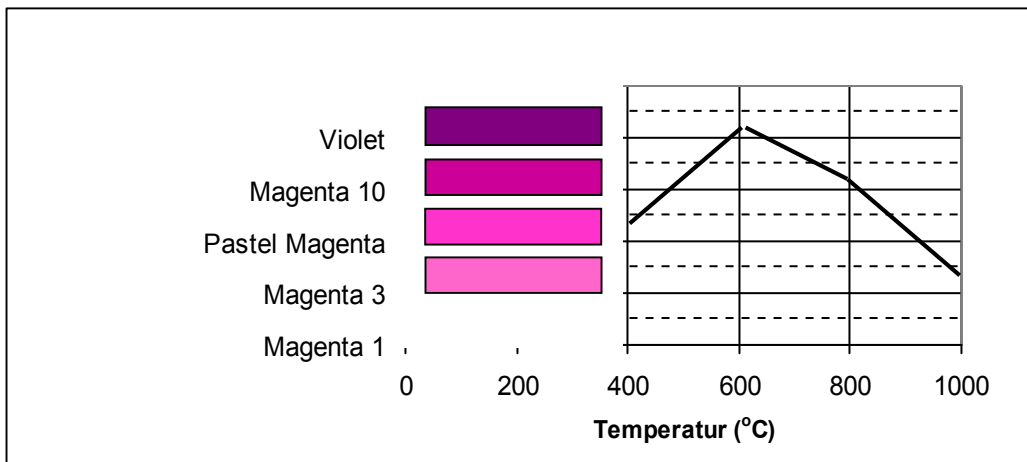
**Hasil pengujian *Phenolphtalein Test***



Gambar 8. Grafik hubungan perubahan warna dengan suhu kebakaran

Hasil pengamatan perubahan warna benda uji setelah ditetesi larutan *Phenolphtalein* yaitu pada suhu 400°C berubah warna menjadi pastel

magenta sedangkan pada suhu 800°C menjadi magenta 10. seperti pada Gambar 8.



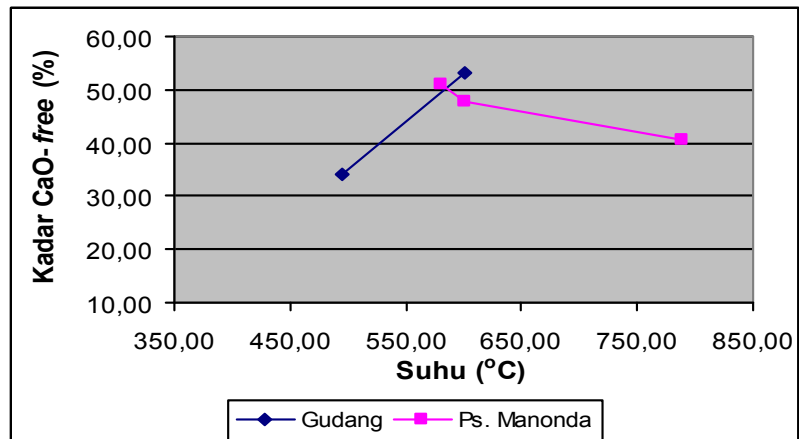
Gambar 9. Grafik hubungan warna dan temperatur sampel Laboratorium

Hasil pengujian di laboratorium dari benda uji yang di bawa dari lapangan maupun benda uji yang dibuat di laboratorium menghasilkan indikasi perubahan warna yang sesuai dengan estimasi bahwa kebakaran yang terjadi dengan suhu sekitar 400°C - 800°C (Gambar 9).

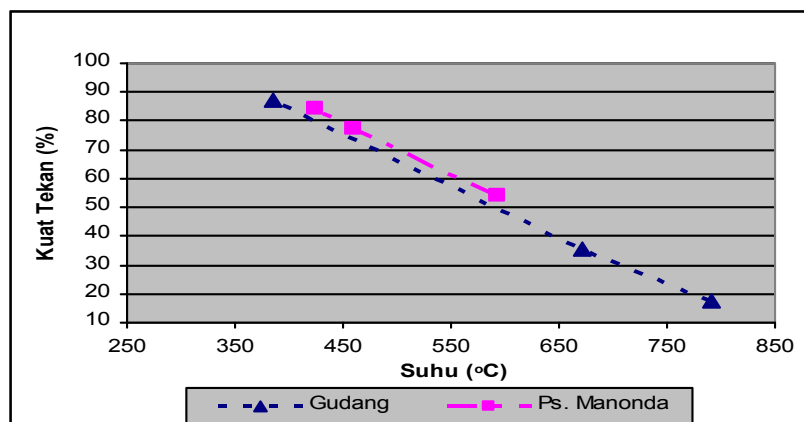
Kadar CaO-free yang diperoleh dari pengujian laboratorium seperti pada grafik Gambar 10. pada 2 (dua)

bangunan yang diteliti kadar CaO-free berkisar 35% - 55% dengan suhu kebakaran sesuai dengan indikator **Phenolphthalein**.

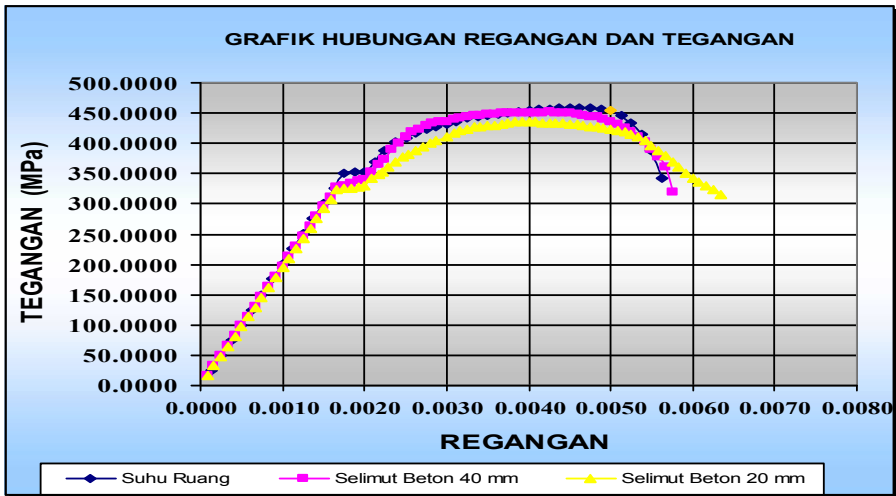
Kuat tekan hasil pengujian Hammer Test terlihat pada suhu 400°C terjadi penurunan kekuatan sekitar 15% sedangkan pada suhu 600°C hingga 50% dan pada suhu 800°C terjadi penurunan yang signifikan sampai 80% (Gambar 11).



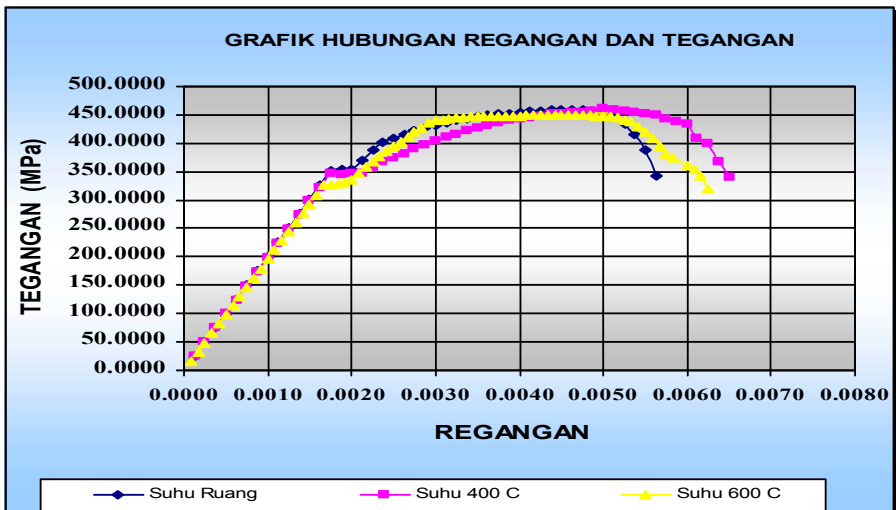
Gambar 10. Grafik hubungan antara suhu dan kadar *CaO-free*



Gambar 11. Degradasi kuat tekan sampel Ruko Gudang dan Pasar Sentral Manonda



Gambar 11. Grafik hubungan Regangan -Tegangan pada elemen Balok



Gambar 12. Grafik hubungan Regangan - Tegangan pada elemen Kolom

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka penulis dapat mengambil kesimpulan :

1. Kedua bangunan pasca kebakaran memperlihatkan perubahan fisik beton sedikit berwarna hitam, perubahan warna beton menjadi pink, retakan tampak jelas, *spalling* terdapat pada kolom dan balok dan lendutan pada pelat lantai.
2. Nilai kuat tekan sisa terendah pada kolom sebesar 1,61 MPa -

- 6,09 MPa pada temperatur tertinggi 600 oC dari kuat tekan semula 20 Mpa.
3. Baja tulangan akan mengalami perubahan sifat mekanis yaitu pertambahan kuat tarik pada suhu 4000C dengan tebal selimut beton 40 mm sebesar 0,21% bila dibandingkan dengan suhu awal 300C (suhu ruang).
  4. Baja tulangan yang diperoleh di lapangan untuk elemen balok pada suhu 6000C mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan maksimum, tegangan patah, modulus elastisitas dan mengalami kenaikan regangan maksimum adalah masing-masing sebesar 6,33%, 1,59%, 6,86%, 1,65%, dan 2,65% bila dibandingkan dengan baja tulangan yang tidak mengalami beban suhu.
  6. Baja tulangan yang diperoleh di lapangan untuk elemen kolom dengan selimut beton 40 mm pada suhu 400<sup>o</sup>C bila dibandingkan dengan suhu ruang (30 <sup>o</sup>C) mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan patah, modulus elastisitas dan mengalami kenaikan regangan maksimum adalah masing-masing sebesar 2,57%, 0,58%, 0,85% dan 16,07% tetapi untuk tegangan maksimum mengalami kenaikan sebesar 0,58%. Sedangkan pada suhu 600<sup>o</sup>C juga mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan maksimum, tegangan patah, modulus elastisitas dan mengalami kenaikan regangan maksimum adalah masing-masing sebesar 7,24%, 2,09%, 6,88%, 2,60% dan 11,61%.
  6. Pada suhu 1000<sup>o</sup>C juga mengalami penurunan tegangan luluh, tegangan maksimum, tegangan patah, modulus elastisitas dan mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing sebesar 19,42%, 11,85%, 18,30%, 5,99% dan 31,69%.
  7. Kuat lentur benda uji yang mengalami pemanasan/kebakaran mampu mengalami peningkatan sekitar 30% dari kekuatan semula pada suhu pemanasan/kebakaran 4000C, sedangkan pada suhu 8000C setelah diperbaiki hanya mencapai keuatan 63% dari kuat lentur semula.
  8. Pada perbaikan kuat geser, benda uji tidak kembali pada kekuatan semula, hanya mencapai kekuatan 90% dan 40% pada pemanasan 400<sup>o</sup>C dan 800<sup>o</sup>C setelah diperbaiki/diperkuat dengan CFS.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo, I., (1994). *Struktur Beton Bertulang*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Tjokrodimulyo, K., (1998). *Teknologi Beton*. Nafiri. Yogyakarta.
- Priyosulistyo, HRC., (1998). *Pengambilan Data Lapangan dan Evaluasi Mutu Bahan Bangunan Pasca Kebakaran*. Studium General Fakultas Teknik UGM. di UGM. 1 Mei.
- Priyosulistyo, HRC., (2000). *Pengenalan Alat Uji dan Pengujian Lapangan dan Tatacara Evaluasi Hasil*. Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton Pasca Kebakaran dan Gempa. di UGM. 24-25 Maret.

Rahma, S. N. A., (2000). *Analisis Material Beton Pasca Bakar*.

Suhendro, B., (1999). *Dasar-Dasar Metode Penaksiran Kekuatan Sisa Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran*. Studium General Fakultas Teknik UGM. di UGM. 30 April.

Suhendro, B., (2000). *Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran*. Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran Dan Gempa. di UGM. 24-25 Maret.

Sukamta, D., (2001). *Trend Teknik Sipil Era Milenium Baru*. John Hi-Tech Idetama. Jakarta.

Sumardi. (2000). *Aspek Kimia Beton Pasca Bakar*. Kursus singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa. 24-25 Maret.

Triwiyono, A., (1999). *Analisis Degradasi dan Perbaikan Struktur Beton Pasca Kebakaran*. Studium General Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil UGM. di UGM. 1 Mei.