

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP  
KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG**



Disusun oleh :

**MUHAMMAD JOHANSYAH**

No. Mhs : 88 310 023

NIRM : 885014330023

**BUDI KRISNO**

No. Mhs : 88 310 125

NIRM : 885014330113

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**1997**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP  
KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG**

*Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka  
Memperoleh Derajat Sarjana S1 Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta*

**Disusun Oleh**

**MOHAMMAD JOHANSYAH**

**No. Mhs. : 88 310 023**

**NIRM : 885014330023**

**BUDI KRISNO**

**No. Mhs. : 88 310 125**

**NIRM : 885014330113**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
1997**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP  
KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG**

**Disusun Oleh :**

**MOHAMMAD JOHANSYAH**

**No. Mhs. : 88 310 023**

**NIRM : 885014330023**

**BUDI KRISNO**

**No. Mhs. : 88 310 023**

**NIRM : 885014330113**

**Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :**

**Ir. H. Moch. Teguh, MSCE**

Dosen Pembimbing I

Tanggal : \_\_\_\_\_

**Ir. A. Kadir Aboe, MS**

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 23/06/07

## PRAKATA

Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan karuniaNya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat memperoleh jenjang kesarjanaan Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Permasalahan yang diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah Pengaruh Pembakaran Terhadap Penurunan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.

Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, walaupun sudah diupayakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Untuk itu diharapkan usaha ini terus berlanjut, sebab masih banyak hal-hal yang bisa diungkap lebih dalam dari Tugas Akhir ini.

Pada kesempatan ini pula penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta,
3. Bapak Ir. Moch. Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,
4. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir,

5. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII, Yogyakarta, beserta karyawannya,
6. Bapak Drs. Darmono, selaku Kepala Laboratorium Uji Bahan Bangunan, FPTK, IKIP Yogyakarta, beserta karyawannya,
7. Bapak Drs. Siswaya, selaku Kepala Unit Pelayanan Teknis Gerabah Kasongan, Bantul, beserta karyawannya,
8. Ichwan, Anang, Yalfarmon, Fauzi dan Martin yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas amal baiknya dan akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bisa bermanfaat bagi kita semua, amin.

Assalaamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Maret 1997

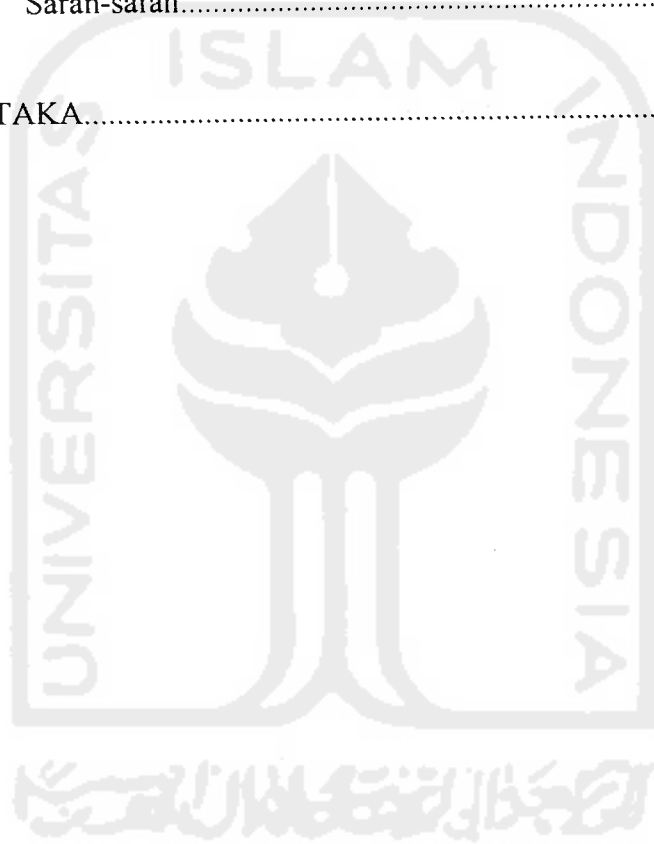
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Beton Bertulang.....	6
2.2 Rancangan Campuran Beton.....	6
2.2.1 Tujuan Perancangan Campuran Beton.....	6
2.2.2 Metode ACI ( <i>American Concrete Institute</i> ).....	7
2.3 Kuat Lentur Balok Persegi.....	11
2.4 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Tarik.....	13

2.5	Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton.....	16
2.5.1	Sifat Pasta Semen Pada Temperatur Tinggi.....	16
2.5.2	Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi .....	17
2.5.3	Keretakan Beton Pada Temperatur Tinggi.....	18
2.5.4	Pengaruh Temperatur Pada Kekuatan Beton .....	21
<b>BAB III</b>	<b>PELAKSANAAN PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1	Tinjauan Umum .....	23
3.2	Persiapan Bahan dan Alat .....	23
3.2.1	Bahan .....	24
3.2.2	Alat-alat.....	25
3.3	Perhitungan Campuran Beton.....	25
3.4	Pelaksanaan Penelitian.....	29
3.4.1	Pembuatan Benda Uji .....	29
3.4.2	Rawatan Benda Uji .....	30
3.4.3	Pembakaran Benda Uji .....	31
3.4.4	Pengujian Desak dan Lentur Beton.....	32
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	34
4.2	Pembahasan.....	39
4.2.1	Keadaan Fisik Beton.....	39
4.2.2	Berat, Volume dan Berat Jenis Beton.....	40
4.2.3	Kuat Desak Beton .....	52

4.2.4 Kekuatan Lentur Beton .....	55
4.2.5 Kuat Tarik Baja .....	60
4.2.6 Kekuatan Tampang Balok .....	62
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	 64
5.1 Kesimpulan .....	64
5.2 Saran-saran .....	65
 DAFTAR PUSTAKA .....	 66
LAMPIRAN	





## DAFTAR TABEL

No	Nama Tabel	Hal.
2.1	Kekuatan Rata-rata yang Diperlukan Jika Tidak Tersedia Data Untuk Menentukan Simpangan Baku .....	8
2.2	Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder Beton Pada Umur 28 Hari .....	8
2.3	Faktor Air Semen Maksimum.....	9
2.4	Nilai Slump (cm).....	9
2.5	Ukuran Maksimum Agregat.....	10
2.6	Perkiraan Kebutuhan Agregat Kasar per Meter Kubik Beton, Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat dan Modulus Halus Pasirnya, Dalam m <sup>3</sup> .....	10
3.1	Daftar Peralatan.....	25
4.1	Hasil Pengujian Lentur.....	34
4.2	Hasil Pengujian Desak .....	35
4.3	Data Kuat Desak Aktual.....	37
4.4	Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan.....	37
4.5	Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran dan Pembebanan .....	38
4.6	Perubahan Fisik Beton .....	39
4.7	Kuat Tarik Baja setelah Pembakaran 800°C .....	60

## DAFTAR GAMBAR

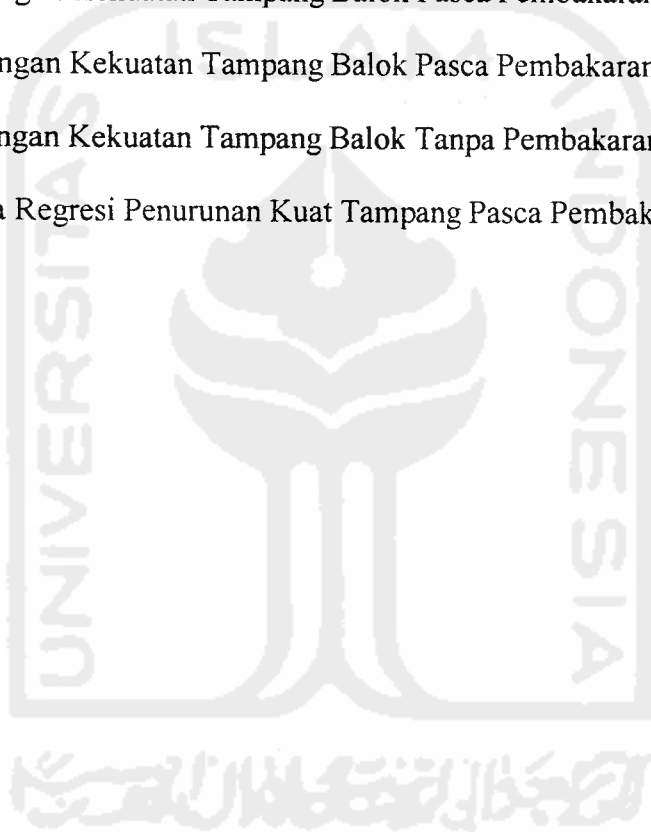
No	Nama Gambar	Hal.
2.1	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney .....	12
2.2	Blok Tegangan Ekuivalen Untuk Balok yang Dibakar .....	12
2.3	Model Lingkaran Beton .....	18
3.1	Balok Dengan Beban Terpusat Dalam Keadaan Lentur Murni .....	33
4.1	Grafik Prosentase Penurunan Berat Kubus terhadap Lama Pembakaran	42
4.2	Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok terhadap Lama Pembakaran	43
4.3	Grafik Prosentase Perubahan Volume Kubus terhadap Lama Pembakaran .....	46
4.4	Grafik Prosentase Perubahan Volume Balok .....	47
4.5	Grafik Perubahan Berat Jenis terhadap Lama Pembakaran .....	50
4.6	Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok Beton terhadap Lama Pembakaran .....	51
4.7	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak terhadap Lama Pembakaran.	53
4.8	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok terhadap Lama Pembakaran .....	56
4.9	Grafik Lendutan pada Pembakaran 800°C .....	58
4.10	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja terhadap Lama Pembakaran .....	61
4.11	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tampang Balok Terhadap Lama Pembakaran .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

No	Nama Lampiran
1	Analisa Bahan, Pasir
2	Analisa Bahan, Split
3	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 800°C
4	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 800°C
5	Data Benda Uji Lentur Sebelum Pembakaran 800°C
6	Data Benda Uji Lentur Setelah Pembakaran 800°C
7	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 400°C
8	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 400°C
9	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel Tanpa Pembakaran
10	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel yang Dibakar Selama 1 jam
11	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel yang Dibakar Selama 2 jam
12	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel yang Dibakar Selama 3 jam
13	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel yang Dibakar Selama 4 jam
14	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Kubus
15	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Balok
16	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Kubus 400 C
17	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Kubus 800 C
18	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok
19	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Kubus
20	Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Balok

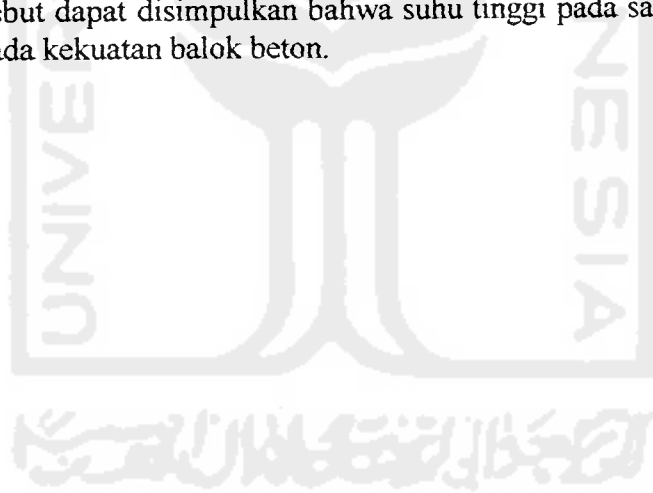
## Lanjutan Daftar Lampiran

- 21 Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak Pasca Pembakaran
- 22 Analisa Regresi Penurunan Kuat Lentur
- 23 Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur
- 24 Analisa Regresi Penurunan Kuat Tarik Baja
- 25 Perhitungan Kekuatan Tampang Balok Pasca Pembakaran 1 jam dan 2 jam
- 26 Perhitungan Kekuatan Tampang Balok Pasca Pembakaran 3 jam dan 4 jam
- 27 Perhitungan Kekuatan Tampang Balok Tanpa Pembakaran
- 28 Analisa Regresi Penurunan Kuat Tampang Pasca Pembakaran



## ABSTRAK

Dampak terjadinya kebakaran pada suatu struktur beton akan menimbulkan beberapa masalah, di antaranya adalah penurunan kekuatan beton didalam menahan beban. Pada kondisi ini, ada tiga kemungkinan yang terjadi pada kekuatan struktur yang berpengaruh terhadap perlakuan struktur tersebut selanjutnya. Ketiga kemungkinan itu adalah : struktur tersebut masih mampu menahan beban yang ada seperti pada desain awal, struktur tersebut dialih fungsikan untuk keperluan yang lain sesuai dengan beban yang mampu ditahannya atau struktur tersebut perlu direnovasi total. Balok sebagai salah satu komponen struktur yang penting juga akan mendapatkan pengaruh akibat kebakaran yang pada akhirnya dihadapkan pada ketiga kemungkinan di atas. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh kebakaran terhadap balok untuk mengetahui sejauh mana penurunan kekuatannya, sehingga didapatkan jawaban atas kemungkinan yang akan terjadi sekaligus upaya penanganannya pasca kebakaran. Besarnya penurunan kekuatan didapatkan dengan membandingkan hasil uji desak, uji lentur dan uji tarik tulangan baja dari sampel yang dibakar dengan sampel yang tidak dibakar. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya penurunan berat jenis, kuat desak, kuat lentur dan kuat tarik yang bervariasi tergantung pada tingginya suhu dan lamanya waktu pembakaran. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa suhu tinggi pada saat kebakaran sangat berpengaruh pada kekuatan balok beton.



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pembangunan yang dilaksanakan di Indonesia pada dekade terakhir ini sangat beragam, baik pembangunan di bidang fisik maupun non fisik. Pembangunan yang dilaksanakan tersebut diharapkan mampu untuk memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana penunjang sehingga akan didapatkan hasil yang optimal.

Sarana dan prasarana fisik yang sekarang banyak dibutuhkan antara lain jalan, jembatan, bangunan gedung dan bangunan rumah tinggal. Untuk mendapatkan sarana dan prasarana fisik yang baik dan mampu memberikan layanan yang optimal diperlukan perencanaan yang teliti dan memperhitungkan semua kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi. Demikian juga dengan pemilihan konstruksi yang akan diterapkan. Beberapa jenis konstruksi yang biasa dipakai dalam bidang teknik sipil khususnya untuk pembangunan gedung antara lain ialah konstruksi baja, beton, dan kayu.

Beton bertulang sangat umum dan banyak dipakai. Hal ini dimungkinkan karena beton bertulang adalah bahan konstruksi yang sudah dikenal sejak lama memiliki keunggulan tersendiri serta mudah dikerjakan.

Sebagai bahan konstruksi, beton akan menahan beban bangunan dengan beban-beban rencana yang diinginkan oleh pembuat konstruksi. Juga pengaruh-

pengaruh lain yang mungkin terjadi ketika bangunan tersebut difungsikan. Salah satu pengaruh tersebut adalah suhu tinggi yang terjadi ketika gedung mengalami kebakaran.

Pada dasarnya perencana dapat memperhitungkan pengaruh kebakaran pada saat merencanakan konstruksi. Dengan harapan konstruksi tersebut mampu menahan akibat dari pengaruh kebakaran yang terjadi sesuai dengan rencana yang telah dibuat. Akan tetapi ketika tingkat kebakaran sangat besar, meskipun masih dalam batas perencanaan, kecenderungan untuk merenovasi struktur secara total adalah pilihan yang paling banyak diambil. Padahal tidak tertutup kemungkinan untuk tetap memfungsikan bangunan pasca kebakaran tersebut, jika kekuatan elemen-elemen strukturnya dapat diketahui secara pasti. Dengan demikian akan dapat diambil langkah-langkah yang sesuai dengan kondisi bangunan tersebut, apakah masih mampu dipakai kembali dengan beban yang sama dengan beban sebelum terjadinya kebakaran atau dialihfungsikan sesuai dengan beban yang mampu ditahan oleh struktur tersebut pasca kebakaran atau harus direnovasi total. Untuk mengetahui penurunan kekuatan elemen struktur pasca kebakaran, dilakukan penelitian dengan pemodelan sampel berupa kubus beton dan balok beton bertulang yang dibakar pada suhu 400C dan 800C selama 1, 2, 3 dan 4 jam.

Jadi yang terpenting disini adalah bagaimana menentukan kekuatan struktur beton bertulang pasca kebakaran untuk mengantisipasi keadaan di atas. Untuk itu perlu diadakan penelitian seberapa jauh penurunan kekuatan balok beton bertulang berkaitan dengan lamanya suatu kebakaran.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana penurunan kekuatan balok beton bertulang setelah mengalami suhu tinggi dengan beberapa variasi lamanya waktu pembakaran.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibahas masalah kuat lentur balok beton bertulang yang dikenai pengaruh suhu tinggi dengan empat variasi waktu dibandingkan dengan kuat lentur balok beton bertulang normal dan kuat desak beton yang dikenai suhu tinggi dengan dua variasi suhu dan empat variasi waktu dibanding kuat desak beton normal.

Karakteristik bahan yang dipakai sebagai benda uji adalah sebagai berikut :

1. Panjang bentangan benda uji lentur (balok persegi),  $L = 100$  cm, dengan bentuk balok persegi ukuran  $15$  cm x  $20$  cm dan dipasang tulangan baja 2  $\varnothing 12$  mm.
2. Benda uji desak berukuran  $15$  cm x  $15$  cm x  $15$  cm.
3. Campuran beton direncanakan dengan metode ACI (*American Concrete Institute*).
4. Mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu K-300 ( $\sigma'_{bk} = 300$  kg/cm<sup>2</sup>), dan dipakai baja tulangan dengan mutu U-24 ( $\sigma'_{au} = 2400$  kg/cm<sup>2</sup>).
5. Perencanaan balok didasarkan pada perhitungan tulangan sebelah.



6. Pembakaran benda uji lentur dilakukan dengan suhu  $800^{\circ}\text{C}$  dan pembakaran benda uji desak dilakukan dengan suhu  $400^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$

#### 1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan dapat diuraikan secara singkat sebagai berikut ini.

1. Perencanaan campuran beton untuk adukan, menggunakan perbandingan berat.
2. Benda uji lentur dibuat sebanyak tiga buah untuk masing-masing sampel yang akan di uji sebagai berikut :
  - a. sampel 1 diuji lentur tanpa pembakaran,
  - b. sampel 2 diuji lentur setelah dibakar selama 1 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,
  - c. sampel 3 diuji lentur setelah dibakar selama 2 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,
  - d. sampel 4 diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,
  - e. sampel 5 diuji lentur setelah dibakar selama 4 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ .
3. Benda uji desak dibuat sebanyak tiga buah untuk masing-masing sampel dengan pengujian sebagai berikut :
  - a. sampel 1 diuji desak tanpa pembakaran,
  - b. sampel 2-A diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ ,
  - c. sampel 2-B diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,
  - d. sampel 3-A diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ ,
  - e. sampel 3-B diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,

- f. sampel 4-A diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ ,
  - g. sampel 4-B diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ ,
  - h. sampel 5-A diuji desak setelah dibakar selama 4 jam pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ ,
  - i. sampel 5-B diuji desak setelah dibakar selama 4 jam pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ .
4. Pembakaran, pengujian lentur dan pengujian desak dilakukan setelah beton berumur 28 hari.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton Bertulang**

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah membentuk masa padat (SK SNI T-15-1991-03, 1991). Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik, sehingga membentuk suatu kesatuan bahan yang monolit dalam menahan beban. Batang tulangan baja berfungsi untuk memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama seperti itu disebut sebagai beton bertulangan baja atau lazim disebut beton bertulang saja (Istimawan Dipohusodo, 1994).

#### **2.2 Rancangan Campuran Beton**

##### **2.2.1 Tujuan Perancangan Campuran Beton**

Tujuan dari perancangan campuran beton ialah untuk menentukan proporsi bahan-bahan penyusun beton agar tercapai keadaan yang sesuai dengan persyaratan berikut :

1. kekuatan desak yang sesuai atau memenuhi syarat seperti yang ditentukan oleh perencana konstruksi,
2. kelecakan (*workability*) yang cukup sehingga pengangkutan, penuangan dan pemadatan beton dapat dilakukan dengan baik,
3. keawetan (*durability*) yang memadai dan pada umumnya keawetan beton banyak ditentukan oleh faktor air semen,
4. penyelesaian akhir (*finishing*) beton yang baik.

Metode perancangan campuran beton yang digunakan sebagai dasar perhitungan campuran beton ada beberapa macam. Metode tersebut antara lain : metode ACI, metode Dreux, metode DOE dan metode Road Note No. 4. Penggunaan atau pemilihan metode perancangan beton pada proyek-proyek yang telah ada biasanya didasarkan pada kualitas pencapaian kekuatan beton rencana yang sesuai dengan yang telah dirancang, kemudahan pengerjaan dan nilai ekonomi. Pada penelitian ini dipakai metode ACI, karena metode ini paling banyak dipakai di lapangan, lebih mudah dikerjakan dan ekonomis. Dengan demikian akan didapatkan beton dengan keadaan yang mendekati keadaan sesungguhnya di lapangan.

### 2.2.2 Metode ACI (*American Concrete Institute*)

*American Concrete Institute* menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Dengan metode ACI didapatkan kenyataan bahwa pada ukuran agregat maksimum tertentu dan jumlah air per meter kubik adukan menentukan tingkat kekentalan (*slump*) adukan itu.

Secara garis besar urutan langkah perancangan dengan cara ACI ialah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata berdasar kuat desak yang disyaratkan.

Untuk jumlah sampel < 15 buah, dipakai ketentuan seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2.1 Kekuatan Rata-rata yang Diperlukan Jika Tidak Tersedia Data untuk Menentukan Simpangan Baku.

Kekuatan tekan yang dispesifikasikan $f'_c$ (psi)	Kekuatan rata-rata yang diperlukan $f'_{cr}$ (psi)
Kurang dari 3000	$f'_c + 1000$
3000 – 5000	$f'_c + 1200$
Lebih dari 5000	$f'_c + 1400$

Sumber : Beton Bertulang suatu pendekatan dasar, Edward G. Nawy, 1990.

2. Menetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki (lihat tabel 2.2) dan keawetannya (berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan; lihat tabel 2.3). Dari dua hasil tersebut dipilih yang paling rendah.

Tabel 2.2 Hubungan faktor air semen dan kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari

Faktor Air Semen	Perkiraan kuat tekan (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 2.3 Faktor air semen maksimum

Kondisi	FAS
• Beton di dalam ruangan bangunan	
a. keadaan keliling non korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	0,52
• beton di luar ruangan bangunan	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
• beton yang masuk ke dalam tanah	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
• beton yang kontinyu berhubungan dengan air	
a. air tawar	0,57
b. air laut	0,52

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

3. Menentukan nilai slump dan ukuran maksimum agregat berdasarkan jenis strukturnya (lihat tabel 2.4 dan 2.5).

Tabel 2.4 Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	maks	min
• Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,50	5,00
• Pondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	9,00	2,50
• Plat, balok, kolom dan dinding	15,00	7,50
• Pengerasan jalan	7,50	5,00
• Pembetonan masal	7,50	2,50

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 2.5 Ukuran maksimum agregat (mm)

Dimensi minimum (mm)	balok/kolom	plat
62,50	12,50	20,00
150,00	40,00	40,00
300,00	40,00	80,00
750,00	80,00	80,00

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

4. Menetapkan jumlah air yang diperlukan, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump (lihat tabel 2.5).
5. Menghitung semen yang dibutuhkan, berdasarkan hasil langkah (2) dan (4) sebelumnya.
6. Menetapkan volume agregat kasar yang diperlukan per satuan volume beton berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat halusya. (lihat tabel 2.6)

Tabel 2.6 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya, dalam m<sup>3</sup>

Ukuran maksimum agregat (mm)	Modulus halus butir pasir			
	2,40	2,60	2,80	3,00
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,65	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

7. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan, berdasarkan jumlah volume air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan (dari tabel 2.5), dengan cara hitungan volume absolut sebagai berikut ini.

$$\text{Volume agregat halus} = 1 - (V_a + V_k + V_s + V_u)$$

$V_a$  = volume air,

$V_k$  = volume kerikil,

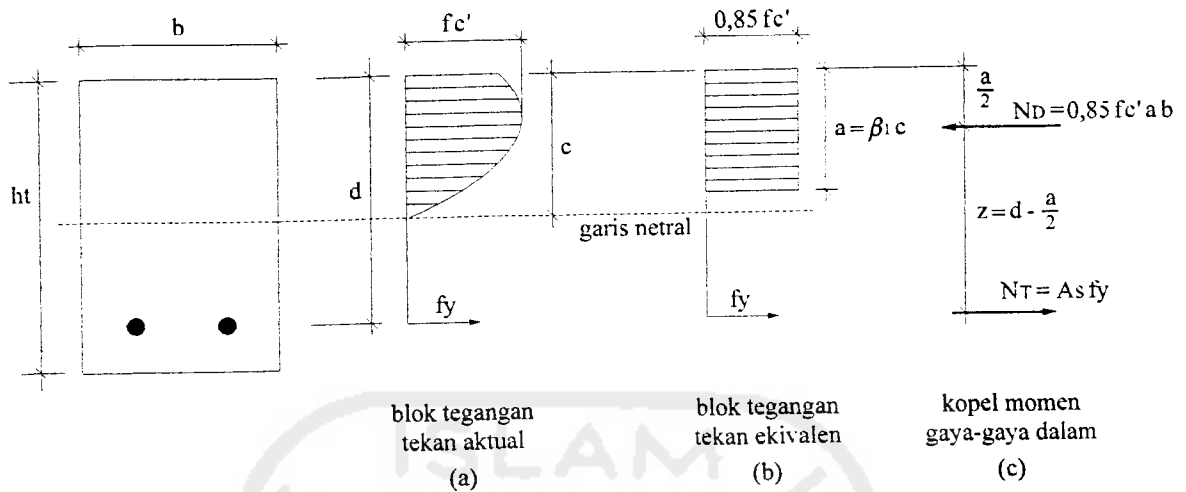
$V_s$  = volume semen,

$V_u$  = volume udara.

### 2.3 Kuat Lentur Balok Persegi

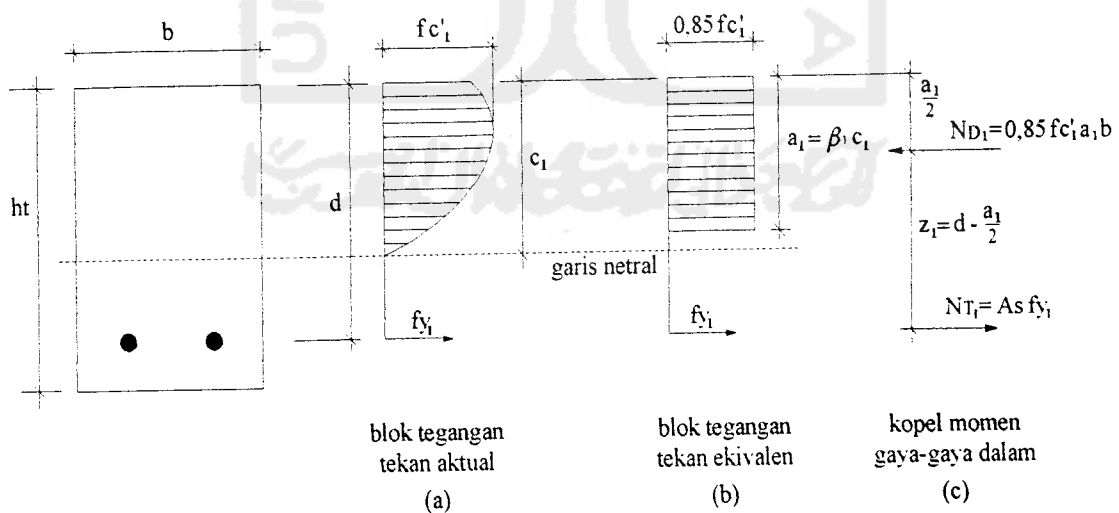
Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-regangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti terlihat dalam gambar 2.1,  $N_D$  adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan  $N_T$  adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel momen tahan dalam dimana nilai maksimumnya disebut kuat lentur atau momen tahan penampang komponen struktur terlentur





Gambar 2.1 Blok Tegangan Ekuivalen Whitney. (Istimawan Dipohusodo, 1994)

Blok tegangan tersebut akan berbeda pada balok yang telah mengalami pembakaran. Perbedaan tersebut disebabkan turunnya kuat desak beton dan kuat tarik baja turun akibat pengaruh pembakaran. Dengan mengambil contoh data kuat tarik baja dan kuat desak beton yang dibakar pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam, blok tegangan yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.2 Blok Tegangan Ekuivalen untuk Balok yang Dibakar

Pada kuat tarik baja pasca kebakaran ( $f_{y1}$ ) dan kuat desak beton pasca kebakaran ( $f'_{c1}$ ) terjadi penurunan, sehingga nilai-nilai  $c_1$  dan  $a_1$  semakin besar sedangkan nilai-nilai  $z_1$ ,  $ND_1$  dan  $NT_1$  semakin kecil.

#### 2.4 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa balok persegi dengan lebar ( $b$ ) = 150 mm, tinggi efektif ( $d$ ) = 175 mm dan panjang ( $L$ ) = 1000 mm. Dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan didapat tegangan luluh rata-rata = 2822,223 kg/cm<sup>2</sup> (dikonversi menjadi  $f_y = 282,222$  MPa), mutu beton dari hasil uji desak  $\sigma'_{bk} = 398,939$  kg/cm<sup>2</sup> (dikonversi menjadi  $f'_c = 33,112$  MPa). Perencanaan didasarkan pada tulangan sebelah dengan jumlah tulangan 2  $\varnothing$  12 ( $A_s = 226,195$  mm<sup>2</sup>). Perhitungan momen nominal dan beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok dapat dijabarkan sebagai berikut :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{282.226} = 0,00496$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,195}{150 \cdot 175} = 0,00862$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{226,195 \cdot 282,223}{0,85 \cdot 33,112 \cdot 150} = 15,1210 \text{ mm}$$

$$z = \left( d - \frac{a}{2} \right) = 175 - \frac{15,1210}{2} = 167,4395 \text{ mm}$$

Berdasarkan gaya tekan pada beton

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot z \\
 &= 0,85 \cdot 33,112 \cdot 15,1210 \cdot 150 \cdot 167,4396 \cdot 10^{-6} \\
 &= 10,6889 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pada gaya tarik tulangan baja

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
 &= 226,195 \cdot 282,223 \cdot 167,4395 \cdot 10^{-6} \\
 &= 10,6889 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Menentukan letak garis netral penampang adalah sebagai berikut :

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$\beta_1 = 0,825 \text{ untuk } f'_c = 33,112 \text{ MPa}$$

$$\text{maka, } c = \frac{a}{0,85} = \frac{15,1210}{0,825} = 18,4340 \text{ mm}$$

dengan menggunakan segitiga sebangun pada diagram dicari regangan yang terjadi dalam tulangan baja tarik bila regangan beton mencapai 0,003.

$$\frac{0,003}{c} = \frac{\epsilon_s}{(d - c)}$$

$$\text{jadi, } \epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \cdot 0,003 = \frac{(175 - 18,4340)}{18,4340} \cdot 0,003 = 0,02548$$

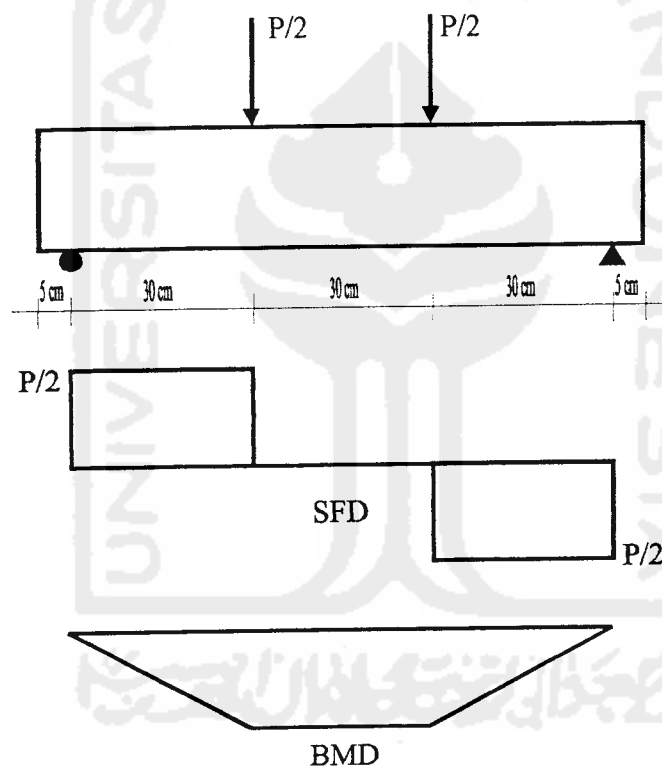
regangan luluh tulangan baja :

$$E_s = \frac{f_y}{\epsilon_y}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{282,223}{2 \cdot 10^5} = 0,001411$$

$\epsilon_s = 0,02548 > \epsilon_y = 0,001411$ , jadi anggapan itu benar.

$$\begin{aligned} MR &= \phi Mn \\ &= 0,8 \cdot 10,6889 \\ &= 8,5504 \text{ kNm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} MR &= 0,30 \cdot P/2 = 0,150 \cdot P \\ 0,150 \cdot P &= 8,5504 \\ P &= 57,00267 \text{ kN} = 5808,5717 \text{ kg} \end{aligned}$$

Didapat beban maksimum  $P = 5808,5717 \text{ kg}$

## 2.5 Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton

### 2.5.1 Sifat Pasta Semen Pada Temperatur Tinggi

Jika pasta semen dipanaskan dari temperatur ruangan sampai 300°C, maka kekuatannya akan naik sedikit karena hilangnya air bebas pada bagian arang (*clinker*) yang terhidrasi, kemudian berturut-turut air yang diserap. Pada pemanasan lebih dari 300°C sebagian dari air yang terikat secara kimia akan hilang pula. Kekuatan pasta semen pada temperatur 400°C hampir sama dengan kekuatan pada saat temperatur 300°C. Penurunan kekuatan yang tajam terjadi pada temperatur antara 400°C sampai 600°C. Diantara temperatur tersebut kandungan kalsium hidroksida pada pasta semen mengalami dehidrasi dan berubah menjadi kalsium oksida yang kekuatannya menjadi rendah sekali atau bahkan tidak punya kekuatan sama sekali. Setelah didinginkan dari temperatur antara 400°C sampai 500°C retak-retak akan menjalar di permukaan pasta semen. Retak-retak juga disebabkan oleh pemuaian volume kalsium oksida yang dihasilkan pada temperatur tinggi. Peristiwa dehidrasi yang dialami Kalsium Hidroksida dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi kimia berikut ini.



Perubahan kimia pasta semen pada temperatur tinggi juga disertai perubahan volume. Jika dipanaskan dari temperatur ruang sampai 100°C pasta semen akan mengembang, kemudian terjadi penyusutan sampai temperatur 500°C karena dehidrasi. Pada temperatur tinggi volume mengembang lagi tapi tidak sampai pada volume semula. Diatas temperatur 700°C, pasta semen akan rusak dan kekuatannya akan hilang sama sekali, juga mengakibatkan hilangnya ikatan pasta semen dengan

agregat. Kerusakan pasta semen akibat proses kimia pada temperatur tinggi ini disebabkan adanya perubahan volume pasta semen selama pemanasan (Hansen, 1976).

### **2.5.2 Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi**

Nekrassow mengemukakan bahwa reaksi agregat pada temperatur tinggi sangat tergantung pada struktur dan komposisi mineralnya. Pada temperatur tinggi kekuatan batuan sedimen tergantung kandungan airnya. Dalam keadaan basah kekuatan batuan sedimen lebih kecil dibanding dalam keadaan kering. Jika temperatur meningkat dengan mendadak pemuatan batuan sedimen menjadikan beton retak, ini disebabkan adanya flint, yaitu partikel yang terkandung dalam batuan sedimen yang berisi sejumlah air pada pori-pori mikroskopisnya. Jika air ini menguap pada temperatur 300°C, timbul rongga-rongga yang berisi tekanan uap panas yang dapat mengakibatkan keretakan pada beton.

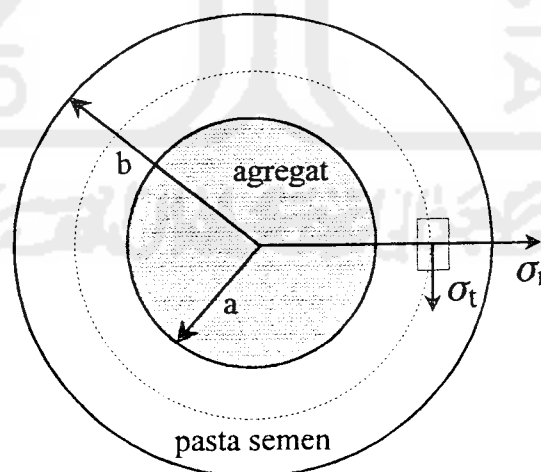
Jenis agregat batu kapur mempunyai daya tahan yang baik terhadap panas, karena tidak berubah komposisi maupun volumenya. Pada temperatur 650°C senyawa kimianya adalah kalsium oksida dan karbon oksida.

Batuan alam dengan kandungan feldspar yang tinggi seperti basalt, andesit, diabase dan agregat buatan yang terbuat dari slag (lempung bakar) atau batuan keras yang lain adalah bahan yang sangat cocok untuk beton yang tahan panas. Bahan-bahan ini tidak akan menghasilkan kekuatan tahan panas yang tinggi bila tidak dicampur dengan semen yang bersifat tahan panas misalnya aluminat (Hansen, 1976).

### 2.5.3 Keretakan Beton Pada Temperatur Tinggi

Ada tiga sifat penting bahan-susun beton yang mempengaruhi perilaku beton bila dipanasi, yaitu koefisien muai panas, panas jenis dan daya hantar panas. Jika koefisien muai panas bahan susun beton makin besar, maka semakin besar pula koefisien muai panas betonnya. Aspek lain dari pengamatan masalah ini memberikan pengertian bahwa jika perbedaan koefisien muai panas antara pasta semen dan agregat terlalu besar, maka dapat menimbulkan keretakan pada beton. Tegangan intern pada agregat yang disebabkan perbedaan muai panas bisa menimbulkan keretakan pada pasta semennya.

Untuk mengetahui mekanisme retak beton akibat pemanasan, dapat dijelaskan dengan model lingkaran beton seperti pada gambar 2.3. Tampak pada gambar tersebut lingkaran dalam adalah butiran agregat sedangkan lingkaran luar adalah pasta semen.



Gambar 2.3 Model Lingkaran Beton (Hansen, 1976)

- a = jari-jari agregat,
- b = radius pasta semen,

$\sigma_t$  = tegangan tangensial pada pasta semen,  
 $\sigma_r$  = tegangan radial pada pasta semen.

Henk dan Smith (1956) telah menganalisis tegangan  $\sigma_t$  dan  $\sigma_r$  pada pasta semen dan agregat. Tegangan maksimum yang terjadi dinyatakan dalam persamaan :

$$\sigma_t = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{2 \left[ \left( \frac{1-g}{1+2g} \right) \cdot \left( \frac{2-2v_a}{E_a} \right) + \left( \frac{v_b}{E_b} \right) + \left( \frac{1-v_b}{2E_b} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\sigma_r = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{\left[ \left( \frac{1+2g}{1-g} \right) \cdot \left( \frac{1-v_b}{2E_b} \right) + \left( \frac{v_b}{E_b} \right) + \left( \frac{1-2v_a}{E_a} \right) \right]} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pasta semen dan agregat alami umumnya mempunyai nilai modulus elastis dan angka Poisson rata-rata sebagai berikut :

- $E_a$  = modulus elastisitas agregat =  $5 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ,
- $E_b$  = modulus elastisitas pasta semen =  $1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ,
- $v_a = v_b$  = angka Poisson agregat dan pasta semen = 0,20 ,
- $g$  = koefisien volume padat agregat = 0,70.

Nilai-nilai tersebut jika dimasukkan dalam persamaan (2.1) dan (2.2) akan diperoleh persamaan :

$$\sigma_t = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{1,2 \cdot 10^{-5}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\sigma_r = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{1,3 \cdot 10^{-5}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$\epsilon_a$  = muai panas total pada agregat,  
 $\epsilon_b$  = muai panas total pada pasta semen.



Pada keadaan yang normal, perubahan temperatur cuaca jarang mencapai lebih dari 50°C, sedangkan perbedaan antara muai panas pasta semen dan agregat hanya sekitar  $10^{-5}$  per °C, maka pada keadaan ini  $\epsilon_b - \epsilon_a \leq 5 \cdot 10^{-4}$ . Nilai ini jika dimasukkan ke dalam persamaan (2.3) dan (2.4) akan diperoleh nilai tegangan tarik maksimum untuk pasta semen sebesar 40 kg/cm<sup>2</sup>. Hal tersebut dapat terjadi pada kondisi cuaca yang buruk yaitu ketika terjadi perubahan temperatur ruang yang sangat besar dan berlangsung cepat sehingga terjadi perbedaan yang cukup besar antara muai panas pasta semen dan agregat. Kondisi tersebut dapat juga menyebabkan keretakan beton di sekeliling butiran-butiran agregat. Kenyataan menunjukkan bahwa kondisi beton yang baik umumnya mampu bertahan terhadap perubahan temperatur tanpa terjadi keretakan yang disebabkan perbedaan muai panas antara agregat dan pasta semen.

Jika beton dipanaskan sampai pada temperatur yang tinggi seperti pada saat kebakaran, maka beton menjadi rawan terhadap keretakan. Pasta semen akan menyusut karena kehilangan air pada pemanasan lebih dari 100°C sedangkan agregat memuai. Pada pemanasan antara 100°C sampai 300°C muai panas total agregat ( $\epsilon_a$ )  $\approx 0,003$  dan muai panas total pasta semen ( $\epsilon_b$ )  $\approx 0,004$ . Jika angka-angka tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (2.3), maka didapatkan tegangan tarik  $\sigma_t = 600$  kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan kuat tarik pasta semen tidak lebih dari 100 kg/cm<sup>2</sup>. Karena tegangan tarik beton lebih besar dari kuat tarik pasta semen maka beton akan mengalami retak.

Pengaruh kenaikan temperatur pada peristiwa kebakaran sangat besar dan cukup serius pada beton yang tidak terlindung. Telah diketahui bahwa pada temperatur diatas  $100^{\circ}\text{C}$ , pasta semen mengalami susut karena peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat mengembang karena meneruskan muai panasnya. Peristiwa ini dapat merupakan penyebab terjadinya keretakan pada beton.

Selain itu kemungkinan terjadinya retak pada beton dapat pula disebabkan oleh kombinasi antara kenaikan tegangan dan tekanan uap panas dari dalam pada saat beton dipanasi dengan cepat seperti pada peristiwa kebakaran. Pada saat terjadi kebakaran, kenaikan temperatur sangat besar dan beton yang terbakar akan sulit mengeluarkan uap air dari semen gel yang terkandung di dalamnya, mengingat beton bersifat padat. Hal ini mengakibatkan terjadinya tekanan udara panas di dalam yang akan membentuk rongga-rongga yang dapat menimbulkan keretakan pada beton.

Permukaan beton biasanya mudah hancur karena bagian ini mengalami kenaikan volume udara yang besar dan berlangsung cepat. Sebagian tegangannya digunakan untuk perlawanan terhadap gerakan panas yang menembus lapis permukaan beton tersebut.

Pada saat terjadi kenaikan temperetur, gerakan panas pada beton merupakan hal yang sangat sulit diperkirakan. Hal ini tergantung pada sifat pasta semen maupun agregat yang digunakan. Pada kisaran temperatur tertentu, agregat mengembang karena memuai, sedang pasta semen menyusut karena dehidrasi (Hansen ,1976).

#### **2.5.4 Pengaruh Temperatur Pada Kekuatan Beton**

Hasil penelitian Neville menunjukkan bahwa kenaikan temperatur cenderung mengakibatkan penurunan kuat desak beton. Diduga ada sedikit kenaikan kuat desak

pada temperatur 200°C sampai 300°C, tetapi kuat desak pada temperatur 400°C tidak lebih dari 80% kuat desak normalnya, dan kuat desak pada temperatur 700°C tidak lebih dari 30% kuat desak normalnya.

Reaksi kimia dan reaksi fisika pada beton berlangsung selama pemanasan. Perubahan faktor air semen sedikit pengaruhnya terhadap kuat desak beton pada kenaikan temperatur. Meskipun demikian, penurunan kuat desak beton pada kenaikan temperatur akan berkurang jika kandungan semen dikurangi (Hansen, 1976).

Pada beton bertulang yang mengalami kenaikan temperatur, penurunan kuat desak yang terjadi pada beton akan mempengaruhi kuat lenturnya. Akan tetapi kekuatan desak ini bukanlah satu-satunya hal yang mempengaruhi kuat lentur suatu beton bertulang. Pengaruh lainnya adalah kuat tarik baja tulangan yang bersama-sama dengan kuat desak beton memikul beban lentur. Perbedaan sifat bahan dalam menerima temperatur tinggi dari beton dan baja tulangan mengakibatkan penurunan kuat lentur yang tidak begitu tajam. Perubahan elastisitas seketika seperti rayapan beton sangat dipengaruhi oleh kenaikan temperatur. Nilai modulus elastisitas yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan beton juga berubah. Penurunan modulus elastisitas ini adalah akibat dari kenaikan temperatur. Pengaruh pemanasan terhadap perubahan modulus elastisitas beton ini juga berlaku pada beton yang dirancang khusus tahan terhadap temperatur tinggi, misalnya adukan beton dengan penambahan puzzolan atau beton dengan semen aluminat. Nilai modulus elastisitas beton turun sekitar 25% dari kondisi normal jika dipanaskan sampai suhu 500°C dan turun 50% jika dipanaskan sampai suhu 800°C. Pengaruh ini harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur (Hansen, 1976).

## **BAB III**

### **PELAKSANAAN PENELITIAN**

#### **3.1 Tinjauan Umum**

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian laboratorium dengan membuat benda uji balok yang dibakar dalam tungku dengan suhu yang tinggi, sehingga didapat kondisi yang mendekati sama dengan balok pada struktur bangunan yang mengalami kebakaran. Benda uji berupa balok persegi berukuran  $15 \times 20 \times 100 \text{ cm}^3$  sebanyak 15 buah dan kubus berukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  sebanyak 27 buah. Pembuatan adukan beton untuk benda uji direncanakan dengan metode ACI (*American Concrete Institute*) sebagai dasar pembuatan *mix design*. Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan kuat desak karakteristik sebesar  $300 \text{ kg/cm}^2$ .

Tahapan pelaksanaan penelitian ini meliputi tahapan persiapan bahan dan alat, pemeriksaan material, perhitungan campuran beton dan pembuatan benda uji. Langkah selanjutnya dilakukan rawatan benda uji, pembakaran benda uji serta pengujian terhadap kuat desak dan kuat lentur beton.

#### **3.2 Persiapan Bahan dan Alat**

Bahan dan peralatan yang akan digunakan harus terlebih dahulu dipersiapkan agar dalam pelaksanaan dapat berjalan dengan lancar. Pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan peralatan milik Laboratorium Uji Bahan Bangunan, FPTK IKIP Yogyakarta, sedangkan tungku yang dipakai untuk membakar benda uji

adalah tungku glasir milik Unit Pelayanan Teknis (UPT) Gerabah Kasongan. Pengujian desak dan lentur dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan material lokal kecuali semen dan baja tulangan.

### 3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pasir : asal sungai Progo, Yogyakarta,
2. Batu pecah: asal sungai Progo, Yogyakarta,
3. Semen : tipe I merek Nusantara,
4. Air : asal Lab. Uji Bahan Bangunan, FPTK, IKIP, Yogyakarta,
5. Baja Tulangan :  $\varnothing$  12 mm untuk tulangan pokok dan  $\varnothing$  8 mm untuk sengkang dibeli dari toko besi.

Untuk bahan-bahan yang berupa pasir dan batu pecah terlebih dahulu dilakukan penelitian terhadap kadar lumpur, berat jenis dan modulus halus butiran pasir. Dari penelitian awal terhadap bahan-bahan tersebut didapatkan data sebagai berikut ini.

1. Pasir	: Berat Jenis (keadaan SSD)	= 2,56 t/m <sup>3</sup> ,
	Modulus Halus Butiran (MHB)	= 2,97 ,
	Kadar lumpur	= 1, 5228 %.
2. Split	: Berat Jenis (keadaan SSD)	= 2,50 t/m <sup>3</sup> ,
	Berat Jenis Kering Tusuk	= 1,606 t/m <sup>3</sup> ,
	Kadar lumpur (setelah dicuci)	= 0,142 %,
	Diameter maksimum	= 40 mm.

### 3.2.2 Alat - alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang tercantum dalam Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Daftar Peralatan

No.	Alat	Kegunaan
1	Ayakan	Menyaring agregat
2	Bak Penampung	Menampung beton segar
3	Cetakan Balok Persegi	Cetakan benda uji balok
4	Cetakan Kubus	Cetakan benda uji kubus
5	Gelas Ukur	Menakar air
6	Kerucut Abrams	Pengujian slump
7	Mesin siever	Pengayak mekanik
8	Mesin Uji Desak	Uji desak beton
9	Mesin Uji Tarik	Uji tarik baja
10	Mixer Listrik	Pencampur adukan beton
11	Palu kayu	Memadatkan beton
12	Sekop Kecil	Mengaduk agregat
13	Talam Agregat	Wadah agregat
14	Tongkat Penumbuk	Memadatkan beton
15	Timbangan	Menimbang bahan
16	Tungku Glasir	Membakar benda uji

### 3.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton ini didasarkan pada data bahan susun beton yang telah diteliti sebelumnya sebagai berikut :

1. kuat tekan rencana ( $\sigma'_{bk}$ ) = 300 kg/cm<sup>2</sup>,
2. diameter maksimum agregat kasar (batu pecah) = 40 mm,
3. modulus halus butir (mhb)pasir = 2,97,
4. berat jenis pasir (SSD) = 2,560 t/m<sup>3</sup>,
5. berat jenis batu pecah (SSD) = 2,500 t/m<sup>3</sup>,
6. berat jenis batu pecah kering tusuk = 1,606 t/m<sup>3</sup>,
7. berat jenis semen = 3,150 t/m<sup>3</sup>.

Perhitungan campuran beton dengan metode ACI adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata

a. Menghitung kuat desak rata-rata

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{bk} \text{ kubus} &= 300 \text{ kg/cm}^2 \\
 f'c &= 0,83 \cdot \sigma'_{bk} \text{ kubus} \\
 &= 249 \text{ kg/cm}^2 \\
 f'cr &= f'c + 1200 \text{ (psi)} \\
 &= f'c + 82,8 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\
 &= 249 + 82,8 \\
 &= 331,8 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 33,18 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Menetapkan Faktor Air Semen (FAS)

Berdasarkan tabel 2.2 untuk  $f'cr$  silinder = 33,18 MPa didapat FAS = 0,507.

Berdasarkan tabel 2.3 beton yang terlindung dari hujan dan terik matahari langsung didapat FAS = 0,60.

Dari kedua nilai FAS di atas dipakai nilai FAS terendah yaitu FAS = 0,507.

## 3. Menetapkan Nilai Slump

Dari tabel 2.4 untuk balok didapat nilai slump minimum dan maksimum berturut-turut adalah 7,5 cm dan 15 cm.

## 4. Menetapkan kebutuhan air

Untuk nilai slump 7,5 - 10 cm dan agregat maksimum 40 mm didapat :

a. Kebutuhan air = 177 liter,

b. Udara terperangkap = 1 %.

## 5. Menghitung kebutuhan semen

$$\begin{aligned} \text{Berat semen} &= \frac{\text{Berat air}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{177}{0,507} \\ &= 349,1124 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume semen} &= \frac{\text{Berat semen}}{\text{Bj semen}} \\ &= \frac{0,34911}{3,15} \\ &= 0,1108 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

## 6. Menetapkan berat agregat kasar

Berdasarkan tabel 2.6 untuk mhb pasir = 2,97 dan diameter agregat maksimum = 40 m didapat volume agregat kasar = 0,717 m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat kasar} &= \text{volume agregat kasar} \times \text{Bj kering tusuk} \\ &= 0,717 \times 1,606 \times 1000 \end{aligned}$$



$$= 1151,502 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume agregat kasar} &= \frac{\text{Berat batu pecah}}{\text{Bj batu pecah}} \\ &= \frac{1151,502}{2,5 \cdot 1000} \\ &= 0,4602 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

7. Menghitung berat agregat halus

$$\begin{aligned} V_p &= 1 - (V_s + V_k + V_a + V_u) \\ &= 1 - (0,1108 + 0,4602 + 0,177 + 0,01) \\ &= 0,24197 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir} &= V_p \times \text{Bj pasir} \\ &= 0,24197 \times 2,56 \\ &= 0,619444 \text{ ton} \\ &= 619,444 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m<sup>3</sup> beton

- a. semen = 349,112 kg
- b. pasir = 619,444 kg
- c. batu pecah = 1151,502 kg
- d. air = 177 liter

Benda uji : 1) Kubus (15 x 15 x 15) cm<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Volume kubus} &= 3375 \text{ cm}^3 \\ &= 3,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah} = 27 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 27 \times 3,375 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,091 \text{ m}^3$$

2) Balok persegi (15 x 20 x 100) cm<sup>3</sup>

$$\text{Volume balok} = 30000 \text{ cm}^3$$

$$= 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 15 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 15 \times 3 \cdot 10^{-2}$$

$$= 0,45 \text{ m}^3$$

Volume total benda uji = jumlah volume kubus + jumlah volume balok

$$= 0,091 + 0,45$$

$$= 0,541 \text{ m}^3$$

Kebutuhan material untuk benda uji :

- Semen  $= 0,541 \cdot (349,112 + 10\% \cdot 349,112) = 207,757 \text{ kg}$
- Pasir  $= 0,541 \cdot (619,444 + 10\% \cdot 619,444) = 368,631 \text{ kg}$
- Batu pecah  $= 0,541 \cdot (1154,37 + 10\% \cdot 1154,37) = 686,966 \text{ kg}$
- Air  $= 0,541 \cdot (177 + 10\% \cdot 177) = 105,333 \text{ lt}$

### 3.4 Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan Benda Uji

Untuk mendapatkan benda uji yang sesuai rencana, pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut ini.

1. Bahan disiapkan dan ditimbang dengan proporsi yang telah ditentukan sesuai rencana yang telah dibuat. Pada saat penimbangan, pasir dan split dalam keadaan jenuh-kering permukaan.

2. Pengadukan campuran dilakukan dengan memasukkan secara bertahap bahan-bahan agregat kasar dan sebagian air dari jumlah air yang dibutuhkan ke dalam tabung pengaduk yang berputar. Setelah beberapa saat, ditambahkan agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas tabung pengaduk yang dipakai.
3. Adukan yang telah jadi segera dituang ke dalam bak penampung beton segar untuk diuji kelecakannya/slumpnya dengan menggunakan kerucut Abrams.
4. Jika kelecakan adukan telah dicapai selanjutnya beton segar segera dituang kedalam cetakan yang telah diolesi oli.
5. Bersamaan dengan masuknya beton ke dalam cetakan, dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk pada adukan betonnya dan juga diketuk-ketuk sisi luar cetakannya dengan palu kayu agar gelembung udara yang terperangkap bisa keluar.
6. Setelah cetakan penuh dan padat, bagian atasnya diratakan kemudian didiamkan di tempat yang terlindung dari panas dan hujan.
7. Cetakan dibuka dua puluh empat jam kemudian dan selanjutnya segera dilakukan rawatan terhadap beton tersebut.

### **3.4.2 Rawatan Benda Uji**

Rawatan benda uji beton adalah suatu upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak adukan beton dipadatkan sampai beton dianggap cukup keras pada umur yang direncanakan. Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga untuk menjamin proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Bila hal

ini tidak dilakukan, akan terjadi beton yang kurang kuat, dan juga timbul retak-retak. Selain itu kelembaban permukaan tadi juga menambah beton lebih tahan cuaca dan lebih kedap air.

Pada penelitian ini, diambil beberapa metode rawatan beton yang biasa dilakukan yaitu dengan merendam benda uji selama 28 hari untuk benda uji kubus dan menyelimuti permukaan beton dengan karung basah selama 28 hari untuk benda uji balok. Perbedaan metode rawatan di atas dikarenakan tidak adanya bak yang cukup untuk menampung seluruh benda uji balok yang akan dipakai dalam penelitian ini.

### **3.4.3 Pembakaran Benda Uji**

Sebelum dibakar benda uji ditimbang dan dicari volumenya. Selain itu dicatat hal-hal yang berkait dengan kondisi fisik beton pra pembakaran. Proses pembakaran benda uji dilakukan setelah beton berumur lebih dari 28 hari, dan dilakukan menggunakan tungku glasir yang mampu mencapai suhu  $1200^{\circ}\text{C}$ . Pada penelitian ini, suhu yang dipakai adalah  $400^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$  dengan variasi lamanya waktu pembakaran 1, 2, 3 dan 4 jam. Lamanya waktu pembakaran ini dihitung mulai saat penyalaan tungku, setelah mencapai suhu yang direncanakan suhu dipertahankan agar tetap konstan, sampai waktu yang ditetapkan. Selanjutnya tungku dimatikan dan ditunggu sampai suhu dalam tungku mencapai suhu ruangan, baru benda uji dikeluarkan dari tungku. Setelah suhu benda uji mencapai suhu ruangan dicari kembali berat dan volume benda uji serta dicatat kondisi fisik beton pasca pembakaran.

### 3.4.4 Pengujian Desak dan Lentur Beton

Setelah beton berumur 28 hari, benda uji yang tidak dibakar langsung diuji desak dan lentur. Sedangkan untuk benda yang dibakar pengujian dilakukan setelah suhu benda uji sama dengan suhu ruangan.

Pengujian desak dan lentur ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian kuat desak adalah beban maksimum beton. Untuk pengujian kuat lentur, data yang diambil adalah beban maksimum dan kondisi retak beton.

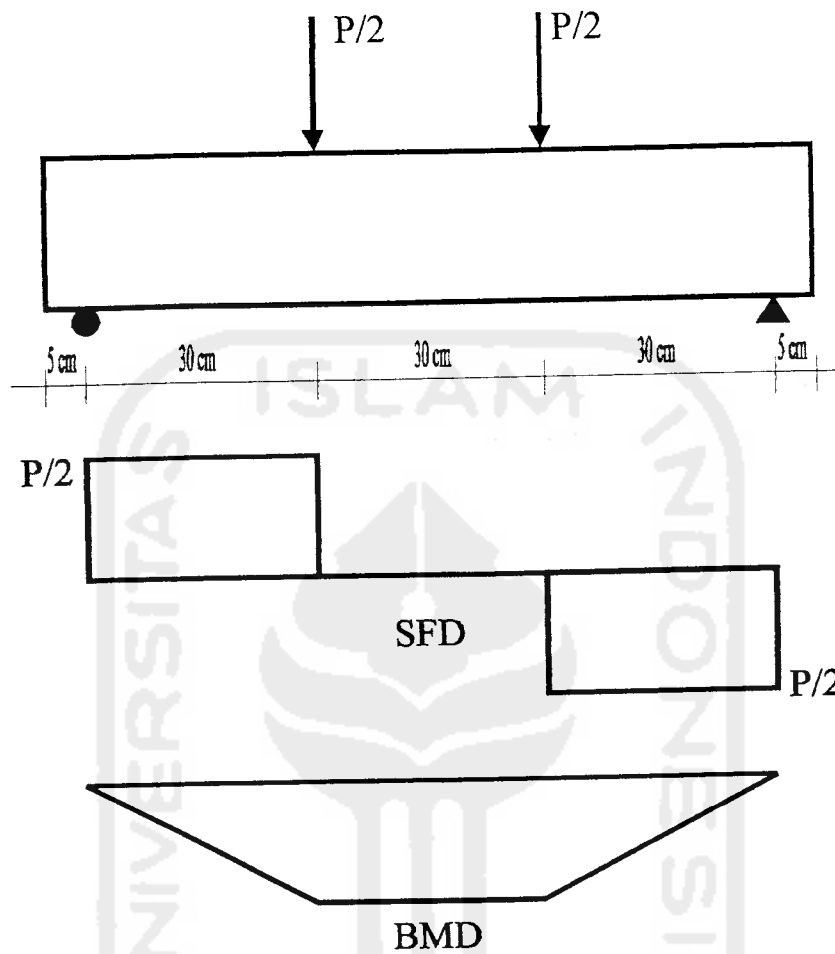
Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban maksimum yang dicapai dengan luasan permukaan bagian yang didesak, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_c = P/A \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan :

$\sigma_c$  = Kuat desak beton ( $\text{kg/cm}^2$ ),  
 $P$  = Beban maksimum (kg),  
 $A$  = Luas penampang benda uji.

Sedangkan pengujian kuat lentur dilakukan dengan membuat pembebanan dua titik ( $P/2$ ) sehingga didapatkan lentur murni pada balok yang diuji. Lentur murni adalah lenturan dari sebuah balok dengan suatu momen lentur konstan, yang tidak dipengaruhi oleh gaya lintang (gaya lintangnya sama dengan nol). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 3.1 Balok dengan beban terpusat dalam keadaan lentur murni

Terlihat diantara beban  $P/2$  tidak terdapat gaya lintang dan hanya bekerja suatu momen lentur ( $M$ ) konstan yang besarnya :

$$M = P/2 \cdot a \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Untuk } a = 0,30 \text{ maka } M = 0,15 \cdot P \dots\dots\dots (3.3)$$

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan terhadap benda uji baik benda uji desak maupun benda uji lentur didapatkan hasil antara lain beban maksimum untuk desak dan lentur, perubahan berat benda uji, perubahan volume dan perubahan kuat tarik baja tulangan serta perubahan fisik beton untuk beton yang telah mengalami pembakaran maupun yang tidak. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut ditampilkan pada tabel-tabel berikut. Tabel 4.1 di bawah ini adalah tabel hasil pengukuran dan pengujian balok yang dibakar pada suhu 800C dengan variasi lama waktu pembakaran 1, 2, 3 dan 4 jam.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Lentur

NO	KODE	LAMA PEMBAKARAN	SUHU (°C)	BERAT (kg)		VOLUME (cm <sup>3</sup> )		BJ (T/m <sup>2</sup> )		P MAKS (kg)
				AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	
1	A0	-	-	75.500	75.500	30215.81	30215.81	2.50	2.50	6600
2	B0	-	-	75.100	75.100	30026.56	30026.56	2.50	2.50	6550
3	C0	-	-	75.100	75.100	29621.18	29621.18	2.54	2.54	6800
RATA-RATA				75.233	75.233	29954.52	29954.52	2.51	2.51	6650.000
PERUBAHAN (%)				0		0		0		
1	A1	1 JAM	800	75.450	70.200	30258.53	29933.33	2.49	2.35	4710
2	B1	1 JAM	800	74.100	71.100	30026.77	30067.96	2.47	2.36	5550
3	C1	1 JAM	800	75.900	71.350	30513.77	30425.87	2.49	2.35	5700
RATA-RATA				75.150	70.883	30266.36	30142.39	2.48	2.35	5320.000
PERUBAHAN (%)				-5.678		-0.410		-5.287		
1	A2	2 JAM	800	75.700	70.500	30397.08	30323.62	2.49	2.32	3180
2	B2	2 JAM	800	76.200	70.820	30590.73	30473.49	2.49	2.32	3950
3	C2	2 JAM	800	75.700	70.600	30146.67	29989.96	2.51	2.35	4700
RATA-RATA				75.867	70.640	30378.16	30262.36	2.50	2.33	3943.333
PERUBAHAN (%)				-6.889		-0.381		-6.531		

Lanjutan Tabel 4.1

1	A3	3 JAM	800	75.600	70.280	30463.29	30658.62	2.48	2.29	2910
2	B3	3 JAM	800	76.900	70.270	30367.50	30378.06	2.53	2.31	4620
3	C3	3 JAM	800	74.200	70.300	29840.03	29863.92	2.49	2.35	4050
RATA-RATA				75.567	70.283	30223.61	30300.20	2.50	2.32	3860.000
PERUBAHAN (%)				-6.992		0.253		-7.213		
1	A4	4 JAM	800	75.750	69.900	30364.87	30541.06	2.49	2.29	3340
2	B4	4 JAM	800	75.400	70.400	30073.36	30220.00	2.51	2.33	4300
3	C4	4 JAM	800	76.900	70.900	30069.78	30151.68	2.56	2.35	3400
RATA-RATA				76.017	70.400	30169.34	30304.25	2.52	2.32	3680.000
PERUBAHAN (%)				-7.389		0.447		-7.798		

Hasil pengukuran dan pengujian desak yang dilakukan pada kubus setelah dibakar pada suhu 400C dan 800C selama 0, 1, 2, 3, dan 4 jam dapat dibaca pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Desak

NO	KODE	LAMA PEMBAKARAN	SUHU (°C)	BERAT (kg)		VOLUME (cm <sup>3</sup> )		BJ (N/m <sup>3</sup> )		PMAKS (kg)	TEG. DESAK (kg/cm <sup>2</sup> )
				AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR		
1	A0	-	-	8.430	8.430	3510.81	3510.81	2.40	2.40	905	398.037
2	B0	-	-	8.352	8.352	3425.55	3425.55	2.44	2.44	905	403.277
3	C0	-	-	8.417	8.417	3443.53	3443.53	2.44	2.44	900	402.413
RATA-RATA				8.400	8.400	3459.963	3459.963	2.43	2.43	903.333	401.242
PERUBAHAN (%)				0		0		0			
1	A1	1 JAM	800	8.422	7.844	3485.64	3474.15	2.42	2.26	545	242.871
2	B1	1 JAM	800	8.326	7.757	3447.43	3436.37	2.42	2.26	685	308.175
3	C1	1 JAM	800	8.400	7.838	3468.18	3458.29	2.42	2.27	605	266.092
RATA-RATA				8.383	7.813	3467.083	3456.270	2.42	2.26	611.667	272.379
PERUBAHAN (%)				-6.796		-0.312		-6.504			
1	A2	2 JAM	800	8.212	7.6	3426.92	3420.88	2.40	2.22	550	247.878
2	B2	2 JAM	800	8.451	7.835	3456.05	3444.20	2.45	2.27	550	243.027
3	C2	2 JAM	800	8.312	7.649	3428.47	3420.12	2.42	2.24	500	223.308
RATA-RATA				8.325	7.695	3437.147	3428.400	2.42	2.24	533.333	238.071
PERUBAHAN (%)				-7.572		-0.254		-7.336			
1	A3	3 JAM	800	8.311	7.621	3412.92	3420.53	2.44	2.23	355	160.892
2	B3	3 JAM	800	8.278	7.649	3395.17	3401.97	2.44	2.25	500	225.847
3	C3	3 JAM	800	8.178	7.586	3375.74	3376.87	2.42	2.25	445	201.670
RATA-RATA				8.256	7.619	3394.610	3399.790	2.43	2.24	433.333	196.136
PERUBAHAN (%)				-7.716		0.153		-7.854			



Lanjutan Tabel 4.2

1	A4	4 JAM	800	8.238	7.628	3368.3	3375.78	2.45	2.26	455	207.894
2	B4	4 JAM	800	8.355	7.622	3435.2	3450.42	2.43	2.21	455	201.561
3	C4	4 JAM	800	8.331	7.722	3500.16	3507.36	2.38	2.20	395	175.022
RATA-RATA				8.308	7.657	3434.553	3444.520	2.42	2.22	435.000	194.826
PERUBAHAN (%)				-7.832		0.290		-8.099			
1	A1	1 JAM	400	8.392	7.957	3475.72	3457.77	2.41	2.30	895	399.634
2	B1	1 JAM	400	8.390	7.951	3481.82	3470.73	2.41	2.29	855	376.953
3	C1	1 JAM	400	8.362	7.926	3403.34	3391.23	2.46	2.34	900	403.66
RATA-RATA				8.381	7.945	3453.627	3439.910	2.43	2.31	883.33	393.42
PERUBAHAN (%)				-5.210		-0.397		-4.832			
1	A2	2 JAM	400	8.362	7.867	3478.67	3479.49	2.40	2.26	895	353.503
2	B2	2 JAM	400	8.332	7.816	3481.81	3471.14	2.39	2.25	855	404.543
3	C2	2 JAM	400	8.662	8.153	3551.54	3531.30	2.44	2.31	900	407.317
RATA-RATA				8.452	7.945	3504.007	3493.977	2.41	2.27	883.33	388.45
PERUBAHAN (%)				-5.995		-0.286		-5.726			
1	A3	3 JAM	400	8.571	8.040	3471.02	3476.40	2.47	2.31	795	356.782
2	B3	3 JAM	400	8.536	7.978	3529.32	3509.30	2.42	2.27	910	352.012
3	C3	3 JAM	400	8.302	7.788	3398.12	3385.22	2.44	2.30	915	385.631
RATA-RATA				8.470	7.935	3466.153	3456.973	2.44	2.30	873.33	364.81
PERUBAHAN (%)				-6.309		-0.265		-6.061			
1	A4	4 JAM	400	8.915	8.421	3634.84	3673.58	2.45	2.29	800	370.465
2	B4	4 JAM	400	8.280	7.767	3396.04	3373.08	2.44	2.30	790	344.621
3	C4	4 JAM	400	8.271	7.669	3409.58	3394.51	2.43	2.26	840	352.238
RATA-RATA				8.489	7.952	3480.153	3480.390	2.44	2.28	810.00	355.77
PERUBAHAN (%)				-6.318		0.007		-6.320			

Besarnya kuat desak pada tabel diatas adalah kuat desak rata-rata ( $\sigma'_{bm}$ ) yang harus dikurangi dengan besarnya deviasi standar (Sd), seperti pada rumus berikut ini.

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - 0,82.Sd$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_1^N (\sigma'_b - \sigma'_{bm})^2}{N - 1}}$$

Untuk lebih jelasnya hasil pengurangan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data Kuat Desak Aktual

No	Suhu (°C)	Lama Pembakaran (Jam)	$\sigma'_{bm}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Sd	$\sigma'_{bk}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	-	0	401,242	2,809	398,939
2	400	1	393,420	14,398	381,614
3	400	2	388,450	30,300	363,604
4	400	3	364,810	18,190	349,894
5	400	4	355,770	13,280	344,880
6	800	1	272,379	33,103	245,235
7	800	2	238,071	13,013	227,400
8	800	3	196,136	32,829	169,216
9	800	4	194,826	17,440	180,525

Untuk mengetahui besarnya kuat tarik baja tulangan yang akan dipakai pada penelitian ini dilakukan pengujian awal yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan

NO	DIAMETER (mm)	LUAS (cm <sup>2</sup> )	LUAS RATA <sup>2</sup>	LULUH (kg)		MAKS (kg)	PATAH (kg)	TEGANGAN TARIK (kg/cm <sup>2</sup> )
				AWAL	AKHIR			
1	10.05	0.7933	0.7943	2300	2450	3500	2600	2899.385
2	10.05	0.7933		2250	2450	3470	2600	2836.355
3	10.07	0.7964		2175	2350	3400	2600	2730.929
RATA-RATA				2241.667	2416.667	3456.67	2600.000	2822.223

Sedangkan besarnya kuat tarik baja pasca pembakaran dan pembebanan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran dan Pembebanan

NO	DIAMETER (mm)	LUAS (cm <sup>2</sup> )	LUAS RATA <sup>2</sup>	LULUH (kg)		MAKS (kg)	PATAH (kg)	TEGANGAN TARIK (kg/cm <sup>2</sup> )
				AWAL	AKHIR			
1	10.090	0.7996	0.7964	2225	2400	3425	2850	2793.7037
	10.060	0.7949						
	10.060	0.7949						
	10.060	0.7949	0.7964	2125	2350	3450	2850	2668.1474
	10.070	0.7964						
	10.080	0.7980						
RATA-RATA				2175.00	2375.00	3437.50	2850.00	2730.9256
2	10.070	0.7964	0.7943	2050	2300	3400	2800	2580.8068
	10.050	0.7933						
	10.050	0.7933						
	10.050	0.7933	0.7970	2025	2200	3375	2600	2540.8996
	10.090	0.7996						
	10.080	0.7980						
RATA-RATA				2037.50	2250.00	3387.50	2700.00	2560.8532
3	10.065	0.7956	0.7954	1900	2200	3425	2700	2388.8010
	10.065	0.7956						
	10.060	0.7949						
	10.040	0.7917	0.7954	2050	2150	3350	2700	2577.3800
	10.090	0.7996						
	10.060	0.7949						
RATA-RATA				1975.00	2175.00	3387.50	2700.00	2483.0905
4	10.075	0.7972	0.7959	1950	2200	3450	2700	2450.0376
	10.075	0.7972						
	10.050	0.7933						
	10.070	0.7964	0.7959	1925	2100	3475	2700	2418.6297
	10.070	0.7964						
	10.060	0.7949						
RATA-RATA				1937.50	2150.00	3462.50	2700.00	2434.3337
5	10.060	0.7949	0.7943	1875	2050	3275	2600	2360.4955
	10.060	0.7949						
	10.050	0.7933						
	10.060	0.7949	0.7954	1850	2100	3250	2600	2325.9375
	10.060	0.7949						
	10.070	0.7964						
RATA-RATA				1862.50	2075.00	3262.50	2600.00	2343.2165

Keterangan :

- Nomor 1 dibakar 0 jam
- Nomor 2 dibakar 1 jam
- Nomor 3 dibakar 2 jam
- Nomor 4 dibakar 3 jam
- Nomor 5 dibakar 4 jam
- Suhu Pembakaran 800°C

Selain perubahan kekuatan yang diketahui dari hasil pengujian desak, lentur dan tarik, juga terjadi perubahan fisik beton yang dapat diamati secara langsung.

Perubahan fisik yang diamati dan dicatat pada penelitian ini meliputi perubahan warna dan retak-retak akibat pembakaran pada suhu 400C dan 800C. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.6 Perubahan Fisik Beton

No	Suhu	Lama Pembakaran	Perubahan Fisik	
			Warna	Retak
1	-	-	Abu-abu Kehijauan	-
2	400°C	1 jam	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut
3	400°C	2 jam	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut (agak banyak)
4	400°C	3 jam	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut (banyak)
5	400°C	4 jam	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut di seluruh permukaan
6	800°C	1 jam	Abu-abu keputihan	Retak-retak
7	800°C	2 jam	Abu-abu keputihan	Retak-retak (agak banyak)
8	800°C	3 jam	Abu-abu keputihan	Retak-retak (banyak)
9	800°C	4 jam	Abu-abu keputihan	Retak-retak di seluruh permukaan

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Keadaan Fisik Beton

Keadaan fisik beton yang terkena suhu tinggi akan mengalami perubahan akibat berubahnya sifat bahan-bahan penyusun beton. Perubahan yang dapat diamati secara langsung pada penelitian ini adalah perubahan warna dan terjadinya retak-retak pada permukaan beton. Pada kondisi normal (sebelum dibakar) beton berwarna abu-abu kehijauan. Setelah dibakar pada suhu 400°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam warnanya berubah menjadi lebih muda dari warna asal dan setelah dibakar pada suhu 800°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam warna beton berubah menjadi abu-abu keputihan.

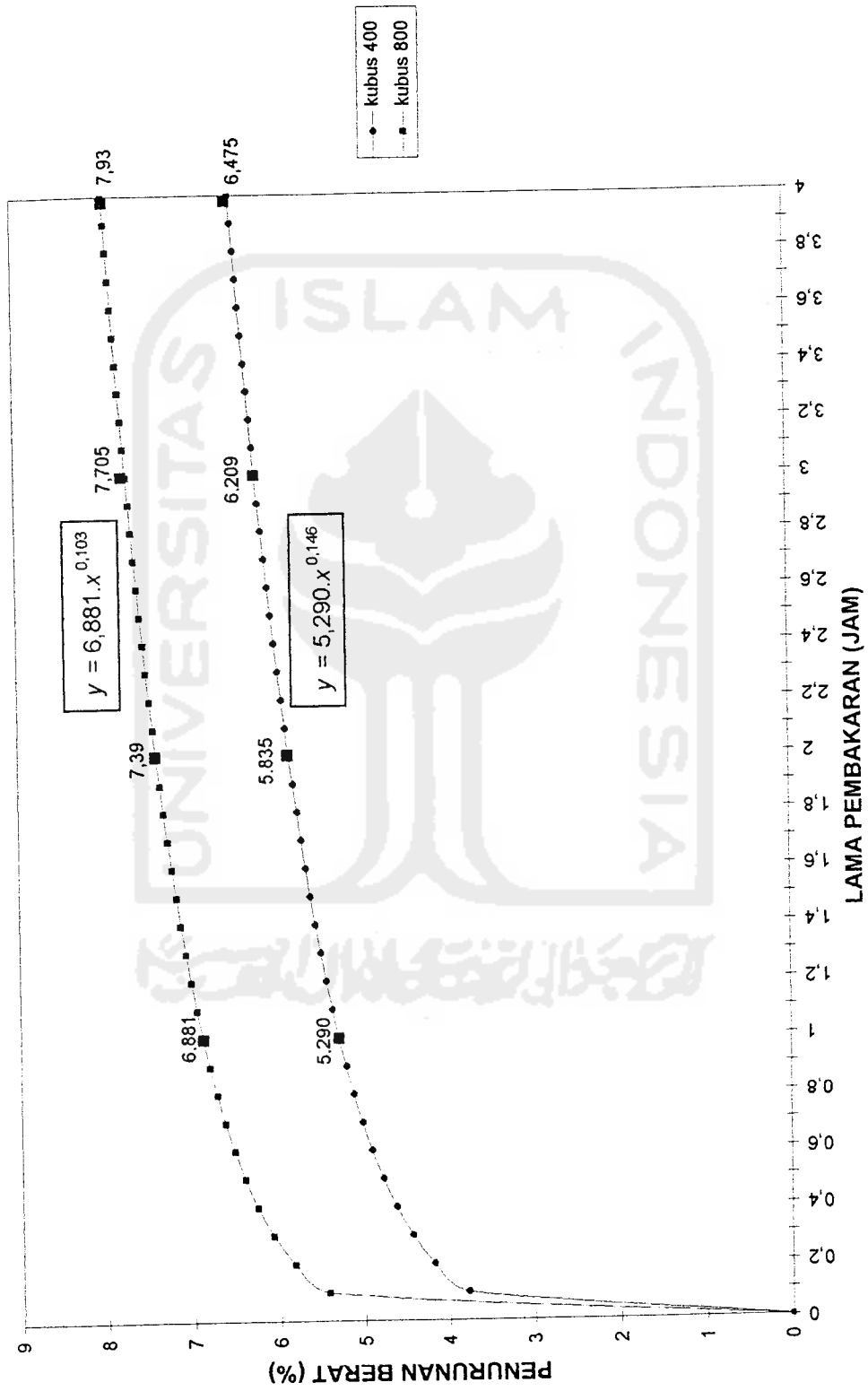
Perubahan warna dari abu-abu kehijauan menjadi abu-abu muda dan abu-abu keputihan ini disebabkan oleh dekarbonasi Kalsium Karbonat pada pasta semen. Retak-retak permukaan terjadi pada semua beton yang telah dibakar. Keretakan pada beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 1 jam terlihat menyerupai retak-retak rambut dan terjadi hampir di seluruh permukaan yang terkena panas langsung. Retak-retak ini semakin bertambah banyak dan bertambah lebar seiring dengan peningkatan variasi waktu dari 2, 3, dan 4 jam. Hal yang sama juga terjadi pada beton yang dibakar pada suhu 800°C. Akan tetapi lebar retak-retak pada suhu ini lebih besar bila dibandingkan dengan retak-retak beton yang dibakar pada suhu 400°C. Retak-retak ini bisa disebabkan oleh perbedaan koefisien muai panas pasta semen dan agregat, tekanan uap panas pada pori-pori beton dan kehilangan air yang menyebabkan penyusutan pasta semen sementara agregat memuai.

#### **4.2.2 Berat, Volume dan Berat Jenis Beton**

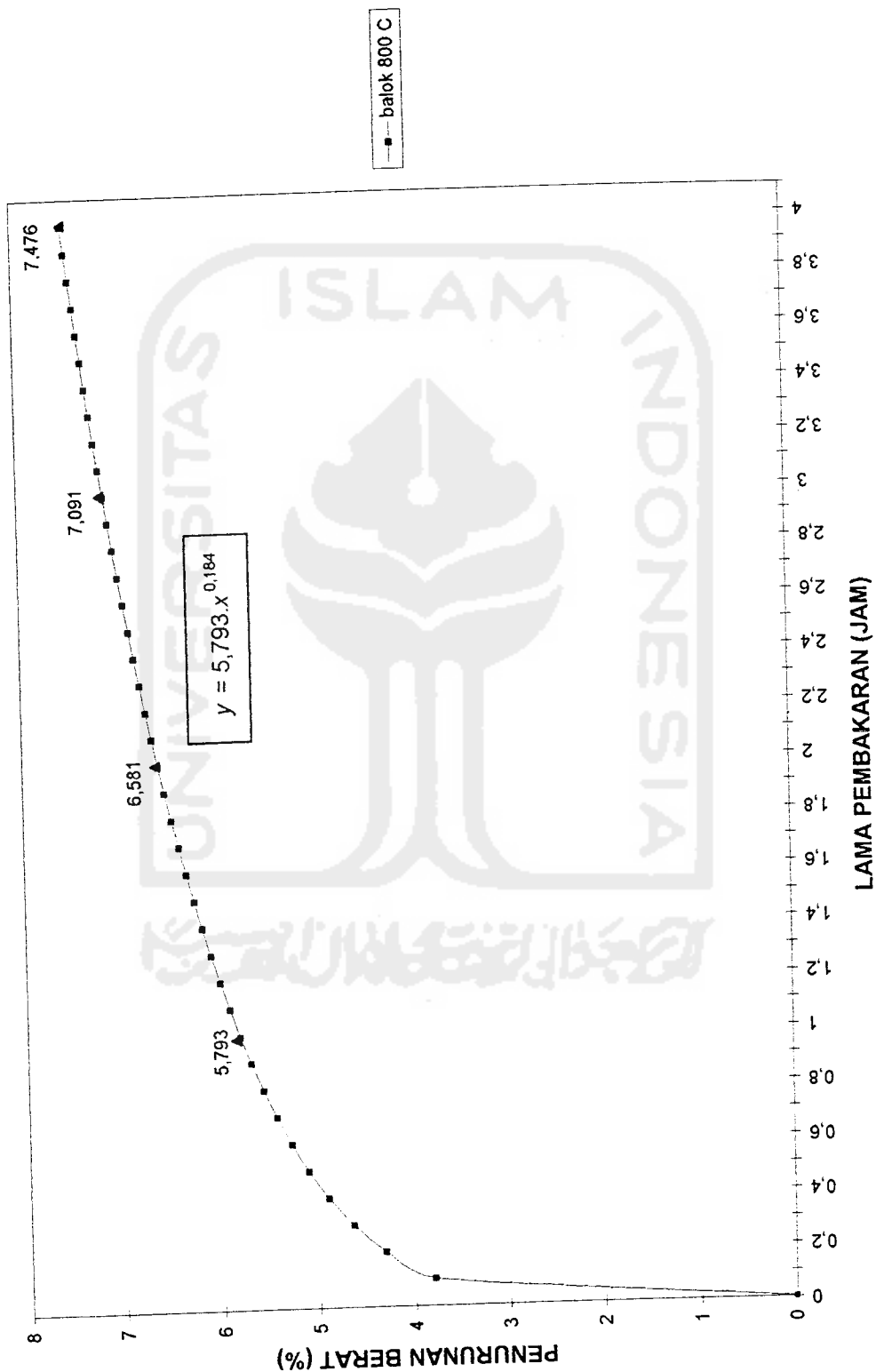
Parameter lain yang berubah setelah pembakaran adalah berat dan volume benda uji. Perubahan keduanya akan berpengaruh terhadap perubahan berat jenis benda uji, karena berat jenis merupakan perbandingan berat terhadap volume suatu benda. Dari pengukuran didapatkan terjadinya penurunan berat benda uji. Penurunan berat ini akan semakin besar seiring dengan bertambahnya suhu dan lama pembakaran. Pada kubus yang dibakar pada suhu 400°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam penurunan berat yang terjadi berturut-turut adalah 5,290 %, 5,835 %, 6,209 % dan 6,475 %. Untuk kubus yang dibakar pada suhu 800°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam penurunan yang terjadi adalah 6,881 %, 7,390 %, 7,705 % dan 7,930 %. Benda uji

balok yang dibakar pada suhu 800°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam mengalami penurunan sebesar 5,793 %, 6,581 %, 7,091 % dan 7,476 %. Penurunan berat yang terjadi pada keseluruhan benda uji merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian (lampiran 14 dan 15). Untuk lebih jelasnya penurunan berat tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.





Gambar 4.1 Grafik Prosentase Penurunan Berat Kubus Terhadap Lama Pembakaran



Gambar 4.2 Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok terhadap Lama Pembakaran

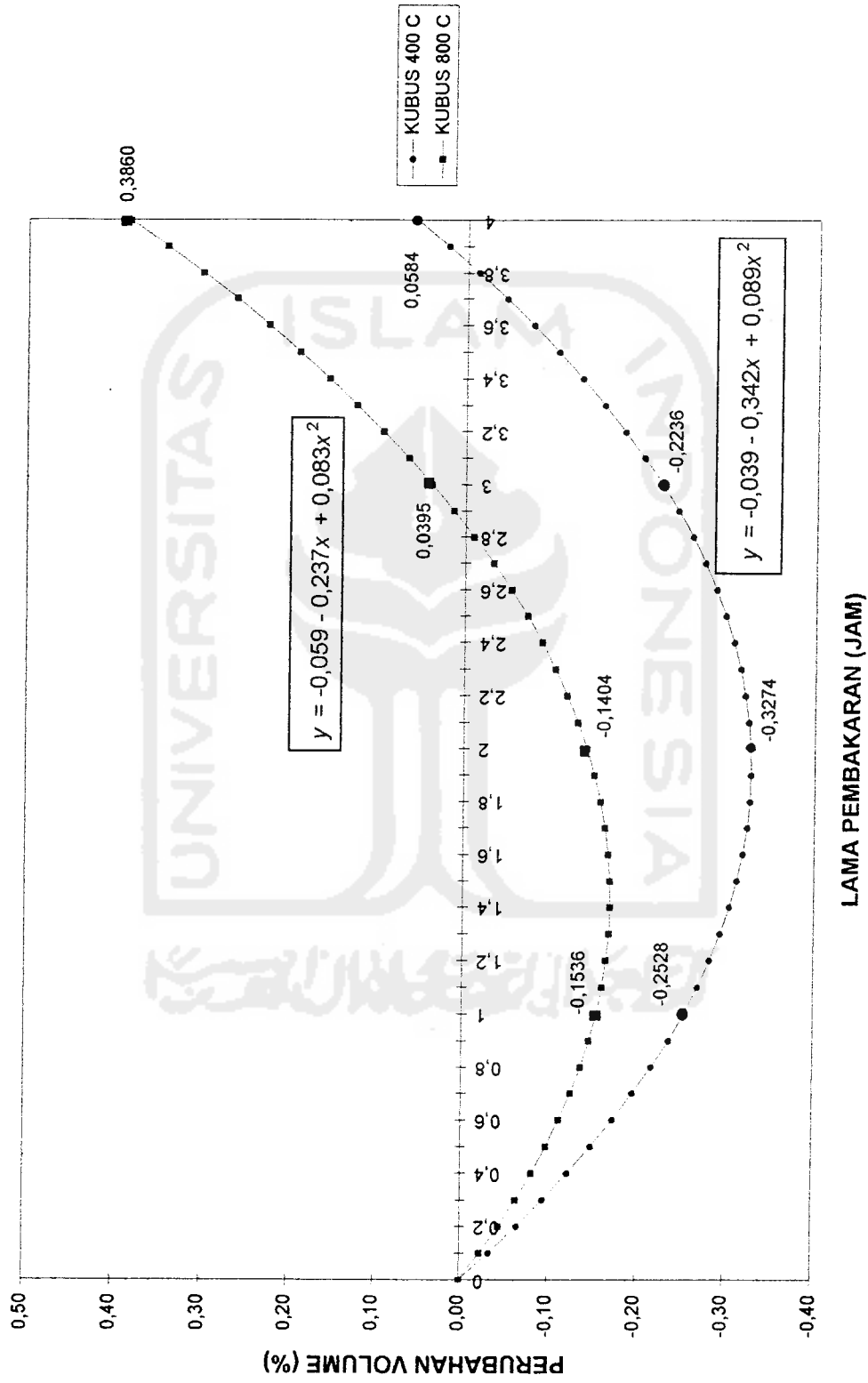


Dari gambar 4.1 dan 4.2 di atas terlihat bahwa semakin tinggi suhu semakin banyak penurunan berat yang terjadi. Perbedaan rata-rata antara penurunan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  dengan suhu  $800^{\circ}\text{C}$  yang didapatkan pada penelitian ini adalah 1,569 %. Disamping itu dapat juga diamati bahwa antara benda uji yang tidak dibakar dengan benda uji yang dibakar selama 1 jam terjadi penurunan berat yang berkisar antara 5,29 % - 6,881 %. Selanjutnya untuk pembakaran selama 2, 3 dan 4 jam penurunan berat yang terjadi semakin banyak. Namun jika dibandingkan antara keempat penurunan tersebut selisih yang terjadi tidak begitu besar, berkisar antara 0,225 % - 0,545 %.

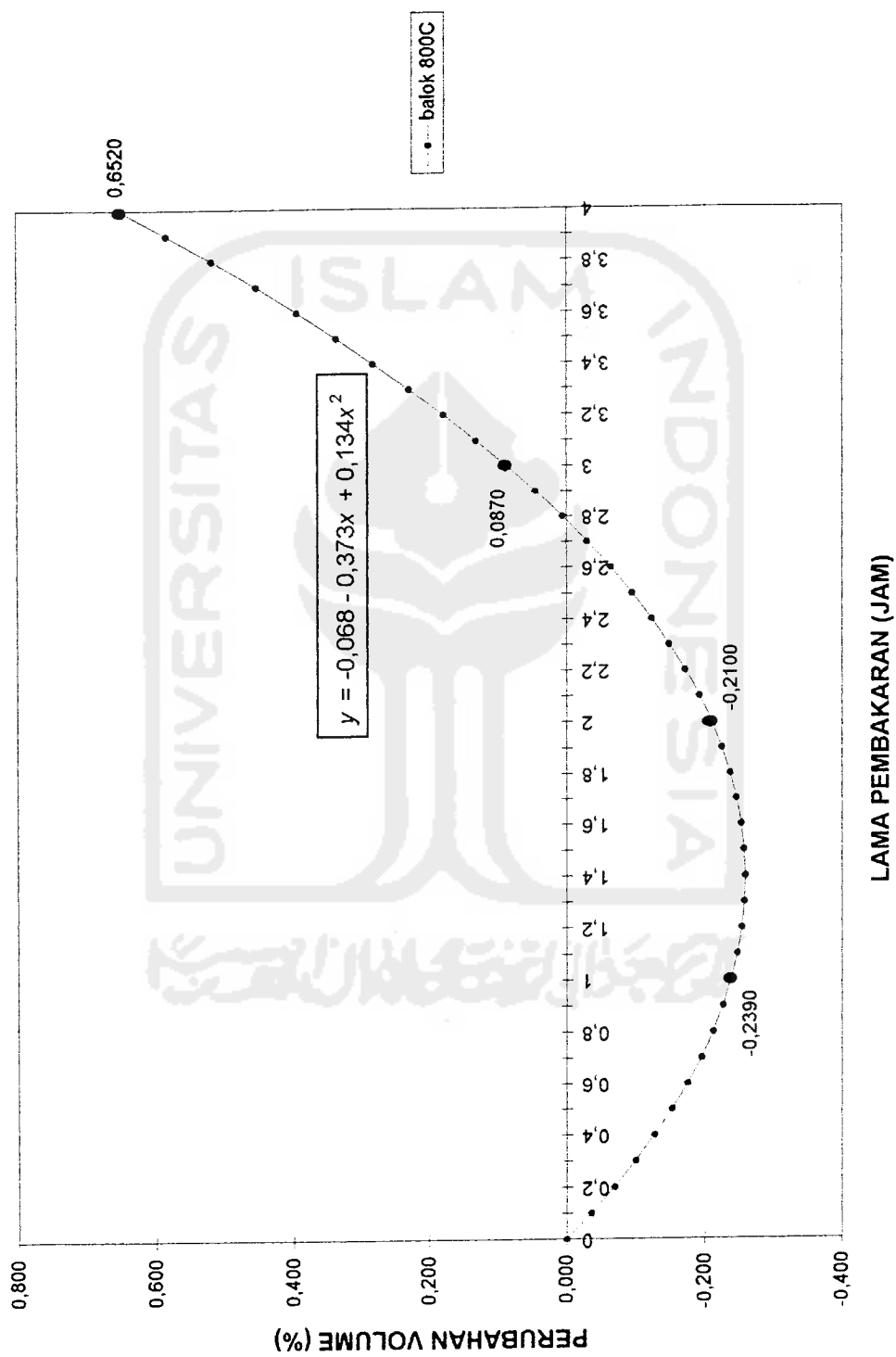
Penurunan berat ini disebabkan karena kehilangan air yang terkandung pada beton akibat pembakaran. Suhu yang tinggi dan lama pembakaran berpengaruh pada kedalaman-pengaruh panas dan menyebabkan penguapan air pada beton tersebut, sehingga terjadi perubahan volume benda uji setelah pembakaran. Perubahan tersebut ada yang berupa penyusutan dan ada yang berupa pemuaian. Hasil penelitian yang dilakukan memperlihatkan bahwa pada pembakaran dengan suhu tertentu (baik  $400^{\circ}\text{C}$  maupun  $800^{\circ}\text{C}$ ) benda uji mengalami penyusutan pada lama pembakaran 1 jam. Pada pembakaran dengan jangka waktu yang lebih lama, penyusutan semakin berkurang dan bahkan terjadi pemuaian. Balok yang dibakar pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1, 2, 3 dan 4 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,239 %, -0,210 %, 0,087 % dan 0,652 %. Kubus yang dibakar pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  selama 1, 2, 3 dan 4 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,253 %, -0,327 %, -0,224 % dan 0,058 %. Kubus yang dibakar pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1, 2, 3 dan 4 jam mengalami

perubahan berturut-turut sebesar  $-0,154\%$ ,  $-0,140\%$ ,  $-0,040\%$  dan  $0,386\%$ . Tanda minus (-) pada prosentase perubahan volume di atas berarti penyusutan. Perubahan volume untuk semua benda uji ini merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian ( lampiran 16, 17 dan 18). Grafik perubahan volume untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.





Gambar 4.3 Grafik Prosentase Perubahan Volume Kubus terhadap Lama Pembakaran



Gambar 4.4 Grafik Prosentase Perubahan Volume Balok terhadap Lama Pembakaran

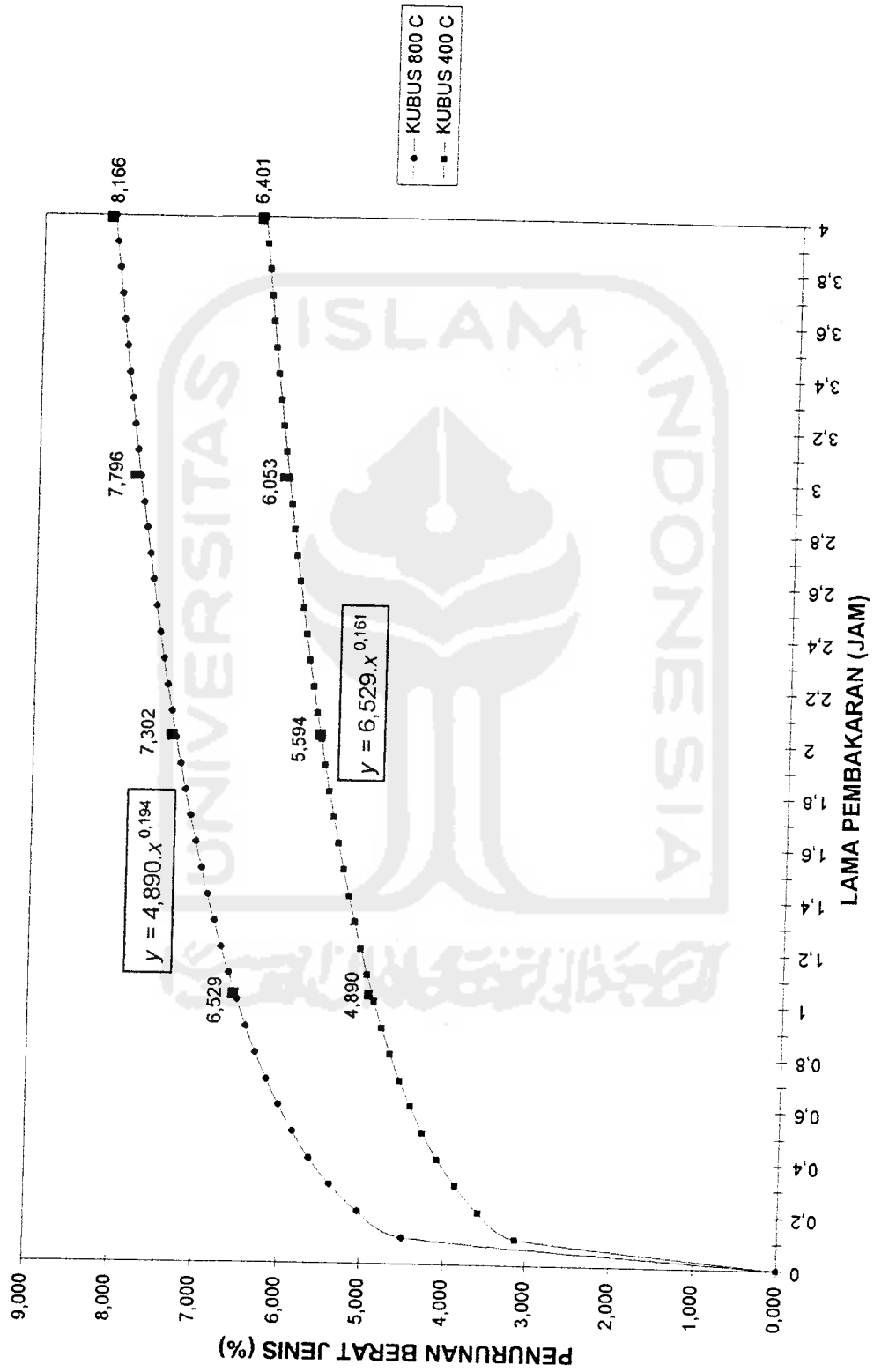
Gambar 4.3 menunjukkan adanya penurunan volume pada kubus beton yang dibakar dengan suhu 400°C selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Demikian juga dengan kubus beton yang dibakar pada suhu 800°C selama 1 jam dan 2 jam. Penyusutan yang terjadi pada masing-masing jam pembakaran semakin kecil. Bahkan pada beton yang dibakar dengan suhu 400°C selama 4 jam dan 800°C selama 3 jam dan 4 jam justru mengalami pemuaian.

Penyusutan yang terjadi pada beton yang telah dibakar disebabkan karena kehilangan air yang terdapat pada pasta semen dan pori-pori agregat. Proses ini terjadi pada lama pembakaran tertentu yang selanjutnya akan diikuti dengan pemuaian secara perlahan agregat dan pasta semen yang telah kehilangan kadar airnya. Pemuaian yang terjadi pada pasta semen dan agregat tidak sama besar, sehingga menimbulkan retak retak pada permukaan beton.

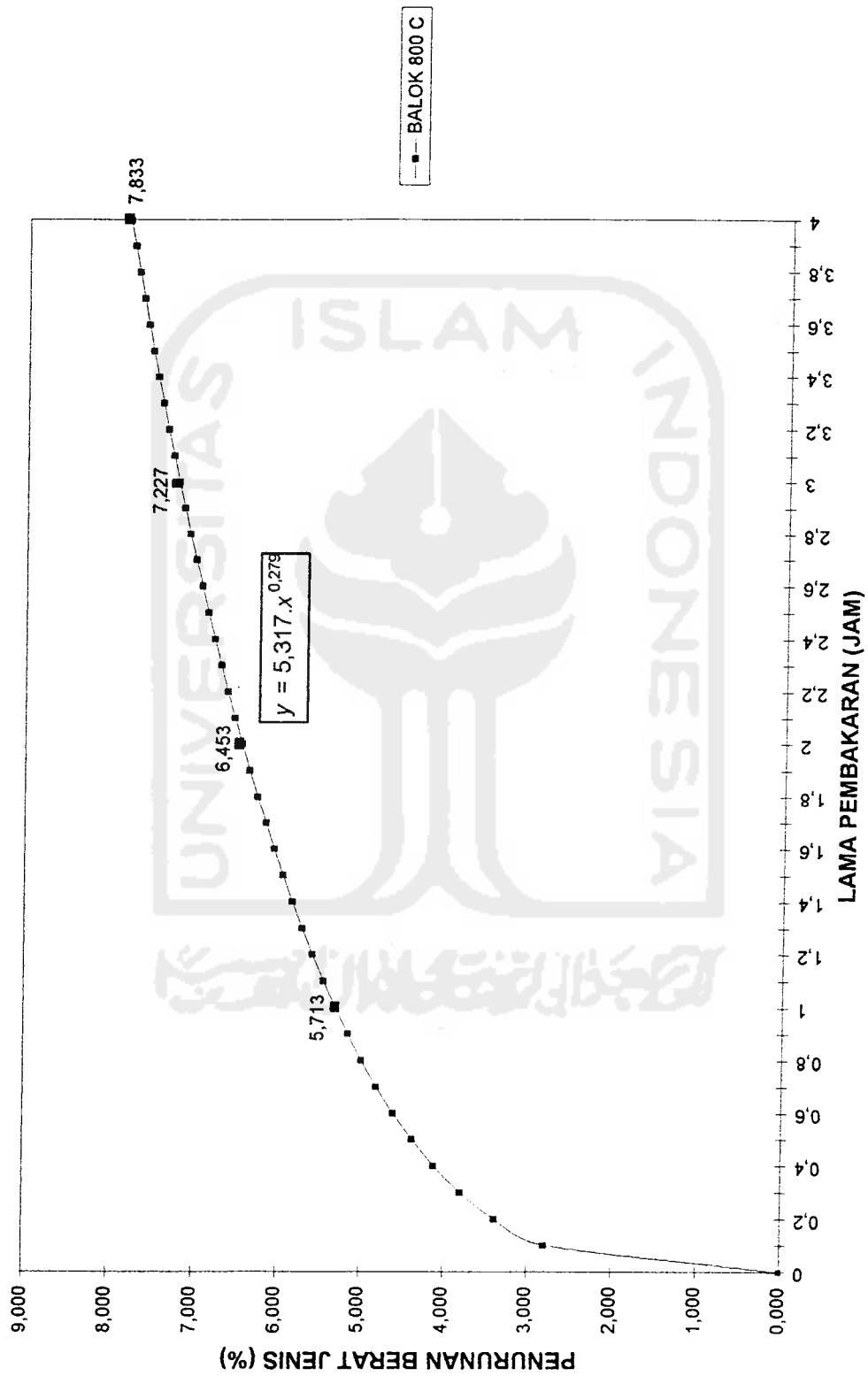
Dari hasil pengukuran benda uji sebelum pembakaran didapat berat jenis benda uji rata-rata sebesar 2,50 ton/m<sup>3</sup>. Sedangkan setelah benda uji lentur mengalami pembakaran pada suhu 800°C, berat jenis akan turun sebesar 5,713 % untuk lama pembakaran 1 jam, 6,453 % untuk lama pembakaran 2 jam, untuk lama pembakaran 3 jam turun sebesar 7,227 % dan 7,833 % untuk lama pembakaran 4 jam. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 800°C juga mengalami penurunan sebesar 6,529 % untuk lama pembakaran 1 jam, 7,302 % untuk lama pembakaran 2 jam, untuk lama pembakaran 3 jam turun sebesar 7,796 % dan 8,166 % untuk lama pembakaran 4 jam. Sedangkan pada benda uji desak yang dibakar pada suhu 400°C mengalami penurunan sebesar 4,890 % untuk lama pembakaran 1 jam, 5,594 % untuk

lama pembakaran 2 jam, untuk lama pembakaran 3 jam turun sebesar 6,053 % dan 6,401 % untuk lama pembakaran 4 jam. Penurunan berat jenis beton ini merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian (lampiran 19 dan 20). Penurunan berat jenis setelah mengalami pembakaran dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut ini.





Gambar 4.5 Grafik Prosentase Perubahan Berat Jenis Kubus terhadap Lama Pembakaran



Gambar 4.6 Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok Beton terhadap Lama Pembakaran

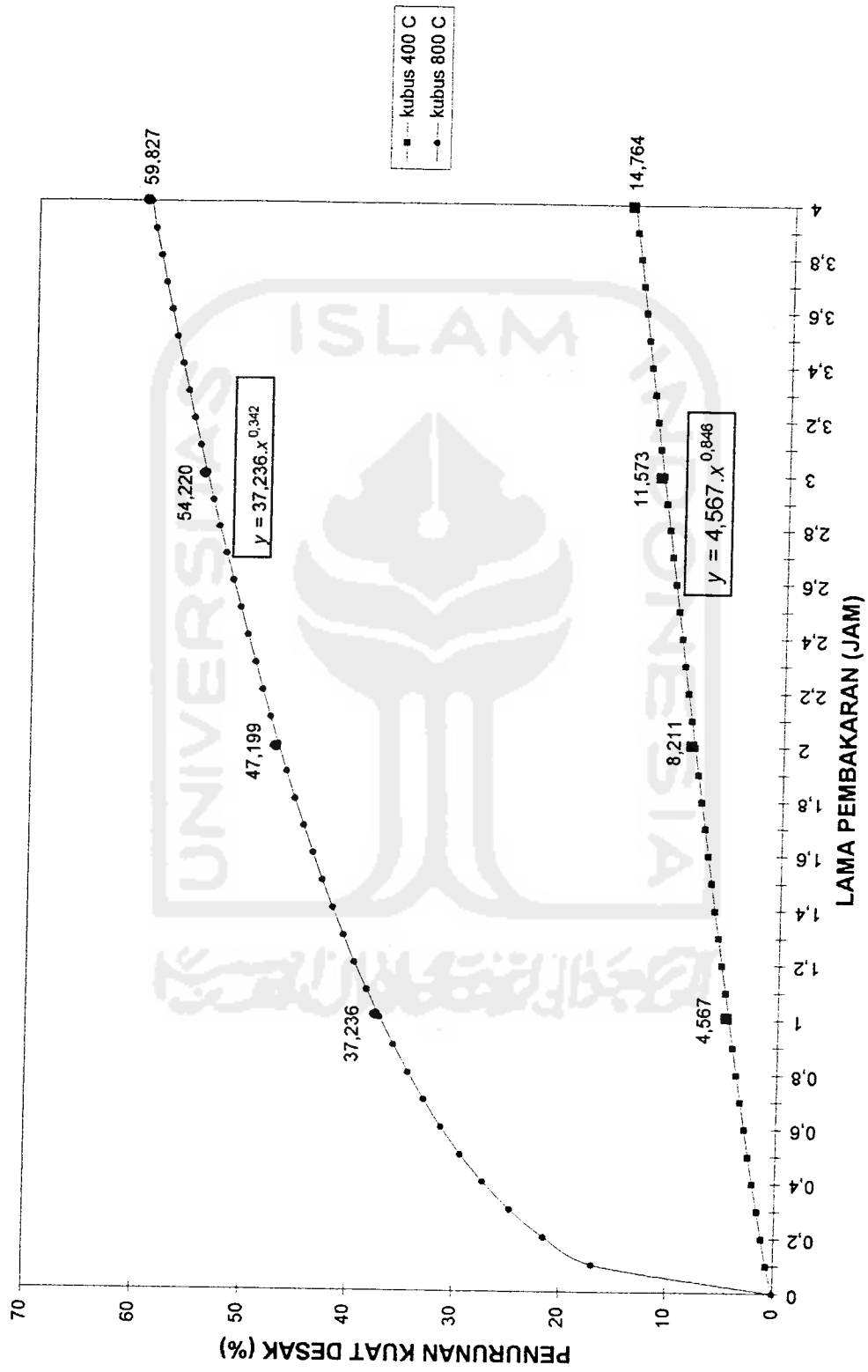


Penurunan berat jenis ini dipengaruhi oleh turunnya berat dan penyusutan atau pemuaian volume benda uji. Kehilangan air dan pemuaian pada pasta semen dan agregat akibat pemanasan berpengaruh terhadap perubahan berat dan perubahan volume yang secara tidak langsung mengakibatkan terjadinya perubahan berat jenis.

#### 4.2.3 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah 300 Kg/cm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian desak untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan desak karakteristik beton sebesar 398,939 kg/cm<sup>2</sup>. Kuat desak hasil pengujian ini nantinya akan dipakai sebagai pembanding terhadap kuat desak beton setelah dibakar.

Hasil pengujian desak beton setelah dibakar memperlihatkan nilai kuat desak yang semakin turun bersamaan dengan bertambah lamanya waktu pembakaran, hal ini dapat dilihat pada prosentase penurunan kuat desak yang digambarkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4.7 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak terhadap Lama Pembakaran

Dari gambar 4.7 dapat dilihat prosentase penurunan kuat desak yang tajam pada pembakaran dengan suhu  $800^{\circ}\text{C}$  selama 1, 2, 3 dan 4 jam. Berbeda dengan hasil pengujian beton yang dibakar pada  $400^{\circ}\text{C}$ , dimana prosentase penurunan kuat desak beton yang terjadi tidak begitu drastis.

Grafik 4.7 merupakan grafik prosentase penurunan kuat desak yang diambil dari data pengujian setelah dilakukan analisa regresi (lampiran 21). Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar dengan suhu  $400^{\circ}\text{C}$ , keadaan beton hancur dengan jumlah agregat yang pecah lebih besar dari pada agregat yang terlepas. Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak dekat dengan permukaan, sedangkan agregat yang mengalami pecah letaknya di bagian yang lebih dalam. Perbandingan jumlah agregat pecah dan terlepas ini menunjukkan lekatan antara agregat dengan pasta semen masih baik. Agregat yang mengalami lepas pada saat diuji desak disebabkan oleh hilangnya lekatan antara pasta semen dengan agregat.

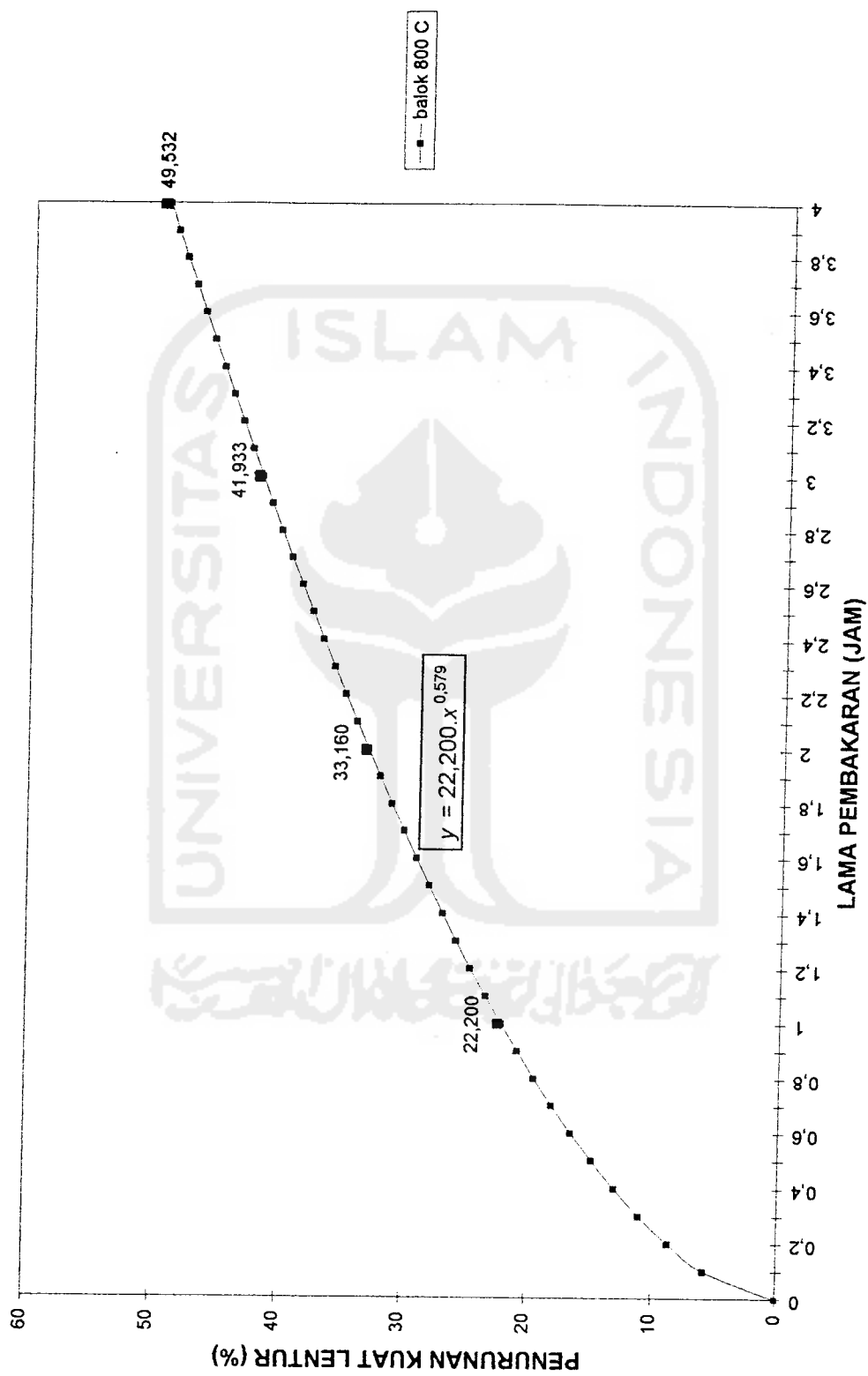
Perbedaan kondisi ini terjadi karena bagian yang lebih luar menerima panas yang lebih besar sehingga terjadi kehilangan air. Ini menyebabkan penyusutan dan Kalsium Karbonat pada pasta semen terdekarbonasi menjadi bentuk Kalsium Oksida yang ikatannya sangat lemah dan berwarna keputihan. Bagian yang lebih dalam menerima panas yang lebih sedikit sehingga yang terjadi hanya kehilangan air dan panas yang diterima dipakai sebagai tambahan energi untuk melaksanakan proses hidrasi yang belum sempurna di bagian dalam.

Untuk beton yang diuji setelah dibakar pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ , kondisi pecah beton lebih didominasi oleh lepasnya agregat. Penyebab kejadian tersebut adalah suhu yang

lebih tinggi masuk ke bagian dalam dan tidak hanya menghilangkan kadar air, akan tetapi juga menyebabkan Kalsium Karbonat pada pasta semen yang letaknya lebih dalam terdekarbonasi. Akibatnya kekuatan lekat antara pasta semen dan agregat berkurang bahkan hilang.

#### 4.2.4 Kekuatan Lentur Beton

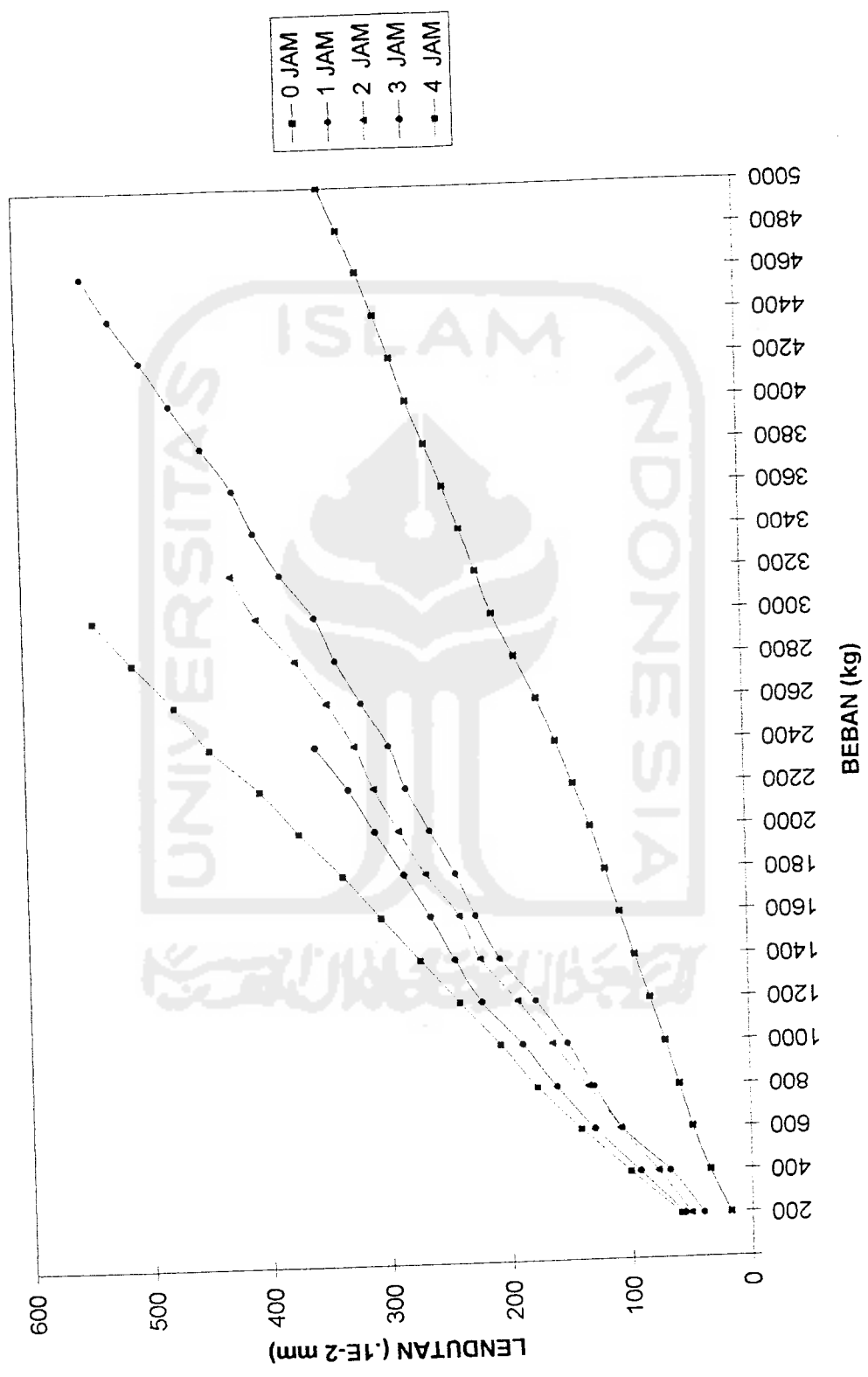
Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana ( $M_r$ ) sebesar 6,066 kNm. Perhitungan ini didasarkan pada hasil uji tarik baja tulangan yang akan dipakai sebesar 2822,223 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat desak beton karakteristik yang direncanakan yaitu sebesar 30 MPa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang dibuat memberikan hasil kuat lentur aktual sebesar 9,789 kNm. Pada pengujian terhadap benda uji yang telah dibakar dengan suhu 800°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam memberikan hasil kuat lentur berturut-turut sebesar 7,8312 kNm, 5,8047 kNm, 5,6820 kNm dan 5,4171 kNm. Kuat lentur ini merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian lentur (lampiran 22 dan 23). Besarnya prosentase penurunan kuat lentur setelah pembakaran dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 4.8 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok terhadap Lama Pembakaran

Penurunan kuat lentur yang terjadi pada hasil pengujian disebabkan oleh turunnya kuat desak beton akibat terkena panas. Dari grafik 4.8 di atas terlihat bahwa pada balok yang terbakar selama satu dan dua jam terjadi penurunan kuat lentur yang tajam, sedangkan pada pembakaran selama tiga dan empat jam penurunan kuat lentur beton bertambah relatif sedikit. Hal ini sebanding dengan nilai kuat desak beton setelah pembakaran pada suhu  $800^{\circ}\text{C}$ , selama satu dan dua jam terjadi penurunan kuat desak yang tajam, sedangkan pada pembakaran selama tiga dan empat jam penurunan yang terjadi bertambah relatif kecil.

Penurunan kuat lentur balok ini juga dapat diamati dari besarnya lendutan yang terjadi pada saat pengujian. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan besarnya lendutan dengan lama pembakaran, yang dibakar selama 1, 2, 3 dan 4 jam. Besarnya lendutan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Grafik Lendutan Pada Pembakaran 800 C

#### 4.2.5 Kuat Tarik baja

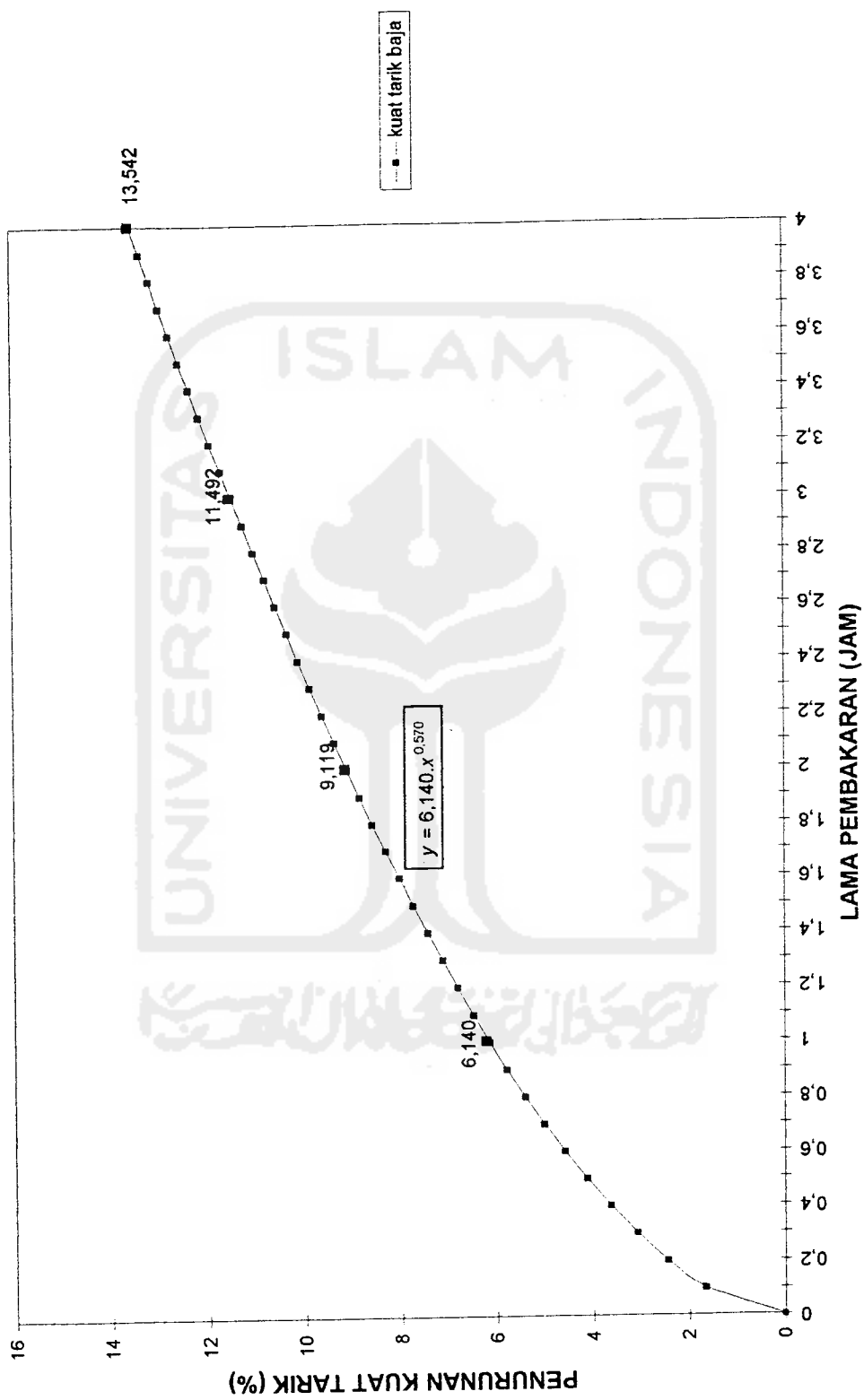
Kuat tarik baja yang didapat pada pengujian awal dalam penelitian ini sebesar 2822,223 kg/cm<sup>2</sup>. Setelah uji lentur balok dilakukan, baja tarik yang telah terkena beban lentur pada balok mempunyai kuat tarik rata-rata sebesar 2730,9256 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan kuat tarik baja yang telah mengalami pembakaran selama 1, 2, 3 dan 4 jam dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Kuat Tarik Baja Setelah Pembakaran 800°C

Lama Pembakaran (jam)	Kuat Tarik Baja (kg/cm <sup>2</sup> )
0	2730,9256
1	2560,8532
2	2483,0905
3	2434,3337
4	2343,2165

Pada gambar 4.10 ditampilkan prosentase penurunan yang telah diregresi (lampiran 24) dari kuat tarik baja sesudah dibakar dan terkena lentur.



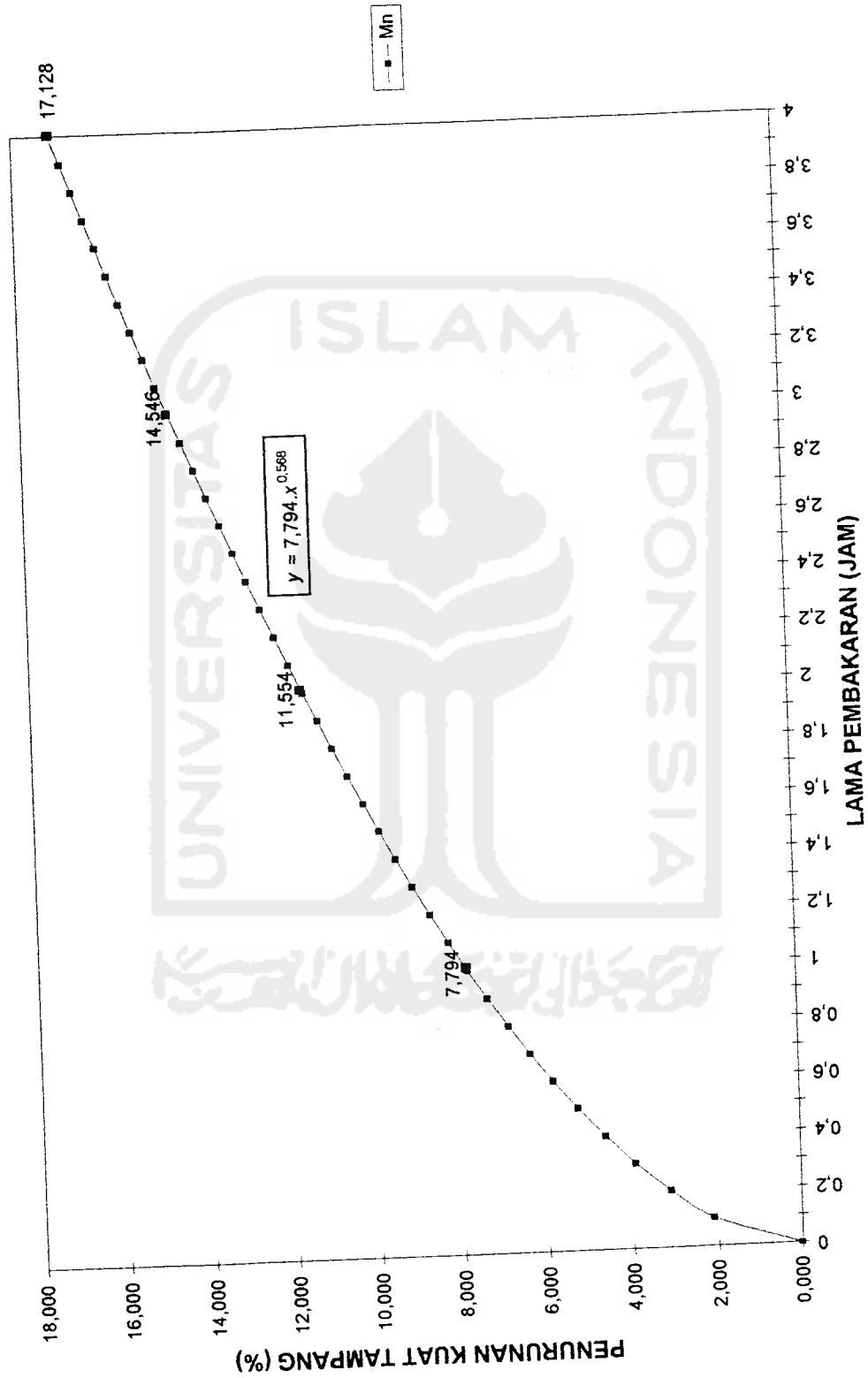


Gambar 4.10 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja terhadap Lama Pembakaran

Penurunan kuat tarik baja yang nampak pada gambar 4.10 memperlihatkan prosentase nilai yang relatif kecil bila dibandingkan dengan prosentase penurunan kuat desak beton yang terbakar pada suhu yang sama. Hal ini disebabkan karena bahan susun baja bersifat lebih kekal pada suhu 800C, dan kekuatannya berangsur-angsur kembali sejalan dengan pendinginan, meskipun tidak kembali 100 %. Penurunan ini mungkin akan lebih besar jika baja tersebut diuji tarik ketika masih panas. Disamping itu baja tulangan tidak terkena panas secara langsung, tetapi hanya panas rambatan yang kemungkinan suhunya lebih kecil dari suhu luarnya.

#### 4.2.6 Kekuatan Tampang Balok

Kekuatan tampang balok beton bertulang diukur besarnya dari momen nominal maksimum ( $M_n$ ) yang mampu ditahan oleh balok tersebut. Dengan mengambil data kuat desak beton dan kuat tarik baja setelah pembakaran pada suhu 800°C selama 1, 2, 3 dan 4 jam sebagai data perhitungan  $M_n$  (lampiran 25, 26, 27 dan 28), maka didapatkan hasil seperti yang digambarkan pada grafik 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tampang Balok terhadap Lama Pembakaran

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh pembakaran terhadap beton tanpa meninjau pengaruh unsur karbon dan oksigen, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Akibat pembakaran, beton akan mengalami penurunan kuat desak dan berat jenis yang bervariasi tergantung tingginya suhu dan lamanya pembakaran, sehingga akan mempengaruhi kuat lentur balok beton bertulang.
2. Balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800C selama 1 jam, mengalami penurunan kuat lentur sebesar 20 %, sehingga balok beton bertulang tersebut masih bisa dipakai dengan pengurangan beban sesuai dengan kekuatan yang ada.
3. Untuk balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800C selama 2, 3 dan 4 jam harus direnovasi total, karena penurunan kekuatannya lebih dari 40%.

4. Didapatkan angka parameter sebesar  $(7,534.n^{-0,263})$  guna mencari kuat lentur yang terjadi pada suhu 800C selama n jam pembakaran untuk beton bertulang dengan spesifikasi seperti dalam penelitian ini.

## 5.2 Saran-saran

Saran-saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian, pembahasan dan kesimpulan adalah sebagai berikut ini.

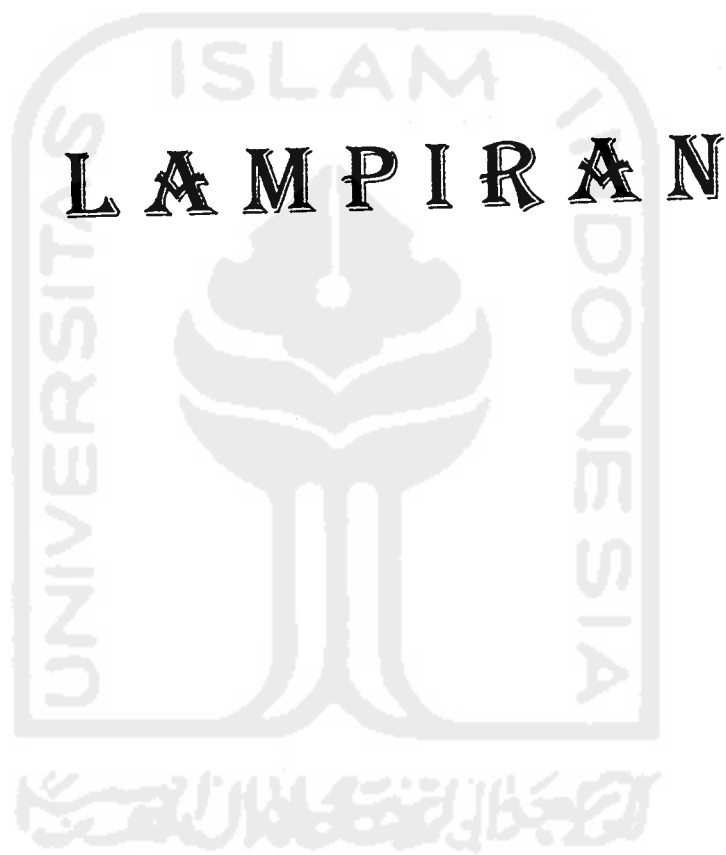
1. Pada saat pembuatan benda uji sebaiknya dilakukan dalam satu adukan sehingga didapatkan mutu beton yang seragam.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pembakaran beton dengan variasi mutu beton dan mutu baja tulangan.
3. Perlu dilakukan penelitian yang lebih rinci rentang suhu dan lama pembakarannya.
4. Sebaiknya dilakukan penelitian yang memperhitungkan pendinginan setelah pembakaran dengan penyiraman air, sehingga diperoleh kondisi yang mendekati sesungguhnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. \_\_\_\_\_, 1991, **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG SK SNI T-15-1991-03**, DPU, LPMB, Bandung.
2. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 N.I- 2**, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Republik Indonesia, Bandung.
3. Hansen, T.C., 1976, **TEXT BOOK OF CONCRETE TECHNOLOGY**, Ministry of Public Work and Electrical Power, Directorate General of Housing, Planning and Urban Development and U.N. Regional Housing Devide for The Escape Region, Jakarta.
4. Istimawan Dipohusodo, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
5. Kardiyono Tjokrodikuljo, 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

6. Nawy, Edward G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan oleh Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc., PT. Eresco, Bandung.
7. Neville, A.M., 1975, **PROPERTIES OF CONCRETE**, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
8. W.M. Lin, T.D. Lin, and L.J. Powers-Couche, **MICROSTRUCTURES OF FIRE-DAMAGE CONCRETE**, ACI Materials Journal, V.93, No. 3, 1996, pp. 199-205.





**LAMPPIRAN**



ANALISA BAHAN

1. Pasir

Asal : S. Progo

a.1 Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian :

Berat pasir kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	120,0 gr
Berat pasir kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	118,2 gr
Kadar Lumpur = $\frac{A - B}{B} \times 100\%$		1,5228%

Hasil pengujian menunjukkan kadar lumpur pada pasir sebesar 1,5228 % < 5%, Jadi pasir bisa dipakai tanpa dicuci terlebih dahulu.

a.2 Pemeriksaan Berat Jenis pasir (keadaan SSD)

Hasil pengujian :

Volume air dalam gelas ukur	(A)	300 cc
Berat pasir (Keadaan SSD)	(B)	200 gr
Volume air + pasir	(C)	378 cc
BJ kondisi SSD = $\frac{B}{C - A}$		2,56 gr/cc

a.3 Pemeriksaan Modulus Halus Butiran (MHB)

Hasil pengujian :

Ukuran saringan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
9,51	0	0	0
4,76	51,374	2,569	2,569
2,38	206,154	10,308	12,877
1,19	380,774	19,039	31,916
0,60	675,474	33,774	65,690
0,30	439,274	21,964	87,654
0,149	182,474	9,124	96,778
Panci	64,474	3,224	-
Total	2000,000	100,000	297,484

$$\text{MHB Pasir} = \frac{297,484}{100} = 2,97484$$

## 2. Split

## a. Pemeriksaan kadar lumpur

Hasil pengujian :

Berat Split kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	211,5 gr
Berat Split kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	211,2 gr
Kadar Lumpur = $\frac{A - B}{B} \times 100\%$		0,142 %

Catatan : Split yang dibeli sangat tinggi kadar lumpurnya, sehingga sebelum pengujian dilakukan pencucian. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah kadar lumpur hasil pencucian cukup memenuhi syarat atau tidak.

Hasil pengujian setelah pencucian menunjukkan kadar lumpur pada Split sebesar 0,142 % < 5%, Jadi Split bisa dipakai.

## b. Pemeriksaan Berat Jenis (keadaan SSD)

Hasil pengujian :

Volume air dalam gelas ukur	(A)	300 cc
Berat Split (Keadaan SSD)	(B)	200 gr
Volume air + Split	(C)	380 cc
BJ kondisi SSD = $\frac{B}{C - A}$		2,5 gr/cc

## c. Pemeriksaan BJ kering tusuk

Hasil pengujian :

Berat wadah kosong	(A)	104,74 gr
Berat wadah + air	(B)	1112,0 gr
Berat wadah + Split kering tusuk	(C)	1722,5 gr
BJ Kering tusuk = $\frac{C - A}{B - A}$		1,606

## DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 800 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)
	15,31	15,13	15,21		
A0	15,34	15,10	15,23	3510,81	8,430
	15,36	15,09	15,02		
rata-rata	15,34	15,11	15,15		
	14,94	15,25	15,00		
B0	14,92	15,33	14,95	3425,55	8,352
	14,91	15,39	14,99		
rata-rata	14,92	15,32	14,98		
	15,22	14,94	15,13		
C0	15,19	15,00	15,11	3443,57	8,417
	15,17	15,06	15,09		
rata-rata	15,19	15,00	15,11		
	15,11	15,14	15,11		
A1	15,17	15,13	15,18	3485,64	8,422
	15,28	15,02	15,32		
rata-rata	15,19	15,10	15,20		
	15,14	14,97	15,18		
B1	15,14	15,02	15,21	3447,43	8,326
	15,08	15,00	15,22		
rata-rata	15,12	15,00	15,20		
	15,43	15,13	14,83		
C1	15,40	15,14	14,99	3468,18	8,400
	15,25	15,07	15,00		
rata-rata	15,36	15,11	14,94		
	15,17	15,06	15,21		
A2	15,09	14,96	15,13	3426,92	8,212
	15,03	14,95	15,09		
rata-rata	15,10	14,99	15,14		
	15,09	15,30	15,08		
B2	15,07	15,37	14,90	3456,05	8,451
	15,02	15,36	14,89		
rata-rata	15,06	15,34	14,96		
	15,08	15,16	15,06		
C2	15,10	15,16	14,95	3428,47	8,312
	15,10	15,08	15,02		
rata-rata	15,09	15,13	15,01		
	15,11	14,85	15,24		
A3	15,08	14,86	15,19	3412,92	8,311
	15,10	14,88	15,20		
rata-rata	15,10	14,86	15,21		

## Lanjutan Lampiran 3

	15,12	15,02	15,12		
B3	15,09	14,90	15,05	3395,17	8,278
	15,05	14,86	15,06		
rata-rata	15,09	14,93	15,08		
	14,99	14,94	14,98		
C3	14,96	15,00	15,05	3375,74	8,178
	14,97	15,06	15,06		
rata-rata	14,97	15,00	15,03		
	14,67	15,11	15,09		
A4	14,73	15,10	15,10	3368,30	8,238
	14,83	15,07	15,22		
rata-rata	14,74	15,09	15,14		
	15,21	15,15	14,87		
B4	15,15	15,17	14,97	3435,20	8,355
	15,01	15,19	15,08		
rata-rata	15,12	15,17	14,97		
	15,11	15,20	15,29		
C4	15,13	15,21	15,27	3500,16	8,331
	15,02	15,24	15,18		
rata-rata	15,09	15,22	15,25		

Sejalan dengan semakin berkurangnya kuat lentur benda uji, maka lendutan yang terjadi pada beban yang sama akan semakin besar. Hal ini ternyata terbukti benar pada penelitian yang dilakukan terhadap balok yang dibakar pada suhu 800C selama 1, 2, 3, dan 4 jam. Semakin lama pembakaran, kuat lentur akan semakin berkurang akibat menurunnya kuat desak beton, dan ini akan mengakibatkan lendutan yang terjadi semakin besar.

Prosentase penurunan kuat lentur yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan prosentase penurunan kuat desak beton yang dibakar dengan suhu dan lama pembakaran yang sama. Perbedaan prosentase ini dikarenakan pada balok beton bertulang terdapat baja tulangan yang pada pembakaran dengan suhu dan lama pembakaran tersebut mengalami penurunan kuat tarik yang tidak banyak seperti terurai pada sub-bab berikut.

Dengan mengetahui besarnya penurunan kuat lentur yang terjadi maka dapat diambil suatu keputusan yang tepat terhadap bangunan dengan struktur beton bertulang yang mengalami kebakaran.

Kuat lentur yang terjadi pada balok beton yang dibakar selama 1 jam pada suhu 800C memperlihatkan penurunan yang tidak begitu besar, sehingga pada kasus seperti ini konstruksi beton bertulang masih dapat dipertahankan meskipun harus diperhitungkan dengan pemakaian beban yang lebih kecil dari beban rencana semula. Apalagi jika mengingat faktor aman yang cukup besar pada saat perencanaan.

## DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 800 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	P (kN)	$\sigma_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	15,31	15,13	15,21				
A0	15,34	15,10	15,23	3510,81	8,430	905	398,037
	15,36	15,09	15,02				
rata-rata	15,34	15,11	15,15				
	14,94	15,25	15,00				
B0	14,92	15,33	14,95	3425,55	8,352	905	403,277
	14,91	15,39	14,99				
rata-rata	14,92	15,32	14,98				
	15,22	14,94	15,13				
C0	15,19	15,00	15,11	3443,57	8,417	900	402,413
	15,17	15,06	15,09				
rata-rata	15,19	15,00	15,11				401,242
	15,10	15,11	15,10				
A1	15,15	15,12	15,18	3474,15	7,844	545	242,871
	15,25	15,00	15,30				
rata-rata	15,17	15,08	15,19				
	15,14	14,97	15,16				
B1	15,13	15,01	15,16	3436,37	7,757	685	308,175
	15,05	15,00	15,20				
rata-rata	15,11	14,99	15,17				
	15,40	15,12	14,82				
C1	15,40	15,12	14,97	3458,29	7,838	605	266,092
	15,22	15,07	14,99				
rata-rata	15,34	15,10	14,93	3456,27			272,379
	15,18	15,05	15,20				
A2	15,07	15,00	15,14	3420,88	7,600	550	247,878
	15,00	14,92	15,05				
rata-rata	15,08	14,99	15,13				
	15,04	15,31	15,07				
B2	15,05	15,35	14,94	3444,20	7,835	550	243,027
	15,02	15,35	14,80				
rata-rata	15,04	15,34	14,94				
	15,04	15,15	15,06				
C2	15,09	15,15	14,90	3420,12	7,649	500	223,308
	15,10	15,10	15,01				
rata-rata	15,08	15,13	14,99				238,071
	15,12	14,90	15,24				
A3	15,10	14,85	15,20	3420,53	7,621	355	160,892
	15,10	14,90	15,20				
rata-rata	15,11	14,88	15,21				

Lanjutan Lampiran 4

	15,12	15,00	15,12				
B3	15,10	14,94	15,07	3401,97	7,649	500	225,847
	15,06	14,90	15,05				
rata-rata	15,09	14,95	15,08				
	15,00	14,96	15,00				
C3	14,99	15,00	15,02	3376,87	7,586	445	201,670
	14,98	15,05	15,04				
rata-rata	14,99	15,00	15,02				196,136
	14,70	15,11	15,10				
A4	14,70	15,15	15,11	3375,78	7,628	455	207,894
	14,85	15,10	15,20				
rata-rata	14,75	15,12	15,14				
	15,25	15,15	14,90				
B4	15,17	15,18	15,00	3450,42	7,622	455	201,561
	15,05	15,20	15,10				
rata-rata	15,16	15,18	15,00				
	15,15	15,20	15,30				
C4	15,15	15,25	15,31	3507,86	7,722	395	175,022
	15,01	15,23	15,15				
rata-rata	15,10	15,23	15,25				194,826

## DATA BENDA UJI LENTUR SEBELUM PEMBAKARAN 800 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)
	100,10	15,10	19,80		
A0	100,10	15,27	20,00	30215,81	75,50
	100,00	15,08	20,00		
rata-rata	100,07	15,15	19,93		
	99,50	14,90	20,15		
B0	100,05	15,00	20,00	30026,56	75,10
	100,10	15,08	20,00		
rata-rata	99,88	14,99	20,05		
	99,90	14,88	19,80		
C0	99,90	14,81	20,00	29621,18	75,10
	99,90	14,94	20,00		
rata-rata	99,90	14,88	19,93		
	100,00	15,09	19,95		
A1	99,90	15,16	20,00	30258,53	75,45
	100,10	15,10	20,10		
rata-rata	100,00	15,12	20,02		
	100,00	15,08	20,00		
B1	99,95	15,11	19,85	30026,77	74,10
	100,00	15,16	19,75		
rata-rata	99,98	15,12	19,87		
	99,65	15,08	20,25		
C1	99,90	15,06	20,20	30513,77	75,90
	99,90	15,00	20,50		
rata-rata	99,82	15,05	20,32		
	99,80	15,35	20,10		
A2	99,90	15,14	20,10	30397,08	75,70
	99,80	15,03	20,00		
rata-rata	99,83	15,17	20,07		
	99,80	14,97	20,20		
B2	99,90	15,43	20,25	30590,73	76,20
	99,90	15,13	20,10		
rata-rata	99,87	15,18	20,18		
	100,00	15,00	20,10		
C2	100,00	15,13	20,00	30146,67	75,70
	100,00	15,09	19,90		
rata-rata	100,00	15,07	20,00		
	100,10	15,00	20,05		
A3	100,15	15,26	20,10	30463,29	75,60
	100,35	15,23	20,00		
rata-rata	100,20	15,16	20,05		



## Lanjutan Lampiran 5

	99,90	15,04	20,10		
B3	99,80	15,22	20,15	30367,50	76,90
	99,90	15,05	20,15		
rata-rata	99,87	15,10	20,13		
	100,00	15,00	19,95		
C3	100,00	15,11	19,90	29840,63	74,20
	100,10	15,05	19,60		
rata-rata	100,03	15,05	19,82		
	100,10	15,00	20,20		
A4	100,00	15,05	20,25	30364,87	75,75
	100,00	14,92	20,30		
rata-rata	100,03	14,99	20,25		
	99,95	14,85	20,00		
B4	100,00	15,09	20,00	30073,36	75,40
	99,95	15,11	20,10		
rata-rata	99,97	15,02	20,03		
	99,60	14,44	20,20		
C4	99,90	14,92	20,30	30069,78	76,90
	100,15	15,13	20,40		
rata-rata	99,88	14,83	20,30		

## DATA BENDA UJI LENTUR SETELAH PEMBAKARAN 800 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (kg)	P max (kg)
	100,10	15,10	19,80			
A0	100,10	15,27	20,00	30215,81	75,50	6600,00
	100,00	15,08	20,00			
rata-rata	100,07	15,15	19,93			
	99,50	14,90	20,15			
B0	100,05	15,00	20,00	30026,56	75,10	6550,00
	100,10	15,08	20,00			
rata-rata	99,88	14,99	20,05			
	99,90	14,88	19,80			
C0	99,90	14,81	20,00	29621,18	75,10	6800,00
	99,90	14,94	20,00			
rata-rata	99,90	14,88	19,93			6650,00
	100,00	14,90	20,00			
A1	100,00	15,00	20,00	29933,33	70,20	4710,00
	100,00	15,00	20,00			
rata-rata	100,00	14,97	20,00			
	99,90	15,00	20,10			
B1	99,95	15,00	20,20	30067,96	71,10	5550,00
	100,00	14,90	20,00			
rata-rata	99,95	14,97	20,10			
	100,00	14,90	20,50			
C1	99,70	14,80	20,60	30425,87	71,35	5700,00
	99,80	14,90	20,40			
rata-rata	99,83	14,87	20,50			5320,00
	99,70	15,30	20,10			
A2	99,90	15,10	20,10	30323,62	71,50	3180,00
	99,90	15,01	20,00			
rata-rata	99,83	15,14	20,07			
	99,80	15,10	20,16			
B2	99,87	15,30	20,20	30473,49	71,30	3950,00
	100,00	15,05	20,05			
rata-rata	99,89	15,15	20,14			
	100,00	14,90	19,97			
C2	100,05	15,00	20,10	29989,96	71,50	4700,00
	100,00	15,04	19,98			
rata-rata	100,02	14,98	20,02			3943,33
	100,13	15,15	20,10			
A3	100,12	15,29	20,13	30658,62	71,10	2910,00
	100,29	15,29	20,00			
rata-rata	100,18	15,24	20,08			

## Lanjutan Lampiran 6

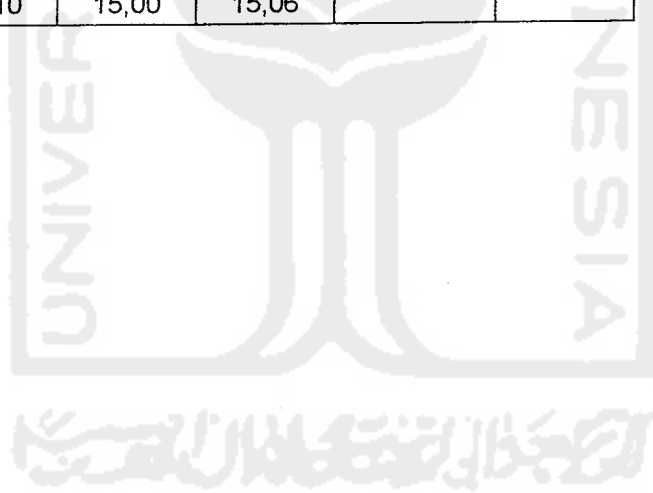
	99,95	15,10	20,14			
B3	99,87	15,20	20,10	30378,06	71,75	4620
	100,00	15,00	20,15			
rata-rata	99,94	15,10	20,13			
	100,07	14,98	19,90			
C3	100,00	15,10	20,00	29863,92	70,30	4050,00
	100,04	15,00	19,70			
rata-rata	100,04	15,03	19,87			3860,00
	100,11	15,10	20,40			
A4	100,07	15,10	20,30	30541,06	69,90	3340,00
	100,05	14,90	20,20			
rata-rata	100,08	15,03	20,30			
	99,80	14,90	20,14			
B4	100,00	15,10	20,10	30220,00	70,40	4300,00
	100,20	15,00	20,20			
rata-rata	100,00	15,00	20,15			
	100,20	14,65	20,20			
C4	100,10	14,85	20,30	30151,68	70,90	3400,00
	100,00	15,00	20,42			
rata-rata	100,10	14,83	20,31			3680,00

## DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 400 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume cm3	Berat (kg)
	15,31	15,13	15,21		
A0	15,34	15,10	15,23	3510,81	8,430
	15,36	15,09	15,02		
rata-rata	15,34	15,11	15,15		
	14,94	15,25	15,00		
B0	14,92	15,33	14,95	3425,55	8,352
	14,91	15,39	14,99		
rata-rata	14,92	15,32	14,98		
	15,22	14,94	15,13		
C0	15,19	15,00	15,11	3443,57	8,417
	15,17	15,06	15,09		
rata-rata	15,19	15,00	15,11		
	15,17	15,17	15,14		
A1-400	15,09	15,20	15,11	3475,72	8,392
	15,07	15,16	15,22		
rata-rata	15,11	15,18	15,16		
	15,16	15,00	15,15		
B1-400	15,17	15,11	15,18	3481,82	8,390
	15,19	15,20	15,25		
rata-rata	15,17	15,10	15,19		
	14,76	15,03	15,19		
C1-400	14,78	15,10	15,27	3403,34	8,362
	14,76	15,14	15,36		
rata-rata	14,77	15,09	15,27		
	15,29	15,04	15,22		
A2-400	15,23	15,06	15,18	3478,67	8,362
	15,19	15,06	15,10		
rata-rata	15,24	15,05	15,17		
	15,18	15,11	15,17		
B2-400	15,09	15,28	15,16	3481,81	8,332
	15,01	15,24	15,17		
rata-rata	15,09	15,21	15,17		
	15,02	15,32	15,45		
C2-400	15,11	15,22	15,47	3551,54	8,662
	15,12	15,23	15,38		
rata-rata	15,08	15,26	15,43		
	14,97	15,20	15,16		
A3-400	15,04	15,15	15,14	3471,02	8,571
	15,10	15,18	15,33		
rata-rata	15,04	15,18	15,21		

Lanjutan Lampiran 7

	15,27	15,05	15,29		
B3-400	15,34	15,10	15,27	3529,32	8,536
	15,36	15,11	15,24		
rata-rata	15,32	15,09	15,27		
	15,03	15,11	14,93		
C3-400	14,98	15,16	14,97	3398,12	8,302
	14,91	15,22	15,00		
rata-rata	14,97	15,16	14,97		
	15,48	15,30	15,34		
A4-400	15,43	15,34	15,40	3634,84	8,915
	15,34	15,27	15,48		
rata-rata	15,42	15,30	15,41		
	15,02	14,98	14,94		
B4-400	15,05	15,04	14,96	3396,04	8,280
	15,07	15,09	15,13		
rata-rata	15,05	15,04	15,01		
	15,08	14,97	15,21		
C4-400	15,10	15,02	14,93	3409,58	8,271
	15,11	15,00	15,04		
rata-rata	15,10	15,00	15,06		



## DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 400 C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume cm <sup>3</sup>	Berat (kg)	P (kN)	$\sigma_k$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	15,31	15,13	15,21				
A0	15,34	15,10	15,23	3510,81	8,430	905	398,037
	15,36	15,09	15,02				
rata-rata	15,34	15,11	15,15				
	14,94	15,25	15,00				
B0	14,92	15,33	14,95	3425,55	8,352	905	403,277
	14,91	15,39	14,99				
rata-rata	14,92	15,32	14,98				
	15,22	14,94	15,13				
C0	15,19	15,00	15,11	3443,57	8,417	900	402,413
	15,17	15,06	15,09				
rata-rata	15,19	15,00	15,11				401,242
	15,10	15,12	15,15				
A1-400	15,07	15,18	15,05	3457,77	7,957	895	399,634
	15,07	15,16	15,20				
rata-rata	15,08	15,15	15,13				
	15,15	15,00	15,13				
B1-400	15,15	15,10	15,20	3470,73	7,951	855	376,953
	15,19	15,15	15,20				
rata-rata	15,16	15,08	15,18				
	14,73	15,01	15,37				
C1-400	14,77	15,03	15,29	3391,23	7,926	900	403,660
	14,76	15,10	15,18				
rata-rata	14,75	15,05	15,28				393,416
	15,27	15,12	15,22				
A2-400	15,23	15,07	15,19	3479,49	7,867	795	353,503
	15,11	15,03	15,14				
rata-rata	15,20	15,07	15,18				
	15,19	15,09	15,14				
B2-400	15,13	15,17	15,13	3471,14	7,816	910	404,543
	15,02	15,24	15,16				
rata-rata	15,11	15,17	15,14				
	15,26	15,08	15,36				
C2-400	15,20	15,03	15,45	3531,30	8,153	915	407,317
	15,20	15,01	15,47				
rata-rata	15,22	15,04	15,43				388,455
	15,12	15,05	15,21				
A3-400	15,15	15,06	15,18	3476,40	8,040	800	356,782
	15,15	15,11	15,31				
rata-rata	15,14	15,07	15,23				

Lanjutan Lampiran 8

	15,40	15,05	15,27				
B3-400	15,31	15,12	15,16	3509,30	7,978	790	352,012
	15,24	15,10	15,12				
rata-rata	15,32	15,09	15,18				
	15,02	15,10	14,94				
C3-400	15,00	15,17	14,90	3385,22	7,788	840	385,631
	14,91	15,24	14,86				
rata-rata	14,98	15,17	14,90				364,808
	15,55	15,39	15,37				
A4-400	15,52	15,39	15,31	3673,58	8,421	865	370,465
	15,40	15,30	15,64				
rata-rata	15,49	15,36	15,44				
	15,05	15,00	15,12				
B4-400	15,09	15,05	14,96	3373,08	7,767	760	344,621
	15,09	15,08	14,95				
rata-rata	14,94	15,04	15,01				
	15,06	14,94	15,00				
C4-400	15,06	14,99	14,93	3394,51	7,769	780	352,238
	15,07	15,01	15,20				
rata-rata	15,06	14,98	15,04				355,775

## DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL TANPA PEMBAKARAN

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)
1	500	27	500	41	500	62
2	1000	53	1000	71	1000	87
3	1500	85	1500	100	1500	115
4	2000	119	2000	123	2000	145
5	2500	151	2500	159	2500	178
6	3000	208	3000	195	3000	219
7	3500	233	3500	226	3500	257
8	4000	270	4000	258	4000	298
9	4500	301	4500	288	4500	331
10	5000	341	5000	326	5000	367
11	5500		5500	330	5500	420
12	6000		6000		6000	
13	6500		6500		6500	
14	7000		7000		7000	
15	7500		7500		7500	



## DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL YANG DIBAKAR SELAMA 1 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)
1	200	29	200	38	200	55
2	400	51	400	68	400	86
3	600	76	600	128	600	119
4	800	103	800	146	800	141
5	1000	135	1000	159	1000	159
6	1200	160	1200	190	1200	181
7	1400	198	1400	218	1400	203
8	1600	210	1600	244	1600	223
9	1800	240	1800	256	1800	230
10	2000	261	2000	280	2000	249
11	2200	285	2200	280	2200	281
12	2400	299	2400	311	2400	276
13	2600	331	2600	330	2600	291
14	2800	349	2800	346	2800	320
15	3000	360	3000	376	3000	331
16	3200	397	3200	393	3200	359
17	3400	412	3400	417	3400	385
18	3600	429	3600	431	3600	406
19	3800	446	3800	451	3800	443
20	4000	477	4000	472	4000	470
21	4200	500	4200	492	4200	498
22	4400	522	4400	520	4400	524
23	4600	537	4600	557	4600	539
24	4800		4800	581	4800	566
25	5000		5000	604	5000	594
26	5200		5200	622	5200	621
27	5400		5400	659	5400	
28	5600		5600		5600	
29	5800		5800		5800	
30	6000		6000		6000	

## DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL YANG DIBAKAR SELAMA 2 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)
1	200	63	200	46	200	45
2	400	95	400	70	400	68
3	600	123	600	104	600	99
4	800	148	800	132	800	125
5	1000	173	1000	158	1000	160
6	1200	200	1200	195	1200	181
7	1400	235	1400	220	1400	213
8	1600	253	1600	240	1600	225
9	1800	280	1800	264	1800	259
10	2000	291	2000	290	2000	284
11	2200	320	2200	296	2200	309
12	2400	337	2400	317	2400	318
13	2600	349	2600	351	2600	339
14	2800	363	2800	369	2800	384
15	3000	412	3000	404	3000	396
16	3200	434	3200	417	3200	423
17	3400		3400	439	3400	455
18	3600		3600	466	3600	
19	3800		3800	491	3800	
20	4000		4000	512	4000	
21	4200		4200	552	4200	
22	4400		4400		4400	
23	4600		4600		4600	
24	4800		4800		4800	
25	5000		5000		5000	
26	5200		5200		5200	
27	5400		5400		5400	
28	5600		5600		5600	
29	5800		5800		5800	
30	6000		6000		6000	

## DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL YANG DIBAKAR SELAMA 3 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)
1	200	37	200	75	200	58
2	400	70	400	108	400	101
3	600	99	600	148	600	144
4	800	125	800	179	800	178
5	1000	150	1000	209	1000	208
6	1200	178	1200	236	1200	253
7	1400	203	1400	260	1400	269
8	1600	231	1600	284	1600	277
9	1800	253	1800	309	1800	294
10	2000	281	2000	331	2000	313
11	2200	307	2200	348	2200	335
12	2400	339	2400	376	2400	357
13	2600	363	2600		2600	378
14	2800	385	2800		2800	400
15	3000		3000		3000	420
16	3200		3200		3200	441
17	3400		3400		3400	463
18	3600		3600		3600	485
19	3800		3800		3800	512
20	4000		4000		4000	
21	4200		4200		4200	
22	4400		4400		4400	
23	4600		4600		4600	
24	4800		4800		4800	
25	5000		5000		5000	
26	5200		5200		5200	
27	5400		5400		5400	
28	5600		5600		5600	
29	5800		5800		5800	
30	6000		6000		6000	

## DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL YANG DIBAKAR SELAMA 4 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	$\delta$ (.10-2 mm)
1	200	71	200	45	200	61
2	400	112	400	87	400	103
3	600	146	600	135	600	142
4	800	175	800	176	800	180
5	1000	200	1000	203	1000	218
6	1200	230	1200	242	1200	250
7	1400	260	1400	278	1400	281
8	1600	290	1600	312	1600	311
9	1800	320	1800	343	1800	345
10	2000	356	2000	380	2000	380
11	2200	384	2200	413	2200	415
12	2400	419	2400	455	2400	460
13	2600	441	2600	493	2600	489
14	2800	487	2800	528	2800	511
15	3000	516	3000	560	3000	547
16	3200		3200	615	3200	562
17	3400		3400	669	3400	597
18	3600		3600	704	3600	627
19	3800		3800	732	3800	651
20	4000		4000		4000	677
21	4200		4200		4200	700
22	4400		4400		4400	
23	4600		4600		4600	
24	4800		4800		4800	
25	5000		5000		5000	
26	5200		5200		5200	
27	5400		5400		5400	
28	5600		5600		5600	
29	5800		5800		5800	
30	6000		6000		6000	

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT VS LAMA PEMBAKARAN  
KUBUS 400 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	5,210	0,0000	0,7168	0,0000	0,0000					
2	2	5,995	0,3010	0,7778	0,2341	0,0906					
3	3	6,309	0,4771	0,8000	0,3817	0,2276					
4	4	6,318	0,6021	0,8006	0,4820	0,3625					
n :	4	Y :	5,958	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,0952	$\Sigma :$	1,0978	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

$$Y : 5,958$$

$$q_r : 0,345$$

$$p_r : 0,774$$

$$B : \frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$$

$$: 0,146$$

$$\log A : p_r - B \cdot q_r$$

$$: 0,723$$

$$A : 5,290$$

$$r : 0,9616$$

No	x	y
1	1	5,290
2	2	5,853
3	3	6,209
4	4	6,475

Dt2	D2
0,5595	0,0064
0,0014	0,0202
0,1232	0,0099
0,1296	0,0248
0,8137	0,0613

KUBUS 800 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	6,796	0,0000	0,8323	0,0000	0,0000					
2	2	7,572	0,3010	0,8792	0,2647	0,0906					
3	3	7,716	0,4771	0,8874	0,4234	0,2276					
4	4	7,832	0,6021	0,8939	0,5382	0,3625					
n :	4	Y :	7,479	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,4927	$\Sigma :$	1,2262	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

$$Y : 7,479$$

$$q_r : 0,345$$

$$p_r : 0,873$$

$$B : \frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$$

$$: 0,103$$

$$\log A : p_r - B \cdot q_r$$

$$: 0,838$$

$$A : 6,881$$

$$r : 0,9600$$

No	x	y
1	1	6,881
2	2	7,390
3	3	7,705
4	4	7,937

Dt2	D2
0,4665	0,0073
0,0086	0,0331
0,0562	0,0001
0,1246	0,0110
0,6559	0,0514

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT VS LAMA PEMBAKARAN  
BALOK 800 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	5,678	0,0000	0,7542	0,0000	0,0000					
2	2	6,889	0,3010	0,8382	0,2523	0,0906					
3	3	6,992	0,4771	0,8446	0,4030	0,2276					
4	4	7,389	0,6021	0,8686	0,5229	0,3625					
n :	4	Y :	6,737	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,3055	$\Sigma :$	1,1782	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 6,737

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 0,826

B :  $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

: 0,184

$\log A$  :  $p_r - B \cdot q_r$

: 0,763

A : 5,793

r : 0,9609

No	x	y
1	1	5,793
2	2	6,581
3	3	7,091
4	4	7,476

Dt2	D2
1,1215	0,0131
0,0231	0,0950
0,0650	0,0098
0,4251	0,0076
1,6347	0,1255

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME KUBUS DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN

Data perubahan volume KUBUS yang dibakar 400C

x1	0	1	2	3	4
y1	0	-0,397	-0,286	-0,265	0,007

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk :

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma xi & \Sigma xi^2 \\ \Sigma xi & \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 \\ \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 & \Sigma xi^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma yi \\ \Sigma xi yi \\ \Sigma xi^2 yi \end{bmatrix}$$

hitungan dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	xi	yi	xi <sup>2</sup>	xi <sup>3</sup>	xi <sup>4</sup>	xiyi	xi <sup>2</sup> yi								
1	0	0	0	0	0	0	0								
2	1	-0,397	1	1	1	-0,397	-0,397								
3	2	-0,286	4	8	16	-0,572	-1,144								
4	3	-0,265	9	27	81	-0,795	-2,385								
5	4	0,007	16	64	256	0,028	0,112								
n	5	Σxi	10	Σyi	-0,941	Σxi <sup>2</sup>	30	Σxi <sup>3</sup>	100	Σxi <sup>4</sup>	354	Σxiyi	-1,736	Σxi <sup>2</sup> yi	-3,814

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 5 a_0 + 10 a_1 + 30 a_2 &= -0,941 \\ 10 a_0 + 30 a_1 + 100 a_2 &= -1,736 \\ 30 a_0 + 100 a_1 + 354 a_2 &= -3,814 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,039 \\ a_1 &= -0,342 \\ a_2 &= 0,089 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,039] + [-0,342] x + [0,089] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN KUBUS (%)

	kubus 400 C
0	-0,0391
1	-0,2919
2	-0,3665
3	-0,2627
4	0,0193

KOREKSI

	kubus 400C
0	0,0000
1	-0,2528
2	-0,3274
3	-0,2236
4	0,0584

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME KUBUS DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN

Data perubahan volume KUBUS yang dibakar 800C

x1	0	1	2	3	4
y1	0	-0,312	-0,254	0,153	0,250

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk :

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma xi & \Sigma xi^2 \\ \Sigma xi & \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 \\ \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 & \Sigma xi^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma yi \\ \Sigma xi yi \\ \Sigma xi^2 yi \end{bmatrix}$$

hitungan dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	xi	yi	xi <sup>2</sup>	xi <sup>3</sup>	xi <sup>4</sup>	xiyi	xi <sup>2</sup> yi								
1	0	0	0	0	0	0	0								
2	1	-0,312	1	1	1	-0,312	-0,312								
3	2	-0,254	4	8	16	-0,508	-1,016								
4	3	0,153	9	27	81	0,459	1,377								
5	4	0,250	16	64	256	1,000	4,000								
n	5	Σxi	10	Σyi	-0,163	Σxi <sup>2</sup>	30	Σxi <sup>3</sup>	100	Σxi <sup>4</sup>	354	Σxiyi	0,639	Σxi <sup>2</sup> yi	4,049

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 5 a_0 + 10 a_1 + 30 a_2 &= -0,163 \\ 10 a_0 + 30 a_1 + 100 a_2 &= 0,639 \\ 30 a_0 + 100 a_1 + 354 a_2 &= 4,049 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,059 \\ a_1 &= -0,237 \\ a_2 &= 0,083 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,059] + [-0,237] x + [0,083] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN KUBUS (%)

	kubus 800 C
0	-0,0589
1	-0,2124
2	-0,1993
3	-0,0194
4	0,3272

KOREKSI

	kubus 800C
0	0,0000
1	-0,1536
2	-0,1404
3	0,0395
4	0,3860



ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME KUBUS DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN

Data perubahan volume BALOK yang dibakar 800C

x1	0	1	2	3	4
y1	0	-0,41	-0,381	0,253	0,477

Untuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap koefisien dari polinomial menghasilkan bentuk :

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma xi & \Sigma xi^2 \\ \Sigma xi & \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 \\ \Sigma xi^2 & \Sigma xi^3 & \Sigma xi^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma yi \\ \Sigma xiyi \\ \Sigma xi^2yi \end{bmatrix}$$

hitungan dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	xi	yi	xi <sup>2</sup>	xi <sup>3</sup>	xi <sup>4</sup>	xiyi	xi <sup>2</sup> yi								
1	0	0	0	0	0	0	0								
2	1	-0,410	1	1	1	-0,410	-0,410								
3	2	-0,381	4	8	16	-0,762	-1,524								
4	3	0,253	9	27	81	0,759	2,277								
5	4	0,477	16	64	256	1,908	7,632								
n	5	Σxi	10	Σyi	-0,061	Σxi <sup>2</sup>	30	Σxi <sup>3</sup>	100	Σxi <sup>4</sup>	354	Σxiyi	1,495	Σxi <sup>2</sup> yi	7,975

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 5 a_0 + 10 a_1 + 30 a_2 &= -0,061 \\ 10 a_0 + 30 a_1 + 100 a_2 &= 1,495 \\ 30 a_0 + 100 a_1 + 354 a_2 &= 7,975 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,068 \\ a_1 &= -0,373 \\ a_2 &= 0,134 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,068] + [-0,373] x + [0,134] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN BALOK (%)

	balok 800 C
0	-0,0680
1	-0,3070
2	-0,2780
3	0,0190
4	0,5840

KOREKSI

	balok 800C
0	0,0000
1	-0,2390
2	-0,2100
3	0,0870
4	0,6520

**ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT JENIS VS LAMA PEMBAKARAN KUBUS 800 C**

No	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> = log X <sub>i</sub>	p <sub>i</sub> = log Y <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> ·p <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> <sup>2</sup>	
1	1	4,832	0,0000	0,6841	0,0000	0,0000	
2	2	5,726	0,3010	0,7579	0,2281	0,0906	
3	3	6,061	0,4771	0,7825	0,3734	0,2276	
4	4	6,320	0,6021	0,8007	0,4821	0,3625	
n :	4	Y :	5,735	Σ :	1,3802	Σ :	3,0252
				Σ :	0,6807		

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 5,735

q<sub>r</sub> : 0,345

p<sub>r</sub> : 0,756

B :  $\frac{(n \cdot \sum q_i \cdot p_i) - (\sum q_i \cdot \sum p_i)}{(n \cdot \sum q_i^2) - (\sum q_i)^2}$

: 0,194

log A : p<sub>r</sub> - B·q<sub>r</sub>

: 0,689

A : 4,890

r : 0,9892

No	x	y
1	1	4,890
2	2	5,594
3	3	6,053
4	4	6,401

Dt2	D2
0,8150	0,0033
0,0001	0,0173
0,1064	0,0001
0,3425	0,0065
1,2640	0,0272

**KUBUS 400 C**

No	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> = log X <sub>i</sub>	p <sub>i</sub> = log Y <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> ·p <sub>i</sub>	q <sub>i</sub> <sup>2</sup>	
1	1	6,504	0,0000	0,8132	0,0000	0,0000	
2	2	7,336	0,3010	0,8655	0,2605	0,0906	
3	3	7,854	0,4771	0,8951	0,4271	0,2276	
4	4	8,099	0,6021	0,9084	0,5469	0,3625	
n :	4	Y :	7,448	Σ :	1,3802	Σ :	3,4822
				Σ :	1,2345	Σ :	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 7,448

q<sub>r</sub> : 0,345

p<sub>r</sub> : 0,871

B :  $\frac{(n \cdot \sum q_i \cdot p_i) - (\sum q_i \cdot \sum p_i)}{(n \cdot \sum q_i^2) - (\sum q_i)^2}$

: 0,161

log A : p<sub>r</sub> - B·q<sub>r</sub>

: 0,815

A : 6,529

r : 0,9968

No	x	y
1	1	6,529
2	2	7,302
3	3	7,796
4	4	8,166

Dt2	D2
0,9506	0,0006
0,0204	0,0012
0,1406	0,0034
0,3844	0,0045
1,4961	0,0097

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT JENIS VS LAMA PEMBAKARAN  
BALOK 800 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$	
1	1	5,287	0,0000	0,7232	0,0000	0,0000	
2	2	6,531	0,3010	0,8150	0,2453	0,0906	
3	3	7,213	0,4771	0,8581	0,4094	0,2276	
4	4	7,798	0,6021	0,8920	0,5370	0,3625	
n :	4	Y :	6,707	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,2883
				$\Sigma :$	3,2883	$\Sigma :$	1,1918
						$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

$Y :$  6,707

$q_r :$  0,345

$p_r :$  0,822

$B :$   $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

$B :$  0,279

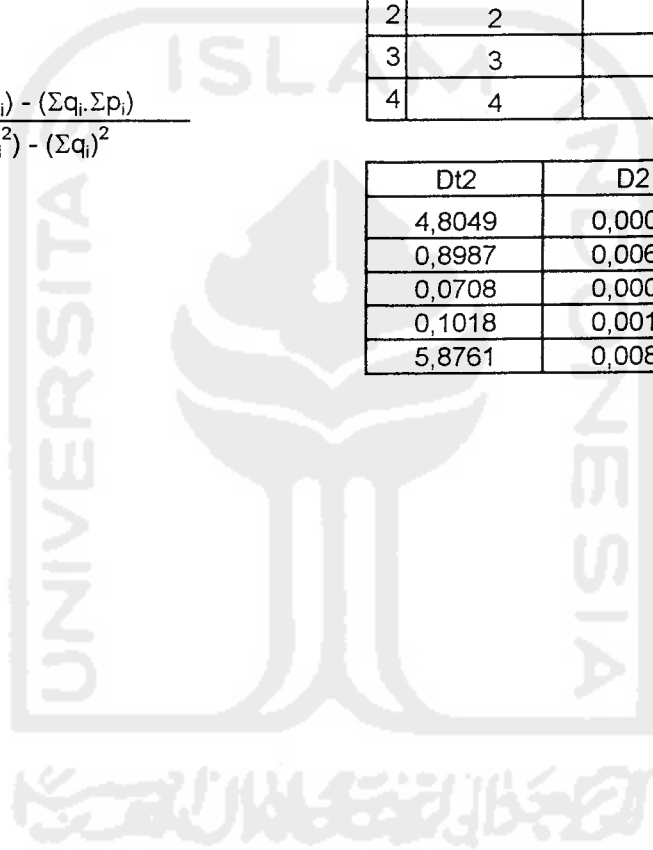
$\log A :$   $p_r - B \cdot q_r$

$A :$  5,317

$r :$  0,9993

No	X	Y
1	1	5,317
2	2	6,453
3	3	7,227
4	4	7,833

Dt2	D2
4,8049	0,0009
0,8987	0,0061
0,0708	0,0002
0,1018	0,0012
5,8761	0,0083



ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT DESAK PASCA PEMBAKARAN  
SUHU 800 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	38,528	0,0000	1,5858	0,0000	0,0000					
2	2	42,999	0,3010	1,6335	0,4917	0,0906					
3	3	57,583	0,4771	1,7603	0,8399	0,2276					
4	4	59,762	0,6021	1,7764	1,0695	0,3625					
n :	4	Y :	49,718	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	6,7560	$\Sigma :$	2,4011	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 49,718

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 1,689

B : 
$$\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$$

: 0,342

$\log A : p_r - B \cdot q_r$

: 1,571

A : 37,236

No	x	y
1	1	37,236
2	2	47,199
3	3	54,220
4	4	59,827

ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT DESAK PASCA PEMBAKARAN  
SUHU 400 C

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	4,343	0,0000	0,6378	0,0000	0,0000					
2	2	8,857	0,3010	0,9473	0,2852	0,0906					
3	3	12,294	0,4771	1,0897	0,5199	0,2276					
4	4	13,551	0,6021	1,1320	0,6815	0,3625					
n :	4	Y :	9,761	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,8067	$\Sigma :$	1,4866	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 9,761

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 0,952

B : 
$$\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$$

: 0,846

$\log A : p_r - B \cdot q_r$

: 0,660

A : 4,567

No	x	y
1	1	4,567
2	2	8,211
3	3	11,573
4	4	14,764

ANALISA REGRESI PENURUNAN KUAT LENTUR

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	7,831	0,0000	0,8938	0,0000	0,0000					
2	2	5,805	0,3010	0,7638	0,2299	0,0906					
3	3	5,682	0,4771	0,7545	0,3600	0,2276					
4	4	5,417	0,6021	0,7338	0,4418	0,3625					
n :	4	Y :	6,184	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	3,1459	$\Sigma :$	1,0317	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 6,184

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 0,786

B :  $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

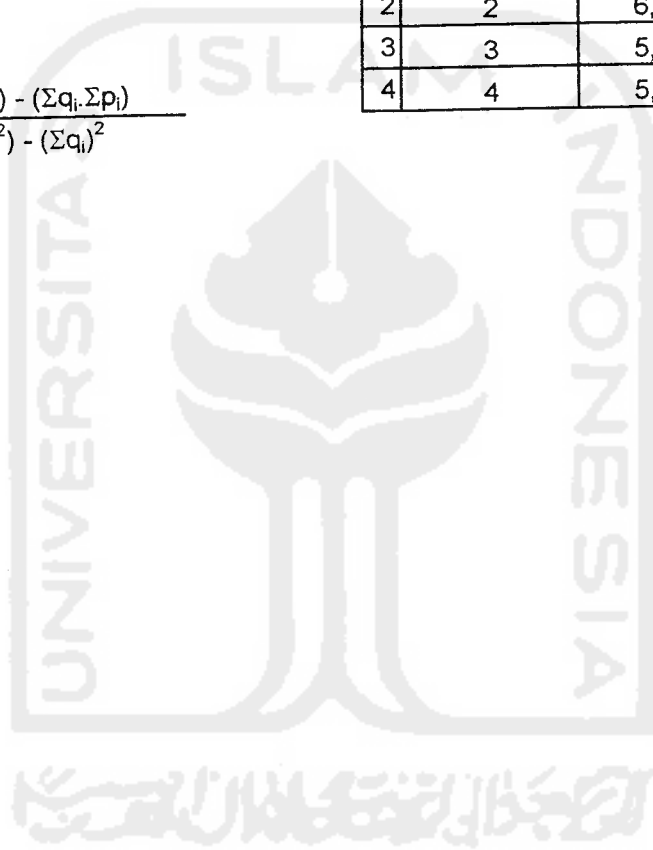
: -0,263

$\log A$  :  $p_r - B \cdot q_r$

: 0,877

A : 7,538

Nd	x	y
1	1	7,538
2	2	6,281
3	3	5,646
4	4	5,234



ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT LENTUR

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$
1	1	20,020	0,0000	1,3015	0,0000	0,0000
2	2	40,756	0,3010	1,6102	0,4847	0,0906
3	3	41,982	0,4771	1,6231	0,7744	0,2276
4	4	44,637	0,6021	1,6497	0,9932	0,3625
n :	4	$\Sigma Y :$ 36,849	$\Sigma q :$ 1,3802	$\Sigma p :$ 6,1844	$\Sigma q \cdot p :$ 2,2523	$\Sigma q^2 :$ 0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 36,849

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 1,546

B :  $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

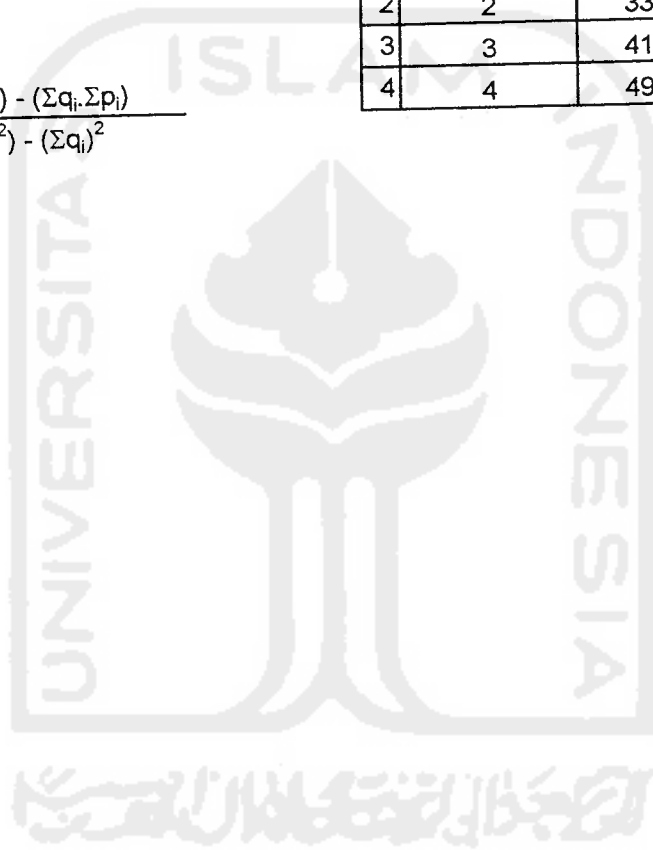
: 0,579

$\log A$  :  $p_r - B \cdot q_r$

: 1,346

A : 22,200

No	x	y
1	1	22,200
2	2	33,160
3	3	41,933
4	4	49,532



ANALISA REGRESI PENURUNAN KUAT TARIK BAJA

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	6,228	0,0000	0,7943	0,0000	0,0000					
2	2	9,075	0,3010	0,9578	0,2883	0,0906					
3	3	10,860	0,4771	1,0358	0,4942	0,2276					
4	4	14,197	0,6021	1,1522	0,6937	0,3625					
n :	4	Y :	10,090	$\Sigma$ :	1,3802	$\Sigma$ :	3,9402	$\Sigma$ :	1,4762	$\Sigma$ :	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 10,090

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 0,985

B :  $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

: 0,570

$\log A$  :  $p_r - B \cdot q_r$

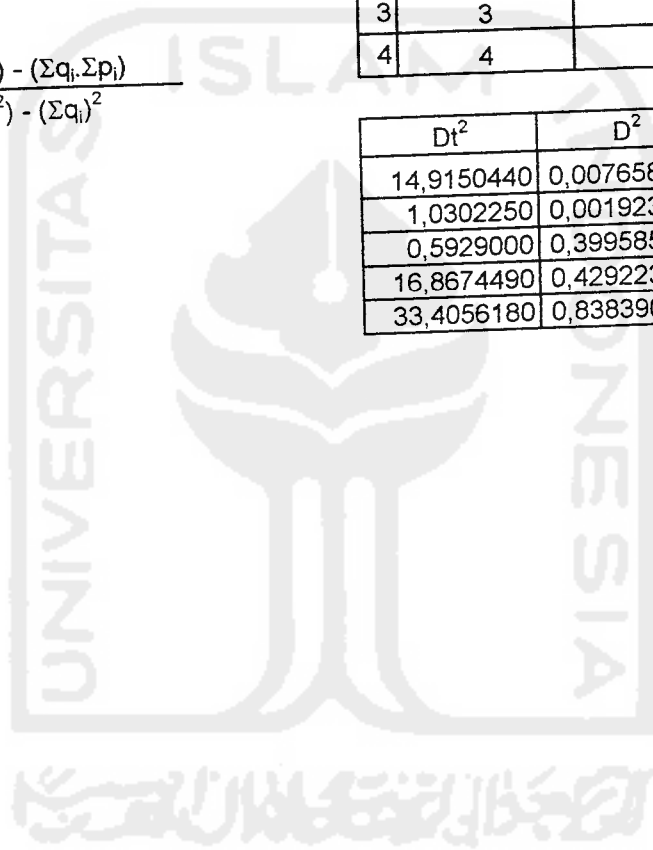
: 0,788

A : 6,140

r : 0,987372

No	x	y
1	1	6,140
2	2	9,119
3	3	11,492
4	4	13,542

$Dt^2$	$D^2$
14,9150440	0,007658424
1,0302250	0,001923436
0,5929000	0,399585001
16,8674490	0,429223405
33,4056180	0,838390266



## PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 800 C

data : LAMA PEMBAKARAN 1 JAM

 $\sigma_{tr}$  : 2560,853 kg/cm<sup>2</sup>

256,0853 MPa

 $\sigma_{ds}$  : 245,235 kg/cm<sup>2</sup> = 24,5 MPa

dia. Tul : 12 mm

1,2 cm

A : 1,130973 cm<sup>2</sup>As : 226,1947 mm<sup>2</sup>

fy : 256,0853 MPa

f'c : 24,5235 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

 $\rho_{min}$  : 0,005467 $\rho$  : 0,008617

a : 18,52569 mm

z : 165,7372 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 9,600347 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 9,600347 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

 $\beta_1$  : 0,893812

c : 20,72661 mm

data : LAMA PEMBAKARAN 2 JAM

 $\sigma_{tr}$  : 2483,091 kg/cm<sup>2</sup>

248,3091 MPa

 $\sigma_{ds}$  : 227,4 kg/cm<sup>2</sup> = 22,7 MPa

dia. Tul : 12 mm

1,2 cm

A : 1,130973 cm<sup>2</sup>As : 226,1947 mm<sup>2</sup>

fy : 248,3091 MPa

f'c : 22,74 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

 $\rho_{min}$  : 0,005638 $\rho$  : 0,008617

a : 19,37199 mm

z : 165,314 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 9,285057 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 9,285057 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

 $\beta_1$  : 0,90808

c : 21,33291 mm



## PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 800 C

data : LAMA PEMBAKARAN 3 JAM

 $\sigma_{tr}$  : 2434,334 kg/cm<sup>2</sup>

243,4334 MPa

 $\sigma_{ds}$  : 169,216 kg/cm<sup>2</sup> = 16,9 MPa

dia. Tul : 12 mm

1,2 cm

A : 1,130973 cm<sup>2</sup>As : 226,1947 mm<sup>2</sup>

fy : 243,4334 MPa

fc : 16,9216 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

 $\rho_{min}$  : 0,005751 $\rho$  : 0,008617

a : 25,52177 mm

z : 162,2391 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 8,933426 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 8,933426 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

 $\beta_1$  : 0,954627

c : 26,73481 mm

data : LAMA PEMBAKARAN 4 JAM

 $\sigma_{tr}$  : 2343,217 kg/cm<sup>2</sup>

234,3217 MPa

 $\sigma_{ds}$  : 160,525 kg/cm<sup>2</sup> = 16,1 MPa

dia. Tul : 12 mm

1,2 cm

A : 1,130973 cm<sup>2</sup>As : 226,1947 mm<sup>2</sup>

fy : 234,3217 MPa

fc : 16,0525 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

 $\rho_{min}$  : 0,005975 $\rho$  : 0,008617

a : 25,89655 mm

z : 162,0517 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 8,589116 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 8,589116 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

 $\beta_1$  : 0,96158

c : 26,93125 mm

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG TANPA PEMBAKARAN

data : LAMA PEMBAKARAN 0 JAM  
 $\sigma_{tr}$  : 2730,925 kg/cm<sup>2</sup>  
 273,0925 MPa  
 $\sigma_{ds}$  : 398,939 kg/cm<sup>2</sup> = 39,9 MPa  
 dia. Tul : 12 mm

1,2 cm  
 A : 1,130973 cm<sup>2</sup>  
 As : 226,1947 mm<sup>2</sup>  
 $f_y$  : 273,0925 MPa  
 $f_c$  : 39,8939 MPa  
 b : 150 mm  
 d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

$p_{min}$  : 0,005126

$\rho$  : 0,008617

a : 12,14438 mm

z : 168,9278 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 10,43502 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 10,43502 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

$\beta_1$  : 0,770849

c : 15,75456 mm

PROSENTASE PENURUNAN Mn

	Mn
0	0
1	7,998768
2	11,02023
3	14,38995
4	17,68952

## ANALISA REGRESI PENURUNAN KUAT TAMPANG PASCA PEMBAKARAN

No	$X_i$	$Y_i$	$q_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$q_i \cdot p_i$	$q_i^2$					
1	1	7,999	0,0000	0,9030	0,0000	0,0000					
2	2	11,020	0,3010	1,0422	0,3137	0,0906					
3	3	14,390	0,4771	1,1581	0,5525	0,2276					
4	4	17,690	0,6021	1,2477	0,7512	0,3625					
n :	4	Y :	12,775	$\Sigma :$	1,3802	$\Sigma :$	4,3510	$\Sigma :$	1,6175	$\Sigma :$	0,6807

Persamaan Regresi :  $y = A \cdot x^B$

Y : 12,775

$q_r$  : 0,345

$p_r$  : 1,088

B :  $\frac{(n \cdot \Sigma q_i \cdot p_i) - (\Sigma q_i \cdot \Sigma p_i)}{(n \cdot \Sigma q_i^2) - (\Sigma q_i)^2}$

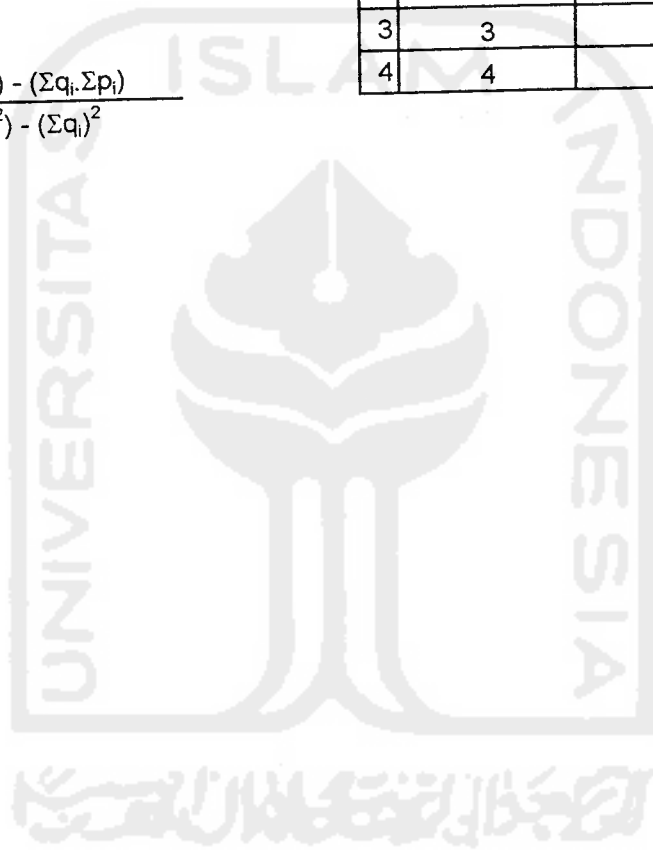
: 0,568

$\log A$  :  $p_r - B \cdot q_r$

: 0,892

A : 7,794

No	x	y
1	1	7,794
2	2	11,554
3	3	14,546
4	4	17,128





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
	MOHAMMAD JOHANUSYAH	98810028		STRUKTUR
	BUDI KRISNO	98810128		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I  
 Dosen Pembimbing II  
 1

IR. MOCH. TEGUH, MSCE  
 IR. A. KADIF ABCE, MS  
 2

Yogyakarta, 10 OCTOBER 1996  
 An. Dekan,  
 DEKAN JURUSAN TEKNIK SIPIL.



SS

*[Handwritten signature]*

IR. PANBANG MULISTIONO, MSCE



CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke:	KETERANGAN	Paraf
1	20/02/97	I	- perbaikan & lempang - transkrip	<i>M</i>
2	12/03/97	I	- perbaikan - perbaikan & lempang semua	<i>M</i>
3	19/03/97		- ada dpt di susun ke Dosen Pembimbing I & Seminar.	<i>M</i>
4	12/5/97		Perbaiki	<i>M</i>
5	30/5/97		- Perbaiki, cari referensi yg. mendukung hasil grafik penelitian. - Dpt. mendaftarkan njamin	<i>M</i>

