

**TUGAS AKHIR
PENGUJIAN KEKUATAN
BALOK BETON BERTULANG AKIBAT
PENGARUH PANAS API**



DIJADIKAN PERANGKAT
KURikulum
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Disusun oleh :

Hiro Prabantoro

No. Mhs. : 89 310 074

NIRM : 890051013114120072

Slamet Pratiknyo

No. Mhs. : 89 310 050

NIRM : 890051013114120050

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1998**

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGUJIAN KEKUATAN
BALOK BETON BERTULANG AKIBAT
PENGARUH PANAS API**

Disusun Oleh

HIRO PRABANTORO

No. Mhs. : 89 310 074

NIRM : 890051013114120072


SLAMET PRATIKNYO

No. Mhs. 89 310 050

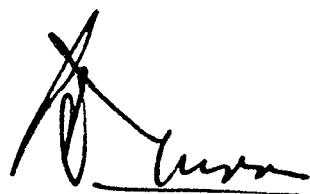
NIRM : 890051013114120050

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 19/8/98

Ir. H. Tadjuddin BMA, MS
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 4-8-98

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 Pengujian Kekuatan Balok Bertulang Akibat Pengaruh Panas Api.

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 diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, PhD, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, UII, Yogyakarta,
3. Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,
4. Bapak Ir. H. Tadjuddin BMA, MS, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir,

5. Bapak Drs. Siswaya, selaku Kepala Unit Pelayanan Teknis Gerabah Kasongan, Bantul, beserta karyawannya,
6. Ervan, Andang, Dayat, Agus AS., Gono, Toto, Said dan teman-teman lain yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas amal baiknya dan akhirnya diharapkan Tugas Akhir ini bisa bermanfaat, amin.

Assalaamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, Juli 1998

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Rumusan Masalah.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Beton Bertulang.....	10
2.2 Rancangan Campuran Beton.....	10
2.2.1 Tujuan Perancangan Campuran Beton.....	10

	2.2.2 Metode <i>ACI (American Concrete Institute)</i>	11
2.3	Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton.....	15
	2.3.1 Sifat Pasta Semen Pada Temperatur Tinggi	15
	2.3.2 Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi	16
	2.3.3 Keretakan Beton Pada Temperatur Tinggi.....	17
	2.3.4 Pengaruh Temperatur Pada Kekuatan Beton.....	18
	2.3.5 Kuat Lentur Balok Sebelum Pembakaran.....	20
BAB III	LANDASAN TEORI	21
	3.1 Dasar Teori	21
	3.2 Kuat Lentur Balok Persegi Pasca Pembakaran.....	22
	3.3 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Tarik.....	23
BAB IV	PELAKSANAAN PENELITIAN	28
	4.1 Tinjauan Umum	28
	4.2 Persiapan Bahan dan Alat	28
	4.2.1 Bahan.....	29
	4.2.2 Alat-alat	30
	4.3 Perhitungan Campuran Beton	31
	4.4 Pelaksanaan Penelitian.....	34
	4.4.1 Pembuatan Benda Uji.....	34
	4.4.2 Rawatan Benda Uji.....	36
	4.4.3 Pembakaran Benda Uji.....	36

4.4.4	Pengujian Desak dan Lentur Beton.....	37
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	40
5.1	Hasil Penelitian.....	40
5.2	Pembahasan.....	46
5.2.1	Keadaan Fisik Beton.....	46
5.2.2	Perubahan Berat, Volume dan Berat Jenis Beton.....	47
5.2.3	Kuat Desak Beton.....	60
5.2.4	Kekuatan Lentur Beton.....	63
5.2.5	Kuat Tarik Baja.....	69
5.2.6	Kekuatan Tampang Balok.....	71
BAB IV	KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
6.1	Kesimpulan.....	73
6.2	Saran-saran.....	74
	DAFTAR PUSTAKA.....	76
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No	Nama Tabel	Hal.
2.1	Kekuatan Rata-rata yang Diperlukan Jika Tidak Tersedia Data Untuk Menentukan Simpangan Baku	12
2.2	Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Silinder Beton Pada Umur 28 Hari	12
2.3	Faktor Air Semen Maksimum.....	13
2.4	Nilai <i>Slump</i> (cm)	13
2.5	Ukuran Maksimum Agregat	14
2.6	Perkiraan Kebutuhan Agregat Kasar per Meter Kubik Beton, Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat dan Modulus Halus Pasirnya, Dalam m ³	14
3.1	Daftar Peralatan.....	30
5.1	Hasil Pengujian Lentur	40
5.2	Hasil Pengujian Desak.....	41
5.3	Data Kuat Desak Karakteristik	43
5.4	Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan.....	44
5.5	Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran dan Pembebanan.....	44
5.6	Perubahan Fisik Beton.....	46
5.7	Kuat Tarik Baja setelah Pembakaran 200°C dan 300°C	69

DAFTAR GAMBAR

No	Nama Gambar	Hal.
1.1	Balok Dengan Beban Terpusat Dalam Keadaan Lentur Murni	8
2.1	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney Pada Balok tidak Terbakar	20
2.2	Blok Tegangan Ekuivalen Untuk Balok yang Dibakar	23
2.3	Diagram Vu	26
5.1	Grafik Prosentase Penurunan Berat Silinder terhadap Lama Pembakaran	49
5.2	Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok terhadap Lama Pembakaran	50
5.3	Grafik Prosentase Perubahan Volume Silinder terhadap Lama Pembakaran	54
5.4	Grafik Prosentase Perubahan Volume Balok	55
5.5	Grafik Perubahan Berat Jenis terhadap Lama Pembakaran	58
5.6	Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok Beton terhadap Lama Pembakaran	59
5.7	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak terhadap Lama Pembakaran	61
5.8	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok terhadap Lama Pembakaran	64
5.9	Grafik Lendutan pada Pembakaran 200°C	66
5.10	Grafik Lendutan pada Pembakaran 300°C	67
5.11	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja terhadap Lama Pembakaran	70
5.12	Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tampang Balok terhadap Lama Pembakaran	72

DAFTAR LAMPIRAN

No	Nama Lampiran
1	Analisa Bahan, Pasir
2	Analisa Bahan, Split
3	Data Benda Uji Lentur Sebelum Pembakaran 200°C
4	Data Benda Uji Lentur Sebelum Pembakaran 200°C (lanjutan)
5	Data Benda Uji Lentur Setelah Pembakaran 200°C
6	Data Benda Uji Lentur Setelah Pembakaran 200°C (lanjutan)
7	Data Benda Uji Lentur Sebelum Pembakaran 300°C
8	Data Benda Uji Lentur Setelah Pembakaran 300°C
9	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 100°C
10	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 100°C (lanjutan)
11	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 100°C
12	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 100°C (lanjutan)
13	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 200°C
14	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 200°C
15	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 300°C
16	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 300°C
17	Data Benda Uji Desak Sebelum Pembakaran 400°C
18	Data Benda Uji Desak Setelah Pembakaran 400°C
19	Data Hasil Pengujian Lentur Sampel Tanpa Pembakaran

Lanjutan Daftar Lampiran

- 20 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 200°C yang Dibakar Selama 1 jam
- 21 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 200°C yang Dibakar Selama 2 jam
- 22 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 200°C yang Dibakar Selama 3 jam
- 23 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 300°C yang Dibakar Selama 1 jam
- 24 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 300°C yang Dibakar Selama 2 jam
- 25 Data Hasil Pengujian Lentur Sampel 300°C yang Dibakar Selama 3 jam
- 26 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Silinder 100°C & 200°C
- 27 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Silinder 300°C & 400°C
- 28 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Balok 200°C & 300°C
- 29 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Silinder 100°C
- 30 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Silinder 200°C
- 31 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Silinder 300°C
- 32 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Silinder 400°C
- 33 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok 200°C
- 34 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Volume Balok 300°C
- 35 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Silinder 100°C & 200°C
- 36 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Silinder 300°C & 400°C
- 37 Analisa Regresi Prosentase Perubahan Berat Jenis Balok 200°C & 300°C
- 38 Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak 100°C & 200°C
- 39 Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Desak 300°C & 400°C
- 40 Analisa Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur 200°C & 300°C

Lanjutan Daftar Lampiran

- 41 Analisa Regresi Penurunan Kuat Tarik Baja 200°C & 300°C
- 42 Perhitungan Kuat Tampang Balok 1 jam dan 2 jam, 200°C
- 43 Perhitungan Kuat Tampang Balok 3 jam, 200°C
- 44 Perhitungan Kekuatan Tampang Balok Tanpa Pembakaran
- 45 Analisa Regresi Penurunan Kuat Tampang Pasca Pembakaran 200°C
- 46 Perhitungan Kuat Tampang Balok 1 jam dan 2 jam, 300°C
- 47 Perhitungan Kuat Tampang Balok 3 jam, 300°C
- 48 Perhitungan Kekuatan Tampang Balok Tanpa Pembakaran
- 49 Analisa Regresi Penurunan Kuat Tampang Pasca Pembakaran 300°C

ABSTRAK

Dampak kebakaran pada suatu struktur beton akan menimbulkan beberapa masalah, di antaranya adalah kemampuan struktur beton untuk menahan beban pada pasca kebakaran. Apakah struktur tersebut masih mampu menahan beban yang ada seperti pada desain awal, dialihfungsikan untuk keperluan yang lain sesuai dengan beban yang mampu ditahan atau perlu direnovasi total. Dalam kasus kebakaran ringan, panas yang terjadi relatif rendah. Balok sebagai salah satu komponen struktur yang penting juga akan mendapatkan pengaruh oleh ketiga kemungkinan di atas. Untuk mengetahui kondisi yang lebih realistis di lapangan dari dampak kebakaran, ditentukan suatu pemodelan balok yang dibakar dalam tungku api. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan balok yang dibakar pada suhu 200°C dan 300°C, untuk uji desak digunakan model silinder pada suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C, dengan interval 100°C. Besar 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 terjadi penurunan berat jenis, kuat desak, kuat lentur dan kuat tarik yang bervariasi tergantung pada tinggi suhu dan waktu pembakaran. Untuk pengujian kuat desak didapatkan data, setiap satu jam pembakaran rata-rata terjadi penurunan sebesar 1,145% pada suhu 100°C, 2,205% pada suhu 200°C, 4,458% pada suhu 300°C dan 6,792% pada suhu 400 °C. Untuk kuat lentur sebesar 1,605% pada suhu 200°C dan 3,795 pada suhu 300°C. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa suhu yang relatif rendah pada saat kebakaran tidak banyak berpengaruh terhadap kekuatan balok beton.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton bertulang adalah salah satu bahan konstruksi yang sangat umum dan banyak dipakai. Hal ini dimungkinkan karena beton bertulang adalah bahan konstruksi yang memiliki keunggulan tersendiri serta mudah dikerjakan. Sebagai bahan konstruksi, beton akan menahan beban bangunan dengan beban-beban rencana yang diinginkan oleh perencana. Demikian juga dengan pengaruh-pengaruh lain yang akan terjadi ketika bangunan tersebut difungsikan. Salah satu pengaruh tersebut adalah suhu tinggi yang mungkin saja terjadi ketika gedung mengalami kebakaran.

Pada dasarnya perencana telah 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 terjadi kebakaran dalam skala besar, ada kecenderungan untuk merenovasi struktur secara total. Padahal tidak tertutup kemungkinan untuk tetap memfungsikan bangunan pasca kebakaran tersebut secara optimal dengan cara memperhitungkan kembali kekuatan bagian-bagian strukturnya.

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 terjadi 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 silinder beton yang dibakar pada suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C selama 1, 2 dan 3 jam dan balok beton bertulang yang dibakar pada suhu 200°C dan 300°C selama 1, 2 dan 3 jam.

Jadi yang terpenting di sini adalah bagaimana menentukan kekuatan struktur beton bertulang pasca kebakaran untuk mengantisipasi keadaan di atas. Untuk itu perlu diadakan penelitian tentang perilaku kuat lentur balok beton bertulang tersebut berkaitan dengan waktu suatu kebakaran.

1.2 Permasalahan

Beton sebagai suatu bahan bangunan yang terdiri dari campuran bahan-bahan penyusun seperti pasir, kerikil, semen *portland* dan air apabila terkena panas yang tinggi, masing-masing material akan bereaksi sesuai dengan kemampuan menahan panas. Karena masing-masing material mempunyai kekuatan yang berbeda, tentu saja reaksi yang ditimbulkan juga berbeda-beda. Akibat dari reaksi yang berbeda-beda untuk setiap komponen beton tersebut, secara umum akan menyebabkan penurunan mutu beton yang berpengaruh pada kuat desak beton.

Perubahan kekuatan yang terjadi pada kuat desak beton sangat berpengaruh sekali pada kekuatan lentur beton, terlebih pada balok beton. Hal tersebut terjadi karena kekuatan lentur suatu balok beton tergantung dari seberapa besar kuat desak

beton yang terjadi pada bagian atas balok beton, ditambah dengan tulangan besi yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik pada bagian bawah balok beton.

Sepanjang pengetahuan penyusun, hingga saat ini belum ada penelitian yang menunjukkan seberapa besar pengaruh kenaikan kuat desak pada temperatur 200°C dan 300°C terhadap kekuatan lentur beton pada temperatur yang sama dengan beberapa variasi waktu pembakaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan kuat desak beton terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang setelah mengalami pembakaran dengan beberapa variasi temperatur dan waktu pembakaran,
2. mengetahui hubungan antara variasi waktu pembakaran dan temperatur dengan perubahan kuat tarik baja,
3. mendapatkan angka parameter yang menunjukkan persen perubahan kekuatan desak maupun lentur beton untuk berbagai macam variasi waktu pembakaran dan temperatur tertentu,

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibahas masalah kuat lentur balok beton bertulang yang dikenai pengaruh suhu relatif rendah dengan tiga variasi waktu dibandingkan dengan kuat lentur balok beton bertulang normal serta kuat desak beton yang dikenai suhu

relatif rendah dengan empat variasi suhu dan tiga variasi waktu dibanding kuat desak beton normal.

Karakteristik bahan yang dipakai sebagai benda uji adalah sebagai berikut ini:

1. Panjang bentangan benda uji (balok persegi), $L = 100$ cm, dengan bentuk balok persegi ukuran 15 cm x 20 cm dan dipasang tulangan baja $2 \text{ } \varnothing 12$ mm,
2. Untuk uji desak, digunakan benda uji berupa beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
3. Mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan $f'c = 30$ MPa, dan dipakai baja tulangan dengan $f_y = 240$ Mpa,
4. Metode rancangan beton menggunakan *ACI (American Concrete Institute)*,
5. Pembakaran benda uji lentur dilakukan dengan suhu 200°C dan 300°C , sedang pembakaran benda uji desak dilakukan dengan suhu 100°C , 200°C , 300°C dan 400°C ,
6. Variasi waktu untuk pembakaran adalah 0 jam, 1 jam, 2 jam dan 3 jam, masing-masing 3 buah benda uji,
7. Perencanaan balok didasarkan pada perhitungan tulangan sebelah.

1.5 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ditinjau pengaruh panas api terhadap kuat lentur dan kuat desak. Untuk kuat lentur dipakai suhu 200°C dan 300°C , sedangkan kuat desak pada suhu 100°C , 200°C , 300°C dan 400°C . Pada suhu tersebut panas yang terjadi belum terlalu tinggi.

suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Pada suhu tersebut panas yang terjadi belum terlalu tinggi.

Permasalahan-permasalahan dalam penelitian ini kemudian dapat dirumuskan, bahwa setelah mengalami kebakaran dengan suhu yang relatif rendah (200°C - 300°C), balok sebagai salah satu komponen struktur beton yang penting mengalami perubahan kuat lentur dan kuat desak. Dengan adanya perubahan kuat lentur dan kuat desak tersebut, maka kekuatan struktur akan berubah. Perubahan ini akan lebih signifikan bila temperatur panas dan waktu pembakaran bertambah.

Untuk menghindari perbedaan perhitungan yang terlalu besar, penelitian ini mempunyai anggapan dasar yaitu :

1. kuat desak dan kuat lentur beberapa benda uji yang dibuat dalam satu adukan dianggap mempunyai perbedaan yang tidak besar,
2. pemanasan benda uji selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam dalam tungku pembakaran, dianggap sama dengan kebakaran dalam gedung selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam.

1.6 Metode Penelitian

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

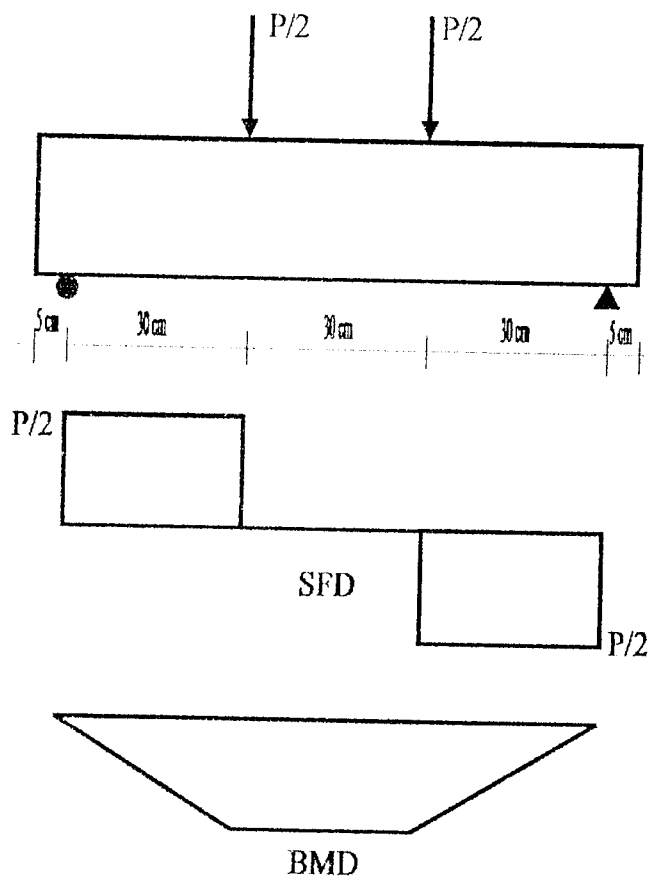
1. Desain campuran (*mix design*) beton, dengan menggunakan metode *ACI* (*American Concrete Institute*). Benda uji desak (beton) tersebut berupa silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm sebanyak 39

buah, untuk benda uji lentur (beton) berupa balok dengan ukuran 15 cm x 20 cm x 100 cm dengan menggunakan bahan-bahan yang terdiri dari :

- a. semen *portland* tipe I merk Nusantara,
 - b. agregat kasar berupa batu pecah (*split*) yang lolos saringan 40 mm,
 - c. agregat halus berupa pasir yang lolos saringan 4,8 mm,
 - d. air bersih.
2. Perawatan benda uji, dilakukan sehari setelah pencetakan dengan cara ditutup memakai karung goni yang terus menerus dibasahi selama 28 hari. Pembakaran benda uji dilakukan setelah 28 hari. Pencetakan dan perawatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. Benda uji lentur dibuat sebanyak tiga buah untuk masing-masing sampel yang akan di uji sebagai berikut :
- a. sampel 1L diuji lentur tanpa pembakaran,
 - b. sampel 2LA diuji lentur setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 200°C,
 - c. sampel 4LA diuji lentur setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 300°C,
 - d. sampel 3LB diuji lentur setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 200°C,
 - e. sampel 4LB diuji lentur setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 300°C,
 - f. sampel 3LC diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 200°C,
 - g. sampel 4LC diuji lentur setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 300°C,

4. Benda uji desak dibuat sebanyak tiga buah untuk masing-masing sampel dengan pengujian sebagai berikut :
 - a. sampel 1D diuji desak tanpa pembakaran,
 - b. sampel 2DA diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 100°C ,
 - c. sampel 3DA diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 200°C ,
 - d. sampel 4DA diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 300°C ,
 - e. sampel 5DA diuji desak setelah dibakar selama 1 jam pada suhu 400°C ,
 - f. sampel 2DB diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 100°C ,
 - g. sampel 3DB diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 200°C ,
 - h. sampel 4DB diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 300°C ,
 - i. sampel 5DB diuji desak setelah dibakar selama 2 jam pada suhu 400°C ,
 - j. sampel 2DC diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 100°C ,
 - k. sampel 3DC diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 200°C ,
 - l. sampel 4DC diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 300°C ,
 - m. sampel 5DC diuji desak setelah dibakar selama 3 jam pada suhu 400°C ,Pembakaran benda uji, dilakukan di UPT (Unit Pelayanan Teknis) Gerabah Kasongan,
5. Mekanisme pembebanan kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban maksimum yang dicapai dengan luasan permukaan bagian yang didesak. Untuk 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,



Gambar 1.1 Balok dengan beban terpusat dalam keadaan lentur murni

6. Pengujian desak beton, dari 39 buah benda uji desak yang dibuat dan dibakar, dilakukan uji desak dengan menggunakan mesin uji desak beton terhadap benda uji, baik untuk 3 buah benda uji tanpa pembakaran maupun untuk 36 buah benda uji desak yang melewati proses pembakaran. Setelah dilakukan uji desak, maka dicatat kuat desak yang terjadi, kemudian

dibandingkan antara benda uji yang dibakar dengan benda uji yang tidak dibakar.

Pengujian lentur beton, dari 21 buah benda uji lentur yang dibuat dan dibakar, dilakukan uji lentur dengan menggunakan mesin uji lentur beton terhadap benda uji, baik untuk 3 buah benda uji tanpa pembakaran maupun untuk 18 buah benda uji lentur yang melewati proses pembakaran. Setelah dilakukan uji lentur, maka dicatat kuat lentur yang terjadi, kemudian dibandingkan antara benda uji yang dibakar dengan benda uji yang tidak dibakar,

7. Selain data kuat desak beton dan kuat lentur beton, data lain yang diperoleh adalah data berat jenis, kuat tarik baja, lendutan dan kuat tampang beton,
8. Peralatan yang dipakai dalam pengujian kuat desak adalah mesin desak merk "*control*", dan untuk pengujian kuat lentur dan kuat tarik baja digunakan mesin tarik merk "*simadzu*".

Uji desak, uji lentur dan uji kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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 kelemahan, 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 biasa 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 keawetan (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
<ul style="list-style-type: none"> • Beton di dalam ruangan bangunan <ul style="list-style-type: none"> a. keadaan keliling <i>non korosif</i> b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap <i>korosif</i> 	0,60
<ul style="list-style-type: none"> • beton di luar ruangan bangunan <ul style="list-style-type: none"> a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung 	0,52
<ul style="list-style-type: none"> • beton yang masuk ke dalam tanah <ul style="list-style-type: none"> a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah 	0,60
<ul style="list-style-type: none"> • beton yang kontinyu berhubungan dengan air <ul style="list-style-type: none"> a. air tawar b. air laut 	0,55
	0,52

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992

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

Tabel 2.4 Nilai slump (cm)

Pemakaian beton	maks	
	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, Kardivono Tjokrodimulvo, 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 halus (lihat tabel 2.6).

Tabel 2.6 Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasir, dalam m³

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 Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton

2.3.1 Sifat Pasta Semen Pada Temperatur Tinggi

Jika pasta semen dipanaskan dari temperatur ruangan sampai 300°C, maka kekuatan akan naik sedikit karena air bebas hilang 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 kekuatan 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 kima 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 kekuatan akan hilang sama sekali, juga mengakibatkan ikatan pasta semen dengan agregat hilang. Kerusakan pasta semen akibat proses kimia pada temperatur tinggi ini disebabkan perubahan volume pasta semen selama pemanasan (Hansen, 1976).

2.3.2 Sifat Agregat Pada Temperatur Tinggi

Nekrassow mengemukakan bahwa reaksi agregat pada temperatur tinggi sangat tergantung pada struktur dan komposisi mineral. Pada temperatur tinggi kekuatan batuan sedimen tergantung kandungan air. Dalam keadaan basah kekuatan batuan sedimen lebih kecil dibanding dalam keadaan kering. Jika temperatur meningkat dengan mendadak pemuaian batuan sedimen menjadikan beton retak, ini disebabkan adanya *flint*, yaitu partikel yang terkandung dalam batuan sedimen yang berisi sejumlah air pada pori-pori mikroskopis. 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 kimia 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).

2.3.3 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 beton. 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 semen.

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

Selain itu kemungkinan terjadi 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 dalam, mengingat beton bersifat padat. Hal ini mengakibatkan terjadi tekanan udara panas di dalam yang akan membentuk rongga-rongga yang dapat menimbulkan keretakan pada beton.

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

Pada saat terjadi kenaikan temperatur, 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).

2.3.4 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 normal, dan kuat desak pada temperatur 700°C tidak lebih dari 30% kuat desak normal.

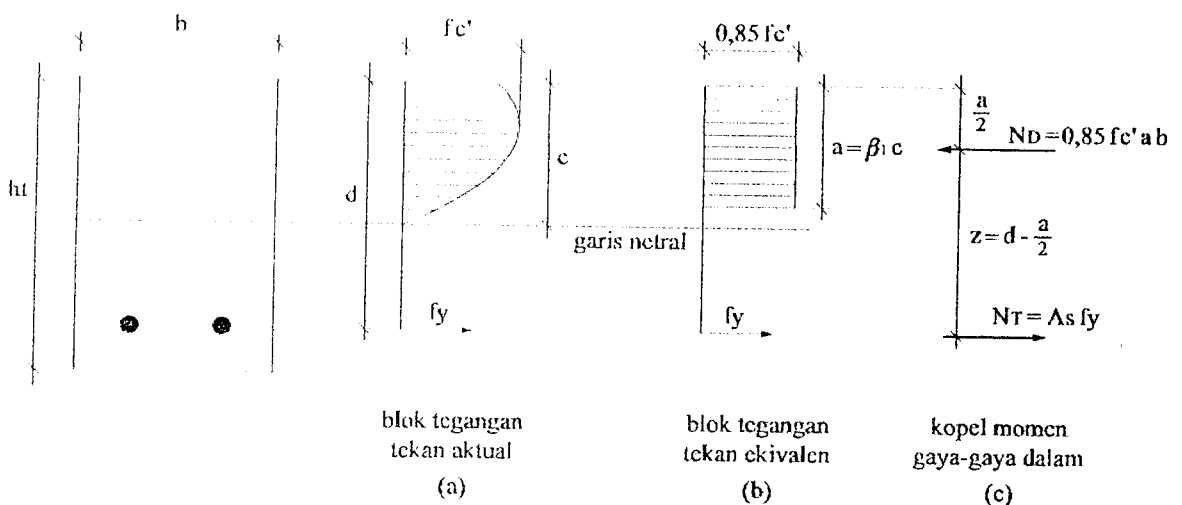
Kuat desak beton pada suhu 600°C mengalami penurunan tegangan desak rata-rata sebesar 9,5 % untuk setiap jam pembakaran.(N. Hamdi dan R. Bambang B.,1996)

Reaksi kimia dan reaksi fisika pada beton berlangsung selama pemanasan. Perubahan faktor air semen sedikit pengaruh 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 lentur. Akan tetapi kekuatan desak ini bukanlah satu-satunya hal yang mempengaruhi kuat lentur suatu beton bertulang. Pengaruh lain 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).

2.3.5 Kuat Lentur Balok Sebelum Pembakaran

Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsung 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 kerja sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahan dalam dimana nilai maksimum disebut kuat lentur atau momen tahan penampang komponen struktur terlentur.



Gambar 2.1 Blok Tegangan Ekuivalen Whitney pada balok yang tidak dibakar.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Teori

Dari hasil penelitian Budi Krisno dan M. Johansyah tentang pengaruh pembakaran terhadap beton tanpa meninjau pengaruh unsur karbon dan oksigen, beton akan mengalami penurunan kuat desak dan berat jenis yang bervariasi tergantung tinggi suhu dan waktu pembakaran, sehingga akan mempengaruhi kuat lentur balok beton bertulang.

Penelitian seperti tersebut di atas menitikberatkan pada penelitian pengaruh temperatur pada beton di atas 400°C , karena kebakaran yang terjadi biasanya mempunyai kisaran temperatur lebih dari 400°C .

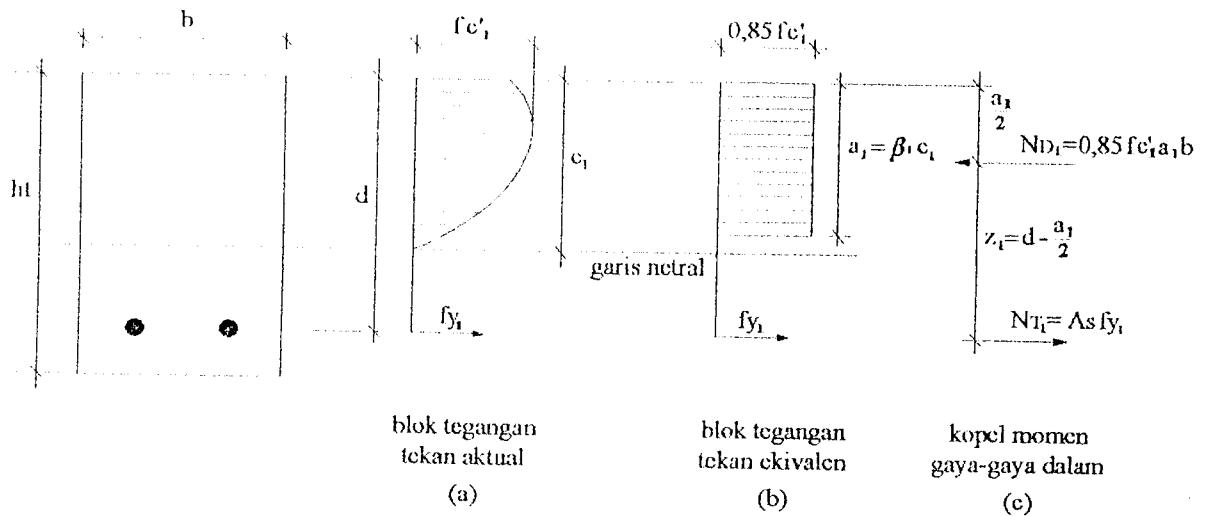
Hasil yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Budi Krisno dan M. Johansyah adalah beton yang dibakar pada suhu 400°C mengalami perubahan warna menjadi lebih muda sedikit dan terjadi retak rambut yang semakin banyak sejalan dengan penambahan waktu pembakaran. Untuk beton yang dibakar pada suhu 800°C mengalami perubahan warna menjadi lebih berwarna keputihan dari warna asal yaitu abu-abu kehijauan dan beton tersebut juga mengalami retak yang semakin banyak dan lebar seiring dengan penambahan waktu pembakaran. Beton juga mengalami kerapuhan sejalan dengan kenaikan suhu pembakaran. Bahkan pada suhu tertentu beton menjadi hancur akibat dari terlalu rapuh.

Untuk beton yang dibakar pada suhu 800°C mengalami penurunan kuat desak sebesar 6%-8% dan 5%-7,7% pada suhu 400°C . Sedangkan balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800°C selama 1 jam, mengalami penurunan kuat lentur sebesar 20 %, sedangkan untuk balok beton bertulang yang terbakar pada suhu 800°C selama 2, 3 dan 4 jam mengalami penurunan kekuatan lebih dari 40%. (Budi Krisno dan M Johansyah, 1997)

Penelitian yang dilakukan menitikberatkan pada perilaku beton yang mengalami pembakaran pada suhu di bawah 400°C , karena berdasarkan penelitian yang dilakukan Neville, pada suhu 200°C - 300°C diduga terjadi kenaikan kuat desak. Perilaku lain yang diamati adalah perubahan yang terjadi pada balok beton bertulang untuk mengetahui pengaruh dari kenaikan kuat desak beton pada suhu 200°C - 300°C menurut penelitian yang dilakukan oleh Neville.

3.2 Kuat Lentur Balok Persegi Pasca Pembakaran

Blok tegangan pada balok yang belum mengalami kebakaran 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 300°C selama 3 jam, blok tegangan yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.1 Blok Tegangan Ekuivalen untuk Balok yang Dibakar

Pada kuat tarik baja pasca kebakaran (f_{y_i}) dan kuat desak beton pasca kebakaran ($f'c_i$) terjadi penurunan, sehingga nilai-nilai c_i dan a_i semakin besar sedangkan nilai-nilai z_i , ND_i dan NT_i semakin kecil.

3.3 Perencanaan Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Secara umum ukuran balok dapat diperkirakan dengan mengambil $h = L/10$ (untuk kedua ujung ditumpu bebas) dan untuk lebar sangat tergantung dari besarnya gaya lintang, biasanya diambil $b = (1/2).h$ sampai $b = (2/3).h$.

Sedangkan pada percobaan ini bentangan balok yang digunakan sangat pendek yaitu 1 m, sehingga kegagalan geser sangat menentukan. Benda uji direncanakan supaya mempunyai kemampuan lentur lebih rendah dari kemampuan gesernya karena terbatasnya kemampuan alat yang ada, maka beban rencana tidak boleh lebih dari $P = 15$ ton.

Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa balok persegi dengan lebar (b) = 150 mm, tinggi efektif (d aktual) = 161 mm dan panjang (L) = 1000 mm. Dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan didapat tegangan luluh rata-rata $f_y = 323,31057$ MPa, mutu beton dari hasil uji desak $f'_c = 38,28$ MPa. Perencanaan didasarkan pada tulangan sebelah dengan jumlah tulangan 2 \varnothing 12 ($A_s = 226,195$ mm²). Perhitungan momen nominal dan beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok dapat dijabarkan sebagai berikut :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluh.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{323,3106} = 0,00433$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,195}{150 \cdot 161} = 0,00937$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{226,195 \cdot 323,3106}{0,85 \cdot 38,28 \cdot 150} = 14,9838 \text{ mm}$$

$$z = \left(d - \frac{a}{2} \right) = 161 - \frac{14,9838}{2} = 153,5081 \text{ mm}$$

Berdasarkan gaya tekan pada beton

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot z \\ &= 0,85 \cdot 38,28 \cdot 14,9838 \cdot 150 \cdot 153,5081 \cdot 10^{-6} \\ &= 11,226 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan pada gaya tarik tulangan baja

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot z \\ &= 226,195 \cdot 323,3106 \cdot 153,5081 \cdot 10^{-6} \\ &= 11,226 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$= 11,226 \text{ kNm}$$

Menentukan letak garis netral penampang adalah sebagai berikut :

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$\beta_1 = 0,78376 \text{ untuk } f'_c = 38,28 \text{ MPa}$$

$$\text{maka, } c = \frac{a}{0,78} = \frac{14,9838}{0,78} = 19,1178 \text{ mm}$$

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

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

$$\text{jadi, } \epsilon_s = \frac{(d - c)}{c} \cdot 0,003 = \frac{(161 - 19,1178)}{19,1178} \cdot 0,003 = 0,02226$$

regangan luluh tulangan baja :

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

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{323,3106}{2 \cdot 10^5} = 0,001616$$

$\epsilon_s = 0,02226 > \epsilon_y = 0,001616$, jadi anggapan itu benar.

$$\begin{aligned} MR &= \phi M_n \\ &= 0,8 \cdot 11,226 \\ &= 8,981 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Balok yang dihitung seperti terlihat pada gambar 1.1.

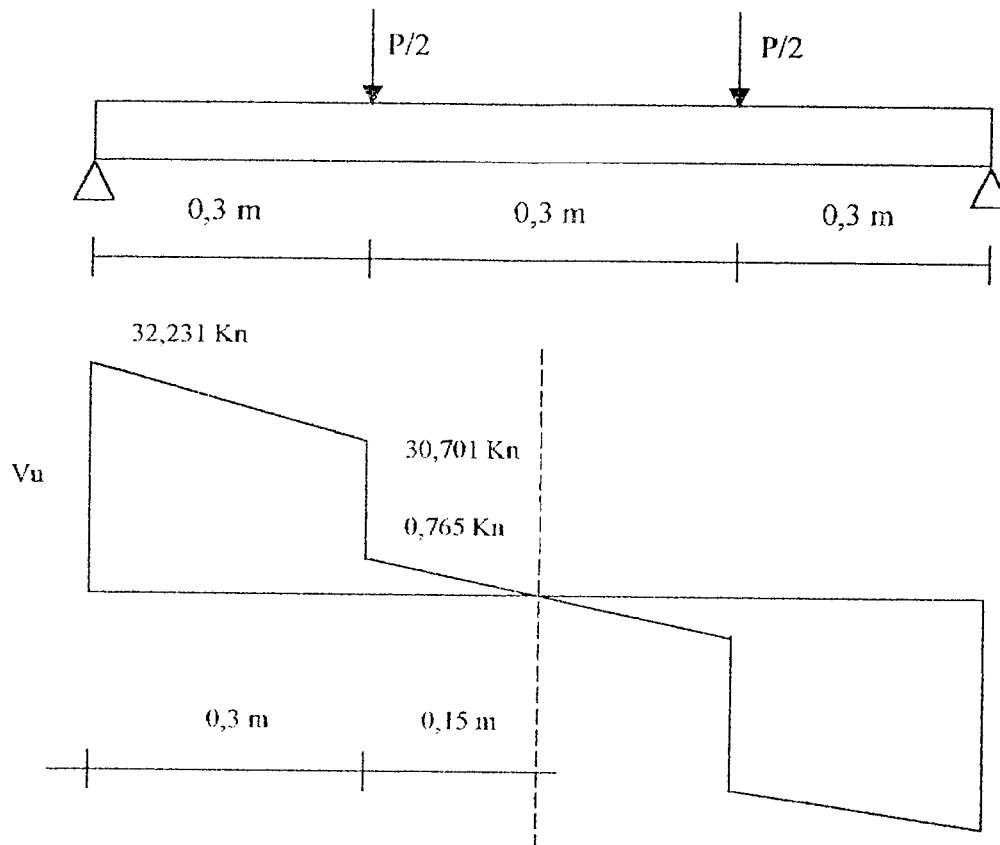
$$MR = 0,30 \cdot P/2 = 0,150 \cdot P$$

$$0,150 \cdot P = 8,981$$

$$P = 59,872 \text{ kN} = 5987,2 \text{ kg}$$

Didapat beban maksimum $P = 5987,2 \text{ kg}$.

Perhitungan Tulangan Geser (Sengkang)



Gambar 3.2. Diagram V_u

Diagram gaya geser (V_u) seperti tampak pada Gambar 3.3.

$$\begin{aligned} V_c &= (1/6 \cdot \sqrt{f'_c}) \cdot b \cdot d \\ &= (1/6 \cdot \sqrt{38,28}) \cdot 150 \cdot 161 \cdot 10^{-3} \\ &= 24,903 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$1/2 \cdot \phi V_c = 1/2(0,6) \cdot (24,903) = 7,471 \text{ kN}$$

Karena $32,231 > 7,471 \text{ kN}$, diperlukan tulangan sengkang.

$$V_s \text{ perlu} = (V_u / \phi) - V_c = (32,231 / 0,6) - 24,903 = 28,815 \text{ kN}$$

Menghitung V_s pada tempat dimana bekerja beban terpusat :

$$V_s \text{ perlu} = (30,701 / 0,6) - 24,903 = 26,2653 \text{ kN}$$

$$\text{Kemiringan garis diagram } V_s / m = 0,765 / 0,6 = 1,275 \text{ kN / m}$$

Digunakan baja tulangan D8 ($A_v = 2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot D^2$).

$$\text{Maka } A_v = 0,5 \cdot \pi \cdot 64 = 100,531 \text{ mm}^2$$

$$V_s = 28,815 - 100,531 (1,275) \cdot 10^{-3} = 28,6868 \text{ kN}$$

$$S \text{ perlu} = (A_v \cdot f_y \cdot d) / V_s = (100,531 \cdot 323,31057 \cdot 161) / 28,6868 = 18,418 \text{ cm.}$$

Digunakan sengkang $\varnothing 8 - 65$

Diambil jarak 65 mm dimaksudkan agar balok lebih kuat menahan geser, sehingga tidak terjadi gagal geser.

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.3 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 21 buah dan silinder berukuran $\varnothing 15 \times 30 \text{ cm}^3$ sebanyak 39 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 38,28 MPa.

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.

4.2 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 Bahan Konstruksi Teknik,

FPTS Universitas Islam Indonesia, 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.

4.4.4 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Pasir : asal sungai Krasak, Yogyakarta,
2. Batu pecah: asal sungai Progo, Yogyakarta,
3. Semen : tipe I merek Nusantara,
4. Air : asal Lab. BKT, FTSP, UII, 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 (Lampiran 1 & 2).

- | | | |
|----------|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Pasir | : Berat Jenis (keadaan SSD) | = 2,539 t/m ³ , |
| | Modulus Halus Butiran (MHB) | = 2,45 , |
| | Kadar lumpur | = 1, 5228 %. |
| 2. Split | : Berat Jenis (keadaan SSD) | = 2,50 t/m ³ , |

Berat Jenis Kering Tusuk	= 1,55 t/m ³ ,
Kadar lumpur (setelah dicuci)	= 0,142 %,
Diameter maksimum	= 40 mm.

3.2.2 Peralatan

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 Silinder	Cetakan benda uji silinder
5	Gelas Ukur	Menakar air
6	Kerucut Abrams	Pengujian <i>slump</i>
7	Mesin <i>Siever</i>	Pengayak mekanik
8	Mesin Uji Desak	Uji desak beton
9	Mesin Uji Tarik	Uji tarik baja
10	<i>Mixer</i> 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

4.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton ini didasarkan pada data bahan susun beton yang telah diteliti sebagai berikut (Lampiran 1 & 2):

1. kuat tekan yang dispesifikasikan = 30 MPa,
2. diameter maksimum agregat kasar (batu pecah) = 40 mm,
3. modulus halus butir (mhb) pasir = 2,45,
4. berat jenis pasir (SSD) = 2,539 t/m³,
5. berat jenis batu pecah (SSD) = 2,500 t/m³,
6. berat jenis batu pecah kering tusuk = 1,55 t/m³,
7. berat jenis semen = 3,150 t/m³.

Perhitungan campuran beton dengan metode *ACI* adalah sebagai berikut ini.

1. Menghitung kuat desak rata-rata

a. Menghitung kuat desak rata-rata

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + 1200 \text{ (psi)} \\ &= f'_c + 82,8 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= 300 + 82,8 \\ &= 382,8 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 38,28 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Menetapkan Faktor Air Semen (FAS)

Berdasarkan tabel 2.2 untuk f'_{cr} silinder = 38,28 MPa didapat FAS = 0,3978.

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 = 0,3978.

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

$$\begin{aligned} \text{Berat semen} &= \frac{\text{Berat air}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{177}{0,3978} \\ &= 444,947 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume semen} &= \frac{\text{Berat semen}}{\text{Bj semen}} \\ &= \frac{0,444947}{3,15} \\ &= 0,14125 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

6. Menetapkan berat agregat kasar

Berdasarkan tabel 2.6 untuk mhb pasir = 2,45 dan diameter agregat maksimum = 40 mm didapat volume agregat kasar = 0,755 m³.

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat kasar} &= \text{volume agregat kasar} \times B_j \text{ kering tusuk} \\ &= 0,755 \times 1,55 \times 1000 \\ &= 1170,25 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume agregat kasar} &= \frac{\text{Berat batu pecah}}{B_j \text{ batu pecah}} \\ &= \frac{1170,25}{2,5 \cdot 1000} \\ &= 0,4681 \text{ m}^3\end{aligned}$$

7. Menghitung berat agregat halus

$$\begin{aligned}V_p &= 1 - (V_s + V_k + V_a + V_u) \\ &= 1 - (0,14125 + 0,4681 + 0,177 + 0,01) \\ &= 0,20365 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir} &= V_p \times B_j \text{ pasir} \\ &= 0,20365 \times 2,539 \\ &= 0,5171 \text{ ton} \\ &= 517,1 \text{ kg}\end{aligned}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m³ beton

- a. semen = 444,947 kg
- b. pasir = 517,1 kg
- c. batu pecah = 1170,25 kg
- d. air = 177 liter

Benda uji : 1) Silinder ($\varnothing 15 \times 30$) cm^3

$$\text{Volume silinder} = 5301,4376 \text{ cm}^3$$

$$= 5,301 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 39 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 39 \times 5,301 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,2067 \text{ m}^3$$

2) Balok persegi ($15 \times 20 \times 100$) cm^3

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

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

$$\text{Jumlah} = 21 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 21 \times 3 \cdot 10^{-2}$$

$$= 0,63 \text{ m}^3$$

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

$$= 0,2067 + 0,63$$

$$= 0,8367 \text{ m}^3$$

Kebutuhan material untuk benda uji :

a. Semen = $0,8367 \cdot (444,947 + 10\% \cdot 444,947) = 409,5159 \text{ kg}$,

b. Pasir = $0,8367 \cdot (517,1 + 10\% \cdot 517,1) = 475,9233 \text{ kg}$,

c. Batu pecah = $0,8367 \cdot (1170,25 + 10\% \cdot 1170,25) = 1077,063 \text{ kg}$,

d. Air = $0,8367 \cdot (177 + 10\% \cdot 177) = 162,9055 \text{ lt}$.

4.4 Pelaksanaan Penelitian

4.4.2 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 kelecakan (*slump*) dengan menggunakan kerucut Abrams.
4. Jika kelecakan adukan telah dicapai selanjutnya beton segar segera dituang kedalam cetakan yang telah diolesi oli. Oli tersebut berfungsi untuk melumasi dinding cetakan supaya tidak lengket pada beton yang telah mengeras.
5. Bersamaan dengan masuknya beton ke dalam cetakan, dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk pada adukan beton dan juga diketuk-ketuk sisi luar cetakan dengan palu kayu agar gelembung udara yang terperangkap bisa keluar.
6. Setelah cetakan penuh dan padat, bagian atas diratakan kemudian didiamkan di tempat yang terlindung dari panas dan hujan.

7. Cetakan dibuka tujuh x 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 menyelimuti permukaan beton dengan karung basah uji selama 28 hari untuk benda uji silinder dan benda uji balok. Secara rutin karung yang menutupi beton disiram dengan air 2 kali sehari, untuk menjaga supaya karung tetap basah. Metode rawatan di atas digunakan karena 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 sebelum mengalami pembakaran. Proses pembakaran benda uji dilakukan setelah beton berumur lebih dari 28 hari, dan dilakukan menggunakan tungku glasir yang mampu mencapai suhu 1200°C. Pada

penelitian ini, suhu yang dipakai adalah 200°C dan 300°C untuk uji lentur dan 100°C , 200°C , 300°C dan 400°C untuk uji desak, dengan variasi waktu pembakaran 1, 2 dan 3 jam. 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 :

σ_c = Kuat desak beton (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 lintang sama dengan nol). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 1.1.

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

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

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

Kekuatan lentur atau tegangan lentur dapat diperoleh dengan rumus :

$$\sigma_{lt} = (M \cdot Y) / I \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan :

σ_{lt} = tegangan lentur,

M = momen yang bekerja pada balok,

Y = jarak serat terluar terhadap garis netral, baik di daerah tekan maupun tarik,

I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral.

Benda uji yang digunakan pada percobaan ini adalah balok persegi dengan panjang 100 cm, lebar 15 cm dan tinggi 20 cm. Balok beton persegi diuji setelah

mengalami pembakaran pada umur beton 28 hari dengan suhu 200°C dan 300°C selama 1, 2 dan 3 jam.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Setelah melalui serangkaian pengujian didapatkan hasil antara lain beban maksimum untuk desak dan lentur, perubahan pada berat benda uji, volume, kuat tarik baja tulangan serta fisik beton untuk beton yang telah mengalami pembakaran maupun yang tidak. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut ditampilkan pada tabulasi. Tabel 5.1 di bawah ini merupakan hasil pengukuran dan pengujian balok yang dibakar pada suhu 200°C dan 300°C dengan variasi waktu pembakaran 1, 2 dan 3 jam.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Lentur

NO	KODE	WAKTU BAKAR	SUHU °C	BERAT (kg)		VOLUME (cm ³)		BJ		P Maks (Kg)
				AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	
1	1L	-	-	76,36	76,36	30379,78	30379,78	2,51	2,51	7450,00
2	1L	-	-	77,01	77,01	30945,72	30945,72	2,49	2,49	7900,00
3	1L	-	-	76,93	76,93	30150,19	30150,19	2,55	2,55	7550,00
RATA-RATA				76,77	76,77	30491,89	30491,89	2,52	2,52	7633,33
PERUBAHAN (%)				0,00		0,00		0,00		
1	3LA1	1 JAM	200	75,89	74,53	30492,14	30485,13	2,49	2,44	7750,00
2	3LA2	1 JAM	200	76,75	75,37	30325,12	30321,18	2,53	2,49	7300,00
3	3LA3	1 JAM	200	78,12	76,71	30321,86	30320,95	2,58	2,53	7600,00
RATA-RATA				76,92	75,54	30379,71	30375,76	2,53	2,49	7550,00
PERUBAHAN (%)				-1,80		-0,01		-1,79		
1	3LB1	2 JAM	200	76,18	74,27	30971,85	30964,11	2,46	2,40	7650,00
2	3LB2	2 JAM	200	76,50	74,58	30900,09	30895,45	2,48	2,41	7300,00
3	3LB3	2 JAM	200	77,76	75,81	30964,99	30963,44	2,51	2,45	7550,00

Lanjutan Tabel 5.1

RATA-RATA				76,81	74,89	30945,64	30941,00	2,48	2,42	7500,00
PERUBAHAN (%)				-2,51		-0,01		-2,49		
1	3LC1	3 JAM	200	76,83	74,53	30309,39	30301,99	2,53	2,46	7250,00
2	3LC2	3 JAM	200	77,25	74,93	29813,14	29808,84	2,59	2,51	7650,00
3	3LC3	3 JAM	200	77,23	75,91	30333,84	30332,50	2,55	2,50	7350,00
RATA-RATA				77,10	75,12	30152,12	30147,78	2,56	2,49	7416,67
PERUBAHAN (%)				-2,57		-0,01		-2,56		
1	4LA1	1 JAM	300	77,46	75,12	30764,55	30754,38	2,52	2,44	7300,00
2	4LA2	1 JAM	300	76,50	74,19	30476,05	30469,01	2,51	2,44	7650,00
3	4LA3	1 JAM	300	76,19	73,89	30232,40	30228,45	2,52	2,44	7600,00
RATA-RATA				76,72	74,40	30491,00	30483,96	2,52	2,44	7516,67
PERUBAHAN (%)				-3,02		-0,02		-3,00		
1	4LB1	2 JAM	300	76,00	73,10	30561,72	30549,20	2,49	2,39	7050,00
2	4LB2	2 JAM	300	77,25	74,30	30384,75	30375,33	2,54	2,45	7650,00
3	4LB3	2 JAM	300	77,11	74,17	30556,43	30550,02	2,52	2,43	7300,00
RATA-RATA				76,78	73,86	30500,97	30491,52	2,52	2,42	7333,33
PERUBAHAN (%)				-3,81		-0,03		-3,78		
1	4LC1	3 JAM	300	76,44	73,07	30457,20	30445,64	2,51	2,40	7200,00
2	4LC2	3 JAM	300	77,45	74,03	30327,51	30319,03	2,55	2,44	6950,00
3	4LC3	3 JAM	300	77,17	73,77	30488,97	30483,49	2,53	2,42	7400,00
RATA-RATA				77,02	73,62	30424,56	30416,05	2,53	2,42	7183,33
PERUBAHAN (%)				-4,41		-0,03		-4,39		

Hasil pengukuran dan pengujian desak yang dilakukan pada silinder setelah dibakar pada suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C selama 1, 2 dan 3 jam dapat dibaca pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Desak

NO	KODE	WAKTU BAKAR	SUHU (°C)	BERAT (kg)		VOLUME (cm ³)		BJ (T/m ³)		P MAKS (KN)	TEG. DESAK (kg/cm ²)
				AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR		
1	1D	-	-	13,25	13,25	5480,708	5480,708	2,42	2,42	825,00	464,63
2	1D	-	-	13,30	13,30	5398,919	5398,919	2,46	2,46	815,00	459,97
3	1D	-	-	13,29	13,29	5459,539	5459,539	2,43	2,43	815,00	459,60
RATA-RATA				13,28	13,28	5446,389	5446,389	2,44	2,44	818,33	461,40
PERUBAHAN (%)				0		0		0,00			
1	2DA1	1 JAM	100	13,05	12,91	5374,476	5374,580	2,43	2,40	820,00	465,25
2	2DA2	1 JAM	100	13,00	12,86	5408,669	5409,314	2,40	2,38	780,00	440,85
3	2DA3	1 JAM	100	12,97	12,84	5368,995	5370,172	2,42	2,39	825,00	471,46
RATA-RATA				13,01	12,87	5384,046	5384,689	2,42	2,39	808,33	459,19
PERUBAHAN (%)				-1,05		0,012		-1,06			
1	2DB1	2 JAM	100	12,77	12,54	5211,995	5212,576	2,45	2,41	745,00	435,85
2	2DB2	2 JAM	100	13,33	13,09	5438,636	5439,786	2,45	2,41	840,00	473,39
3	2DB3	2 JAM	100	13,48	13,25	5466,428	5468,130	2,47	2,42	815,00	459,64
RATA-RATA				13,19	12,96	5372,353	5373,489	2,46	2,41	800,00	456,29
PERUBAHAN (%)				-1,74		0,021		-1,77			

Lanjutan Tabel 5.2

1	2DC1	3 JAM	100	12,87	12,62	5337,321	5335,701	2,41	2,37	765,00	436,86
2	2DC2	3 JAM	100	13,11	12,85	5410,072	5408,972	2,42	2,38	795,00	449,46
3	2DC3	3 JAM	100	13,11	12,86	5395,795	5395,237	2,43	2,38	830,00	472,22
RATA-RATA				13,03	12,78	5381,063	5379,968	2,42	2,37	796,67	452,85
PERUBAHAN (%)				-1,91		-0,020		-1,89			
1	3DA1	1 JAM	200	13,23	12,88	5368,662	5365,549	2,46	2,40	785,00	444,69
2	3DA2	1 JAM	200	12,76	12,42	5290,229	5287,690	2,41	2,35	795,00	464,02
3	3DA3	1 JAM	200	13,40	13,06	5422,253	5420,193	2,47	2,41	820,00	462,30
RATA-RATA				13,13	12,79	5360,381	5357,809	2,45	2,39	800,00	457,00
PERUBAHAN (%)				-2,60		-0,048		-2,55			
1	3DB1	2 JAM	200	13,00	12,55	5319,953	5316,569	2,44	2,36	775,00	444,48
2	3DB2	2 JAM	200	13,08	12,67	5379,416	5376,532	2,43	2,36	790,00	449,10
3	3DB3	2 JAM	200	13,33	12,87	5450,978	5448,601	2,45	2,36	825,00	464,48
RATA-RATA				13,14	12,69	5383,449	5380,563	2,44	2,36	796,67	452,69
PERUBAHAN (%)				-3,37		-0,054		-3,31			
1	3DC1	3 JAM	200	13,13	12,63	5451,039	5447,657	2,41	2,32	725,00	408,57
2	3DC2	3 JAM	200	12,46	11,98	5193,255	5190,552	2,40	2,31	780,00	458,95
3	3DC3	3 JAM	200	13,37	12,86	5472,688	5470,387	2,44	2,35	825,00	464,62
RATA-RATA				12,98	12,49	5372,328	5369,532	2,42	2,33	776,67	444,05
PERUBAHAN (%)				-3,79		-0,052		-3,74			
1	4DA1	1 JAM	300	13,11	12,59	5449,612	5441,223	2,41	2,31	825,00	465,13
2	4DA2	1 JAM	300	13,30	12,77	5458,689	5450,831	2,44	2,34	745,00	420,48
3	4DA3	1 JAM	300	12,78	12,27	5361,678	5354,496	2,38	2,29	790,00	451,73
RATA-RATA				13,07	12,54	5423,327	5415,520	2,41	2,32	786,67	445,78
PERUBAHAN (%)				-4,00		-0,144		-3,86			
1	4DB1	2 JAM	300	12,87	12,26	5355,755	5346,213	2,40	2,29	810,00	461,58
2	4DB2	2 JAM	300	12,91	12,30	5382,885	5373,834	2,40	2,29	725,00	412,05
3	4DB3	2 JAM	300	12,87	12,25	5347,884	5339,426	2,41	2,29	740,00	424,19
RATA-RATA				12,88	12,27	5362,175	5353,158	2,40	2,29	758,33	432,60
PERUBAHAN (%)				-4,78		-0,168		-4,62			
1	4DC1	3 JAM	300	13,01	12,36	5401,630	5392,105	2,41	2,29	745,00	423,69
2	4DC2	3 JAM	300	12,77	12,12	5364,090	5355,167	2,38	2,26	705,00	402,06
3	4DC3	3 JAM	300	12,94	12,28	5448,515	5439,997	2,37	2,26	775,00	437,19
RATA-RATA				12,91	12,25	5404,745	5395,755	2,39	2,27	741,67	420,98
PERUBAHAN (%)				-5,05		-0,166		-4,89			
1	5DA1	1 JAM	400	13,01	12,23	5351,755	5339,640	2,43	2,29	805,00	462,65
2	5DA2	1 JAM	400	12,73	12,31	5345,731	5334,164	2,38	2,31	765,00	437,61
3	5DA3	1 JAM	400	13,04	12,24	5384,968	5373,854	2,42	2,28	775,00	441,27
RATA-RATA				12,93	12,26	5360,818	5349,218	2,41	2,29	781,67	447,18
PERUBAHAN (%)				-5,15		-0,216		-4,95			
1	5DB1	2 JAM	400	13,12	12,35	5386,867	5371,799	2,43	2,30	710,00	403,05
2	5DB2	2 JAM	400	13,10	12,28	5371,537	5357,049	2,44	2,29	780,00	444,13
3	5DB3	2 JAM	400	13,16	12,39	5390,885	5376,884	2,44	2,31	760,00	432,47
RATA-RATA				13,13	12,34	5383,096	5368,577	2,44	2,30	750,00	426,55
PERUBAHAN (%)				-5,96		-0,270		-5,71			

Lanjutan Tabel 5.2

1	5DC1	3 JAM	400	12,81	11,99	5331,779	5318,218	2,40	2,26	740,00	424,43
2	5DC2	3 JAM	400	13,13	12,29	5404,270	5391,065	2,43	2,28	720,00	407,20
3	5DC3	3 JAM	400	12,93	12,10	5426,890	5414,172	2,38	2,24	740,00	418,28
RATA-RATA				12,96	12,13	5387,646	5374,482	2,40	2,26	733,33	416,64
PERUBAHAN (%)				-6,38		-0,244		-6,15			

Tabel di atas menunjukkan kuat desak rata-rata (f'_{cr}) yang harus dikurangi dengan 82,8. Angka ini didapatkan dari ketentuan *ACI* murni (Tabel 2.1) sehingga rumus untuk menghitung kuat tekan karakteristik menjadi :

$$f'_c = f'_{cr} - 82,8$$

Untuk lebih jelasnya hasil pengurangan tersebut dapat dilihat pada tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Data Kuat Desak Karakteristik dengan $S_d = 82,8$

No	Suhu (°C)	Waktu Pembakaran (Jam)	f'_{cr} (MPa)	f'_c (MPa)
1	-	-	46,140	37,860
2	100	1	45,919	37,639
3	100	2	45,629	37,349
4	100	3	45,285	37,005
5	200	1	45,700	37,420
6	200	2	45,269	36,989
7	200	3	44,405	36,125
8	300	1	45,146	36,866
9	300	2	44,113	35,833
10	300	3	42,958	34,678
11	400	1	44,718	36,438
12	400	2	42,655	34,375
13	400	3	41,664	33,384

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

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan

NO	DIAMETER (mm)	LUAS (cm ²)	LULUH (kg)		MAKS (kg)	PATAH (kg)	TEG. TARIK (kg/cm ²)
			AWAL	AKHIR			
1	10,072	0,7963	2610	2730	3760	2800	3277,4752
2	10,086	0,7985	2615	2800	3780	2800	3274,8389
3	10,052	0,7932	2505	2680	3780	2850	3158,2783
4	10,075	0,7967	2580	2690	3720	2800	3238,1954
5	10,059	0,7942	2595	2700	3750	3200	3267,3272
6	10,064	0,7951	2555	2660	3740	2800	3213,5125
7	10,062	0,7948	2595	2710	3730	2850	3265,1195
8	10,083	0,7981	2530	2640	3740	2900	3170,0881
RATA-RATA			2573,125	2701,25	3750	2875	3233,1044

Sedangkan nilai kuat tarik baja pasca pembakaran dan pembebanan dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran dan Pembebanan

NO	WAKTU BAKAR	SUHU °C	DIAMETER (mm)	LUAS (cm ²)	LULUH (kg)		MAKS (kg)	PATAH (kg)	TEG. TARIK (kg/cm ²)
					AWAL	AKHIR			
1	-	-	10,060	0,7949	2245	2420	3730	2810	2824,3319
	-	-	10,042	0,7920	2320	2440	3750	2800	2929,4131
	-	-	10,020	0,7885	2200	2305	3780	2820	2790,0133
	-	-	10,047	0,7928	2335	2470	3730	2960	2945,2968
	-	-	10,026	0,7894	2215	2390	3720	2980	2805,8977
	-	-	10,030	0,7901	2300	2475	3750	2810	2910,9790
RATA-RATA					2269	2417	3743	2863	2867,6553
2	1 JAM	200	10,033	0,7907	2220	2395	3770	2870	2807,7855
	1 JAM	200	10,059	0,7947	2315	2490	3780	2890	2912,8667
	1 JAM	200	10,038	0,7914	2195	2370	3750	2820	2773,4669
	1 JAM	200	10,043	0,7921	2320	2455	3690	2840	2928,7504
	1 JAM	200	10,032	0,7905	2205	2325	3720	2890	2789,3513
	1 JAM	200	10,026	0,7894	2285	2405	3740	2880	2894,4326
RATA-RATA					2257	2407	3742	2865	2851,1089
3	2 JAM	200	10,042	0,7920	2210	2285	3730	2770	2790,2642
	2 JAM	200	10,068	0,7961	2305	2480	3750	2870	2895,3454
	2 JAM	200	10,013	0,7874	2170	2345	3760	2860	2755,9456
	2 JAM	200	10,062	0,7952	2315	2450	3690	2810	2911,2291
	2 JAM	200	10,018	0,7883	2185	2305	3760	2950	2771,8300
	2 JAM	200	10,056	0,7943	2285	2360	3750	2950	2876,9113
RATA-RATA					2245	2371	3740	2868	2833,5876
4	3 JAM	200	10,045	0,7925	2200	2370	3770	2980	2776,0406
	3 JAM	200	10,071	0,7966	2295	2415	3750	2920	2881,1218
	3 JAM	200	10,027	0,7896	2165	2240	3750	2820	2741,7220
	3 JAM	200	10,043	0,7922	2295	2420	3730	2810	2897,0055
	3 JAM	200	10,010	0,7869	2170	2345	3720	2850	2757,6064
	3 JAM	200	10,026	0,7895	2260	2430	3710	2770	2862,6877
RATA-RATA					2231	2370	3738	2858	2819,3640

Lanjutan Tabel 5.5

5	1 JAM	300	10,048	0,7930	2220	2355	3710	2840	2799,5840
	1 JAM	300	10,030	0,7902	2295	2430	3750	2830	2904,6652
	1 JAM	300	10,018	0,7882	2180	2355	3760	2820	2765,2654
	1 JAM	300	10,035	0,7909	2310	2430	3730	2910	2920,5489
	1 JAM	300	10,059	0,7946	2210	2330	3750	2880	2781,1498
	1 JAM	300	10,040	0,7917	2285	2460	3740	2860	2886,2311
RATA-RATA					2250	2393	3740	2857	2842,9074
6	2 JAM	300	10,046	0,7927	2200	2335	3770	2810	2775,6391
	2 JAM	300	10,028	0,7897	2275	2350	3790	2870	2880,7203
	2 JAM	300	10,051	0,7934	2175	2295	3750	2820	2741,3205
	2 JAM	300	10,022	0,7889	2285	2405	3650	2840	2896,6040
	2 JAM	300	10,022	0,7888	2175	2350	3720	2950	2757,2049
	2 JAM	300	10,027	0,7896	2260	2435	3750	2850	2862,2862
RATA-RATA					2228	2362	3738	2857	2818,9625
7	3 JAM	300	10,042	0,7921	2180	2355	3770	2860	2752,2964
	3 JAM	300	10,046	0,7927	2265	2400	3780	2770	2857,3776
	3 JAM	300	10,047	0,7929	2155	2330	3750	2850	2717,9778
	3 JAM	300	10,007	0,7866	2260	2335	3650	2810	2873,2613
	3 JAM	300	10,030	0,7902	2160	2280	3720	2960	2733,8622
	3 JAM	300	10,001	0,7855	2230	2405	3750	2890	2838,9435
RATA-RATA					2208	2351	3737	2857	2795,6198

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 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut ini.



Tabel 5.6 Perubahan Fisik Beton

No	Suhu °C	Waktu Pembakaran (Jam)	Perubahan Fisik	
			Warna	Retak
1	-	-	Abu-abu kehijauan	Tanpa retak
2	100	1	Abu-abu muda kehijauan	Tanpa retak
3	100	2	Abu-abu muda kehijauan	Tanpa retak
4	100	3	Abu-abu muda kehijauan	Tanpa retak
5	200	1	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit sekali
6	200	2	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit sekali
7	200	3	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit
8	300	1	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit
9	300	2	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit
10	300	3	Abu-abu muda keputihan	Retak rambut sedikit
11	400	1	Abu-abu muda kehijauan	Retak rambut sedikit
12	400	2	Abu-abu muda hijau keputihan	Retak rambut agak banyak
13	400	3	Abu-abu muda hijau keputihan	Retak rambut agak banyak

5.2 Pembahasan

5.2.1 Keadaan Fisik Beton

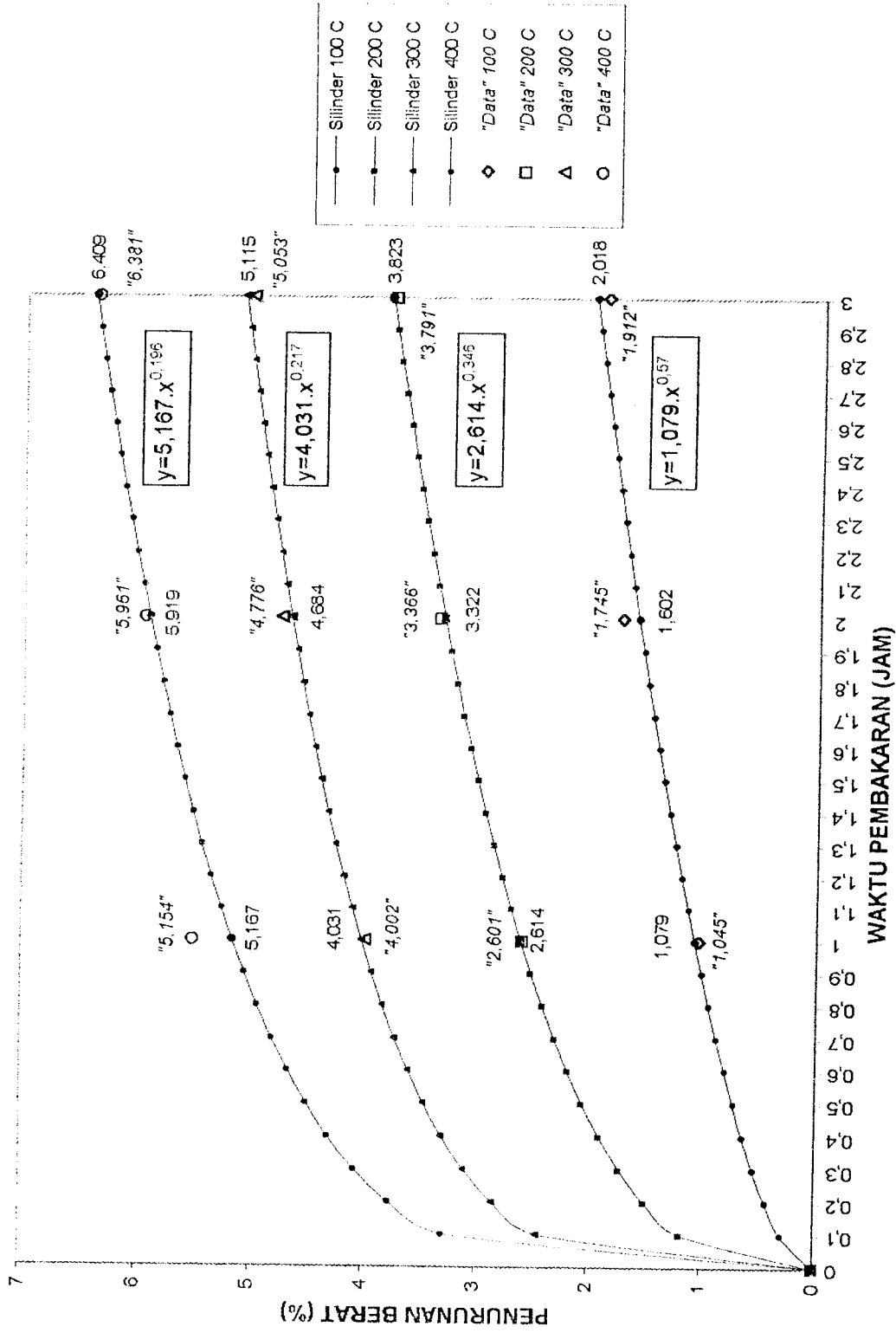
Keadaan fisik beton yang terkena suhu tinggi akan mengalami perubahan akibat pengaruh sifat bahan-bahan penyusun beton yang mengalami perubahan. Pada penelitian ini yang dapat diamati secara langsung adalah perubahan warna dan terjadi retak-retak pada permukaan beton. Pada kondisi normal (sebelum dibakar) beton

berwarna abu-abu kehijauan. Setelah dibakar pada suhu 100°C, 200°C dan 300°C selama 1, 2 dan 3 jam warna berubah menjadi lebih muda dari warna asal demikian pula pada suhu 400°C selama 1 jam. Sedang untuk beton pada suhu 400°C, setelah mengalami pembakaran selama 2 dan 3 jam warna beton berubah menjadi abu-abu muda hijau keputihan. Perubahan warna dari abu-abu kehijauan menjadi abu-abu muda kehijauan dan abu-abu hijau keputihan ini disebabkan oleh terhidrasi Kalsium Hidroksida pada pasta semen. Setelah beton dibakar, tidak terjadi keretakan pada suhu 100°C. Keretakan baru terjadi setelah dibakar pada suhu 200°C dan 300°C. Selama 1, 2 dan 3 jam. Keretakan tersebut terlihat menyerupai retak-retak rambut dan terjadi hampir di seluruh permukaan yang terkena panas langsung. Hal demikian juga terjadi pada suhu 400°C selama 1 jam pembakaran. Meskipun perubahan relatif kecil sekali, retak-retak ini semakin bertambah banyak dan bertambah lebar seiring dengan peningkatan variasi waktu dan suhu. Retak-retak juga terjadi pada beton yang dibakar pada suhu 400°C selama 2 dan 3 jam. Meskipun demikian lebar retak-retak pada suhu dan waktu tersebut lebih besar bila dibandingkan dengan retak-retak beton yang dibakar pada suhu 100°C, 200°C dan 300°C, selama 1, 2 dan 3 jam, serta 400°C selama 1 jam. 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.

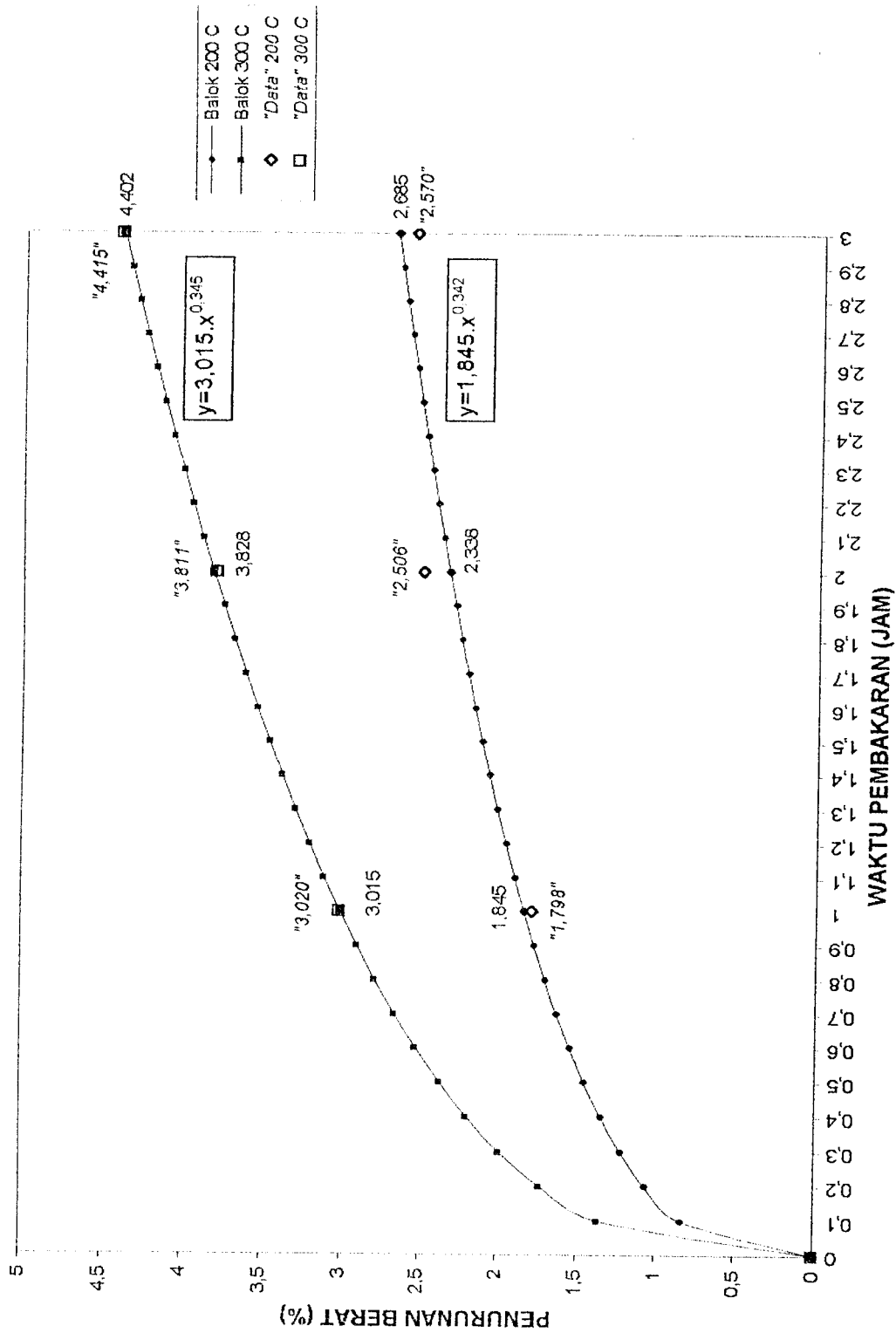
5.2.2 Perubahan Berat, Volume dan Berat Jenis Beton

Parameter lain yang berubah setelah pembakaran adalah berat dan volume benda uji. Perubahan tersebut akan berpengaruh terhadap perubahan berat jenis benda

uji, karena berat jenis merupakan perbandingan berat terhadap volume suatu benda. Dari pengukuran didapatkan terjadi penurunan berat benda uji. Penurunan berat ini akan semakin besar seiring dengan penambahan suhu dan waktu pembakaran. Pada silinder yang dibakar pada suhu 100°C selama 1, 2 dan 3 jam penurunan berat yang terjadi berturut-turut adalah 1,0791 %, 1,6017 % dan 2,0181 %. Untuk silinder yang dibakar pada suhu 200°C selama 1, 2 dan 3 jam penurunan yang terjadi adalah 2,6137 %, 3,3223 % dan 3,8228 %. Untuk silinder yang dibakar pada suhu 300°C selama 1, 2 dan 3 jam penurunan yang terjadi adalah 4,0308 %, 4,6844 % dan 5,1148 %. Dan untuk silinder yang dibakar pada suhu 400°C selama 1, 2 dan 3 jam penurunan yang terjadi adalah 5,1674 %, 5,9195 % dan 6,4092 %. Benda uji balok yang dibakar pada suhu 200°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami penurunan sebesar 1,8447 %, 2,3376 % dan 2,685 %. Dan untuk benda uji balok yang dibakar pada suhu 300°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami penurunan sebesar 3,0149 %, 3,8283 % dan 4,4024 %. Penurunan berat yang terjadi pada keseluruhan benda uji merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian (lampiran 26, 27 dan 28), metode pendekatan yang digunakan dengan transformasi logaritma. Untuk lebih jelas penurunan berat tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Prosentase Penurunan Berat Silinder Beton Terhadap Waktu Pembakaran

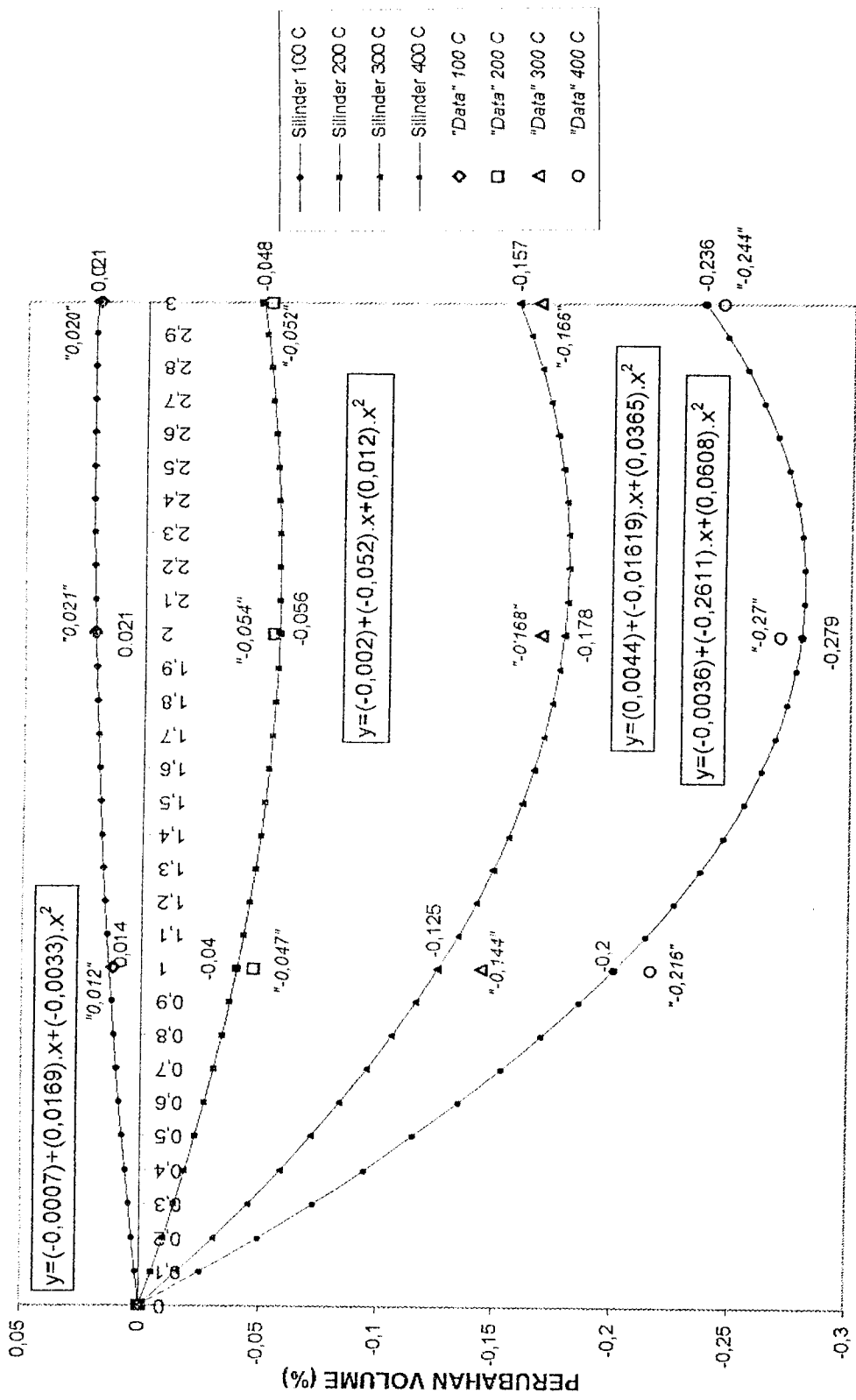


Gambar 5.2 Grafik Prosentase Penurunan Berat Balok Beton terhadap Waktu Pembakaran

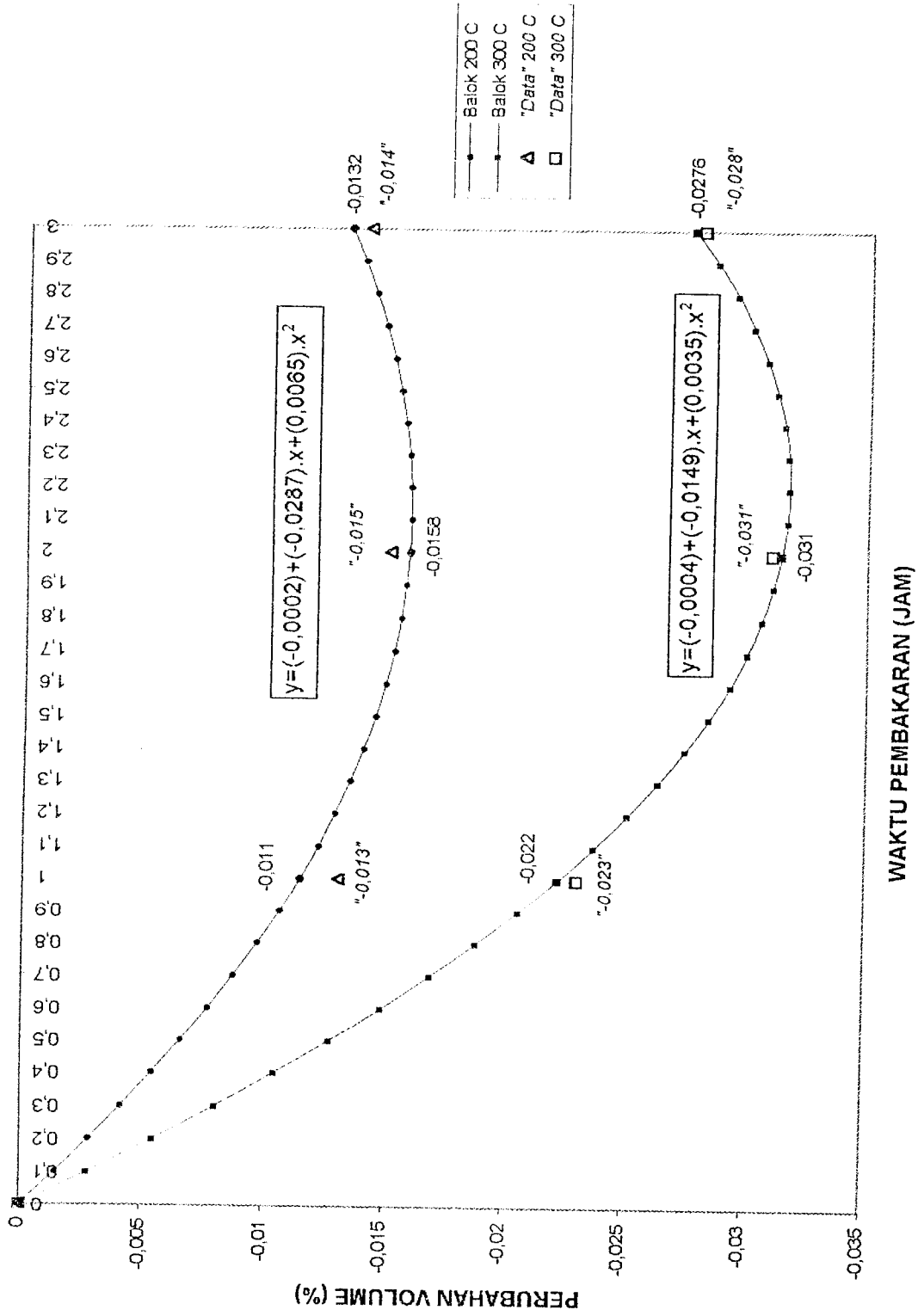
Dari gambar 4.1 dan 4.2 di atas terlihat bahwa semakin tinggi suhu semakin banyak penurunan berat yang terjadi. Perbedaan rata-rata antara penurunan pada suhu antara 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C yang didapatkan pada penelitian ini adalah 1,4219 %. Disamping itu dapat juga diamati bahwa antara benda uji lentur yang tidak dibakar dengan benda uji lentur yang dibakar pada suhu 200°C, berat benda uji akan turun sebesar 1,8447 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 2,3376 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 2,6850 %. Benda uji lentur yang dibakar pada suhu 300°C juga mengalami penurunan sebesar 3,0149 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 3,8283 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 4,4024 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 100°C juga mengalami penurunan sebesar 1,0791 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 1,6017 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 2,0181 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 200°C juga mengalami penurunan sebesar 2,6137 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 3,3223% untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 3,8228 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 300°C juga mengalami penurunan sebesar 4,0308 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 4,6844 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 5,1148 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 400°C juga mengalami penurunan sebesar 5,1674 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 5,9195 % untuk waktu pembakaran 2 jam, dan waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 6,4092 %.

Penurunan berat ini disebabkan karena kehilangan air yang terkandung pada beton akibat pembakaran. Suhu yang tinggi dan waktu 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 100°C, benda uji mengalami pemuaian. Pada pembakaran dengan jangka waktu yang lebih waktu, pemuaian semakin berkurang dan bahkan terjadi penyusutan. Untuk suhu 200°C, 300°C dan 400°C, benda uji mengalami penyusutan. Pada pembakaran dengan jangka waktu yang lebih waktu, pemuaian semakin berkurang tetapi tidak sampai mengalami penyusutan. Balok yang dibakar pada suhu 200°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,0114 %, -0,0158 % dan -0,0132 %. Balok yang dibakar pada suhu 300°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,0222 %, -0,0314 % dan -0,0276 %. Silinder yang dibakar pada suhu 100°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar 0,0136 %, 0,0207 % dan 0,0213 %. Silinder yang dibakar pada suhu 200°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,0401 %, -0,0562 % dan -0,0483 %. Silinder yang dibakar pada suhu 300°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,1254 %, -0,1778 % dan -0,1572 %. Silinder yang dibakar pada suhu 400°C selama 1, 2 dan 3 jam mengalami perubahan berturut-turut sebesar -0,2003 %, -0,2791 % dan -0,1572 %. 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 29, 30, 31, 32 33 dan 34). Grafik perubahan volume untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut dan metode pendekatan yang digunakan dengan regresi polinomial.



Gambar 5.3 Grafik Prosentase Perubahan Volume Silinder Beton terhadap Waktu Pembakaran



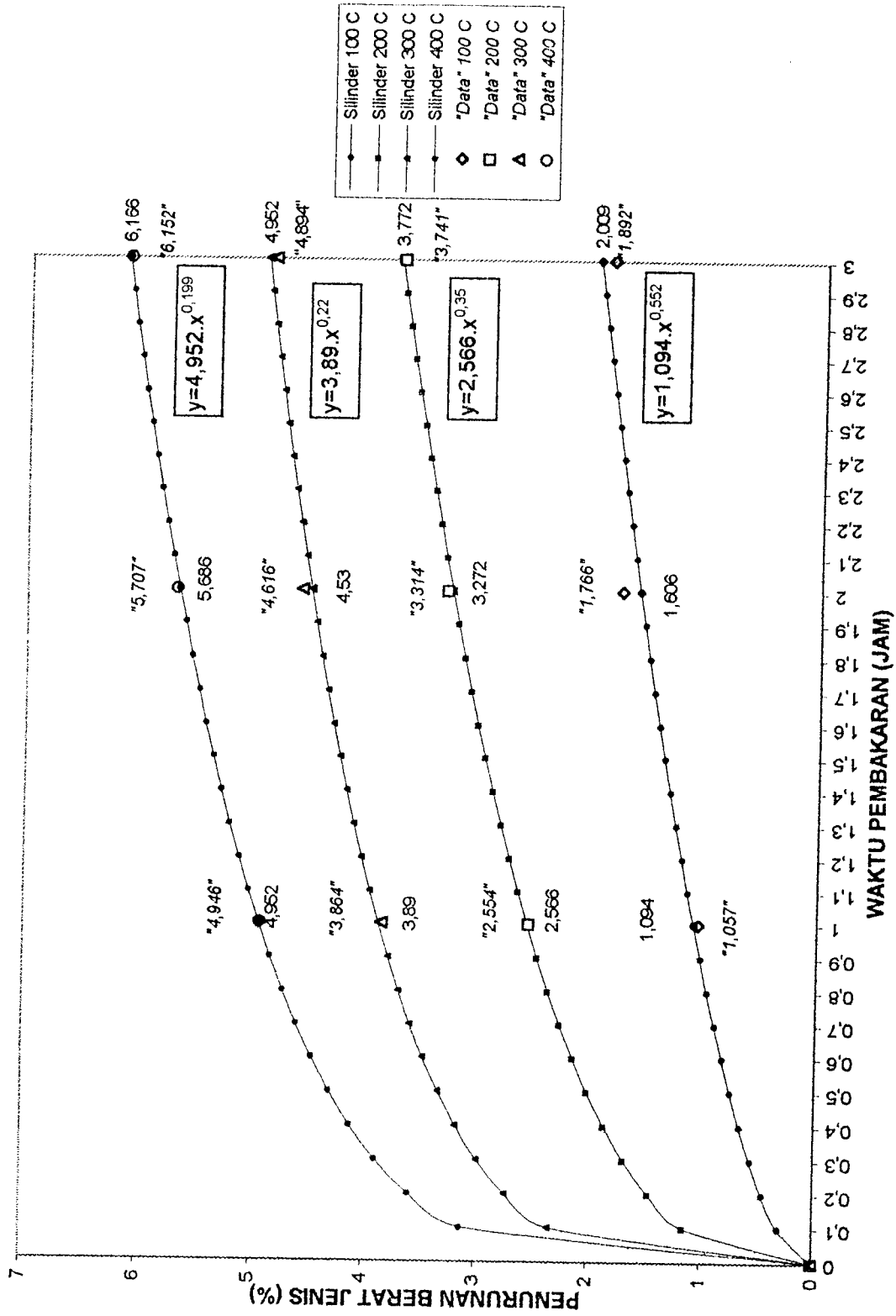
Gambar 5.4 Grafik Prosentase Perubahan Volume Balok Beton terhadap Waktu Pembakaran

Gambar 4.3 menunjukkan kenaikan volume pada silinder beton yang dibakar dengan suhu 100°C selama 1 jam, 2 jam dan 3 jam. Pemuaian yang terjadi kemudian menurun setelah melewati pembakaran pada jam ke 2. Untuk silinder yang dibakar dengan suhu 200°C , 300°C dan 400°C , bahkan mengalami penyusutan. Penyusutan yang terjadi kemudian menurun setelah melewati pembakaran pada jam ke 2.

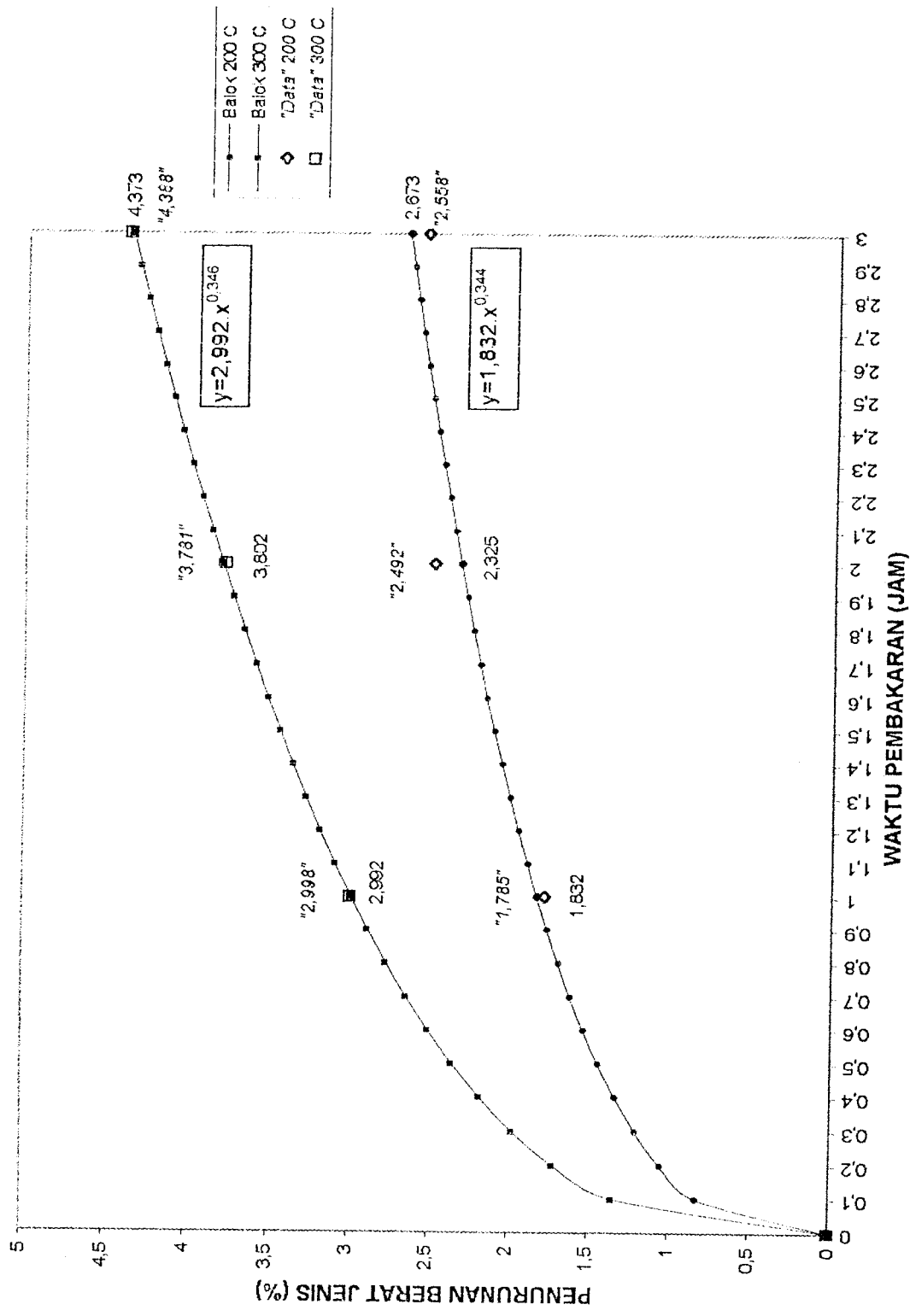
Pemuaian yang terjadi pada beton yang telah dibakar pada suhu 100°C disebabkan karena air yang terdapat pada beton belum mengalami penguapan, baru dalam proses pemuaian, sedangkan agregat dan pasta semen secara perlahan telah mengalami proses pemuaian. Untuk penyusutan yang terjadi pada beton yang telah dibakar pada suhu 200, 300 dan 400, disebabkan karena telah terjadi penguapan air yang terdapat pada pasta semen dan pori-pori agregat. Proses ini terjadi pada waktu pembakaran tertentu yang kemudian akan diikuti dengan penurunan penyusutan secara perlahan agregat dan pasta semen yang telah kehilangan kadar air. 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 $2,52 \text{ ton/m}^3$. Sedangkan setelah benda uji lentur mengalami pembakaran pada suhu 200°C , berat jenis akan turun sebesar 1,8316 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 2,3247 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 2,6726 %. Benda uji lentur yang dibakar pada suhu 300°C juga mengalami penurunan sebesar 2,9918 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 3,8016 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun

sebesar 4,3734 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 100°C juga mengalami penurunan sebesar 1,095 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 1,6058 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 2,0088 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 200°C juga mengalami penurunan sebesar 2,5665 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 3,2721 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 3,7716 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 300°C juga mengalami penurunan sebesar 3,8903 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 4,5303 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 4,9524 %. Benda uji desak yang dibakar pada suhu 400°C juga mengalami penurunan sebesar 4,9522 % untuk waktu pembakaran 1 jam, 5,6856 % untuk waktu pembakaran 2 jam, untuk waktu pembakaran 3 jam turun sebesar 6,1656 %. Penurunan berat jenis beton ini merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian (lampiran 35, 36 dan 37), metode pendekatan yang digunakan dengan transformasi logaritma. Penurunan berat jenis setelah mengalami pembakaran dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 5.5 Grafik Prosentase Perubahan Berat Jenis Silinder Beton terhadap Waktu Pembakaran



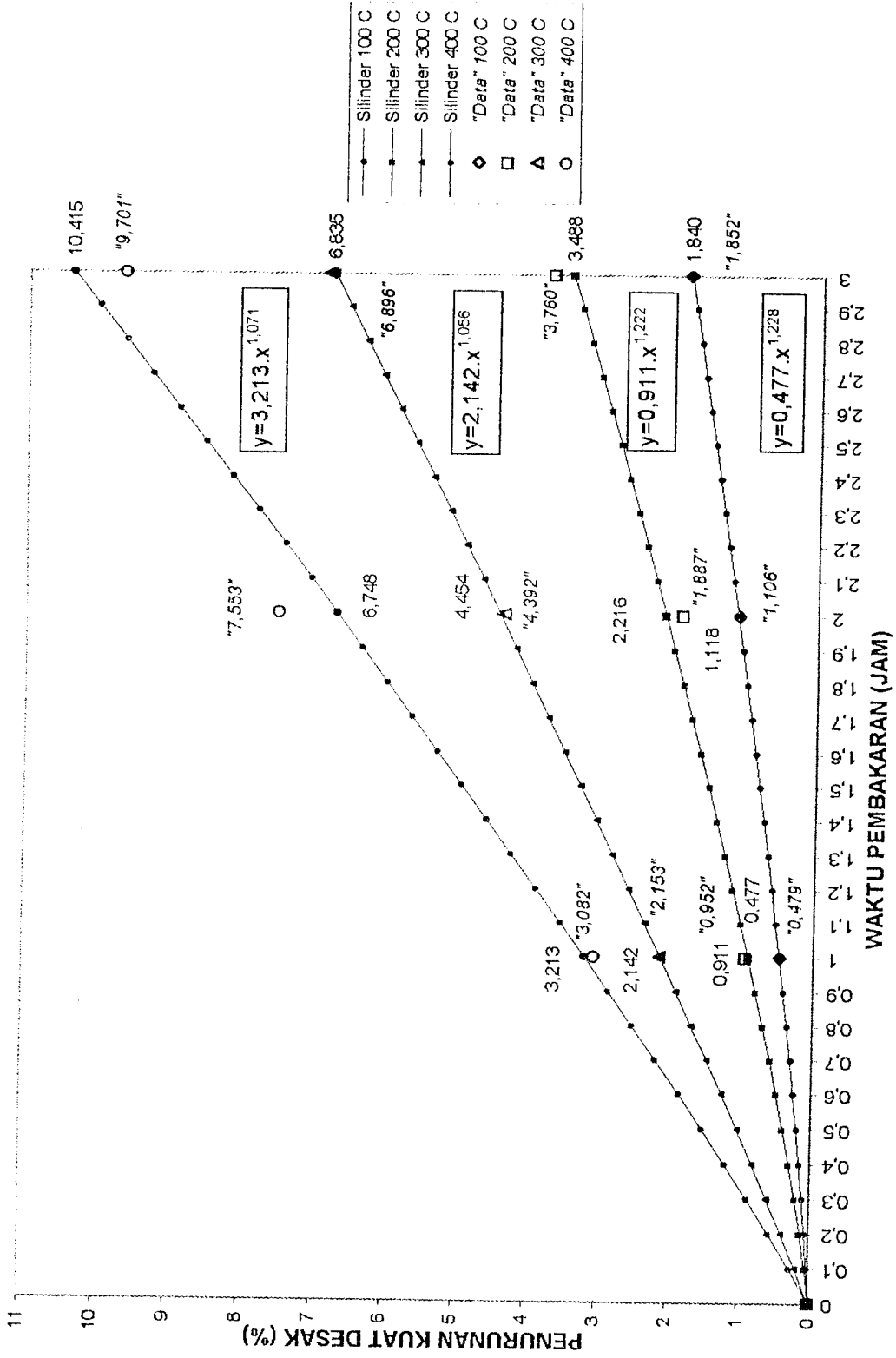
Gambar 5.6 Grafik Prosentase Penurunan Berat Jenis Balok Beton terhadap Waktu Pembakaran

Penurunan berat jenis ini dipengaruhi oleh penurunan 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 terjadi perubahan berat jenis.

5.2.3 Perubahan Kuat Desak Beton

Kuat desak beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah 30 MPa. Dari hasil pengujian desak untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan desak karakteristik beton sebesar 46,14 MPa dan punya kuat desak karakteristik sebesar 37,86 MPa. Kuat desak hasil pengujian ini nanti 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 penambahan waktu pembakaran, hal ini dapat dilihat pada prosentase penurunan kuat desak yang digambarkan pada grafik berikut, untuk metode pendekatan digunakan transformasi logaritma.



Gambar 5.7 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Desak Silinder Beton terhadap Waktu Pembakaran

Dari gambar 4.7 dapat dilihat prosentase penurunan kuat desak yang tidak begitu tajam pada pembakaran dengan suhu 400°C selama 1, 2 dan 3 jam. Agak sedikit berbeda berbeda dengan hasil pengujian beton yang dibakar pada 100°C, dimana prosentase penurunan kuat desak beton yang terjadi tidak begitu drastis.

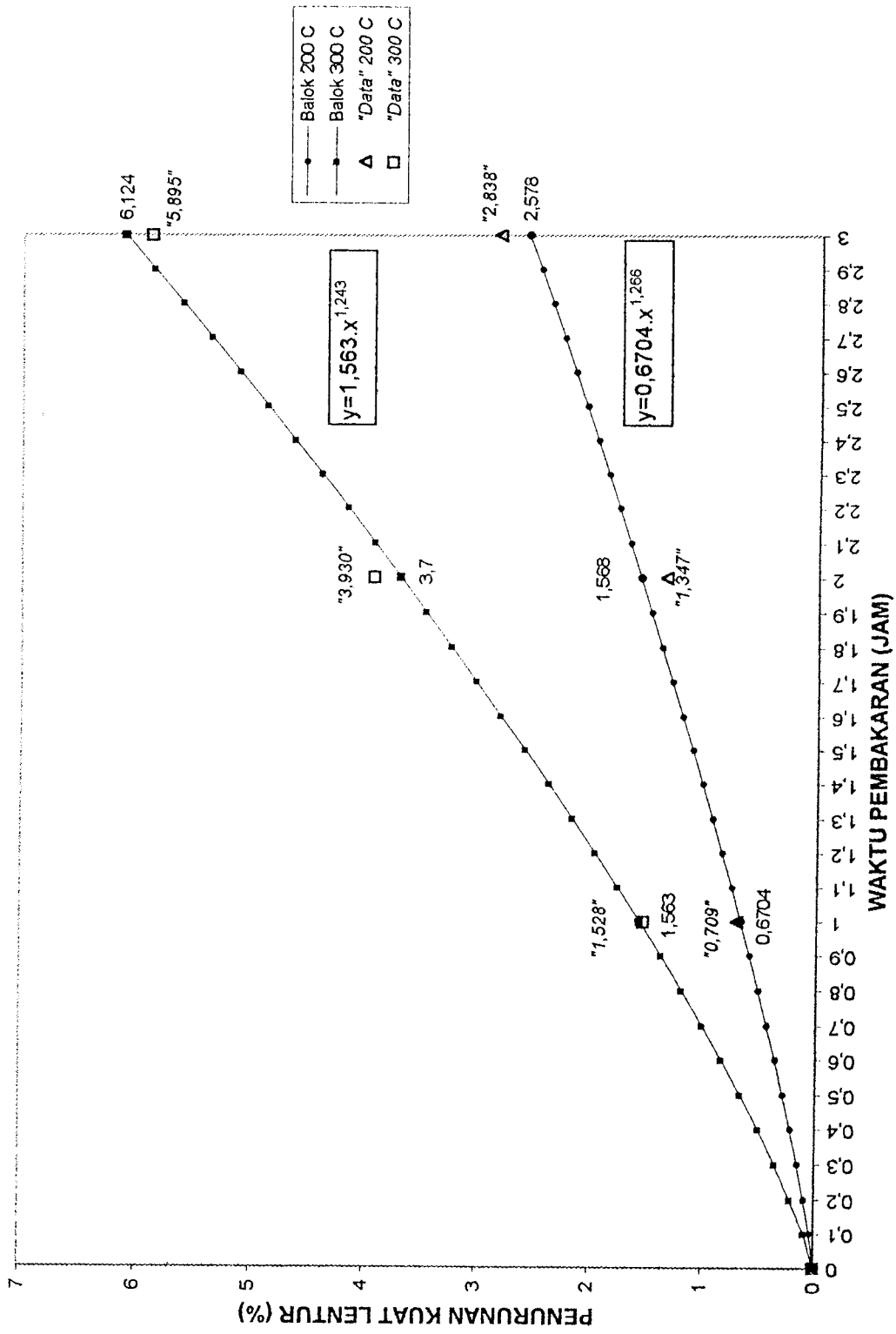
Grafik 4.7 merupakan grafik prosentase penurunan kuat desak yang diambil dari data pengujian setelah dilakukan analisa regresi (lampiran 38 dan 39). Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar dengan suhu 100°C, 200°C dan 300°C keadaan beton hampir sama yaitu hancur dengan jumlah agregat yang pecah relatif sama besar dari pada agregat yang terlepas. Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak dekat dengan permukaan, sedangkan agregat yang mengalami pecah terletak 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 karena lekatan antara pasta semen dengan agregat mengalami kerapuhan. Agak berbeda pada suhu 400°C, keadaan beton hancur dengan jumlah agregat yang pecah relatif lebih besar dari pada agregat yang terlepas.

Perbedaan kondisi ini terjadi karena beton yang diuji setelah dibakar pada suhu 100°C, 200°C dan 300°C, temperatur yang belum begitu tinggi masuk ke bagian dalam, sehingga kadar air yang terdapat pada pasta semen belum begitu banyak terpengaruh untuk merubah Kalsium Hidroksida menjadi bentuk Kalsium Oksida yang mempunyai ikatan lebih lemah karena melalui proses terhidrasi. Sedang pada beton yang dibakar pada suhu 400°C, bagian yang lebih luar

menerima panas yang lebih besar sehingga terjadi kehilangan air. Ini menyebabkan penyusutan dan Kalsium Hidroksida pada pasta semen terhidrasi menjadi bentuk Kalsium Oksida yang mempunyai ikatan 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.

5.2.4 Perubahan Kuat Lentur Beton

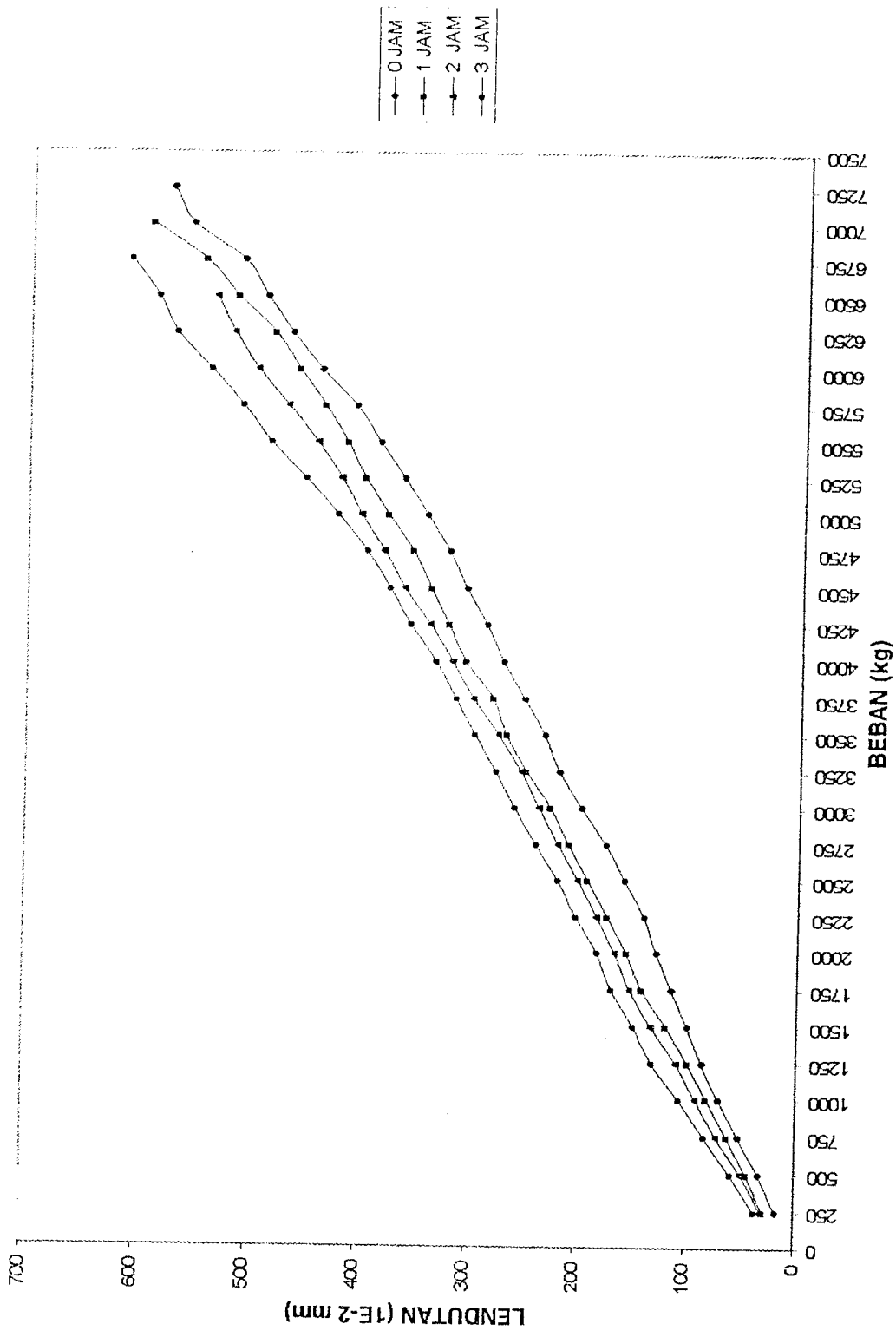
Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana (M_r) sebesar 8,98 kNm. Perhitungan ini didasarkan pada hasil uji tarik baja tulangan yang akan dipakai sebesar 323,31057 MPa dan kuat desak beton karakteristik yang direncanakan yaitu sebesar 38,28 MPa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang dibuat memberikan hasil kuat lentur karakteristik sebesar 11,2365 kNm. Pada pengujian terhadap benda uji yang telah dibakar dengan suhu 200°C selama 1, 2 dan 3 jam memberikan hasil kuat lentur berturut-turut sebesar 11,1138 kNm, 11,04 kNm dan 10,9176 kNm. Pada pengujian terhadap benda uji yang telah dibakar dengan suhu 300°C selama 1, 2 dan 3 jam memberikan hasil kuat lentur berturut-turut sebesar 11,0648 kNm, 10,7949 kNm dan 10,5741 kNm. Kuat lentur ini merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian lentur (lampiran 40) dan metode pendekatan yang digunakan dengan transformasi logaritma. Besar prosentase penurunan kuat lentur setelah pembakaran dapat dilihat pada grafik berikut ini.



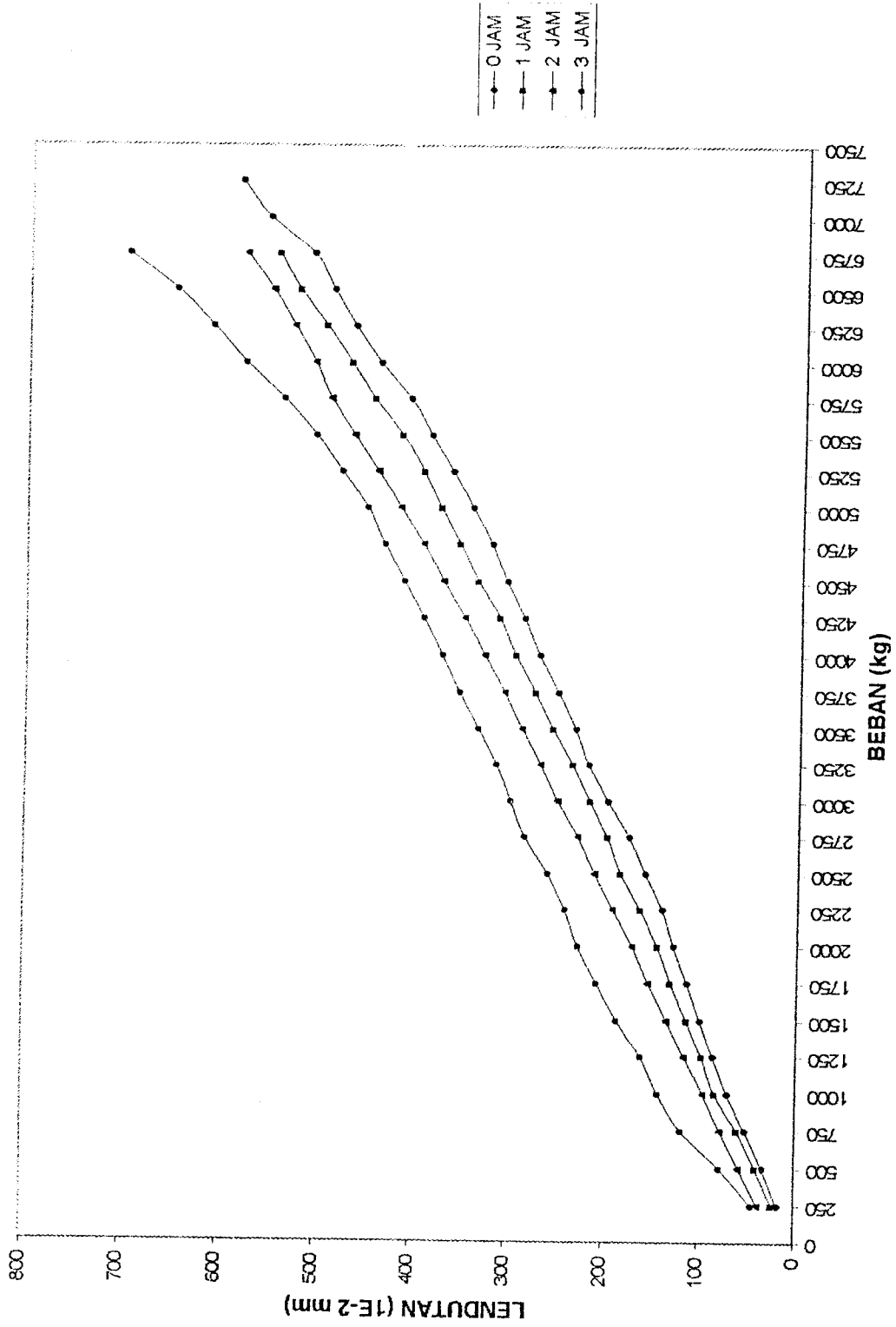
Gambar 5.8 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok Beton terhadap Waktu Pembakaran

Penurunan kuat lentur yang terjadi pada hasil pengujian disebabkan oleh penurunan kuat desak beton akibat terkena panas. Dari grafik 4.8 di atas terlihat bahwa pada balok yang terbakar selama 1, 2 dan 3 jam, pada suhu 200°C dan 300°C terjadi penurunan kuat lentur yang relatif kecil. Hal ini sebanding dengan nilai kuat desak beton setelah pembakaran pada suhu 200°C dan 300°C yang mengalami penurunan kuat desak yang relatif kecil juga.

Penurunan kuat lentur balok ini juga dapat diamati dari besar lendutan yang terjadi pada saat pengujian. Dari hasil pengujian diperoleh hubungan besar lendutan dengan waktu pembakaran, yang dibakar selama 1, 2 dan 3 jam. Besar lendutan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.9 dan 4.10 berikut ini.



Gambar 5.9 Grafik Lendutan Balok Beton Pada Pembakaran 200°C



Gambar 5.10 Grafik Lendutan Balok Beton Pada Pembakaran 300°C

Sejalan dengan semakin pengurangan 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 200°C dan 300°C selama 1, 2 dan 3 jam. Semakin waktu pembakaran, kuat lentur akan semakin berkurang akibat penurunan 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 waktu pembakaran yang sama. Perbedaan prosentase ini dikarenakan pada balok beton bertulang terdapat baja tulangan yang pada pembakaran dengan suhu dan waktu pembakaran tersebut mengalami penurunan kuat tarik yang tidak banyak seperti terurai pada sub-bab berikut.

Dengan mengetahui besar 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, 2 dan 3 jam pada suhu 200°C dan 300°C 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.

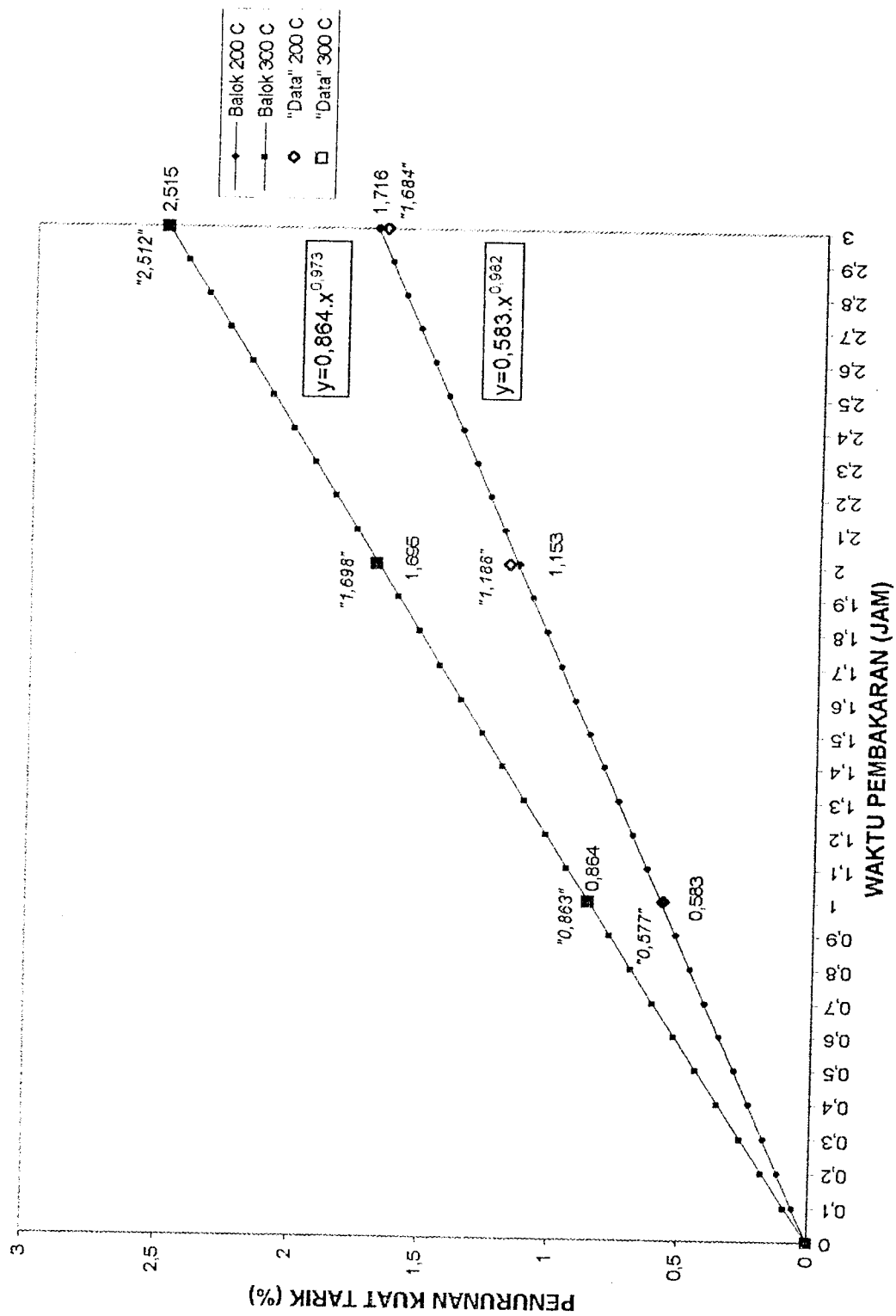
5.2.5 Perubahan Kuat Tarik baja

Kuat tarik baja yang didapat pada pengujian awal dalam penelitian ini sebesar $f_y = 323,31 \text{ MPa} = 3233,1057 \text{ kg/cm}^2$. Setelah uji lentur balok dilakukan, baja tarik yang telah terkena beban lentur pada balok mempunyai kuat tarik rata-rata sebesar $f_y = 273,093 \text{ MPa} = 2730,9256 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan kuat tarik baja yang telah mengalami pembakaran selama 1, 2 dan 3 jam dapat dilihat pada tabel berikut :

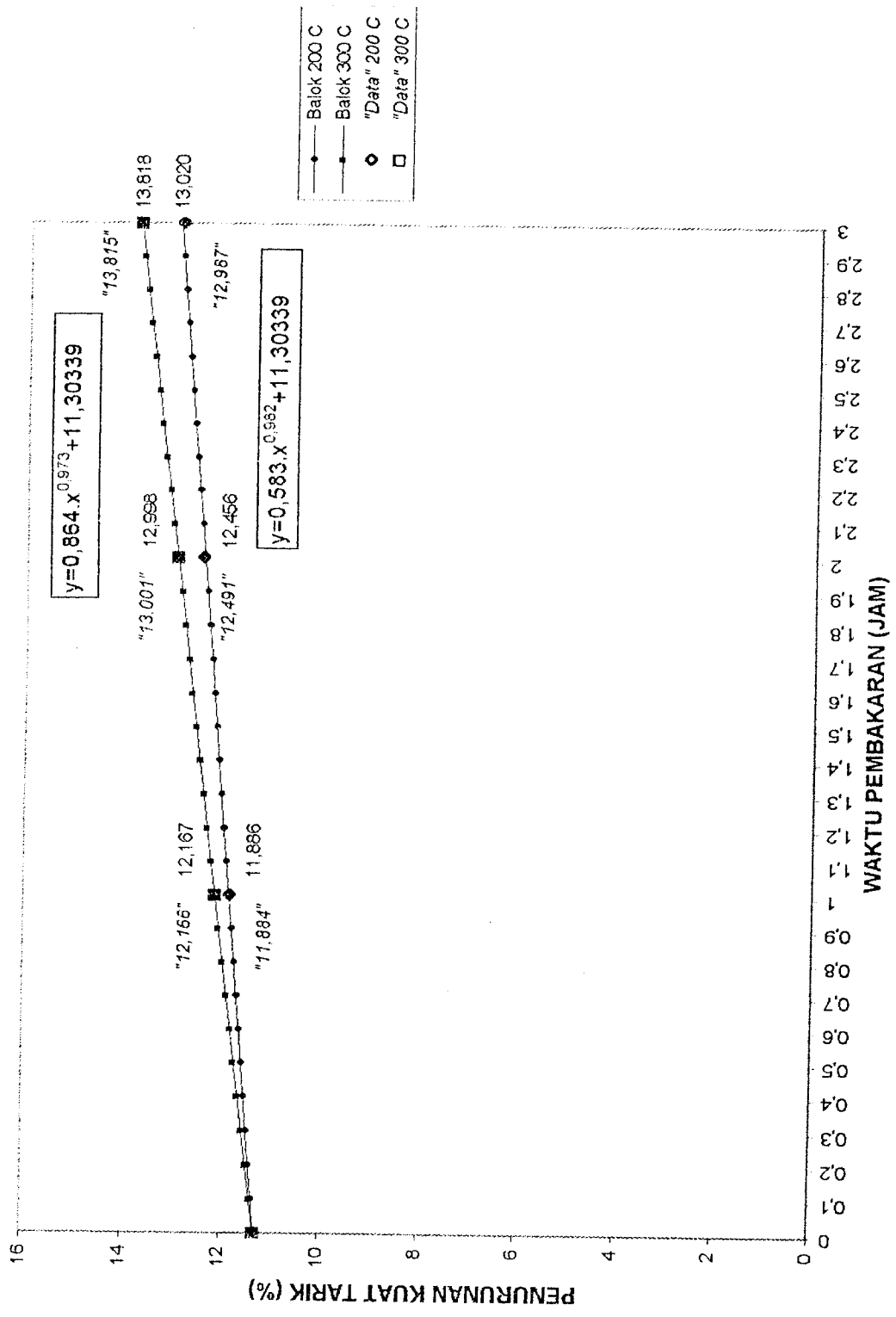
Tabel 5.7 Kuat Tarik Baja Setelah Pembakaran 200°C dan 300°C

Waktu Pembakaran (jam)	Kuat Tarik Baja (MPa) dengan suhu 200°C	Kuat Tarik Baja (MPa) dengan suhu 300°C
-	286,76553	286,76553
1	285,11089	284,29074
2	283,35876	281,89625
3	281,93640	279,56198

Pada gambar 5.11 ditampilkan prosentase penurunan yang telah diregresi (lampiran 41) dari kuat tarik baja sesudah dibakar dan terkena lentur, metode pendekatan yang digunakan dengan transformasi logaritma.



Gambar 5.11 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja terhadap Waktu Pembakaran

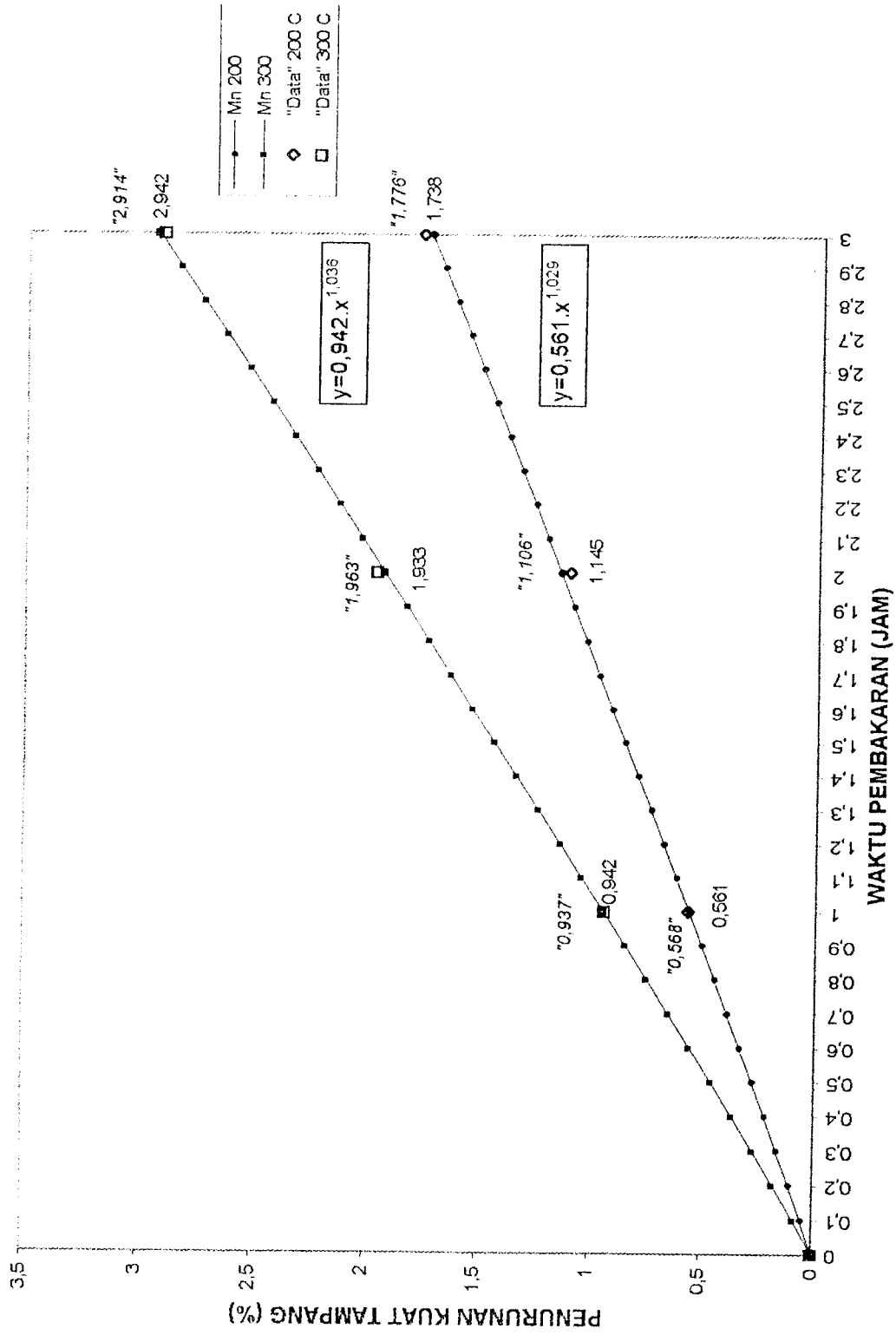


Gambar 5.12 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja dengan pengurangan kekuatan pada 0°C terhadap Waktu Pembakaran

Penurunan kuat tarik baja yang nampak pada gambar 5.11 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 200°C dan 300°C, dan kekuatan 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 suhu lebih kecil dari suhu luar.

5.2.6 Perubahan Kuat Tampang Balok

Kekuatan tampang balok beton bertulang diukur besar 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 200°C dan 300°C selama 1, 2 dan 3 jam sebagai data perhitungan M_n (lampiran 42,43,44,45,46,47,48 dan 49), maka didapatkan hasil seperti yang digambarkan pada grafik 5.12 berikut dan metode pendekatan yang digunakan dengan transformasi logaritma.



Gambar 5.13 Grafik Prosentase Penurunan Kuat Tampang Balok Beton terhadap Waktu Pembakaran

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan tentang pengaruh kuat desak beton terhadap kuat lentur setelah dilakukan pembakaran, terlebih pada suhu 200°C dan 300°C tanpa meninjau pengaruh unsur karbon dan oksigen, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Beton yang telah mengalami pembakaran pada suhu 200°C dan 300°C, akan mengalami perubahan kuat desak maupun berat jenis dan hal tersebut berpengaruh langsung pada kekuatan lentur beton.
2. Beton dengan $f'c = 30$ MPa yang mengalami perubahan pada suhu 200°C dan 300°C, kuat desak dan kuat lenturnya tidak jauh berbeda dibandingkan dengan beton yang tidak dibakar, hanya berkisar antara 0,9114% - 6,9304% (Lampiran 38 , 39 & Gambar 5.7) untuk kuat desak dan 0,6704% - 6,1244% (Lampiran 40 & Gambar 5.8) untuk kuat lentur.
3. Didapatkan dua kurva kelengkungan yang mempunyai persamaan sebesar $(y=1,563.x^{1,243})$ dan $(y=0,67.x^{1,226})$ dan menjelaskan hubungan antara kuat lentur yang terjadi pada suhu 200°C dan 300°C dengan pembakaran selama x jam untuk

- beton bertulang dengan spesifikasi seperti dalam penelitian ini. (Periksa Lampiran 40 & Gambar 5.8)
4. Didapatkan dua kurva kelengkungan yang mempunyai persamaan sebesar $(y=0,583 \cdot x^{0,982})$ dan $(y=0,864 \cdot x^{0,973})$ dan menjelaskan hubungan antara kuat tarik baja yang telah terkena uji lentur yang terjadi pada suhu 200°C dan 300°C dengan pembakaran selama x jam untuk beton bertulang dengan spesifikasi seperti dalam penelitian ini. (Periksa Lampiran 41 & Gambar 5.11)
 5. Didapatkan dua kurva kelengkungan yang mempunyai persamaan sebesar $(y=0,583 \cdot x^{0,982} + 11,30339)$ dan $(y=0,864 \cdot x^{0,973} + 11,30339)$ dan menjelaskan hubungan antara kuat tarik baja yang belum terkena uji lentur dengan balok beton bertulang yang terjadi pada suhu 200°C dan 300°C yang dibakar selama x jam. (Periksa Gambar 5.12)
 6. Dari kesimpulan no. 5 didapatkan penjelasan bahwa penjangkaran tulangan berfungsi dengan baik, terbukti dengan terjadinya penurunan kuat tarik baja sebesar 11,30339%, hasil perbandingan antara kuat tarik baja pada balok beton yang tidak mengalami uji lentur dengan kuat tarik baja pada balok beton yang telah mengalami uji lentur. (Periksa Tabel 5.4 & Tabel 5.5)
 7. Beton yang telah dibakar pada suhu 100°C mengalami kenaikan volume akibat masih banyaknya air bebas yang terdapat pada pasta semen dan pada suhu tersebut agregat yang terdapat pada beton mulai mengalami pengembangan.
 8. Beton yang telah dibakar pada suhu 200°C , 300°C dan 400°C mengalami penurunan volume akibat berkurangnya air bebas pada pasta semen dan pada suhu tersebut agregat yang terdapat pada beton pengembangannya masih lambat.

6.2 Saran-saran

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

1. Untuk mendapatkan mutu beton yang seragam sebaiknya pada waktu pembuatan benda uji dilakukan dalam satu adukan.
2. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat sebaiknya pembakaran benda uji bisa selesai dalam waktu 1 hari.
3. Supaya lebih diperhatikan kesempurnaan rawatan beton.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembakaran beton dengan variasi mutu beton dan mutu baja tulangan.
5. Perlu dilakukan penelitian yang terrinci rentang suhu dan lama pembakaran.
6. Untuk memperoleh kondisi yang mendekati kenyataan, akibat pendinginan mendadak oleh pemadam kebakaran, perlu diadakan penyiraman air pada beton yang baru saja dibakar.
7. Perlu dilakukan penelitian yang terrinci terhadap variasi selimut beton akibat suhu dan waktu pembakaran tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

1. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 N.I- 2**, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Republik Indonesia, Bandung.
2. Istimawan Dipohusodo, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
3. Kardiyono Tjokrodimuljo, 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
4. 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.
5. Neville, A.M., 1975, **PROPERTIES OF CONCRETE**, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
6. Nawy, Edward G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan oleh Ir. Bambang Suryoatmono, M.Sc., PT. Eresco, Bandung.
7. W.M. Lin, T.D. Lin, and L.J. Powers-Couche, 1996, **MICROSTRUCTURES OF FIRE-DAMAGE CONCRETE**, ACI Materials Journal, V.93, No. 3, pp. 199-205.

8. Johansyah, M. dan Krisno, B., 1997, **PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG**, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
9. Bomo, B. dan Nurhamdi, 1996, **PENELITIAN LABORATORIUM HUBUNGAN ANTARA LAMA PEMBAKARAN TERHADAP PENURUNAN KUAT DESAK BETON**, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.



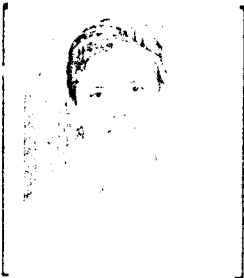
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	HIEO PEABANTORO	89310074		STRUKTUR
2.	SLAHET PRATIKUTO	89310050		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I : : IR.H.HOCHAMAD TEGUH, MSCE
Dosen Pembimbing II : : IR.TADJUDDIN BMA., MS

1



2



Yogyakarta,

tanggal 14 Juli 1997

Ketua Jurusan Teknik Sipil.

IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE

ANALISA BAHAN

1. Pasir

Asal : S. Krasak

a.1 Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian :

Berat pasir kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	121,2 gr
Berat pasir kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	119,4 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)	500 cc
Berat pasir (Keadaan SSD)	(B)	400 gr
Volume air + pasir	(C)	657,5 cc
BJ kondisi SSD = $\frac{B}{C - A}$		2,54 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	18	0,9	0,9
2,38	81	4,05	4,95
1,19	276,25	13,8125	18,7625
0,60	628,25	31,4125	50,175
0,30	536,25	26,8125	76,4875
0,149	332	16,6	93,5875
Panci	128,5	6,425	-
Total	2000,000	100,000	244,8625

$$\text{MHB Pasir} = \frac{244,8625}{100} = 2,4486$$

2. Split

a. Pemeriksaan kadar lumpur

Hasil pengujian :

Berat Split kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	225,57 gr
Berat Split kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	225,25 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)	500 cc
Berat Split (Keadaan SSD)	(B)	200 gr
Volume air + Split	(C)	580 cc
BJ kondisi SSD = $\frac{B}{C - A}$		2,5 gr/cc

c. Pemeriksaan BJ kering tusuk

Hasil pengujian :

Berat wadah kosong	(A)	101,8 gr
Berat wadah + air	(B)	1109,4 gr
Berat wadah + Split kering tusuk	(C)	1663,6 gr
BJ Kering tusuk = $\frac{C - A}{B - A}$		1,55

DATA BENDA UJI LENTUR SEBELUM PEMBAKARAN 200°C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
1L	20,07	100,30	15,01	30379,78	76,36
	20,17	100,40	15,05		
	20,14	100,35	15,06		
rata-rata	20,13	100,35	15,04		
1L	20,52	100,00	15,00	30945,72	77,01
	20,62	100,10	15,04		
	20,59	100,05	15,05		
rata-rata	20,58	100,05	15,03		
1L	19,87	100,20	15,06	30150,19	76,93
	19,97	100,30	15,10		
	19,95	100,25	15,11		
rata-rata	19,93	100,25	15,09		
3LA1	19,90	100,05	15,23	30492,14	75,893
	20,00	100,15	15,27		
	19,98	100,10	15,28		
rata-rata	19,96	100,10	15,26		
3LA2	20,01	100,10	15,06	30325,12	76,75
	20,11	100,20	15,10		
	20,08	100,15	15,11		
rata-rata	20,07	100,15	15,09		
3LA3	20,16	100,15	14,94	30321,86	78,12
	20,26	100,25	14,98		
	20,23	100,20	14,99		
rata-rata	20,21	100,20	14,97		
3LB1	20,26	100,25	15,17	30971,85	76,18
	20,36	100,35	15,21		
	20,33	100,30	15,22		
rata-rata	20,32	100,30	15,20		
3LB2	20,19	100,15	15,20	30900,09	76,50
	20,29	100,25	15,24		
	20,26	100,20	15,25		
rata-rata	20,25	100,20	15,23		
3LB3	20,34	99,80	15,17	30964,99	77,76
	20,45	99,90	15,21		
	20,42	99,85	15,22		
rata-rata	20,40	99,85	15,20		
3LC1	20,01	99,95	15,07	30309,39	76,83
	20,12	100,05	15,11		
	20,09	100,00	15,12		
rata-rata	20,07	100,00	15,10		

Lanjutan dari Lampiran 3

3LC2	19,81	100,00	14,97	29813,14	77,25
	19,91	100,10	15,01		
	19,88	100,05	15,02		
rata-rata	19,87	100,05	15,00		
3LC3	19,95	100,20	15,09	30333,84	77,23
	20,06	100,30	15,13		
	20,03	100,25	15,14		
rata-rata	20,01	100,25	15,12		

DATA BENDA UJI LENTUR SETELAH PEMBAKARAN 200°C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P max (kg)
1L	19,94	100,30	15,11	30379,78	76,36	7450,00
	20,04	100,40	15,15			
	20,01	100,35	15,16			
rata-rata	20,00	100,35	15,14			
1L	20,52	100,00	15,00	30945,72	77,01	7900,00
	20,62	100,10	15,04			
	20,59	100,05	15,05			
rata-rata	20,58	100,05	15,03			
1L	19,87	100,20	15,06	30150,19	76,93	7550,00
	19,97	100,30	15,10			
	19,95	100,25	15,11			
rata-rata	19,93	100,25	15,09			
3LA1	19,91	100,03	15,23	30485,13	74,53	7750,00
	20,01	100,13	15,27			
	19,98	100,07	15,27			
rata-rata	19,97	100,077	15,25649			
3LA2	20,01	100,09	15,06	30321,18	75,37	7300,00
	20,11	100,19	15,10			
	20,08	100,13	15,10			
rata-rata	20,07	100,137	15,08804			
3LA3	20,16	100,15	14,94	30320,95	76,71	7600,00
	20,26	100,25	14,98			
	20,23	100,19	14,99			
rata-rata	20,22	100,197	14,96955			
3LB1	20,26	100,23	15,17	30964,11	74,27	7650,00
	20,36	100,33	15,21			
	20,34	100,27	15,21			
rata-rata	20,32	100,2749	15,1962			
3LB2	20,19	100,14	15,20	30895,45	74,58	7300,00
	20,29	100,24	15,24			
	20,27	100,18	15,24			
rata-rata	20,25	100,185	15,22772			
3LB3	20,34	99,80	15,17	30963,44	75,81	7550,00
	20,45	99,90	15,21			
	20,42	99,84	15,21			
rata-rata	20,40	99,84501	15,19924			
3LC1	20,02	99,93	15,07	30301,99	74,53	7250,00
	20,12	100,03	15,11			
	20,09	99,97	15,11			
rata-rata	20,08	99,97559	15,09631			

Lanjutan dari lampiran 5

3LC2	19,81	99,99	14,97	29808,84	74,9348	7650
	19,91	100,09	15,01			
	19,88	100,03	15,01			
rata-rata	19,87	100,035582	14,9978384			
3LC3	19,95	100,20	15,09	30332,50	75,91	7350,00
	20,06	100,30	15,13			
	20,03	100,24	15,13			
rata-rata	20,01	100,245578	15,1193331			

DATA BENDA UJI LENTUR SEBELUM PEMBAKARAN 300°C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
4LA1	20,28	99,90	15,10	30764,55	77,459
	20,39	100,00	15,14		
	20,36	99,95	15,15		
rata-rata	20,34	99,95	15,13		
4LA2	20,17	99,85	15,05	30476,05	76,50
	20,27	99,95	15,09		
	20,25	99,90	15,10		
rata-rata	20,23	99,90	15,08		
4LA3	20,07	99,95	14,99	30232,40	76,19
	20,17	100,05	15,03		
	20,14	100,00	15,04		
rata-rata	20,13	100,00	15,02		
4LB1	20,15	99,75	15,12	30561,72	76,00
	20,26	99,85	15,16		
	20,23	99,80	15,17		
rata-rata	20,21	99,80	15,15		
4LB2	20,12	99,98	15,02	30384,75	77,25
	20,23	100,08	15,06		
	20,20	100,03	15,07		
rata-rata	20,18	100,03	15,05		
4LB3	20,14	100,05	15,08	30556,43	77,11
	20,25	100,15	15,12		
	20,22	100,10	15,13		
rata-rata	20,20	100,10	15,11		
4LC1	20,22	100,15	14,96	30457,20	76,44
	20,32	100,25	15,00		
	20,29	100,20	15,01		
rata-rata	20,28	100,20	14,99		
4LC2	19,98	99,83	15,12	30327,51	77,45
	20,09	99,93	15,16		
	20,06	99,88	15,17		
rata-rata	20,04	99,88	15,15		
4LC3	20,05	100,03	15,12	30488,97	77,17
	20,15	100,13	15,16		
	20,12	100,08	15,17		
rata-rata	20,11	100,08	15,15		

DATA BENDA UJI LENTUR SETELAH PEMBAKARAN 300°C

Kode	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P max (kg)
4LA1	20,29	99,87	15,10	30754,38	75,12	7300,00
	20,39	99,97	15,14			
	20,37	99,91	15,14			
rata-rata	20,35	99,91694	15,125			
4LA2	20,18	99,83	15,05	30469,01	74,19	7650,00
	20,28	99,93	15,09			
	20,25	99,87	15,09			
rata-rata	20,23	99,87694	15,0765			
4LA3	20,07	99,94	14,99	30228,45	73,89	7600,00
	20,17	100,04	15,03			
	20,15	99,98	15,03			
rata-rata	20,13	99,98692	15,018			
4LB1	20,16	99,71	15,12	30549,20	73,10	7050,00
	20,26	99,81	15,16			
	20,24	99,75	15,16			
rata-rata	20,22	99,75909	15,1438			
4LB2	20,13	99,95	15,02	30375,33	74,30	7650,00
	20,23	100,05	15,06			
	20,20	99,99	15,06			
rata-rata	20,19	99,999	15,0453			
4LB3	20,15	100,03	15,08	30550,02	74,17	7300,00
	20,25	100,13	15,12			
	20,22	100,07	15,12			
rata-rata	20,21	100,079	15,1068			
4LC1	20,23	100,11	14,96	30445,64	73,07	7200,00
	20,33	100,22	15,00			
	20,30	100,16	15,00			
rata-rata	20,29	100,162	14,9843			
4LC2	19,99	99,80	15,12	30319,03	74,0287	6950
	20,09	99,91	15,16			
	20,06	99,85	15,16			
rata-rata	20,05	99,85207	15,1458			
4LC3	20,05	100,01	15,12	30483,49	73,77	7400,00
	20,16	100,12	15,16			
	20,13	100,06	15,16			
rata-rata	20,11	100,062	15,1473			

DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 100°C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
1D	15,1674	30,2557	5480,708	13,245
	15,1832	30,3348		
	15,1858	30,2738		
rata-rata	15,1788	30,2881		
1D	15,1641	29,8667	5398,919	13,300
	15,1599	29,9458		
	15,1644	29,8848		
rata-rata	15,1628	29,8991		
1D	15,1635	30,1781	5459,539	13,288
	15,1711	30,2572		
	15,1721	30,1962		
rata-rata	15,1689	30,2105		
2DA1	15,1231	29,8894	5374,476	13,045
	15,1265	29,9685		
	15,1185	29,9075		
rata-rata	15,1227	29,9218		
2DA2	15,1498	29,9642	5408,669	12,998
	15,1501	30,0433		
	15,1555	29,9823		
rata-rata	15,1518	29,9966		
2DA3	15,1042	30,0747	5368,995	12,972
	15,0012	30,1538		
	15,0998	30,0928		
rata-rata	15,0684	30,1071		
2DB1	14,9643	29,8880	5211,995	12,767
	14,8921	29,9671		
	14,8217	29,9061		
rata-rata	14,8927	29,9204		
2DB2	15,1674	30,0430	5438,636	13,325
	15,1754	30,1221		
	15,1786	30,0611		
rata-rata	15,1738	30,0754		
2DB3	15,1697	30,2194	5466,428	13,481
	15,1665	30,2985		
	15,1681	30,2375		
rata-rata	15,1681	30,2518		
2DC1	15,0651	29,8756	5337,321	12,868
	15,0875	29,9547		
	15,0688	29,8937		
rata-rata	15,0738	29,9080		

Lanjutan dari Lampiran 9

2DC2	15,1453	29,9807	5410,072	13,105
	15,1493	30,0598		
	15,1542	29,9988		
rata-rata	15,1496	30,0131		
2DC3	15,1038	30,0909	5395,795	13,107
	15,1056	30,1700		
	15,0963	30,1090		
rata-rata	15,1019	30,1233		

DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 100°C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P (kN)	σ_k (kg/cm ²)
1D	15,1667	30,2557	5480,7076	13,245	825	464,629
	15,1889	30,3348				
	15,1808	30,2738				
rata-rata	15,1788	30,2881				
1D	15,1507	29,8667	5398,919	13,300	815	459,966
	15,1729	29,9458				
	15,1648	29,8848				
rata-rata	15,1628	29,8991				
1D	15,1568	30,1781	5459,539	13,288	815	459,596
	15,1790	30,2572				
	15,1709	30,1962				
rata-rata	15,1689	30,2105				
2DA1	15,1112	29,8876	5374,580377	12,908	820	465,245
	15,1334	29,9667				
	15,1253	29,9057				
rata-rata	15,1233	29,9200				
2DA2	15,1412	29,9618	5409,314306	12,861	780	440,852
	15,1634	30,0409				
	15,1553	29,9799				
rata-rata	15,1533	29,9942				
2DA3	15,0569	30,0789	5370,172369	12,838	825	471,462
	15,0791	30,1580				
	15,0710	30,0970				
rata-rata	15,069	30,1113				
2DB1	14,8816	29,8873	5212,57564	12,544	745	435,849
	14,9038	29,9664				
	14,8957	29,9054				
rata-rata	14,8937	29,9197				
2DB2	15,1628	30,0450	5439,785643	13,093	840	473,388
	15,1850	30,1241				
	15,1769	30,0631				
rata-rata	15,1749	30,0774				
2DB3	15,1571	30,2244	5468,13006	13,246	815	459,645
	15,1793	30,3035				
	15,1712	30,2425				
rata-rata	15,1692	30,2568				
2DC1	15,0622	29,8646	5335,701401	12,622	765	436,861
	15,0844	29,9437				
	15,0763	29,8827				
rata-rata	15,0743	29,8970				

Lanjutan dari Lampiran 11

2DC2	15,1380	29,9726	5408,97153	12,854	795	449,461
	15,1602	30,0517				
	15,1521	29,9907				
rata-rata	15,1501	30,0050				
2DC3	15,0903	30,0858	5395,23682	12,856	830	472,217
	15,1125	30,1649				
	15,1044	30,1039				
rata-rata	15,1024	30,1182				

DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 200 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
3DA1	15,1298	29,8100	5368,662	13,225
	15,1376	29,8891		
	15,1364	29,8281		
rata-rata	15,1346	29,8424		
3DA2	14,9031	30,2667	5290,229	12,755
	14,8929	30,3458		
	14,9340	30,2848		
rata-rata	14,9100	30,2991		
3DA3	15,1721	29,9643	5422,253	13,404
	15,1675	30,0434		
	15,1728	29,9824		
rata-rata	15,1708	29,9967		
3DB1	15,0367	29,9069	5319,953	13,001
	15,0312	29,9860		
	15,0563	29,9250		
rata-rata	15,0414	29,9393		
3DB2	15,0958	29,9756	5379,416	13,075
	15,1180	30,0547		
	15,1099	29,9937		
rata-rata	15,1079	30,0080		
3DB3	15,1691	30,0819	5450,978	13,334
	15,1913	30,1610		
	15,1832	30,1000		
rata-rata	15,1812	30,1143		
3DC1	15,1618	30,1112	5451,039	13,126
	15,1840	30,1903		
	15,1759	30,1293		
rata-rata	15,1739	30,1436		
3DC2	14,8380	29,9517	5193,255	12,455
	14,8602	30,0308		
	14,8521	29,9698		
rata-rata	14,8501	29,9841		
3DC3	15,1668	30,2110	5472,688	13,371
	15,1890	30,2901		
	15,1809	30,2291		
rata-rata	15,1789	30,2434		

DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 200 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P (kN)	σ_k (kg/cm ²)
3DA1	15,1192	29,8057	5365,55	12,881	785	444,687
	15,1414	29,8848				
	15,1333	29,8238				
rata-rata	15,1313	29,8381				
3DA2	14,8946	30,2655	5287,69	12,423	795	464,022
	14,9168	30,3446				
	14,9087	30,2836				
rata-rata	14,9067	30,2979				
3DA3	15,1571	29,9592	5420,19	13,055	820	462,300
	15,1793	30,0383				
	15,1712	29,9773				
rata-rata	15,1692	29,9916				
3DB1	15,0266	29,8986	5316,57	12,547	775	444,480
	15,0488	29,9777				
	15,0407	29,9167				
rata-rata	15,0387	29,9310				
3DB2	15,0931	29,9702	5376,53	12,667	790	449,103
	15,1153	30,0493				
	15,1072	29,9883				
rata-rata	15,1052	30,0026				
3DB3	15,1664	30,0794	5448,60	12,869	825	464,482
	15,1886	30,1585				
	15,1805	30,0975				
rata-rata	15,1785	30,1118				
3DC1	15,1604	30,0980	5447,66	12,628	725	408,574
	15,1826	30,1771				
	15,1745	30,1161				
rata-rata	15,1725	30,1304				
3DC2	14,8367	29,9413	5190,55	11,983	780	458,947
	14,8589	30,0204				
	14,8508	29,9594				
rata-rata	14,8488	29,9737				
3DC3	15,1654	30,2038	5470,39	12,864	825	464,623
	15,1876	30,2829				
	15,1795	30,2219				
rata-rata	15,1775	30,2362				

DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 300 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
4DA1	15,1585	30,1164	5449,612	13,114
	15,1807	30,1955		
	15,1726	30,1345		
rata-rata	15,1706	30,1488		
4DA2	15,1503	30,1993	5458,689	13,3
	15,1725	30,2784		
	15,1644	30,2174		
rata-rata	15,1624	30,2317		
4DA3	15,0518	30,0516	5361,678	12,781
	15,0740	30,1307		
	15,0659	30,0697		
rata-rata	15,0639	30,0840		
4DB1	15,0777	29,9153	5355,755	12,871
	15,0999	29,9944		
	15,0918	29,9334		
rata-rata	15,0898	29,9477		
4DB2	15,0977	29,9874	5382,885	12,912
	15,1199	30,0665		
	15,1118	30,0055		
rata-rata	15,1098	30,0198		
4DB3	15,0332	30,0485	5347,884	12,866
	15,0554	30,1276		
	15,0473	30,0666		
rata-rata	15,0453	30,0809		
4DC1	15,0927	30,1119	5401,630	13,012
	15,1149	30,1910		
	15,1068	30,1300		
rata-rata	15,1048	30,1443		
4DC2	15,0717	29,9858	5364,090	12,768
	15,0939	30,0649		
	15,0858	30,0039		
rata-rata	15,0838	30,0182		
4DC3	15,1542	30,1274	5448,515	12,938
	15,1764	30,2065		
	15,1683	30,1455		
rata-rata	15,1663	30,1598		

DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 300 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P (kN)	σ_k (kg/cm ²)
4DA1	15,1512	30,0990	5441,22	12,589	825	465,131
	15,1734	30,1781				
	15,1653	30,1171				
rata-rata	15,1633	30,1314				
4DA2	15,1430	30,1849	5450,83	12,768	745	420,482
	15,1652	30,2640				
	15,1571	30,2030				
rata-rata	15,1551	30,2173				
4DA3	15,0446	30,0401	5354,50	12,270	790	451,730
	15,0668	30,1192				
	15,0587	30,0582				
rata-rata	15,0567	30,0725				
4DB1	15,0692	29,8957	5346,21	12,256	810	461,578
	15,0914	29,9748				
	15,0833	29,9138				
rata-rata	15,0813	29,9281				
4DB2	15,0892	29,9707	5373,83	12,295	725	412,048
	15,1114	30,0498				
	15,1033	29,9888				
rata-rata	15,1013	30,0031				
4DB3	15,0248	30,0345	5339,43	12,252	740	424,187
	15,0470	30,1136				
	15,0389	30,0526				
rata-rata	15,0369	30,0669				
4DC1	15,0895	30,0715	5392,10	12,356	745	423,695
	15,1117	30,1506				
	15,1036	30,0896				
rata-rata	15,1016	30,1039				
4DC2	15,0685	29,9486	5355,17	12,122	705	402,063
	15,0907	30,0277				
	15,0826	29,9667				
rata-rata	15,0806	29,9810				
4DC3	15,1510	30,0930	5440,00	12,284	775	437,189
	15,1732	30,1721				
	15,1651	30,1111				
rata-rata	15,1631	30,1254				

DATA BENDA UJI DESAK SEBELUM PEMBAKARAN 400 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)
5DA1	15,0136	30,1488	5351,755	13,0115
	15,0358	30,2279		
	15,0277	30,1669		
rata-rata	15,0257	30,1812		
5DA2	15,0488	29,9741	5345,731	12,732
	15,0710	30,0532		
	15,0629	29,9922		
rata-rata	15,0609	30,0065		
5DA3	15,0839	30,0539	5384,968	13,040
	15,1061	30,1330		
	15,0980	30,0720		
rata-rata	15,0960	30,0863		
5DB1	15,1066	29,9742	5386,867	13,117
	15,1288	30,0533		
	15,1207	29,9923		
rata-rata	15,1187	30,0066		
5DB2	15,0837	29,9797	5371,537	13,104
	15,1059	30,0588		
	15,0978	29,9978		
rata-rata	15,0958	30,0121		
5DB3	15,0884	30,0691	5390,885	13,157
	15,1106	30,1482		
	15,1025	30,0872		
rata-rata	15,1005	30,1015		
5DC1	15,0289	29,9750	5331,779	12,812
	15,0511	30,0541		
	15,0430	29,9931		
rata-rata	15,0410	30,0074		
5DC2	15,1348	29,9592	5404,270	13,131
	15,1570	30,0383		
	15,1489	29,9773		
rata-rata	15,1469	29,9916		
5DC3	15,1390	30,0680	5426,890	12,928
	15,1612	30,1471		
	15,1531	30,0861		
rata-rata	15,1511	30,1004		

DATA BENDA UJI DESAK SETELAH PEMBAKARAN 400 C

Kode	D (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P (kN)	σ_k (kg/cm ²)
5DA1	15,1510	29,5372	5339,64	12,235	805	462,651
	15,1732	29,6163				
	15,1651	29,5553				
rata-rata	15,1631	29,5696				
5DA2	15,0028	30,0929	5334,16	12,311	765	437,609
	15,0250	30,1720				
	15,0169	30,1110				
rata-rata	15,0149	30,1253				
5DA3	15,0730	30,0353	5373,85	12,239	775	441,270
	15,0952	30,1144				
	15,0871	30,0534				
rata-rata	15,0851	30,0677				
5DB1	15,0930	29,9442	5371,80	12,352	710	403,048
	15,1152	30,0233				
	15,1071	29,9623				
rata-rata	15,1051	29,9766				
5DB2	15,0701	29,9528	5357,05	12,284	780	444,129
	15,0923	30,0319				
	15,0842	29,9709				
rata-rata	15,0822	29,9852				
5DB3	15,0748	30,0450	5376,88	12,394	760	432,472
	15,0970	30,1241				
	15,0889	30,0631				
rata-rata	15,0869	30,0774				
5DC1	15,0230	29,9222	5318,22	11,995	740	424,429
	15,0452	30,0013				
	15,0371	29,9403				
rata-rata	15,0351	29,9546				
5DC2	15,1288	29,9096	5391,06	12,293	720	407,204
	15,1510	29,9887				
	15,1429	29,9277				
rata-rata	15,1409	29,9420				
5DC3	15,1330	30,0213	5414,17	12,103	740	418,283
	15,1552	30,1004				
	15,1471	30,0394				
rata-rata	15,1451	30,0537				

DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SAMPEL TANPA PEMBAKARAN

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	14	250	21	250	17
2	500	28	500	36	500	35
3	750	51	750	49	750	57
4	1000	64	1000	67	1000	81
5	1250	77	1250	80	1250	101
6	1500	90	1500	94	1500	115
7	1750	103	1750	110	1750	129
8	2000	115	2000	125	2000	145
9	2250	125	2250	139	2250	157
10	2500	136	2500	161	2500	178
11	2750	151	2750	181	2750	195
12	3000	169	3000	212	3000	215
13	3250	180	3250	231	3250	245
14	3500	200	3500	241	3500	257
15	3750	215	3750	262	3750	277
16	4000	234	4000	281	4000	298
17	4250	247	4250	304	4250	311
18	4500	265	4500	322	4500	331
19	4750	280	4750	341	4750	346
20	5000	298	5000	364	5000	367
21	5250	315	5250	382	5250	397
22	5500	334	5500	402	5500	425
23	5750	357	5750	423	5750	447
24	6000	389	6000	453	6000	482
25	6250	412	6250	485	6250	507
26	6500	442	6500	502	6500	528
27	6750	488	6750	536	6750	
28	7000		7000	558	7000	
29	7250		7250	576	7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

DATA HASIL UJI LENTUR SAMPEL 200°C YANG DIBAKAR 1 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	47	250	9	250	29
2	500	64	500	18	500	51
3	750	78	750	33	750	76
4	1000	95	1000	45	1000	103
5	1250	105	1250	57	1250	135
6	1500	123	1500	74	1500	160
7	1750	138	1750	87	1750	198
8	2000	153	2000	104	2000	210
9	2250	165	2250	116	2250	240
10	2500	181	2500	133	2500	261
11	2750	197	2750	147	2750	285
12	3000	217	3000	163	3000	299
13	3250	237	3250	178	3250	331
14	3500	257	3500	197	3500	349
15	3750	271	3750	210	3750	360
16	4000	295	4000	227	4000	397
17	4250	311	4250	244	4250	412
18	4500	329	4500	258	4500	429
19	4750	345	4750	275	4750	446
20	5000	365	5000	294	5000	477
21	5250	381	5250	319	5250	500
22	5500	398	5500	331	5500	522
23	5750	419	5750	347	5750	547
24	6000	440	6000	367	6000	578
25	6250	462	6250	385	6250	602
26	6500		6500	517	6500	
27	6750		6750	546	6750	
28	7000		7000	594	7000	
29	7250		7250		7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

DATA HASIL UJI LENTUR SAMPEL 200°C YANG DIBAKAR 2 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	43	250	3	250	46
2	500	62	500	16	500	70
3	750	80	750	33	750	104
4	1000	97	1000	45	1000	132
5	1250	111	1250	58	1250	158
6	1500	128	1500	75	1500	195
7	1750	143	1750	94	1750	220
8	2000	156	2000	103	2000	240
9	2250	168	2250	117	2250	264
10	2500	183	2500	130	2500	290
11	2750	197	2750	146	2750	315
12	3000	218	3000	161	3000	332
13	3250	235	3250	175	3250	351
14	3500	251	3500	198	3500	376
15	3750	275	3750	235	3750	386
16	4000	292	4000	262	4000	401
17	4250	309	4250	286	4250	423
18	4500	327	4500	307	4500	455
19	4750	345	4750	327	4750	475
20	5000	365	5000	349	5000	497
21	5250	385	5250	364	5250	517
22	5500	409	5500	389	5500	534
23	5750	441	5750	416	5750	556
24	6000	471	6000	448	6000	577
25	6250	495	6250	468	6250	596
26	6500	557	6500	515	6500	
27	6750		6750		6750	
28	7000		7000		7000	
29	7250		7250		7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

DATA HASIL UJI LENTUR CAMPUR 30%P YANG DIKAKAR 1 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	33	250	20	250	15
2	500	52	500	33	500	32
3	750	72	750	56	750	51
4	1000	95	1000	73	1000	77
5	1250	112	1250	91	1250	99
6	1500	130	1500	108	1500	101
7	1750	155	1750	122	1750	116
8	2000	167	2000	134	2000	136
9	2250	179	2250	150	2250	153
10	2500	219	2500	167	2500	163
11	2750	232	2750	135	2750	173
12	3000	250	3000	203	3000	185
13	3250	277	3250	219	3250	211
14	3500	295	3500	235	3500	240
15	3750	313	3750	248	3750	231
16	4000	342	4000	269	4000	273
17	4250	363	4250	282	4250	293
18	4500	394	4500	302	4500	312
19	4750	420	4750	320	4750	327
20	5000	450	5000	337	5000	342
21	5250	473	5250	351	5250	361
22	5500	500	5500	370	5500	373
23	5750	547	5750	403	5750	391
24	6000	573	6000	420	6000	412
25	6250	604	6250	463	6250	428
26	6500	633	6500	492	6500	433
27	6750		6750	542	6750	
28	7000		7000		7000	
29	7250		7250		7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

DATA HASIL UJI LENTUR SAMPEL 300°C YANG DIBAKAR 2 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	41	250	15	250	53
2	500	53	500	41	500	73
3	750	72	750	64	750	98
4	1000	91	1000	82	1000	115
5	1250	113	1250	102	1250	133
6	1500	134	1500	119	1500	151
7	1750	151	1750	140	1750	172
8	2000	166	2000	158	2000	190
9	2250	193	2250	175	2250	209
10	2500	209	2500	195	2500	230
11	2750	234	2750	209	2750	245
12	3000	255	3000	229	3000	269
13	3250	279	3250	245	3250	282
14	3500	303	3500	263	3500	300
15	3750	322	3750	283	3750	317
16	4000	350	4000	300	4000	335
17	4250	374	4250	313	4250	358
18	4500	397	4500	344	4500	373
19	4750	423	4750	357	4750	402
20	5000	455	5000	382	5000	419
21	5250	485	5250	403	5250	440
22	5500	520	5500	417	5500	467
23	5750	545	5750	440	5750	492
24	6000	580	6000	430	6000	514
25	6250	577	6250	432	6250	534
26	6500	588	6500	504	6500	569
27	6750	627	6750	535	6750	
28	7000		7000		7000	
29	7250		7250		7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

DATA HASIL UJI LENTUR SAMPEL 300°C YANG DIBAKAR 3 JAM

No	BENDA UJI A		BENDA UJI B		BENDA UJI C	
	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)	BEBAN (P) (kg)	δ (.10-2 mm)
1	250	61	250	61	250	63
2	500	98	500	67	500	68
3	750	132	750	96	750	128
4	1000	163	1000	120	1000	148
5	1250	185	1250	141	1250	158
6	1500	209	1500	162	1500	190
7	1750	228	1750	179	1750	213
8	2000	245	2000	193	2000	244
9	2250	263	2250	208	2250	256
10	2500	282	2500	220	2500	280
11	2750	305	2750	237	2750	311
12	3000	320	3000	242	3000	330
13	3250	338	3250	260	3250	348
14	3500	355	3500	273	3500	376
15	3750	375	3750	297	3750	393
16	4000	396	4000	308	4000	417
17	4250	416	4250	322	4250	441
18	4500	435	4500	342	4500	464
19	4750	455	4750	365	4750	486
20	5000	472	5000	388	5000	504
21	5250	500	5250	406	5250	525
22	5500	520	5500	430	5500	568
23	5750	558	5750	468	5750	603
24	6000	599	6000	512	6000	638
25	6250	617	6250	548	6250	676
26	6500	660	6500	588	6500	708
27	6750		6750	645	6750	766
28	7000		7000		7000	
29	7250		7250		7250	
30	7500		7500		7500	
31	7750		7750		7750	
32	8000		8000		8000	

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT VS LAMA PEMBAKARAN BERAT SILINDER 100 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²	
1	1	1,045	0,000	0,019	0,000	0,000	
2	2	1,745	0,301	0,242	0,073	0,091	
3	3	1,912	0,477	0,281	0,134	0,228	
n :	3	Σ Y :	1,567	Σ :	0,778	Σ :	0,543
		Σ :	0,207			Σ :	0,313

Persamaan Regresi : y = A.xB

Y : 1,567

qr : 0,259

pr : 0,131

B : $\frac{(n \cdot \sum qi \cdot pi) - (\sum qi \cdot \sum pi)}{(n \cdot \sum qi^2) - (\sum qi)^2}$

: 0,570

log A : pr - B.qr

: 0,033

A : 1,079

r : 0,980

No	x	y
1	1	1,079
2	2	1,602
3	3	2,013

Di ²	D ²
0,272	0,001
0,001	0,020
0,119	0,011
0,423	0,033

BERAT SILINDER 200 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²	
1	1	2,601	0,000	0,416	0,000	0,000	
2	2	3,383	0,301	0,527	0,159	0,091	
3	3	3,791	0,477	0,579	0,276	0,228	
n :	3	Σ Y :	3,263	Σ :	0,773	Σ :	1,521
		Σ :	0,435			Σ :	0,313

Persamaan Regresi : y = A.xB

Y : 3,253

qr : 0,259

pr : 0,507

B : $\frac{(n \cdot \sum qi \cdot pi) - (\sum qi \cdot \sum pi)}{(n \cdot \sum qi^2) - (\sum qi)^2}$

: 0,346

log A : pr - B.qr

: 0,417

A : 2,614

r : 0,998

No	x	y
1	1	2,614
2	2	3,322
3	3	3,823

Di ²	D ²
0,425	0,000
0,013	0,002
0,290	0,001
0,727	0,003

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT VS LAMA PEMBAKARAN BERAT SILINDER 300 DERAJAD

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	4,002	0,300	0,302	0,000	0,000
2	2	4,773	0,301	0,379	0,204	0,091
3	3	5,053	0,477	0,704	0,336	0,228
Σ	6	13,828	1,078	1,985	0,540	0,318

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

$Y : 4,610$

$qr : 0,259$

$pr : 0,662$

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

$: 0,217$

$\log A : pr - B \cdot qr$

$: 0,605$

$A : 4,031$

$r : 0,939$

No	x	y
1	1	4,001
2	2	4,684
3	3	5,115

D_i^2	D^2
0,370	0,001
0,027	0,003
0,136	0,004
0,593	0,013

BERAT SILINDER 400 DERAJAD

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	5,154	0,300	0,712	0,000	0,000
2	2	5,981	0,301	0,775	0,203	0,091
3	3	6,381	0,477	0,805	0,384	0,228
Σ	6	17,516	1,078	2,292	0,617	0,318

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

$Y : 5,832$

$qr : 0,259$

$pr : 0,764$

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

$: 0,196$

$\log A : pr - B \cdot qr$

$: 0,713$

$A : 5,167$

$r : 0,993$

No	x	y
1	1	5,167
2	2	5,919
3	3	6,409

D_i^2	D^2
0,460	0,000
0,017	0,002
0,301	0,001
0,773	0,003

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT VS LAMA PEMBAKARAN BERAT BALOK 200 DERAJAD

No	X_i	Y_i	$c_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$c_i.p_i$	c_i^2
1	1	1,798	0,000	0,255	0,000	0,000
2	2	2,506	0,301	0,399	0,120	0,091
3	3	2,570	0,477	0,410	0,196	0,228
n :	3	ΣY_i : 2,291	Σc_i : 0,778	Σp_i : 1,064	$\Sigma c_i.p_i$: 0,316	Σc_i^2 : 0,318

Persamaan Regresi : $y = A.x^B$

Y : 2,291

qr : 0,259

pr : 0,355

$B = \frac{(n.\Sigma c_i.p_i) - (\Sigma c_i.\Sigma p_i)}{(n.\Sigma c_i^2) - (\Sigma c_i)^2}$

: 0,342

$\log A = pr - B.qr$

: 0,266

A : 1,845

r : 0,928

No	x	y
1	1	1,845
2	2	2,333
3	3	2,335

D_1^2	D^2
0,240	0,002
0,046	0,028
0,073	0,013
0,367	0,014

BERAT BALOK 300 DERAJAD

No	X_i	Y_i	$c_i = \log X_i$	$p_i = \log Y_i$	$c_i.p_i$	c_i^2
1	1	3,020	0,000	0,480	0,000	0,000
2	2	3,811	0,301	0,581	0,175	0,091
3	3	4,415	0,477	0,645	0,308	0,228
n :	3	ΣY_i : 3,749	Σc_i : 0,778	Σp_i : 1,706	$\Sigma c_i.p_i$: 0,483	Σc_i^2 : 0,318

Persamaan Regresi : $y = A.x^B$

Y : 3,749

qr : 0,259

pr : 0,569

$B = \frac{(n.\Sigma c_i.p_i) - (\Sigma c_i.\Sigma p_i)}{(n.\Sigma c_i^2) - (\Sigma c_i)^2}$

: 0,345

$\log A = pr - B.qr$

: 0,479

A : 3,015

r : 1,000

No	x	y
1	1	3,015
2	2	3,828
3	3	4,402

D_1^2	D^2
0,531	0,0000
0,004	0,0003
0,444	0,0002
0,979	0,0005

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME SILINDER DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN
 Data pengukuran volume SILINDER yang dibakar 1000

x1	0	1	2	3
y1	0	0,012	0,0211	0,02

Jntuk polinomial order 2, diferensial dari D2 terhadap tiap kcefisien 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 ²	xi ³	xi ⁴	xiyi	xi ² yi	
1	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	0,012	1	1	1	0,012	0,012	
3	2	0,021	4	8	16	0,042	0,084	
4	3	0,020	9	27	81	0,061	0,183	
n	4	Σxi 6	Σyi 0,053	Σxi^2 14	Σxi^3 36	Σxi^4 98	$\Sigma xi yi$ 0,115	$\Sigma xi^2 yi$ 0,279

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 &= 0,053 \\ 6 a_0 + 14 a_1 + 36 a_2 &= 0,115 \\ 14 a_0 + 36 a_1 + 98 a_2 &= 0,279 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -7E-04 \\ a_1 &= 0,0169 \\ a_2 &= -0,003 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,0007] + [0,0169] x + [-0,0033] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN SILINDER (%)

SILINDER 100 C	
0	-0,0007
1	0,0130
2	0,0201
3	0,0207

KOREKSI

SILINDER 100 C	
0	0,0000
1	0,0136
2	0,0207
3	0,0213

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME SILINDER DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN
 Data perubahan volume SILINDER yang dibakar 200C

x_i	0	1	2	3
y_i	0	-0,047	0,0506	-0,052

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

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

hitungannya dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	x_i	y_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,047	1	1	1	-0,047	-0,047
3	2	-0,054	4	8	16	-0,107	-0,214
4	3	-0,052	9	27	81	-0,156	-0,468
n	4	$\sum y_i$ -0,153	$\sum x_i^2$ 14	$\sum x_i^3$ 36	$\sum x_i^4$ 98	$\sum x_i y_i$ -0,310	$\sum x_i^2 y_i$ -0,729

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 &= -0,153 \\ 6 a_0 + 14 a_1 + 36 a_2 &= -0,310 \\ 14 a_0 + 36 a_1 + 98 a_2 &= -0,729 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,002 \\ a_1 &= -0,052 \\ a_2 &= 0,012 \end{aligned}$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,002] + [-0,052] x + [0,012] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN SILINDER (%)

SILINDER 200 C	
0	-0,0021
1	-0,0422
2	-0,0583
3	-0,0504

KOREKSI

SILINDER 200 C	
0	0,0000
1	-0,0401
2	-0,0562
3	-0,0483

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME SILINDER DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN
Data perubahan volume SILINDER yang dibakar 300C

x1	0	1	2	3
y1	0	-0,144	-0,163	-0,166

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

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

hitungn dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	x _i	y _i	x _i ²	x _i ³	x _i	x _i y _i	x _i ² y _i	
1	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	-0,144	1	1	1	-0,144	-0,144	
3	2	-0,163	4	3	16	-0,336	-0,673	
4	3	-0,166	9	27	31	-0,499	-1,497	
n	4	$\sum x_i$ 6	$\sum y_i$ -0,473	$\sum x_i^2$ 14	$\sum x_i^3$ 33	$\sum x_i^4$ 93	$\sum x_i y_i$ -0,979	$\sum x_i^2 y_i$ -2,313

Di tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 = 0,473$$

$$6 a_0 + 14 a_1 + 33 a_2 = 0,979$$

$$14 a_0 + 33 a_1 + 93 a_2 = 2,313$$

Penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$a_0 = -0,0044$$

$$a_1 = -0,1619$$

$$a_2 = 0,0365$$

Dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = (-0,0044) + (-0,1619) x + (0,0365) x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN KUBUS (%)

SILINDER 300 C	
0	-0,0044
1	-0,1293
2	-0,1322
3	-0,1316

KOREKSI

SILINDER 300 C	
0	0,0000
1	-0,1254
2	-0,1778
3	-0,1572

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

Data perubahan volume SILINDER yang dibakar 400C

x1	0	1	2	3
y1	0	-0,216	-0,27	-0,244

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

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

hitungan dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	x _i	y _i	x _i ²	x _i ³	x _i ⁴	x _i y _i	x _i ² y _i							
1	0	0	0	0	0	0	0							
2	1	-0,216	1	1	1	-0,216	-0,216							
3	2	-0,270	4	8	16	-0,539	-1,079							
4	3	-0,244	9	27	81	-0,733	-2,199							
n	4	$\sum y_i$	6	$\sum x_i$	14	$\sum x_i^2$	36	$\sum x_i^3$	98	$\sum x_i^4$	$\sum x_i y_i$	-1,489	$\sum x_i^2 y_i$	-3,494

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 &= -0,730 \\ 6 a_0 + 14 a_1 + 36 a_2 &= -1,489 \\ 14 a_0 + 36 a_1 + 98 a_2 &= -3,494 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,0036 \\ a_1 &= -0,2611 \\ a_2 &= 0,0608 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = \{-0,0036\} + \{-0,2611\} x + \{0,0608\} x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN SILINDER (%)

SILINDER 400 C	
0	-0,0036
1	-0,2039
2	-0,2827
3	-0,2400

KOREKSI

SILINDER 400 C	
0	0,0000
1	-0,2003
2	-0,2791
3	-0,2364

ANALISA REGRESI PERUBAHAN VOLUME SILINDER DAN BALOK (%) vs LAMA PEMBAKARAN
 Data perubahan volume BALOK yang dibakar 2000

x _i	0	1	2	3
y _i	0	-0,013	-0,015	-0,014

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

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix}$$

hitungannya dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	x _i	y _i	x _i ²	x _i ³	x _i ⁴	x _i y _i	x _i ² y _i
1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-0,013	1	1	1	-0,013	-0,013
3	2	-0,015	4	8	16	-0,030	-0,060
4	3	-0,014	9	27	81	-0,042	-0,126
n	4	$\sum y_i$ -0,042	$\sum x_i^2$ 14	$\sum x_i^3$ 36	$\sum x_i^4$ 98	$\sum x_i y_i$ -0,085	$\sum x_i^2 y_i$ -0,199

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 &= -0,042 \\ 6 a_0 + 14 a_1 + 36 a_2 &= -0,085 \\ 14 a_0 + 36 a_1 + 98 a_2 &= -0,199 \end{aligned}$$

penyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,0004 \\ a_1 &= -0,0149 \\ a_2 &= 0,0035 \end{aligned}$$

dengan demikian persamaan kurva adalah :

$$y = [-0,0004] + [#####] x + [0,0035] x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN BALOK (%)

balok 200 C	
0	-0,0004
1	-0,0118
2	-0,0162
3	-0,0136

KOREKSI

balok 2000	
0	0,0000
1	-0,0114
2	-0,0158
3	-0,0132

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

Data perubahan volume BALOK yang dibakar 3000

x1	0	1	2	3
y1	0	-0,023	-0,031	-0,028

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

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

hitungnng dilakukan dengan menggunakan tabel.

No	xi	yi	xi ²	xi ³	xi ⁴	xiyi	xi ² yi	
1	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	-0,023	1	1	1	-0,023	-0,023	
3	2	-0,031	4	8	16	-0,062	-0,124	
4	3	-0,028	9	27	81	-0,084	-0,252	
n	4	$\sum xi$ 6	$\sum yi$ -0,082	$\sum xi^2$ 14	$\sum xi^3$ 36	$\sum xi^4$ 98	$\sum xi yi$ -0,169	$\sum xi^2 yi$ -0,399

dari tabel diatas dapat dibuat persamaan :

$$\begin{aligned} 4 a_0 + 6 a_1 + 14 a_2 &= -0,082 \\ 6 a_0 + 14 a_1 + 36 a_2 &= -0,169 \\ 14 a_0 + 36 a_1 + 98 a_2 &= -0,399 \end{aligned}$$

Jenyelesaian dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,0002 \\ a_1 &= -0,0287 \\ a_2 &= 0,0065 \end{aligned}$$

tengnng demikian persamaan kurva adalah :

$$y = (-0,0002) + (-0,0287) x + (0,0065) x^2$$

DATA HASIL REGRESI PERUBAHAN BALOK (%)

balok 300 C	
0	-0,0002
1	-0,0224
2	-0,0316
3	-0,0278

KOREKSI

balok 300C	
0	0,0000
1	-0,0222
2	-0,0314
3	-0,0276

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT JENIS VS LAMA PEMBAKARAN
BERAT JENIS SILINDER 100 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²	
1	1	1,057	0,000	0,024	0,000	0,000	
2	2	1,736	0,001	0,247	0,074	0,001	
3	3	1,892	0,477	0,277	0,132	0,228	
n :	3	ΣY :	1,572	Σ :	0,778	Σ :	0,548
		Σ :			0,206	Σ :	0,313

Persamaan Regresi : $y = A.xB$

Y : 1,572

qr : 0,259

pr : 0,133

B : $\frac{(n.\Sigma qi.pi) - (\Sigma qi.\Sigma pi)}{(n.\Sigma qi^2) - (\Sigma qi)^2}$

: 0,552

log A : pr - B.qr

: 0,039

A : 1,095

r : 0,943

No	x	y
1	1	1,095
2	2	1,606
3	3	2,009

Dt ²	D ²
0,265	0,001
0,038	0,026
0,103	0,014
0,405	0,041

BERAT JENIS SILINDER 200 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²	
1	1	2,554	0,000	0,407	0,000	0,000	
2	2	3,314	0,001	0,520	0,157	0,001	
3	3	3,741	0,477	0,573	0,273	0,223	
n :	3	ΣY :	3,263	Σ :	0,778	Σ :	1,501
		Σ :			0,430	Σ :	0,313

Persamaan Regresi : $y = A.xB$

Y : 3,203

qr : 0,259

pr : 0,500

B : $\frac{(n.\Sigma qi.pi) - (\Sigma qi.\Sigma pi)}{(n.\Sigma qi^2) - (\Sigma qi)^2}$

: 0,350

log A : pr - B.qr

: 0,409

A : 2,566

r : 0,998

No	x	y
1	1	2,566
2	2	3,272
3	3	3,772

Dt ²	D ²
0,421	0,000
0,012	0,002
0,289	0,001
0,723	0,003

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT JENIS VS LAMA PEMBAKARAN
BERAT JENIS SILINDER 300 DERAJAD

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	3,264	0,000	0,587	0,000	0,000
2	2	4,816	0,301	0,684	0,200	0,091
3	3	4,894	0,477	0,690	0,329	0,228
n :	3	ΣY_i : 4,483	Σ : 0,778	Σ : 1,941	Σ : 0,529	Σ : 0,313

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

Y : 4,453

q_r : 0,259

p_r : 0,647

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

: 0,220

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

: 0,590

A : 3,830

r : 0,990

No	x	y
1	1	3,390
2	2	4,530
3	3	4,952

C_i^2	D^2
0,353	0,001
0,025	0,007
0,191	0,003
0,589	0,011

BERAT JENIS SILINDER 400 DERAJAD

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	4,846	0,000	0,694	0,000	0,000
2	2	5,707	0,301	0,753	0,223	0,091
3	3	6,152	0,477	0,789	0,375	0,223
n :	3	ΣY_i : 5,901	Σ : 0,778	Σ : 2,240	Σ : 0,594	Σ : 0,313

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

Y : 5,901

q_r : 0,259

p_r : 0,747

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

: 0,199

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

: 0,695

A : 4,952

r : 1,000

No	x	y
1	1	4,952
2	2	5,937
3	3	6,166

C_i^2	D^2
0,430	0,0000
0,011	0,0004
0,303	0,0002
0,744	0,0007

ANALISA REGRESI PROSENTASE PERUBAHAN BERAT JENIS VS LAMA PEMBAKARAN
BERAT JENIS BALOK 200 DERAJAD

No	X_i	Y_i	$a_i = \log X_i$	$b_i = \log Y_i$	$a_i \cdot b_i$	a_i^2	
1	1	1,785	0,000	0,252	0,000	0,000	
2	2	2,492	0,301	0,396	0,119	0,091	
3	3	2,558	0,477	0,408	0,195	0,228	
n :	3	ΣY_i :	2,273	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	1,058
		$\Sigma :$	0,314		0,314	$\Sigma :$	0,318

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

$Y :$ 2,273

$qr :$ 0,259

$pr :$ 0,362

$B = \frac{(n \cdot \Sigma a_i \cdot b_i) - (\Sigma a_i \cdot \Sigma b_i)}{(n \cdot \Sigma a_i^2) - (\Sigma a_i)^2}$

$: 0,344$

$\log A : pr - B \cdot qr$

$: 0,263$

$A : 1,832$

$r : 0,940$

No	x	y
1	1	1,832
2	2	2,325
3	3	2,573

D_1^2	D^2
0,243	0,002
0,045	0,023
0,078	0,013
0,367	0,043

BERAT JENIS BALOK 300 DERAJAD

No	X_i	Y_i	$a_i = \log X_i$	$b_i = \log Y_i$	$a_i \cdot b_i$	a_i^2	
1	1	2,993	0,000	0,477	0,000	0,000	
2	2	3,731	0,301	0,573	0,174	0,091	
3	3	4,333	0,477	0,642	0,306	0,228	
n :	3	ΣY_i :	3,722	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	1,058
		$\Sigma :$	0,430		0,430	$\Sigma :$	0,318

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

$Y :$ 3,722

$qr :$ 0,259

$pr :$ 0,566

$B = \frac{(n \cdot \Sigma a_i \cdot b_i) - (\Sigma a_i \cdot \Sigma b_i)}{(n \cdot \Sigma a_i^2) - (\Sigma a_i)^2}$

$: 0,343$

$\log A : pr - B \cdot qr$

$: 0,476$

$A : 2,992$

$r : 1,000$

No	x	y
1	1	2,992
2	2	3,802
3	3	4,373

D_1^2	D^2
0,525	0,0000
0,003	0,0004
0,443	0,0002
0,972	0,0007

ANALISA REGRESI PROSENTASE PENLIRUNAN KUAT DESAK VS LAMA PEMBAKARAN
TEGANGAN DESAK SILINDER 100 DERAJAD

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	0,479	0,000	-0,320	0,000	0,000					
2	2	1,106	0,301	0,044	0,013	0,091					
3	3	1,852	0,477	0,268	0,128	0,228					
n :	3	Y :	1,146	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	-0,003	$\Sigma :$	0,141	$\Sigma :$	0,313

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

Y : 1,146

qr : 0,259

pr : -0,003

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

: 1,228

log A : pr - B.qr

: -0,321

A : 0,477

r : 1,000

No	x	y
1	1	0,477
2	2	1,113
3	3	1,840

$D1^2$	D^2
0,445	0,0000
0,002	0,0001
0,499	0,0002
0,945	0,0003

TEGANGAN DESAK SILINDER 200 DERAJAD

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	0,952	0,000	-0,021	0,000	0,000					
2	2	1,887	0,301	0,276	0,083	0,091					
3	3	3,760	0,477	0,575	0,274	0,228					
n :	3	Y :	2,200	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	0,830	$\Sigma :$	0,357	$\Sigma :$	0,313

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

Y : 2,200

qr : 0,259

pr : 0,277

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

: 1,222

log A : pr - B.qr

: -0,040

A : 0,911

r : 0,984

No	x	y
1	1	0,911
2	2	2,126
3	3	3,488

$D1^2$	D^2
1,557	0,002
0,098	0,057
2,434	0,074
4,088	0,132

ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT DESAK VS LAMA PEMBAKARAN
 TEGANGAN DESAK SILINDER 300 DERAJAD

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	2,153	0,000	0,333	0,000	0,000	
2	2	4,392	0,301	0,643	0,193	0,091	
3	3	6,806	0,477	0,839	0,400	0,228	
n :	3	$\Sigma Y :$	4,481	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	1,314
				$\Sigma :$	0,594	$\Sigma :$	0,313

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

$Y :$ 4,481

$qr :$ 0,259

$pr :$ 0,605

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

$:$ 1,056

$\log A :$ $pr - B \cdot qr$

$:$ 0,331

$A :$ 2,142

$r :$ 0,999

No	x	y
1	1	2,142
2	2	4,454
3	3	6,835

D_1^2	D^2
5,416	0,000
0,008	0,004
5,835	0,004
11,260	0,008

TEGANGAN DESAK SILINDER 400 DERAJAD

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	3,082	0,000	0,489	0,000	0,000	
2	2	7,553	0,301	0,878	0,264	0,091	
3	3	9,701	0,477	0,987	0,471	0,228	
n :	3	$\Sigma Y :$	6,773	$\Sigma :$	0,778	$\Sigma :$	2,354
				$\Sigma :$	0,785	$\Sigma :$	0,313

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

$Y :$ 6,773

$qr :$ 0,259

$pr :$ 0,785

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

$:$ 1,071

$\log A :$ $pr - B \cdot qr$

$:$ 0,507

$A :$ 3,213

$r :$ 0,974

No	x	y
1	1	3,213
2	2	6,748
3	3	10,415

D_1^2	D^2
13,664	0,017
0,599	0,648
8,539	0,511
22,802	1,176

ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT LENTUR VS LAMA PEMBAKARAN
TEGANGAN LENTUR BALOK 300 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²					
1	1	0,709	0,000	-0,149	0,000	0,000					
2	2	1,347	0,301	0,129	0,039	0,091					
3	3	2,838	0,477	0,453	0,216	0,228					
n :	3	Y :	1,631	Σ :	0,778	Σ :	0,433	Σ :	0,255	Σ :	0,318

Persamaan Regresi : $y = A.x^B$

Y : 1,631

qr : 0,259

pr : 0,144

B : $\frac{(n.\Sigma qi.pi) - (\Sigma qi.\Sigma pi)}{(n.\Sigma qi^2) - (\Sigma qi)^2}$

: 1,226

log A : pr - B.qr

: -0,174

A : 0,670

r : 0,975

No	x	y
1	1	0,670
2	2	1,568
3	3	2,578

Di ²	D ²
0,851	0,002
0,081	0,049
1,457	0,068
2,388	0,118

TEGANGAN LENTUR BALOK 300 DERAJAD

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²					
1	1	1,528	0,000	0,184	0,000	0,000					
2	2	3,930	0,301	0,594	0,179	0,091					
3	3	5,395	0,477	0,770	0,368	0,228					
n :	3	Y :	3,785	Σ :	0,773	Σ :	1,549	Σ :	0,547	Σ :	0,318

Persamaan Regresi : $y = A.x^B$

Y : 3,785

qr : 0,259

pr : 0,516

B : $\frac{(n.\Sigma qi.pi) - (\Sigma qi.\Sigma pi)}{(n.\Sigma qi^2) - (\Sigma qi)^2}$

: 1,243

log A : pr - B.qr

: 0,194

A : 1,563

r : 0,998

No	x	y
1	1	1,563
2	2	3,700
3	3	6,124

Di ²	D ²
0,146	0,001
7,752	0,053
22,557	0,053
30,456	0,107

ANALISA REGRESI PROSENTASE PENURUNAN KUAT TARIK BAJA VS LAMA PEMBAKARAN
 TEGANGAN TARIK BAJA 200 C

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²					
1	1	0,577	0,000	-0,239	0,000	0,000					
2	2	1,133	0,301	0,075	0,023	0,091					
3	3	1,694	0,477	0,226	0,108	0,228					
n :	3	Y :	1,150	Σ :	0,770	Σ :	0,662	Σ :	0,131	Σ :	0,313

Persamaan Regresi : y = A.xB

Y : 1,150

qr : 0,259

pr : 0,021

$$B = \frac{(n \cdot \sum qi \cdot pi) - (\sum qi \cdot \sum pi)}{(n \cdot \sum qi^2) - (\sum qi)^2}$$

: 0,982

log A : pr - B.qr

: -0,234

A : 0,533

r : 0,998

No	x	y
1	1	0,533
2	2	1,153
3	3	1,716

D1 ²	D ²
0,328	0,000
0,001	0,001
0,286	0,001
0,615	0,002

TEGANGAN TARIK BAJA 300 C

No	Xi	Yi	qi = log Xi	pi = log Yi	qi.pi	qi ²					
1	1	0,383	0,000	-0,064	0,000	0,000					
2	2	1,698	0,301	0,230	0,069	0,091					
3	3	2,512	0,477	0,400	0,191	0,228					
n :	3	Y :	1,391	Σ :	0,779	Σ :	0,588	Σ :	0,260	Σ :	0,313

Persamaan Regresi : y = A.xB

Y : 1,691

qr : 0,259

pr : 0,189

$$B = \frac{(n \cdot \sum qi \cdot pi) - (\sum qi \cdot \sum pi)}{(n \cdot \sum qi^2) - (\sum qi)^2}$$

: 0,973

log A : pr - B.qr

: -0,064

A : 0,834

r : 1,000

No	x	y
1	1	0,834
2	2	1,695
3	3	2,515

D1 ²	D ²
0,628	0,00000
0,000	0,00001
0,674	0,00001
1,360	0,00002

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 200 C

data : LAMA PEMBAKARAN 1 JAM

σ_{tr} : 2851,11 kg/cm²
285,111 MPa

σ_{ds} : 374,203 kg/cm² = 37,4 MPa

ia. Tul : 10,0387 mm²
1,00387 cm²

A : 0,79149 cm ²	Penyelesaian :
As : 158,298 mm ²	Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya
fy : 285,111 MPa	ρ_{min} : 0,00491
f'c : 37,4203 MPa	ρ : 0,00603
b : 150 mm	a : 9,45956 mm
d : 175 mm	z : 170,27 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,68471 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,68471 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,79064

c : 11,9645 mm

data : LAMA PEMBAKARAN 2 JAM

σ_{tr} : 2833,59 kg/cm²
283,359 MPa

σ_{ds} : 369,888 kg/cm² = 37 MPa

ia. Tul : 10,0433 mm²
1,00433 cm²

A : 0,79221 cm ²	Penyelesaian :
As : 158,443 mm ²	Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya
fy : 283,359 MPa	ρ_{min} : 0,00494
f'c : 36,9888 MPa	ρ : 0,00604
b : 150 mm	a : 9,51982 mm
d : 175 mm	z : 170,24 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,64313 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,64313 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,79409

c : 11,9883 mm

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 200 C

data : LAMA PEMBAKARAN 3 JAM

ctr : 2319,36 kg/cm²

231,936 MPa

ods : 361,248 kg/cm² = 36,1 MPa

ia. Tul : 10,0369 mm

1,00369 cm

A : 0,79121 cm²As : 158,241 mm²

fy : 231,936 MPa

fc : 36,1248 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

min : 0,00497

p : 0,00603

a : 9,68623 mm

z : 170,157 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,59136 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,59136 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

 β_1 : 0,801

c : 12,0926 mm

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG TANPA PEMBAKARAN

data : LAMA PEMBAKARAN 0 JAM

ρ_{tr} : 2867,66 kg/cm²

286,766 MPa

ρ_{ds} : 378,597 kg/cm² = 37,9 MPa

ia. Tul : 10,0374 mm

1,00374 cm

A : 0,79128 cm²

As : 158,257 mm²

fy : 286,766 MPa

f'c : 37,8597 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

ϵ_{min} : 0,00488

ρ : 0,00603

a : 9,40161 mm

z : 170,299 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,72862 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,72862 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,78712

c : 11,9443 mm

PROSENTASE PENURUNAN Mn

No	Mn
0	0
1	0,56817
2	1,10614
3	1,77594

ANALISA REGRESI KUAT TAMPANG BALOK 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	0,563	0,0000	-0,2455	0,0000	0,0000						
2	2	1,103	0,3010	0,0433	0,0132	0,0906						
3	3	1,776	0,4771	0,2494	0,1190	0,2276						
	n :	3	Y :	1,150	Σ :	0,7782	Σ :	0,0477	Σ :	0,1322	Σ :	0,3183

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

$$Y : 1,150$$

$$q_r : 0,259$$

$$p_r : 0,016$$

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

$$: 1,029$$

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

$$: -0,251$$

$$A : 0,561$$

No	x	y
1	1	0,561
2	2	1,145
3	3	1,738

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 300 C

data : LAMA PEMBAKARAN 1 JAM

σ_{tr} : 2842,91 kg/cm²
284,291 MPa

σ_{ds} : 368,66 kg/cm² = 36,9 MPa

dia. Tul : 10,0384 mm
1,00384 cm

A : 0,79144 cm²

As : 158,288 mm²

fy : 284,291 MPa

fc : 36,866 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

ϵ_{min} : 0,00492

ρ : 0,00603

a : 9,5736 mm

z : 170,213 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,65958 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,65958 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,79507

c : 12,0412 mm

data : LAMA PEMBAKARAN 2 JAM

σ_{tr} : 2818,96 kg/cm²
281,896 MPa

σ_{ds} : 359,33 kg/cm² = 35,3 MPa

dia. Tul : 10,0326 mm
1,00326 cm

A : 0,79053 cm²

As : 158,105 mm²

fy : 281,896 MPa

fc : 35,833 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

ϵ_{min} : 0,00497

ρ : 0,00602

a : 9,75535 mm

z : 170,122 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,58224 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,58224 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,80334

c : 12,1435 mm

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG PASCA PEMBAKARAN 300 C

data : LAMA PEMBAKARAN 3 JAM

f_{cr} : 2795,62 kg/cm²
279,562 MPa

f_{cd} : 346,78 kg/cm² = 34,7 MPa

dia. Tul : 10,0291 mm
1,00291 cm

A : 0,78998 cm²

A_s : 157,995 mm²

f_y : 279,562 MPa

f_c : 34,678 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

ϵ_{min} : 0,00501

ρ : 0,00602

a : 9,98982 mm

z : 170,005 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

M_n : 7,50903 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

M_n : 7,50903 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,81258

c : 12,294 mm

PERHITUNGAN KEKUATAN TAMPANG BALOK BETON BERTULANG TANPA PEMBAKARAN

dsta : LAMA PEMBAKARAN 0 JAM

ctr : 2867,66 kg/cm²
286,766 MPa

eds : 378,597 kg/cm² = 37,9 MPa

dia. Tul : 10,0374 mm
1,00374 cm

A : 0,79128 cm²

As : 158,257 mm²

fy : 286,766 MPa

f'c : 37,8597 MPa

b : 150 mm

d : 175 mm

Penyelesaian :

Anggapan bahwa tulangan baja telah mencapai regangan luluhnya

ϵ_{min} : 0,00488

ρ : 0,00603

a : 9,40161 mm

z : 170,299 mm

Berdasarkan gaya tekan pada beton :

Mn : 7,72362 kNm

Berdasarkan kuat tarik baja :

Mn : 7,72862 kNm

Menentukan letak garis netral penampang :

β_1 : 0,78712

c : 11,9443 mm

PROSENTASE PENURUNAN Mn

	Mn
0	0
1	0,93692
2	1,96226
3	2,91382

ANALISA REGRESI KUAT TAMPANG BALOK 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	0,937	0,0000	-0,0283	0,0000	0,0000						
2	2	1,962	0,3010	0,2928	0,0881	0,0906						
3	3	2,914	0,4771	0,4645	0,2216	0,2276						
	n :	3	Y :	1,938	$\Sigma :$	0,7782	$\Sigma :$	0,7289	$\Sigma :$	0,3097	$\Sigma :$	0,3183

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

Y : 1,938

q_r : 0,259

p_r : 0,243

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

: 1,036

log A : $p_r - B \cdot q_r$

: -0,026

A : 0,942

No	x	y
1	1	0,942
2	2	1,933
3	3	2,942