

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP KUAT
LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN
VARIASI TEBAL SELIMUT BETON**

*Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil*

O l e h :

**N a m a : Anas Ibadilhaq
No. Mhs. : 89 310 039
Nirm. : 890051013114120039**

**N a m a : Isnaini Jauhari
No. Mhs. : 89 310 053
Nirm. : 890051013114120053**

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

1998

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR
PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP KUAT
LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN
VARIASI TEBAL SELIMUT BETON

Oleh :

N a m a : Anas Ibadilhaq
No. Mhs. : 89 310 039
Nirm. : 890051013114120039

N a m a : Isnaini Jauhari
No. Mhs. : 89 310 053
Nirm. : 890051013114120053

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. M. Samsudin, MT.

Dosen Pembimbing I

Ir. Suharyatmo, MT.

Dosen Pembimbing II

Tanggal :



Tanggal : 25-8-98

PRAKATA

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah Swt yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayahNya kepada makhluk ciptaanNya.

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat memperoleh jenjang kesarjanaan Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah Pengaruh Pembakaran Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Tebal Selimut Beton. Tugas akhir ini merupakan study laboratorium yang penelitiannya dilaksanakan di laboratorium Uji Bahan Bangunan, FPTK, IKIP Yogyakarta dan pengujiannya dilaksanakan di laboratorium Bahan Kontruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penyusun menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan ilmu yang penyusun miliki. Untuk itu saran dan kritik akan penyusun terima dengan hati terbuka.

Pada kesempatan ini, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Ir. Tadjudin BMA, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,

3. Bapak Ir. H. M. Samsudin, MT, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir,
4. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir,
5. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, UII, Yogyakarta, beserta karyawan,
6. Bapak Drs. Darmono, selaku Kepala Laboratorium Uji Bahan Bangunan, FPTK, IKIP Yogyakarta, beserta karyawan,
7. Bapak Suranto, selaku Kepala Unit Pelayanan Teknis Gerabah (Departemen Perindustrian), Kasongan, Bantul,
8. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya Tugas akhir ini.

Semoga Allah Swt membalas semua amal kebbaikannya dan akhirnya penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 1998

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
NOTASI-NOTASI.....	xii
ABSTRAKSI.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metode Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Beton Bertulang.....	7
2.1.1 Baja tulangan.....	9
2.1.2 Kuat lentur balok persegi.....	11
2.2 Analisis Balok Bertulangan Tarik.....	16

2.3	Perilaku Lentur pada Pembebanan	18
2.4	Selimut Beton.....	20
2.5	Rancangan Pencampuran Beton.....	21
2.6	Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton Bertulang	22
2.6.1	Sifat pasta semen pada kenaikan temperatur	23
2.6.2	Sifat agregat pada kenaikan temperatur	24
2.6.3	Keretakan beton pada kenaikan temperatur	25
2.6.4	Pengaruh temperatur pada kekuatan beton	26
2.6.5	Sifat baja pada kenaikan temperatur tinggi.....	27
BAB III	LANDASAN TEORI	28
3.1	Dasar Teori	28
3.2	Kuat Lentur Balok Persegi Pasca Pembakaran	29
3.3	Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik	30
BAB IV	PELAKSANAAN PENELITIAN	33
4.1	Tinjauan Umum.....	33
4.2	Pelaksanaan Penelitian	34
4.2.1	Bahan	34
4.2.2	Alat-alat	35
4.2.3	Perhitungan campuran beton	36
4.2.4	Pembuatan benda uji	36
4.2.5	Rawatan benda uji.....	38
4.2.6	Pembakaran benda uji.....	39

	4.2.7	Pengujian tekan dan lentur beton.....	40
	4.2.8	Pengujian kuat tarik baja tulangan.....	43
BAB V		HASIL PENELITIAN.....	44
	5.1	Hasil Penelitian.....	44
	5.2	Pembahasan.....	48
	5.2.1	Kuat tekan beton.....	48
	5.2.2	Kuat lentur balok.....	49
	5.2.3	Lendutan pada balok.....	54
	5.2.4	Kuat tarik baja.....	64
	5.2.5	Pola retak benda uji.....	67
BAB VI		KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
	6.1	Kesimpulan.....	73
	6.2	Saran.....	74
		DAFTAR PUSTAKA.....	75
		LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Daftar Peralatan	35
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Lentur	45
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Tekan	45
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan	46
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran dan Pembebanan	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok Tegangan Ekvivalen Whitney.....	15
Gambar 2.2	Hubungan Antara h , d dan Selimut Beton.....	20
Gambar 3.1	Blok Tegangan Ekvivalen Untuk Balok Yang Dibakar	29
Gambar 3.2	Balok Dibebeani Lentur Murni.....	32
Gambar 4.1	Rawatan pada Benda Uji.....	39
Gambar 4.2	Persiapan Pembakaran Benda Uji	40
Gambar 4.3	Pelaksanaan Pengujian Lentur Balok	41
Gambar 4.4	Balok Dengan Beban Terpusat Dalam Keadaan Lentur Murni ...	42
Gambar 5.1	Grafik Penurunan Kuat Tekan Terhadap Temperatur.....	48
Gambar 5.2	Grafik Penurunan Kuat Lentur Balok Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C	50
Gambar 5.3	Grafik Penurunan Kuat Lentur Balok Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C	52
Gambar 5.4	Grafik Penurunan Kuat Lentur Balok Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C	52
Gambar 5.5	Grafik Penurunan Kuat Lentur Terhadap Temperatur pada Balok	54
Gambar 5.6	Grafik Lendutan Balok pada Temperatur Ruang.....	55
Gambar 5.7	Grafik Lendutan Balok Setelah Pembakaran Temperatur 400°C	56
Gambar 5.8	Grafik Lendutan Balok Setelah Pembakaran Temperatur 500°C	57
Gambar 5.9	Grafik Lendutan Balok Setelah Pembakaran Temperatur 600°C	58

Gambar 5.10	Grafik Lendutan Balok Terhadap Temperatur pada Penutup Beton 2 cm	60
Gambar 5.11	Grafik Lendutan Balok Terhadap Temperatur pada Penutup Beton 3 cm	61
Gambar 5.12	Grafik Lendutan Balok Terhadap Temperatur pada Penutup Beton 4 cm	62
Gambar 5.13	Grafik Lendutan Balok Terhadap Temperatur pada Penutup Beton 5 cm	63
Gambar 5.14	Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Penutup Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C	64
Gambar 5.15	Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Penutup Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C	65
Gambar 5.16	Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Penutup Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C	66
Gambar 5.17	Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Temperatur	67
Gambar 5.18	Pola Retak Balok Setelah Pembebanan pada Temperatur Ruang	69
Gambar 5.19	Pola Retak Balok Setelah Pembebanan Untuk Pembakaran pada Temperatur 400°C	70
Gambar 5.20	Pola Retak Balok Setelah Pembebanan Untuk Pembakaran pada Temperatur 500°C	71
Gambar 5.21	Pola Retak Balok Setelah Pembebanan Untuk Pembakaran pada Temperatur 600°C	72

DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran
Analisa Bahan Pasir.....	1
Analisa Bahan Split.....	2
Metode ACI (American Concrete Institute).....	4
Tabel Hasil Lendutan Balok Pada Temperatur Ruang.....	12
Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C	13
Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C	14
Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C	15
Tabel Hasil Lendutan Balok $P_b = 2$ cm pada Temperatur yang Meningkatkan.....	16
Tabel Hasil Lendutan Balok $P_b = 3$ cm pada Temperatur yang Meningkatkan.....	17
Tabel Hasil Lendutan Balok $P_b = 4$ cm pada Temperatur yang Meningkatkan.....	18
Tabel Hasil Lendutan Balok $P_b = 5$ cm pada Temperatur yang Meningkatkan.....	19
Regresi Prosentase Penurunan Kuat Tekan Terhadap P_b	20
Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok Terhadap P_b	21
Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur Balok Terhadap Temperatur.....	22
Regresi Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap P_b	23
Regresi Prosentase Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Temperatur.....	23

NOTASI-NOTASI

BAB I Pendahuluan

- d = jarak serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (tinggi efektif).
- f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
- f_y = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non-pratekan, Mpa.
- L = panjang total benda uji balok, cm.
- t = tinggi benda uji silinder, cm.
- \varnothing = diameter penampang.

BAB II Tinjauan Pustaka

- a = tinggi blok tegangan persegi ekivalen, mm.
- A_s = luas tulangan tarik non-pratekan, mm^2 .
- b = lebar dari muka tekan komponen struktur, mm.
- c = jarak dari serat terluar terhadap garis netral, baik didaerah tekan maupun tarik.
- d = jarak serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
- E_s = modulus elastis tulangan, Mpa.
- f = tegangan lentur.
- f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
- f_y = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non-pratekan, Mpa.
- h = tinggi total penampang balok.
- I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral.

- M = momen yang bekerja pada balok.
- M_n = momen nominal.
- M_R = momen tahanan.
- ND = resultante gaya tekan dalam.
- NT = resultante gaya tarik dalam.
- P = beban lentur pada balok.
- p = tebal selimut beton untuk menutup tulangan terluar.
- z = panjang lengan momen pada kopel momen dalam.
- β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.
- ϕ = faktor reduksi kekuatan.
- = 0,8 (lentur tanpa beban aksial).
- \emptyset = diameter baja tulangan, mm.
- ϵ'_b = regangan tekan beton.
- ϵ_s = regangan pada baja tulangan.
- ϵ_y = regangan luluh baja tulangan.
- ρ = rasio tulangan tarik non-pratekan.
- ρ_b = rasio penulangan keadaan seimbang.
- ρ_{maks} = rasio penulangan maksimum.
- ρ_{min} = rasio penulangan minimum.

BAB III Landasan Teori

- a = tinggi blok tegangan persegi ekivalen, mm.

- a_1 = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen pasca kebakaran.
- A_s = luas tulangan tarik non-pratekan, mm^2 .
- b = lebar dari muka tekan komponen struktur, mm.
- c = jarak dari serat terluar terhadap garis netral, baik didaerah tekan maupun tarik.
- c_1 = jarak dari serat terluar terhadap garis netral pasca kebakaran, baik didaerah tekan maupun tarik.
- d = jarak serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm.
- f_c' = kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
- f'_{c1} = kuat tekan beton pasca kebakaran, Mpa.
- f_y = tegangan leleh yang disyaratkan dari tulangan non-pratekan, Mpa.
- f_{y1} = tegangan leleh baja pasca kebakaran, Mpa.
- ht = tinggi total penampang balok.
- M_n = momen nominal.
- M_R = momen tahanan.
- ND_1 = resultante gaya tekan dalam pasca kebakaran.
- NT_1 = resultante gaya tarik dalam pasca kebakaran.
- P = beban lentur pada balok.
- z = panjang lengan momen pada kopel momen dalam.
- z_1 = panjang lengan momen pasca kebakaran pada kopel momen dalam.
- β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.
- ϕ = faktor reduksi kekuatan.

= 0,8 (lentur tanpa beban aksial).

\varnothing = diameter baja tulangan, mm.

ρ = rasio tulangan tarik non-pratekan.

ρ_{maks} = rasio penulangan maksimum.

ρ_{min} = rasio penulangan minimum.

BAB IV Pelaksanaan Penelitian

a = jarak beban P terhadap tumpuan, m.

A = luas penampang benda uji, cm^2 .

M = momen lentur, kgm.

P = beban maksimum, kg.

σ_c = kuat desak beton, kg/cm^2 .

BAB V Hasil Penelitian dan Pembahasan

$f'c$ = kuat tekan beton aktual, kg/cm^2 .

= $f'cr - 82,8$ (kg/cm^2)

$f'cr$ = kuat tekan beton rata-rata, kg/cm^2 .

M = momen lentur, kNm.

pb = penutup beton, cm.

LAMPIRAN

fas = faktor air semen.

$f'c$ = kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa.

$f'cr$ = kuat tekan beton rata-rata, MPa.

t = tinggi benda uji silinder.

\varnothing = diameter

δ = lendutan pada balok, mm.

ABSTRAKSI

Kebakaran yang terjadi pada bangunan, baik perkantoran, pertokoan dan pemukiman, dapat menyebabkan penurunan kekuatan struktur dan mengakibatkan runtuhnya bangunan, yang dapat menimbulkan kerugian baik harta maupun nyawa penghuni bangunan tersebut. Perencana adalah salah seorang yang turut bertanggungjawab bila terjadi kegagalan terhadap suatu struktur bangunan, oleh karena itu dalam perencanaan struktur, perencana harus mempertimbangkan juga daya tahan terhadap kebakaran.

Dalam perencanaan suatu struktur balok beton bertulang yang kuat terhadap kebakaran, selimut beton harus direncanakan sesuai ketentuan mengenai lama kebakaran dan tingkat temperaturnya, untuk mencegah terjadinya penurunan yang besar terhadap kekuatan lenturnya.

Pada penelitian ini, di uji beberapa balok beton bertulang yang menggunakan selimut beton yang bervariasi tebalnya yaitu 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm. Balok dibakar pada temperatur 400 °C, 500 °C dan 600 °C dengan lama pembakaran 3 jam. Hasil penelitian memberi gambaran mengenai perilaku kekuatan lentur balok beton bertulang setelah terjadi kebakaran, didapat hasil yang menggambarkan bahwa pada saat terjadi peningkatan temperatur, balok mengalami pengurangan kuat lenturnya dibanding dengan kuat lentur balok yang tidak dibakar, dan kuat lenturnya juga dipengaruhi oleh ketebalan selimut beton yang melindungi tulangan baja pada daerah tarik, semakin tebal selimut beton yang digunakan maka semakin kecil penurunan kekuatan lentur yang dialami balok. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa tebal selimut beton dan tingkat temperatur sangat berpengaruh terhadap kuat lentur balok beton bertulang pada saat kebakaran terjadi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan di Indonesia pada dewasa ini sangat beragam baik pembangunan dibidang fisik maupun non fisik. Pembangunan yang dilaksanakan ini diharapkan dapat memenuhi sarana dan prasarana yang amat dibutuhkan oleh masyarakat.

Sarana dan prasarana fisik yang banyak dibutuhkan antara lain jalan, jembatan, bangunan gedung dan rumah tinggal. Untuk mendapatkan sarana dan prasarana fisik yang baik diperlukan perencanaan yang teliti dan memperhitungkan semua kemungkinan yang akan terjadi. Demikian juga untuk pemilihan konstruksi yang akan digunakan. Beberapa jenis konstruksi yang biasa digunakan untuk bangunan gedung antara lain ialah konstruksi baja, beton dan kayu.

Pada saat ini struktur beton bertulang adalah jenis struktur yang paling banyak digunakan dalam pembuatan gedung bertingkat maupun bangunan struktur lainnya. Beton bertulang dalam waktu yang singkat telah menduduki tempat penting dalam pembangunan suatu gedung disamping bahan-bahan bangunan lainnya, seperti baja dan kayu. Untuk konstruksi tertentu, adakalanya beton bertulang menjadi pilihan utama karena sifatnya yang mudah dikerjakan dan memiliki keunggulan tersendiri.

Sebagai bahan konstruksi, beton bertulang dalam perencanaannya harus mampu menahan beban-beban yang direncanakan oleh pembuat konstruksi. Juga hal-hal lain yang dapat mempengaruhi sifat dari beton bertulang tersebut yang terjadi ketika bangunan difungsikan. Salah satu pengaruh tersebut adalah suhu tinggi yang terjadi ketika gedung mengalami kebakaran. Selain mempengaruhi betonnya sendiri juga berpengaruh terhadap tulangan yang diselimuti oleh beton tersebut. Ketahanan struktur terhadap lamanya kebakaran dipengaruhi ketebalan selimut beton yang melindungi baja tulangan dari kenaikan temperatur yang tinggi.

Menurut SK Menteri Pekerjaan Umum tahun 1985 telah memuat ketentuan menyangkut pencegahan dan penanggulangan kebakaran bangunan gedung. Bangunan kelas A, misalnya hotel, pusat perbelanjaan, perkantoran, rumah sakit, bangunan industri dan bangunan campuran yang masuk dalam kelompok ini, diharuskan memiliki komponen struktur tahan terhadap api sekurang-kurangnya 3 jam. Perumahan bertingkat, apartemen, asrama, tempat ibadah, dan sekolah (kelas B), diharuskan tahan terhadap api sekurang-kurangnya 2 jam. Sementara bangunan kelas C, seperti gedung tidak bertingkat atau rumah tinggal, masih menurut SK menteri PU, harus tahan terhadap api, paling tidak selama 1 jam (Purba, 1997).

Pada perencanaan struktur beton bertulang, khususnya balok beton bertulang perencana telah memperhitungkan selimut beton yang layak sesuai dengan kondisi struktur tersebut. Akan tetapi masih banyak perencana yang mengabaikan fungsi selimut beton dalam hal ketahanannya melindungi baja terhadap kenaikan temperatur tinggi saat terjadi kebakaran.

Ketika terjadi kebakaran pada suhu tinggi, kecenderungan untuk merenovasi struktur secara total adalah pilihan yang banyak diambil. Padahal tidak menutup kemungkinan untuk tetap memfungsikan bangunan tersebut, apabila kekuatan bagian-bagian strukturnya bisa dihitung kembali kekuatannya. Apakah strukturnya masih mampu menahan beban yang sama dengan sebelum terjadi kebakaran atau dialihfungsikan sesuai dengan beban yang mampu ditahan oleh struktur tersebut pasca kebakaran. Untuk mengetahui perubahan kekuatan elemen struktur pasca kebakaran khususnya balok beton bertulang maka dilakukan penelitian dengan pemodelan sampel berupa balok beton bertulang dengan berbagai variasi tebal selimut beton yang dibakar pada suhu 400°C, 500°C dan 600°C selama 3 jam.

Jadi yang terpenting disini adalah bagaimana menentukan kekuatan lentur balok beton bertulang pasca kebakaran untuk mengantisipasi keadaan diatas. Untuk itu perlu diadakan penelitian mengenai perubahan kekuatan lentur balok beton bertulang dengan variasi tebal selimut beton.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur balok beton bertulang setelah mengalami kenaikan temperatur tinggi dengan berbagai variasi tebal selimut beton.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibahas masalah kuat lentur balok beton bertulang yang dikenai pengaruh kenaikan temperatur tinggi dengan empat variasi selimut beton dibandingkan dengan kuat lentur balok beton bertulang normal dalam arti tidak dikenai

dibandingkan dengan kuat lentur balok beton bertulang normal dalam arti tidak dikenai temperatur tinggi. Untuk perencanaan ukuran benda uji dengan berbagai variasi selimut beton diperhitungkan yang memiliki kekuatan lentur sama. Dengan tidak merubah tinggi efektif (d) diharapkan kekuatan lentur yang terjadi akan sama untuk tiap perbedaan selimut beton.

Karakteristik bahan yang dipakai sebagai benda uji adalah sebagai berikut:

1. Panjang bentangan benda uji lentur (balok persegi), $L = 100$ cm, dengan bentuk persegi dan dipasang tulangan baja $2 \text{ } \varnothing 12$ mm.
Dimensi balok persegi :
 - * Ukuran $18,0$ cm x $24,0$ cm dengan selimut beton = $2,0$ cm.
 - * Ukuran $18,0$ cm x $25,0$ cm dengan selimut beton = $3,0$ cm.
 - * Ukuran $18,0$ cm x $26,0$ cm dengan selimut beton = $4,0$ cm.
 - * Ukuran $18,0$ cm x $27,0$ cm dengan selimut beton = $5,0$ cm.
2. Benda uji desak silinder berukuran $\varnothing = 15$ cm dan $t = 30$ cm.
3. Campuran beton untuk benda uji direncanakan dengan metode ACI (American Concrete Institute).
4. Mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan $f'_c = 30$ MPa , dan dipakai baja tulangan dengan mutu U-24 ($f_y = 240$ MPa).
5. Perencanaan balok didasarkan pada perhitungan tulangan sebelah untuk balok sederhana dengan diameter tulangan 12 mm.
6. Pembakaran benda uji lentur dan benda uji desak dilakukan dengan suhu maksimal 400°C , 500°C dan 600°C selama 3 jam.

1.4 Metode Penelitian

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

1. Merencanakan campuran beton yang dengan menggunakan perbandingan berat, beton diaduk dengan mesin pengaduk yang tersedia di Laboratorium.
2. Benda uji lentur yang direncanakan adalah balok persegi dengan panjang bentang 100 cm, dengan variasi tebal selimut beton, dibuat sebanyak 14 buah dengan perincian sebagai berikut :
 - a. sampel 25-0, dan 26-0 tanpa pembakaran,
 - b. sampel 24-4, 25-4, 26-4 dan 27-4 dibakar pada suhu maksimal 400°C selama 3 jam,
 - c. sampel 24-5, 25-5, 26-5 dan 27-5 dibakar pada suhu maksimal 500°C selama 3 jam,
 - d. sampel 24-6, 25-6, 26-6 dan 27-6 dibakar pada suhu maksimal 600°C selama 3 jam,
3. Benda uji tekan berbentuk silinder dibuat sebanyak 9 buah. Dengan perincian sebagai berikut :
 - a. sampel A, B dan C tanpa pembakaran,
 - b. sampel 4A dan 4B dibakar pada suhu maksimal 400°C selama 3 jam,
 - c. sampel 5A dan 5B dibakar pada suhu maksimal 500°C selama 3 jam,
 - d. sampel 6A dan 6B dibakar pada suhu maksimal 600°C selama 3 jam.

4. Pengecoran dilakukan apabila adukan telah memenuhi nilai slump yang direncanakan, dengan cara, beton ditumpahkan pada bak penampung adukan, kemudian adukan diangkat dengan ember ke tempat cetakan dan ditumpahkan kedalam cetakan.
5. Pemadatan beton dilaksanakan menggunakan tongkat penumbuk sampai padat serta sisi cetakan diketuk-ketuk dengan menggunakan palu kayu.
6. Rawatan benda uji dilakukan setelah beton berumur 24 jam.
7. Pembakaran, pengujian lentur dan pengujian desak dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
8. Hasil-hasil penelitian diolah menjadi data berupa tabel dan grafik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton untuk beton bertulang merupakan suatu material yang menyerupai batu alam yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan koral atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan. Kumpulan material tersebut terdiri dari agregat yang halus dan kasar. Semen dan air berinteraksi secara kimiawi untuk mengikat partikel-partikel agregat tersebut menjadi suatu masa yang padat. Tambahan air, yang melampaui jumlah yang dibutuhkan untuk reaksi kimia ini, diperlukan untuk memberikan campuran tersebut sifat mudah diolah yang memungkinkannya mengisi cetakan dan membungkus baja penguat sebelum mengeras. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya. Semen-semen khusus (seperti semen berkekuatan tinggi), agregat-agregat khusus (seperti bermacam-macam agregat ringan dan agregat berat) memungkinkan untuk mendapatkan variasi sifat-sifat beton yang lebih luas lagi.

Sifat-sifat ini dalam banyak hal tergantung pada proporsi dari campurannya, pada kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran tersebut dan pada

kondisi kelembaban dan temperatur pada tempat diletakkannya campuran tersebut sejak saat ditempatkannya campuran tersebut dalam cetakan hingga mengeras sepenuhnya. Proses pengawasan kondisi ini dikenal sebagai proses pemulihan. Untuk menghindari terjadinya produksi beton yang berkualitas dibawah standar, selama proses tersebut berlangsung diperlukan pengendalian dan pengawasan yang seksama, sejak penentuan proporsi berat dari masing-masing komponen, melalui proses pencampuran dan penempatan, sampai selesainya proses pemulihan.

Faktor-faktor yang membuat beton sebagai material bangunan yang umum tampak nyata sekali sehingga beton telah dipakai, dengan cara dan jenis yang lebih primitif dari pada keadaan sekarang ini, selama beribu-ribu tahun lamanya, mungkin telah dimulai sejak zaman Mesir kuno. Salah satu dari faktor-faktor tersebut adalah kemudahan pengolahannya, yaitu dalam keadaan plastis, beton dapat diendapkan dan diisi ke dalam cetakan atau bekisting yang hampir mempunyai semua bentuk yang praktis. Daya tahannya yang tinggi terhadap api dan cuaca merupakan bukti dari kelebihanannya. Sebagian besar dari material pembentuknya, kecuali semen, biasanya tersedia di lokasi dengan harga murah atau pada tempat yang tidak terlalu jauh dari lokasi konstruksi.

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, seperti juga kekuatan tekan pada batu alam, yang membuat beton cocok untuk dipakai sebagai elemen yang terutama memikul gaya tekan, seperti kolom dan konstruksi busur. Sebaliknya, seperti juga batu alam, beton relatif merupakan material yang mudah retak yang tegangan tariknya kecil bila dibandingkan dengan tegangan tekannya. Hal ini mencegah penggunaan ekonomis beton sebagai elemen struktur yang mengalami gaya tarik baik

penggunaan ekonomis beton sebagai elemen struktur yang mengalami gaya tarik baik secara keseluruhan (seperti pada elemen struktur tarik) maupun pada sebagian dari penampangnya (seperti pada gelagar atau batang-batang lentur lainnya).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, pada pertengahan abad ke sembilan belas, telah didapat kemungkinan, untuk memakai baja dengan kekuatan tariknya yang tinggi untuk memperkuat beton, terutama sekali pada tempat-tempat dimana kekuatan tarik beton yang kecil akan membatasi kapasitas penyangga dari beton. Perkuatan tersebut, biasanya berupa batang baja bundar dengan permukaannya yang sesuai untuk memungkinkan terjadinya proses saling mengikat antar beton dan baja, ditempatkan di dalam cetakan sebelum beton diisi kedalamnya. Apabila telah terbungkus sama sekali dengan masa beton yang mengeras, maka perkuatan tersebut akan merupakan bagian yang terpadu dari batang tersebut. Hasil kombinasi dari kedua material tersebut, yang dikenal sebagai beton bertulang, mengkombinasikan banyak keuntungan dari masing-masing material seperti : harga yang relatif murah, daya tahan yang baik terhadap api dan cuaca, kekuatan tekan yang baik, serta kemampuan yang istimewa dari beton untuk dibentuk dan kekuatan tarik yang tinggi serta duktilitas (kelenturan) dan ketahanan yang jauh lebih besar dari baja (Winter, 1987).

2.1.1 Baja tulangan

Dibandingkan dengan beton, tulangan merupakan material berkekuatan tinggi. Baja penguat atau baja tulangan memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya. Baja merupakan material yang mahal harganya bila

dibandingkan dengan beton. Kedua material tersebut dapat digunakan dengan sebaik-baiknya dalam suatu kombinasi dimana beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sedang baja berfungsi memikul tegangan tarik. Dengan demikian, pada suatu gelagar beton bertulang, beton berfungsi memikul gaya tekan dan batang-batang baja yang dipasang longitudinal diletakkan di dekat permukaan tarik untuk memikul gaya tarik. Namun demikian, tulangan juga dipakai untuk memikul gaya tekan terutama pada tempat-tempat dimana diinginkan adanya pengurangan dimensi dari penampang dari elemen struktur tekan. Walaupun dalam perhitungan tidak ditemukan tulangan seperti yang dikemukakan di atas, suatu jumlah minimum dari tulangan ditempatkan pada elemen struktur tekan untuk melindungi terhadap efek dari momen lentur yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat meretakkan bahkan meruntuhkan bagian yang tidak diberi tulangan.

Supaya pemakaian tulangan bisa berjalan dengan efektif, harus diusahakan agar tulangan dan beton dapat mengalami deformasi bersama-sama, yaitu agar terdapat ikatan yang cukup kuat diantara kedua material tersebut untuk memastikan tidak terjadinya gerakan relatif (slip) dari tulangan dengan beton yang ada disekelilingnya. Ikatan yang kuat ini dapat diperoleh dengan memakai bahan adhesi kimia yang bekerja pada bidang antara tulangan beton, atau oleh kekasaran alami dari pergeseran yang terdapat pada tulangan berprofil baja, dan oleh sirip permukaan yang dibentuk oleh rusuk-rusuk yang dekat sekali jaraknya yang terdapat pada tulangan penguat supaya bisa terjadi ikatan yang kuat diantara kedua material tersebut.

Beberapa gambaran yang menyebabkan terjadinya ikatan yang kuat antara tulangan dan beton antara lain :

1. koefesien muai panas dari kedua material, kurang lebih 0,0000065 untuk tulangan dan rata-rata 0,0000055 untuk beton, cukup berdekatan untuk dapat mencegah terjadinya retak dan efek-efek lainnya yang tidak diinginkan akibat terjadinya deformasi karena adanya perubahan temperatur,
2. karena daya tahan baja terhadap karat sangat lemah, maka beton yang berada disekeliling tulangan penguat dapat memberikan perlindungan yang baik terhadap karat, dengan demikian dapat memperkecil masalah karat dan mengurangi biaya pemeliharannya,
3. daya tahan api dari tulangan yang tidak terlindung diperlemah oleh konduktifitasnya yang tinggi terhadap panas dan oleh kenyataan bahwa kekuatan tulangan akan berkurang banyak pada temperatur yang tinggi.

Sebaliknya konduktifitas panas beton relatif rendah. Dengan demikian, kerusakan yang disebabkan, bahkan oleh api yang menjalar untuk jangka waktu yang lama, walaupun ada, biasanya terbatas pada lapisan luar dari beton, dan suatu penutup beton dengan ketebalan cukup dapat berfungsi cukup baik sebagai penyekat bagi tulangan yang ditanamkan di dalamnya (Winter, 1987).

2.1.2 Kuat lentur balok persegi

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah

horisontal), atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendesain penampang elemen balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur.

Meskipun data masukan untuk analisis penampang berbeda dengan data masukan yang diperlukan pada desain, pada hakekatnya desain juga merupakan analisis. Pada desain ukuran penampangnya ditentukan terlebih dahulu untuk kemudian dianalisis untuk menentukan apakah penampang tersebut dapat dengan aman memikul beban luar yang diperlukan.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linear, isotropis dan homogen, maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur

balok yang terkenal, yaitu $f = \frac{M.c}{I}$. Pada keadaan beban batas, balok beton bertulang bukanlah material yang homogen, juga tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut :

1. Distribusi regangan adalah linear. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut (Nawy, 1990).

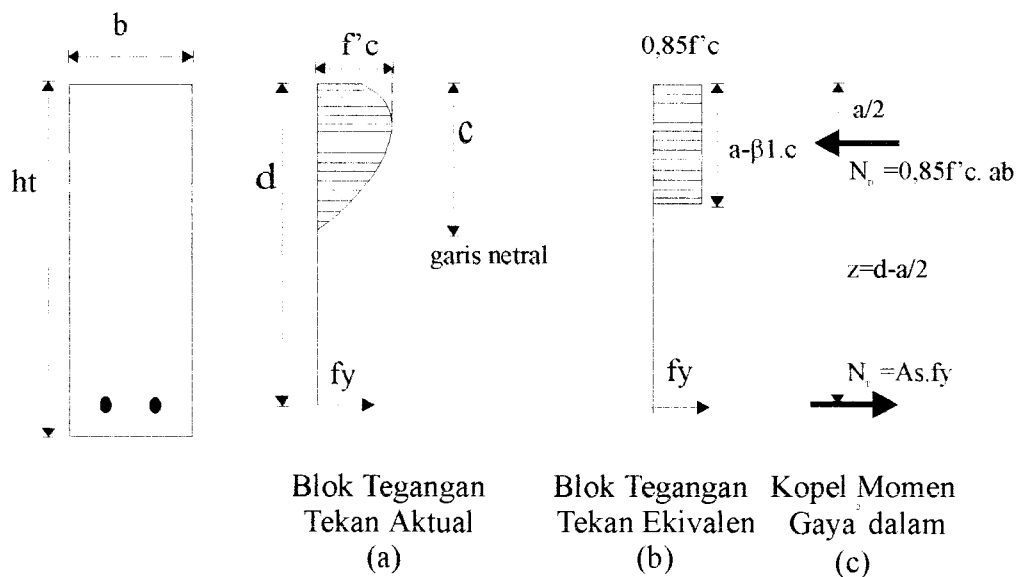
Pada suatu kondisi tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan beton maksimum (ϵ'_b maksimum) mencapai 0,003 sedangkan regangan baja tarik tulangan mencapai regangan luluh (ϵ_y). Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan, atau disebut penampang seimbang. Dengan demikian berarti bahwa untuk suatu komposisi beton dengan jumlah baja tertentu akan memberikan keadaan hancur tertentu pula.

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

Momen tahanan dalam tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam, merupakan hal yang kompleks sehubungan dengan bentuk diagram tegangan tekan di atas garis netral yang berbentuk garis lengkung. Kesulitan timbul tidak hanya waktu menghitung besarnya N_D , tetapi juga penentuan letak garis kerja gaya relatif terhadap pusat berat tulangan baja tarik. Tetapi karena momen tahanan dalam, pada dasarnya merupakan fungsi dari N_D dan z , tidaklah sangat penting untuk mengetahui bentuk tepat distribusi tegangan tekan di atas garis netral. Untuk menentukan momen tahanan dalam, yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan N_D dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak z dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan

nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen. Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk yang lain sepanjang hal tersebut merupakan hasil-hasil pengujian. Pada kenyataannya, usulan Whitney telah digunakan secara luas karena bentuknya berupa empat persegi panjang yang memudahkan dalam penggunaannya, baik untuk perencanaan maupun analisis, lihat gambar 2.1 (Dipohusodo, 1994).



Gambar 2.1 Blok Tegangan Ekuivalen Whitney (Dipohusodo, 1994)

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2. ayat 7 menetapkan usulan Whitney bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen yang mendefinisikan

persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen yang mendefinisikan sebagai berikut :

1. tegangan beton sebesar $0,85 f'_c$ harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a=\beta_1c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum,
2. jarak c dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut,
3. faktor β_1 harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton f'_c hingga atau sama dengan 30 Mpa, untuk kekuatan di atas 30 Mpa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap kelebihan 1 Mpa diatas 30 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65 (Dipohusodo, 1994).

2.2 Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Analisis penampang balok terlentur dilakukan terlebih dahulu mengetahui dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri dari : jumlah dan ukuran tulangan baja tarik (A_s), lebar balok (b), tinggi efektif (d), tinggi total (h), f'_c dan f_y , sedangkan yang dicari adalah kekuatan balok atau manifestasi kekuatan dalam bentuk lain, misalnya menghitung M_n atau memeriksa kehandalan dimensi penampang balok tertentu terhadap beban yang bekerja, atau menghitung jumlah beban yang dapat dipikul balok. Di lain pihak, proses perencanaan balok terlentur adalah menentukan satu atau lebih unsur dimensi penampang balok yang belum diketahui, atau menghitung jumlah kebutuhan tulangan tarik dalam penampang berdasarkan mutu

bahan dan jenis pembebanan yang sudah ditentukan. Penting sekali untuk mengenal perbedaan dua pekerjaan dan permasalahan tersebut dengan baik, masing-masing memiliki langkah penyelesaian berbeda (Dipohusodo, 1994).

Dipohusodo (1994) memberikan ringkasan atau ikhtisar analisis untuk balok persegi terlentur bertulangan tarik, dengan urutan sebagai berikut :

- 1) Menentukan hal-hal yang diketahui.
- 2) Menentukan yang harus dicari (pekerjaan analisis umumnya mencari M_r , M_n , beban hidup atau mati yang dapat didukung).
- 3) Menghitung rasio penulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} \dots\dots\dots (2.1)$$

- 4) Hasilnya dibandingkan dengan $0,75\rho_b$ atau ρ_{maks} juga terhadap ρ_{min} untuk menentukan apakah penampang memenuhi syarat.
- 5) Menghitung kedalaman blok tegangan beton tekan :

$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85.f_c'.b} \dots\dots\dots (2.2)$$

- 6) Menghitung panjang lengan kopel momen dalam, $z = d - \frac{1}{2}.a$
- 7) Menghitung momen tahanan (momen dalam) ideal M_n ,

$$M_n = N_T.z = A_s.f_y.z \text{ atau} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$M_n = N_D.z = 0,85.f_c'.a.b.z \dots\dots\dots (2.4)$$

$$M_R = \Phi.M_n \dots\dots\dots (2.5)$$

2.3 Perilaku Lentur pada Pembebanan

Balok-balok beton murni (tanpa tulangan) tidak efisien sebagai batang-batang lentur karena kekuatan tarik pada lentur adalah sangat kecil dibandingkan kekuatan tekannya. Sebagai akibatnya, balok tersebut mengalami kegagalan pada sisi tariknya pada pembebanan yang rendah, jauh sebelum kekuatan beton pada sisi tekan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Berdasarkan hal ini maka dipakai tulangan yang ditempatkan pada daerah tarik. Pada balok bertulang, tarik yang disebabkan oleh momen lentur terutama sekali dipikul oleh tulangan, sedang beton biasanya hanya dapat memikul tekan yang terjadi. Aksi komposit dari kedua material tersebut hanya dapat berjalan dengan baik apabila dicegah terjadinya slip antara beton dan tulangan. Hal ini bisa dicapai dengan memakai tulangan ulir yang mempunyai daya lekat yang tinggi pada permukaan tulangan beton, dan apabila diperlukan dengan mengankur ujung-ujung tulangan secara khusus.

Apabila pembebanan pada balok tersebut ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu harga yang dapat menyebabkan hancurnya balok, maka bisa dibedakan dengan jelas adanya beberapa tingkat perilaku yang berbeda.

Pada pembebanan yang kecil, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan, tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Tulangan juga mengalami deformasi yang sama seperti beton dan mengalami tegangan tarik.

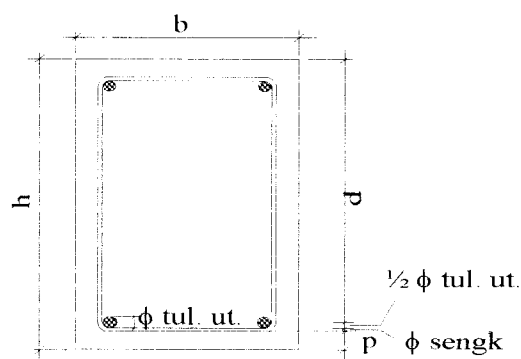
Apabila bahan ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai tercapai retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini menjalar dengan cepat ke atas dan bergeser diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Retak-retak ini, cukup banyak mempengaruhi perilaku balok yang mengalami pembebanan. Sesungguhnya, pada suatu penampang retak, yaitu suatu penampang yang terletak pada tempat terjadinya retak, beton tidak menyalurkan tegangan-tegangan tarik. Dengan demikian, seperti juga pada batang-batang tarik maka tulanganlah yang harus memikul semua tarik yang terjadi.

Apabila dipakai jumlah tulangan yang relatif sedikit pada suatu besar pembebanan tertentu, tulangan akan mencapai tegangan lelehnya. Pada besar tegangan tersebut tulangan akan meleleh secara tiba-tiba dan akan mengalami deformasi yang besar, dan retak-retak akibat tarik pada beton akan melebar sehingga menjalar ke atas, diikuti secara serentak dengan terjadinya lentur yang besar pada balok. Apabila ini terjadi, regangan pada daerah tekan akan bertambah sedemikian rupa sehingga dapat menghancurkan beton, kehancuran tekanan sekunder terjadi pada besar pembebanan yang sedikit lebih besar dari beban yang menyebabkan tulangan meleleh. Dengan demikian, secara efektif tercapainya tegangan leleh pada tulangan menentukan daya pikul dari balok dengan jumlah tulangan tertentu. Kehancuran leleh berlangsung secara berangsur-angsur dan didahului dengan tanda-tanda yang cukup jelas, seperti melebar dan memanjangnya retak, dan tanda-tanda yang menunjukkan bertambah besarnya lendutan yang terjadi.

Sebaliknya apabila dipakai jumlah tulangan yang banyak atau jumlah tulangan yang normal dari tulangan yang mempunyai kekuatan tinggi, maka kekuatan tekanan beton akan dicapai sebelum tulangan mulai meleleh. Beton akan mengalami regangan yang terjadi menjadi sangat besar sehingga dapat merusak keutuhan beton (Winter, 1987).

2.4 Selimut Beton

Dua besaran yang berperan penting pada analisis penampang beton bertulang adalah tinggi total h dan tinggi efektif d . Gambar 2.2 memberikan kedua besaran ini bagi sebuah balok.



Gambar 2.2 Hubungan antara h , d dan penutup beton p .

Hubungan antara d dan h untuk sebuah balok, secara umum ditentukan oleh,

$$h = d + \frac{1}{2} \text{Ø}_{\text{tul.ut.}} + \text{Ø}_{\text{sengk}} + p \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan ,

d = tinggi efektif (jarak dari serat tekan ke titik berat tulangan tekan)

p = tebal penutup beton untuk menutup tulangan terluar

$\text{Ø}_{\text{tul.ut.}}$ = diameter tulangan utama

Ø_{sengk} = diameter sengkang

Salah satu faktor yang menentukan perbedaan antara d dan h , dalam balok adalah penutup beton p . Sesuai dengan namanya penutup beton ini, digunakan untuk melindungi tulangan baja. Lapisan pelindung yang digunakan sesuai dengan ketentuan tebal penutup beton akan,

- a. menjamin penanaman tulangan dan lekatannya dengan beton,
- b. menghindari korosi pada tulangan yang mungkin dapat terjadi,
- c. meningkatkan perlindungan struktur terhadap kebakaran.

Penutup beton yang diberikan cukup memenuhi fungsi ini, bergantung pada

- a. kepadatan dan kekedapan beton
- b. ketelitian pelaksanaan pekerjaan
- c. lingkungan disekitar konstruksi tersebut (Gideon, 1994).

Menurut PBI 1971, ketahanan terhadap kebakaran (dinyatakan dalam jam) menentukan tebal penutup beton dan/atau ukuran bagian konstruksi yang ditinjau. Tebal penutup beton dan/atau bagian konstruksi harus ditentukan sedemikian rupa hingga waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 450°C di tulangan pokok paling sedikit adalah sama dengan ketahanan dalam kebakaran yang disyaratkan untuk bagian konstruksi itu.

2.5 Rancangan Pencampuran Beton

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

1. kekuatan desak sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan oleh perencana konstruksi,

2. kelecakan (*workability*) yang cukup sehingga memudahkan dalam pengangkutan, penuangan dan pemadatan beton dapat dilakukan dengan baik,
3. keawetan (*durability*) yang memadai, umumnya keawetan beton banyak ditentukan oleh faktor air semen,
4. *finishing* yang baik,

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton digunakan metode ACI karena metode ini yang banyak digunakan dilapangan. Perencanaan metode ACI ini ditampilkan dalam lampiran 4 sampai dengan 11.

2.6 Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton Bertulang

Beton bertulang banyak dipakai selaku unsur konstruksi. Dalam suhu tinggi beton kehilangan kekuatannya sangat banyak dan bila sudah mendingin lagi, sisa kekuatannya lebih rendah lagi. Sehingga bagian-bagian beton itu setelah kebakaran perlu mendapat tambahan kekuatan. Beton yang dibuat dengan campuran-campuran silikat juga lebih getas dan rapuh dalam kebakaran. Kerapuhan atau kegetasan itu tidak ada dalam konstruksi-konstruksi beton yang memakai kapur atau campuran-campuran ringan lainnya. Tetapi ketahanan serta daya dukungnya selalu ditentukan oleh kekuatan tulangnya pada bagian-bagian yang terkena tarikan dan yang mendapat titik kritisnya pada sekitar 400°C untuk baja pers dingin dan 550°C untuk baja gilingan panas. Itu masih tergantung juga dari tebal beton yang menutupi tulangan baja dan yang ternyata sangat penting selaku isolasi panas (Mangunwijaya, 1981).

2.6.1 Sifat pasta semen pada kenaikan temperatur

Ketika pasta semen dipanaskan mulai temperatur ruangan sampai 100°C , maka kekuatannya akan bertambah sedikit karena hilangnya air bebas pada bagian arang (clinker) yang terhidrasi, kemudian menyerap air, dan kira-kira pada temperatur 300°C air yang terikat secara kimiawi akan hilang pula. Kekuatan pasta semen pada temperatur 400°C hampir sama dengan kekuatannya pada temperatur ruangan. Diantara temperatur 400°C sampai 600°C kalsium hidroksida mengalami dihidrasi dan berubah menjadi kalsium oksida yang kekuatannya menjadi rendah sekali atau bahkan tidak mempunyai kekuatan sama sekali, yang akhirnya menyebabkan kekuatan pasta semen berkurang dengan cepat sepanjang interval temperatur tersebut. Pada temperatur 600°C sampai 700°C hasil pengeringan lainnya menyebabkan kehancuran dan kekuatan pasta semen hilang sama sekali. Setelah didinginkan dari temperatur 400°C sampai 500°C keretakan yang besar terbentuk pada pasta semen. Retak-retak juga disebabkan oleh pemuaian volume kalsium oksida pada temperatur tinggi hasil rehidrasi kalsium hidroksida. Perubahan kimia pasta semen pada temperatur tinggi juga disertai dengan perubahan volume. Ketika dipanaskan dari temperatur ruangan ke 100°C , pemuaian volume pasta semen meningkat secara linier, kemudian terjadi penyusutan sampai temperatur 500°C karena dehidrasi. Pada temperatur tinggi, volume kembali meningkat tanpa dapat mencapai nilai aslinya. Dua efek pasta semen pada temperatur tinggi adalah hilangnya kekuatan akibat pembusukan dari kalsium hidroksida dan hasil pengeringan lainnya saat temperatur 400°C , pemuaian terjadi antara 100°C sampai 400°C akibat ketidaksesuaian antara perubahan volume agregat,

antara 100°C sampai 400°C akibat ketidaksesuaian antara perubahan volume agregat, yang dapat meningkatkan keretakan dan kehancuran beton (Hansen, 1976).

2.6.2 Sifat agregat pada kenaikan temperatur

Agregat berbeda reaksinya pada temperatur tinggi tergantung pada struktur dan komposisi mineralnya. Batu kristal dibedakan oleh pembungkus padat dari bermacam-macam mineral yang berbeda panasnya. Kristal secara mandiri mempunyai perbedaan tujuan dan arah. Walaupun tekanan dalam berkembang pada kenaikan temperatur yang menyebabkan pelepasan penuh partikel.

Sifat fisik dari batuan sedimen tergantung pada kandungan airnya. Kekuatan *sandstone* basah hanya setengah dari kekuatan material kering. Batu pasir memuai ketika dipanaskan. Jika temperatur naik secara cepat, pemuaian ini menyebabkan keretakan pada beton. Pada kenaikan yang rendah sekitar temperatur 100°C batu pasir lebih menyerap air dan menciut, hal ini menyebabkan gagalnya perletakan dan kekuatan beton berkurang. Flint, yang sering ditemukan didalam batuan sedimen mengandung sedikit air di dalam pori-pori mikroskopisnya. Ketika air menguap pada suhu 300°C, berkurangnya tekanan uap menyebabkan keretakan pada beton. Batu kapur mempunyai daya tahan yang baik terhadap panas sejauh tidak terjadi perubahan komposisi atau perubahan volume yang mendadak. Pada temperatur 650°C senyawa kimianya adalah kalsium oksida dan karbon oksida. Ketika didinginkan, kalsium oksida bereaksi dengan air untuk membentuk kalhidroksida dibawah pemuaian dan keretakan beton. Pada temperatur 400°C pasta semen secara cepat menjadi buruk, secara perlahan ikatan semen-agregat menjadi hilang, kekuatan beton hilang dan beton

tidak dapat dipergunakan untuk keperluan praktis. Batuan alam yang mempunyai kandungan feldspaar tinggi, seperti basalt, andesite, diabase dan agregat buatan yang terbuat dari slag, lempung bakar atau hasil pabrik lainnya adalah material yang cocok untuk beton yang dipakai pada temperatur 300°C (Hansen, 1976).

2.6.3 Keretakan beton pada kenaikan temperatur

Jika struktur partikel agregat, semen pasta ketika dipanaskan memperburuk sifat kimianya, maka beton tidak dapat memberikan layanan sebagaimana mestinya. Tapi jika secara fisik antara pasta semen dan agregat tidak dapat disatukan maka akan menyebabkan kerusakan dan kehancuran pada beton. Tegangan intern pada agregat yang disebabkan perbedaan muai panas bisa menimbulkan keretakan pada pasta semennya.

Pengaruh kenaikan temperatur pada peristiwa kebakaran sangat dan cukup serius pada beton yang tidak terlindung. Telah diketahui bahwa pada temperatur di atas 100°C, pasta semen mengalami susut karena peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat mengembang karena meneruskan muai panasnya. Peristiwa ini dapat merupakan penyebab terjadinya keretakan pada beton. Selain itu kemungkinan terjadinya retak pada beton dapat pula disebabkan oleh kombinasi antara kenaikan tegangan dan tekanan uap panas dari dalam pada saat beton dipanasi dengan cepat seperti pada peristiwa kebakaran. Pada saat terjadi kebakaran, kenaikan temperatur sangat besar dan beton yang terbakar akan sulit mengeluarkan uap air dari semen gel yang terkandung di dalamnya, mengingat beton bersifat padat. Hal ini mengakibatkan terjadinya tekanan udara panas di dalam yang akan membentuk

rongga-rongga yang dapat menimbulkan keretakan pada beton.

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

Pada saat terjadinya 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).

2.6.4 Pengaruh temperatur pada kekuatan beton

Hasil penelitian Neville menunjukkan bahwa kenaikan temperatur cenderung mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Diduga ada sedikit kenaikan kuat tekan pada temperatur 200°C sampai 300°C, tetapi kuat tekan pada temperatur 400°C tidak lebih dari 80% kuat desak normalnya, dan kuat desak pada temperatur 700°C tidak lebih dari 30% kuat tekan normalnya. Reaksi kimia dan reaksi fisika pada beton berlangsung selama pemanasan. Perubahan faktor air semen sedikit pengaruhnya terhadap kuat desak beton pada kenaikan temperatur. Meskipun demikian, penurunan kuat tekan beton pada kenaikan temperatur akan berkurang jika kandungan semen dikurangi (Hansen, 1976).

Perubahan elastis seketika seperti rayapan beton sangat dipengaruhi oleh kenaikan temperatur. Nilai modulus elastis 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 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).

2.6.5 Sifat baja pada kenaikan temperatur tinggi

Daya tahan baja terhadap api dari tulangan yang tidak terlindung diperlemah oleh konduktifitasnya yang tinggi terhadap panas dan oleh kenyataan bahwa kekuatan tulangan akan berkurang banyak pada temperatur yang tinggi (Winter, 1987).

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Teori

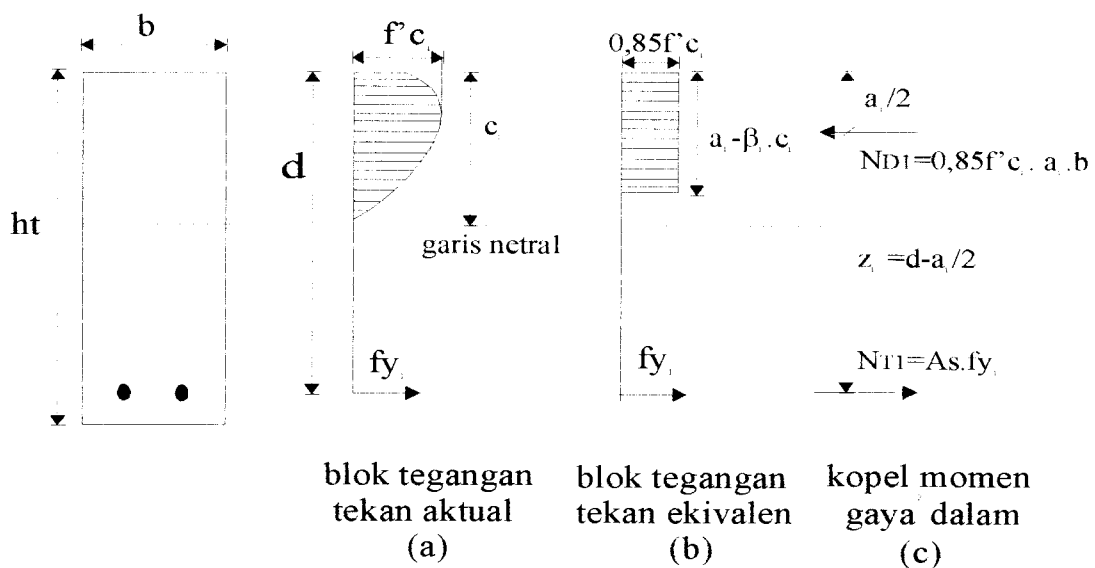
Penelitian yang dilakukan Krisno dan Johansyah (1997) mengenai pengaruh pembakaran terhadap balok beton bertulang yang dibakar pada temperatur 800°C, memberikan gambaran bahwa peningkatan temperatur akan mempengaruhi kuat lentur balok. Pada penelitian ini balok beton bertulang mengalami penurunan kuat lentur karena menurunnya kuat tekan beton dan kuat tarik baja pada balok tersebut.

Hasil penelitian memberikan hasil untuk balok beton bertulang yang dibakar pada temperatur 800°C selama 1 jam mengalami penurunan kuat lentur sebesar 20 %, sedangkan balok beton bertulang yang dibakar pada temperatur 800°C selama 2, 3 dan 4 jam mengalami penurunan kuat lentur lebih dari 40 %. Balok beton bertulang yang digunakan sebagai benda uji pada penelitian ini menggunakan selimut beton kurang dari 2 cm (Krisno dan Johansyah, 1997).

Penelitian dilaksanakan dengan menitik beratkan selimut beton sebagai unsur yang juga berpengaruh terhadap kekuatan lentur balok pada saat mengalami kebakaran. PBI 1971 mensyaratkan tebal selimut beton untuk balok yang dibakar selama 3 jam pada temperatur 450°C, digunakan tebal selimut minimal 5 cm.

3.2 Kuat Lentur Balok Persegi Pasca Pembakaran

Kuat lentur balok persegi sebelum dan sesudah mengalami kebakaran akan memiliki blok tegangan yang berbeda. Perbedaan tersebut disebabkan oleh turunnya kuat tekan beton dan kuat tarik baja akibat pengaruh temperatur tinggi. Untuk meningkatkan perlindungan tulangan baja dari kenaikan temperatur tinggi, dapat direncanakan suatu lapisan pelindung atau selimut beton yang sesuai dengan ketentuan. Dengan mengambil contoh data kuat tarik baja dan kuat desak beton yang dibakar pada suhu 500°C selama 3 jam dengan tebal selimut beton 5 cm, blok tegangan yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Blok Tegangan Ekuivalen untuk Balok yang Dibakar

Pada kuat tekan beton pasca kebakaran ($f'c_1$) terjadi penurunan yang besar, sedangkan kuat tarik baja pasca kebakaran (fy_1) terjadi penurunan relatif kecil menandakan selimut betonnya bekerja dengan baik. Dengan turunnya nilai $f'c$ dan fy maka nilai-nilai c_1 dan a_1 semakin besar sedangkan nilai-nilai z_1 , N_{D1} dan N_{T1} relatif berkurang sedikit.

3.3 Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Pada penelitian ini sebelum balok dikenai pembebanan lentur terlebih dahulu dilakukan pengujian kuat tarik baja dan pengujian tekan beton untuk menentukan nilai tegangan luluh rata-rata (f_y) pada baja dan tegangan tekan (f_c') rata-rata betonnya. Analisis penampang balok terlentur dilakukan untuk mengetahui jumlah beban yang dapat dipikul oleh balok. Maka dari itu selain diketahui tegangan luluh baja rata-rata dan tegangan tekan beton rata-rata, perlu diketahui juga unsur-unsur penampang baloknya.

Benda uji yang dipakai pada penelitian ini berupa balok persegi dengan lebar (b) = 180 mm, tinggi efektif (d) = 206 mm dan panjang (L) = 1000 mm. Dari hasil pengujian kuat tarik baja tulangan didapat tegangan luluh rata-rata = $2627,3720 \text{ kg/cm}^2$ (dikonversikan menjadi $f_y = 262,7372 \text{ Mpa}$), dan hasil pengujian desak beton didapat tegangan tekan rata-rata = $372,617 \text{ kg/cm}^2$ (dikonversikan menjadi $f_c' = 37,2617 \text{ Mpa}$). Perencanaan didasarkan pada tulangan sebelah dengan jumlah tulangan $2\text{Ø}12$ ($A_s = 226,195 \text{ mm}^2$). Perhitungan momen nominal dan beban yang mampu ditahan oleh balok dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{226,195}{180 \cdot 206} = 0,0061$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \cdot \frac{(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1)}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 37,2617 \cdot 0,7919}{262,7372} \cdot \frac{600}{(600 + 262,7372)} \\ &= 0,0497 \end{aligned}$$

karena $0,0061 < 0,0497$, dapat dipastikan tulangan baja tarik sudah meluluh.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{262,7372} = 0,0053$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{226,195 \cdot 262,7372}{0,85 \cdot 37,2617 \cdot 180} = 10,4244 \text{ mm}$$

$$z = \left(d - \frac{a}{2}\right) = 206 - \frac{10,4244}{2} = 200,7878 \text{ mm}$$

Menghitung Mn :

berdasarkan gaya tekan pada beton,

$$M_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot z$$

$$= 0,85 \cdot 37,2617 \cdot 10,4244 \cdot 180 \cdot 200,7878 \cdot 10^{-6}$$

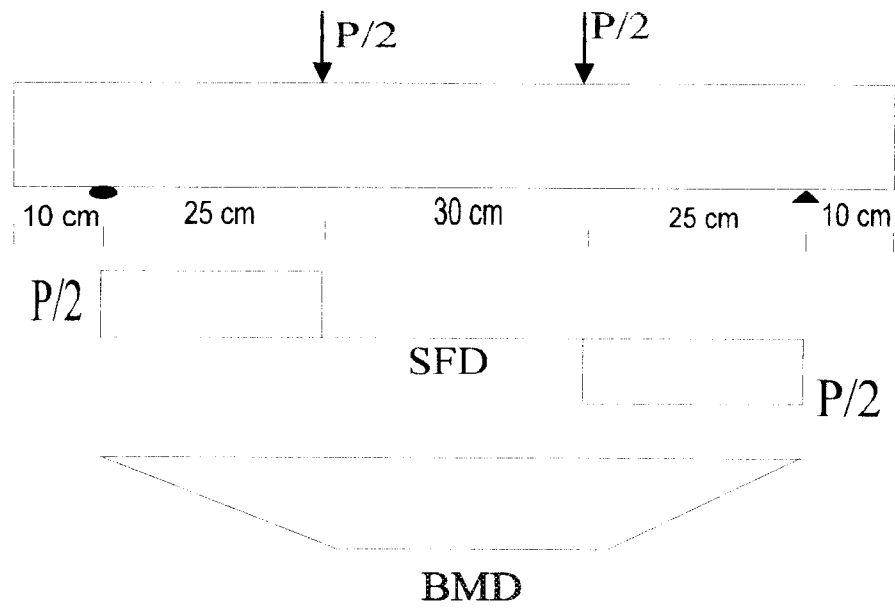
$$= 11,9328 \text{ kNm}$$

berdasarkan pada gaya tarik tulangan baja,

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 226,195 \cdot 262,7372 \cdot 200,7878 \cdot 10^{-6}$$

$$= 11,9328 \text{ kNm}$$



Gambar 3.2 Balok dibebani lentur murni

$$MR = \phi \cdot Mn$$

$$= 0,8 \cdot 11,9328$$

$$= 9,5462 \text{ kNm}$$

$$MR = 0,25 \cdot P/2 = 0,125 \cdot P$$

$$0,125 \cdot P = 9,5462$$

$$P = 76,3699 \text{ kN} = 76369,9 / 9,81 = 7784,908 \text{ kg}$$

BAB IV

PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Dalam pelaksanaan penelitian ini yang dilakukan adalah membuat benda uji balok dengan variasi tebal penutup beton yang dibakar dalam tungku pada suhu tinggi, sehingga didapatkan kondisi mendekati sama dengan balok pada bangunan yang mengalami kebakaran. Benda uji berupa balok persegi berukuran :

1. $18 \times 24 \times 100 \text{ cm}^3$ dengan penutup beton = 2 cm sebanyak 3 buah,
2. $18 \times 25 \times 100 \text{ cm}^3$ dengan penutup beton = 3 cm sebanyak 4 buah,
3. $18 \times 26 \times 100 \text{ cm}^3$ dengan penutup beton = 4 cm sebanyak 4 buah,
4. $18 \times 27 \times 100 \text{ cm}^3$ dengan penutup beton = 5 cm sebanyak 3 buah,

dan silinder berukuran diameter 30 cm dan tinggi 15 cm sebanyak 9 buah. Pembuatan adukan beton untuk benda uji direncanakan dengan menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) sebagai dasar pembuatan *mix design*. Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan kuat desak rencana 300 kg/cm^2 .

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

4.2 Pelaksanaan Penelitian

Bahan-bahan dan alat-alat yang akan dipergunakan dalam pelaksanaan sebaiknya dipersiapkan dengan cermat. Hal ini agar dalam pelaksanaannya nanti berjalan lancar. Material yang dipergunakan untuk pembuatan benda uji ini merupakan material lokal kecuali semen dan baja tulangan. Pembuatan benda uji ini menggunakan peralatan milik Laboratorium Uji Bahan Bangunan, FPTK IKIP Yogyakarta. Benda uji yang dibuat ini selanjutnya dibakar dalam tungku glasir milik Unit Pelayanan Teknis (UPT) Gerabah Kasongan Bantul. Pengujian desak dan lentur dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Pasir : asal sungai Progo, Yogyakarta,
2. Batu pecah : asal sungai Progo, Yogyakarta,
3. Semen : tipe I merek Nusantara,
4. Air : asal Lab. Uji Bahan Bangunan, FPTK IKIP, Yogyakarta,
5. Baja Tulangan: \varnothing 12mm 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 (lihat Lampiran 1 sampai dengan 3).

Dari pemeriksaan terhadap bahan material ini didapatkan :

1. Pasir : Berat Jenis (keadaan SSD) = 2,7779 t/m³,
 Modulus Halus Butiran (MHB) = 3,0 ,
 Kadar lumpur = 1,17 %,
2. Split : Berat Jenis (keadaan SSD) = 2,53 t/m³,
 Berat Jenis Kering Tusuk = 1,618 t/m³,
 Kadar lumpur (setelah dicuci) = 0,7234 %,
 Diameter maksimum = 40 mm.

4.2.2 Alat-alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang tercantum dalam tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Daftar Peralatan

No.	Alat	Kegunaan
1	Cetakan balok persegi	Cetakan benda uji balok
2	Cetakan silinder	Cetakan benda uji silinder
3	Kerucut Abrams	Pengujian Slump
4	Mesin siever	Pengayak mekanik
5	Mesin Uji Desak	Uji tekan beton
6	Mesin Uji Tarik	Uji lentur balok dan tarik baja
7	Mixer Listrik	Pencampur adukan beton
8	Oven	Pengeringan bahan
9	Timbangan	Menimbang bahan / benda uji
10	Tungku Glasir	Pembakaran benda uji

4.2.3 Perhitungan Campuran Beton

Perhitungan campuran beton ini (lihat lampiran 4) dimaksudkan untuk mengetahui proporsi bahan susun beton. Perhitungan campuran beton ini didasarkan pada data bahan susun beton sebagai berikut :

1. diameter maksimum agregat kasar = 40 mm,
2. kuat tekan rencana ($f'c$) = 300 kg/cm²,
3. modulus halus pasir = 3,0 ,
4. kadar lumpur pasir = 1,17 %,
5. berat jenis pasir (SSD) = 2,7779 t/m³,
6. berat jenis kerikil (SSD) = 2,53 t/m³,
7. berat jenis kerikil kering tusuk = 1,618 t/m³,
8. kadar lumpur kerikil = 0,7234 %
9. berat jenis semen (dari pabrik semen) = 3,150 t/m³,

Hasil perhitungan campuran beton dengan metode ACI adalah sebagai berikut :

- ◆ Semen = 337,5224 kg
- ◆ Pasir = 525,8592 kg
- ◆ Split = 812,2857 kg
- ◆ Air = 134,4014 lt

4.2.4 Pembuatan Benda Uji

Sebelum pembuatan benda uji terlebih dahulu dibuat blok penahan tulangan atau tahu beton untuk mempertahankan tebal selimut beton. Ukuran tahu beton

sekitar 4 x 4 cm dengan ketebalan sesuai dengan selimut beton yang akan digunakan.

Tahu beton ini dibuat dari campuran semen dan pasir dengan perbandingan 1 : 4.

Langkah pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. semua bahan dan alat untuk pembuatan campuran beton disiapkan dan dibersihkan. Bahan ditimbang dengan proporsi yang ditentukan sesuai dengan rencana yang telah dibuat. Pada saat penimbangan, pasir dan split dalam keadaan jenuh-kering permukaan,
2. bahan susun beton diaduk menjadi satu berturut-turut agregat kasar, agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas mesin pengaduk yang dipakai,
3. sementara itu cetakan silinder yang sudah dikencangkan kuncinya diolesi oli berikut cetakan baloknya,
4. adukan yang telah jadi segera dituang ke dalam bak penampung beton segar untuk diuji kelecakannya dengan menggunakan kerucut Abrams,
5. jika kelecakan adukan telah dicapai, beton dituang kedalam cetakan secara bertahap, pengisian beton 1/3 cetakan. Setiap pengisian dipadatkan dengan cara ditusuk-tusuk dengan tongkat baja dan diketuk-ketuk cetakannya menggunakan palu kayu agar gelembung udara yang terperangkap bisa keluar, dan diratakan bagian atasnya kemudian didiamkan ditempat yang terlindung dari panas dan hujan,
6. cetakan dibuka 24 jam kemudian dan selanjutnya dilakukan rawatan beton.

4.2.5 Rawatan Benda Uji

Rawatan benda uji ini adalah upaya untuk menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab setelah pembukaan cetakan. Kelembaban permukaan beton untuk menjaga proses hidrasi semen berlangsung dengan sempurna. Bila rawatan ini tidak dilakukan akan terjadi retak-retak yang menyebabkan beton kurang kuat. Selain itu kelembaban permukaan tadi juga menambah beton lebih tahan cuaca dan lebih kedap air. Rawatan ini dilakukan sejak beton dibuka dari cetakannya sampai cukup keras pada umur yang direncanakan.

Rawatan beton yang dilakukan dalam penelitian ini selama 28 hari yaitu dengan cara merendam benda uji silinder kedalam bak berisi air, sedangkan untuk benda uji balok cukup ditutup menggunakan karung basah yang tiap hari disiram air (lihat gambar 4.1) untuk menjaga karung tetap basah. Metode rawatan pada balok ini dilakukan karena tidak tersedianya bak penampung yang cukup besar untuk seluruh benda uji balok.



Gambar 4.1 Rawatan pada benda uji

4.2.6 Pembakaran Benda Uji

Setelah beton berumur 28 hari, selanjutnya dilakukan pembakaran benda uji (lihat gambar 4.2). Sebelum pembakaran benda uji ditimbang dan dicari volumenya. Dan dicatat hal-hal yang berkaitan dengan kondisi fisik beton sebelum dibakar. Pembakaran benda uji ini dilakukan dalam tungku glasir yang mampu mencapai suhu 1200°C . Pada penelitian ini suhu maksimal yang dipakai adalah 400°C , 500°C dan 600°C selama masing-masing 3 jam lama pembakaran. Lama pembakaran ini dihitung sejak tungku dinyalakan, kemudian secara bertahap temperatur dinaikkan sampai dicapainya temperatur yang direncanakan, dan dipertahankan sampai mencapai waktu yang ditetapkan.

Selanjutnya tungku dimatikan dan benda uji dikeluarkan setelah suhu dalam tungku mencapai suhu ruangan. Benda uji yang telah dibakar ditimbang berat dan dicari volumenya, serta dicatat kondisi fisik beton pasca pembakaran.

Gambar 4.2 Persiapan pembakaran benda uji

4.2.7 Pengujian Tekan dan Lentur Beton

Pengujian tekan dan lentur (lihat gambar 4.3) dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Pengujian tekan dan lentur benda uji yang tidak dibakar dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Sedangkan untuk benda uji yang dibakar pengujian dilakukan setelah suhu benda uji sama dengan suhu ruangan.

Gambar 4.3 Pelaksanaan pengujian lentur balok

Data yang diambil pada pengujian kuat tekan adalah beban maksimum beton. Sedangkan pengujian lentur data yang diambil adalah beban maksimum dan kondisi retak beton.

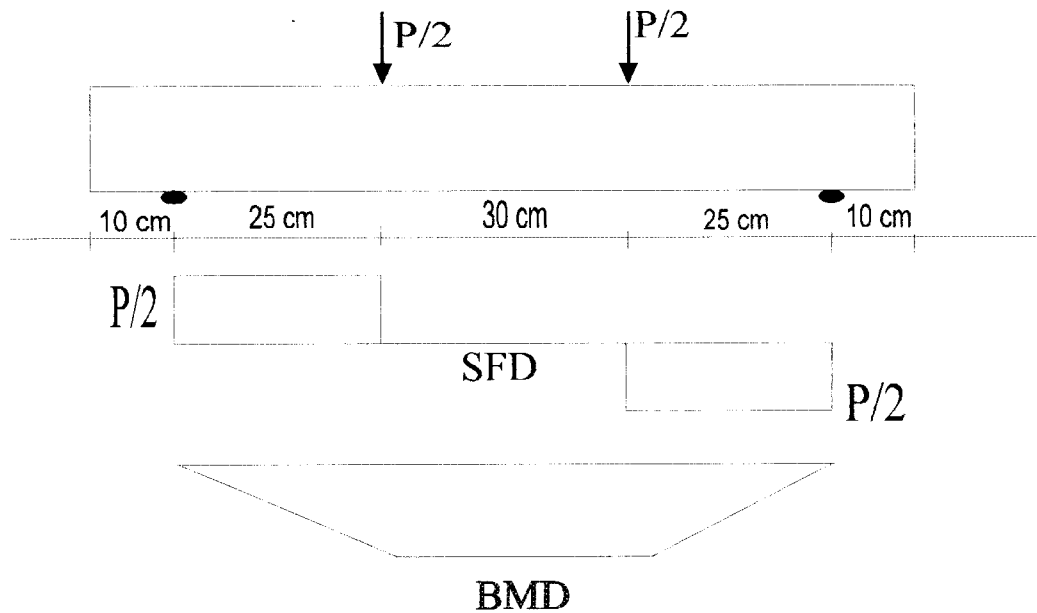
Kuat tekan beton dapat diketahui dengan cara membagi beban maksimum yang dicapai dengan luasan permukaan bagian yang didesak, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_c = P/A \dots\dots\dots (4.1)$$

dengan :

- σ_c = Kuat tekan beton (kg/cm^2),
- P = Beban maksimum (kg),
- A = Luas penampang benda uji (cm^2).

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



Gambar 4.4 Balok dengan beban terpusat dalam keadaan lentur murni

Pada gambar 4.4 terlihat diantara beban $P/2$ tidak terdapat gaya lintang dan hanya bekerja suatu momen lentur (M) konstan yang besarnya :

$$M = P/2 \cdot a \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{Untuk } a = 0,25 \text{ m maka } M = 0,125 \cdot P \dots\dots\dots (4.3)$$

4.2.8 Pengujian kuat tarik baja tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah dan batas luluh. Tegangan tarik baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh dengan luas rata-rata dari diameter baja tulangannya.

Baja tulangan yang diuji adalah baja yang diambil dari balok setelah pembebanan lentur, baik pada balok yang dibakar maupun yang tidak dibakar. Hasil pengujian tarik baja tulangan pada balok yang telah dibakar pada berbagai varisasi temperatur dan selimut beton, dibandingkan dengan baja tulangan pada balok yang tidak dibakar untuk mendapatkan data perubahan tegangan tarik baja yang terjadi.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan terhadap benda uji, baik benda uji tekan, benda uji lentur maupun tarik baja, didapat hasil antara lain beban maksimum untuk tekan dan lentur serta kuat tarik baja tulangan. Hasil dari pengujian menunjukkan, bahwa beton yang dibuat menghasilkan kuat tekan beton yang tidak seragam, hal ini disebabkan pencampuran benda uji tidak dapat dilakukan sekaligus mengingat kapasitas alat molen yang tersedia hanya terbatas. Untuk menjaga agar kekuatan sampel yang dihasilkan tidak terlalu jauh perbedaannya, maka dalam penelitian ini ditetapkan nilai slump antara 7,5 - 15 cm (untuk balok beton).

Kuat lentur hasil pengujian menunjukkan kekuatan yang lebih besar dibandingkan kuat lentur rencana. Ini terjadi karena digunakannya faktor reduksi pada saat perhitungan, dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan penyimpangan terhadap kekuatan bahan, sedangkan hasil pengujian balok memberikan nilai kuat lentur yang sesungguhnya yang mampu ditahan oleh balok tersebut.

Data yang didapatkan dari pengujian ditampilkan pada tabel-tabel berikut. Tabel 5.1 dibawah ini adalah hasil pengukuran dan pengujian balok dengan variasi penutup beton, dibakar pada berbagai suhu dengan lama pembakaran selama 3 jam.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Lentur

No	SAM-PEL	SUHU (°C)	BERAT (kg)		VOLUME (CM ³)		BJ (T/m ³)		P MAKS (kg)	M (kNm)
			AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR		
1	25-0	27	111.50	111.50	45272.7	45272.7	2.46	2.46	12300.00	15.0829
	26-0	27	113.30	113.30	47150.5	47150.5	2.40	2.40	12450.00	15.2668
RATA ²			112.40	112.40	46202.1	46202.1	2.43	2.43	8250.00	15.1748
PERUBAHAN (%)			0		0		0			
2	24-4	400	107.00	100.00	43316.0	43586.4	2.47	2.29	10750.00	13.1822
3	25-4	400	110.20	105.50	45159.1	46710.9	2.44	2.26	11800.00	14.4698
4	26-4	400	114.00	108.80	46753.2	46674.8	2.44	2.33	12200.00	14.9603
5	27-4	400	118.50	113.00	48688.0	48139.3	2.43	2.35	12400.00	15.2055
6	24-5	500	107.70	104.50	43621.0	43409.4	2.47	2.41	10700.00	13.1209
7	25-5	500	111.00	107.50	45630.0	45304.4	2.43	2.37	10900.00	13.3661
8	26-5	500	114.50	111.00	47060.0	47093.8	2.43	2.36	11200.00	13.7340
9	27-5	500	118.10	115.00	48330.0	48653.3	2.44	2.36	12000.00	14.7150
10	24-6	600	108.00	105.50	43740.0	44310.4	2.47	2.38	10600.00	12.9983
11	25-6	600	110.50	108.50	45225.2	45212.8	2.44	2.40	10800.00	13.2435
12	26-6	600	115.20	114.00	47201.2	47874.8	2.44	2.38	10900.00	13.3661
13	27-6	600	120.00	118.00	49785.4	49263.8	2.41	2.40	12000.00	14.7150

Hasil pengukuran dan pengujian tekan yang dilakukan pada silinder setelah dibakar pada suhu maksimal 400°C, 500°C dan 600°C selama 3 jam dapat dibaca pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Tekan

No	SAM-PEL	SUHU (°C)	BERAT (kg)		LUAS (cm ²)		P MAKS (kg)	Per (kg/cm ²)	Pc (kg/cm ²)
			AWAL	AKHIR	AWAL	AKHIR			
1	A	27	12.594	12.594	176.73	176.73	81549.440	461.4411	
2	B	27	12.709	12.709	177.48	177.48	77471.968	436.5051	
3	C	27	12.539	12.539	176.31	176.31	82568.807	468.3047	
RATA ¹			12.614	12.614	176.84	176.84	80530.072	455.4170	372.6170
PERUBAHAN (%)			0		0				
1	4A	400	12.640	12.200	177.07	178.99	68807.339	384.4245	
2	4B	400	12.750	12.250	177.89	176.15	66258.919	376.1414	
RATA ¹			12.639	12.100	177.48	177.57	67533.129	380.2830	
PERUBAHAN (%)			-4.450		0.051				
1	5A	500	12.640	12.200	178.49	178.56	58103.976	325.4005	
2	5B	500	12.728	12.100	179.55	178.56	62181.448	348.2357	
RATA ¹			12.695	12.225	179.02	178.56	60142.712	336.8181	
PERUBAHAN (%)			-3.845		-0.258				



Lanjutan tabel 5.2

1	6A	600	12.717	12.200	179.08	176.93	51987.768	293.8303	
2	6B	600	12.560	12.000	181.1	178.87	54026.504	302.0446	
RATA ²			12.684	12.150	180.09	177.90	53007.136	297.9375	215.1375
PERUBAHAN (%)			-4.395		-1.231				

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

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Tarik Baja Sebelum Pembebanan

No.	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Luas rata ² (cm ²)	Batas Luluh (kg)	Maks (kg)	Patah (kg)	Tegangan tarik (kg/cm ²)
1	1.150	1.039	1.0327	2800	3700	2850	2711.3392
	1.145	1.030					
	1.145	1.030					
2	1.135	1.012	1.0177	2650	3640	2800	2603.9108
	1.140	1.021					
	1.140	1.021					
3	1.140	1.021	1.0207	2620	3600	2850	2566.8659
	1.140	1.021					
	1.140	1.021					
Rata-rata			1.0237	2690.0	3646.67	2833.33	2627.3720

Sedangkan besarnya kuat tarik baja paska pembakaran dan pembebanan dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Tarik Baja Setelah Pembakaran Dan Pembebanan

No	Sampel	Luas tampang (cm ²)	Batas Luluh (kg)	Maks (kg)	Patah (kg)	Tegangan tarik (kg/cm ²)
1	25-0	0.9969	2600	3700	3350	2607.9896
		0.9734	2470	3600	2700	2537.3941
2	26-0	1.0058	2600	3700	3400	2584.9271
		0.9702	2590	3680	3000	2669.4894
RATA-RATA			2518	3613	2958	2599.9501
3	24-4	0.9940	2350	3500	2600	2364.2317
		0.9764	2250	3490	2560	2304.4130
RATA-RATA			2300	3495	2580	2334.3224

Lanjutan tabel 5.4

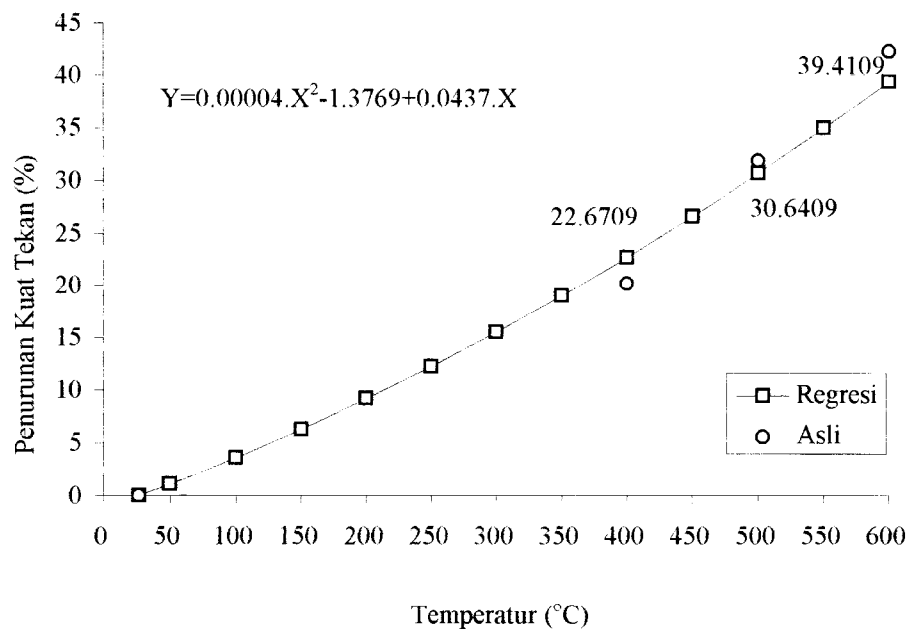
4	25-4	1.0237	2470	3650	2750	2412.9114
		0.9940	2390	3560	2650	2404.4740
RATA-RATA			2430	3605	2700	2408.6927
5	26-4	0.9762	2400	3530	2700	2458.5638
		0.9298	2340	3490	2750	2516.5397
RATA-RATA			2370	3510	2725	2487.5517
6	27-4	0.9503	2360	3360	2800	2483.4456
		0.9474	2570	3600	2800	2712.5448
RATA-RATA			2465	3480	2800	2597.9952
7	24-5	1.0118	2200	3500	2650	2174.4082
		1.0237	2540	3630	3300	2481.2935
RATA-RATA			2370	3565	2975	2327.8508
8	25-5	0.9966	2440	3580	2700	2448.2399
		0.9940	2330	3440	2750	2344.0492
RATA-RATA			2385	3510	2725	2396.1445
9	26-5	0.9053	2240	3500	2700	2474.2179
		0.9967	2410	3540	2700	2417.8792
RATA-RATA			2325	3520	2700	2446.0485
10	27-5	1.0058	2440	3580	3450	2425.9177
		0.9911	2650	3680	3200	2673.9072
RATA-RATA			2545	3630	3325	2549.9125
11	24-6	0.9852	2340	3480	2650	2375.2702
		1.0568	2390	3530	2640	2261.5570
RATA-RATA			2365	3505	2645	2318.4136
12	25-6	0.9939	2340	3510	2600	2354.2963
		1.0029	2420	3600	2700	2413.0627
RATA-RATA			2380	3535	2650	2383.6795
13	26-6	0.9822	2500	3500	2600	2545.2626
		0.9881	2280	3500	2700	2307.5033
RATA-RATA			2390	3500	2650	2426.3830
14	27-6	0.9763	2600	3560	2750	2663.0194
		0.9764	2350	3400	2600	2406.7671
RATA-RATA			2475	3480	2675	2334.8933

5.1 Pembahasan

5.2.1 Kuat tekan beton

Kuat tekan beton rencana untuk benda uji pada penelitian ini adalah 30 MPa. Dari hasil pengujian tekan untuk beton yang tidak dibakar didapat tegangan tekan silinder beton sebesar 37, 2617 MPa. Kuat tekan hasil pengujian ini nantinya akan dipakai sebagai pembandingan terhadap kuat tekan beton setelah dibakar.

Hasil pengujian tekan beton setelah dibakar memperlihatkan nilai kuat tekan yang semakin turun bersamaan dengan bertambahnya suhu pembakaran, penurunan yang terjadi terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Penurunan Kuat Tekan Terhadap Temperatur

Dari grafik 5.1 dapat dilihat penurunan kuat tekan yang tajam pada temperatur 400°C selama 3 jam, yaitu sebesar 22,6709 % dan semakin meningkat pada temperatur

500°C dan 600°C, yaitu 30,6409 % dan 39,4109 % dari kuat tekan beton pada temperatur ruang.

Grafik 5.1 merupakan prosentase penurunan kuat tekan hasil pengujian yang diambil dari pengujian setelah dilakukan analisa regresi. Hasil pengamatan visual terhadap beton yang diuji desak setelah dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C, keadaan beton hancur dengan jumlah agregat yang pecah lebih besar dari pada agregat yang terlepas. Agregat yang mengalami lepas adalah agregat yang terletak dekat dengan permukaan sedangkan agregat yang mengalami pecah letaknya dibagian 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 tekan disebabkan oleh hilangnya lekatan antara pasta semen dengan agregat.

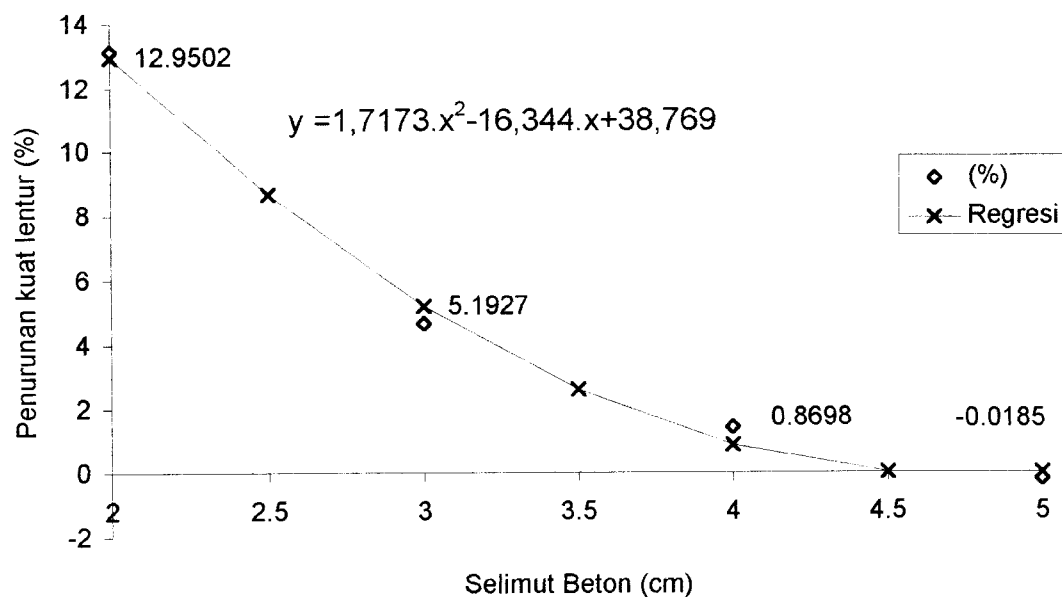
Perbedaan kondisi ini karena diantara temperatur 400°C sampai 600°C, kalsium hidroksida mengalami dihidrasi dan berubah menjadi kalsium oksida yang kekuatannya menjadi rendah sama sekali atau bahkan tidak mempunyai kekuatan sama sekali, yang akhirnya menyebabkan kekuatan pasta semen berkurang dengan cepat sepanjang interval temperatur tersebut.

5.1.1 Kuat lentur balok

Dari perhitungan perencanaan benda uji didapatkan kuat lentur rencana (M_r) sebesar 9,5462 kNm. Perhitungan ini didasarkan pada hasil uji tarik baja tulangan sebesar 2627,372 kg/cm² dan hasil uji kuat desak beton sebesar 37,2617 MPa. Pengujian lentur terhadap benda uji yang tidak dibakar memberikan hasil kuat lentur

aktual sebesar 15,1748 kNm. Pada pengujian lentur terhadap benda uji yang telah dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C dengan variasi tebal selimut beton 2, 3, 4 dan 5 cm, serta dibakar selama 3 jam, memberikan hasil kuat lentur yang bervariasi bergantung kepada temperatur dan tebal selimut betonnya.

Hasil pengujian kuat lentur merupakan hasil analisa regresi dari data pengujian lentur, besarnya penurunan kuat lentur setelah pembakaran pada setiap temperatur dapat dilihat pada grafik berikut ini.

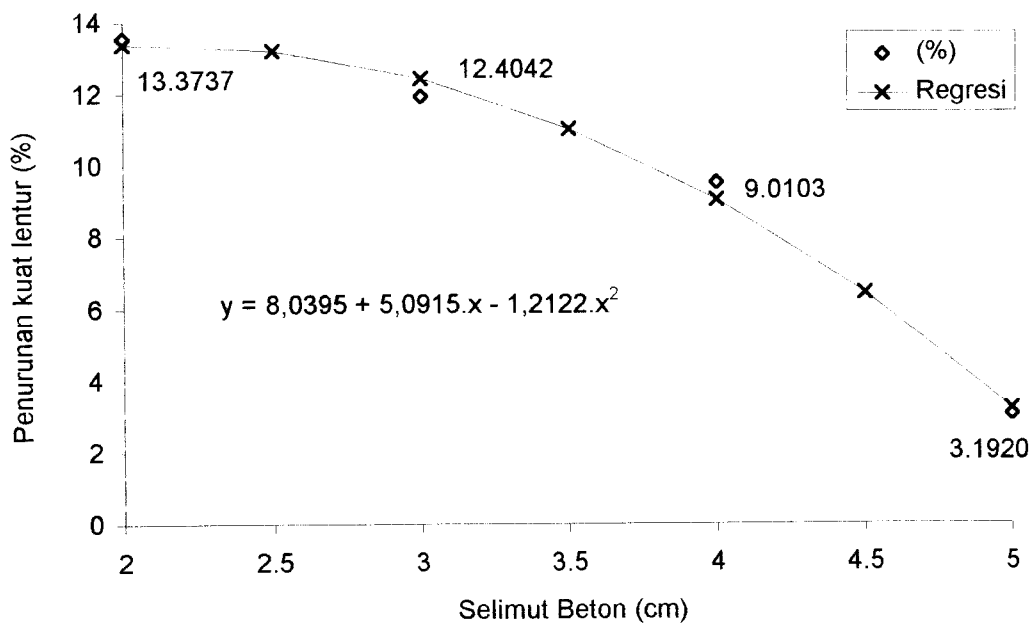


Gambar 5.2 Grafik Penurunan Kuat Lentur terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C

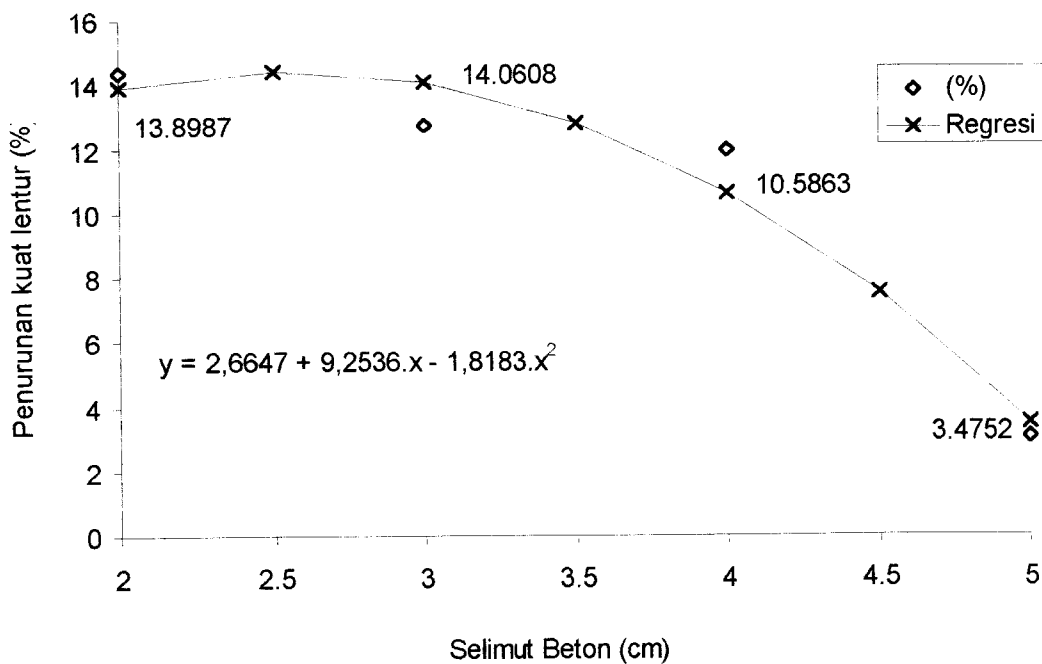
Gambar 5.2 adalah grafik penurunan kuat lentur benda uji yang dibakar pada temperatur 400°C, pada temperatur ini kuat lentur yang terjadi pada balok dengan penutup beton 2, 3, 4 dan 5 cm berturut turut adalah 13,1822 kNm, 14,4698 kNm, 14,9603 kNm dan 15,2055 kNm. Dari grafik tersebut bisa dilihat adanya penurunan kuat lentur yang bervariasi diantara selimut beton yang berbeda. Pada tebal selimut 2

cm, terlihat penurunan yang cukup besar yaitu 12,9502 %. bertambahnya tebal selimut beton meningkatkan kekuatan lentur, ini terlihat pada selimut beton 3 cm penurunan yang terjadi hanya sebesar 5,1927 % dan pada tebal selimut beton 4 cm penurunan yang terjadi sebesar 0,8698 %, sedangkan tebal selimut beton 5 cm memperlihatkan tanda minus, hal ini dapat diartikan bahwa kekuatan lentur yang terjadi lebih besar dibandingkan kuat lentur pada suhu ruangan, walaupun peningkatan kekuatan yang terjadi hanya kecil saja yaitu 0,0185 %, kemungkinan hal ini terjadi karena kekuatan beton pada balok ini, meskipun telah terbakar masih lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan balok pada temperatur ruangan, dan penutup beton yang tebal cukup baik melindungi baja dari kebakaran.

Gambar 5.3 dan 5.4 memberikan gambaran yang jelas pengaruh selimut beton dan kenaikan temperatur terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang. Dari kedua gambar tersebut terlihat penurunan kuat lentur balok dengan selimut beton 2 cm pada temperatur 500°C dan 600°C, hampir sama dengan kuat lentur balok yang dibakar pada temperatur 400°C dengan selimut beton 2 cm.



Gambar 5.3 Grafik Penurunan Kuat Lentur Terhadap Selimit Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C

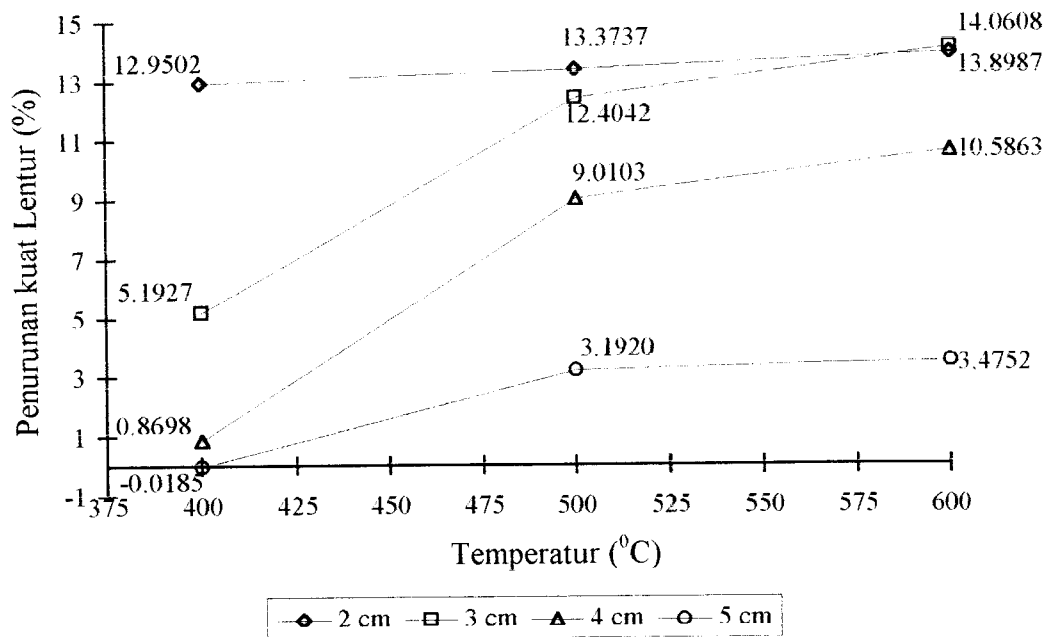


Gambar 5.4 Grafik Penurunan Kuat Lentur Terhadap Selimit Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C

Pada saat tebal selimut beton 3 cm sampai 5 cm, tampak jelas pengaruh kenaikan temperatur dan tebal selimut beton terhadap kekuatan lentur. Dengan tebal selimut beton 3 cm dan temperatur 500°C kekuatan lentur yang terjadi turun sebesar 12,4042 % dibanding dengan kekuatan lentur balok pada temperatur ruangan. Sedangkan pada temperatur 600°C dengan tebal selimut yang sama, kekuatan lenturnya turun sebesar 14,0608 % atau selisih penurunannya 1,6566 % lebih besar dibanding kekuatan lentur balok yang dibakar pada temperatur 500°C.

Semakin tebal selimut beton yang digunakan, semakin kecil penurunan kuat lentur yang terjadi pada balok beton bertulang, hal ini menunjukkan bahwa selimut beton memberikan perlindungan pada baja terhadap panas saat terjadi kebakaran.

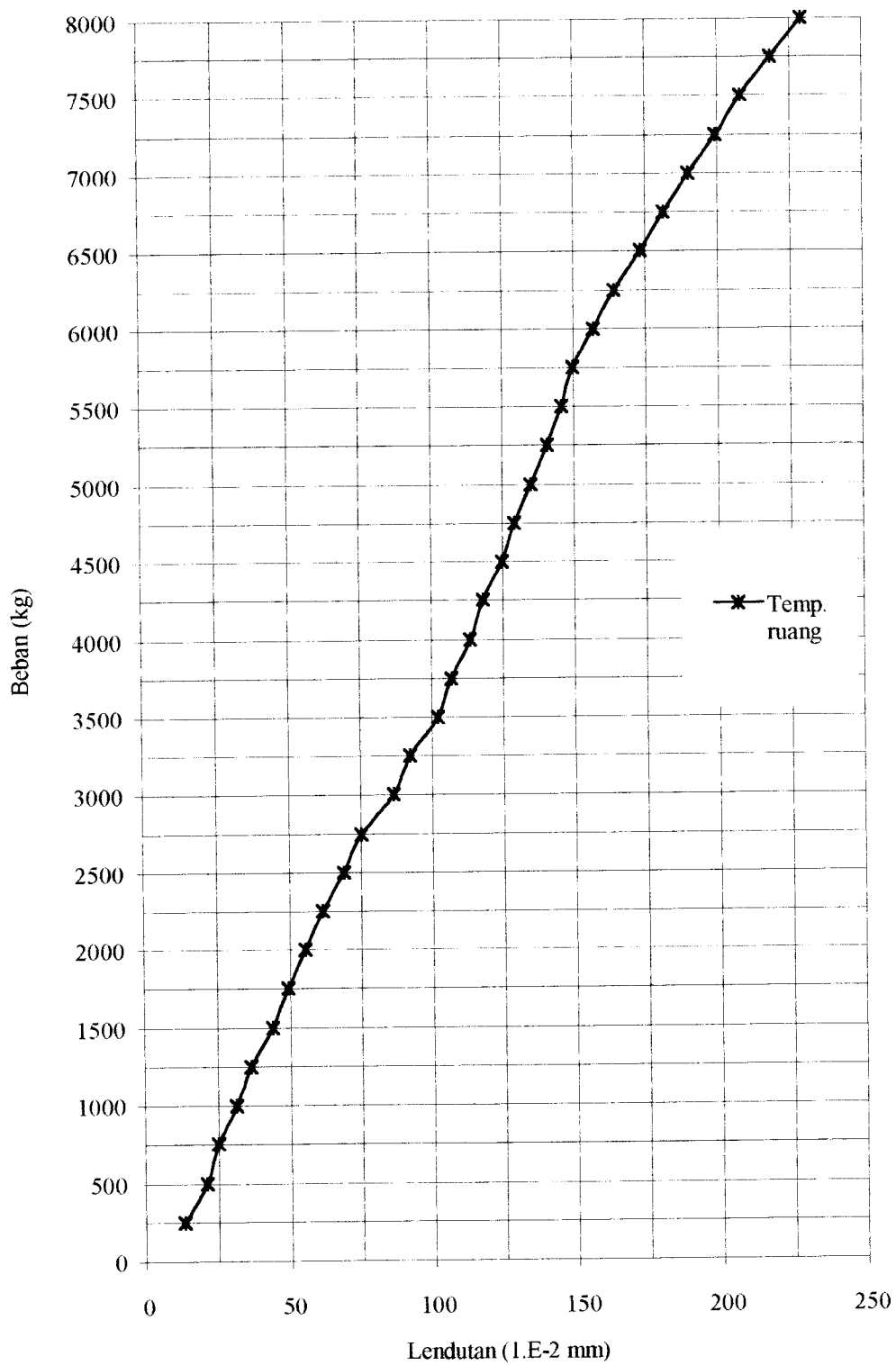
Semakin besar kenaikan temperatur maka semakin besar penurunan kekuatan lenturnya. Pengaruh temperatur pada penurunan kekuatan lentur terlihat jelas pada balok dengan selimut beton kurang dari 5 cm. sedangkan pada balok dengan selimut beton 5 cm pengaruh kenaikan temperatur terhadap penurunan kekuatan lentur amat kecil (lihat gambar 5.5).



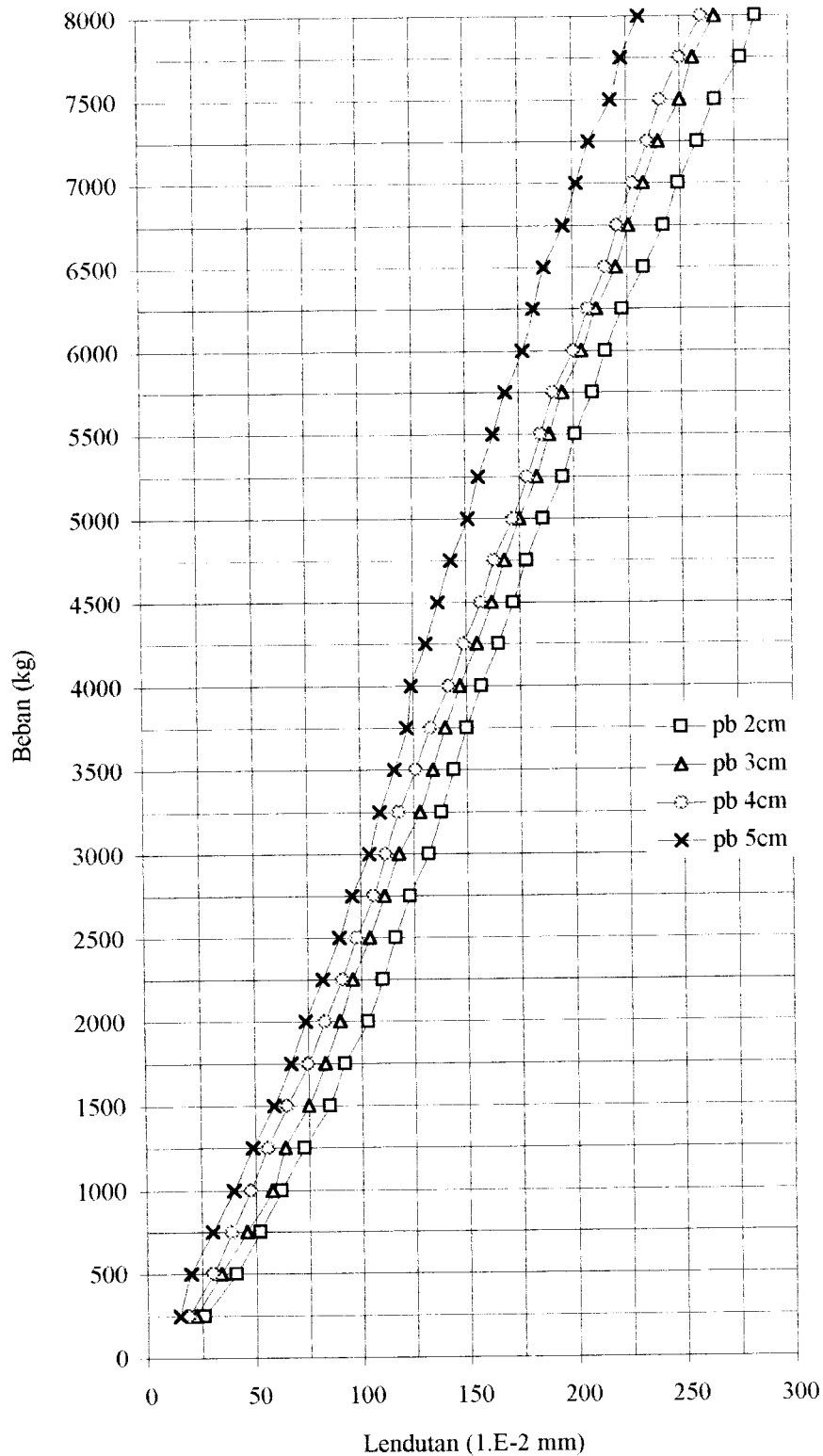
Gambar 5.5 Grafik Penurunan Kuat Lentur terhadap Temperatur pada Balok

5.1.2 Lendutan pada balok

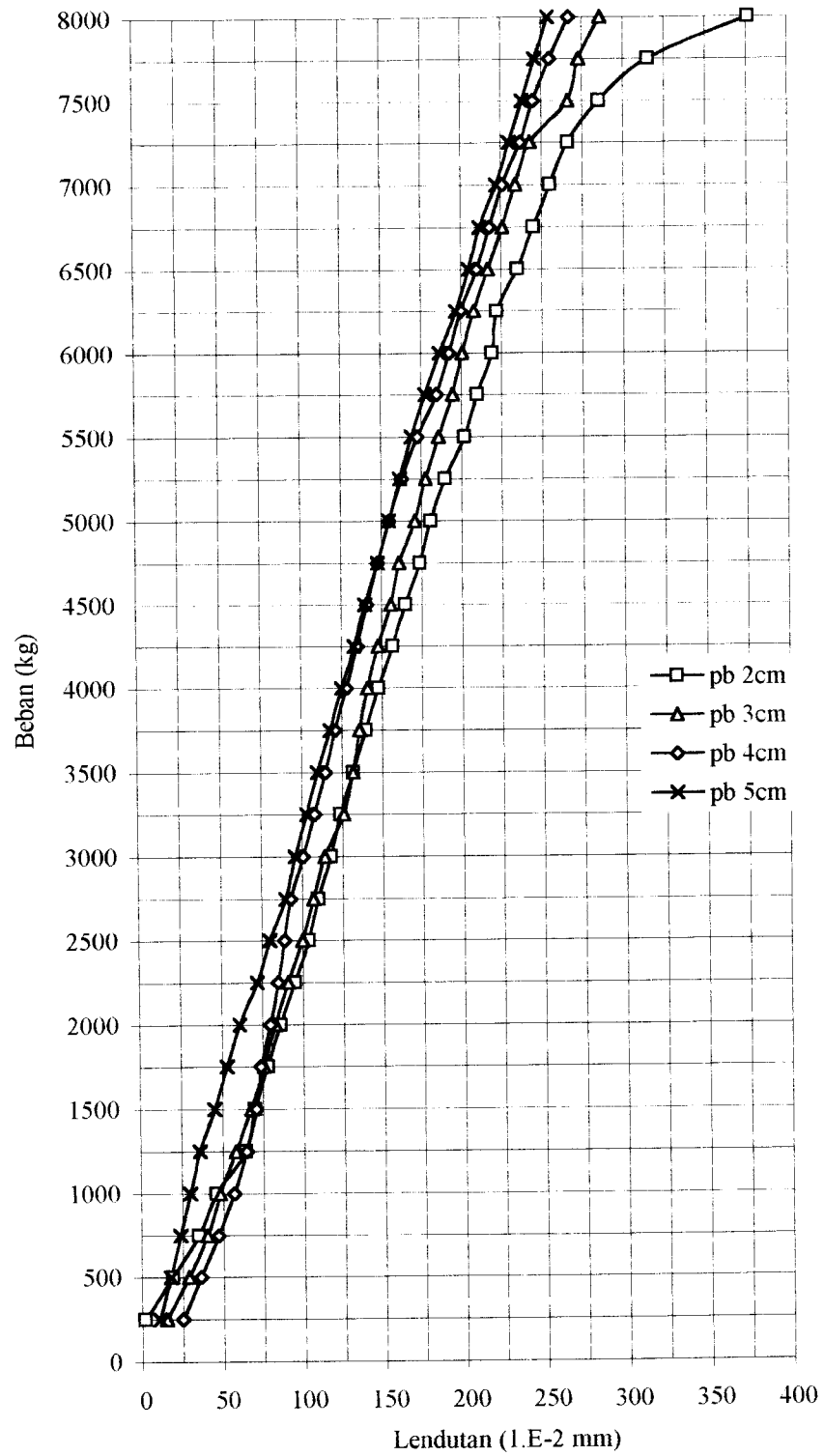
Besarnya lendutan yang terjadi pada suatu balok beton bertulang dipengaruhi oleh kekuatan beton pada daerah tekan dan kekuatan tulangan baja pada daerah tariknya. Pada balok yang mengalami kenaikan temperatur saat terjadi kebakaran, tingkat temperatur dan ketebalan selimut beton ikut mempengaruhi besarnya lendutan yang terjadi. Peningkatan temperatur yang terjadi menyebabkan kuat tekan beton menurun, dan ketebalan selimut beton memberikan perlindungan pada baja terhadap pengaruh panas, besarnya lendutan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.6 sampai dengan 5.9 berikut ini



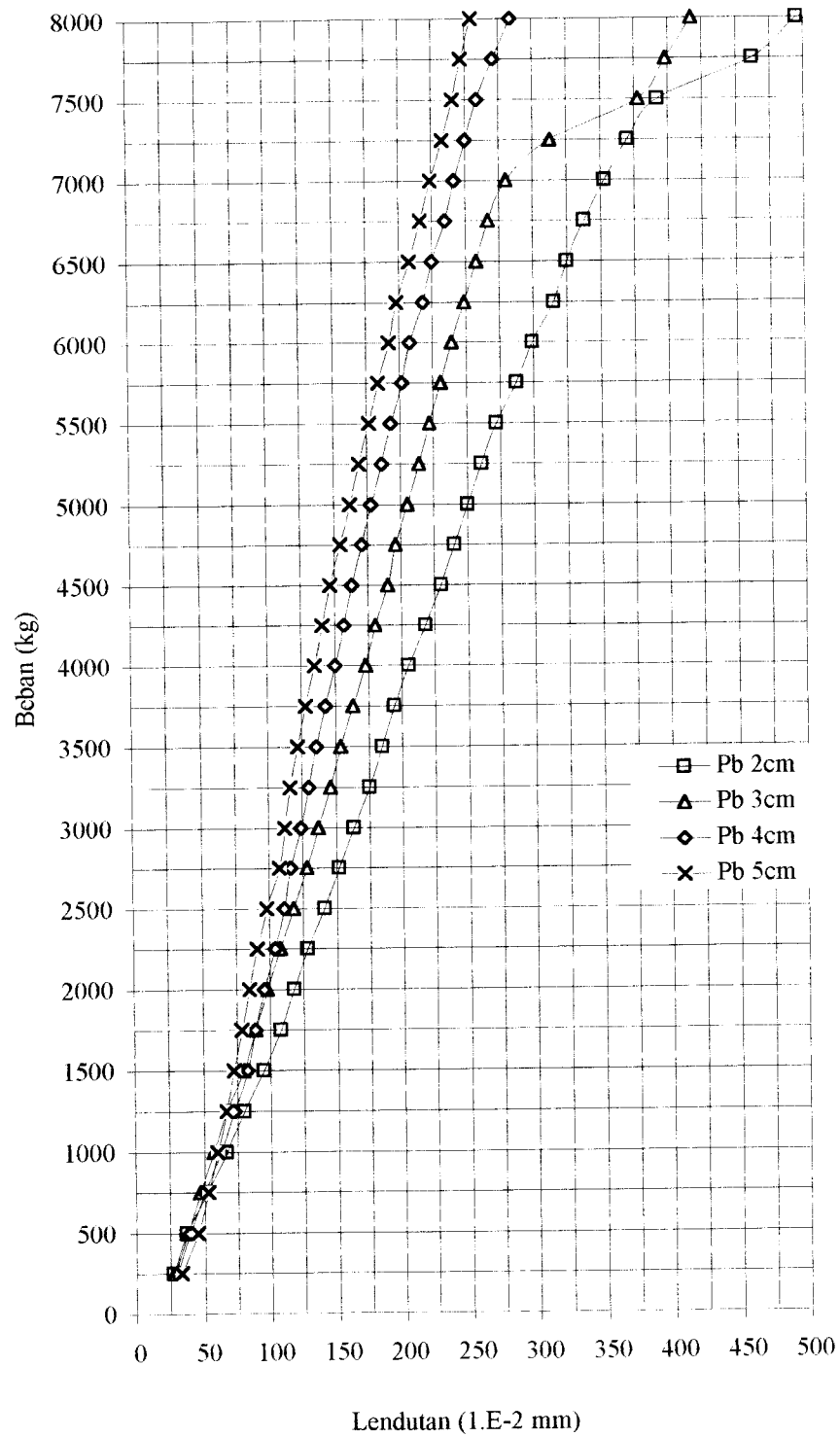
Gambar 5.6 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur Ruang



Gambar 5.7 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 400°C



Gambar 5.8 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 500°C

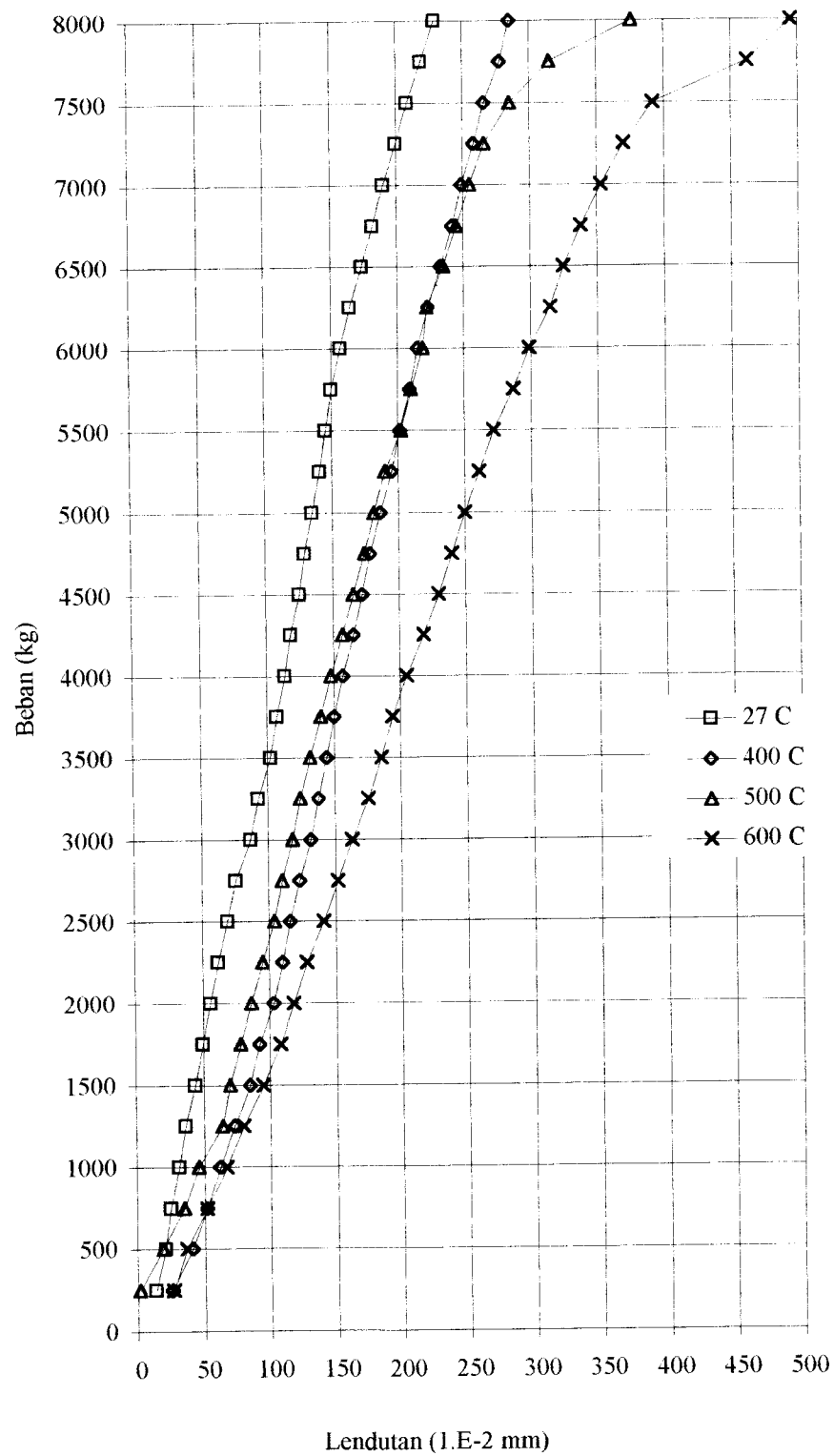


Gambar 5.9 Grafik Lendutan Balok pada Temperatur 600°C

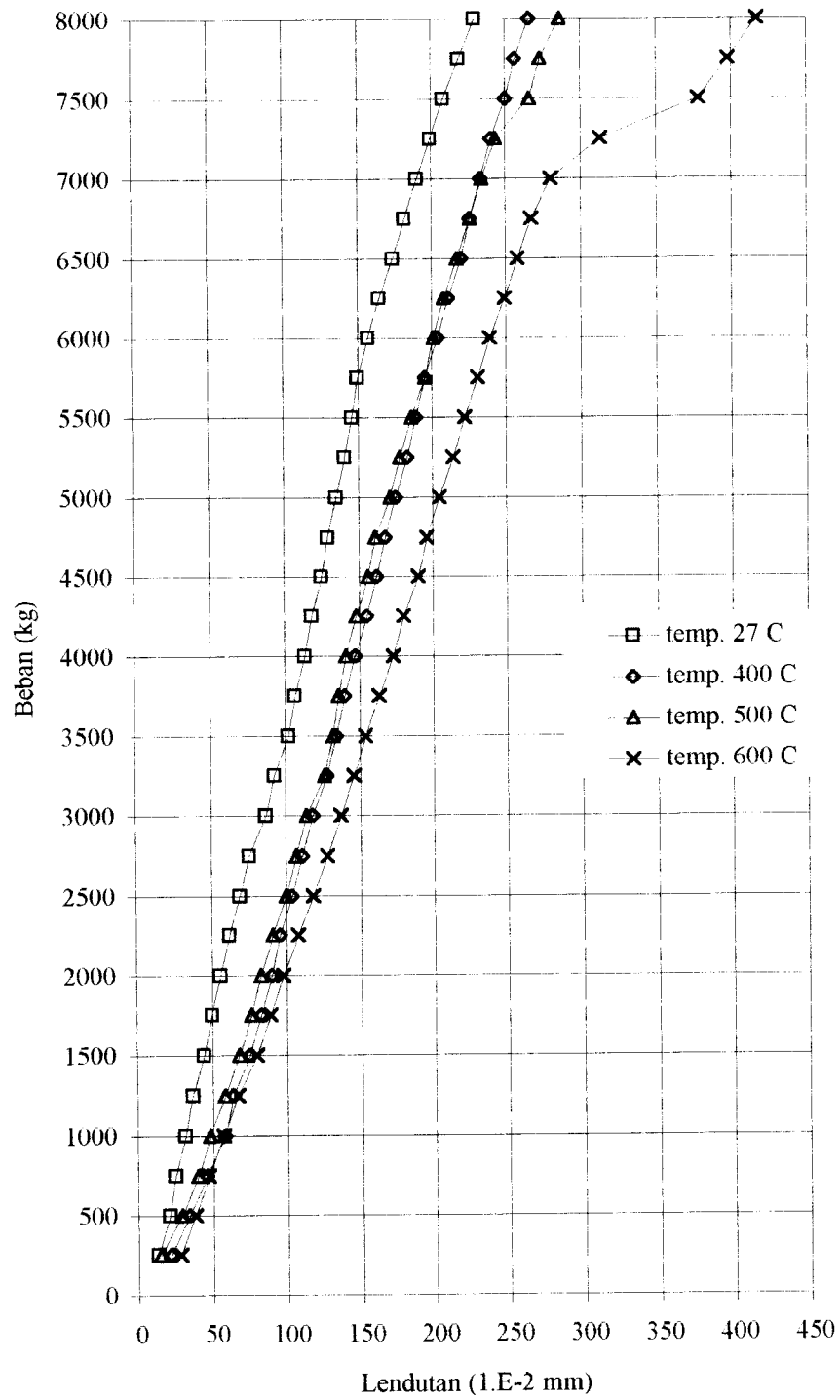
Dari gambar 5.6 untuk balok yang tidak dibakar, besarnya lendutan hampir sama untuk setiap benda uji, karena kekuatan lentur balok yang juga hampir sama. gambar 5.7 sampai 5.9 terlihat garis lendutan untuk benda uji yang dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C dengan tebal selimut beton 2 cm terletak paling atas, kemudian tebal 3 cm dan tebal 4 cm, kemudian paling bawah adalah benda uji dengan tebal 5 cm. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan bahwa dengan bertambahnya tebal selimut beton, maka lendutan yang terjadi semakin besar.

Pada gambar 5.10 sampai 5.13 berikut ini memperlihatkan bahwasanya lendutan juga dipengaruhi oleh peningkatan temperatur. Peningkatan temperatur mengakibatkan menurunnya kekuatan lentur dan memperbesar lendutan yang terjadi.

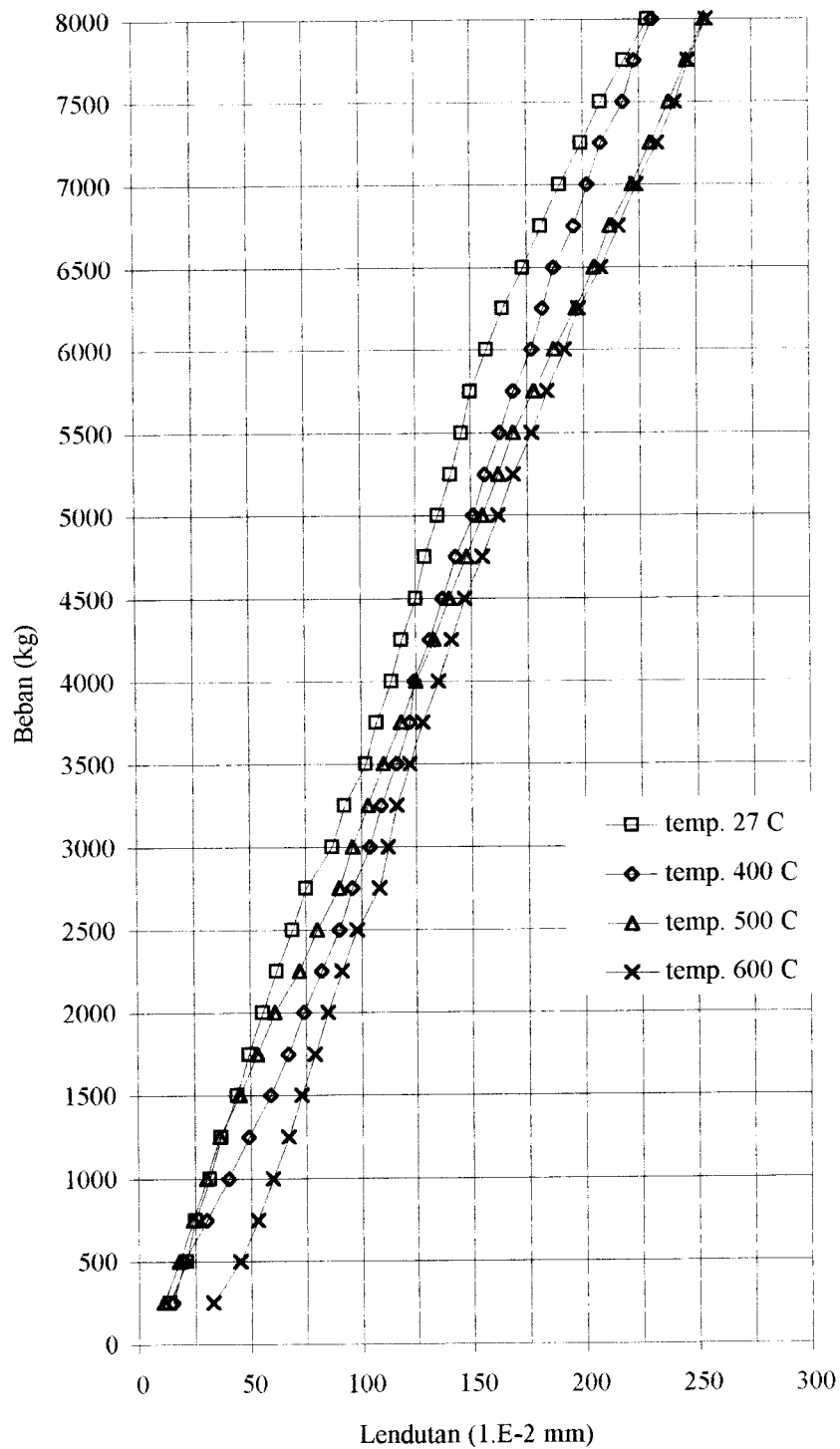
Dengan mengetahui besarnya lendutan dan penurunan kuat lentur yang terjadi maka dapat diambil suatu keputusan yang tepat terhadap bangunan dengan struktur balok beton bertulang yang mengalami kebakaran.



Gambar 5.10 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 2 cm



Gambar 5.11 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 3 cm

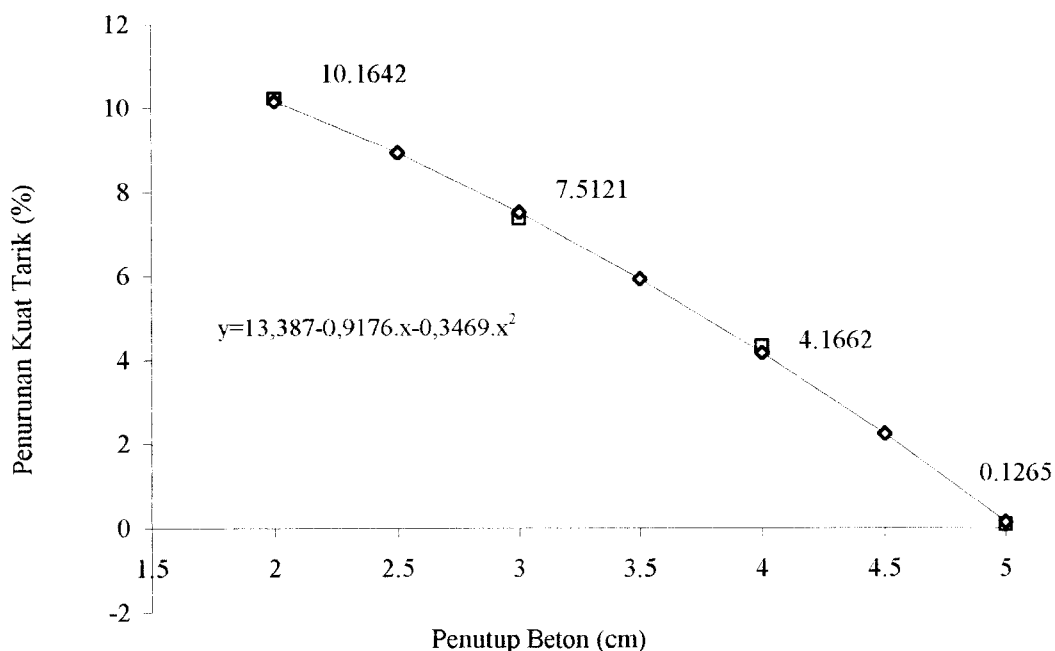


Gambar 5.13 Grafik Lendutan Balok terhadap Temperatur pada Selimut Beton 5 cm

5.1.3 Kuat tarik baja

Kuat tarik baja yang didapat pada pengujian awal dalam penelitian ini sebesar 2627,372 kg/cm². Setelah uji lentur balok dilakukan, baja tarik yang telah terkena beban lentur pada balok mempunyai kuat tarik rata-rata sebesar 2550,5694 kg/cm².

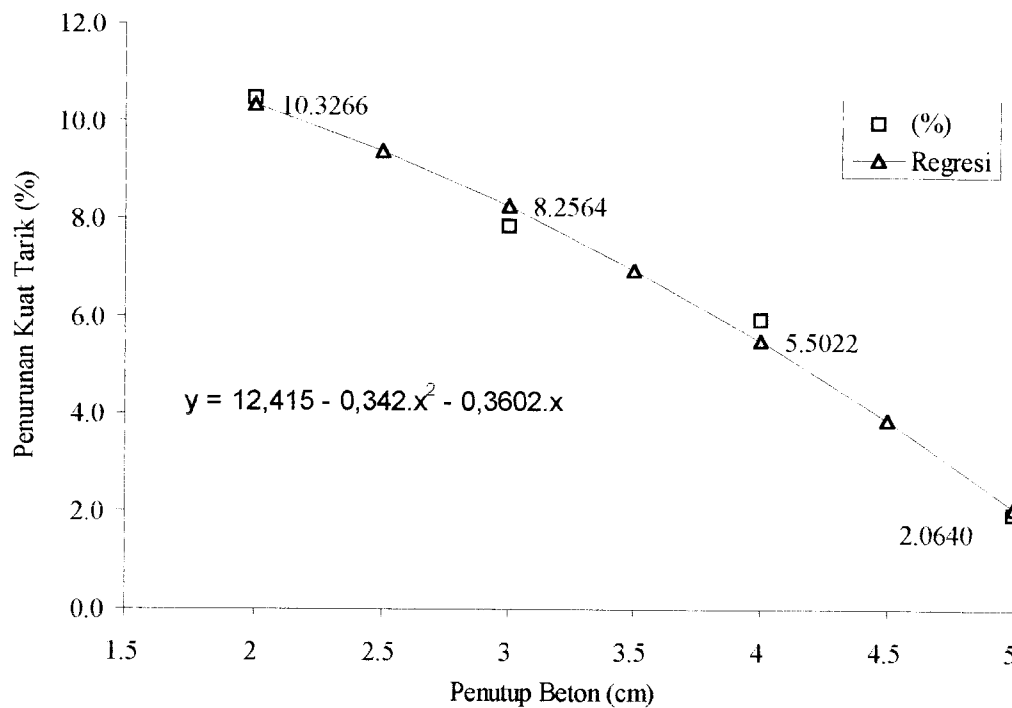
Sedangkan penurunan kuat tarik yang terjadi pada baja dengan variasi selimut beton dan pada beberapa temperatur diperlihatkan pada gambar 5.14, 5.15 dan 5.16, hasil penurunan yang terjadi telah diregresi.



Gambar 5.14 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C

Penurunan kuat tarik baja terjadi karena sifat baja yang tidak kuat terhadap panas saat terjadi kebakaran, tebal selimut beton tertentu memberikan perlindungan yang baik terhadap panas dan memperkecil penurunan kekuatan tarik bajanya. Gambar 5.14 memperlihatkan nilai penurunan yang besar pada tebal selimut 2 cm dan semakin

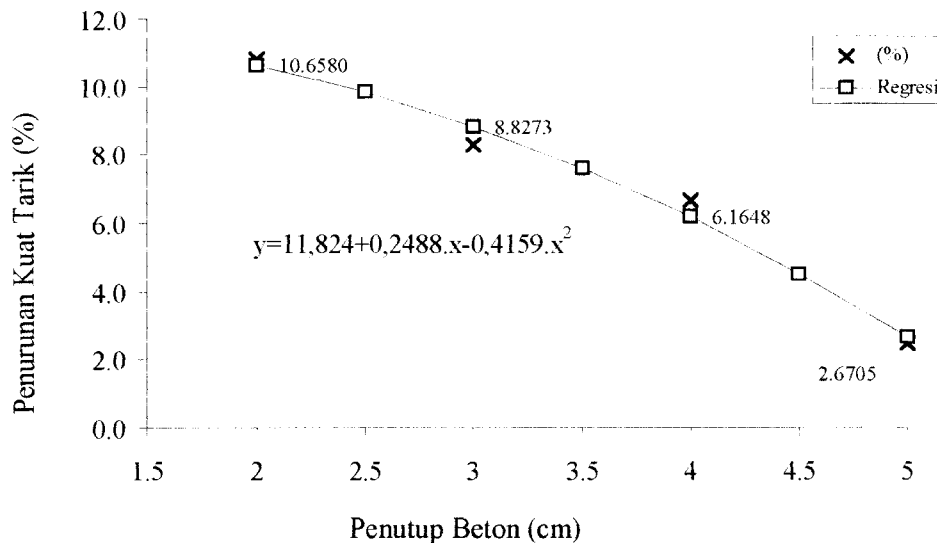
kecil penurunannya untuk setiap penambahan tebal selimut beton. Pada tebal selimut beton 5 cm yang dibakar pada temperatur 400°C penurunan yang terjadi relatif kecil yaitu 0,1265 %, ini menunjukkan bahwa selimut beton dengan tebal 5 cm cukup baik melindungi baja dari panas akibat kenaikan temperatur pada saat terjadi kebakaran.



Gambar 5.15 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 500° C

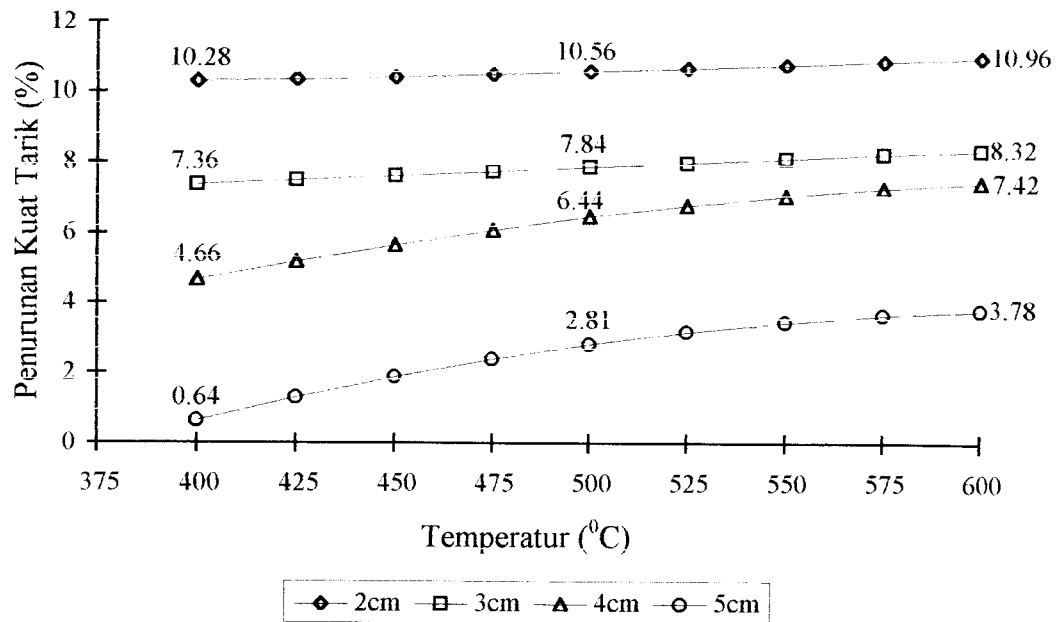
Gaambar 5.15 menunjukkan penurunan kuat tarik baja yang masih besar pada tebal selimut beton 2, 3, 4 cm yaitu 10,3266 %, 8,2504 %, 5,5022 %, dan penurunan terkecil terjadi pada tebal selimut penutup beton 5 cm yaitu sebesar 2,0640 % dari kuat tarik baja yang tidak dibakar. Pada temperatur ini, kuat tarik baja masih lebih rendah kekuatannya dibandingkan kekuatan baja yang diambil dari balok yang dibakar pada temperatur 400°C (lihat gambar 5.14). Hal ini sesuai dengan yang diharapkan

bahwa kecuali akibat tebal selimut, peningkatan temperatur juga mempengaruhi kekuatan tarik baja pada beton bertulang.



Gambar 5.16 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Selimut Beton Setelah Pembakaran pada Temperatur 600° C

Penurunan kuat tarik baja pada saat temperatur mencapai 600°C seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.16, menunjukkan penurunan kekuatan baja pada semua tebal selimut beton terhadap kekuatan baja pada temperatur yang lebih rendah ataupun kekuatan baja pada balok yang tidak dibakar. Gambar 5.17 berikut ini memperlihatkan adanya pengaruh tingkat temperatur pada penurunan kekuatan tarik baja yang dilindungi oleh penutup beton. Penurunan kekuatan yang terjadi tidak terlalu besar, hal ini disebabkan karena kekuatannya yang berangsur kembali sejalan dengan pendinginan, meskipun tidak kembali 100 %. Penurunan ini mungkin akan lebih besar jika baja diuji ketika masih panas.



Gambar 5.17 Grafik Penurunan Kuat Tarik Baja Terhadap Temperatur

5.1.4 Pola retak benda uji

Retak-retak permukaan terjadi pada semua beton yang telah dibakar. Keretakan pada beton yang dibakar pada temperatur 400° C selama 3 jam terlihat menyerupai retak-retak rambut dan terjadi hampir diseluruh permukaan yang terkena panas langsung. Retak-retak ini semakin bertambah banyak dan bertambah lebar seiring dengan peningkatan temperatur. Retak-retak dapat terjadi akibat pasta semen yang menyusut pada peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat mengembang karena meneruskan muai panas.

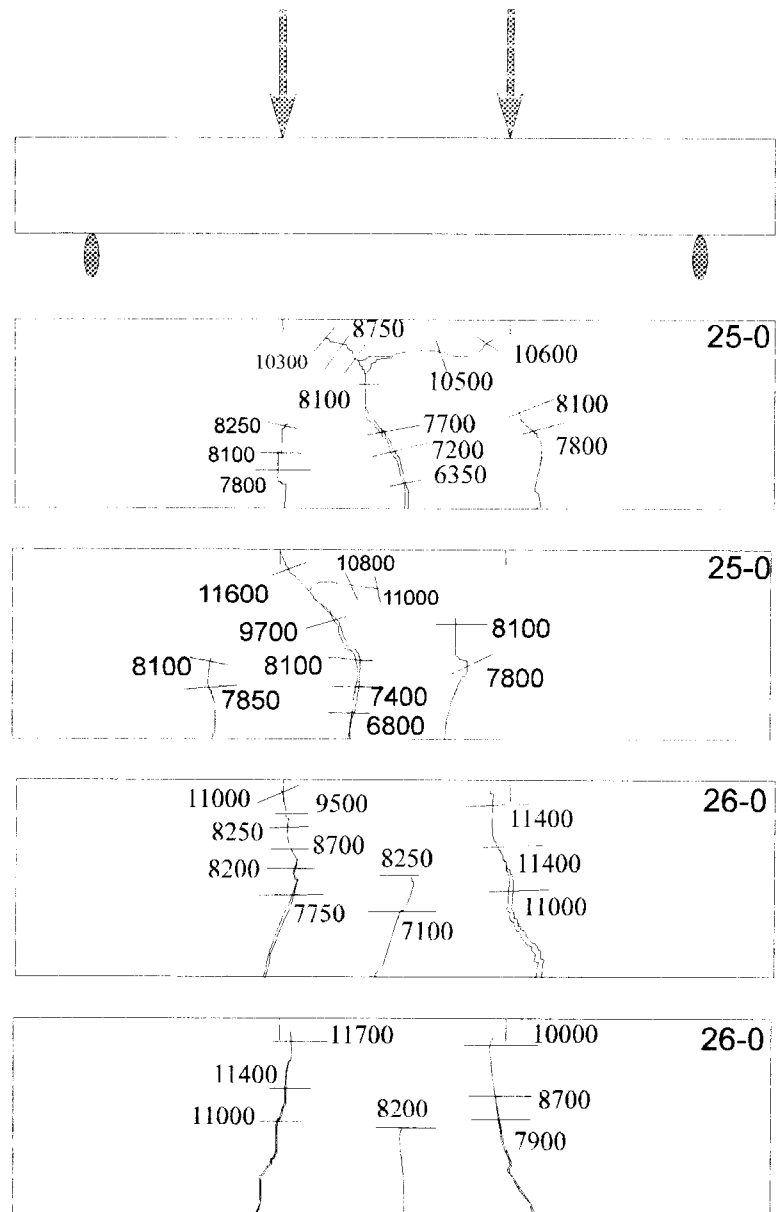
Selain retak karena kenaikan temperatur, juga diperhatikan pola dan letak retak dari hasil pengujian lentur. Letak retak dan patah untuk benda uji pada penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan, karena semua benda uji tidak ada yang patah pada daerah tumpuan ataupun gagal akibat pembelahan beton pada daerah tumpuan ataupun

gagal akibat pembelahan beton pada daerah tarik, hal ini karena semua benda uji menggunakan tulangan sengkang dengan jarak yang rapat.

Pola retak akibat pembebanan lentur dapat dijelaskan sebagai berikut.

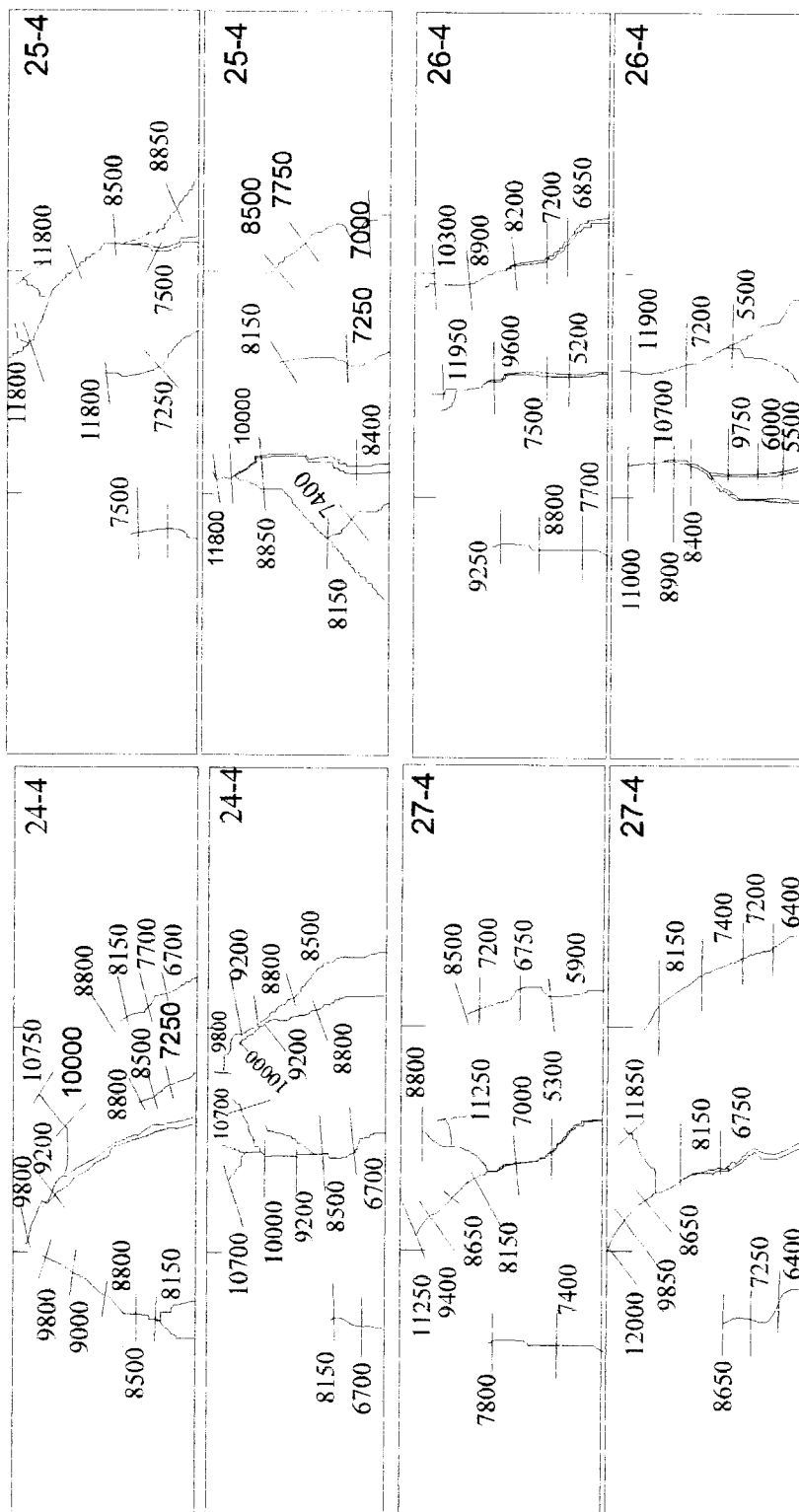
1. Retak dimulai pada sisi bawah atau sisi tarik benda uji balok dan terus berlanjut menuju bagian atas atau bagian tekan secara perlahan seiring dengan peningkatan beban.
2. Pola retak semakin melebar, kemudian berhenti pada saat mencapai beban maksimum. Kegagalan akhir tidak terjadi secara tiba-tiba karena pada penelitian ini balok menggunakan sengkang.

Pola retak dari masing-masing balok seperti terlihat pada gambar 5.18, gambar 5.19, gambar 5.20 dan gambar 5.21 berikut ini. Beban-beban dicatat pada saat terlihat retak pada balok, pola retak pada penelitian ini digambarkan berdasarkan pengamatan langsung tanpa menggunakan alat bantu.

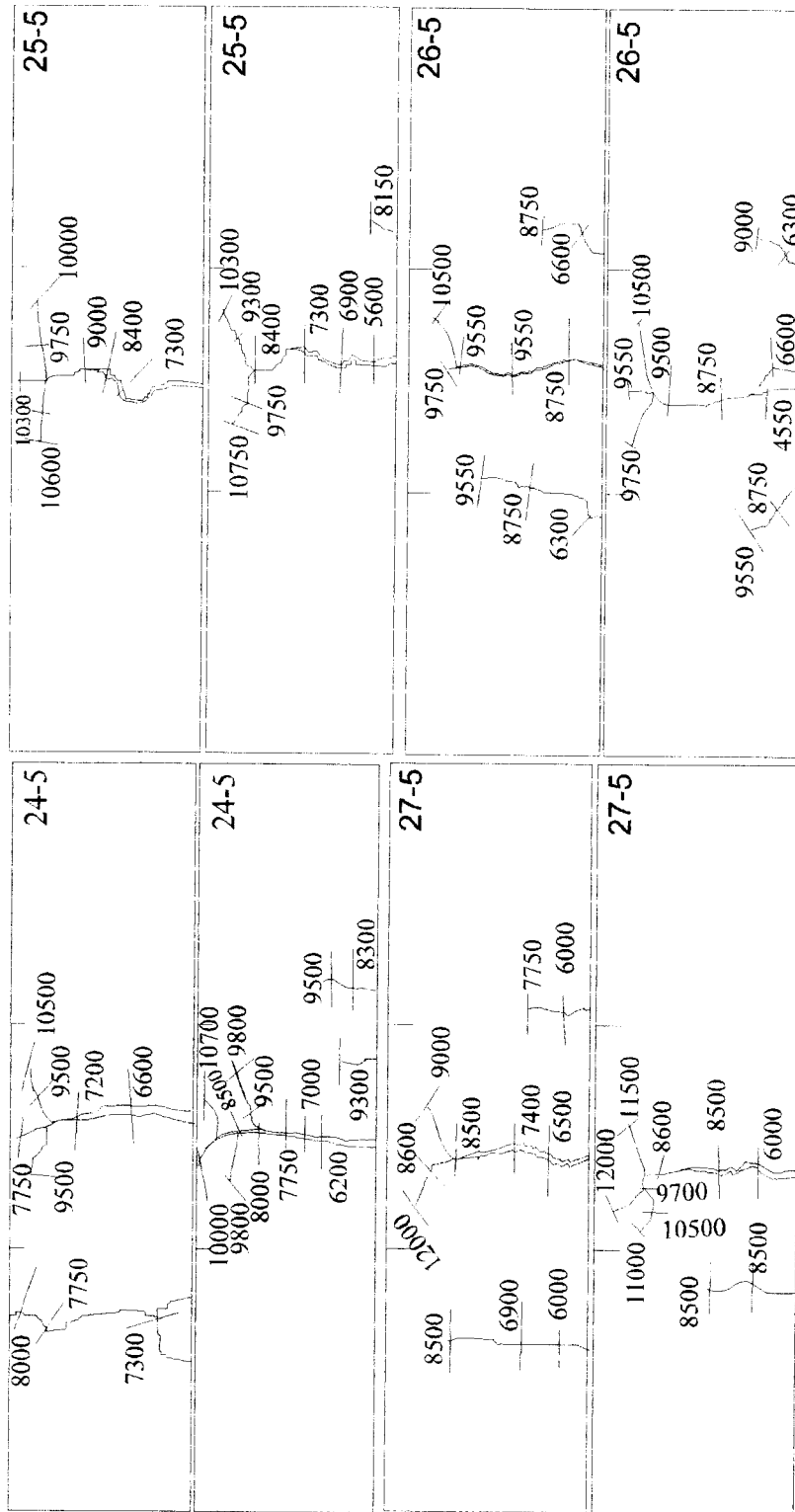


Catatan : Angka-angka diatas adalah batas retak pada pembebanan dan beban dalam satuan kg.

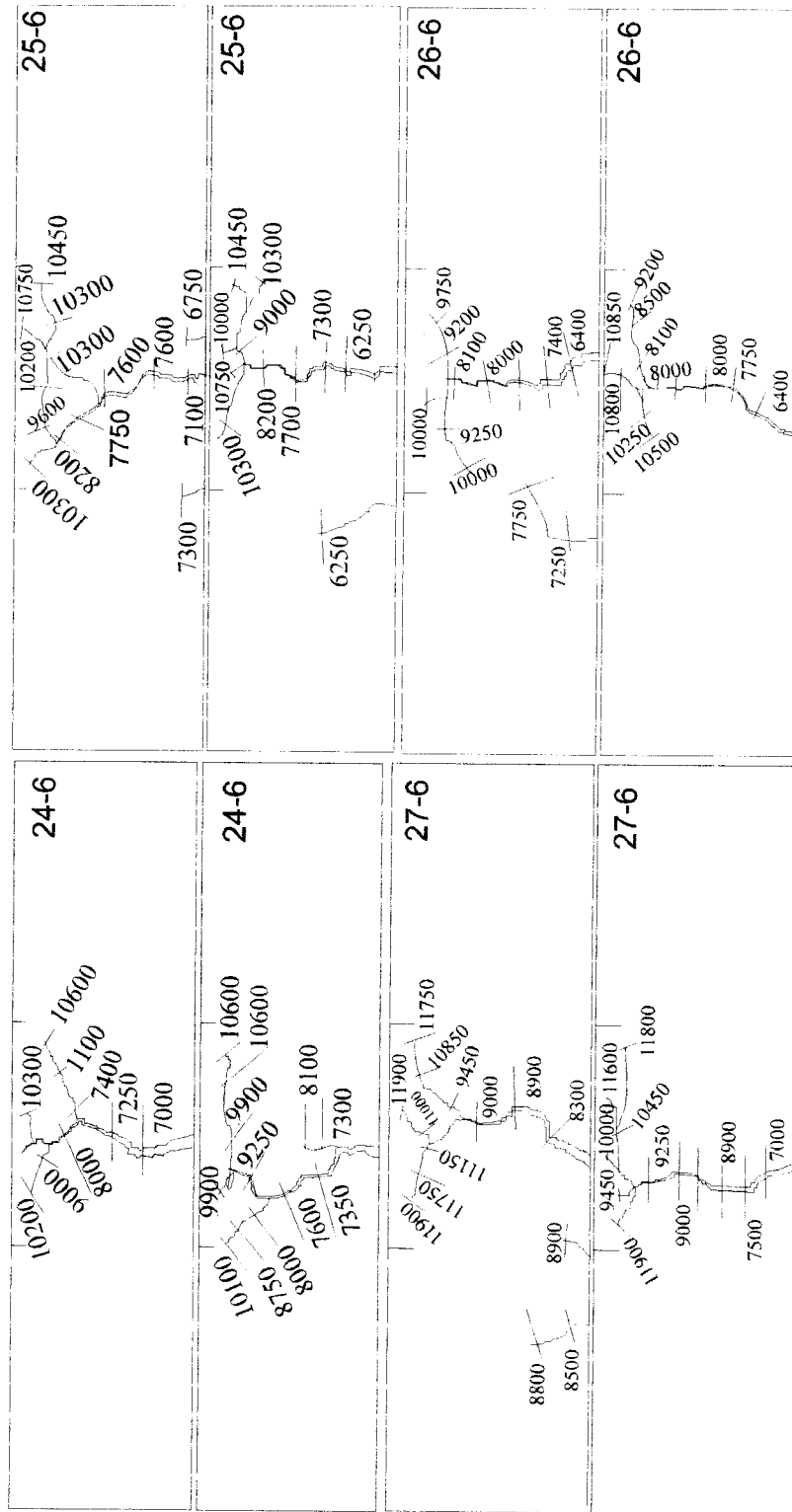
Gambar 5.18 Pola retak balok setelah pembebanan pada temperatur ruangan



Gambar 5.19 Pola retak balok setelah pembebanan untuk pembakaran pada temperatur 400°C



Gambar 5.20 Pola retak balok setelah pembebanan untuk pembakaran pada temperatur 500°C



Gambar 5.21 Pola retak balok setelah pembebanan untuk pembakaran pada temperatur 600°C

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh pembakaran terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan berbagai variasi tebal selimut beton, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Akibat pembakaran, beton akan mengalami penurunan kuat tekan yang bervariasi tergantung pada temperatur.
2. Balok beton bertulang yang dibakar mengalami penurunan kuat lentur yang bervariasi tergantung pada tingkat temperatur dan tebal selimut beton yang menutupi tulangan baja pada bagian tarik. Pada penelitian ini penurunan kuat lentur yang terjadi pada balok dengan tebal selimut 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm dan dibakar pada temperatur 400°C, 500°C dan 600°C selama 3 jam didapat kurang dari 15% dari kuat lentur balok yang tidak dibakar.
3. Penurunan kuat tarik baja tulangan pada balok beton bertulang dengan berbagai variasi selimut beton dan kenaikan temperatur, kurang dari 11% kekuatan tarik baja tulangan pada balok beton bertulang yang tidak dibakar.

6.2 Saran

1. Sebelum penelitian sebaiknya dipelajari hal-hal yang dapat menghambat jalannya penelitian, baik alat maupun bahan yang digunakan sehingga penelitian dapat berlangsung dengan baik.
2. Jika memungkinkan, dalam suatu penelitian sebaiknya pemodelan dibuat semirip dan sedekat mungkin dengan kondisi aslinya.
3. Walaupun dalam perencanaan adukan beton telah ditetapkan nilai slump untuk mendapat mutu yang seragam, namun sebaiknya pembuatan benda uji dilakukan dalam satu kali adukan untuk mendapatkan mutu beton yang lebih seragam.
4. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi mutu beton dan baja serta kenaikan temperatur yang lebih ekstrim.

Daftar Pustaka

_____, 1991, **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK GEDUNG SK SNI T-15-1991-03**, DPU, LPMB, Bandung.

Alexander Purba, Zaki., 1997, **KEBAKARAN PERLU KEWASPADAAN DINI, Konstruksi**, No. 259 (September), hal 59.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 N.I-2**, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Republik Indonesia, Bandung.

Gideon H. Kusuma dan Vis, W. C., **DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON BERTULANG**, Penerbit Erlangga, Jakarta.

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.

Istimawan Dipohusodo., 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Kardiyono Tjokrodinuljo., 1992, **TEKNOLOGI BETON**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.

M. Johansyah dan B Krisno., 1997, **PENGARUH PEMBAKARAN TERHADAP KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG**, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

Nawy, E. G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, PT. Eresco, Bandung.

Winter, G., 1993, **PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Y. B. Mangunwijaya., 1981, **PASAL - PASAL PENGHANTAR FISIKA BANGUNAN**, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta.

LAMPIRAN



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

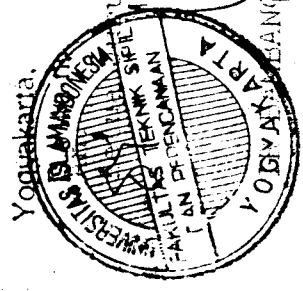
KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	ANAS IRADIDHAQ	89 310 039		STRUKTUR
2.	LOHAINI JAUHARI	89 310 056		STRUKTUR

Dosen Pembimbing I :
 Dosen Pembimbing II :

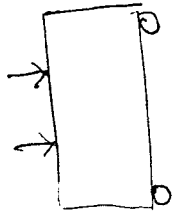
DR. H.M. SAMSULIN, MT
 DR. SUHARYATMO, MT

2



11 NOPEMBER 1997
 Jurusan Teknik Sipil

[Signature]
 YOGYAKARTA, JULIUSTIONO, MASE



Fee dapat diganti *[Signature]*

CATATAN - KONSULTASI

22/1/98

No.	Tanggal	Konsultasi ke:	KETERANGAN	Paraf
1	16/12/97	-	Perbaiki Proposal <i>[Signature]</i>	
2	18/12/97		Proposal Fee <i>[Signature]</i>	
3	20/1/98		- Slicing kegiatan Lab. selalu di lanjutkan gambar nya (photo) <i>[Signature]</i>	
4	16/2/98		- di lanjutkan <i>[Signature]</i>	
	25/5/00		- lanjutkan <i>[Signature]</i>	
	30/5/98		- lanjutkan <i>[Signature]</i>	
	8/6/98		- Konsultasikan sy PI <i>[Signature]</i>	
5	22/6/98		→ Lembar promosi - daftar ke : depart. notes, departan tabel alle → butiran → Pelat nama - uji kipa - → Kertas - Siapkan proposal seminar <i>[Signature]</i> Perbaiki pro posal <i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

Fee und. ujian.

6/8-98

13/7/00 - Fee Seminar TH *[Signature]*
5/8/98 Fee dapat di lanjutkan Fee Reunited ing *[Signature]*

ANALISA BAHAN

1. Pasir

Asal : S. Progo

a. Pengujian Kadar Lumpur

Hasil pengujian kadar lumpur pasir :

Berat pasir kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	100.03 gr
Berat pasir kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	98.850 gr
Kadar Lumpur = $\left(\frac{A-B}{B}\right) \times 100\%$		1.15 %

Hasil pengujian kadar lumpur pada pasir menunjukkan sebesar 1.15 % < 2.5%, jadi pasir bisa dipakai tanpa dicuci terlebih dahulu.

b. Pemeriksaan Berat Jenis Pasir (keadaan SSD)

Hasil pengujian :

		a	b	c
Volume air dalam gelas ukur	(A)	177 ml	164 ml	167 ml
Berat pasir keadaan SSD	(B)	58.84 gr	62.36 gr	75.05 gr
Volume air + pasir	(C)	197 ml	187 ml	196 ml
BJ kondisi SSD = $\left(\frac{B}{C-A}\right)$ (gr/cc)		2.942	2.7113	2.5079
Rata-rata		2.7204 gr/cc		

c. Pemeriksaan Modulus Halus Butiran (MHB)

Hasil pengujian :

Diameter saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)
5.00	0	0	0
2.50	125.567	12.6629	12.6629
1.20	220.530	22.2394	34.9023
0.60	368.780	37.1890	72.0913
0.30	220.990	22.2858	94.3771
0.15	8.670	0.8743	95.2514
lumpur	47.080	4.7486	-
Jumlah berat tertinggal kumulatif (%) =			309.2850

$$\text{MHB pasir} = \frac{309,2850}{100} = 3,0928 \approx 3,0$$

2. Split

Asal : S. Progo

a. Pemeriksaan kadar lumpur

Hasil pengujian kadar lumpur split :

Berat split kering sebelum dicuci (kering oven)	(A)	201.82 gr
Berat split kering setelah dicuci (kering oven)	(B)	200.36 gr
Kadar Lumpur = $\left(\frac{A - B}{B} \right) \times 100 \%$		0.7234 %

Metode ACI (American Concrete Institute)

The American Concrete Institute (ACI) menyarankan suatu cara perencanaan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, kemudahan pengerjaan, keawetan, serta kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa pada ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan menentukan tingkat konsistensi/kekentalan (slump) adukan itu.

Urutan langkah perancangan dengan cara ACI ialah sebagai berikut :

1. menghitung kuat desak rata-rata berdasarkan kuat tekan yang direncanakan.

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

Tabel 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.

$$f'_{cr} = f'_c + 1200 \text{ (psi)}$$

$$= f'_c + 82,8 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$= 300 + 82,8 = 382,8 \text{ kg/cm}^2 = 38,28 \text{ MPa}$$

2. menetapkan fas berdasarkan kuat tekan rata-rata pada umur yang dikehendaki tertera pada tabel 2 ,untuk $f'_{cr} = 38,28$ MPa didapat fas = 0,3982 dan keawetan berdasarkan jenis struktur dan kondisi lingkungan tertera pada tabel 2.3, beton yang terlindung dari hujan dan terik matahari langsung didapat fas = 0,6. Dari keduanya diambil yang paling rendah, jadi fas = 0,3982

Tabel 2 Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan beton silinder beton pada umur 28 hari

Faktor air semen	Perkiraan kuat tekan rata-rata (MPa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,8	14

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992.

Tabel 3 Faktor air semen maksimum

Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap air	0,52
Beton diluar ruang bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,6
Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau dari air tanah	0,52
Beton yang kontinyu berhubungan dengan air :	0,57
a. Air tawar	0,52
b. Air laut	

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992.

4. menetapkan kebutuhan air,

berdasarkan tabel 6, untuk nilai slump 7,5 – 10 cm dan agregat maksimum 40 mm didapat :

$$\blacklozenge \text{ kebutuhan air} = 177 \text{ lt}$$

$$\blacklozenge \text{ udara terperangkap} = 1 \%$$

Tabel 6 Perkiraan kebutuhan air berdasar nilai slump

Slump, mm	Ukuran maksimum agregat, mm		
	10	20	40
25 – 50	206	182	162
75 – 100	226	203	177
150 – 175	240	212	188
Udara terperangkap	3 %	2 %	1 %

Sumber : Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodimulyo, 1992.

5. menghitung kebutuhan semen,

$$\begin{aligned} \text{Berat semen} &= \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat}} \\ &= \frac{177}{0,3982} \\ &= 444,5003 \text{ kg} = 0,4445 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume semen (VS)} &= \frac{\text{Berat semen}}{\text{Berat jenis semen}} \\ &= \frac{0,4445}{3,15} \\ &= 0,1411 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

7. menghitung volume pasir,

a. Volume beton tanpa pasir :

$$\text{Volume air (VA)} = 0,177$$

$$\text{Volume semen (VS)} = 0,1411$$

$$\text{Volume kerikil (VK)} = 0,4226$$

$$\begin{array}{r} \text{(VA+VS+VK)} \\ \hline \end{array} = 0,7407 \text{ m}^3 \quad +$$

$$1 \% \text{ udara (VU)} = 0,010$$

$$\begin{array}{r} \text{(VS+VS+VK+VU)} \\ \hline \end{array} = 0,7507 \text{ m}^3 \quad +$$

$$\text{b. Volume pasir (VP)} = 1 - (\text{VA+VS+VK+VU})$$

$$= 1 - 0,7507$$

$$= 0,2493 \text{ m}^3$$

$$\text{c. Berat pasir} = \text{VP} \times \text{berat jenis pasir}$$

$$= 0,2493 \times 2,7779 \text{ T/ m}^3$$

$$= 0,6925 \text{ T}$$

8. Kebutuhan material dalam 1 m³ beton.

$$\text{Semen} = 444,5003 \text{ Kg}$$

$$\text{Pasir} = 692,5305 \text{ Kg}$$

$$\text{Kerikil} = 1069,1744 \text{ Kg}$$

$$\text{Air} = 177,0 \text{ liter}$$

Perhitungan volume beton benda uji :

1) Silinder ($t = 30 \text{ cm}$, $\varnothing = 15 \text{ cm}$)

$$\text{Volume silinder} = 0,0053 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 9 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah volume} &= 9 \times 0,0053 \\ &= 0,0477 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Balok persegi :

a. Ukuran ($18 \times 24 \times 100 \text{ cm}^3$)

$$\text{Volume balok} = 0,0432 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah volume} &= 3 \times 0,0432 \\ &= 0,1296 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Ukuran ($18 \times 25 \times 100 \text{ cm}^3$)

$$\text{Volume balok} = 0,0450 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah volume} &= 4 \times 0,0450 \\ &= 0,180 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

c. Ukuran ($18 \times 26 \times 100 \text{ cm}^3$)

$$\text{Volume balok} = 0,0468 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 4 \times 0,0468 = 0,1872 \text{ m}^3$$

d. Ukuran (18 x 27 x 100) cm³

$$\text{Volume balok} = 0,0486 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah} = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah volume} = 3 \times 0,0486$$

$$= 0,1458 \text{ m}^3$$

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

$$= 0,0477 + 0,1296 + 0,180 + 0,1872 + 0,1458$$

$$= 0,6903 \text{ m}^3$$

Kebutuhan material untuk benda uji :

$$\blacklozenge \text{ Semen} = 0,6903 \cdot (444,5003 + 10\% \cdot 444,5003) = 337,5224 \text{ kg}$$

$$\blacklozenge \text{ Pasir} = 0,6903 \cdot (692,5305 + 10\% \cdot 692,5305) = 525,8592 \text{ kg}$$

$$\blacklozenge \text{ Split} = 0,6903 \cdot (1069,74 + 10\% \cdot 1069,74) = 812,2857 \text{ kg}$$

$$\blacklozenge \text{ Air} = 0,6903 \cdot (177 + 10\% \cdot 177) = 134,4014 \text{ lt}$$

Tabel Hasil Lendutan Balok pada Temperatur Ruangan

No.	BEBAN(P) (kg)	SAMPEL 25-0	SAMPEL 26-0	Rata-rata
		(d.10 ⁻²) mm	(d.10 ⁻²) mm	(d.10 ⁻²) mm
1	250	15	12	14
2	500	25	17	21
3	750	29	21	25
4	1000	34	29	32
5	1250	40	33	37
6	1500	48	40	44
7	1750	53	46	50
8	2000	59	52	56
9	2250	65	59	62
10	2500	72	66	69
11	2750	78	73	75
12	3000	85	89	87
13	3250	90	95	93
14	3500	95	110	102
15	3750	100	114	107
16	4000	108	120	114
17	4250	112	125	118
18	4500	120	130	125
19	4750	124	135	129
20	5000	131	139	135
21	5250	137	145	141
22	5500	142	150	146
23	5750	149	151	150
24	6000	156	158	157
25	6250	164	165	164
26	6500	177	170	174
27	6750	185	178	182
28	7000	194	186	190
29	7250	206	193	200
30	7500	213	203	208
31	7750	224	213	219
32	8000	231	227	229

Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 400°C

No.	BEBAN (P) (kg)	SAMPEL 24-4	SAMPEL 25-4	SAMPEL 26-4	SAMPEL 27-4
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	26	22	19	15
2	500	41	34	30	20
3	750	52	46	39	30
4	1000	62	58	48	40
5	1250	73	64	56	49
6	1500	85	75	65	59
7	1750	92	83	75	67
8	2000	103	90	83	74
9	2250	110	96	91	82
10	2500	116	104	98	90
11	2750	123	111	106	96
12	3000	132	118	112	104
13	3250	138	128	118	109
14	3500	144	134	126	116
15	3750	150	140	133	122
16	4000	157	147	142	124
17	4250	165	155	149	131
18	4500	172	162	157	137
19	4750	178	168	163	143
20	5000	186	175	172	151
21	5250	195	183	179	156
22	5500	201	189	185	163
23	5750	209	195	191	169
24	6000	215	204	200	177
25	6250	223	211	207	182
26	6500	233	220	215	187
27	6750	242	226	221	196
28	7000	249	233	228	202
29	7250	258	240	235	208
30	7500	266	250	241	218
31	7750	278	256	250	223
32	8000	285	266	260	231

Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 500°C

No.	BEBAN(P) (kg)	SAMPEL 24-5	SAMPEL 25-5	SAMPEL 26-5	SAMPEL 27-5
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	2	15	25	11
2	500	19	29	36	18
3	750	35	40	47	24
4	1000	46	48	57	30
5	1250	64	58	65	36
6	1500	70	68	71	45
7	1750	78	76	74	53
8	2000	86	83	80	61
9	2250	95	91	85	72
10	2500	104	100	89	80
11	2750	110	107	93	90
12	3000	118	114	101	96
13	3250	124	126	108	103
14	3500	132	132	115	110
15	3750	140	136	121	118
16	4000	148	141	128	125
17	4250	157	148	135	133
18	4500	165	156	141	140
19	4750	174	161	148	148
20	5000	181	171	155	155
21	5250	190	178	163	162
22	5500	202	186	173	169
23	5750	210	195	185	178
24	6000	219	201	193	187
25	6250	222	208	200	197
26	6500	235	217	210	205
27	6750	245	226	218	212
28	7000	255	234	226	222
29	7250	266	243	237	230
30	7500	285	266	245	238
31	7750	315	273	255	246
32	8000	376	286	267	254

Tabel Hasil Lendutan Balok Setelah Pembakaran pada Temperatur 600°C

No.	BEBAN(P) (kg)	SAMPEL 24-6	SAMPEL 25-6	SAMPEL 26-6	SAMPEL 27-6
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	27	28	30	33
2	500	37	38	39	45
3	750	52	47	50	53
4	1000	67	57	62	60
5	1250	80	67	73	67
6	1500	95	80	83	73
7	1750	108	89	89	79
8	2000	118	98	96	85
9	2250	128	108	104	91
10	2500	141	118	111	98
11	2750	152	128	116	108
12	3000	163	137	124	112
13	3250	175	146	130	116
14	3500	185	154	136	122
15	3750	194	163	143	128
16	4000	205	173	150	135
17	4250	218	180	157	141
18	4500	230	190	163	147
19	4750	240	196	171	155
20	5000	250	205	178	162
21	5250	261	214	186	169
22	5500	272	222	193	177
23	5750	287	231	202	184
24	6000	299	239	208	192
25	6250	315	249	218	198
26	6500	325	258	225	208
27	6750	338	267	235	216
28	7000	353	280	242	224
29	7250	370	313	250	233
30	7500	392	378	259	241
31	7750	462	398	271	247
32	8000	495	417	284	255

Tabel Hasil Lendutan Balok Penutup Beton 2 cm pada Temperatur Yang Meningkat

No.	BEBAN(P) (kg)	Temp. 27 ⁰ C	SAMPEL 24-4	SAMPEL 24-5	SAMPEL 24-6
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	14	26	2	27
2	500	21	41	19	37
3	750	25	52	35	52
4	1000	32	62	46	67
5	1250	37	73	64	80
6	1500	44	85	70	95
7	1750	50	92	78	108
8	2000	56	103	86	118
9	2250	62	110	95	128
10	2500	69	116	104	141
11	2750	75	123	110	152
12	3000	87	132	118	163
13	3250	93	138	124	175
14	3500	102	144	132	185
15	3750	107	150	140	194
16	4000	114	157	148	205
17	4250	118	165	157	218
18	4500	125	172	165	230
19	4750	129	178	174	240
20	5000	135	186	181	250
21	5250	141	195	190	261
22	5500	146	201	202	272
23	5750	150	209	210	287
24	6000	157	215	219	299
25	6250	164	223	222	315
26	6500	174	233	235	325
27	6750	182	242	245	338
28	7000	190	249	255	353
29	7250	200	258	266	370
30	7500	208	266	285	392
31	7750	219	278	315	462
32	8000	229	285	376	495

Tabel Hasil Lendutan Balok Penutup Beton 3 cm pada Temperatur Yang Meningkat

No.	BEBAN(P) (kg)	Temp. 27 ⁰ C	SAMPEL 25-4	SAMPEL 25-5	SAMPEL 25-6
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	14	22	15	28
2	500	21	34	29	38
3	750	25	46	40	47
4	1000	32	58	48	57
5	1250	37	64	58	67
6	1500	44	75	68	80
7	1750	50	83	76	89
8	2000	56	90	83	98
9	2250	62	96	91	108
10	2500	69	104	100	118
11	2750	75	111	107	128
12	3000	87	118	114	137
13	3250	93	128	126	146
14	3500	102	134	132	154
15	3750	107	140	136	163
16	4000	114	147	141	173
17	4250	118	155	148	180
18	4500	125	162	156	190
19	4750	129	168	161	196
20	5000	135	175	171	205
21	5250	141	183	178	214
22	5500	146	189	186	222
23	5750	150	195	195	231
24	6000	157	204	201	239
25	6250	164	211	208	249
26	6500	174	220	217	258
27	6750	182	226	226	267
28	7000	190	233	234	280
29	7250	200	240	243	313
30	7500	208	250	266	378
31	7750	219	256	273	398
32	8000	229	266	286	417

Tabel Hasil Lendutan Balok Penutup Beton 4 cm pada Temperatur Yang Meningkatkan

No.	BEBAN(P) (kg)	Temp. 27 ⁰ C	SAMPEL 26-4	SAMPEL 26-5	SAMPEL 26-6
		d(.10 ⁻²) (mm)	δ (.10 ⁻²) (mm)	δ (.10 ⁻²) (mm)	δ (.10 ⁻²) (mm)
1	250	14	19	25	30
2	500	21	30	36	39
3	750	25	39	47	50
4	1000	32	48	57	62
5	1250	37	56	65	73
6	1500	44	65	71	83
7	1750	50	75	74	89
8	2000	56	83	80	96
9	2250	62	91	85	104
10	2500	69	98	89	111
11	2750	75	106	93	116
12	3000	87	112	101	124
13	3250	93	118	108	130
14	3500	102	126	115	136
15	3750	107	133	121	143
16	4000	114	142	128	150
17	4250	118	149	135	157
18	4500	125	157	141	163
19	4750	129	163	148	171
20	5000	135	172	155	178
21	5250	141	179	163	186
22	5500	146	185	173	193
23	5750	150	191	185	202
24	6000	157	200	193	208
25	6250	164	207	200	218
26	6500	174	215	210	225
27	6750	182	221	218	235
28	7000	190	228	226	242
29	7250	200	235	237	250
30	7500	208	241	245	259
31	7750	219	250	255	271
32	8000	229	260	267	284

Tabel Hasil Lendutan Balok Penutup Beton 5 cm pada Temperatur Yang Meningkat

No.	BEBAN(P) (kg)	Temp. 27 ⁰ C	SAMPEL 27-4	SAMPEL 27-5	SAMPEL 27-6
		d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)	d(.10 ⁻²) (mm)
1	250	14	15	11	33
2	500	21	20	18	45
3	750	25	30	24	53
4	1000	32	40	30	60
5	1250	37	49	36	67
6	1500	44	59	45	73
7	1750	50	67	53	79
8	2000	56	74	61	85
9	2250	62	82	72	91
10	2500	69	90	80	98
11	2750	75	96	90	108
12	3000	87	104	96	112
13	3250	93	109	103	116
14	3500	102	116	110	122
15	3750	107	122	118	128
16	4000	114	124	125	135
17	4250	118	131	133	141
18	4500	125	137	140	147
19	4750	129	143	148	155
20	5000	135	151	155	162
21	5250	141	156	162	169
22	5500	146	163	169	177
23	5750	150	169	178	184
24	6000	157	177	187	192
25	6250	164	182	197	198
26	6500	174	187	205	208
27	6750	182	196	212	216
28	7000	190	202	222	224
29	7250	200	208	230	233
30	7500	208	218	238	241
31	7750	219	223	246	247
32	8000	229	231	254	255

Regresi penurunan kuat tekan terhadap temperatur

Prosentase
penurunan tekan

suhu (°C)	f _c (kg/cm ²)	(%)
27	372.6170	0.0
400	297.4830	20.1639
500	254.0181	31.8286
600	215.1374	42.2631

Regresi penurunan tekan setelah dikoreksi

Rumus regresi :

$$y=4E-05.x^2+0.0437.x-1.3769$$

suhu (°C)	Asli(%)	Regresi	Koreksi
27	0	-0.1678	0.0000
50		0.9081	1.0759
100		3.3931	3.5609
150		6.0781	6.2459
200		8.9631	9.1309
250		12.0481	12.2159
300		15.3331	15.5009
350		18.8181	18.9859
400	20.1639	22.5031	22.6709
450		26.3881	26.5559
500	31.8286	30.4731	30.6409
550		34.7581	34.9259
600	42.2631	39.2431	39.4109

Regresi prosentase penurunan kuat lentur balok terhadap Pb

Kuat lentur temp. ruang = 15.1748 kNm

Temperatur

400°C

Data hasil kuat lentur

	400C	(%)
Pb 2cm	13.1822	13.1312
Pb 3cm	14.4698	4.6461
Pb 4cm	14.9603	1.4138
Pb 5cm	15.2055	-0.2020

Rumus regresi: $y = 1,7173 \cdot x^2 - 16,344 \cdot x + 38,769$

Pb	(%)	Regresi
2	13.1312	12.9502
2.5		8.6421
3	4.6461	5.1927
3.5		2.6019
4	1.4138	0.8698
4.5		-0.0037
5	-0.202	-0.0185

Temperatur

500°C

Data hasil kuat lentur

	500C	(%)
Pb 2cm	13.1209	13.5352
Pb 3cm	13.3661	11.9194
Pb 4cm	13.7340	9.4949
Pb 5cm	14.7150	3.0303

Rumus regresi: $y = 5,0915 \cdot x - 1,2122 \cdot x^2 + 8,0395$

Pb	(%)	Regresi
2	13.5352	13.3737
2.5		13.1920
3	11.9194	12.4042
3.5		11.0103
4	9.4949	9.0103
4.5		6.4042
5	3.0303	3.1920

Temperatur

600°C

Data hasil kuat lentur

	600C	(%)
Pb 2cm	12.9983	14.3431
Pb 3cm	13.2435	12.7273
Pb 4cm	13.3661	11.9194
Pb 5cm	14.7150	3.0303

Rumus regresi: $y = 9,2536 \cdot x - 1,8183 \cdot x^2 + 2,6647$

Pb	(%)	Regresi
2	14.3431	13.8987
2.5		14.4343
3	12.7273	14.0608
3.5		12.7781
4	11.9194	10.5863
4.5		7.4853
5	3.0303	3.4752

Regresi Prosentase Penurunan Kuat Lentur terhadap Temperatur

Regresi prosentase penurunan kuat lentur

Pb	27	400			500			600		
	asli	asli	(%)	Regresi	asli	(%)	Regresi	asli	(%)	Regresi
2	15.2	13.18	13.1312	12.9502	13.12	13.5352	13.3737	13.00	14.3431	13.8987
2.5				8.6421			13.1920			14.4343
3	15.2	14.47	4.6461	5.1927	13.37	11.9194	12.4042	13.24	12.7273	14.0608
3.5				2.6019			11.0103			12.7781
4	15.2	14.96	1.4138	0.8698	13.73	9.4949	9.0103	13.37	11.9194	10.5863
4.5				-0.0037			6.4042			7.4853
5	15.2	15.21	-0.2020	-0.0185	14.72	3.0303	3.1920	14.72	3.0303	3.4752

	400	500	600
2	12.950	13.374	13.8987
3	5.193	12.404	14.0608
4	0.8698	9.0103	10.5863
5	0.0185	3.192	3.4752

Regresi prosentase penurunan kuat tarik baja terhadap Pb

Teg. tarik temperatur ruang = 2599.9501 kg/cm²

Untuk suhu 400°C

	400C	%
2	2334.3224	10.2166
3	2408.6927	7.3562
4	2487.5517	4.3231
5	2597.9952	0.0752

	(%)	Regresi
2	10.2166	10.1642
2.5		8.9249
3	7.3562	7.5121
3.5		5.9259
4	4.3231	4.1662
4.5		2.2331
5	0.0752	0.1265

Rumus regresi :

$$y = -0,3469.x^2 - 0,9176.x + 13,387$$

Untuk suhu 500°C

	500C	%
2	2327.8508	10.4656
3	2396.1445	7.8388
4	2446.0485	5.9194
5	2549.9125	1.9246

	(%)	Regresi
2	10.4656	10.3266
2.5		9.3770
3	7.8388	8.2564
3.5		6.9648
4	5.9194	5.5022
4.5		3.8686
5	1.9246	2.0640

Rumus regresi :

$$y = -0,342.x^2 - 0,3602.x + 12,415$$

Regresi prosentase penurunan kuat tarik baja terhadap Pb untuk suhu 600°C

	600C	%
2	2318.4136	10.8285
3	2383.6795	8.3183
4	2426.3830	6.6758
5	2534.8933	2.5022

	(%)	Regresi
2	10.8285	10.6580
2.5		9.8466
3	8.3183	8.8273
3.5		7.6000
4	6.6758	6.1648
4.5		4.5216
5	2.5022	2.6705

Rumus regresi :

$$y = -0,4159.x^2 + 0,2488.x + 11,824$$

Regresi Prosentase Penurunan Kuat Tarik terhadap Temperatur

Regresi

(°C)	pb 2cm	regresi	pb 3cm	regresi	pb 4cm	regresi	pb 5cm	regresi
400	10.2166	10.2800	7.3562	7.3628	4.3231	4.6590	0.0752	0.6400
425		10.3388		7.4837		5.1790		1.2950
450		10.4050		7.3043		5.6490		1.8750
475		10.4788		7.7247		6.0690		2.3800
500	10.4656	10.5600	7.8388	7.8448	5.9194	6.4390	1.9246	2.8100
525		10.6488		7.9647		6.7590		3.1650
550		10.7450		8.0843		7.0290		3.4450
575		10.8488		8.2037		7.2490		3.6500
600	10.8285	10.9600	8.3183	8.3228	6.6758	7.4190	2.5022	3.7800

Rumus regresi,

$$\text{pb 2 cm : } Y = -6E-06.x^2 - 0.0026.x + 10.36$$

$$\text{pb 3 cm : } Y = -2E-07.x^2 + 0.0050.x + 5.3948$$

$$\text{pb 4 cm : } Y = -4E-05.x^2 + 0.0538.x - 10.461$$

$$\text{pb 5 cm : } Y = -6E-05.x^2 + 0.0757.x - 20.04$$

Catatan : Semua perhitungan regresi menggunakan program komputer "MICROSOFT EXCEL".