

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTP PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f'_c 24,52 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR**



Disusun Oleh :
NIKODEMUS RIZKI ADESYA
(09.21.902)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2011**

LEMBAR PENGESAHAN



PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,52 MPa TERHADAP KUAT LENTUR

SKRIPSI

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)*

Pada hari : Kamis

Tanggal : 24 Februari 2011

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :
NIKODEMUS RIZKI ADESYA
09. 21. 902

Disahkan Oleh:



(Ir. H. Hirijanto, MT.)

Sekretaris

(Lilla Ayu Ratna Winanda, ST, MT.)

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I

(Yosimson P. Manaha, ST.MT.)

Dosen Penguji II

(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2011**

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI



**PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,52 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S1)
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

NIKODEMUS RIZKI ADESYA

09.21.902

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir. Ester Priskasari, MT)

(Ir. Eding Iskak I, MT)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. H. Hirijanto, MT.)

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **NIKODEMUS RIZKI ADESYA**

Nim : **09. 21. 902**

Jurusan : **Teknik Sipil S - 1**

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya Tugas Akhir yang berjudul :
**“PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,52 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR”**

Adalah tugas akhir saya sendiri, seluruhnya bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur karya orang lain kecuali disebut dari sumber aslinya.

Malang, Februari 2011

Yang Membuat Pernyataan



(NIKODEMUS R.A)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul : *"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTP Pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton f_c 22,5 Mpa Terhadap Kuat Lentur"* yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Sipil-S1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. A. Agus Santosa, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
2. Ir. H. Hirijanto, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
3. Ir. Ester Priskasari, MT dan Ir. Eding Iskak Imananto, MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
4. Ir. A. Agus Santosa, MT dan Bapak Yosimson P.M, ST., MT selaku dosen Penguji yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
5. Ir. Bambang Wedyantadji, MT selaku Kepala Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil ITN Malang dan Bapak Mahfud selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.

6. Bapak I Komang Astana Widi, ST.,MT selaku Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITN Malang dan Bapak Andi selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
7. Bapak Sumardji, Bapak Hendra dan semua Staf Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi ITS Surabaya yang telah banyak membantu pelaksanaan pengujian sample.
8. Keluarga dan orangtua, yang selalu mendukung studi penulis hingga selesai.
9. Rekan-rekan mahasiswa program Studi teknik Sipil S-1 ITN Malang yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian selanjutnya.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang akan melakukan penelitian lebih lanjut.

Malang, Februari 2011

Penulis

ABSTRAK

NIKODEMUS RIZKI ADESYA, Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, "PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,52 MPa TERHADAP KUAT LENTUR" Dosen Pembimbing : Ir. Ester Priskasari, MT dan Ir. Eding Iskak Imananto, MT.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah kuat lentur. Kuat lentur disini adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya vertikal dalam hal ini elemen struktur tersebut adalah balok yang diberikan beban terpusat, dan diuji kekuatan lenturnya.

Untuk memverifikasi efektifitas seperti yang telah diprediksi melalui pendekatan analisis, maka dilakukan uji eksperimental. Pengujian eksperimental tersebut memakai benda uji balok dengan dimensi 150 mm x 250 mm x 2000 mm dengan dua tipe balok yaitu balok dengan tulangan CRT (BB - 01) dan balok dengan tulangan BJTP (BB - 02).

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penggunaan tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) terhadap tulangan BJTP (tulangan polos). Kedua tulangan tersebut dibandingkan pada kuat lentur balok beton bertulang dengan mutu beton f_c 24,52 MPa.

Berdasarkan parameter tegangan-regangan beton dan kuat lentur hasil analisa eksperimen balok dengan tulangan CRT dan BJTP, dapat disimpulkan bahwa tulangan Cold Rolled and Twisted Bar (CRT) tanpa panjang penyaluran kurang efektif digunakan sebagai tulangan alternatif pengganti tulangan BJTP. Hal ini dibuktikan hasil pengujian eksperimental BB-01 yang dibandingkan dengan hasil eksperimental BB-02, dimana dengan perbedaan rasio tulangan (A_{st}) sebesar 0,39 terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -43,85%, tegangan beton ultimit sebesar 19,8%, regangan beton ultimit sebesar -43,458% dan lendutan sebesar -43,5%.

Kata Kunci : efektifitas, tulangan CRT dan BJTP, kuat lentur.

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Lembar Pernyataan.....	iii
Lembar Persembahan.....	iv
Kata Pengantar.....	v
Abstrak.....	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Grafik.....	xvi
Daftar Lampiran.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tulangan CRT (<i>Cold Rolled & Twisted Bar</i>).....	6
2.2 Mutu Beton.....	7
2.2.1 Modulus Elastisitas.....	9
2.3 Kuat Lentur.....	9
2.4 Perilaku Keruntuhan pada Balok.....	11
2.5 Dasar Teori Asumsi untuk Kuat Lentur.....	15
2.5.1 Asumsi Dasar Perilaku.....	15
2.6 Blok Tegangan Persegi Ekuivalen.....	19
2.7 Regangan Beton Pada Kekuatan Lentur.....	21

2.8 Pengaruh Pembebanan Secara Perlahan Dengan Pembebanan Terus Menerus.....	24
2.9 Ringkasan Dan Rekomendasi Untuk Menentukan Kekuatan Penampang Terhadap Lentur Dan Aksial.....	25
2.10. Kekuatan balok lentur	26
2.10.1 Penampang persegi.	26
2.10.1.1 Analisis penampang dengan tulangan ganda.....	26
2.10.2 Desain penampang berulang ganda.....	29
2.11. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	38
3.2. Metode Penelitian.....	38
3.3. Peralatan dan Bahan.....	38
3.3.1. Peralatan.....	38
3.3.2. Bahan.....	40
3.4 Populasi dan Sampel.....	41
3.5.Rancangan Penelitian.....	43
3.6. Prosedur Penelitian.....	43
3.6.1. Pemeriksaan Material Beton.....	43
3.6.2. Perencanaan Campuran Beton.....	43
3.7 Pelaksanaan Penelitian.....	43
3.7.1 Persiapan bahan.....	43
3.7.2 Perhitungan rencana campuran beton	44
3.7.3 Proses pembuatan benda uji.....	44
3.7.4 Pengujian Mutu Beton f_c	46
3.7.5 Pengujian tarik baja.....	47
3.7.6 Pengujian Kuat Lentur Balok.....	47
3.8 Metode Pengumpulan Data.....	49
3.9 Teknik Analisa Data.....	50
3.9.1. Analisa pada penelitian.....	50
3.9.2. Analisa Eksperimental.....	50

3.10	Bagan Alir Proses Penelitian.....	52
3.11	Analisa Teoritis.....	53
3.11.1	Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10	53
3.11.2	Analisa Distribusi Tegangan Aktual Balok dengan Tulangan CRT # 10.....	66
3.11.3	Lendutan Balok dengan Tulangan CRT # 10.....	67
3.11.4	Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10.....	68
3.11.5	Panjang Plastis (Lp) Balok dengan Tulangan CRT # 10.....	69
3.11.6	Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan.....	71
3.11.7	Grafik Regangan dan Tegangan	72
3.11.8	Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	75
3.11.9	Analisa distribusi tegangan aktual Benda Uji dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	87
3.11.10	Lendutan Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	89
3.11.11	Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16....	90
3.11.12	Panjang Plastis (Lp) Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16....	91
3.11.13	Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan.....	92
3.11.14	Grafik Regangan dan Tegangan.....	94
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Hasil Pengujian.....	99
4.4.1	Perancangan Campuran Beton.....	99
4.4.2	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder.....	100
4.4.3	Pengujian Kuat Tarik Baja.....	101
4.4.3.1	Pengujian Kuat Tarik tulangan BJTP Ø 16.....	101
4.4.3.2	Pengujian Kuat Tarik tulangan CRT # 10.....	102
4.4.3.3	Pengujian Kuat Tarik tulangan BJTP Ø 10.....	103
4.2.	Balok Beton Tulangan CRT Tanpa Panjang Penyaluran (BB-01)..	104
4.3.	Pengujian Balok Beton Tulangan BJTP tanpa Panjang Penyaluran (BB-02).....	110
4.4.	Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB-01 terhadap	

Balok BB-02.....	117
4.5. Perbandingan Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-01 Terhadap Balok BB-02.....	118
4.6. Efektifitas Balok BB-07 Terhadap Balok BB-08.....	119
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	121
5.2 Saran.....	122
DAFTAR PUSTAKA.....	123
LAMPIRAN.....	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi Berdasarkan <i>PCA Test On Unconfined Specimens</i>	18
Tabel 3.1 Variasi benda Uji.....	41
Tabel 3.2 Data Analisis.....	49
Tabel 3.3 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan CRT #10.....	66
Tabel 3.4 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB -- 01.....	71
Tabel 3.5 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB -- 08....	72
Tabel 3.6 Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi Berdasarkan <i>PCA Test On Unconfined Specimens</i>	87
Tabel 3.7 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	88
Tabel 3.8 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 02.....	92
Tabel 3.9 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 08.....	94
Tabel 4.1 Proporsi Campuran Beton Mutu 22,5Mpa.....	99
Tabel 4.2 PengujianKuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16.....	101
Tabel 4.3 Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10.....	102
Tabel 4.4 PengujianKuat Tarik Tulangan BJTD D 10.....	103
Tabel 4.5 PerbandinganTegangan Dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 01.....	108
Tabel 4.6 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan EksperimenBalok BB – 01.....	110
Tabel 4.7 PerbandinganTegangan dan Regangan Teoritis dan Eksperimen Balok BB – 02.....	115

Tabel 4.8 PerbandinganBeban Dan LendutanTeoritis dan EksperimenBalok BB – 08.....	117
Tabel 4.9 Perbandingan efektifitas balok dengan tulangan CRT (BB– 01) terhadap Balok dengan tulangan BJTP(BB –02).....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam bentuk tulangan.....	6
Gambar 2.2	Distribusi Tegangan Dan Regangan pada Penampang Beton yang Tertekan Dimana Momen Tekuk Meningkat hingga Kekuatan Lentur	17
Gambar 2.3	Distribusi Tegangan Tekan Pada Zona Tekan Suatu Penampang Persegi Beton	18
Gambar 2.4	Penampang Beton Bertulangan Ganda pada Kondisi Tercapainya Kekuatan Lentur	27
Gambar 3.1.	Peralatan Slump Test.....	39
Gambar 3.2.	Model Benda Uji Balok BB-01 dan BB-02.....	42
Gambar 3.3	Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok.....	48
Gambar 3.5	Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan CRT #10.....	53
Gambar 3.6	Penampang Balok dengan Tulangan CRT #10.....	54
Gambar 3.7	Model diagram regangan tulangan CRT #10.....	56
Gambar 3.8	Ilustrasi Diagram Regangan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Dengan Tulangan CRT #10.....	59
Gambar 3.9	Perhitungan Momen akibat Berat Sendiri Balok dengan tulangan CRT #10.....	60
Gambar 3.10	Momen Maksimum Akibat Berat Sendiri Pada Balok dengan Tulangan CRT #10.....	62
Gambar 3.11	Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10.....	65
Gambar 3.12	Distribusi Tegangan Tekan Aktual.....	66
Gambar 3.13	Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10.....	67
Gambar 3.14	Model Lendutan Pada Balok CRT # 10.....	67
Gambar 3.15	Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	75

Gambar 3.16 Penampang Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16.....	75
Gambar 3.17 Model diagram regangan tulangan BJTP Ø 16.....	78
Gambar 3.18 Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan BJTP Ø 16.....	81
Gambar 3.19 Perhitungan Momen akibat Berat Sendiri Balok dengan tulangan BJTP Ø 16.....	82
Gambar 3.20 Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan BJTP Ø 16.....	83
Gambar 3.21 Model Diagram Regangan Tulangan BJTP Ø 16.....	86
Gambar 3.22 Distribusi Tegangan Tekan Aktual.....	87
Gambar 3.23 Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTP Ø 16.....	88
Gambar 3.24 Model Lendutan Pada Balok BJTP Ø 16.....	89
Gambar 4.1. Pengujian balok BB-01.....	106
Gambar 4.2 Pengujian balok BB – 02.....	113

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul : *"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTP Pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton f_c 24,52 Mpa Terhadap Kuat Lentur"* yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Sipil-S1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. A. Agus Santosa, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
2. Ir. H. Hirijanto, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
3. Ir. Ester Priskasari, MT dan Ir. Eding Iskak Imananto, MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
4. Ir. A. Agus Santosa, MT dan Bapak Yosimson P.M, ST., MT selaku dosen Penguji yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
5. Ir. Bambang Wedyantadji, MT selaku Kepala Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi Program Studi Teknik Sipil ITN Malang dan Bapak Mahfud selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	Hubungan Tegangan Tulangan Dengan Mutu Beton.....	8
Grafik 2.2.	Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton.....	12
Grafik 2.3.	Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Baja	14
Grafik 2.4.	Kurva Tegangan-Regangan Beton	15
Grafik 2.5	Sifat Distribusi Tegangan Tekan Pada Beton Pada Kekuatan Lentur Suatu Penampang Persegi ; Berdasarkan Parameter ACI Dan Hasil Test	19
Grafik 2.6	Regangan Beton pada Serat Tekan Ekstrim pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi, berdasarkan Nilai ACI dan Hasil Pengujian.....	21
Grafik 2.7	Kurva Momen Regangan untuk Balok Beton Bertulangan Tunggal berdasarkan Pengujian Silinder.....	22
Grafik 3.1	Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 01.....	72
Grafik 3.2	Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c) Teoritis Balok BB – 01.....	74
Grafik 3.3	Kurva Tegangan Baja (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s) Teoritis Balok BB – 02.....	74
Grafik 3.4	Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 02.....	93
Grafik 3.5	Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c) Teoritis Balok BB – 02.....	95
Grafik 3.6	Kurva Tegangan Baja (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s) Teoritis Balok BB – 02	95
Grafik 3.7	Kurva Beban dan Lendutan Teoritis Gabungan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02.....	96

Grafik 3.8	Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c) Teoritis Gabungan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02.....	97
Grafik 3.9	Kurva Tegangan Beton (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s) Teoritis Gabungan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02.....	98
Grafik 4.1.	Kurva Tegangan-Regangan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB- 01.....	107
Grafik 4.2.	Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB – 01.....	109
Grafik 4.3.	Kurva Tegangan-Regangan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB – 02.....	114
Grafik 4.4.	Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-02.....	116
Grafik 4.5.	Kurva Tegangan - Regangan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02.....	118
Grafik 4.6	Kurva Beban dan Lendutan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02.....	119

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Asistensi Skripsi

Lampiran L2.1 Perancangan Campuran Beton

Lampiran L2.1 Tabel Hasil Pengujian Tarik Baja

Lampiran L2.3 Tabel hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

Lampiran L1.1-A Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01A CRT # 10
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.1-B Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01B CRT # 10
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.1-C Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01C CRT # 10
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.1-D Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01D CRT # 10
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.1-E Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01 CRT # 10
tanpa Penyaluran Rata-Rata

Lampiran L1.2-A Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02A BJTP Ø 16
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.2-B Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02B BJTP Ø 16
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.2-C Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02C BJTP Ø 16
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.2-D Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02D BJTP Ø 16
tanpa Penyaluran

Lampiran L1.2-E Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02 BJTP Ø 16
tanpa Penyaluran Rata-Rata

Lampiran L 2.4 Tabel 6.2 Stress Block Parameters α and γ as a Function
of ϵ_{cm} and Z

Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada kondisi perkembangan konstruksi di Indonesia saat ini sudah tidak dapat dipungkiri bahwa teknologi mengenai jenis material dan penggunaannya merupakan elemen yang sangat penting. Material yang sangat berpengaruh salah satunya yaitu beton, selain material baja, kayu, dan sebagainya. Faktor material ini harus dikaji lebih dalam menyangkut pengaruh dan hubungannya dengan mutu dan kekuatan konstruksi yang direncanakan dan akan dilaksanakan.

Beton merupakan material yang penggunaannya sangat luas dan sangat sering digunakan sebagai bahan konstruksi, baik untuk konstruksi struktural maupun non struktural. Dalam hal ini yang menuntut pengkajian lebih mendalam adalah konstruksi struktural dimana umumnya digunakan beton bertulang selain beton komposit, dan perpaduan beton dengan material lain. Beton bertulang merupakan gabungan antara material beton dan material baja tulangan dimana direncanakan beton sebagai penahan gaya tekan dan tulangan baja sebagai penahan gaya tarik pada struktur.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah kuat lentur dan kuat geser. Kuat lentur disini adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan lentur. Dalam penelitian kami elemen lentur ini didapat dari balok yang diberikan beban terpusat, dan diuji kekuatan lenturnya. Kuat geser adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya geser

dimana dalam kondisi ini balok diberikan beban terpusat yang menyebabkan gaya geser pada balok tersebut.

Sehubungan dengan adanya gaya lentur dan gaya geser yang timbul akibat pembebanan pada elemen lentur, maka diperlukan tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tersebut, dalam hal ini adalah tulangan longitudinal yang berperan untuk menahan gaya lentur dan tulangan transversal yang berperan untuk menahan gaya geser.

Dalam rangka untuk merencanakan struktur beton bertulang yang memiliki mutu tinggi baik dari sisi beton maupun tulangan yang dipakai, telah banyak dilakukan penelitian yang dikhususkan pada masing-masing materialnya (pengujian kuat tarik baja dan pengujian kuat tekan beton). Akan tetapi penelitian mengenai hubungan beton dan baja secara utuh dalam satu kesatuan konstruksi masih jarang dilakukan disebabkan biaya yang cukup besar dan membutuhkan teknologi alat pengujian yang lebih tinggi.

Pada umumnya pengujian kuat lentur yang dilakukan hanya menggunakan tulangan BJTP (tulangan polos) atau BJTD (tulangan ulir) dikarenakan tulangan tersebut umum digunakan pada konstruksi struktur. Akan tetapi pada kondisi saat ini terdapat tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) atau umumnya disebut tulangan spiral, dimana terdapat di pasaran tetapi belum digunakan untuk konstruksi dikarenakan kurangnya hasil penelitian yang membuktikan kemampuan tulangan CRT layak dan sesuai untuk komponen struktur.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted*

Bar) dan tulangan BJTP terhadap kuat lentur dan geser pada struktur balok. Sehingga judul penelitian yang akan dilakukan adalah *“Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTP Pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton $f'c$ 24,52 MPa Terhadap Kuat Lentur ”*

Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen di laboratorium setelah diasumsi secara teoritis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu :

1. Bagaimana efektifitas tulangan CRT dan tulangan BJTP pada Balok dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa ?
2. Bagaimana model kurva tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa ?
3. Bagaimana kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efektifitas tulangan CRT dan tulangan BJTP pada Balok dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .
2. Mengetahui model kurva tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .
3. Mengetahui kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Bagi para praktisi; diharapkan hasil penelitian ini bisa menjadi bahan informasi tentang kelebihan dan kekurangan tulangan CRT bagi para praktisi didunia konstruksi yang hendak bereksplorasi dengan penggunaan material baja tulangan alternatif.
2. Masyarakat; dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dan referensi awal bagi penggunaan tulangan CRT yang lebih luas dalam konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan, diperlukan pembatasan masalah agar maksud dan tujuan yang diinginkan tercapai. Adapun batasan - batasan masalah tersebut adalah :

1. Mencari efektifitas penggunaan tulangan CRT terhadap tulangan BJTP pada komponen lentur dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .
2. Mencari model kurva tegangan dan regangan balok tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .
3. Mencari besar kuat lentur balok tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa .

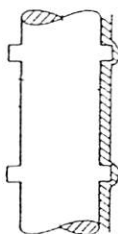
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*)

Seiring semakin majunya perkembangan teknologi, memberikan dampak pula pada perkembangan kemajuan ilmu di bidang konstruksi. Hal ini dapat diketahui pada semakin banyaknya macam-macam bentuk konstruksi dapat dikerjakan. Utamanya yang paling berkembang pesat adalah material yang dipakai di dalam struktur suatu konstruksi, misalnya bentuk tulangan yang akhir-akhir ini diciptakan adalah tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (tulangan spiral).

Tulangan yang diproduksi oleh PT. Alim Surya Steel dengan nama Cold Rolled & Twisted Bar ini dibuat dengan proses pengerolan dingin (Cold Rolling) pada steel wire rod dan kemudian dipuntir (tulangan spiral). Batang tulangan spiral direncanakan untuk merubah pola dari perilaku dan memperkecil kekuatan atas gesekan dan adhesi (sekali pun masih ada) dan lebih mengandalkan tahanan dari gerigi terhadap beton, sehingga tulangan spiral ini di harapkan dapat memberikan kuat lekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan polos dan ulir.



a. Tulangan polos

b. Tulangan ulir

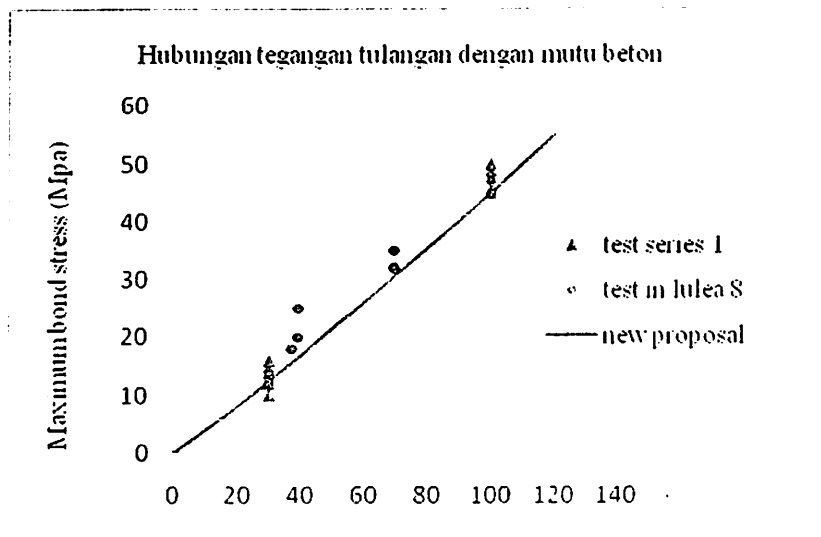
c. Tulangan spiral (CRT)

Gambar 2.1 Macam-Macam Bentuk Tulangan

Penelitian yang dilakukan oleh A.J. Bigaj, J.A. Den Uijl dan J.C. Walraven (1996) menyimpulkan bahwa bentuk geometrik penampang (ribbed) dan ukuran tulangan sangat berpengaruh terhadap perilaku lekatan antara tulangan dengan beton disekelilingnya. Sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai lekatan (bond) dan panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (tulangan spiral) pada beton mutu tinggi. Pada penelitian ini digunakan tulangan CRT $\phi 10$ mm dengan f_y 360 Mpa.

2.2 Mutu Beton

Beton merupakan salah satu dari bahan beton bertulang yang mempunyai pengaruh terhadap kualitas ikatan (lekatan) yang terjadi antara baja tulangan dengan beton di sekelilingnya. Maka dari pada itu daya lekatan dipengaruhi juga oleh mutu beton yang dihasilkan. Semakin tinggi mutu beton maka semakin besar pula kemampuan anker saat menerima gaya tarik. Hal ini terjadi karena semakin tinggi mutu beton maka semakin besar daya lekatan material penyusun beton atau semakin getasnya (E.G. Nawy, 1985). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson (1996) menunjukkan kesimpulan yang sama yakni semakin tinggi mutu beton maka semakin besar pula tegangan lekat tulangan, seperti terlihat pada gambar 2.2



Grafik 2.1 Hubungan Tegangan Tulangan Dengan Mutu Beton
(Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson, 1996)

Berdasarkan keterangan diatas yang menyebutkan bahwa kekuatan lekatan dipengaruhi oleh mutu beton dan selain itu hal juga ini ditunjukkan bahwa untuk menghitung tegangan lekat digunakan $\sqrt{f'c}$, maka di dalam penelitian ini nantinya hanya menggunakan 1 macam mutu beton yaitu $f'c$ 30 Mpa. Adapun agregat yang dipakai seperti semen, pasir, kerikil dan air sudah disesuaikan pada aturan ASTM dan analisa campuran menggunakan aturan (rumus) yang sudah ada (pedoman SNI 03-2847-2002 dan Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Mutu Tinggi. Akan tetapi jika campuran yang ada diatas tidak mencapai mutu beton yang diinginkan, maka akan digunakan bahan tambahan seperti silika, fly ash ataupun copper slag.

Di dalam pengujian mutu beton dapat dilakukan dengan menggunakan benda uji bentuk silinder dengan dimensi 150X300 mm (ASTM C234). Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memastikan campuran beton yang dibuat sesuai

dengan yang diinginkan berdasarkan ASTM C234. Adapun pengujian yang dilakukan adalah uji tekan dan uji tarik.

2.2.1 Modulus Elastisitas

Menurut ACI 318M-99 ps 8.5.1 dan SNI 03-2847-2002, rumus Modulus Elastisitas untuk beton dengan w_c antara 1500 kg/m^3 dan 2500 kg/m^3 sebagai berikut :

$$E_c = (w_c)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f_c} \dots\dots\dots 2.1$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas bisa dicari dengan cara teoritis (seperti persamaan 2.1) maupun dengan cara eksperimen (pengujian benda uji). Pada penelitian ini nantinya nilai modulus elastisitas (E_c) didapatkan dari hasil pengujian dari benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran 150 mm X 300 mm.

2.3 Kuat Lentur

SNI 03-2847-2002 pasal 12 , menuliskan rumusan mengenai perencanaan komponen struktur terhadap beban lentur atau aksial, sebagai berikut :

1. perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas regangan dan tegangan.
2. kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh f_y pada saat

yang bersamaan dengan tercapainya regangan batas 0,003 pada bagian beton yang tertekan.

3. untuk komponen struktur lentur dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0,10 f'_c A_g$ dan ϕP_b , maka rasio tulangan ρ yang ada tidak boleh melampaui $0,75 \rho_b$, yang merupakan rasio tulangan yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamai oleh tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan faktor 0,75.
4. peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan.
5. kuat rencana ϕP_n dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut :

- a. untuk komponen struktur komposit yang sesuai dengan 12.16.

$$\phi P_{n(max)} = 0,85\phi [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \dots\dots\dots 2.2$$

- b. untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan sengkang pengikat yang sesuai dengan 9.10.(5)

$$\phi P_{n(max)} = 0,80\phi [0,85f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \dots\dots\dots 2.3$$

- c. untuk komponen struktur prategang, kuat tekan rencana ϕP_n tidak boleh diambil lebih besar dari 0,85 (untuk komponen struktur dengan tulangan spiral) atau 0,8 (untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang pengikat) dan kuat tekan rencana pada eksentrisitas nol, ϕP_o

- d. komponen struktur yang dibebani aksial tekan harus direncanakan terhadap momen maksimum yang mungkin menyertai beban aksial tersebut.

2.4 Perilaku Keruntuhan pada Balok

Menurut Wiryanto (2005), perilaku keruntuhan yang dominan pada struktur balok pada umumnya adalah lentur, tentu saja itu akan terjadi jika rasio bentang (L) dan tinggi balok (h) cukup besar. Jika rasio L/h kecil maka digolongkan sebagai balok tinggi (*deep beam*), *keruntuhan geser dominan*.

Perilaku keruntuhan dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu :

- a) elastis penuh (belum retak),
- b) tahapan mulai terjadi retak-retak
- c) tahapan plastis (leleh pada baja atau beton pecah).

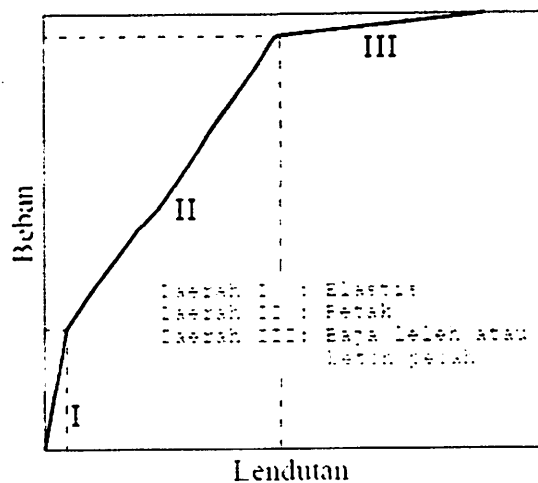
Respons non-linier disebabkan dua hal utama yaitu :

- a) keretakan beton didaerah tarik dan tulangan mengalami leleh atau beton pecah (*crushing*) pada daerah desak.
- b) *bond-slip* antara tulangan baja dan beton disekitarnya, aksi penguncian agregat pada daerah retak aksi angkur (*dowel action*) dari tulangan yang melintas disekitar retak.

Perilaku sebagai fungsi waktu, misalnya : *creep*, *shrinkage* dan variasi temperatur juga menyumbang perilaku non-linier. Kecuali itu, hubungan tegangan reganganbeton tidak hanya bersifat non-linier, tetapi juga berbeda antara beban

tekan dan tarik, sifat mekaniknya tergantung dari umur waktu dibebani, kondisi lingkungan (suhu sekeliling dan kelembaban).

Apabila perilaku keruntuhan balok beton bertulang diatas dua tumpuan dapat digambarkan dalam bentuk kurva beban-lendutan , maka bentuk kurva tersebut adalah sebagai berikut :



Grafik 2.2. Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton
(Wiryanto , 2005)

Dari hasil uji eksperimen, ada tiga jenis keruntuhan yang dapat diidentifikasi yaitu:

1. *Diagonal-tension* (D-T) , keruntuhan tarik–diagonal sifatnya tiba-tiba setelah terbentuk retak diagonal yang kritis. Keruntuhan ini terjadi pada semua balok tanpa tulangan sengkang (balok OAi) dan umumnya dialami bersamaan dengan terjadinya split horizontal didaerah tekan dekat dengan daerah pembebanan.
2. *Shear-compression* (V-C), keruntuhan geser–tekan didominasi oleh balok dengan bentang menengah dan mempunyai tulangan sengkang.
3. *Flexure-compression* (F-C), keruntuhan lentur dan terjadi pada balok dengan bentang yang panjang dan ada sengkangnya.

Ada dua kondisi keruntuhan yang akan ditinjau sebagai berikut.

1 Keruntuhan Lentur

Ditinjau penampang balok beton bertulang dalam kondisi *under-reinforced* , keruntuhan lentur dimulai dari tulangan baja yang mengalami leleh. Pada kondisi tersebut, momen nominal yang menyebabkan keruntuhan lentur dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right), \text{ dimana } a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} \quad \dots\dots\dots 2.4$$

Dari momen nominal yang diperoleh, berdasarkan span balok maka dapat dihitung beban batasnya ($P_u = 4 * M_u / \text{Span}$)

Model Keruntuhan pada Beton adalah :

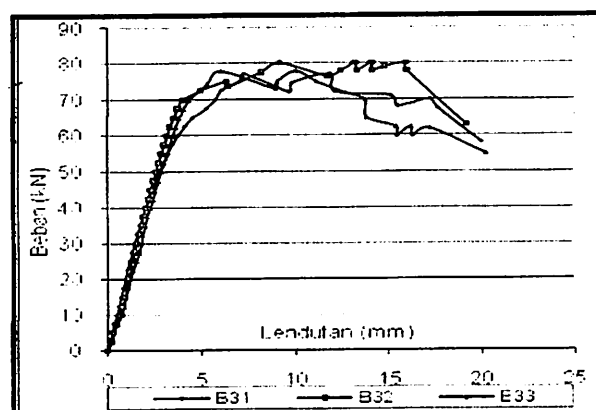
- Keruntuhan tarik (*tensile failure*) pada tegangan tarik prinsipal yang relatif rendah
- Keruntuhan pecah tekan (*compression crushing failure*) pada tegangan desak yang besar Terjadi pelemahan regangan (*strain softening*) setelah keruntuhan pecah tekan yang berlanjut sampai suatu regangan batas (*ultimate strain*) dimana dalam hal tersebut terjadi keruntuhan material beton secara total.

Model Keruntuhan pada baja adalah :

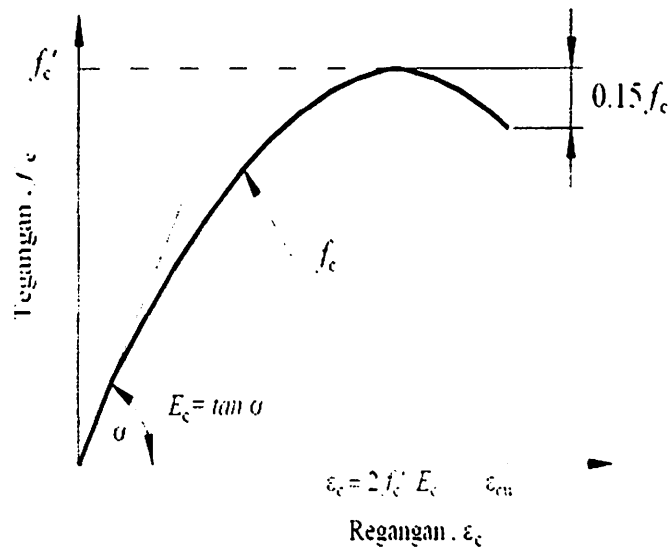
Properti tulangan baja tidak seperti beton, yaitu tidak tergantung dari kondisi lingkungan atau berjalannya waktu. Sehingga menetapkannya sebagai hubungan tegangan-regangan tunggal sudah mencukupi untuk mendefinisikan bahan material untuk analisa struktur beton bertulang.

Kurva hubungan tegangan-regangan dari tulangan baja yang digunakan untuk konstruksi beton diperoleh dari uji tulangan yang dibebani secara monotonik tarik. Untuk semua kegunaan praktek, baja memperlihatkan kurva hubungan tegangan-regangan yang sama baik dalam tarik maupun tekan. Hubungan tegangan-regangan memperlihatkan hubungan elastis linier, daerah leleh, daerah *strain hardening* dimana ada penambahan tegangan bersamaan dengan adanya regangan dan akhirnya daerah yang mengalami penurunan tegangan dan akhirnya drop setelah mengalami fraktur. Pertambahan daerah leleh merupakan fungsi kekuatan tarik baja. Kuat tarik tinggi, atau baja dengan kadar karbon tinggi, umumnya mempunyai daerah leleh yang kecil dibanding baja kuat rendah sedang atau baja dengan kadar karbon rendah.

Karena baja yang digunakan untuk konstruksi beton adalah dalam bentuk tulangan baja maka tidak diperlukan pemodelan material secara tiga dimensi yang begitu rumitnya. Untuk kemudahan dalam perhitungan numerik, idealisasi baja dalam hubungan tegangan satu dimensi sudah mencukupi.



Grafik 2.3. Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Baja (Deskarta, 2009)



Grafik 2.4. Kurva Tegangan-Regangan Beton (Wiryanto, 2005)

2.5 Dasar Teori Asumsi untuk Kuat Lentur

2.5.1 Asumsi Dasar Perilaku

Empat asumsi dasar telah ditentukan dari teori umum untuk kuat lentur pada bagian-bagian beton bertulang , yaitu :

1. Bagian sebelum tekuk kondisinya tetap setelah mengalami tekuk
2. Kurva tegangan-regangan pada baja
3. Daya rentang beton kemungkinan diabaikan
4. Kurva tegangan-regangan pada beton , mendefinisikan besar dan distribusi tegangan tekan.

Asumsi pertama, Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa tegangan longitudinal pada beton dan baja untuk variasi titik pada bagian penampang adalah proporsional dengan jarak dari garis netral. Dari sejumlah besar pengujian

balok beton bertulang telah mengindikasikan jika asumsi ini sangat mendekati kebenaran pada semua tahap pembebanan sampai kegagalan lentur, menghasilkan lekatan yang baik antara beton dengan baja. Sebenarnya hal tersebut akurat pada zona tekan dari beton. Retak pada zona tarik di dalam beton menunjukkan jika banyak slip terjadi diantara tulangan baja dan beton sekelilingnya, dan ini berarti bahwa asumsi tidak sesuai sepenuhnya pada aplikasi untuk beton dengan pengaruh retak. Bagaimanapun, jika regangan beton diukur melebihi panjang gauge yang termasuk keretakan didalamnya, hal tersebut menunjukkan jika prinsip Bernoulli diaplikasikan untuk kekuatan regangan rata-rata.

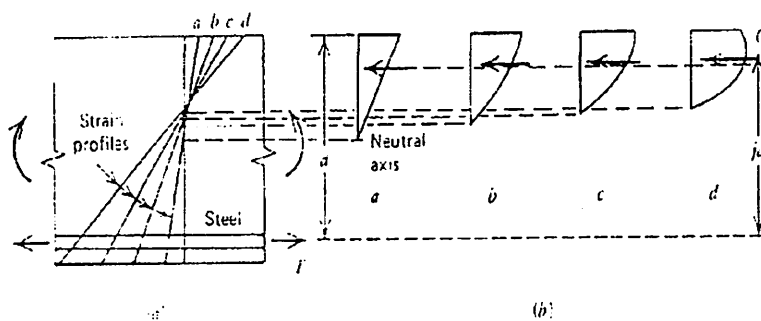
Banyaknya deviasi dari type linier harus dimaklumi karena keakuratan yang kurang pada pengukuran regangan oleh setiap peneliti dan beberapa kesalahan lokasi garis gauge. Dapat dipastikan bahwa pengukuran profil regangan adalah linear, dan asumsi kondisi potongan melintang tidak berubah sangat akurat untuk tujuan perencanaan. Akan tetapi asumsi tersebut tidak dikondisikan untuk balok tinggi atau wilayah yang mengalami gaya geser yang besar.

Asumsi kedua menunjukkan jika sifat dari regangan-tegangan pada baja telah didefinisikan dengan tepat. Pada kondisi normal kurva bilinear regangan-tegangan diasumsikan dengan kekuatan baja diabaikan. Bilamana peningkatan kekuatan mampu menyebabkan kondisi yang tidak menguntungkan, perencanaan akan menggunakan kekuatan tambahan dengan kekuatan berdasarkan kurva actual regangan-tegangan baja.

Asumsi ketiga sangat tepat, dimana banyak kekuatan tegangan yang ada pada beton dibawah sumbu netral sangat kecil.

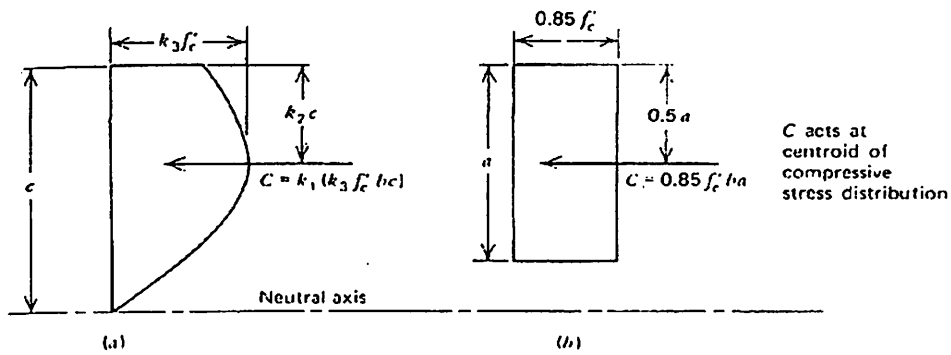
Asumsi keempat sangat diperlukan untuk memperkirakan perilaku sesungguhnya pada bagian . Saat tegangan pada bagian beton yang mengalami tekan proporsional dengan jarak dari sumbu netral, bentuk dari kurva regangan-tegangan mengindikasikan bentuk dari blok tegangan tekan pada berbagai tahap pembebanan.

Gambar 2.6 menunjukkan perubahan bentuk pada blok tegangan pada saat momen pada bagian suatu balok meningkat. Suatu bagian mencapai kuat lentur (hambatan momen maksimum) ketika gaya tekan total pada beton dikalikan dengan jarak jd maksimum. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 48 – 50).



Gambar 2.2 Distribusi Tegangan Dan Regangan pada Penampang Beton yang Tertekan Dimana Momen Tekuk Meningkat hingga Kekuatan Lentur
(a) *Beam element* (b) Hubungan antara distribusi tegangan tekan dengan profile tegangan a, b, c, dan d

Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 50)



Gambar 2.3 Distribusi Tegangan Tekan pada Zona Tekan Suatu Penampang Persegi Beton
 (a) Distribusi aktual (b) Distribusi ekuivalen penampang persegi
 Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Sifat dari blok tegangan tekan pada bagian yang mengalami momen maksimum dapat didefinisikan dengan parameter k_1 , k_2 , dan k_3 pada gambar 2.7 . Untuk penampang segiempat dengan lebar b dan tinggi efektif d , gaya tekan total pada beton menjadi $k_1(k_3 \cdot f_c \cdot b \cdot c)$ dan *internal level arms* adalah $d - k_2 \cdot c$, dimana c adalah kedalaman garis netral.

Nilai yang didapatkan untuk parameter blok tegangan beton dengan variasi agregat sand-gravel dengan kekuatan silinder f_c ditunjukkan pada tabel 2.1 .Nilai-nilai tersebut berhubungan dengan nilai maksimum $k_1 k_3$ yang didapatkan dari setiap pengujian. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 50 – 52).

Tabel 2.1 Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi Berdasarkan *PCA Test On Unconfined Specimens*

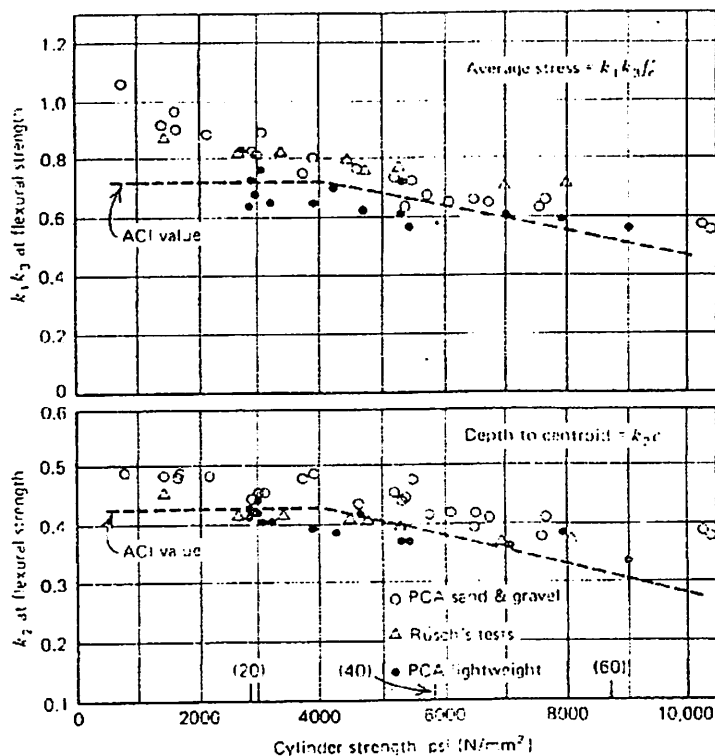
f_c		k_1	k_2	k_3	v_c
psi	N/mm ²				
2000	13.8	0.86	0.48	1.03	0.0037
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 52)

2.6 Blok Tegangan Persegi Ekuivalen

Untuk memperoleh kuat lentur maka besarnya nilai (k_1k_3) dan posisi (k_2) pada gaya tekan beton harus diketahui terlebih dahulu. Blok tegangan persegi ekuivalen mencapai kondisi ini dan memfasilitasi perhitungan yang besar. American practice yang direpresentasikan dengan ACI code, telah digantikan dengan blok tegangan persegi ekuivalen actual .

(R.Park dan T. Paulay, 1975 : 52 – 53).



Grafik 2.5 Sifat Distribusi Tegangan Tekan Pada Beton Pada Kekuatan Lentur Suatu Penampang Persegi ; Berdasarkan Parameter ACI Dan Hasil Test
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 53)

Penampangpersegi memiliki tegangan $0,85f_c$ dan tebal a , dimana $a/c = \beta_1 = 0.85$ untuk $f_c \leq 4000$ psi (27.6 N/mm²); β_1 dikurangi secara terus menerus

dengan 0.05 untuk setiap 1000 psi (6.89 N/mm²) dari kekuatan lebih 4000 psi (27.6 N/mm²).

Untuk gaya tekan resultan pada kondisi actual dan blok tegangan ekuivalen pada gambar 2.7 memiliki besar dan tipe garis yang sama dan nilai paramaeternya yaitu:

$$C = k_1 k_3 f'c bc = 0,85 f'c ba \rightarrow k_1 k_3 = 0,85 a/c = 0.85 \beta_1 \quad (2.5)$$

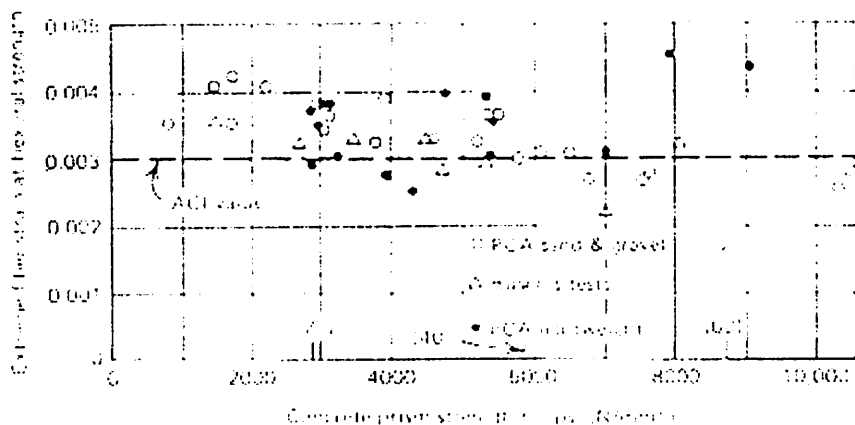
$$\text{dan } k_2 c = 0.5 a \rightarrow k_2 = 0,5 a/c = 0.5 \beta_1 \quad (2.6)$$

nilai ($k_1 k_3$) dan (k_2) dari rumus 2.5 dan 2.6 , dengan nilai β_1 yang disarankan dari ACI dibandingkan dengan nilai aktual yang didapatkan dari pengujian benda uji oleh PCA dan Rüsç pada gambar 2.8. Perbandingan didasarkan penelitian oleh Mattock, Kriz, dan Hognestad. Haltersebut menunjukkan nilai yang disarankan untuk sifat blok tegangan persegi dapat dipastikan mendekati dengan nilai eksperimental.

Hasil eksperimen yang tersebar jelas mengindikasikan bahwa penggunaan nilai-nilai yang lebih rumit pada parameter blok tegangan persegi tidak dibenarkan. Tambahan, terdapat beberapa hasil yang ditunjukkan gambar 2.8 untuk kekuatan silinder yang melebihi 8000 psi (55.2 N/mm²). Bagaimanapun kemunculannya dari kecenderungan hasil dalam grafik parameter blok tegangan ACI adalah konservatif untuk kekuatan silinder yang lebih dari 8000 psi. Tentu saja hal tersebut harus dipertimbangkan bahwa parameter ACI tidak konservatif sebagaimana pada beton mutu tinggi. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 53 – 54).

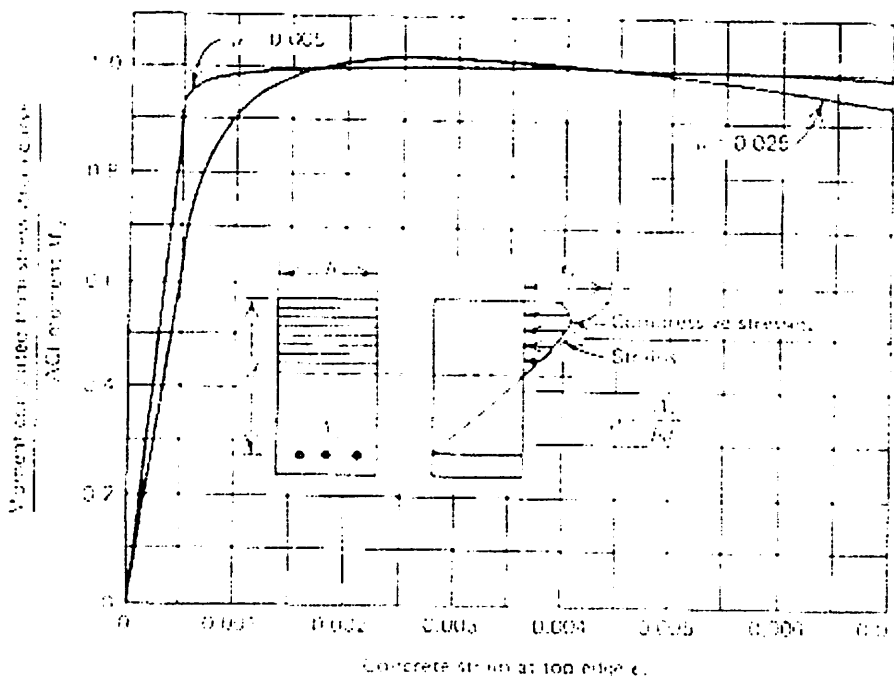
2.7 Regangan Beton Pada Kekuatan Lentur

American practice (ACI 318-71) direkomendasikan untuk tegangan maksimum 0.003 pada serat beton dengan gaya tekan ekstrim pada bagian yang mengalami kuat lentur. Regangan ketika k_1k_3 atau hambatan momen pada suatu penampang adalah maksimum telah diukur melalui berbagai penyelidikan. Nilai yang didapatkan dari PCA dan Rüsck pada benda uji yang tidak dibatasi ditunjukkan pada gambar 2.9 dimana diambil dari referensi 2.10. Gambar tersebut mengindikasikan jika 0.003 merupakan nilai yang cukup layak. Pada regangan ini, beton yang tertekan pada balok lentur tidak akan secara normal menunjukkan retakan-retakan yang dapat terlihat walaupun regangan tersebut lebih besar dari hubungan terhadap tegangan maksimum. Silinder yang dibebani secara aksial pada umumnya retak jika diregangkan melebihi tegangan maksimum, tetapi pada pengujian lentur retak tidak terlihat sampai regangan yang lebih besar telah tercapai, kemungkinan disebabkan adanya tegangan yang lebih kecil pada material mendekati garis netral. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 54 – 55).



Grafik 2.6 Regangan Beton pada Serat Tekan Ekstrim pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi, berdasarkan Nilai ACI dan Hasil Pengujian
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 54)

Perkiraan kekuatan lentur pada balok beton bertulang biasanya relative kurang peka terhadap nilai regangan beton maksimum yang diasumsikan. Gambar 2.10 didapat berdasarkan Blame, Newmark, dan Corning membuat titik ini sangat jelas. Untuk penampang balok beton bertulangan tunggal dan tulangan ganda adalah berbeda untuk gaya tarik baja masing-masing kondisi. Rasio momen hambatan dihitung berdasarkan kurva regangan-tegangan untuk beton dengan momen hambatan yang dihitung berdasarkan metode ACI telah diplot pada tegangan dengan serat tertekan ekstrim. Kurva regangan-tegangan digunakan pada analisa awal terhadap silinder dengan kekuatan kurang lebih 3600 psi (22.11 N/mm²). (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 55).



Grafik 2.7 Kurva Momen Regangan untuk Balok Beton Bertulangan Tunggal berdasarkan Pengujian Silinder
 Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 55)

Area di bawah kurva tegangan regangan dan centroid telah ditentukan untuk variasi tegangan dan menetapkan nilai k_1 , k_3 dan k_2 batasan untuk regangan serat ekstrim ϵ_c . Kemudian momen kapasitas pada penampang dengan tulangan ganda dihitung untuk variasi tegangan pada serat ekstrim dan dibandingkan dengan kekuatan lentur yang dihitung berdasarkan kode ACI. Pada regangan tekan serat ekstrim 0.007 penurunan momen hambatan lebih kecil dari 1 % untuk $\rho = 0.005$ dan kurang dari 6 % untuk $\rho = 0.025$. Nilai yang ditentukan untuk regangan beton serat ekstrim tersebut memiliki pengaruh pada kekuatan lentur balok dengan batasan yang lebar. Bagaimanapun, untuk pembebanan eksentris pada kolom dengan kegagalan tekan, perubahan pada parameter blok tegangan yang terjadi seiring dengan peningkatan regangan serat ekstrim akan menyebabkan perubahan pada kekuatan lentur dengan regangan yang lebih besar. Perbedaannya sangat jelas dimana kurva pada penampang tersebut sangat bergantung pada nilai yang diambil untuk serat ekstrim. Untuk perhitungan kurva ultimate akan terlihat lebih layak untuk mengambil nilai yang lebih tinggi dari 0.003. Blume, Newmark dan Corning merekomendasikan nilai 0.004 untuk perhitungan kurva ultimate menyangkut beton yang tidak dibatasi.

(R.Park dan T. Paulay, 1975 : 56).

2.8 Pengaruh Pembebanan Secara Perlahan Dengan Pembebanan Terus Menerus

Parameter blok tegangan yang dibuat oleh PCA dan Rüsç digunakan pada pengujian dengan tempo pembebanan yang singkat. Pengaruh pembebanan secara perlahan dengan pembebanan secara terus menerus sangat menarik. Indikasi terhadap bentuk kurva tegangan-regangan dengan beban perlahan ditunjukkan gambar 2.5 . Bagaimanapun, kurva tersebut tidak dapat merepresentasikan bentuk blok tegangan tekan pada balok lentur dengan tegangan konstan, dimana balok menerima beban eksternal secara perlahan, perubahan kecepatan regangan memotong zona tekan menjadi maksimum pada serat tekan ekstrim dan nol pada sumbu netral. Bagaimanapun, parameter blok tegangan tekan pada pembebanan perlahan dapat dihitung dari kurva tegangan – regangan untuk kurva regangan yang bervariasi. Perbedaan terbesar dari parameter yang singkat akan terlihat pada pembebanan terus menerus. Pembebanan terus menerus menyebabkan reduksi pada kekuatan beton dan regangan tekan menjadi lebih tinggi pada pengembangan kekuatan lentur balok. Dikarenakan tidak pantas memberikan faktor beban yang lebih kecil untuk kasus pembebanan terus menerus hingga overload dan faktor reduksi kapasitas ϕ yang digunakan untuk perencanaan kolom adalah rendah, maka jelas bahwa parameter blok tegangan pada pengujian dengan pembebanan secara singkat dapat digunakan untuk perencanaan dengan semua kondisi pembebanan.

(R.Park dan T. Paulay, 1975 : 58).

2.9 Ringkasan Dan Rekomendasi Untuk Menentukan Kekuatan Penampang Terhadap Lentur Dan Aksial

Asumsi untuk menentukan kekuatan penampang dengan lentur dan aksial

1. Potongan melintang sebelum dan sesudah mengalami tekuk
2. Distribusi tegangan beton persegi sebesar $0.85 f'_c$ dan tebal dari daerah tekan $\beta_1 c$ dimana c adalah jarak sumbu netral. Nilai β_1 adalah 0.85 untuk $f'_c \leq 4000$ psi ($27,6 \text{ N/mm}^2$) dan berkurang secara kontinyu dengan rate 0.005 setiap 1000 psi ($6,89 \text{ N/mm}^2$) pada kekuatan lebih dari 4000 psi ($27,6 \text{ N/mm}^2$).
3. Daya rentang beton diabaikan
4. Regangan beton pada serat ekstrim pada kekuatan lentur balok diambil 0.003
5. Tegangan baja lebih rendah daripada f_y diambil sebagai regangan baja dikalikan modulus elastisitas $29 \cdot 10^6$ psi ($0,2 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$). Untuk regangan lebih tinggi daripada f_y , tegangan baja dipertimbangkan menjadi kondisi pada f_y .
6. Diatas tegangan tekan beton dan distribusi tegangan digunakan untuk balok dengan area tekan non persegi, bagaimanapun, penggunaan parameter yang lebih akurat berdasarkan kurva regangan-tegangan beton lebih diutamakan.
7. Pengaruh pembebanan terus menerus diabaikan.

(R.Park dan T. Paulay, 1975 : 58-59).

2.10. Kekuatan balok lentur

Balok adalah elemen struktur yang menerima beban eksternal transversal yang mengakibatkan momen tekuk dan gaya geser sepanjang balok. Kekuatan lentur (bending) pada penampang balok dipertimbangkan pada bagian ini.

2.10.1 penampang persegi

2.10.1.1 Analisis penampang dengan tulangan ganda

Gambar 2.11 menunjukkan penampang dengan tulangan ganda ketika kekuatan lentur tercapai. Bergantung pada letak dan luas penampang tekan, kuat tarik dan tekan baja kemungkinan tidak pada f_y (*yield strength*) ketika momen maksimum tercapai. Bagaimanapun analisis pada penampang adalah paling tepat sebagai asumsi pertama bahwa semua tulangan baja mengalami *yield*, dan merubah perhitungan selanjutnya jika ditemukan bahwa hampir semua tulangan baja tidak pada kondisi *yield*.

Apabila semua tulangan mengalami *yield*, $f_s = f'_s = f_y$, dimana f_s adalah tegangan tarik baja, f'_s adalah tegangan tekan baja, dan f_y adalah tegangan *yield* baja, maka gaya internal resultan adalah :

Gaya tekan pada beton :

$$C_c = 0.85 f'_c a b \quad (2.7)$$

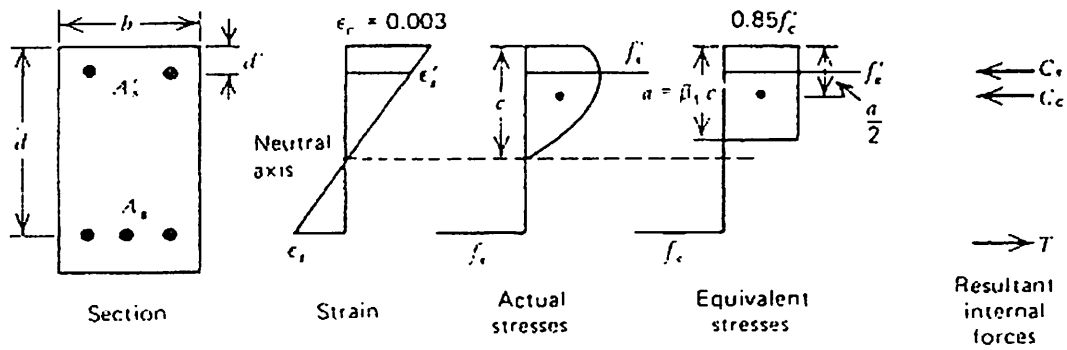
Gaya tekan pada baja :

$$C_s = A'_s \cdot f_y \quad (2.8)$$

Dimana A'_s = area tekan pada baja

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.9)$$

Dimana A_s = area tarik pada baja



Gambar 2.4 Penampang Beton Bertulangan Ganda pada Kondisi Tercapainya Kekuatan Lentur
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 79)

Persamaan kesetimbangan :

$$C - C_c + C_s = T \quad \therefore \quad 0.85 f'c ab + A's \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

$$\therefore \quad a = \frac{(A_s - A's) \cdot f_y}{0.85 f'c \cdot b} \quad (2.10)$$

Diagram tegangan sekarang digunakan untuk memeriksa apakah baja mengalami *yield*. Baja mengalami *yield* apabila regangannya melebihi f_y / E_s .

Berdasarkan segitiga yang sama dari diagram tegangan, didapatkan :

$$\epsilon'_s = 0.003 \frac{c-d'}{c} = 0.003 \frac{a-\beta_2 d'}{a} \quad (2.11)$$

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} = 0.003 \frac{\beta_2 d - a}{a} \quad (2.12)$$

$$\therefore f's = f_y \text{ jika } 0.003 \frac{a-\beta_2 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2.13)$$

Dan

$$f_s = f_y \text{ jika } 0.003 \frac{\beta_2 d - a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (2.14)$$

Apabila kondisi ini diperoleh, asumsi bahwa semua baja mengalami *yield* adalah benar dan menggunakan momen pada gaya tarik baja, kekuatan lentur menjadi :

$$M_u = 0.85 f'c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A's f_y (d - d') \quad (2.15)$$

dimana a didapatkan dari rumus 2.10

Bilamana memeriksa rumus 4.30 dan 4.31 yang menyatakan jika baja tidak mengalami *yield*, nilai dari rumus 2.10 tidak tepat dan tegangan aktual dan a harus dihitung dari persamaan kesetimbangan dan diagram regangan :

Persamaan secara umum :

$$a = \frac{A's f_s - A's f' s}{0.85 f' c . b} \quad (2.16)$$

dimana berdasarkan diagram regangan :

$$f' s = \epsilon'_{s'} E_s = 0.003 \frac{\alpha - \beta_s d'}{\alpha} E_s \text{ atau } f_y \quad (2.17)$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_s d - \alpha}{\alpha} E_s \text{ atau } f_y \quad (2.18)$$

dan kemudian :

$$M_u = 0.85 f'c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) - A's f' s (d - d') \quad (2.19)$$

Kegagalan tarik dan tekan dapat terjadi pada balok bertulangan ganda, juga pada balok bertulangan tunggal. Pada kegagalan tarik, tulangan baja mengalami *yield* tetapi pada kegagalan tekan, tulangan tarik tetap pada batas elastis; pada kedua tipe kegagalan, tulangan tekan kemungkinan tidak mengalami *yield*. Pada balok praktis, tulangan tarik selalu mengalami *yield* dan umumnya regangan pada level tulangan tekan sebesar tegangan *yield*. Nilai yang lebih besar pada a dan yang lebih kecil pada d' dan fy, kemungkinan lainnya adalah tulangan tekan mengalami *yield*. Daripada mengembangkan rumus umum untuk semua kasus, lebih baik untuk menyelesaikan setiap kasus secara numeric berdasarkan prinsip awal.

Rumus umum, jika disesuaikan didapatkan dari penelitian Mattock, Kriz dan Hognestad. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 79 – 81).

2.10.2 Desain penampang berulang ganda

Tulangan tekan kemungkinan diperlukan pada desain untuk alasan berikut :

1. Bila balok pendek digunakan, kekuatan lentur didapatkan dari ρ_{max} kemungkinan tidak cukup. Kapasitas momen harus ditingkatkan dengan menggunakan tulangan tekan dan tulangan tarik tambahan. Jarang digunakan pada desain dikarenakan nilai ρ_{max} yang diijinkan metode desain kekuatan lebih tinggi daripada ρ balance pada desain balok dengan metode desain alternative (working stress method).

Contohnya untuk balok dengan $f'c = 3000$ psi ($20,7$ N/mm²) dan $f_y = 40000$ psi (276 N/mm²), kekuatan desain ρ_{max} sebesar 0.0278 dan tegangan yang bekerja pada perencanaan ρ balance sebesar 0.0128 . Walaupun tulangan tekan tersebut dibutuhkan pada metode desain tegangan yang bekerja, hal tersebut jelas dibutuhkan pada metode desain kekuatan untuk mempertinggi kekuatan lentur.

2. Tulangan tekan kemungkinan digunakan pada desain untuk meningkatkan daktilitas penampang pada kekuatan lentur. Maka jelas bila tulangan tekan pada penampang, jarak sumbu netral akan mengecil karena gaya tekan internal dibagi oleh beton dan tulangan

tekan. Karena itu kurva ultimate (Cc/c) pada penampang dengan tulangan tekan akan lebih besar.

3. Tulangan tekan akan digunakan untuk mengurangi defleksi balok pada beban layan. Balok bertulangan tunggal dengan ρ_{\max} melebihi tegangan tinggi pada beton untuk beban layan. Contohnya, desain balok bertulangan tunggal untuk tebal maksimum pada contoh dengan $f'_c = 3000$ psi ($20,7$ N/mm²) memiliki tegangan maksimum pada beton 2490 psi ($17,2$ N/mm²) pada beban layan, berdasarkan teori elastisitas mengabaikan creep, walaupun tegangan baja sekitar 54 % dari f_y . Tegangan aktual pada beton lebih kecil dari bentuk kurva blok tegangan aktual, tetapi jelas jika tegangan beton akan lebih tinggi dan defleksi akan lebih besar. Defleksi dapat dicecilkan dengan mengurangi tegangan yang diterima beton. Hal ini

tercapai dengan menempatkan tulangan tekan pada penampang.

Tulangan tekan juga mengurangi defleksi jangka panjang pada balok dengan beban layan karena ketika beton mulai mengalami creep, gaya tekan pada balok cenderung disalurkan dari beton ke baja. Tegangan beton lebih rendah dan defleksi disebabkan creep sangat banyak dikurangi. Lengkung kurva penyusutan beton juga berkurang akibat tulangan tekan.

4. Pertimbangan kemungkinan kombinasi beban eksternal dibandingkan momen tekuk dapat berubah. Ini adalah kurva pada

balok portal menerus dibawah beban gravitasi dan lateral. Beberapa balok memerlukan penulangan dekat antara kedua sisi untuk menerima kemungkinan gaya rentang dank karena itu berperilaku seperti balok bertulangan ganda. Pada evaluasi penampang terhadap kekuatan lentur, selalu diabaikan adanya tulangan tekan. Pada beberapa kasus, ketepatan penaksiran kekuatan lentur pada penampang, termasuk pengaruh tulangan tekan akan diperlukan.

Desain momen hambatan balok bertulangan ganda, mengasumsikan semua tulangan mengalami *yield* seperti disimpulkan pada persamaan 2.15 :

$$Mu = \varphi \left[0.85 f'c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) - A's f_y (d - d') \right] \quad (2.20)$$

Dimana

$$a = \frac{(A_s - A's) f_y}{0.85 f'c b} \quad (2.21)$$

Sejak digunakan dalam persamaan $0.85 f'c a b = (A_s - A's) f_y$, persamaan 2.20 dapat ditulis :

$$Mu = \varphi \left[(A_s - A's) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) - A's f_y (d - d') \right] \quad (2.22)$$

Dimana a diperoleh dari persamaan 2.21

Persamaan 2.20 sampai 2.22 berasumsi bahwa tulangan tekan mengalami *yield* dan hal ini diperiksa dengan mempertimbangkan diagram regangan pada gambar

2.11. Dari segitiga yang sama pada diagram regangan, untuk tulangan tekan, dibutuhkan persamaan :

$$\varepsilon'_s = 0.003 \frac{c-d'}{c} = 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s}$$

Rumus tersebut memerlukan :

$$a \geq \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_y} \beta_1 d' \quad (2.23)$$

Persamaan 4.38 dan 4.40 menunjukkan jika tulangan tekan untuk mengalami *yield*, diperlukan :

$$\frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} \geq \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_y} \beta_1 d' \quad (2.24)$$

atau,

$$\rho - \rho' \geq \frac{0.85 f'_c \beta_1 d'}{f_y d} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f_y} \quad (2.25)$$

jika tulangan tekan tidak mengalami *yield*, tegangan di dalamnya akan diketahui dalam bentuk a , menggunakan diagram regangan. Tegangan aktual f'_s ini selanjutnya digunakan sebagai pengganti f_y untuk tulangan tekan pada persamaan untuk kekuatan lentur. tegangan yang disubstitusikan yaitu :

$$f'_s = \varepsilon'_s E_s = 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} E_s \quad (2.26)$$

rumus persamaan untuk desain menjadi :

$$Mu = \phi \left[0.85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) - A'_s f'_s (d - d') \right] \quad (2.27)$$

dimana

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f'_s}{0.85 f'_c b} \quad (2.28)$$

dengan f'_s sesuai persamaan 2.26

Rumus desain 2.20 sampai 2.28 juga berasumsi bahwa tulangan tarik mengalami *yield*. *Yield* pada tulangan baja sangat berperan untuk menghindari kegagalan rapuh (*brittle failures*). Untuk *balanced failure* (tulangan tekan mencapai *yield* dan beton mencapai regangan tekan serat ekstrim sebesar 0.003 secara simultan), segitiga yang sama pada diagram regangan gambar 2.11 menunjukkan bahwa :

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= 0.003 \frac{d-c_b}{c_b} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a_b}{a_b} = \frac{f'_s}{E_s} \\ \therefore a_b &\geq \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f'_s} \beta_1 d \end{aligned} \quad (2.29)$$

Dan untuk persamaan

$$\begin{aligned} 0.85 f'_c a_b b &= A_s f_y - A'_s f'_s \\ &= (\rho_b f_y - \rho'_s f'_s) b d \end{aligned}$$

Dimana $\rho_b = A_s / b d$ untuk balance failure dan $\rho'_s = A'_s / b d$

$$\therefore a_b = \frac{(\rho_b f_y - \rho'_s f'_s) d}{0.85 f'_c} \quad (2.30)$$

Karena itu, untuk balance failure, f'_s yang diperoleh dari persamaan 2.26 dengan $a = a_b$ dari persamaan 2.29 disubstitusi, atau sebanding dengan f_y , dimana yang paling sedikit.

$$\begin{aligned} \therefore f'_s &= 0.003 E_s \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a_b} \right) \\ f'_s &= 0.003 E_s \left[1 - \frac{d'}{a_b} \left(\frac{0.003 E_s - f'_s}{0.003 E_s} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.31)$$

Atau f_y , diambil nilai yang lebih kecil.

Persamaan 2.29 dan 2.30 memberikan :

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s - f'_s} - \frac{\rho'_s f'_s}{f_y} \quad (2.32)$$

Dimana f'_s diperoleh dari persamaan 2.31 atau f_y , nilai mana yang lebih sedikit. Bentuk pertama pada sisi kanan rumus 2.32 adalah identik dengan ρ_b untuk *balance failure* atau balok bertulangan tunggal. Hal ini harus diperkirakan, karena jarak sumbu netral, dibatasi gaya pada beton, adalah sama pada kedua kasus tersebut. Bentuk kedua pada sisi kanan rumus 2.32 adalah tulangan tekan. Untuk balok bertulangan ganda, untuk memastikan bahwa tulangan tekan mengalami *yield*, ρ harus lebih kecil dari ρ_b pada persamaan 2.32.

Untuk desain, memastikan apakah tulangan tarik mengalami *yield* dan kegagalannya tidak rapuh, maka disarankan nilai rasio tulangan ρ pada tulangan tarik balok bertulangan ganda tidak lebih dari $0,75 \rho_b$. Hal ini membutuhkan

$$\rho \leq 0,75 \left(\frac{0,85 f'_c b_e}{f_y} - \frac{0,85 E_s}{0,85 E_s - f_y} \frac{\rho' f'_s}{f_y} \right) \quad (2.33)$$

Dimana f'_s diperoleh dari persamaan 2.31 atau f_y , nilai mana yang lebih sedikit. Cara lainnya, kebutuhan dimana gaya tarik tulangan dibatasi 0.75 dari total gaya tekan (beton dan baja) pada *balanced failure*.

(R.Park dan T. Paulay, 1975 : 83 – 87).

2.11. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan

1. Yudianto, Nur (2008)

Dalam penelitian yang berjudul , *“Pengaruh Pengekangan Pada Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Sesuai Dengan Model Tegangan Regangan Beton Dan Tegangan Blok Ekuivalen”* dijelaskan bahwa Pengekangan pada balok dapat meningkatkan kuat lentur, hal ini dikarenakan adanya tulangan transversal (sengkang) yang terpasang disepanjang bentang balok. Dalam prakteknya, semua balok yang baik dilengkapi dengan tulangan sengkang. Sejauh ini, tulangan sengkang hanya diperhitungkan untuk menahan gaya dalam geser saja. Selama ini, untuk menganalisis kapasitas lentur didasarkan pada kode bangunan yang mengadopsi hubungan tegangan-regangan beton tak terkekang yang disederhanakan menjadi tegangan blok ekuivalen. Untuk menghasilkan prediksi yang lebih baik dalam menganalisis kuat lentur pada balok beton bertulang, efek pengekangan harus dipertimbangkan sebagai pengganti dari penggunaan model tegangan-regangan beton tak terkekang.

Untuk menganalisis efek (pengaruh) pengekangan lateral terhadap penambahan kapasitas balok, dilakukan suatu studi terhadap perilaku balok balok beton bertulang yang terkekang. Karena perhitungan yang cukup rumit dengan iterasi yang panjang, maka dibutuhkan suatu program komputer sebagai alat bantu. Untuk mencapai tujuan studi ini, sebuah program sederhana dikembangkan dengan memakai bahasa pemrograman Visual Basic 6.0. Program bantu ini dinamakan ConBeam v.1.0.0, dan dapat diaplikasikan

untuk balok penampang persegi dengan tulangan tunggal atau rangkap. Prosedur analisis program ini juga mengadopsi beberapa model hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan disederhanakan menjadi tegangan blok.

Dari studi ini dapat disimpulkan bahwa pengekangan lateral mempengaruhi bentuk dan besarnya kurva tegangan regangan beton. Perubahan ini jelas terlihat dari nilai tegangan puncak, regangan puncak dan regangan ultimatenya. Perubahan bentuk kurva ini mempengaruhi luas area desak beton, yang tentunya juga menambah besarnya gaya tekan beton (C_c). Selanjutnya, penambahan nilai C_c berpengaruh pada penambahan kapasitas balok. Penambahan paling besar terjadi pada saat balok dalam kondisi keruntuhan tekan. Kondisi ini diijinkan manakala mengadopsi Unified Design Provision yang baru. Untuk kondisi keruntuhan tarik, penambahan yang terjadi tidak begitu besar.

2. Mulyadi MTS (2010)

Dalam penelitian yang berjudul ,“ *Perilaku Balok Beton Busa Bertulang (Reinforced Foamed Concrete) Di Bawah Beban Statik* “ dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan untuk mengetahui perilaku balok beton busa bertulang (reinforced foamed concrete) dibawah beban statik, menggunakan 6 (enam) buah benda uji dengan ukuran dan tulangan yang bervariasi. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji ada yang berumur 28 hari sesuai dengan berat jenis yang direncanakan. Kuat tekan yang

diperoleh untuk Kubus adalah 93,89 Kg/cm² (28 hari). Pada pengujian pembebanan, untuk balok I dan II pada beban maksimum mengalami retak geser, begitu juga dengan balok III dan IV. Sedangkan untuk balok V dan VI, setelah diberikan beban secara bertahap mengalami retak lentur yang secara bertahap diikuti retak geser sampai balok mengalami kehancuran. Balok I dengan rasio $h/b = 2$, rasio tulangan $A_s/b.d = 0,0136$, menahan beban maksimum sebesar 4,55 ton dengan defleksi maksimum 2,5 cm, balok III dan IV dengan rasio $h/b = 2$, rasio tulangan $A_s/b.d = 0,007$ menahan beban maksimum sebesar 4,33 ton dan defleksi maksimum 5,5 cm adalah berperilaku geser dengan jarak sengkang 75 mm. Balok V dan VI dengan rasio $h/b = 1,33$, rasio tulangan $A_s/b.d = 0,10$ menahan beban maksimum sebesar 2,10 ton dan defleksi maksimum 3,5 cm berperilaku lentur dengan jarak sengkang 75 mm.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pengujian dilakukan di :

1. Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil
Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang
2. Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional (ITN)
Malang
3. Laboratorium Beton Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya

3.2. Metode Penelitian

1. Studi Literatur, merupakan referensi sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian serta sebagai bahan kajian terhadap teori-teori yang ada.
2. Studi eksperimen, bertujuan untuk mendapatkan data-data pengujian yang akan dianalisis lebih lanjut.

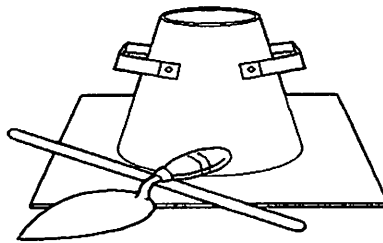
3.3. Peralatan dan Bahan

3.3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*), dengan kapasitas
0,15 m³.

- b. Tongkat pemadat, dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 0.6 m. Digunakan untuk memadatkan adukan beton di dalam cetakan, sehingga didapatkan beton yang padat dan tidak keropos.
- c. Kerucut Abrams, terbuat dari pelat baja berbentuk kerucut berlubang dengan diameter lubang atas 10 cm dan diameter lubang bawah 20 cm serta tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan alas plat baja dan tongkat baja diameter 16 mm, panjang 60 cm sebagai alat pemadat. Kerucut Abrams digunakan untuk pengujian nilai slump dari suatu adukan beton saat pengecoran.



Gambar 3.1. Peralatan Slump Test

- d. Cetakan balok berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan panjang 200cm.
- e. Cetakan benda uji mortar.
- f. Gelas ukur
- g. Seperangkat saringan dan timbangan.
- h. Bak air untuk perendaman perawatan beton (moist curing)
- i. Kompor dan Tempat untuk mencairkan belerang
- j. Alat pemotong tulangan

- k. Alat pembengkok tulangan (bending)
- l. *Torsee Loading Machine*, kapasitas 100 ton.
- m. Alat uji tekan beton.
- n. *Dial gauge*, alat pengukur slip.

3.3.2. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan ialah :

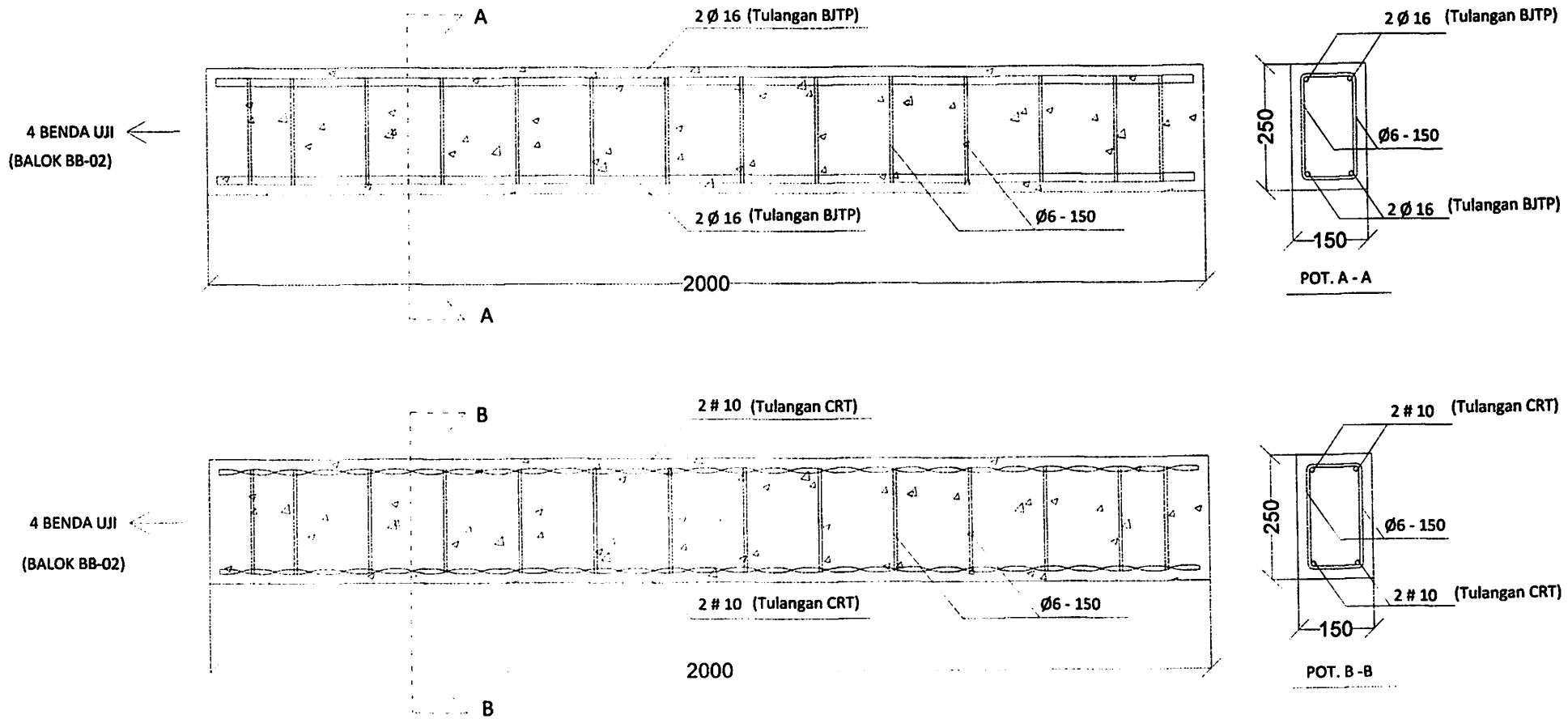
- a. Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar yang dipakai merupakan produksi dari PT. Alim Surya Steel.
- b. Diameter tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (\varnothing_t) = 10 mm,
- c. Diameter tulangan BJTP yaitu 16 mm
- d. Semen portland yang digunakan adalah Semen Gresik tipe I, sesuai ASTM C 150-02a.
- e. Air yang digunakan sesuai ACI Committee 363, yakni air PDAM.
- f. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang memenuhi ASTM C33-02.
- g. Agregat halus yang digunakan adalah pasir kali yang memenuhi ASTM C33-02, C87-02 dan C 136-02.
- h. Benda uji balok dengan penampang 250 x 150 mm dengan panjang = 2000 mm.
- i. Alat yang digunakan berupa *Torsee Loading Machine* (ASTM, C1245-93)

3.4. Populasi dan Sampel

Total benda uji yang digunakan sebanyak 6 benda uji dengan ukuran seragam dan berupa balok beton bertulang. Benda uji yang mewakili dari populasi tersebut adalah sampel. Adapun spesifikasi tulangan yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Variasi benda Uji

Kode Benda Uji	Dimensi Balok	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Jumlah Benda Uji
BB - 01	150 x 250 x 2000 mm	CRT # 10 mm	Ø 6 - 150 mm	4 buah
BB - 02	150 x 250 x 2000 mm	BJTP Ø16 mm	Ø 6 - 150 mm	4 buah



Gambar 3.2 Model Benda Uji Balok BB-01 dan BB-02

3.5. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini, perancangan campuran beton menggunakan campuran beton mutu rendah yang sudah ada (yang baik) dan didasarkan pada pedoman SNI 03-2847-2002 dan Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Mutu rendah, sehingga tidak perlu membuat suatu prosentase campuran sendiri.

3.6. Prosedur Penelitian

3.6.1. Pemeriksaan Material Beton

Sebelum digunakan dalam campuran beton, terlebih dahulu material-material beton diuji. Pengujian material terbatas pada sifat-sifat fisik yaitu pemeriksaan gradasi agregat, kadar air, berat jenis, penyerapan (*absorpsi*), berat isi, dan analisa kekuatan beton karakteristik ($f'c$).

3.6.2. Perencanaan Campuran Beton

Metode perencanaan yang digunakan berdasarkan MCP 211-ACI-2006 dengan menggunakan material pasir Pasuruan dan kerikil dari Jawa Timur.

3.7. Pelaksanaan Penelitian

3.7.1. Persiapan bahan

Tujuan dari kegiatan ini adalah agar selama penelitian dilakukan bahan yang akan dipakai (teliti) sudah siap untuk digunakan dan tentunya berdasarkan pada persyaratan yang diatur didalam ASTM C1436-99, sehingga nantinya didapatkan hasil campuran beton yang

baik (sesuai standar peraturan). Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Tulangan diperiksa tegangan tarik, modulus elastisitasnya dan diameternya.
- b. Pemeriksaan gradasi dari agregat halus (pasir), sesuai ASTM C 136-02.
- c. Penyaringan ukuran agregat kasar, maksimal berukuran 20 mm dan dicuci.

3.7.2 Perhitungan rencana campuran beton

Tujuan perhitungan rencana campuran beton adalah untuk mendapatkan suatu campuran beton yang tepat (sesuai dengan mutu yang dipakai). Dalam hal ini peneliti menggunakan campuran beton mutu tinggi yang sudah ada (yang baik) dan didasarkan pada pedoman SNI 03-2847-2002 dan Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Mutu Tinggi, sehingga tidak perlu membuat suatu prosentase campuran sendiri. Akan tetapi dalam penelitian ini nantinya menggunakan beton readymix atau jayamix.

3.7.3 Proses pembuatan benda uji

Tujuan dari proses pembuatan benda uji adalah untuk membuat benda uji yang dipakai di dalam penelitian dengan mengacu pada standar benda uji yang diatur di dalam peraturan baik nasional maupun internasional. Adapun langkah-langkah yang dilakukan, antara lain :

a. Penentuan dimensi benda uji

Proses ini bertujuan membatasi di dalam pembuatan bentuk dan dimensi benda uji tidak menyimpang jauh dari yang disyaratkan, tetapi di dalam penelitian ini dimensi benda uji berbentuk balok dengan ukuran 250 mm x 150 mm dengan panjang 2000 mm, dengan anggapan bahwa tidak terjadi retak transversal akibat penarikan tulangan.

b. Penentuan jumlah benda uji

Tujuan dari proses ini adalah untuk membatasi pada permasalahan yang dibahas di dalam penelitian, selain itu juga disesuaikan pada perlakuan pengujian yang akan dilakukan. Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah balok dengan ukuran 250 x 150 panjang 2000 mm berjumlah 6 bh. Dalam menentukan panjang tulangan yang tertanam dalam beton digunakan persamaan 2.8 untuk tes l_d dengan asumsi lebih kecil, sama dengan dan lebih besar dari hasil persamaan dan dan 5ϕ untuk tes μ (tegangan lekat). Adapun variasi benda uji dapat dilihat pada tabel 3.1, seperti di bawah ini ;

c. Pengecoran benda uji

Tujuan dalam proses ini adalah untuk mencampur bahan-bahan pembentuk beton menjadi suatu beton dengan bentuk dan ukuran yang sudah ditentukan. Selama pengecoran dijaga agar tidak terjadi rongga dengan cara melakukan pemadatan baik secara

manual maupun dengan *internal vibrator*. Selain itu perlu dihindarkan terjadinya segregasi dengan cara membatasi lama waktu penggetaran. Pada saat pengecoran, diambil beton untuk pengujian silinder, sehingga dapat diketahui $f'c$ aktual sebagai data dalam perhitungan model matematis. Masing-masing pengadukan diambil 2 sampel silinder beton, untuk menguji kuat tekan dan kuat tarik belah beton.

3.7.4 Pengujian Mutu Beton $f'c$

- 1). Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap silinder beton dengan tujuan untuk memastikan apakah campuran yang dipakai sudah memenuhi kriteria mutu beton yang dipakai berdasarkan ASTM C234. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam uji tekan beton antara lain luas penampang dan gaya tekan yang diberikan. Sehingga untuk mengetahui kuat tekan beton dapat dicari dari rasio antara gaya dan luas penampang silinder, dari sini dapat diketahui berapa $f'c$ beton yang ada, yaitu $f'c = \text{rasio} \times 0,83$.
- 2). Pengujian kuat tarik, dilakukan dengan uji belah silinder (*tensile splitting cylinder*), hal ini bertujuan untuk mengetahui kuat tarik beton berdasarkan mutu beton yang dipakai ($f'c$ 22,5 Mpa). Kuat tarik belah beton dihitung berdasarkan SK SNI M-60-1990-03 pasal 3.8, disebutkan bahwa kuat tarik belah dari benda uji dihitung sampai dengan ketelitian 0,05 Mpa. Benda uji silinder

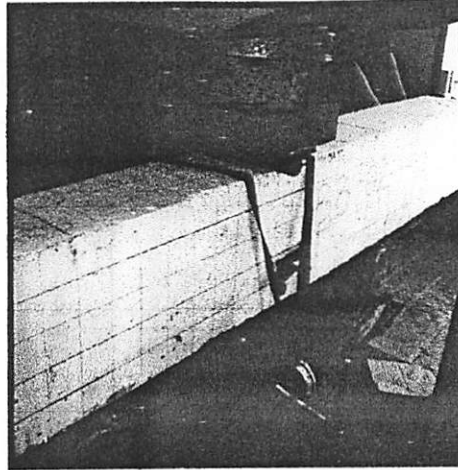
yang digunakan mempunyai ukuran panjang 300 mm dan diameter 150 mm.

3.7.5 Pengujian tarik baja

Untuk uji tarik tulangan baja dilakukan sesuai ASTM C370-94 yang bertujuan untuk mengetahui kuat tarik maksimum dari tulangan baja yang digunakan sebagai benda uji. Di dalam penelitian ini dipakai tulangan *Cold Rolled & Twisted Bar* (CRT) dan BJTP, selain itu juga dilakukan pengukuran terhadap diameter dan luas penampang tulangan. Parameter yang digunakan untuk menghitung tegangan tarik baja adalah gaya maksimum dan luas penampang tulangan.

3.7.6 Pengujian Kuat Lentur Balok

Pengujian kuat lentur balok beton bertulang ini dilakukan dengan menempatkan benda uji balok pada dua tumpuan sederhana dan memberikan sebuah beban terpusat dengan jarak setengah bentang seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3. Beban ditingkatkan secara bertahap dengan peningkatan tertentu sampai balok mengalami keruntuhan. Data yang diambil dalam penelitian ini adalah model keruntuhan balok dan nilai beban dan lendutannya.



Gambar 3.3 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok

Selain pencatatan data yang dihasilkan dari pengukuran, juga diadakan pengambilan data berupa foto masing-masing benda uji sesudah di uji sehingga terlihat hasil dari penelitian ini dan mungkin dapat membantu dalam membuat kesimpulan dari hasil penelitian ini. Semua grafik dan foto dari hasil pengujian disajikan dalam laporan ini.

3.8. Metode Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk analisis, diperoleh dari hasil pemeriksaan material dan pengujian benda uji di laboratorium. Data-data tersebut adalah:

Tabel 3.2 Data Analisis

Analisis Pemeriksaan Material	Analisis Pengujian Benda Uji
Analisa saringan agregat kasar dan halus	Kuat tekan beton
Pemeriksaan material lewat saringan no.200	Kuat tarik belah
Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (pasir)	Kuat tarik baja
Pemeriksaan kadar air agregat	Pengujian kuat lentur
Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar	
Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus	
Pengujian keausan agregat (abrasi tes) dengan menggunakan alat lost angeles	

3.9. Teknik Analisa Data

3.9.1. Analisa pada penelitian

- a. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa
- b. Pengujian kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa
- c. Pengujian kuat geser balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa

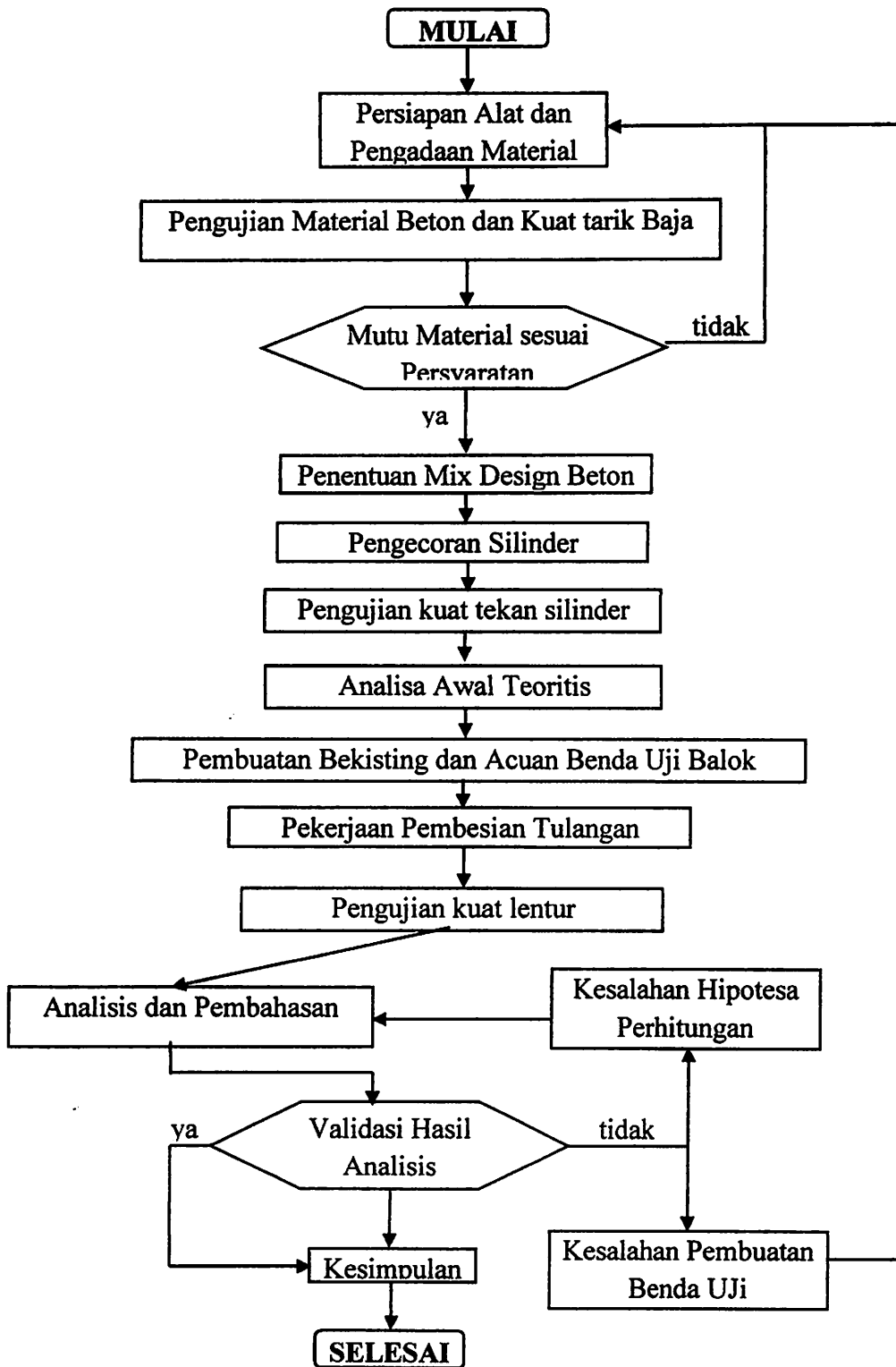
3.9.2. Analisa Eksperimental

- a. Dari eksperimen diperoleh data besar kuat lentur dan kuat geser balok , tegangan dan regangan tulangan CRT dan BJTP
- b. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa
- c. Pengujian kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa
- d. Pengujian kuat geser balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton $f'c$ 22,5 MPa
- e. Point b sampai d dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan terhadap tulangan BJTP dan tulangan CRT.

f. Point b sampai d dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat perbandingan kuat lentur dan geser terhadap tulangan BJTP dan tulangan CRT.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, bahwa rumus/persamaan yang ada hanya berlaku pada tulangan polos dan deform (ulir), maka untuk menentukan rumus/persamaan untuk kuat lentur dan kuat geser balok dengan tulangan CRT akan dilakukan suatu pendekatan rumus/persamaan berdasarkan dari grafik hasil penelitian. Akan tetapi sebagai *pembanding* akan digunakan rumus/persamaan dari hasil penelitian Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson, R. Park dan T. Paulay maupun SNI 03-2847-2002.

3.10. Bagan Alir Proses Penelitian



Gambar 3.4 Bagan Alir Proses Penelitian

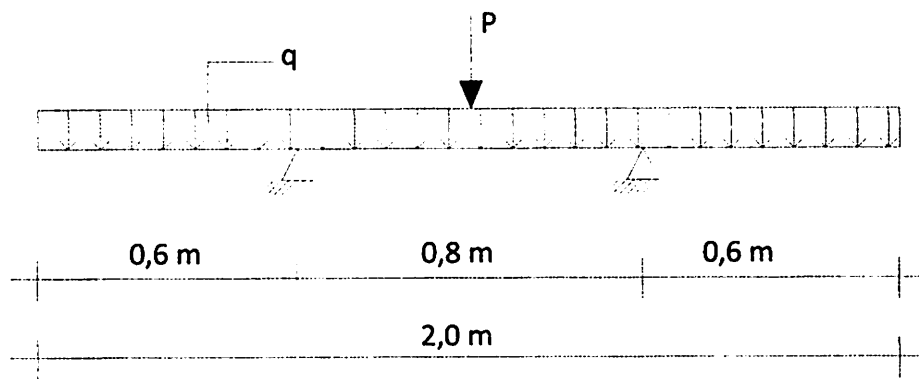
3.11 Analisa Teoritis

3.11.1 Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10

a. Data benda uji :

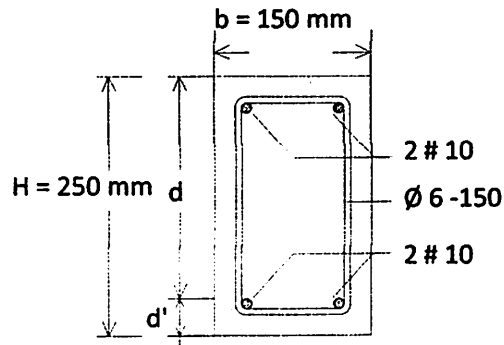
- Type : Balok beton bertulang
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton ($f'c$) : 24,52 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 455 MPa
- Tulangan utama : CRT # 10 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

b. Model Pengujian Kuat Lentur



Gambar 3.5 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan CRT #10

c. Kontrol momen CRT #10



Gambar 3.6 Penampang Balok dengan Tulangan CRT #10

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

(Modulus elastisitas beton, SK SNI T-15-1991 ps.3.1.5, hal:9)

$$= 4700 \sqrt{24,52}$$

$$= 23.273,307 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

(Modulus elastisitas baja, SK SNI T-15-1991 ps.3.1.5, hal:9)

$$\epsilon_c = 0,003$$

(Regangan max beton tekan serat terluar, SK SNI T-15-1991 ps.3.3.2, hal:22)

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

(Regangan baja tulangan dalam keadaan leleh)

$$= \frac{455}{200.000}$$

$$= 0,0023$$

$$\beta = 0,85 \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.2, hal:22})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.1.4, hal:8})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,52}{455} \cdot \frac{600}{600+455}$$

$$= 0,02214$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.5, hal:24})$$

$$= \frac{1,4}{455}$$

$$= 0,00308$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.3, hal:23})$$

$$= 0,75 \cdot 0,02214 = 0,01661$$

Direncanakan penulangan :

$$\text{Tul.tarik } A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9,422^2 = 139,446 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tul.tekan } A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9,422^2 = 139,446 \text{ mm}^2$$

$$d' = 20 + 6 + (9,422/2) = 30,711 \text{ mm}$$

$$d = 250 - 30,711$$

$$= 219,289 \text{ mm}$$

Bila dianggap bahwa semua penulangan telah mengalami yield ,maka f'_s

= f_y dan $f_s = f_y$, dengan demikian :

A_s = Luas tulangan tarik

A'_s = Luas tulangan tekan

Dari pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik, dicari blok tegangan tekan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot B_w}$$

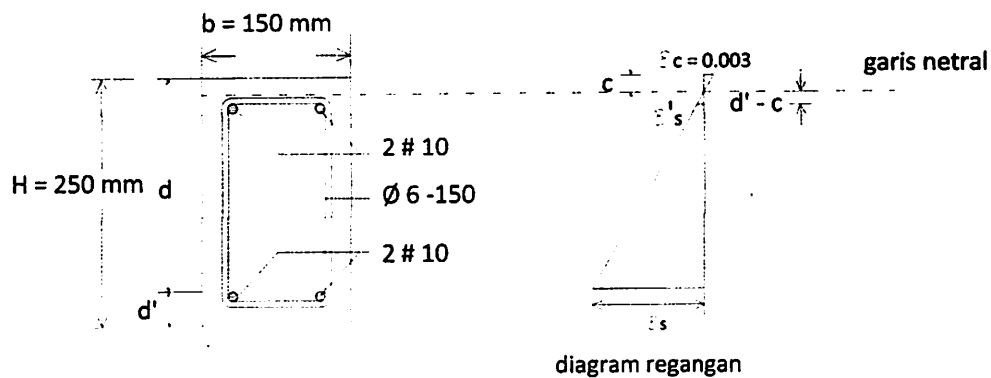
$$= \frac{139,446 \cdot 455}{(0,85 \cdot 24,52) \cdot 150} = 20,295 \text{ mm}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{20,295}{0,85} \\
 &= 23,876 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal

benar :



Gambar 3.7 Model diagram regangan tulangan CRT #10

$$\frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_c} = \frac{d' - c}{c}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{d' - c}{c} \cdot \varepsilon_c$$

$$= \frac{30,711 - 23,876}{23,876} \cdot 0,003 = 0,000859$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c$$

$$= \frac{219,289 - 23,876}{23,876} \cdot 0,003$$

$$= 0,0246$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{455}{200.000} \\ &= 0,0023\end{aligned}$$

Kondisi penulangan :

Kondisi I : Bila $\epsilon_s \geq \epsilon'_s \geq \epsilon_y$,maka anggapan awal benar dan tulangan baja tekan mengalami yield.

Kondisi II : Bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y \geq \epsilon'_s$,maka anggapan awal tidak benar dan tulangan baja tekan belum mengalami yield.

Berdasarkan perhitungan di atas, karena $\epsilon_s \geq \epsilon_y \geq \epsilon'_s$ maka penulangan masuk kondisi II.

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut

:

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f'_s = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1) c^2 + (600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A'_s \cdot d' = 0$$

$$(0,85 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85) \cdot c^2 + (600 \cdot 139,446 - 139,446 \cdot 455) \cdot c$$

$$- (600 \cdot 139,446) \cdot 30,711 = 0$$

atau memakai :

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

dimana :

$$R = \frac{600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1} \quad \text{dan} \quad Q = \frac{600 \cdot d' \cdot A'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1}$$

Dan diketahui :

$$A_s = 139,446 \text{ mm}^2$$

$$A's = 139,446 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f_y = 455 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 24,52 \text{ MPa}$$

$$b = 150 \text{ MPa}$$

$$d' = 30,711 \text{ mm}$$

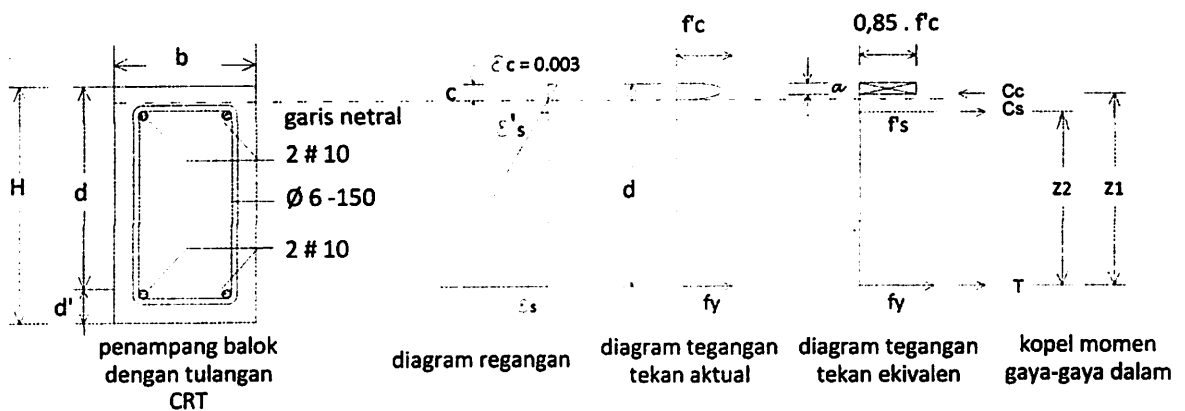
kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} R &= \frac{600 . A's - A_s . f_y}{1,7 . f'_c . B_w . \beta_1} \\ &= \frac{600 . 139,446 - 139,446 . 455}{1,7 . 24,52 . 150 . 0,85} \\ &= 3,804 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{600 . d' . A's}{0,85 . f'_c . B_w . \beta_1} \\ &= \frac{600 . 30,711 . 139,446}{1,7 . 24,52 . 150 . 0,85} \\ &= 966,945 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R \\ &= \pm \sqrt{(966,945 + 3,804^2)} - 3,804 \\ &= 27,523 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f'_s &= \epsilon'_s \cdot E_s \\
 &= \frac{(d' - c)}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\
 &= \frac{(d' - c)}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(30,711 - 27,523)}{27,523} \cdot 600 \\
 &= 69,495 \text{ Mpa} < f_y = 455 \text{ MPa} \\
 a &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0,85 \cdot 27,523 \\
 &= 23,395 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.8 Ilustrasi Diagram Regangan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Dengan Tulangan CRT #10

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen, kekuatan tekan Lentur nominal M_n dapat diperoleh.

$$\text{Syarat : } C_c - C_s = T$$

Resultante gaya tekan dari blok tegangan tekan ekuivalen :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 24,52 \cdot 23,395 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 73,139 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada tulangan tekan :

$$C_s = A's \cdot f's = 139,446 \cdot 69,495 \cdot 10^{-3} = 9,691 \text{ kN}$$

Gaya tarik pada tulangan tarik :

$$T = A_s \cdot f_y = 139,446 \cdot 455 \cdot 10^{-3} = 63,448 \text{ kN}$$

$$C_c - C_s = T$$

$$73,139 \text{ kN} - 9,691 \text{ kN} = 63,448 \text{ kN}$$

$$63,448 \text{ kN} = 63,448 \text{ kN} \dots \text{ (ok)}$$

$$Z_1 = d - \left(\frac{1}{2} \cdot a\right) = 219,289 - \left(\frac{1}{2} \cdot 23,395\right) = 207,59 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 219,289 - 30,711 = 188,58 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = (C_c \cdot Z_1) = (73,139 \cdot 207,59) \cdot 10^{-3} = 15,18 \text{ KNm}$$

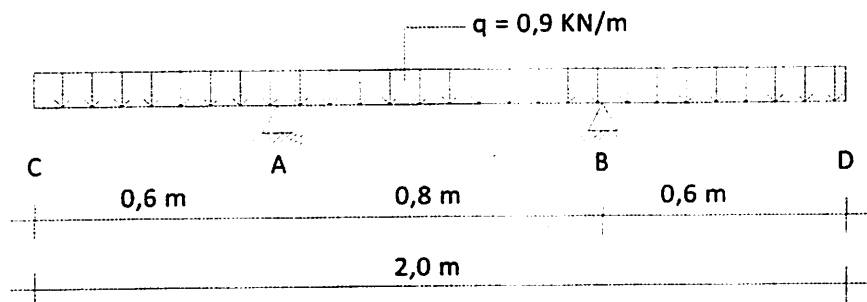
$$M_{n2} = (C_s \cdot Z_2) = (9,691 \cdot 188,58) \cdot 10^{-3} = 1,83 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_{n1} - M_{n2} = 15,18 - 1,83 = 13,36 \text{ KNm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 13,36 = 10,68 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

$$q_{bs} = b \cdot h \cdot 2400 = 0,15 \times 0,25 \times 2400 = 90 \text{ kg/m} = 0,9 \text{ kN/m}$$



Gambar 3.9 Perhitungan Momen akibat Berat Sendiri Balok dengan tulangan CRT #10

$$q = 0,9 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,1 + R_A \cdot 0,8 - 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0$$

$$R_A \cdot 0,8 = 0,72$$

$$R_A = 0,9 \text{ KN}$$

$$R_A = R_B = 0,9 \text{ KN}$$

$$\text{Kontrol : } \Sigma F_V = 0$$

$$R_A + R_B - Q = 0$$

$$0,9 + 0,9 - (0,9 \cdot 2) = 0$$

$$M_x = -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + x)) + R_A V(x) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot x^2))$$

$$D_x = -0,54 + R_A V - 0,9 x$$

$$M_{\max} \rightarrow \frac{dM_x}{dx} = D_x = 0$$

$$-0,54 + R_A V - 0,9 x = 0$$

$$-0,54 + 0,9 - 0,9 x = 0$$

$$0,36 = 0,9 x$$

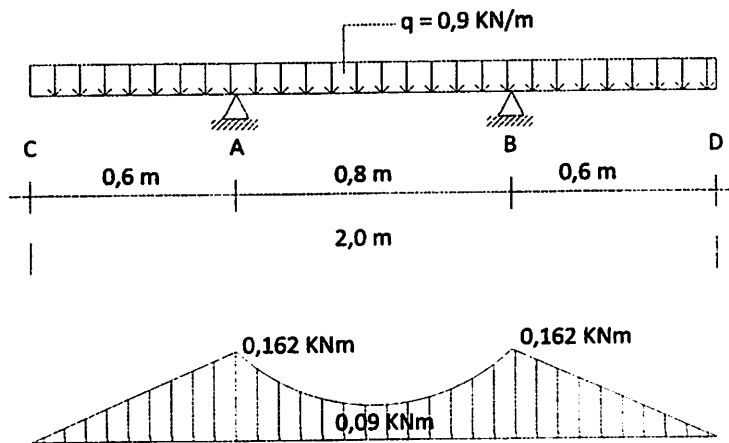
$$x = 0,4 \text{ m}$$

$$M_{\max} = -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + 0,4)) + R_A V(0,4) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot 0,4^2))$$

$$= -0,09 \text{ KNm}$$

$$M_A = 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3$$

$$= 0,162 \text{ KNm}$$



Bid . M

Gambar 3.10 Momen Maksimum Akibat Berat Sendiri Pada Balok Dengan Tulangan CRT #10

maka $M_{bs} = 0,09 \text{ kNm}$

$$M_u - M_{bs} = M_{up}$$

$$13,36 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

$$13,36 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot 0,8$$

$$P = 66,33 \text{ kN} = 6633 \text{ Kg}$$

ket : beban P direncanakan pada kondisi beton mengalami retak I.

Cek syarat daktilitas

$$\rho^{\circ} \leq \rho_{\text{max}}$$

$$\leq 0,01661$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

$$\rho^{\circ} = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$= \frac{139,446}{150 \cdot 219,289}$$

$$= 0,0042 < \rho_{\text{max}} = 0,01661 \dots\dots\dots(\text{ok})$$

d. Parameter blok Tegangan Tekan untuk beton Terkekang oleh

Sengkang pada BB-01

(Reinforced Concrete Structure1, hal 224-228, R.Park, T.Paulay)

Berdasarkan contoh kurva regangan-tegangan beton terkekang sengkang yang diteliti oleh Kent dan Park, maka didapatkan nilai α dan γ hasil analisa menggunakan persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f' c d \epsilon c}{\int_c'' \epsilon_{cm}}$$

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon c f' c d \epsilon c}{\epsilon_{cm} \int_c'' \epsilon_{cm} f' c d \epsilon c}$$

untuk kondisi blok tegangan ($\epsilon_{cm} \leq \epsilon_0$) dan ($\epsilon_0 \leq \epsilon_{cm} \leq \epsilon_{20c}$) dimana $f'c =$ kuat tekan beton silinder dalam psi ($1 \text{ psi} = 0,00689 \text{ N/mm}^2$), $\rho_s =$ rasio volume sengkang dengan volume inti beton diukur hingga diluar sengkang, $b'' =$ lebar inti beton terkekang diukur hingga di luar sengkang, $Sh =$ jarak sengkang.

Nilai parameter Z dari rumus :

$$Z = \frac{0.5}{\frac{3+0.002f'c}{f'c-1000} + \frac{3}{4}\rho_s\sqrt{\frac{b''}{Sh}} - 0.002}$$

dilampirkan pada Lampiran tabel 6.3.

Catatan : nilai $\alpha = 0,728$ dan $\gamma = 0,425$ pada tabel tersebut dengan $f'c = 4000 \text{ psi}$ ($27,6 \text{ N/mm}^2$), $\rho_s = 0$ ($\therefore Z = 300$) dan $\epsilon_{cm} = 0,003$ sesuai bila dibandingkan dengan nilai $\alpha = 0,85 \times 0,85 = 0,723$ dan $\gamma = 0,5 \times 0,85 = 0,425$ yang berdasarkan blok tegangan persegi pada ACI.

diketahui :

$$f_c = \frac{24,52 \text{ Mpa}}{0,00689}$$

$$= 3558,78 \text{ psi}$$

$$b'' = 150 - 2 \cdot 20 = 110 \text{ mm}$$

$$h'' = 250 - 2 \cdot 20 = 210 \text{ mm}$$

$$Sh = 150 \text{ mm}$$

$$ps = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 6,6 \cdot (2 \cdot (110 + 210 - 6 - 6))}{110 \cdot 210 \cdot 150}$$

$$= 0,0000503$$

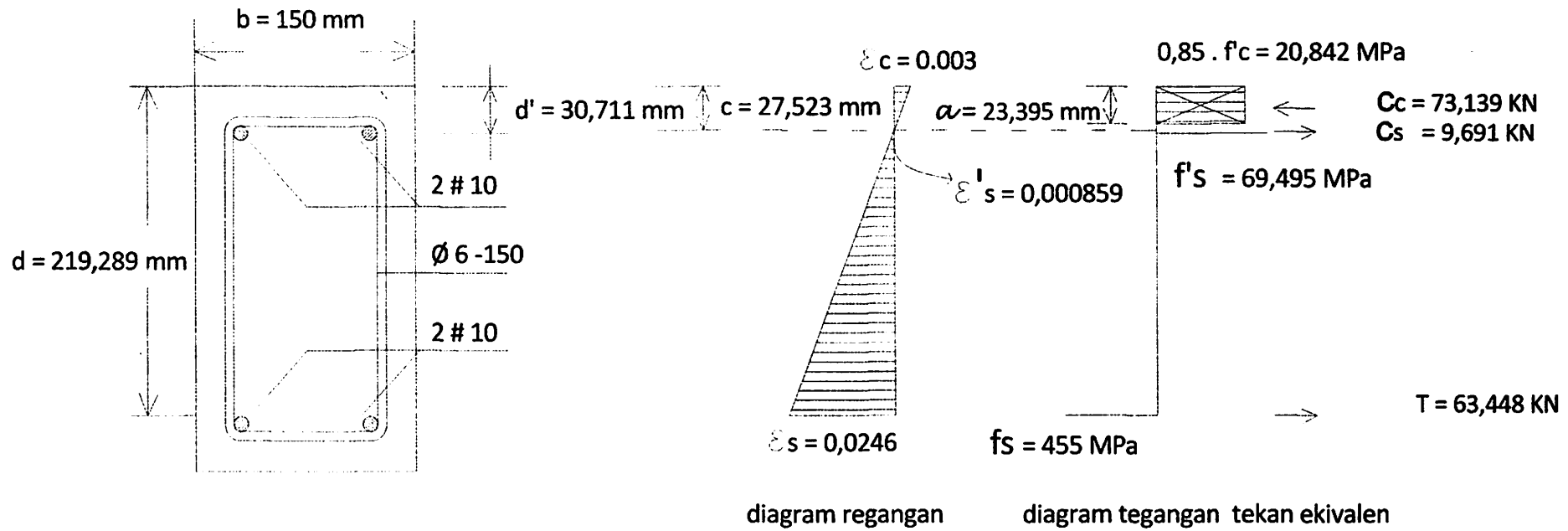
$$Z = \frac{0,5}{\frac{3 + 0,002(3558,78)}{3558,78 - 1000} + \frac{3}{4} \cdot 0,0000503 \sqrt{\frac{110}{150}} - 0,002}$$

$$= 95,32$$

$$\alpha = 0,85 \times 0,85 = 0,723$$

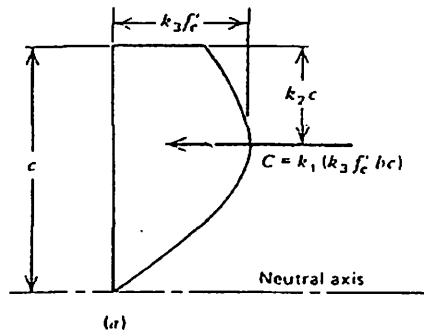
$$\gamma = 0,5 \times 0,85 = 0,425$$

Berdasarkan Interpolasi nilai Z pada Lampiran tabel 6.3 maka didapatkan nilai regangan serat tekan ekstrim (ϵ_{cm}) sebesar 0.0075.



Gambar 3.11 Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10

3.11.2 Analisa Distribusi Tegangan Aktual Balok dengan Tulangan CRT # 10



Gambar 3.12 Distribusi Tegangan Tekan Aktual
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Tabel 3.3 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan CRT #10

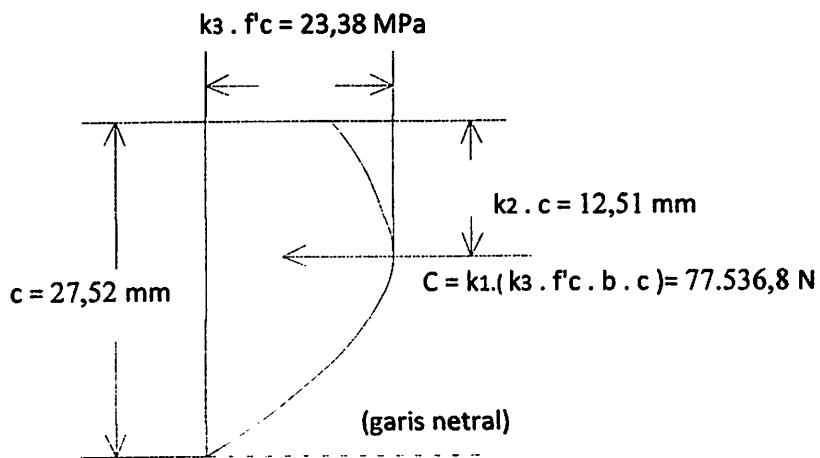
$f'c$ N/mm ²	Nilai			
	k_1	k_2	k_3	ϵ_c
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
24.52	0.803	0.454	0.953	0.00344

$$k_3 \cdot f'c = 0,953 \cdot 24,52 = 23,38 \text{ Mpa}$$

$$c = 27,52 \text{ mm}$$

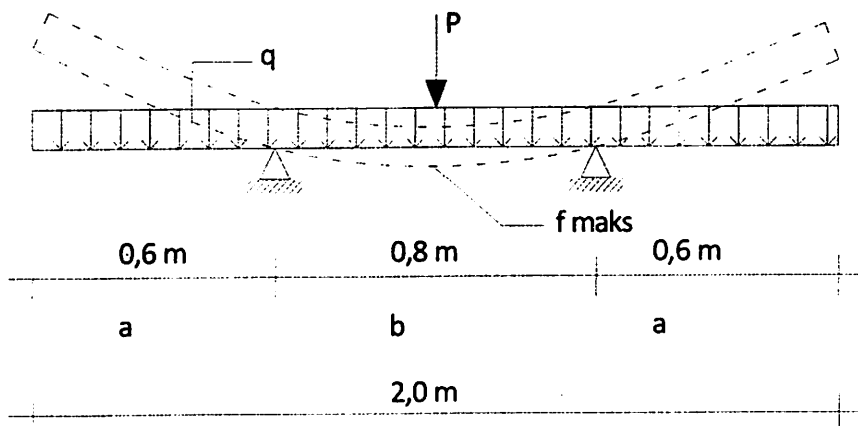
$$k_2 \cdot c = 0,454 \cdot 28,58 = 12,51 \text{ mm}$$

$$k_1 \cdot (k_3 \cdot f'c \cdot b \cdot c) = 0,803 \cdot (0,953 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 27,52) = 77536,8 \text{ N}$$



Gambar 3.13 Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10

3.11.3 Lendutan Balok dengan Tulangan CRT # 10



Gambar 3.14 Model Lendutan Pada Balok CRT # 10

Diketahui :

$P = 66327,6 \text{ N}$

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 800 \text{ mm}$

$w = 0,9 \text{ KN/m} = 0,9 \text{ N/mm}$

$E = 23.273,307 \text{ MPa}$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 250^3 = 195312500 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} f \text{ maks} &= \frac{P \cdot b^3}{48 EI} + \frac{w \cdot b^2}{384 EI} (5b^2 - 24 a^2) \\ &= \frac{66327,6 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} + \\ &\quad \frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2) \\ &= 0,1606 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.11.4 Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10

Desain Beton Bertulang Jilid 1, hal 175-181, Jack C, Lormas

$$f_y = 455 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 - \frac{9,422}{2} = 15,289 \text{ mm.}$$

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

$$\begin{aligned} s &= \frac{95000}{f_s} - 2,5 C_c \leq \frac{300}{252/f_s} \\ &= \frac{95.000}{0,6(455)} - 2,5 \cdot 15,289 \leq \frac{300}{252/(0,6 \cdot 455)} \end{aligned}$$

$$309,763 \text{ mm} < 325 \text{ mm}$$

$$309,763 \text{ mm} > 110 \text{ mm}$$

$$309,763 \text{ mm} > \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012$$

$$d = 219,289 \text{ mm}$$

$$d^1 = 30,711 \text{ mm}$$

$$c = 27,523 \text{ mm}$$

Kontrol retak lentur

Dimana :

$$B_h = \frac{d+d'-c}{d-c}$$

$$= \frac{219,289+30,711-27,523}{219,289-27,523}$$

$$= 1,16$$

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \cdot 455 = 273 \text{ Mpa}$$

$$d_c = 20 \text{ mm}$$

$$A = \frac{b \cdot x \cdot (h-c)}{2}$$

$$= \frac{150 \cdot x \cdot (250-27,523)}{2}$$

$$= 16685,775 \text{ mm}^2$$

$$w = 0,076 \cdot B_h \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$= 0,076 \cdot 1,16 \cdot 273 \cdot \sqrt[3]{20 \cdot 16685,775}$$

$$= \frac{1669,397}{1000}$$

$$= 1,669 \text{ mm} > \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012$$

Lebar retak melebihi lebar retak yang diizinkan. Berdasarkan ACI 224.

3.11.5 Panjang Plastis (L_p) Balok dengan Tulangan CRT # 10

Untuk balok beton bertulang yang terkekang oleh tulangan transversal

a. Baker

$$L_p = 0,8 \cdot k_1 \cdot k_3 \left(\frac{z}{d}\right) c$$

Dimana : $k_1 = 0,9$

$$k_3 = 0,762$$

$$z = 400 \text{ mm}$$

$$d = 219,289 \text{ mm}$$

$$c = 27,523 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} L_p &= (0,8) \cdot (0,9) \cdot 0,762 \left(\frac{400}{219,289} \right) \cdot 27,523 \\ &= 27,544 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Corley

$$\begin{aligned} L_p &= 0,5 d + 0,2 \sqrt{d} \left(\frac{z}{d} \right) \\ &= 0,5 (219,289) + 0,2 \sqrt{219,289} \left(\frac{400}{219,289} \right) \\ &= 115,047 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Mattock

$$\begin{aligned} L_p &= 0,5 d + 0,05 z \\ &= 0,5 (219,289) + 0,05 (400) \\ &= 129,645 \text{ mm.} \end{aligned}$$

d. Sawyer

$$\begin{aligned} L_p &= 0,25 d + 0,075 z \\ &= 0,25 (219,289) + 0,075 (400) \\ &= 84,822 \text{ mm.} \end{aligned}$$

3.11.6 Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

Tabel 3.4 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 01

No.	f_c	f_s	P	f	ket.
	Mpa	Mpa	KN	mm	
1	2	3	4	5	6
2	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	24.52	455.00	66.33	0.16	retak 1
4	31.04	576.00	83.97	0.20	ultimate
5	26.38	489.60	71.37	0.37	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.4

Pada Kolom 1 berisi No. Urut

Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton

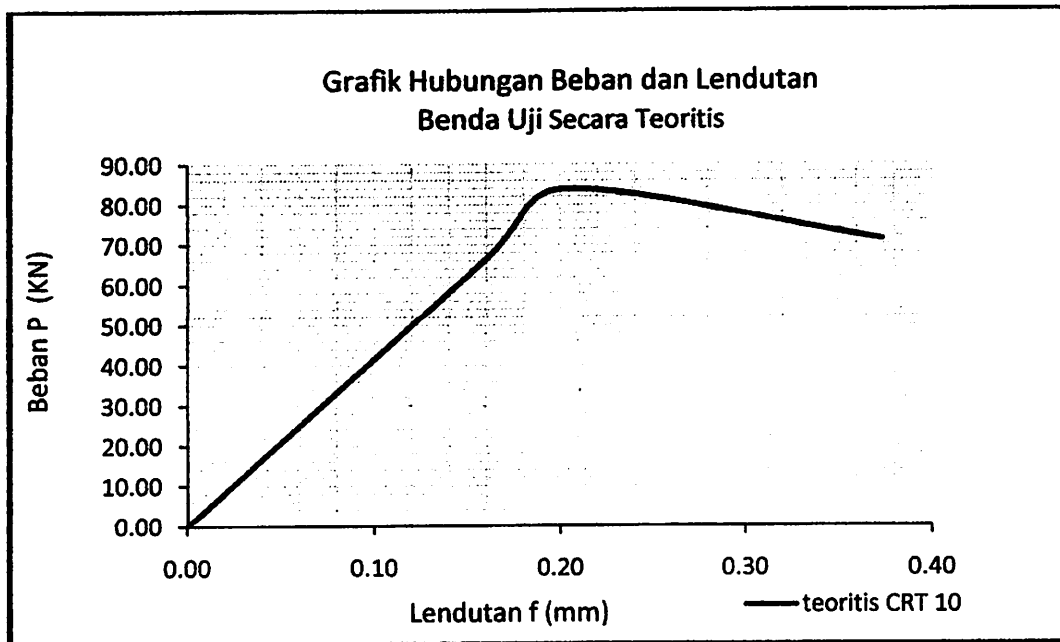
Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja

Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat

Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton

Pada Kolom 6 berisi keterangan

Kurva beban dan lendutan balok dengan tulangan CRT (BB – 01) yang terlihat pada Grafik 3.1. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.4 yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (lendutan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.1 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 01

3.11.7 Grafik Regangan dan Tegangan

Dari hasil diatas maka nilai – nilai diatas dapat ditabelkan sebagai berikut:

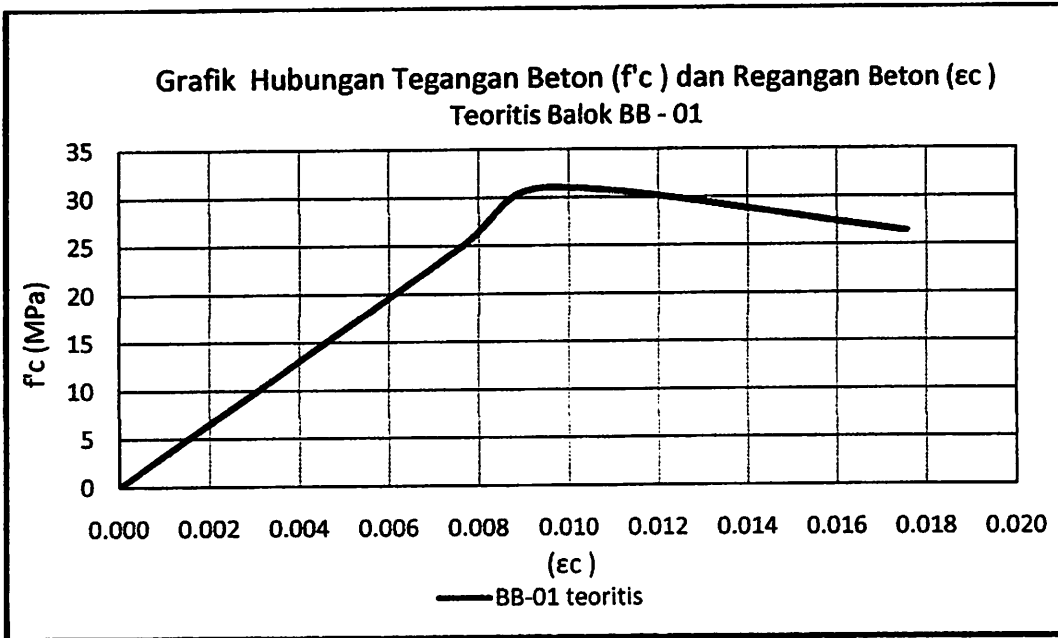
Tabel 3.5 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 01

No.	f_c Mpa	f_s Mpa	P KN	ϵ_c	ϵ_s	ket.
1	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	
3	24.52	455.00	66.33	0.00750	0.02460	retak 1
4	31.04	576.00	83.97	0.00949	0.03114	ultimate
5	26.38	489.60	71.37	0.01756	0.05761	runtuh

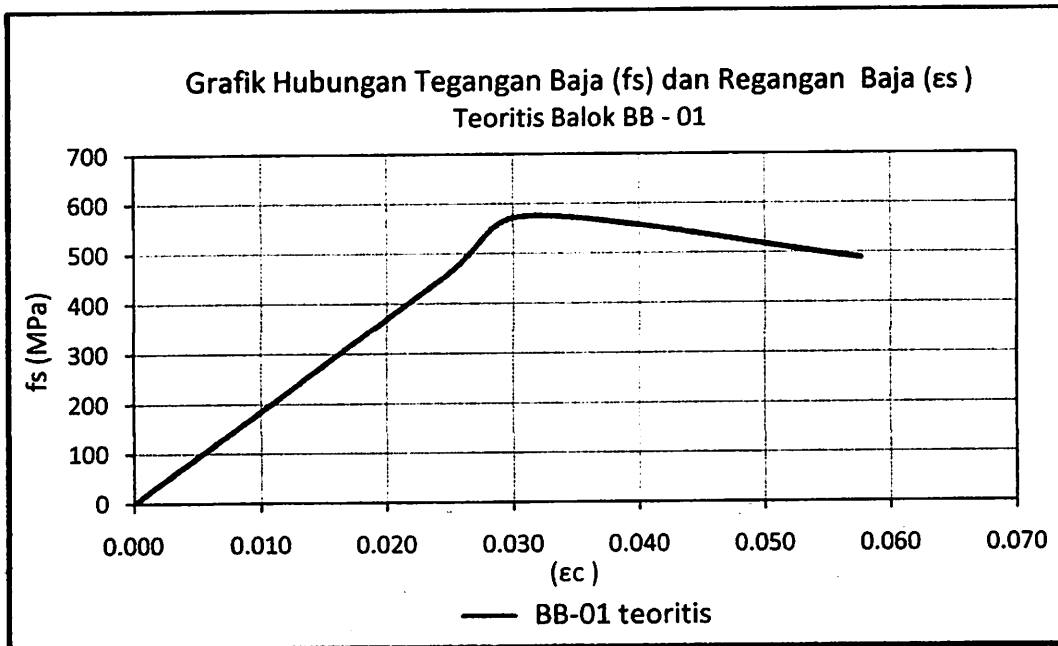
Keterangan Pengisian tabel 3.6

*Pada Kolom 1 berisi No. Urut
Pada kolom 2 berisi nilai Tegangan Beton
Pada kolom 3 berisi nilai Tegangan Baja
Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton
Pada Kolom 6 berisi nilai Regangan Baja
Pada Kolom 7 berisi keterangan*

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB – 01) yang terlihat pada Grafik 3.2. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5. yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.2 Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c)
Teoritis Balok BB - 01



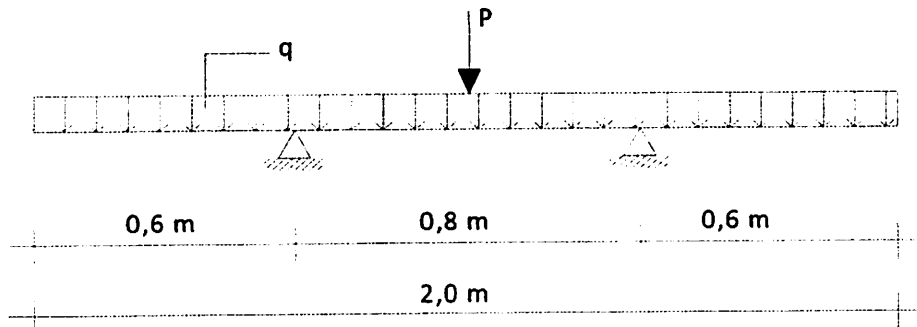
Grafik 3.3 Kurva Tegangan Baja (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s)
Teoritis Balok BB - 01

3.11.8 Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

a. Data benda uji :

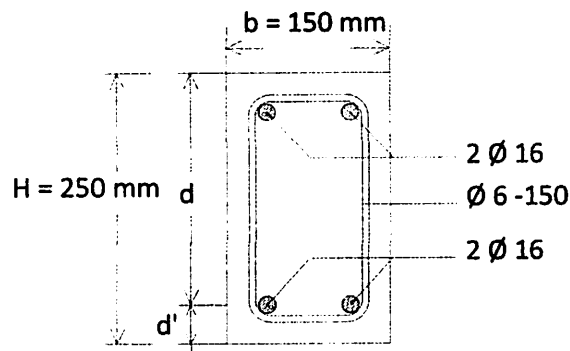
- Type : Balok beton bertulang
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 24,52 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 253 MPa
- Tulangan utama : BJTP Ø 16 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

b. Model Pengujian Kuat Lentur



Gambar 3.15 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

c. Kontrol momen BJTP Ø 16



Gambar 3.16 Penampang Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c}$$

(Modulus elastisitas beton, SK SNI T-15-1991 ps.3.1.5, hal:9)

$$= 4700 \sqrt{24,52}$$

$$= 23.273,307 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

(Modulus elastisitas baja, SK SNI T-15-1991 ps.3.1.5, hal:9)

$$\epsilon_c = 0,003$$

(Regangan max beton tekan serat terluar, SK SNI T-15-1991 ps.3.3.2, hal:22)

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

(Regangan baja tulangan dalam keadaan leleh)

$$= \frac{279}{200.000}$$

$$= 0,00127$$

$$\beta = 0,85 \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.2, hal:22})$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.1.4, hal:8})$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,52}{253} \cdot \frac{600}{600+253}$$

$$= 0,04925$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.5, hal:24})$$

$$= \frac{1,4}{253}$$

$$= 0,00553$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b && (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.3.3, hal:23}) \\
 &= 0,75 \cdot 0,04925 \\
 &= 0,03694
 \end{aligned}$$

Direncanakan penulangan :

$$\text{Tul. tarik } A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 14,98^2 = 352,487 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tul. tekan } A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 14,98^2 = 352,487 \text{ mm}^2$$

$$d' = 20 + 6 + (14,98 / 2) = 33,49 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 250 - 33,49 \\
 &= 216,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Bila dianggap bahwa semua penulangan telah mengalami yield ,maka f'_s

= f_y dan $f_s = f_y$, dengan demikian :

A_s = Luas tulangan tarik

A'_s = Luas tulangan tekan

Dari pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik, dicari blok tegangan tekan :

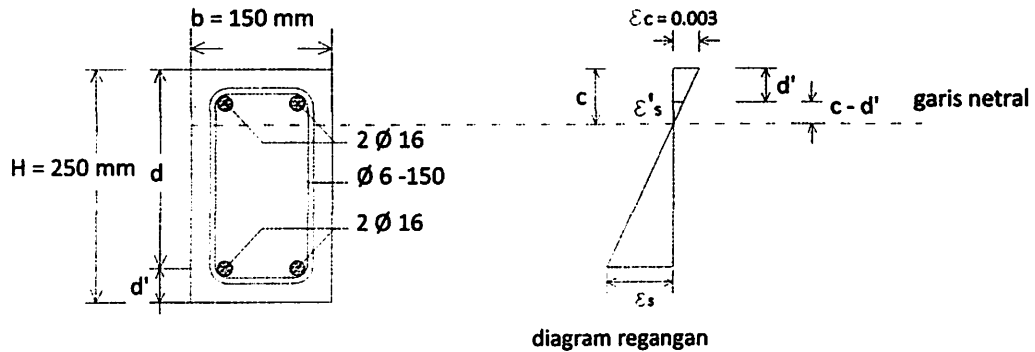
$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot B_w} \\
 &= \frac{352,487 \cdot 253}{(0,85 \cdot 24,52) \cdot 150} \\
 &= 28,526 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{28,526}{0,85} = 33,559 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal

benar :



Gambar 3.17 Model diagram regangan tulangan BJTP Ø 16

$$\frac{\varepsilon'_s}{\varepsilon_c} = \frac{c - d'}{c}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_c$$

$$= \frac{33,559 - 33,49}{33,559} \cdot 0,003$$

$$= 6,206 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c$$

$$= \frac{216,51 - 33,559}{33,559} \cdot 0,003$$

$$= 0,0164$$

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

$$= \frac{253}{200.000}$$

$$= 0,0013$$

Kondisi penulangan :

Kondisi I : Bila $\epsilon_s \geq \epsilon'_s \geq \epsilon_y$,maka anggapan awal benar dan tulangan baja tekan mengalami yield.

Kondisi II : Bila $\epsilon_s \geq \epsilon_y \geq \epsilon'_s$,maka anggapan awal tidak benar dan tulangan baja tekan belum mengalami yield.

Berdasarkan perhitungan di atas, karena $\epsilon_s \geq \epsilon_y \geq \epsilon'_s$ maka penulangan masuk kondisi II.

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut

$$C_c + C_s = T$$

$$0,85.f'c'.a.b + A's.f's = A_s . fy$$

$$(0,85 . f'c . b . \beta_1) c^2 + (600 . A's - A_s . fy) . c - 600 . A's . d' = 0$$

$$(0,85 . 24,52 . 150 . 0,85) . c^2 + (600 . 352,487 - 352,487 . 279) . c - (600 . 352,487) . 37,008 = 0$$

atau memakai :

$$c = \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R$$

dimana :

$$R = \frac{600 . A's - A_s . fy}{1,7 . f'c . Bw . \beta_1} \quad \text{dan} \quad Q = \frac{600 . d' . A's}{0,85 . f'c . Bw . \beta_1}$$

Dan diketahui :

$$A_s = 352,487 \text{ mm}^2$$

$$A's = 352,487 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$fy = 253 \text{ MPa}$$

$$f'c = 24,52 \text{ MPa}$$

$$b = 150 \text{ MPa}$$

$$d' = 33,49 \text{ mm}$$

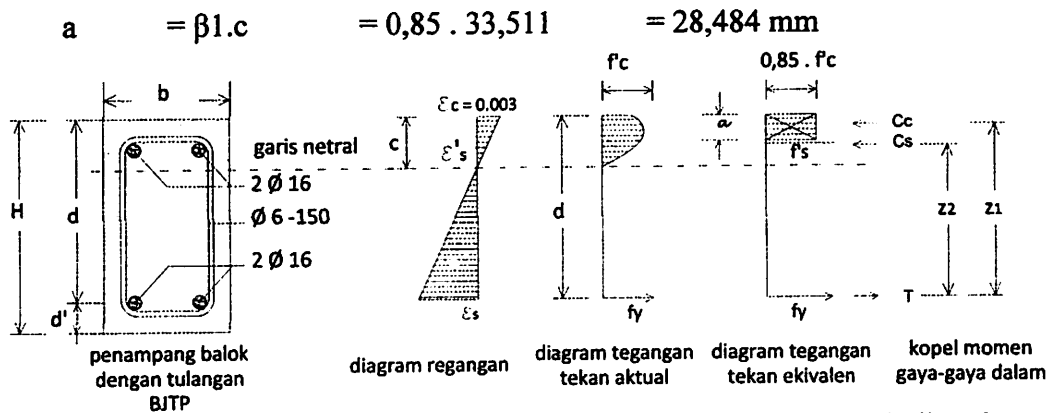
kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} R &= \frac{600 \cdot A's - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'c \cdot Bw \cdot \beta_1} \\ &= \frac{600 \cdot 352,487 - 352,487 \cdot 253}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85} \\ &= 23,014 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{600 \cdot d' \cdot A's}{0,85 \cdot f'c \cdot Bw \cdot \beta_1} \\ &= \frac{600 \cdot 33,49 \cdot 352,487}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85} \\ &= 2665,387 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R \\ &= \pm \sqrt{(2665,387 + 23,014^2)} - 23,014 \\ &= 33,511 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f's &= \epsilon's \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{(33,511 - 33,49)}{33,511} \cdot 600 \\ &= 0,368 \text{ Mpa} < f_y = 253 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 3.18 Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan BJTP Ø 16

Dengan menggunakan tegangan persegi ekuivalen, kekuatan tekan Lentur nominal M_n dapat diperoleh.

Syarat : $C_c + C_s = T$

Resultante gaya tekan dari blok tegangan tekan ekuivalen :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 24,52 \cdot 28,484 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 89,049 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada tulangan tekan :

$$C_s = A'_s \cdot f'_s = 352,487 \cdot 0,368 \cdot 10^{-3} = 0,13 \text{ kN}$$

Gaya tarik pada tulangan tarik :

$$T = A_s \cdot f_y = 352,487 \cdot 253 \cdot 10^{-3} = 89,179 \text{ kN}$$

$$C_c + C_s = T$$

$$89,049 \text{ kN} + 0,13 \text{ kN} = 89,179 \text{ kN}$$

$$89,179 \text{ kN} = 89,179 \text{ kN} \dots \text{ (ok)}$$

$$Z_1 = d - \left(\frac{1}{2} \cdot a\right) = 216,51 - \left(\frac{1}{2} \cdot 28,484\right) = 202,27 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 216,51 - 33,49 = 183,02 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = (C_c \cdot Z_1) = (89,049 \cdot 202,27) \cdot 10^{-3} = 18,01 \text{ KNm}$$

$$M_{n2} = (C_s \cdot Z_2) = (0,13 \cdot 183,02) \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ KNm}$$

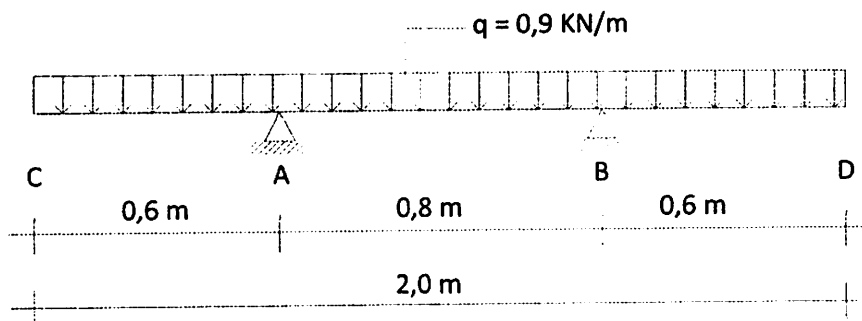
$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 18,01 + 0,02 = 18,04 \text{ KNm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n = 0,8 \cdot 18,04 = 14,43 \text{ KNm}$$

$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

$$q_{bs} = b \cdot h \cdot 2400 = 0,15 \times 0,25 \times 2400 = 90 \text{ kg/m}$$

$$= 0,9 \text{ kN/m}$$



Gambar 3.19 Perhitungan Momen akibat Berat Sendiri Balok dengan tulangan BJTP Ø 16

$$q = 0,9 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,1 + R_A \cdot 0,8 - 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,4 + 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0$$

$$R_A \cdot 0,8 = 0,72 \quad \rightarrow R_A = 0,9 \text{ KN} \rightarrow R_A = R_B = 0,9 \text{ KN}$$

$$\text{Kontrol : } \Sigma F_V = 0$$

$$R_A + R_B - Q = 0 \quad \rightarrow 0,9 + 0,9 - (0,9 \cdot 2) = 0$$

$$M_x = -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + x)) + R_A V(x) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot x^2))$$

$$D_x = -0,54 + R_A V - 0,9 x$$

$$M_{\max} \rightarrow \frac{dM_x}{dx} = D_x = 0$$

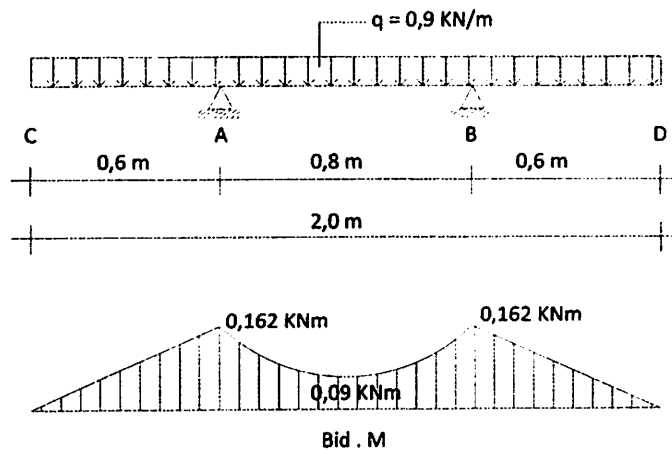
$$-0,54 + R_A V - 0,9 x = 0 \quad \rightarrow -0,54 + 0,9 - 0,9 x = 0$$

$$0,36 = 0,9 x \quad \rightarrow x = 0,4 \text{ m}$$

$$M_{max} = -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + 0,4)) + R_{AV} (0,4) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot 0,4^2))$$

$$= -0,09 \text{ KNm}$$

$$M_A = -0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = -0,162 \text{ KNm}$$



Gambar 3.20 Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan BJTP Ø 16

maka $M_{bs} = 0,09 \text{ KNm}$

$$M_u - M_{bs} = M_{up}$$

$$18,04 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

$$18,04 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot 0,8$$

$$P = 89,73 \text{ kN} = 8973 \text{ Kg}$$

ket : beban P direncanakan pada kondisi beton mengalami retak I.

Cek syarat daktilitas

$$\rho^{\circ} \leq \rho_{max}$$

$$\leq 0,03694$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

$$\rho^{\circ} = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{352,487}{150 \cdot 216,51} = 0,0109 < \rho_{max} = 0,03694 \dots \dots \dots (\text{ok})$$

d. Parameter blok Tegangan Tekan untuk beton Terkekang oleh

Sengkang pada BB-02

(Reinforced Concrete Structure1, hal 224-228, R.Park, T.Paulay)

Berdasarkan contoh kurva regangan-tegangan beton terkekang sengkang yang diteliti oleh Kent dan Park, maka didapatkan nilai α dan γ hasil analisa menggunakan persamaan berikut :

$$\alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f'_c d \epsilon_c}{\int_c^{b''} \epsilon_{cm}}$$

$$\gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} \epsilon_c f'_c d \epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_c^{b''} f'_c d \epsilon_c}$$

untuk kondisi blok tegangan ($\epsilon_{cm} \leq \epsilon_0$) dan ($\epsilon_0 \leq \epsilon_{cm} \leq \epsilon_{20c}$) dimana f'_c = kuat tekan beton silinder dalam psi (1 psi = 0,00689 N/mm²), ρ_s = rasio volume sengkang dengan volume inti beton diukur hingga diluar sengkang, b'' = lebar inti beton terkekang diukur hingga di luar sengkang, Sh = jarak sengkang.

Nilai parameter Z dari rumus :

$$Z = \frac{0.5}{\frac{3+0.002f'_c}{f'_c-1000} + \frac{3}{4}\rho_s\sqrt{\frac{b''}{Sh}} - 0.002}$$

dilampirkan pada Lampiran tabel 6.3.

Catatan : nilai $\alpha = 0,728$ dan $\gamma = 0,425$ pada tabel tersebut dengan $f'_c = 4000$ psi (27,6 N/mm²), $\rho_s = 0$ ($\therefore Z = 300$) dan $\epsilon_{cm} = 0,003$ sesuai bila dibandingkan dengan nilai $\alpha = 0,85 \times 0,85 = 0,723$ dan $\gamma = 0,5 \times 0,85 = 0,425$ yang berdasarkan blok tegangan persegi pada ACI.

diketahui :

$$f_c = \frac{24,52 \text{ Mpa}}{0,00689}$$

$$= 3558,78 \text{ psi}$$

$$b'' = 150 - 2 \cdot 20 = 110 \text{ mm}$$

$$h'' = 250 - 2 \cdot 20 = 210 \text{ mm}$$

$$Sh = 150 \text{ mm}$$

$$\rho_s = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 6,6 \cdot (2 \cdot (110 + 210 - 6 - 6))}{110 \cdot 210 \cdot 150}$$

$$= 0,0000503$$

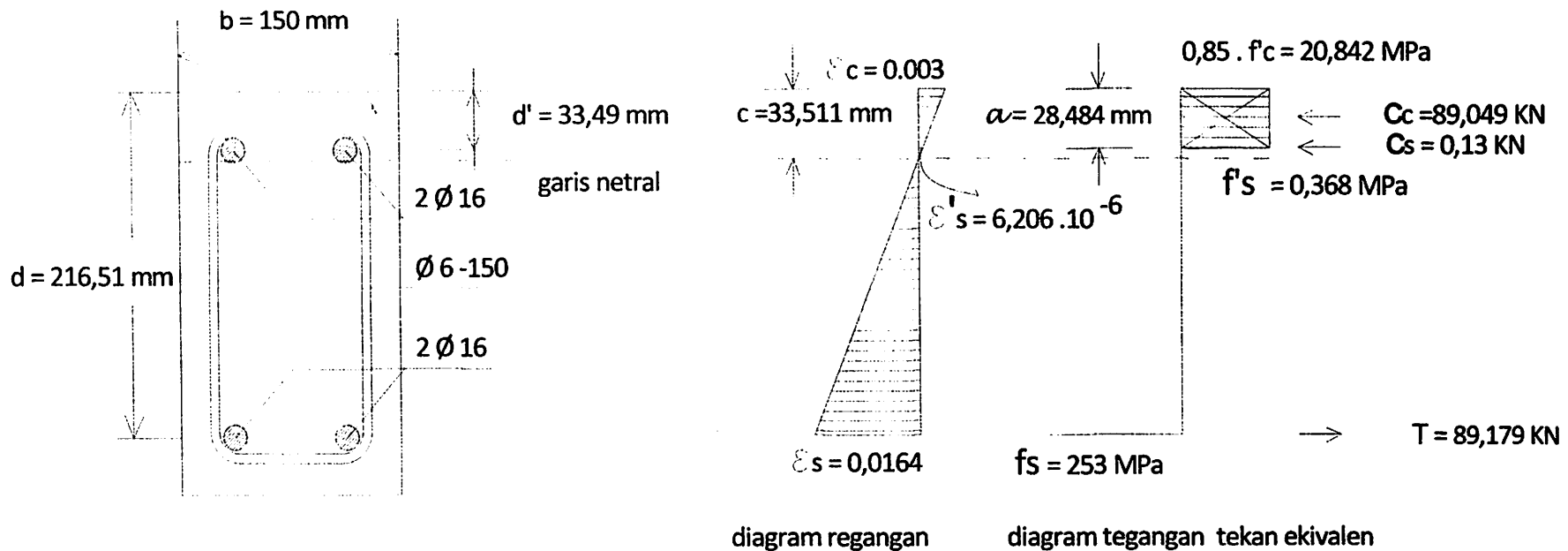
$$Z = \frac{0,5}{\frac{3 + 0,002(3558,78)}{3558,78 - 1000} + \frac{3}{4} \cdot 0,0000503 \sqrt{\frac{110}{150}} - 0,002}$$

$$= 95,32$$

$$\alpha = 0,85 \times 0,85 = 0,723$$

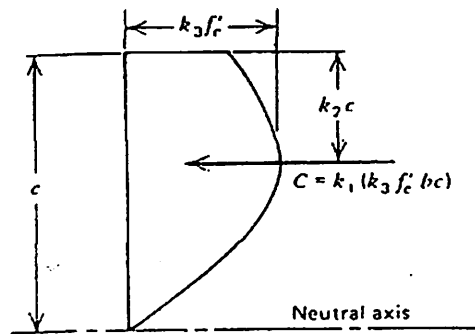
$$\gamma = 0,5 \times 0,85 = 0,425$$

Berdasarkan Interpolasi nilai Z pada Lampiran tabel 6.3 maka didapatkan nilai regangan serat tekan ekstrim (ϵ_{cm}) sebesar 0.0075.



Gambar 3.21 Model Diagram Regangan Tulangan BJTP $\varnothing 16$

3.11.9 Analisa distribusi tegangan aktual Benda Uji dengan Tulangan BJTP Ø 16



Gambar 3.22 Distribusi Tegangan Tekan Aktual
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Perhitungan blok tegangan tekan menggunakan parameter nilai maksimum $k_1 k_3$ yang didapatkan dari setiap pengujian. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 50 – 52)

Tabel 3.6 Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi Berdasarkan *PCA Test On Unconfined Specimens*

f_c					
Psi	N/mm ²	k_1	k_2	k_3	ϵ_c
2000	13.8	0.86	0.48	1.03	0.0037
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 52)

Tabel 3.7 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

$f'c$ N/mm ²	Nilai			
	k_1	k_2	k_3	ϵ_c
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
24.52	0.803	0.454	0.953	0.00344

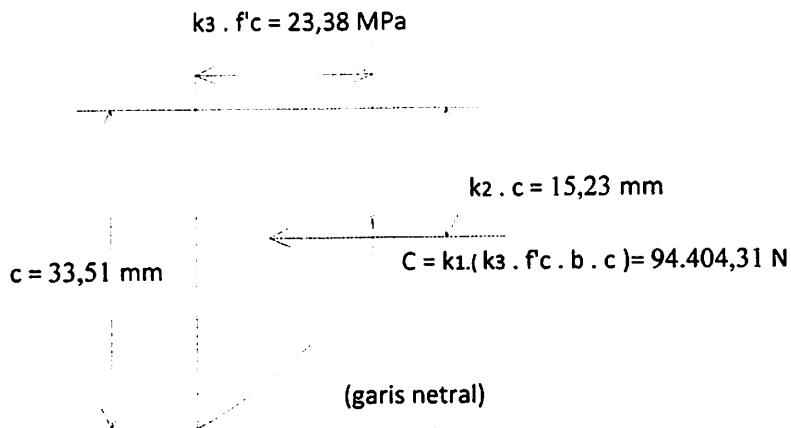
$$k_3 \cdot f'c = 0,953 \cdot 24,52 = 23,38 \text{ Mpa}$$

$$c = 33,51 \text{ mm}$$

$$k_2 \cdot c = 0,454 \cdot 33,51 = 15,23 \text{ mm}$$

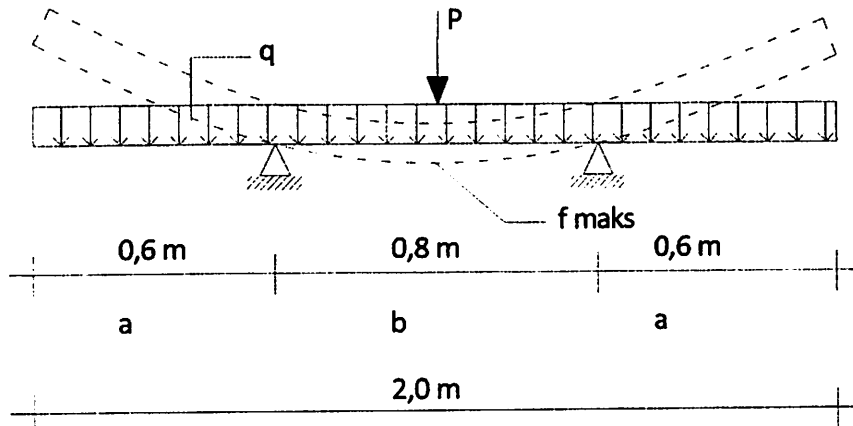
$$k_1 \cdot (k_3 \cdot f'c \cdot b \cdot c) = 0,803 (0,953 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 33,51)$$

$$= 94404,31 \text{ N}$$



Gambar 3.23 Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTP Ø 16

3.11.10 Lendutan Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16



Gambar 3.24 Model Lendutan Pada Balok BJTP Ø 16

Diketahui :

$$P = 89728,10 \text{ N}$$

$$a = 600 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$w = 0,9 \text{ KN/m} = 0,9 \text{ N/mm}$$

$$E = 23.273,307 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 250^3 = 195.312.500 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} f \text{ maks} &= \frac{P \cdot x \cdot b^3}{48 EI} + \frac{w \cdot b^2}{384 EI} (5b^2 - 24 a^2) \\ &= \frac{89728,10 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} + \\ &\quad \frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2) \\ &= 0,2088 \text{ mm} \end{aligned}$$

3.11.11 Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

Desain Beton Bertulang Jilid 1, hal 175-181, Jack C, Lormas

$$f_y = 253 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 20 - \frac{14,98}{2} = 12,51 \text{ mm.}$$

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2,5 C_c \leq \frac{300}{252/f_s}$$
$$= \frac{95.000}{0,6(253)} - 2,5 \cdot 12,51 \leq \frac{300}{252/(0,6 \cdot 253)}$$

$$594,55 \text{ mm} > 180,71 \text{ mm}$$

$$594,55 \text{ mm} > 110 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 14,98 \text{ mm}$$

$$d = 216,51 \text{ mm}$$

$$d^l = 33,49 \text{ mm}$$

$$c = 33,511 \text{ mm}$$

Kontrol retak lentur

Dimana :

$$B_h = \frac{d + d^l - c}{d - c}$$
$$= \frac{216,51 + 33,49 - 33,511}{216,51 - 33,511}$$
$$= 1,183$$

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \cdot 253 = 151,8 \text{ Mpa}$$

$$dc = 20 \text{ mm}$$

$$A = \frac{b \times (h-c)}{2}$$
$$= \frac{150 \times (250-33,511)}{2}$$

$$= 16236,675 \text{ mm}^2$$

$$w = 0,076 \cdot B_h \cdot f_s \sqrt[3]{dc \cdot A}$$

$$= 0,076 \cdot 1,161 \cdot 151,8 \sqrt[3]{20 \cdot 16236,675}$$

$$= \frac{920,647}{1000}$$

$$= 0,92 \text{ mm} \quad \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012$$

Lebar retak melebihi lebar retak yang diizinkan. Berdasarkan ACI 224.

3.11.12 Panjang Plastis (L_p) Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

Untuk balok beton bertulang yang terkekang oleh tulangan transversal

a. Baker

$$L_p = 0,8 \cdot k_1 \cdot k_3 \left(\frac{z}{d}\right) c$$

$$\text{Dimana : } k_1 = 0,9$$

$$k_3 = 0,762$$

$$z = 400 \text{ mm}$$

$$d = 216,51 \text{ mm}$$

$$c = 33,511 \text{ mm}$$

$$L_p = (0,8) \cdot (0,9) \cdot 0,762 \left(\frac{400}{216,51} \right) \cdot 33,511$$

$$= 33,967 \text{ mm}$$

b. Corley

$$L_p = 0,5 d + 0,2 \sqrt{d} \left(\frac{z}{d} \right)$$

$$= 0,5 (216,51) + 0,2 \sqrt{216,51} \left(\frac{400}{216,51} \right)$$

$$= 113,692 \text{ mm}$$

c. Mattock

$$L_p = 0,5 d + 0,05 z$$

$$= 0,5 (216,51) + 0,05 (400)$$

$$= 128,225 \text{ mm.}$$

d. Sawyer

$$L_p = 0,25 d + 0,075 z$$

$$= 0,25 (216,51) + 0,075 (400)$$

$$= 84,128 \text{ mm.}$$

3.11.13 Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

Tabel 3.8 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 02

No.	f _c	f _s	P	f	ket.
	Mpa	Mpa	KN	mm	
1	2	3	4	5	6
2	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	24.52	253.00	89.73	0.17	retak I
4	34.02	351.00	124.49	0.24	ultimate
5	28.92	298.35	105.81	0.44	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.5

Pada Kolom 1 berisi No. Urut

Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton

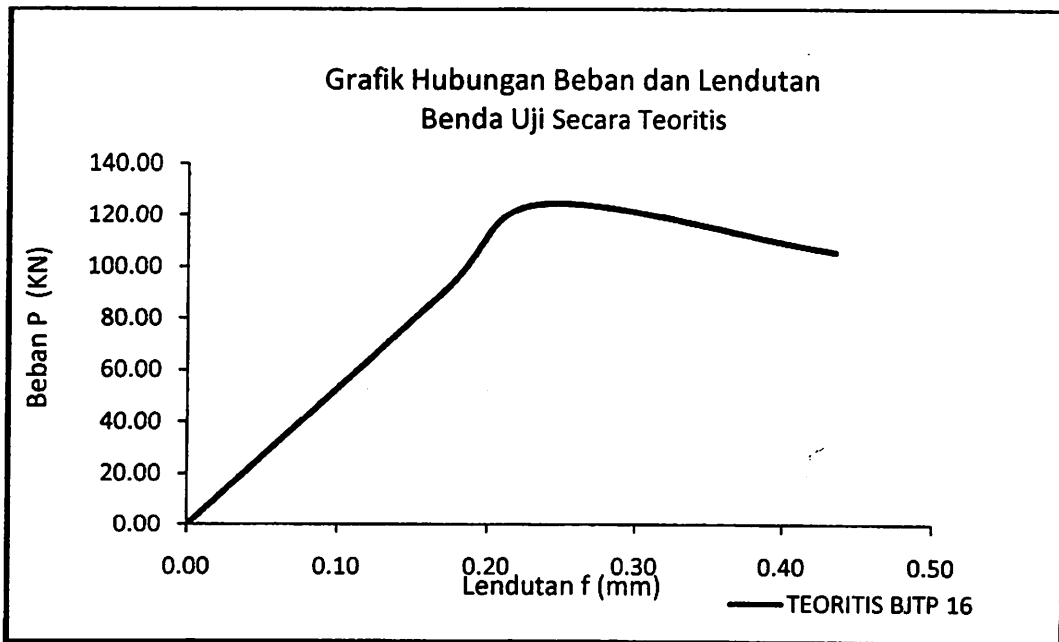
Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja

Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat

Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton

Pada Kolom 6 berisi keterangan

Kurva beban dan lendutan balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) yang terlihat pada Grafik 3.4. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5 yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (lendutan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.4 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 02

3.11.14 Grafik Regangan dan Tegangan

Dari hasil diatas maka nilai – nilai diatas dapat ditabelkan sebagai berikut:

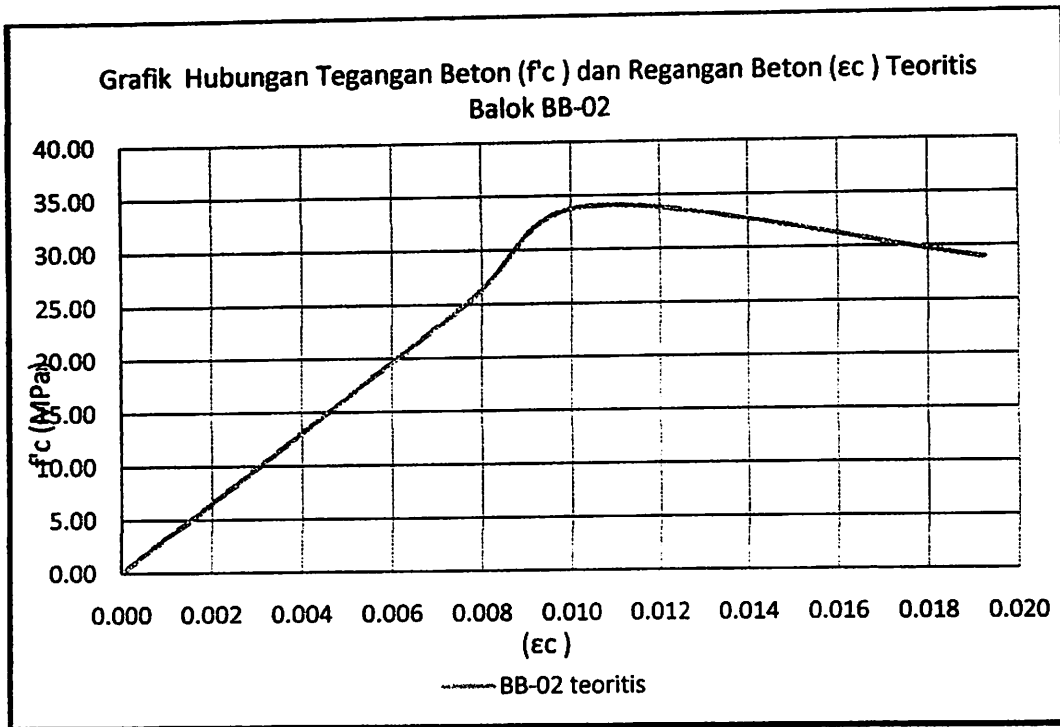
Tabel 3.9 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 02

No.	f_c	f_s	P	ϵ_c	ϵ_s	ket.
	Mpa	Mpa	KN			
1	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00	
3	24.52	253.00	89.73	0.00750	0.0164	retak 1
$\frac{K}{4}$	34.02	351.00	124.49	0.01041	0.02275	ultimate
$\frac{5}{e}$	28.92	298.35	105.81	0.01925	0.04209	runtuh

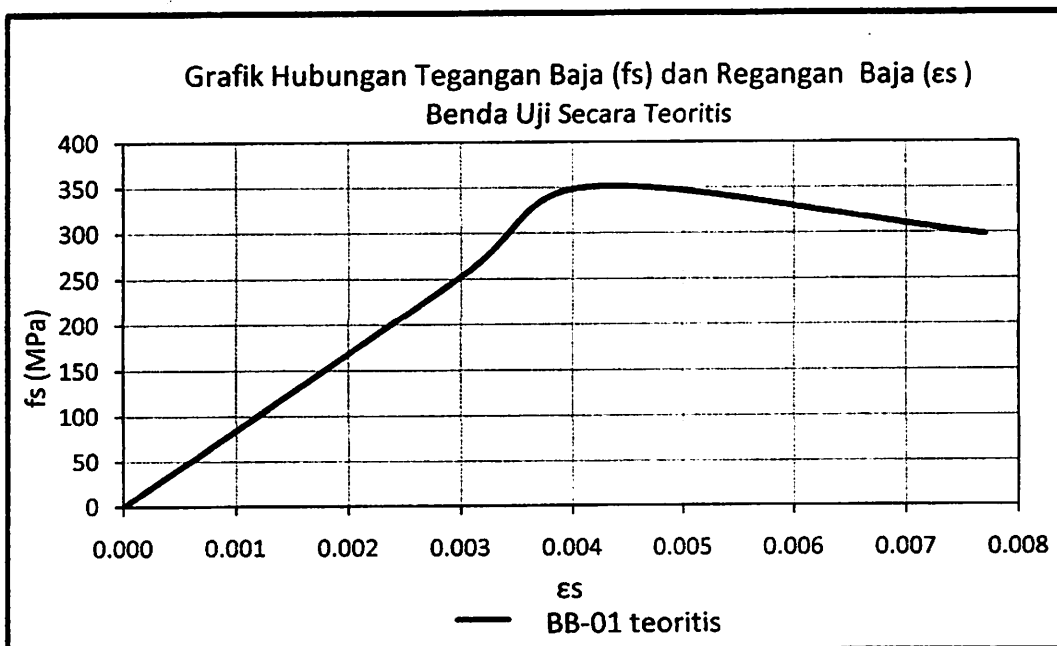
Keterangan Pengisian tabel 3.6

*Pada Kolom 1 berisi No. Urut
Pada kolom 2 berisi nilai Tegangan Beton
Pada kolom 3 berisi nilai Tegangan Baja
Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton
Pada Kolom 6 berisi nilai Regangan Baja
Pada Kolom 7 berisi keterangan*

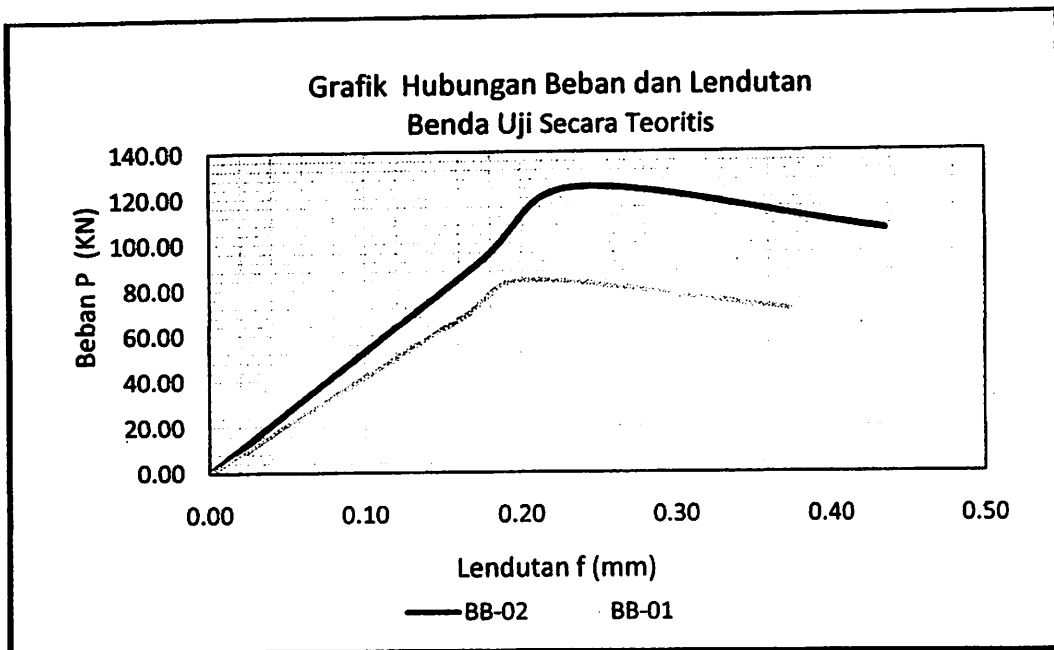
Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) yang terlihat pada Grafik 3.5. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.6. yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.5 Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c) Teoritis Balok BB - 02

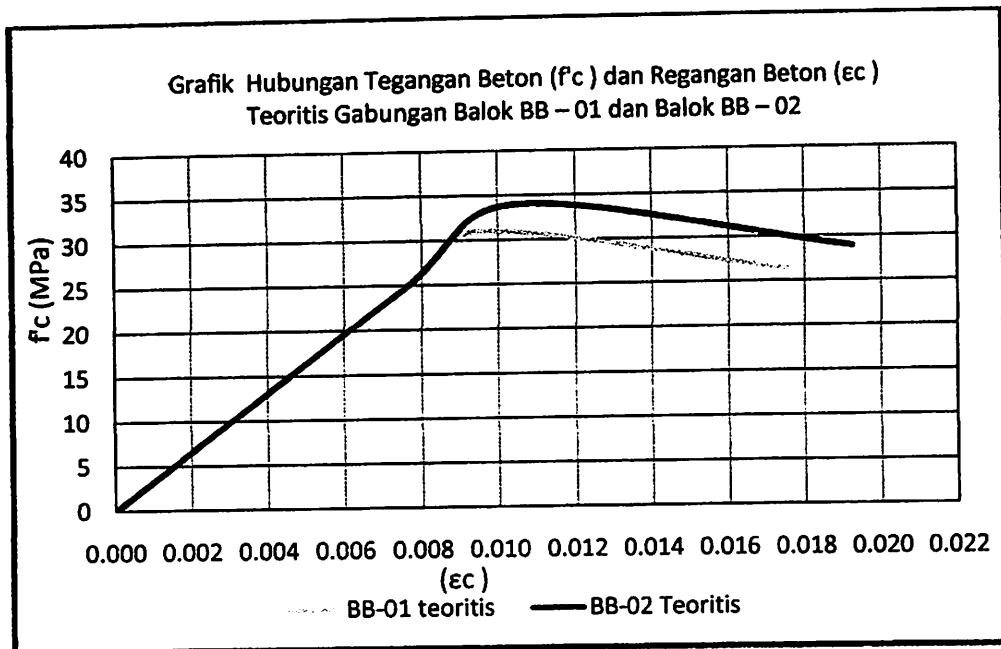


Grafik 3.6 Kurva Tegangan Baja (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s) Teoritis Balok BB - 02



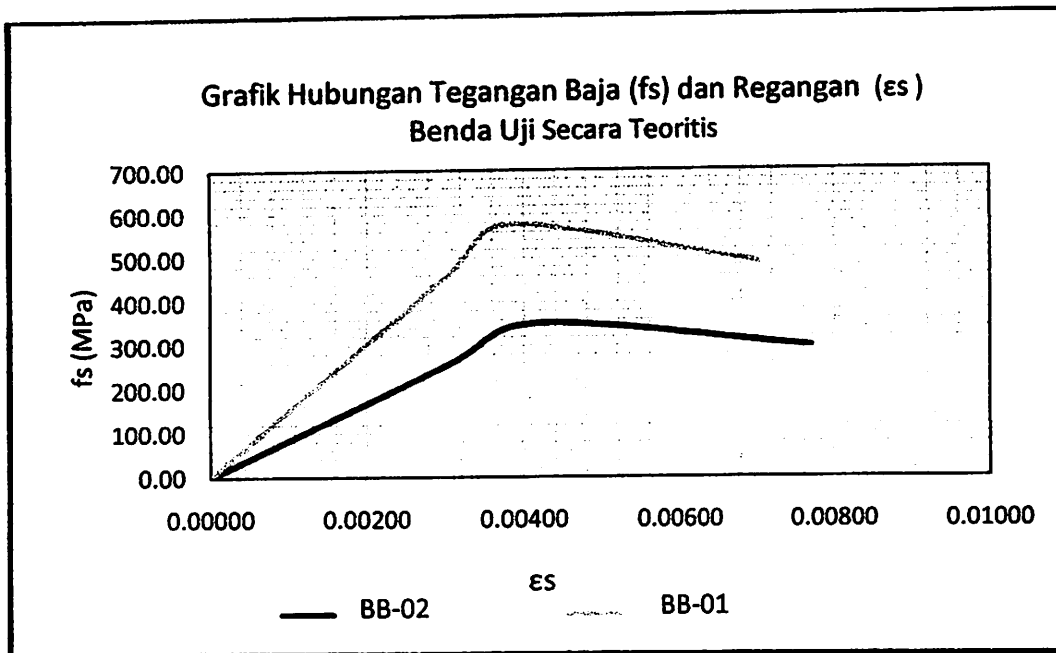
**Grafik 3.7 Kurva Beban dan Lendutan Teoritis Gabungan
Balok BB – 01 dan Balok BB – 02**

Grafik 3.7 di atas adalah kurva beban-lendutan hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 01) dan balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) mempunyai beban puncak yang lebih besar daripada balok dengan tulangan CRT (BB-01).



**Grafik 3.8 Kurva Tegangan Beton (f_c) dan Regangan Beton (ϵ_c)
Teoritis Gabungan Balok BB – 01 dan Balok BB – 02**

Grafik 3.8 di atas adalah kurva tegangan-regangan beton hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 01) dan balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) mempunyai tegangan puncak yang lebih besar daripada balok dengan tulangan CRT (BB-01). Namun pada nilai regangan, terlihat kedua balok mempunyai nilai regangan ultimit yang relatif sama.



**Grafik 3.9 Kurva Tegangan Beton (f_s) dan Regangan Baja (ϵ_s)
Teoritis Gabungan Balok BB – 01 dan Balok BB - 02**

Grafik 3.9 di atas adalah kurva tegangan-regangan baja hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 01) dan balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTP (BB – 02) mempunyai tegangan puncak yang lebih kecil daripada balok dengan tulangan CRT (BB-01). Namun pada nilai regangan, terlihat kedua balok mempunyai nilai regangan ultimit yang relatif sama.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

4.4.1 Perancangan Campuran Beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'_c=22,5\text{MPa}$ dengan pengadukan menggunakan molen. Mix desain diperhitungkan menggunakan MCP 211-ACI-2006 dengan menggunakan material pasir Pasuruan dan kerikil dari Jawa Timur serta Semen Gresik tipe 1. Hasil perancangan campuran beton untuk 1 m^3 dengan komposisi material seperti terlihat pada Tabel 4.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 4.1. Proporsi Campuran Beton Mutu 22,5MPa

No.	Material	Volume	Satuan
1	Air	205	kg/m ³
2	Semen	315,4	kg/m ³
3	Agregat Kasar	1008	kg/m ³
4	Agregat Halus	816,6	kg/m ³

4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard ASTM C39-93a(*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylinder Concrete Specimen*). Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Mechine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton (f'_c) yang akan dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari, dengan jumlah silinder sebanyak 12 buah. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh sebesar $f'_c = 24,52\text{MPa}$. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.4.3 PengujianKuat Tarik Baja

4.4.3.1 PengujianKuat Tarik tulangan BJTP Ø 16

Berdasarkan pengujian kuat tarik baja yang telah dilakukan, maka didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 4.2 PengujianKuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16

No.	Specimen	Area	Max Force	Yield strength	Tensile Strength	Elongation
		(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)	(%)
1	BJTP Ø 16	176,244	21204.24	253,76	352,64	89,96
2	BJTP Ø 16	176,244	21424.92	257,32	356,31	86,15
3	BJTP Ø 16	176,244	20723.80	248,41	344,65	85,53
Σ				759,49	1053,6	

$$f_y \text{ rata-rata} = \frac{\Sigma f_y}{\text{jumlah benda uji}}$$

$$= \frac{759,49}{3}$$

$$= 253 \text{ MPa}$$

Maka tegangan leleh (f_y) pada Tulangan BJTP Ø 16

sebesar 253 MPa

$$f_u \text{ rata-rata} = \frac{\Sigma f_u}{\text{jumlah benda uji}}$$

$$= \frac{1062,6}{3} = 354 \text{ MPa}$$

Maka tegangan ultimate (f_u) pada Tulangan BJTP Ø 16 sebesar 354 MPa

4.4.3.2 Pengujian Kuat Tarik tulangan CRT # 10

Berdasarkan pengujian kuat tarik baja yang telah dilakukan, maka didapatkan data-data sebagai berikut :

Tabel 4.3 Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10

No.	Specimen	Area	Max Force	Yield strength	Tensile Strength	Elongation
		(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)	(%)
1	CRT # 10	139,446	68335	474,15	608,28	59,73
2	CRT # 10	139,446	67771,9	475,54	592,87	63,11
3	CRT # 10	139,446	60157,3	415,28	526,25	58,13
Σ				1364,97	1727,4	

$$\begin{aligned}
 f_y \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_y}{\text{jumlah benda uji}} \\
 &= \frac{1364,97}{3} \\
 &= 455 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka tegangan leleh (f_y) pada Tulangan CRT # 10 sebesar 455 MPa

$$\begin{aligned}
 f_u \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_u}{\text{jumlah benda uji}} \\
 &= \frac{1727,4}{3} \\
 &= 576 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka tegangan ultimate (f_u) pada Tulangan CRT # 10
sebesar 576 MPa

4.4.3.3 PengujianKuat Tarik tulangan BJTD D 10

Berdasarkanpengujiankuat tarik baja yang
telahdilakukan, makadidapatkan data-data sebagaiberikut :

Tabel 4.4PengujianKuat Tarik Tulangan BJTD D 10

No.	Specimen	Area	Max Force	Yield strength	Tensile Strength	Elongation
		(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)	(%)
1	BJTD D 10	142,661	28856,1	449,25	611,71	74,93
2	BJTD D 10	142,661	28919,8	446,55	613,06	80,80
3	BJTD D 10	142,661	28812,00	456,21	610,77	87,29
Σ				1352,01	1835,54	

$$\begin{aligned}
 f_y \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_y}{\text{jumlah benda uji}} \\
 &= \frac{1352,01}{3} \\
 &= 451 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka tegangan leleh (f_y) pada Tulangan BJTD D 10
sebesar 451 MPa

$$\begin{aligned}
 f_u \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_u}{\text{jumlah benda uji}} \\
 &= \frac{1835,54}{3} \\
 &= 612 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Maka tegangan ultimate (f_u) pada Tulangan BJTD D 10 sebesar 612 MPa

4.2. Balok Beton Tulangan CRT Tanpa Panjang Penyaluran (BB-01)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB-01, dimana balok diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 0,8 m. Masing – masing tumpuan diletakkan sejauh 0,6 m dari ujung balok. Kemudian balok diberikan beban terpusat (P) secara konstan dengan kenaikan 400 Kg tiap pembebanan. Pembebanan dilakukan secara kontinyu hingga balok mengalami keruntuhan.

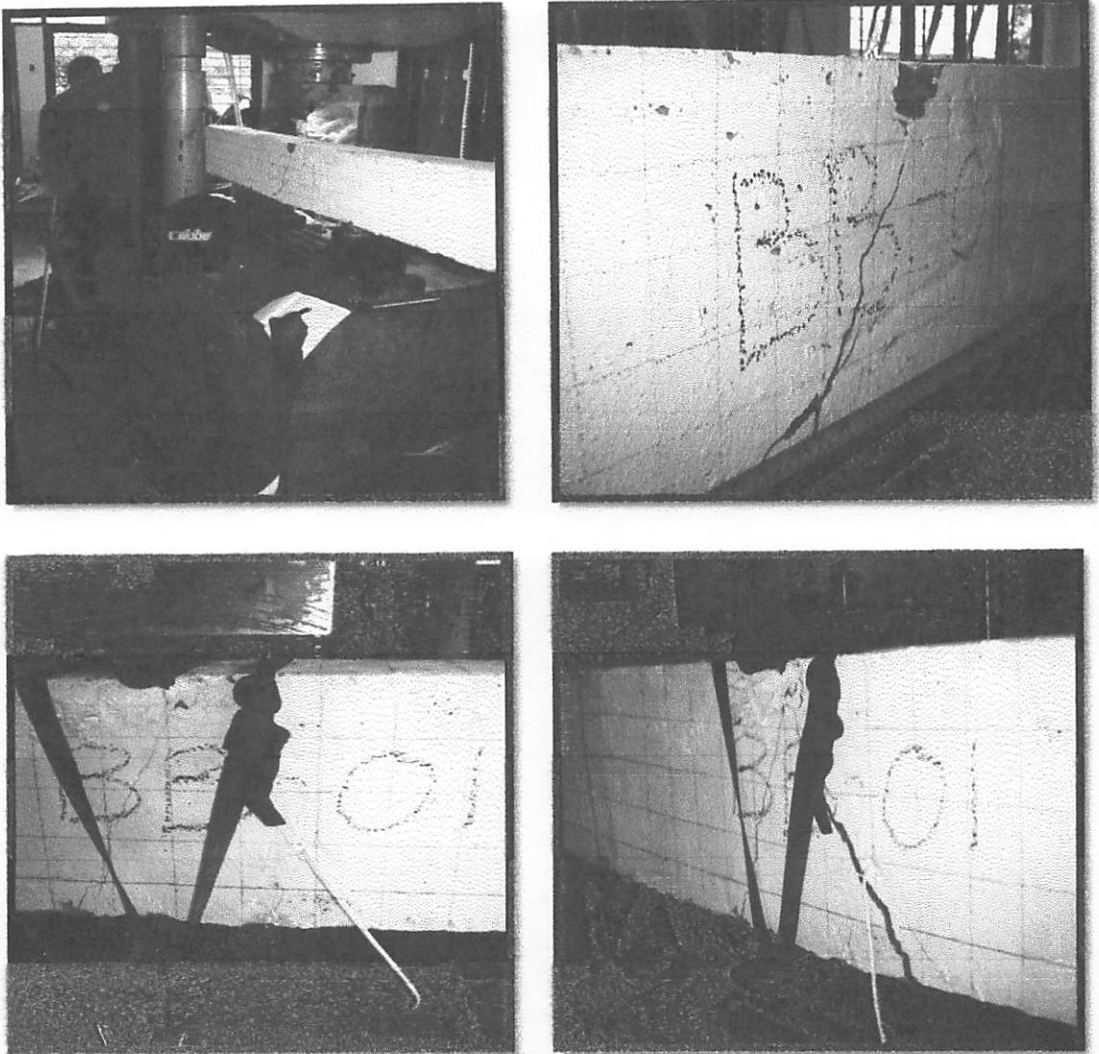
Mekanisme keruntuhan balok BB01-A diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 8,4 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak (ultimate). Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 11,2 \text{ ton}$ Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 10 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB01-B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 7,2 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak.

Seperti terlihat dalam Gambar 4.3b, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 10$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 9,2$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB01-C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 7,6$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 10,4$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 8,4$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

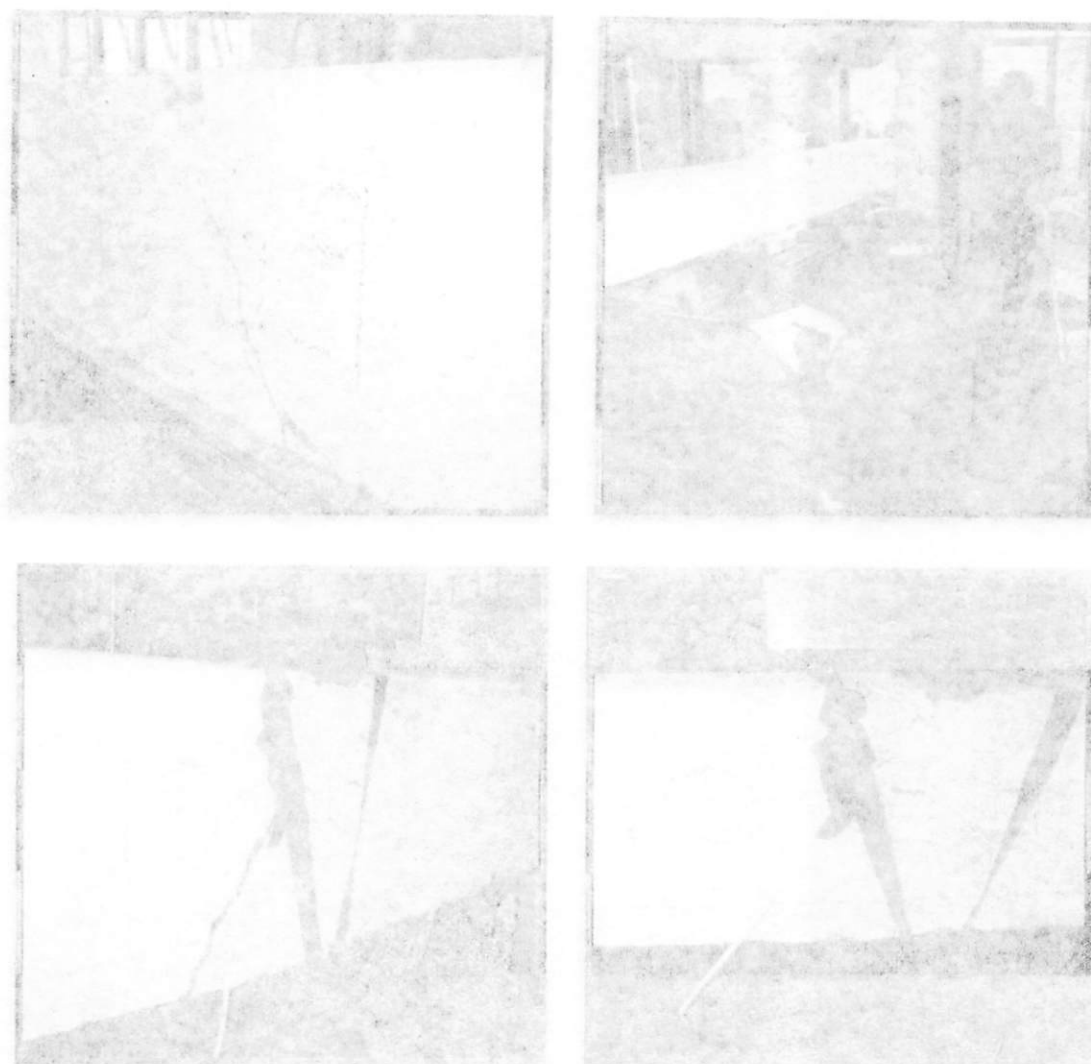
Pada balok BB01-D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 6,8$ ton kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 10,4$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 8,4$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.



Gambar 4.1. Pengujian balok BB-01

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban lentur (P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai lendutan yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan panjang balok mula-mula yaitu $L = 400$ mm untuk memperoleh nilai



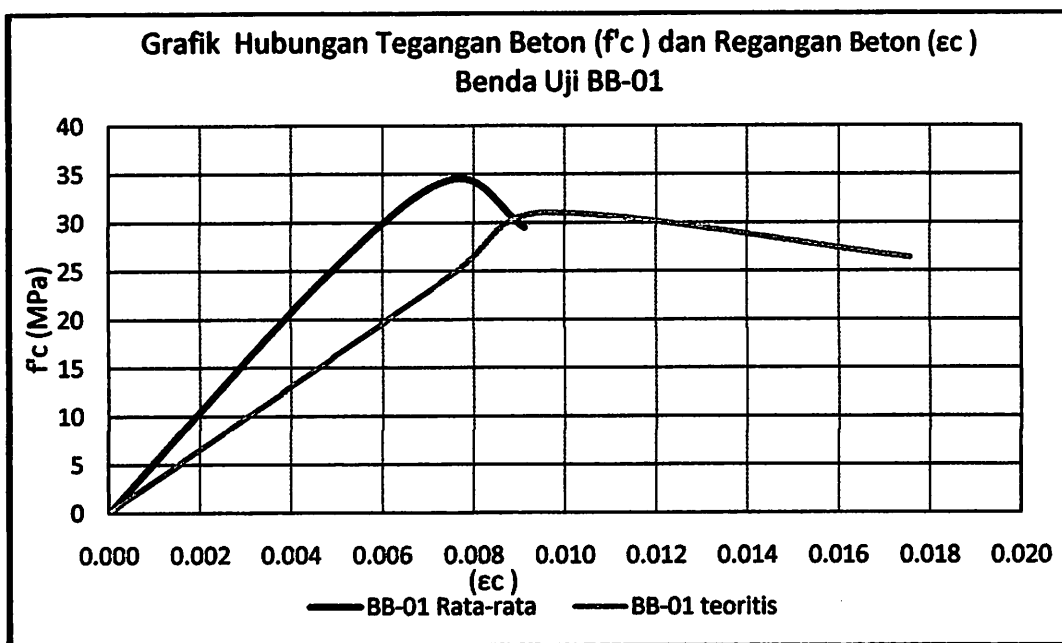
Gambar 4.1. Percobaan balok RB-01

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangannya Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban lecutur (P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai lendutan yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan panjang balok mula-mula yaitu $L = 400$ mm untuk memperoleh nilai

regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada *Lampiran 1 Tabel L1.1*.

Kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-01 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran 1 Tabel L.1.1-E* yaitu angka-angka pada kolom 3 dan kolom 5. Sedangkan kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-01 hasil teoritis diambil dari grafik 3.2. Hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Grafik 4.1 dibawah ini.



Grafik 4.1. Kurva Tegangan-Regangan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB- 01

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.1, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 01 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 34,45 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 31,04 MPa sehingga terdapat peningkatan kuat tekan sebesar 9,66 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,00752 sedangkan ϵ_c hasil analisa teoritis sebesar 0,0095 atau mengalami penurunan sebesar 27,58 %. Hasil Perbandingan f'_c , dan ϵ_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.5

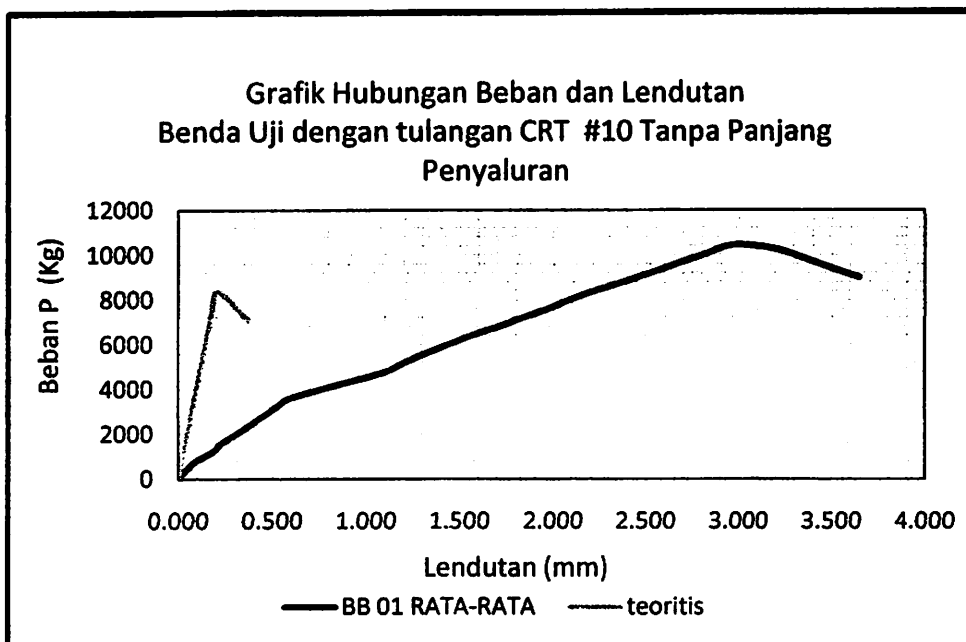
Tabel 4.5 PerbandinganTegangan Dan ReganganTeoritis Dan EksperimenBalok BB – 01

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c Mpa	ϵ_c	f'_c Mpa	ϵ_c	f'_c	ϵ_c
1	BB-01A	31.04	0.0095	32.69	0.00808	-5.05	17.58
2	BB-01B	31.04	0.0095	34.06	0.00679	-8.85	29.74
3	BB-01C	31.04	0.0095	33.55	0.00674	-7.49	40.81
4	BB-01D	31.04	0.0095	37.50	0.00846	-17.23	12.20
5	BB-01 Rata-rata	31.04	0.0095	34.45	0.00752	-9.66	27.58

3. Kurva hubungan beban dan lendutan beton

Kurva hubungan beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-01 hasil analisa eksperimen dapat

digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran I Tabel L.1.1-E* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 1. Sedangkan kurva beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-01 hasil teoritis diambil dari grafik 3.1. Hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Grafik 4.2 dibawah ini



Grafik 4.2. Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB - 01

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan lendutan (f) pada kurva momen dan lendutan beton Balok BB - 01 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 105 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 83,97 kN sehingga terdapat perbedaan beban P_{maks} sebesar -19,89 %. Nilai lendutan beton f hasil analisa eksperimen sebesar 3,01 sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,202 atau mengalami peningkatan sebesar -93,22%. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 01

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f mm	P_{maks} KN	f mm	P_{maks} KN	P_{maks}	f
1	BB-01A	0.202	83.97	3.23	112.00	-25.03	-93.75
2	BB-01B	0.202	83.97	2.72	100.00	-16.03	-92.58
3	BB-01C	0.202	83.97	2.70	104.00	-19.26	-92.52
4	BB-01D	0.202	83.97	3.39	104.00	-19.26	-94.04
5	BB-01 Rata-rata	0.2018	83.9694	3.0075	105.0000	-19.89	-93.22

4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTP tanpa Panjang Penyaluran (BB-02)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB-02, dimana balok diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 0,8 m. Masing - masing tumpuan diletakkan sejauh 0,6 m dari ujung balok. Kemudian balok diberikan beban terpusat (P) secara konstan dengan

kenaikan 400 Kg tiap pembebanan. Pembebanan dilakukan secara kontinyu hingga balok mengalami keruntuhan.

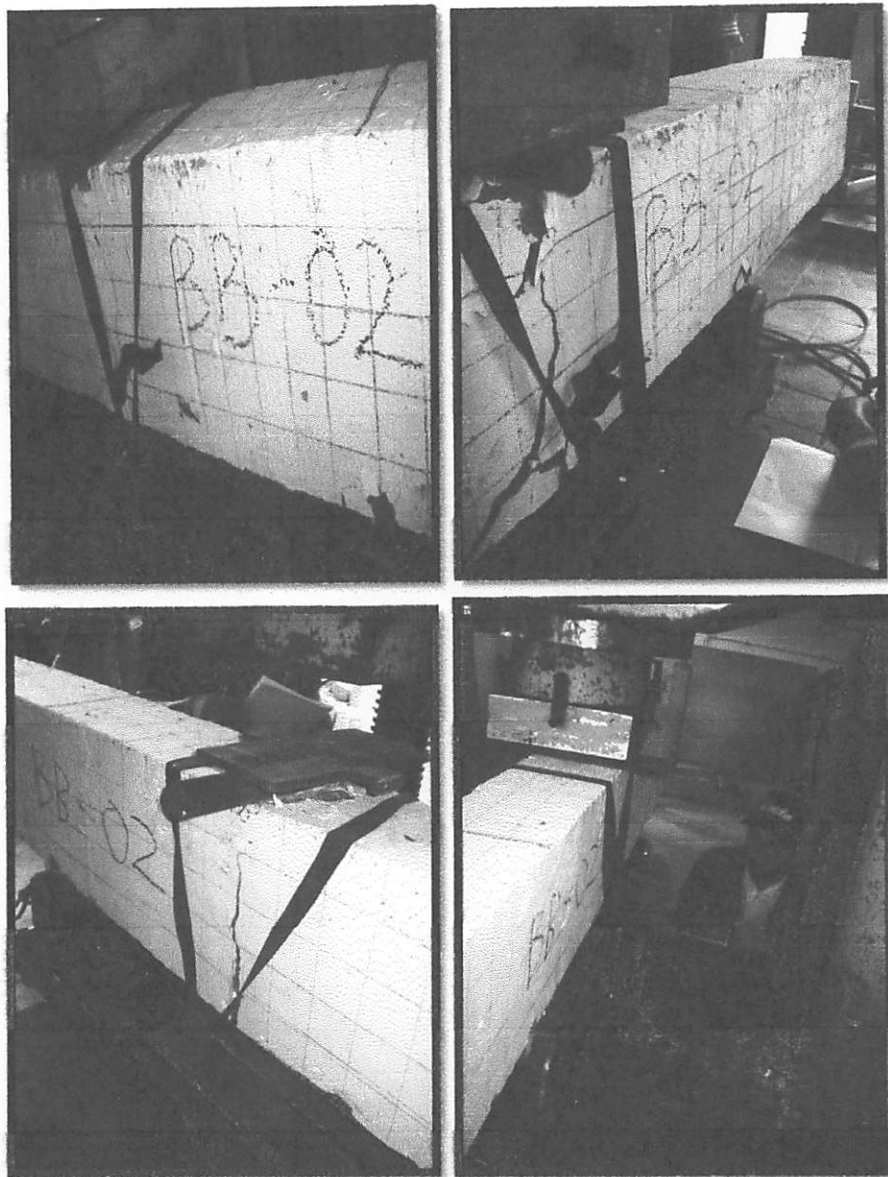
Mekanisme keruntuhan balok BB02-A diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada bagian tengah saat beban mencapai $P = 16,8 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak (ultimate) sebesar $P = 19,4 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 16,4 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB02-B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 16,2 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 19 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 16 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB02-C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 15,6 \text{ ton}$, kemudian lebar

retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 18,4$ ton. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 12,4$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB02-D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 15,2$ ton kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 18$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 11$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.



Gambar 4.2 Pengujian balok BB – 02

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban lentur(P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai lendutan yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan panjang balok

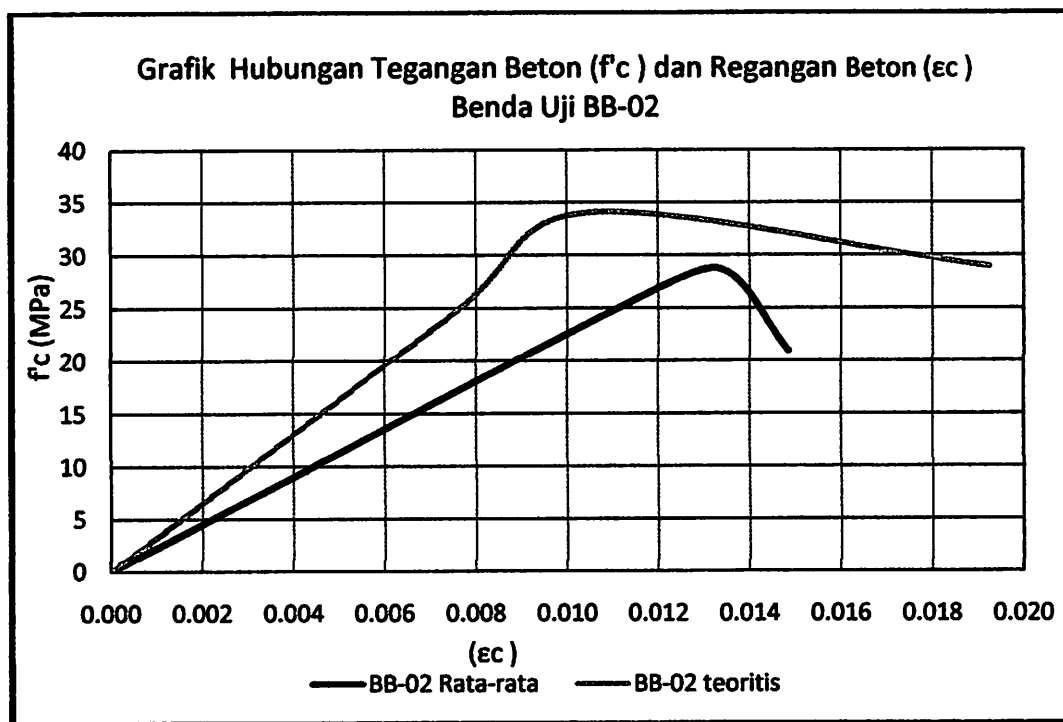


Gambar 4.2 Pengujian balok BB-02

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangannya Beton
 Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban lentur (P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai lendutan yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan panjang balok

mula-mula yaitu $L = 400$ mm untuk memperoleh nilai regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 1 Tabel.

Kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-02 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran 1 Tabel L.1.2-E* yaitu angka-angka pada kolom 5 dan kolom 3. Sedangkan kurva tegangan- tegangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-02 hasil teoritis diambil dari grafik 3.4. Hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Grafik 4.3 dibawah ini.



**Grafik 4.3. Kurva Tegangan-Regangan Balok
tanpa Panjang Penyaluran BB – 02**

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.3, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , ϵ_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 02 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 28,76 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 34,02 MPa sehingga terdapat penurunan kuat tekan sebesar 18,3 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,0133 sedangkan ϵ_c hasil analisa teoritis sebesar 0,0104 atau mengalami peningkatan sebesar 21,39 %. Hasil Perbandingan f'_c , dan ϵ_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.7.

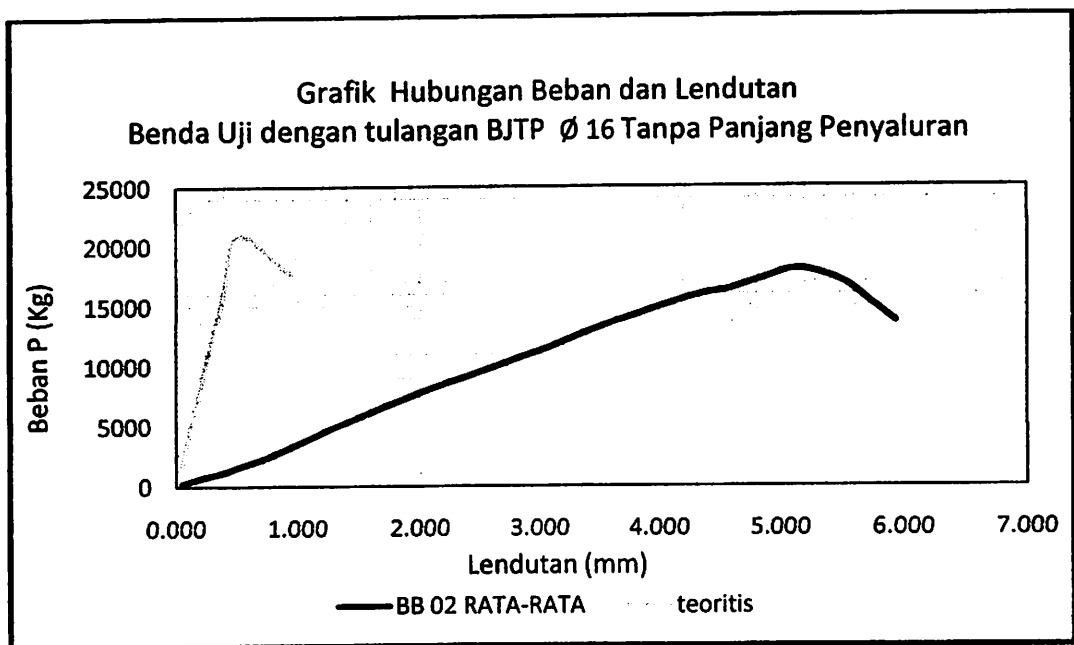
Tabel 4.7 Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen
Balok BB - 02

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c Mpa	ϵ_c	f'_c Mpa	ϵ_c	f'_c	ϵ_c
1	BB-02A	34.02	0.0104	28.31	0.01465	-20.14	-28.95
2	BB-02B	34.02	0.0104	28.76	0.01307	-16.29	-20.40
3	BB-02C	34.02	0.0104	28.92	0.01210	-17.62	-14.01
4	BB-02D	34.02	0.0104	29.04	0.01337	-17.15	-22.19
5	BB-02 Rata-rata	34.02	0.0104	28.76	0.01330	-16.30	-21.39

3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan

Kurva hubungan beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-02 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada

Lampiran I Tabel L.1.2-E yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 1. Sedangkan kurva momen dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-02 diambil dari hasil analisa teoritis menurut R.Park dan T Paulay. Hasil analisa eksperimen dan teoritis tersebut digabungkan dalam satu gambar seperti terlihat pada Grafik 4.4 dibawah ini



Grafik 4.4. Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-02

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan lendutan (f) pada kurva beban dan lendutan beton Balok BB - 02 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 187 KN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 124,49 KN sehingga terdapat perbedaan beban P_{maks} sebesar -33,37 %. Nilai lendutan beton (f) hasil analisa eksperimen sebesar 5,32 mm sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,235 mm atau mengalami penurunan sebesar -95,56 %. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.8.

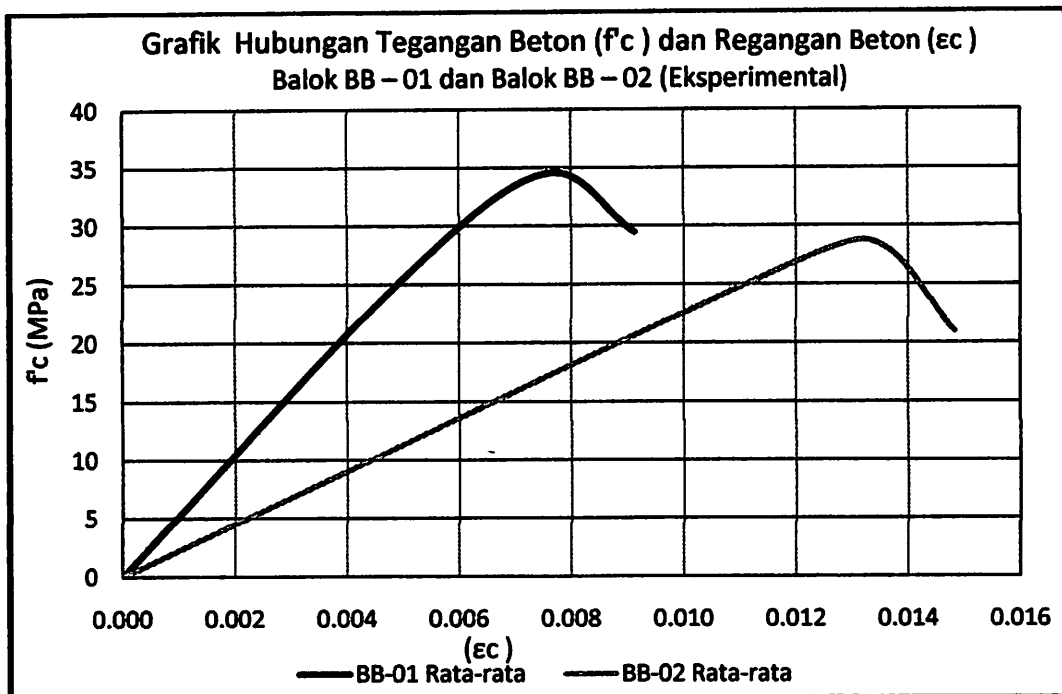
Tabel 4.8 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 08

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f mm	P_{maks} KN	f mm	P_{maks} KN	P_{maks}	f
1	BB-02A	0.235	124.49	5.86	194.00	-35.83	-95.98
2	BB-02B	0.235	124.49	5.23	190.00	-34.48	-95.50
3	BB-02C	0.235	124.49	4.84	184.00	-32.34	-95.14
4	BB-02D	0.235	124.49	5.35	180.00	-30.84	-95.60
5	BB-02 Rata-rata	0.235	124.49	5.32	187.00	-33.37	-95.56

4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB-01 terhadap Balok BB-02

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.5, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c . Pada kurva tegangan-regangan balok BB-01 dan balok BB-02 sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB-01 mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 34,45 MPa sedangkan f'_c hasil analisa balok BB-02 sebesar 28,76 MPa sehingga terdapat peningkatan kuat tekan sebesar 19,8 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa balok BB-01 sebesar 0,0075 sedangkan ϵ_c hasil analisa balok BB-02 sebesar 0,0133 atau terjadi perbedaan sebesar -43,46 %.

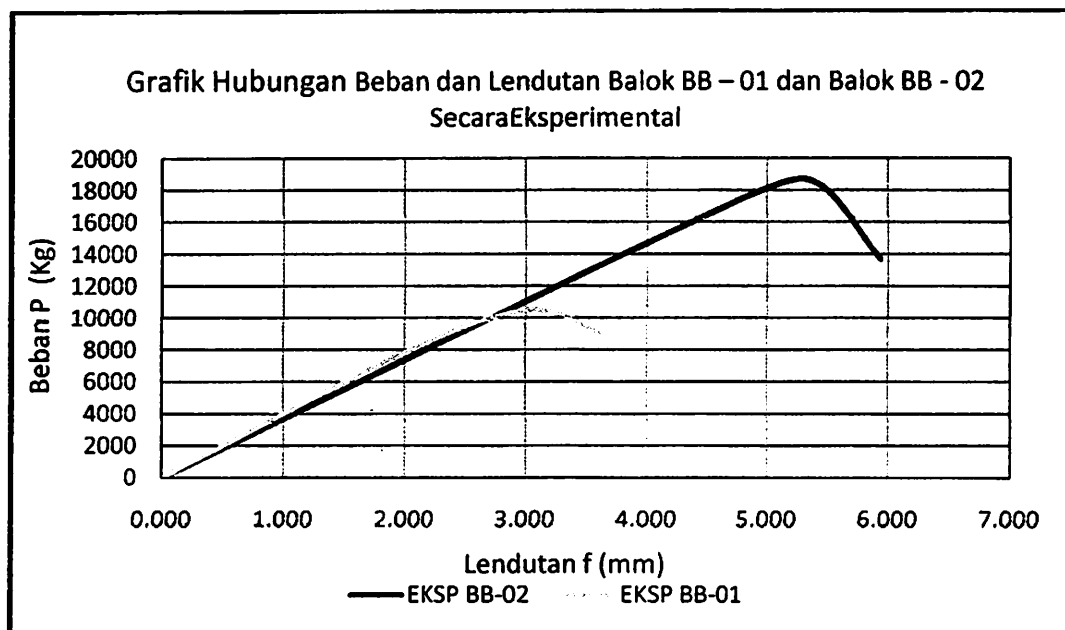


Grafik 4.5. Kurva Tegangan - Regangan Balok BB - 01 dan Balok BB - 02

4.5. Perbandingan Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-01 Terhadap Balok BB-02

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan f pada kurva beban dan lendutan balok BB-01 dan balok BB-02 sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB-01 mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 105 KN sedangkan P_{maks} hasil analisa balok BB-02 sebesar 187 KN sehingga terdapat perbedaan kuat lentur sebesar -43,85%. Nilai lendutan beton f hasil analisa balok BB-01 sebesar 3,01 sedangkan f hasil analisa balok BB-02 sebesar 5,32 atau terjadi perbedaan sebesar -43,46%.



Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB - 01 dan Balok BB - 02

4.6. Efektifitas Balok BB-07 Terhadap Balok BB-08

Pada tabel 4.9 dibawah, terlihat Balok BB01 dengan rasio tulangan $A_{st} = 0,79$, perbedaan $f_y = 23,13 \text{ MPa}$ dan $f_u = -37,33 \text{ MPa}$ ternyata terjadi inefisiensi jika dibandingkan dengan Balok BB-02

Tabel 4.9 Perbandingan efektifitas balok dengan tulangan CRT (BB-01) terhadap Balok dengan tulangan BJTP (BB-02)

No.	TIPE BALOK	Ast (mm ²)		Rasio Ast	Tensile		Beda Tensile		Eksperimen				Perbedaan (%)			
		CRT	BJTP		<i>f_y</i> (MPa)	<i>f_u</i> (MPa)	<i>f_y</i> (MPa)	<i>f_u</i> (MPa)	<i>f'_c</i> (MPa)	ϵ_c	<i>f</i> (mm)	Pmaks (KN)	Pmaks (KN)	<i>f'_c</i> (MPa)	ϵ_c	<i>f</i> (mm)
1	BB-01 (CRT)	139	352.5	0.396	455	576	202	225	34.45	0.0075	3.01	105	-43.85	19.80	-43.458	-43.5
2	BB-02 (BJTP)				253	351			28.76	0.0133	5.32	187				

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Penggunaan tulangan CRT pada balok BB-01 ternyata terjadi Inefisiensi jika dibandingkan dengan balok tulangan BJTP (BB-02), dimana terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -43,85%, ϵ_c sebesar -43,458% dan lendutan f sebesar -43,5%. Sedangkan untuk f_c terjadi efektifitas sebesar 19,8%.
2. Dari model kurva tegangan regangan balok BB-01 dan BB-02 (*Grafik 4.6*) terlihat bahwa pada balok dengan tulangan CRT (BB-01) mempunyai sudut tegangan lebih besar dari pada balok dengan tulangan BJTP (BB-02). Namun pada regangan, balok dengan tulangan CRT (BB-01) memiliki sudut yang lebih kecil dari balok dengan tulangan BJTP (BB-02).
3. Berdasarkan hasil analisa eksperimen (*tabel 4.6*) balok dengan tulangan CRT (BB-01) pada beban $P_{ultimate}$ 105 KN mengalami lendutan sebesar 3,01 mm namun pada balok dengan tulangan BJTP (BB-02) pada beban $P_{Ultimit}$ 187 KN mengalami lendutan sebesar 5,32 mm. Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur $P_{ultimite}$ berbeda -43,85% dan lendutan berbeda -43,5%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka kami dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Pembuatan benda uji sangat menentukan ketepatan hasil penelitian, antara lain dari segi kualitas, perawatan, maupun mobilesasi benda uji.
2. Penentuan dimensi benda uji baik ukuran balok maupun jumlah tulangan sangat mempengaruhi analisa baik secara teoritis maupun eksperimental.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi diameter tulangan yang jauh lebih banyak misalkan $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 13$, $\emptyset 16$, $\emptyset 19$ untuk masing-masing jenis tulangan (CRT, BJTP, BJTD).
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dimensi balok yang berbeda, selain 15/25 dengan panjang 2 meter seperti dalam penelitian ini. Misalkan balok 20/30, 20/40 dan lain-lain dengan variasi panjang bentang.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Commite 318, 2002, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-2002)*. New York : American Concrete Institute.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Bandung : Badan Standardisasi Nasional.
- Ferguson P.M., Breen J.E., Jirsa J.O., 1988. *Reinforced Concrete Fundamentals*, New York : John Wiley and Sons.
- Jack. C. McCormac, 2004, *Desain Beton bertulang Jilid 1*, Jakarta : Erlangga
- Mulyadi MST, 2010, *Perilaku Balok Beton Busa Bertulang (Reinforced Foamed Concrete) Di Bawah Beban Statik*, Penelitian Mahasiswa Struktur JTS-FT UNSYIAH
- Nasution Amrinsyah, 2001, *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*, Bandung : ITB
- Nawi E.G., 1998, *Beton Bertulang*, Bandung : Refika Aditama.
- Park R., Paulay T., 1975, *Reinforced Concrete Structure*, New York : John Wiley and Sons.
- Purwono R., Tavio, Imran I., Raka I. G. P., 2007, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 dilengkapi Penjelasan (S-2002)*, ITS Surabaya.
- Wang C.K., Salmon C. G., 1979, *Reinforced Concrete Design*, New York : Harper and Row.
- Yudianto, Nur, 2008, *Pengaruh Pengekangan Pada Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Sesuai Dengan Model Tegangan Regangan Beton Dan Tegangan Blok Ekuivalen*, ITS - Undergraduate Theses of Civil Engineering, RSS 624.183 42 Yud p

LAMPIRAN

FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG PENELITIAN

Nama : NIKODEMUS RIZKI APESYA

NIM : 09.21.902

Hari / tanggal : KAMIS / 24-02-2011

baikan materi Skripsi meliputi :

- Cek purya? teg. - regangan, tertia
& Eksperimental

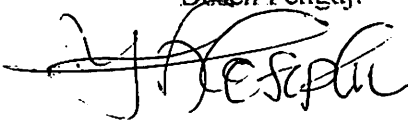
- Cek Pumpy? teg. - regangan bila
balok gunakan sebagai

ACE . 3/3 - 11

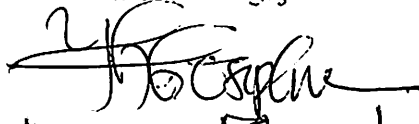
baikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian
aksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikutkan Yudisium.

gas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 03-03-2011
Dosen Penguji


(Nikodemus Rizki Apesya)

Malang, 24-02-2011
Dosen Penguji


(Yasmara Manaha)

FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG PENELITIAN

Nama : NIKODEMUS RIZKI A.
NIM : 0921902
Hari / tanggal : Kamis, 24-2-2011

baikan materi Skripsi meliputi :

- judul pada mutu beton f_c dan
 $f_c' = 24.52 \text{ Mpa}$

Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikutkan Yudisium.

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 2-3- 2011
Dosen Penguji

(A. Agus Santosa)

Malang, 24-2-2011
Dosen Penguji

(A. Agus Santosa)



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG penelitian

Nama : Nikobeanus. Piski A.
 NIM : 09.21.902
 Hari / tanggal : Kabu. 16-02-2011

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- cek ty & diameter tel. palar yg di pakai
- cek lagi lit Bab IV.
- powerpoint & lengkapi w/ persiapan kompreh.

(Handwritten signature)

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar. Bila melebihi 14 hari, maka tidak dapat diikuti Ujian Skripsi.

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 21/02 - 2011
 Dosen Pembahas

(Handwritten signature)

Malang, 16-02 - 2011
 Dosen Pembahas

(Handwritten signature)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-gura 2
Jl. Raya Karangto Km. 2
Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG Penelitian

Nama : Nicodemus Rizki A.

NIM : 0921902

Hari / tanggal : Rabu, 16 - 2 - 2011

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

Pakai nilai beton yg ada. $f_c' = 29,5 \text{ Mpa}$.

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar. Bila melebihi 14 hari, maka tidak dapat diikuti Ujian Skripsi.

Pengumpulan berkas untuk Ujian Skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari Dosen Pembahas dan Kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 16 - 2 - 2011

Dosen Pembahas

(A. Agus Santosa)

Malang, 16 - 2 - 2011

Dosen Pembahas

(A. Agus Santosa)





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : NIKODEMUS R.A
NIM. : 09.21.902
DOSEN PEMBIMBING : Ir. ESTER PRISKASARI, MT
JUDUL :

**" PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR"**

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	06 / 11 / 2010	- Bab I Pendahuluan diperbaiki sesuai catatan - Bab II Tinjauan Pustaka diperbaiki → penelitian terdahulu yang berkaitan dilengkapi lagi, - Ditambahkan teori dari buku R. Park and T. Paulay	
2.	14 / 11 / 2010	Revisi \approx dan ketentuan SNI di berikan gbr \approx diperbaiki	



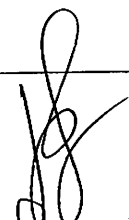



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : NIKODEMUS R.A
NIM. : 09.21.902
DOSEN PEMBIMBING : Ir. ESTER PRISKASARI, MT
JUDUL :

**" PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR"**

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
		- Pembetulan teori tambahan dengan Pauli Paulay	
		- Analisanya di perbaiki, - perhitungan diagram tegangan di perbaiki	
		- di cek lagi analisa desainya	
	23/12/2010	ace analisa desain, lengkap pembahasan	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : NIKODEMUS R.A
NIM. : 09.21.902
DOSEN PEMBIMBING : Ir. ESTER PRISKASARI, MT
JUDUL :

" PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
	Est	Cek lagi antara tul CRT dan polos dengan juga jian tarik yg sesungguhnya	
		lengkapkan saran dan kesimpulan	
	13/01/2011	acc dapat di serahkan	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : NIKODEMUS R.A
NIM. : 09.21.902
DOSEN PEMBIMBING : Ir. EDING ISKAK, MT
JUDUL :

" PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 MPa TERHADAP KUAT LENTUR "

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN									
1	23 / 11 '10	<ul style="list-style-type: none"> - cek & perbaiki sesoi araban (Bab I \leftrightarrow III) - Analisis awal rumus Momen, cek symbol f_y, f_s, f_c 										
2	03 / 01 '11	<ul style="list-style-type: none"> - analisa & pembahasan Bab IV \rightarrow ok. - Conjection 										
3	18 / 01 '11	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Ulasan</u> hasil sesoi dg. rumusan masalah - Efektifitas \rightarrow parameter - kuat lentur \rightarrow - modal kerja? - tek. dg. teoritis. 	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">CRT</th> <th style="text-align: center;">BJTP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">..</td> <td style="text-align: center;">..</td> <td style="text-align: center;">..</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> </tbody> </table>		CRT	BJTP	-	-	-
	CRT	BJTP										
..										
-	-	-										



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : NIKODEMUS R.A
NIM. : 09.21.902
DOSEN PEMBIMBING : Ir. EDING ISKAK, MT
JUDUL :

"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 MPa
TERHADAP KUAT LENTUR"

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
4	25/07 '11	- Jawaban Rumusan Masalah dit. dg. teoritis.	
5	28/07 '11	- Olahan tabel — ok - kesimpulan & saran — ok siapkan y. ujian & seminar hasil.	

LAMPIRAN L2.1
PERANCANGAN CAMPURAN BETON

No	Uraian	Tabel, Perhitungan, Peraturan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	22,5 N/mm ² pada umur 28 hari
2	Standar Deviasi	Ditetapkan	4 N/mm ²
3	Nilai tambah (margin)		$k = 1,34 \times 4 = 5,36 \text{ N/mm}^2$
4	Kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	$f_{cr} = f_c + 1,34 \times s$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = 22,5 + 1,34 \times 4 = 27,86 \text{ N/mm}^2$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	$f_{cr} = 22,5 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 23,665 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	27,86 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Gresik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir Pasuruan
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,65
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1.5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	205 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(11) / (8) MCP pasal 6.3.5 step 5	$205/0,65 = 315,4 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2674 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2700 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1800 kg/m ³
19	Jumlah presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,63 atau 63%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2345 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (17)	$0,63 \times 1800 = 1008 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	205 kg
23	Semen	(14)	315,4 kg
24	Agregat Kasar	(21)	1008 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1528,4 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2345 - 1528,4 = 816,6 \text{ kg}$
Volume padat mutiak dengan Jumlah Air, Semen dan Agregat Kasar :			
27	Volume Air	(12) / 1000	$205/1000 = 0,205 \text{ m}^3$
28	Volume Semen	(23) / (15)	$315,4/3150 = 0,100 \text{ m}^3$
29	Volume Agregat Kasar	(21) / (17)	$1008/2700 = 0,373 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	(27) + (28) + (29) + (30)	0,698 m ³
32	Volume padat dari pasir	1 - (31)	$1 - 0,698 = 0,302 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	(32) x (16)	$0,302 \times 2674 = 807,55 \text{ kg}$
Maka didapat Campuran Beton :			
	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	205 kg/m ³	205 kg/m ³
35	Semen	315,4 kg/m ³	315,4 kg/m ³
36	Agregat Kasar	1008 kg/m ³	1008 kg/m ³
37	Agregat Halus	816,6 kg/m ³	807,55 kg/m ³

Referensi

- 1 SNI 03-2847-2002 dan S-2002
- 2 ACI - MCP 211.1-91 - 2006

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

Tanggal Pengujian : Rabu, 24 Nopember 2010
Umur Benda Uji : 28 Hari
Jumlah Benda Uji : 12 Benda Uji
Tempat Pengujian : Lab. Beton dan Bahan Kontruksi, ITN Malang

No	Kode	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur Beton	Berat (kg)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban (kg)	fc		f _c (Mpa)	(f _c -f _c) ² (Mpa)	sd (Mpa)	f'c (Mpa)
									(kg/cm ²)	(Mpa)				
1	B1	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	12.82	15	176.71459	60600	342.92585	34.29259	27.718896	43.213382	2.388	24.519
2	B2	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.00	15	176.71459	54800	310.10456	31.01046		10.8343673		
3	B3	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	12.92	15	176.71459	54000	305.57749	30.55775		8.05908417		
4	B4	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.10	15	176.71459	45400	256.91145	25.69114		4.11177764		
5	B5	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.12	15	176.71459	45800	259.17498	25.9175		3.24503537		
6	B6	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.04	15	176.71459	46400	262.57029	26.25703		2.13705695		
7	B7	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.12	15	176.71459	44800	253.51614	25.35161		5.60402602		
8	B8	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.90	15	176.71459	52800	298.78688	29.87869		4.66469943		
9	B9	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.94	15	176.71459	52400	296.52334	29.65233		3.73818183		
10	B10	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.92	15	176.71459	45800	259.17498	25.9175		3.24503537		
11	B11	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.07	15	176.71459	47400	268.22913	26.82291		0.80278622		
12	B12	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.17	15	176.71459	37600	212.77248	21.27725		41.4948413		
											131.150274			

**Tabel L1.1-A Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01A
CRT # 10 tanpa Penyalaran**

ket.	P	f	ϵ_c	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0.000	0.0000	0.000	0.000
	400	0.150	0.000375	1.168	21.667
	800	0.210	0.000525	2.335	43.333
	1200	0.270	0.000675	3.503	65.000
	1600	0.340	0.000850	4.670	86.667
	2000	0.370	0.000925	5.838	108.333
	2400	0.410	0.001025	7.006	130.000
	2800	0.450	0.001125	8.173	151.667
	3200	0.490	0.001225	9.341	173.333
	3600	0.550	0.001375	10.509	195.000
	4000	0.650	0.001625	11.676	216.667
	4400	0.760	0.001900	12.844	238.333
	4800	0.860	0.002150	14.011	260.000
	5200	0.970	0.002425	15.179	281.667
	5600	1.090	0.002725	16.347	303.333
	6000	1.190	0.002975	17.514	325.000
	6400	1.300	0.003250	18.682	346.667
	6800	1.490	0.003725	19.850	368.333
	7200	1.560	0.003900	21.017	390.000
	7600	1.700	0.004250	22.185	411.667
	8000	1.840	0.004600	23.352	433.333
RETAK 1	8400	1.950	0.004875	24.520	455.000
	8800	2.190	0.005475	25.688	476.667
	9200	2.310	0.005775	26.855	498.333
	9600	2.510	0.006275	28.023	520.000
	10000	2.690	0.006725	29.190	541.667
	10400	2.870	0.007175	30.358	563.333
	10800	3.050	0.007625	31.526	585.000
ULTIMATE	11200	3.230	0.008075	32.693	606.667
	10800	3.410	0.008525	31.526	585.000
	10400	3.590	0.008975	30.358	563.333
RUNTUH	10000	3.770	0.009425	29.190	541.667

**Tabel L1.1-B Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01B
CRT # 10 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	εc	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0.000	0.000000	0.000	0.000
	400	0.000	0.000000	1.362	25.278
	800	0.060	0.000150	2.724	50.556
	1200	0.150	0.000375	4.087	75.833
	1600	0.200	0.000500	5.449	101.111
	2000	0.290	0.000725	6.811	126.389
	2400	0.380	0.000950	8.173	151.667
	2800	0.460	0.001150	9.536	176.944
	3200	0.550	0.001375	10.898	202.222
	3600	0.600	0.001500	12.260	227.500
	4000	0.850	0.002125	13.622	252.778
	4400	1.050	0.002625	14.984	278.056
	4800	1.210	0.003025	16.347	303.333
	5200	1.238	0.003094	17.709	328.611
	5600	1.361	0.003403	19.071	353.889
	6000	1.484	0.003711	20.433	379.167
	6400	1.608	0.004019	21.796	404.444
	6800	1.731	0.004328	23.158	429.722
RETAK I	7200	1.854	0.004636	24.520	455.000
	7600	1.978	0.004944	25.882	480.278
	8000	2.101	0.005253	27.244	505.556
	8400	2.224	0.005561	28.607	530.833
	8800	2.348	0.005869	29.969	556.111
	9200	2.471	0.006178	31.331	581.389
	9600	2.594	0.006486	32.693	606.667
ULTIMATE	10000	2.718	0.006794	34.056	631.944
	10400	2.841	0.007103	35.418	657.222
	10800	2.964	0.007411	36.780	682.500
	10400	3.088	0.007719	35.418	657.222
	10000	3.211	0.008028	34.056	631.944
	9600	3.334	0.008336	32.693	606.667
RUNTUH	9200	3.458	0.008644	31.331	581.389

**Tabel L1.1-C Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01C
CRT # 10 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	ϵ_c	f'c	f _s
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0.000000	0.000	0.000
	400	0.020	0.000050	1.291	23.947
	800	0.040	0.000100	2.581	47.895
	1200	0.130	0.000325	3.872	71.842
	1600	0.170	0.000425	5.162	95.789
	2000	0.270	0.000675	6.453	119.737
	2400	0.360	0.000900	7.743	143.684
	2800	0.430	0.001075	9.034	167.632
	3200	0.510	0.001275	10.324	191.579
	3600	0.580	0.001450	11.615	215.526
	4000	0.680	0.001700	12.905	239.474
	4400	0.870	0.002175	14.196	263.421
	4800	1.120	0.002800	15.486	287.368
	5200	1.210	0.003025	16.777	311.316
	5600	1.261	0.003152	18.067	335.263
	6000	1.379	0.003448	19.358	359.211
	6400	1.497	0.003743	20.648	383.158
	6800	1.615	0.004038	21.939	407.105
	7200	1.734	0.004334	23.229	431.053
RETAK 1	7600	1.852	0.004629	24.520	455.000
	8000	1.970	0.004925	25.811	478.947
	8400	2.088	0.005220	27.101	502.895
	8800	2.206	0.005515	28.392	526.842
	9200	2.390	0.005975	29.682	550.789
	9600	2.475	0.006188	30.973	574.737
	10000	2.599	0.006497	32.263	598.684
ULTIMATE	10400	2.697	0.006743	33.554	622.632
	10000	2.802	0.007004	32.263	598.684
	9600	2.906	0.007265	30.973	574.737
	9200	3.011	0.007526	29.682	550.789
	8800	3.115	0.007788	28.392	526.842
RUNTUH	8400	3.220	0.008049	27.101	502.895

**Tabel L1.1-D Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01D
CRT # 10 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	ϵ_c	f'c	f _s
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0.000000	0.000	0.000
	400	0.000	0.000000	1.442	26.765
	800	0.060	0.000150	2.885	53.529
	1200	0.170	0.000425	4.327	80.294
	1600	0.220	0.000550	5.769	107.059
	2000	0.310	0.000775	7.212	133.824
	2400	0.380	0.000950	8.654	160.588
	2800	0.460	0.001150	10.096	187.353
	3200	0.520	0.001300	11.539	214.118
	3600	0.630	0.001575	12.981	240.882
	4000	0.850	0.002125	14.424	267.647
	4400	1.070	0.002675	15.866	294.412
	4800	1.240	0.003100	17.308	321.176
	5200	1.400	0.003500	18.751	347.941
	5600	1.550	0.003875	20.193	374.706
	6000	1.700	0.004250	21.635	401.471
	6400	1.850	0.004625	23.078	428.235
RETAK I	6800	2.000	0.005000	24.520	455.000
	7200	2.200	0.005500	25.962	481.765
	7600	2.360	0.005900	27.405	508.529
	8000	2.450	0.006125	28.847	535.294
	8400	2.630	0.006575	30.289	562.059
	8800	2.781	0.006953	31.732	588.824
	9200	2.932	0.007330	33.174	615.588
	9600	3.083	0.007708	34.616	642.353
	10000	3.234	0.008085	36.059	669.118
ULTIMATE	10400	3.385	0.008463	37.501	695.882
	10000	3.536	0.008840	36.059	669.118
	9600	3.687	0.009218	34.616	642.353
	9200	3.838	0.009595	33.174	615.588
	8800	3.989	0.009973	31.732	588.824
RUNTUH	8400	4.140	0.010350	30.289	562.059

Tabel L1.1-E Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-01 CRT # 10
Rata-rata

ket.	P	f	ϵ_c	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0.000	0.00000	0.000	0.000
Retak 1	7500	1.914	0.00479	24.520	455.000
Ultimate	10500	3.007	0.00752	34.451	639.281
Runtuh	9000	3.647	0.00912	29.478	547.002

**Tabel L1.2-A Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02A
BJTP Ø 16 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	ec	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0.000000	0.000	0.000
	400	0.12	0.000300	0.584	10.286
	800	0.27	0.000675	1.168	20.571
	1200	0.35	0.000875	1.751	30.857
	1600	0.47	0.001175	2.335	41.143
	2000	0.593	0.001483	2.919	51.429
	2400	0.71	0.001775	3.503	61.714
	2800	0.827	0.002068	4.087	72.000
	3200	0.944	0.002360	4.670	82.286
	3600	1.061	0.002653	5.254	92.571
	4000	1.178	0.002945	5.838	102.857
	4400	1.295	0.003238	6.422	113.143
	4800	1.412	0.003530	7.006	123.429
	5200	1.529	0.003823	7.590	133.714
	5600	1.646	0.004115	8.173	144.000
	6000	1.763	0.004408	8.757	154.286
	6400	1.88	0.004700	9.341	164.571
	6800	1.997	0.004993	9.925	174.857
	7200	2.114	0.005285	10.509	185.143
	7600	2.231	0.005578	11.092	195.429
	8000	2.348	0.005870	11.676	205.714
	8400	2.465	0.006163	12.260	216.000
	8800	2.582	0.006455	12.844	226.286
	9200	2.699	0.006748	13.428	236.571
	9600	2.816	0.007040	14.011	246.857
	10000	2.933	0.007333	14.595	257.143
	10400	3.05	0.007625	15.179	267.429
	10800	3.167	0.007918	15.763	277.714
	11200	3.284	0.008210	16.347	288.000
	11600	3.401	0.008503	16.930	298.286
	12000	3.518	0.008795	17.514	308.571
	12400	3.635	0.009088	18.098	318.857
	12800	3.752	0.009380	18.682	329.143
	13200	3.869	0.009673	19.266	339.429
	13600	3.986	0.009965	19.850	349.714
	14000	4.103	0.010258	20.433	360.000
	14400	4.22	0.010550	21.017	370.286
	14800	4.337	0.010843	21.601	380.571
	15200	4.454	0.011135	22.185	390.857
	15600	4.571	0.011428	22.769	401.143
	16000	4.688	0.011720	23.352	411.429
	16200	4.805	0.012013	23.644	416.571
	16400	4.922	0.012305	23.936	421.714
RETAK I	16800	5.039	0.012598	24.520	432.000
	17200	5.156	0.012890	25.104	442.286
	17600	5.273	0.013183	25.688	452.571
	18000	5.39	0.013475	26.271	462.857
	18400	5.507	0.013768	26.855	473.143
	18800	5.624	0.014060	27.439	483.429
	19000	5.741	0.014353	27.731	488.571
ULTIMATE	19400	5.858	0.014645	28.315	498.857
	18400	5.975	0.014938	26.855	473.143
	17400	6.092	0.015230	25.396	447.429
RUNTUH	16400	6.209	0.015523	23.936	421.714

**Tabel L1.2-B Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02B
BJTP Ø 16 tanpa Peyaluran**

ket.	P	f	εc	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0.000000	0.000	0.000
	400	0.14	0.000350	0.605	10.667
	800	0.3	0.000750	1.211	21.333
	1200	0.48	0.001200	1.816	32.000
	1600	0.58	0.001450	2.422	42.667
	2000	0.71	0.001775	3.027	53.333
	2400	0.8	0.002000	3.633	64.000
	2800	0.87	0.002175	4.238	74.667
	3200	0.94	0.002350	4.843	85.333
	3600	1	0.002500	5.449	96.000
	4000	1.06	0.002650	6.054	106.667
	4400	1.11	0.002775	6.660	117.333
	4800	1.17	0.002925	7.265	128.000
	5200	1.24	0.003100	7.871	138.667
	5600	1.32	0.003300	8.476	149.333
	6000	1.39	0.003475	9.081	160.000
	6400	1.46	0.003650	9.687	170.667
	6800	1.54	0.003850	10.292	181.333
	7200	1.64	0.004100	10.898	192.000
	7600	1.71	0.004275	11.503	202.667
	8000	1.8	0.004500	12.109	213.333
	8400	1.91	0.004775	12.714	224.000
	8800	2.03	0.005075	13.320	234.667
	9200	2.15	0.005375	13.925	245.333
	9600	2.27	0.005675	14.530	256.000
	10000	2.37	0.005925	15.136	266.667
	10400	2.47	0.006175	15.741	277.333
	10800	2.58	0.006450	16.347	288.000
	11200	2.71	0.006775	16.952	298.667
	11600	2.82	0.007050	17.558	309.333
	12000	2.9	0.007250	18.163	320.000
	12400	2.97	0.007425	18.768	330.667
	12800	3.07	0.007675	19.374	341.333
	13200	3.17	0.007925	19.979	352.000
	13600	3.26	0.008150	20.585	362.667
	14000	3.39	0.008475	21.190	373.333
	14400	3.52	0.008800	21.796	384.000
	14800	3.62	0.009050	22.401	394.667
	15200	3.75	0.009375	23.006	405.333
	15600	3.89	0.009725	23.612	416.000
	16000	4.05	0.010125	24.217	426.667
RETAK I	16200	4.165	0.010413	24.520	432.000
	16400	4.298	0.010745	24.823	437.333
	16800	4.431	0.011078	25.428	448.000
	17200	4.564	0.011410	26.034	458.667
	17600	4.697	0.011743	26.639	469.333
	18000	4.83	0.012075	27.244	480.000
	18400	4.963	0.012408	27.850	490.667
	18800	5.096	0.012740	28.455	501.333
ULTIMATE	19000	5.229	0.013073	28.758	506.667
	18000	5.362	0.013405	27.244	480.000
	17000	5.495	0.013738	25.731	453.333
	16000	5.628	0.014070	24.217	426.667
RUNTUH	15000	5.761	0.014403	22.704	400.000

**Tabel L1.2-C Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02C
BJTP Ø 16 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	εc	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0.000	0.000000	0.000	0.000
	400	0.080	0.000200	0.629	11.077
	800	0.220	0.000550	1.257	22.154
	1200	0.400	0.001000	1.886	33.231
	1600	0.540	0.001350	2.515	44.308
	2000	0.650	0.001625	3.144	55.385
	2400	0.770	0.001925	3.772	66.462
	2800	0.840	0.002100	4.401	77.538
	3200	0.900	0.002250	5.030	88.615
	3600	0.970	0.002425	5.658	99.692
	4000	1.030	0.002575	6.287	110.769
	4400	1.080	0.002700	6.916	121.846
	4800	1.140	0.002850	7.545	132.923
	5200	1.200	0.003000	8.173	144.000
	5600	1.280	0.003200	8.802	155.077
	6000	1.350	0.003375	9.431	166.154
	6400	1.420	0.003550	10.059	177.231
	6800	1.500	0.003750	10.688	188.308
	7200	1.580	0.003950	11.317	199.385
	7600	1.680	0.004200	11.946	210.462
	8000	1.760	0.004400	12.574	221.538
	8400	1.850	0.004625	13.203	232.615
	8800	1.970	0.004925	13.832	243.692
	9200	2.100	0.005250	14.461	254.769
	9600	2.200	0.005500	15.089	265.846
	10000	2.320	0.005800	15.718	276.923
	10400	2.420	0.006050	16.347	288.000
	10800	2.520	0.006300	16.975	299.077
	11200	2.650	0.006625	17.604	310.154
	11600	2.770	0.006925	18.233	321.231
	12000	2.850	0.007125	18.862	332.308
	12400	2.940	0.007350	19.490	343.385
	12800	3.020	0.007550	20.119	354.462
	13200	3.110	0.007775	20.748	365.538
	13600	3.210	0.008025	21.376	376.615
	14000	3.320	0.008300	22.005	387.692
	14400	3.450	0.008625	22.634	398.769
	14800	3.570	0.008925	23.263	409.846
	15200	3.690	0.009225	23.891	420.923
RETAK I	15600	3.800	0.009500	24.520	432.000
	16000	3.990	0.009975	25.149	443.077
	16200	4.081	0.010204	25.463	448.615
	16400	4.208	0.010520	25.777	454.154
	16800	4.334	0.010836	26.406	465.231
	17200	4.461	0.011152	27.035	476.308
	17600	4.587	0.011468	27.664	487.385
	18000	4.714	0.011784	28.292	498.462
ULTIMATE	18400	4.840	0.012100	28.921	509.538
	17400	4.966	0.012416	27.349	481.846
	16400	5.093	0.012732	25.777	454.154
	15400	5.219	0.013048	24.206	426.462
	14400	5.346	0.013364	22.634	398.769
	13400	5.472	0.013680	21.062	371.077
RUNTUH	12400	5.599	0.013996	19.490	343.385

**Tabel L1.2-DHasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02D
BJTP Ø 16 tanpa Penyaluran**

ket.	P	f	sc	f _c	f _s
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0.000000	0.000	0.000
	400	0.05	0.000125	0.645	11.368
	800	0.17	0.000425	1.291	22.737
	1200	0.35	0.000875	1.936	34.105
	1600	0.435	0.001088	2.581	45.474
	2000	0.552	0.001380	3.226	56.842
	2400	0.669	0.001673	3.872	68.211
	2800	0.786	0.001965	4.517	79.579
	3200	0.903	0.002258	5.162	90.947
	3600	1.02	0.002550	5.807	102.316
	4000	1.137	0.002843	6.453	113.684
	4400	1.254	0.003135	7.098	125.053
	4800	1.371	0.003428	7.743	136.421
	5200	1.488	0.003720	8.388	147.789
	5600	1.605	0.004013	9.034	159.158
	6000	1.722	0.004305	9.679	170.526
	6400	1.839	0.004598	10.324	181.895
	6800	1.956	0.004890	10.969	193.263
	7200	2.073	0.005183	11.615	204.632
	7600	2.19	0.005475	12.260	216.000
	8000	2.307	0.005768	12.905	227.368
	8400	2.424	0.006060	13.551	238.737
	8800	2.541	0.006353	14.196	250.105
	9200	2.658	0.006645	14.841	261.474
	9600	2.775	0.006938	15.486	272.842
	10000	2.892	0.007230	16.132	284.211
	10400	3.009	0.007523	16.777	295.579
	10800	3.126	0.007815	17.422	306.947
	11200	3.243	0.008108	18.067	318.316
	11600	3.36	0.008400	18.713	329.684
	12000	3.477	0.008693	19.358	341.053
	12400	3.594	0.008985	20.003	352.421
	12800	3.711	0.009278	20.648	363.789
	13200	3.828	0.009570	21.294	375.158
	13600	3.945	0.009863	21.939	386.526
	14000	4.062	0.010155	22.584	397.895
	14400	4.179	0.010448	23.229	409.263
	14800	4.296	0.010740	23.875	420.632
RETAK I	15200	4.413	0.011033	24.520	432.000
	15600	4.53	0.011325	25.165	443.368
	16000	4.647	0.011618	25.811	454.737
	16200	4.764	0.011910	26.456	466.105
	16400	4.881	0.012203	27.101	477.474
	16800	4.998	0.012495	27.746	488.842
	17200	5.115	0.012788	28.392	500.211
	17600	5.232	0.013080	29.037	511.579
ULTIMATE	18000	5.349	0.013373	27.424	483.158
	17000	5.466	0.013665	25.811	454.737
	16000	5.583	0.013958	24.197	426.316
	15000	5.7	0.014250	22.584	397.895
	14000	5.817	0.014543	20.971	369.474
	13000	5.934	0.014835	19.358	341.053
RUNTUH	12000	6.051	0.015128	17.745	312.632

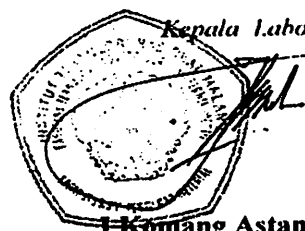
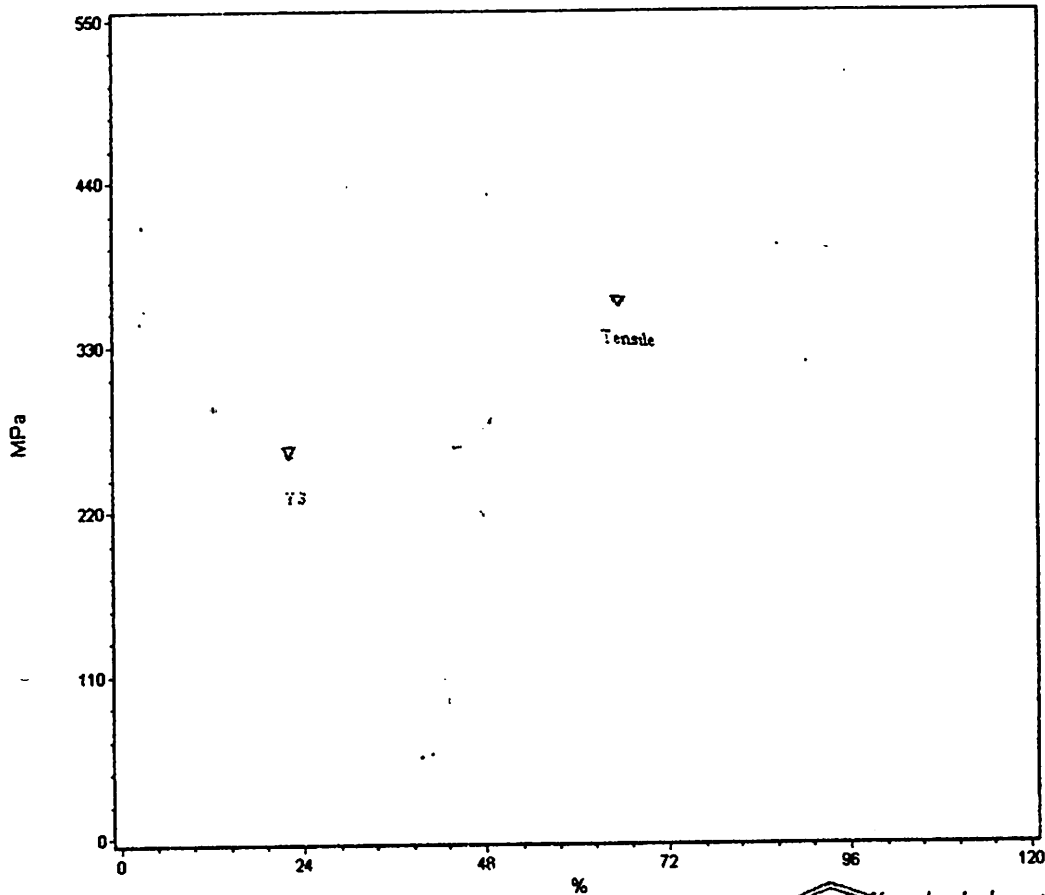
Tabel L1.2-E Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok BB-02 BJTP Ø 16 tanpa Penyaluran Rata-Rata

ket.	P	f	ec	f'c	fs
	Kg	mm		MPa	MPa
	0	0	0	0	0
Retak 1	15950	4.354	0.01089	24.520	451.000
Ultimate	18700	5.319	0.01330	28.758	506.660
Runtuh	13700	5.934	0.01484	20.969	369.433

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL RAYA KAKANGLU KM 2 TASIK MADU - MALANG
 TELP (0341) 417634, 417635, 417637 FAX 0341 - 417634

TEST REPORT

Test No.: 0877	Test Description : Tensile	Standard : ASTM A370	Test Date: 19 11 2010			
No.	SPECIMEN	Area (mm)²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTP 16 mm A	176.24	20723.80	248.41	344.65	85.53



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. HATA RAKANGLURUM 2 TASHIR MALU - MALANG
TELP (0341) 417634 417636 417637 FAX 0341 - 417634

TEST REPORT

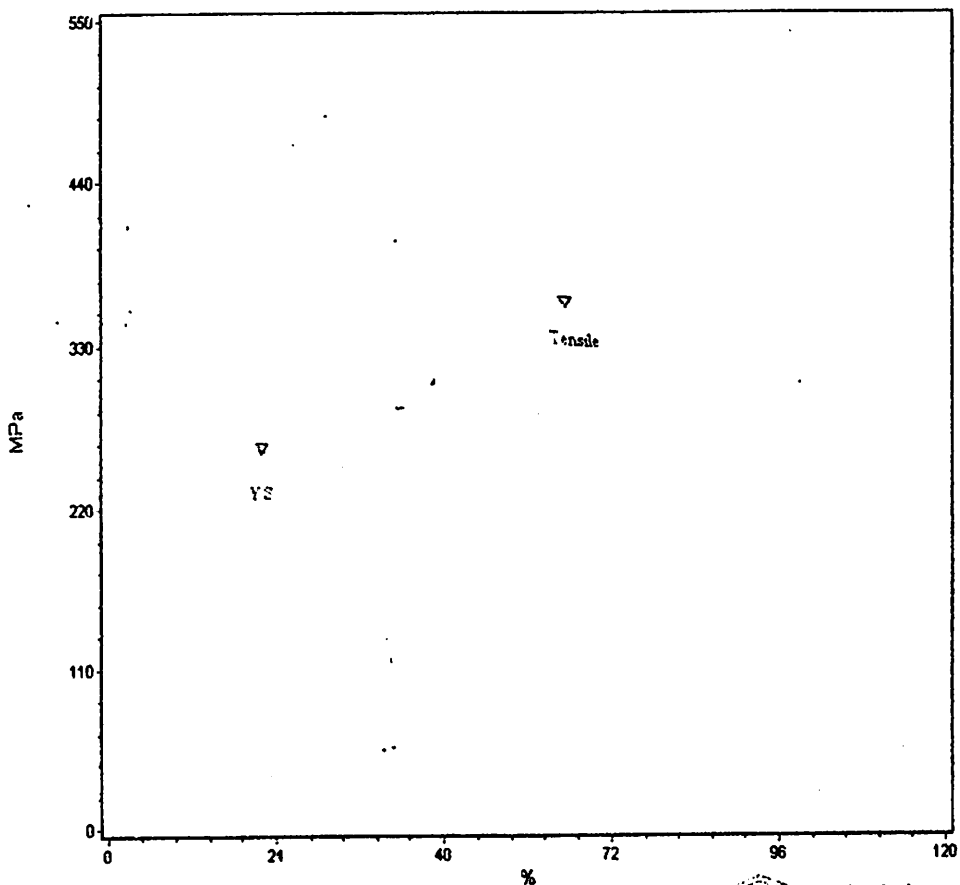
Test No.: 0878

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

Test Date: 19 11 2010

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTP 16 mm B	176.24	21424.92	257.32	356.31	86.15



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP. Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAHANGLU KM. 2 TASHIR MAJU - MALANG
 TELP. (0341) 417834, 417836, 417837 FAX. 0341 - 417634

TEST REPORT

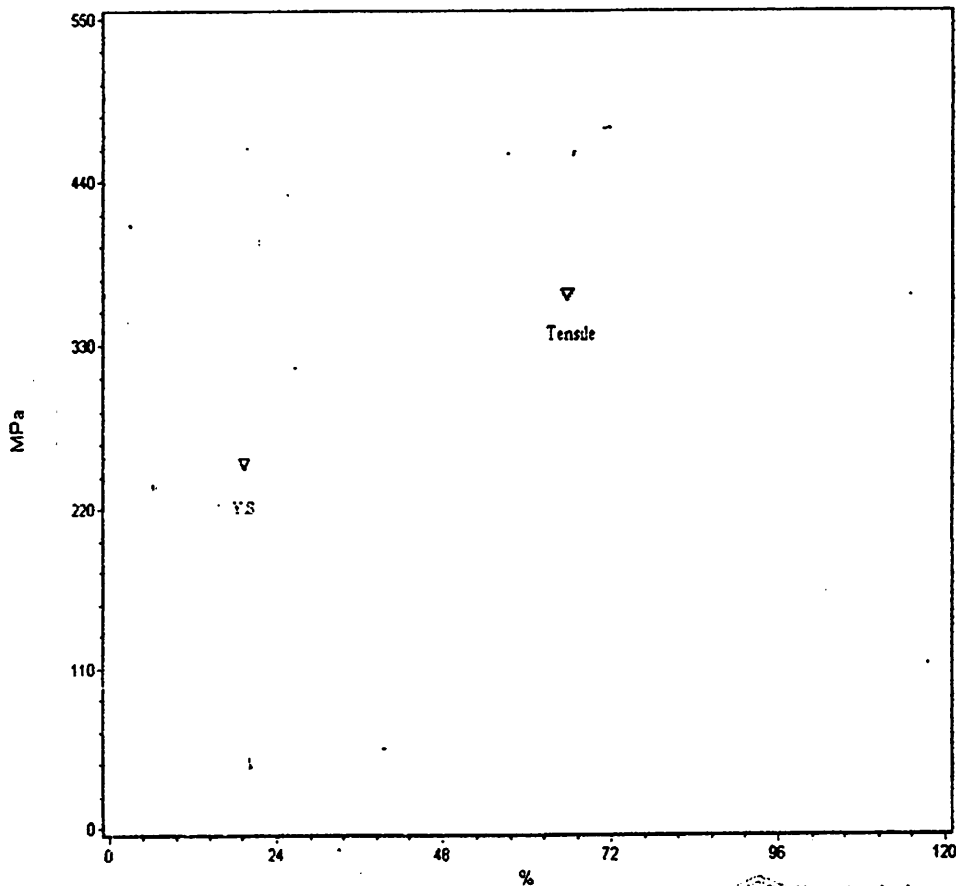
Test No.: 0879

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

Test Date: 19 11 2010

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTP 16 mm C	176.24	21204.24	253.76	352.64	89.96



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST, MT
 NIP. Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MALU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

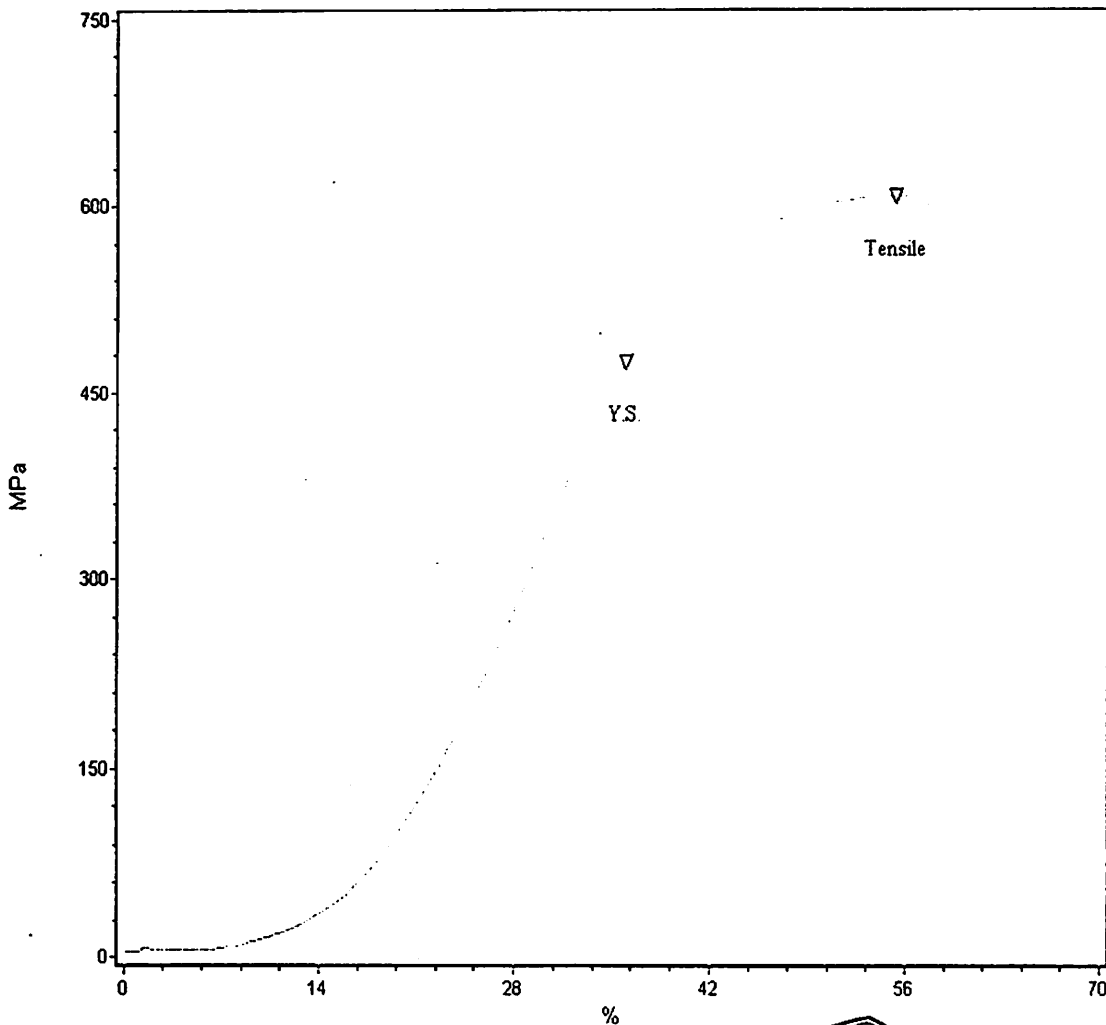
Test No.: 1871

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	CRT 10	112.3	68355.00	474.15	608.28	59.73

0871-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MAJU - MALANG

TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

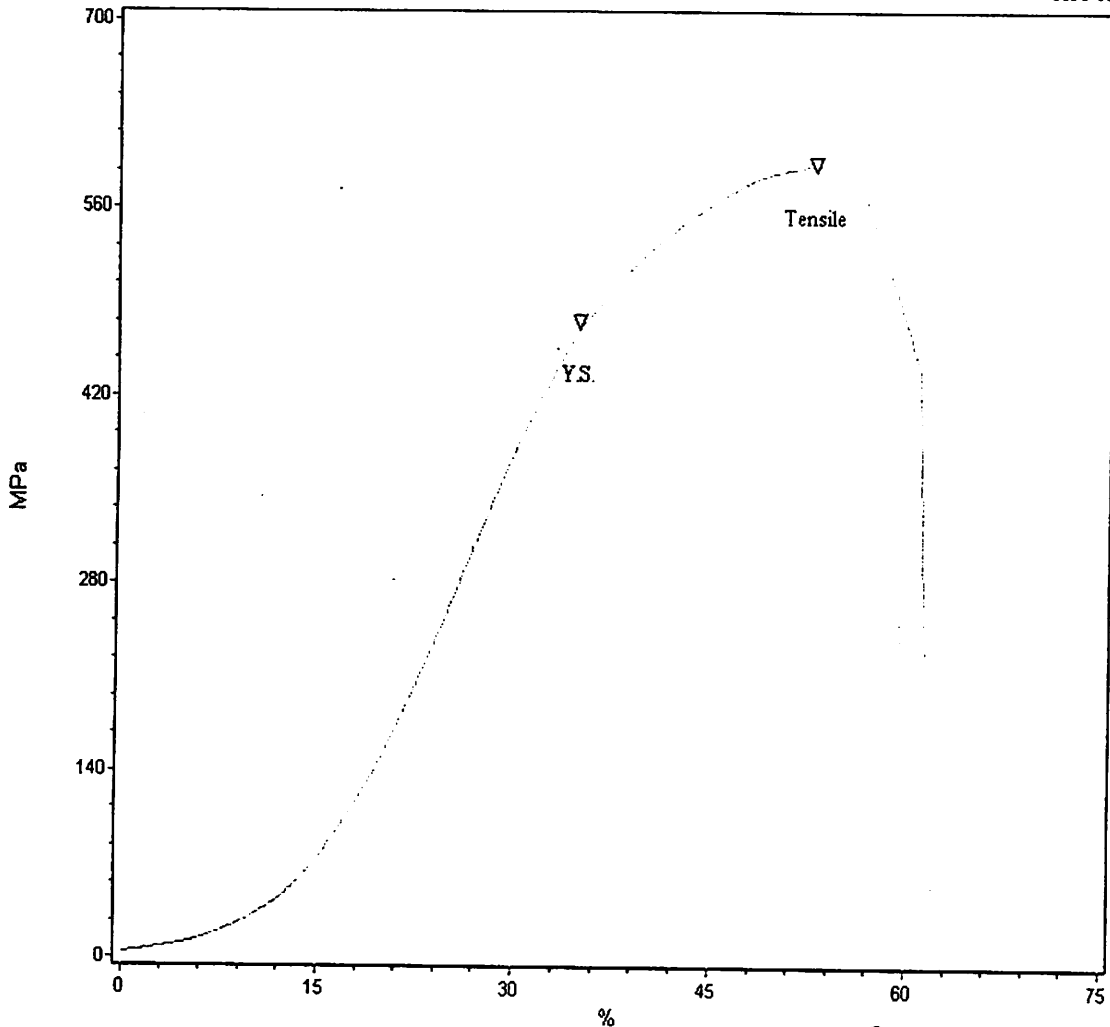
Test No.: 1858

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	CRT 10 mm B	114.3	67771.90	475.54	592.87	63.11

0858-01



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MAJU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

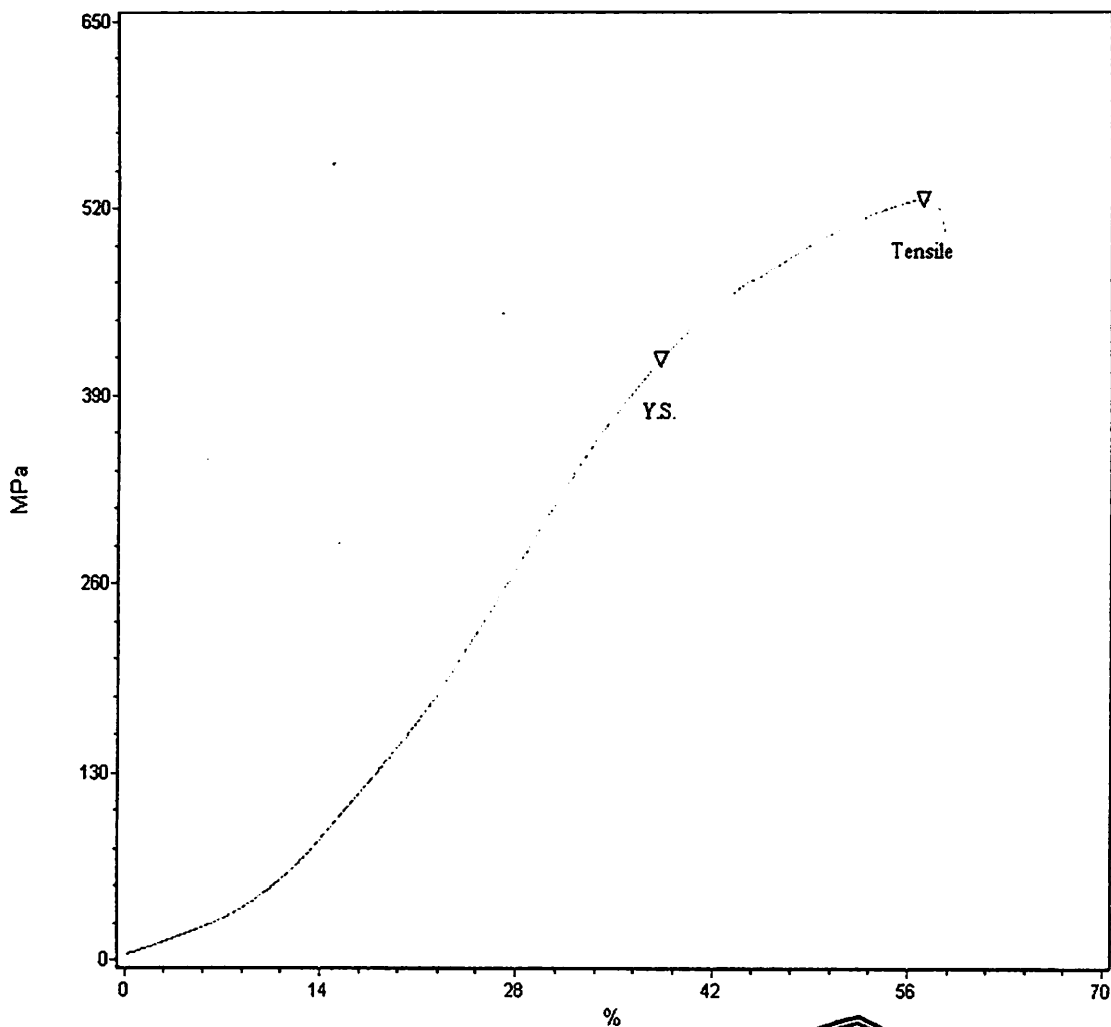
Test No.: 1859

Test Description : tensile

Standard :ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	CRT 10 mm	114.3	60157.30	415.28	526.25	58.13

0859-01



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 TASEK MALUJ - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

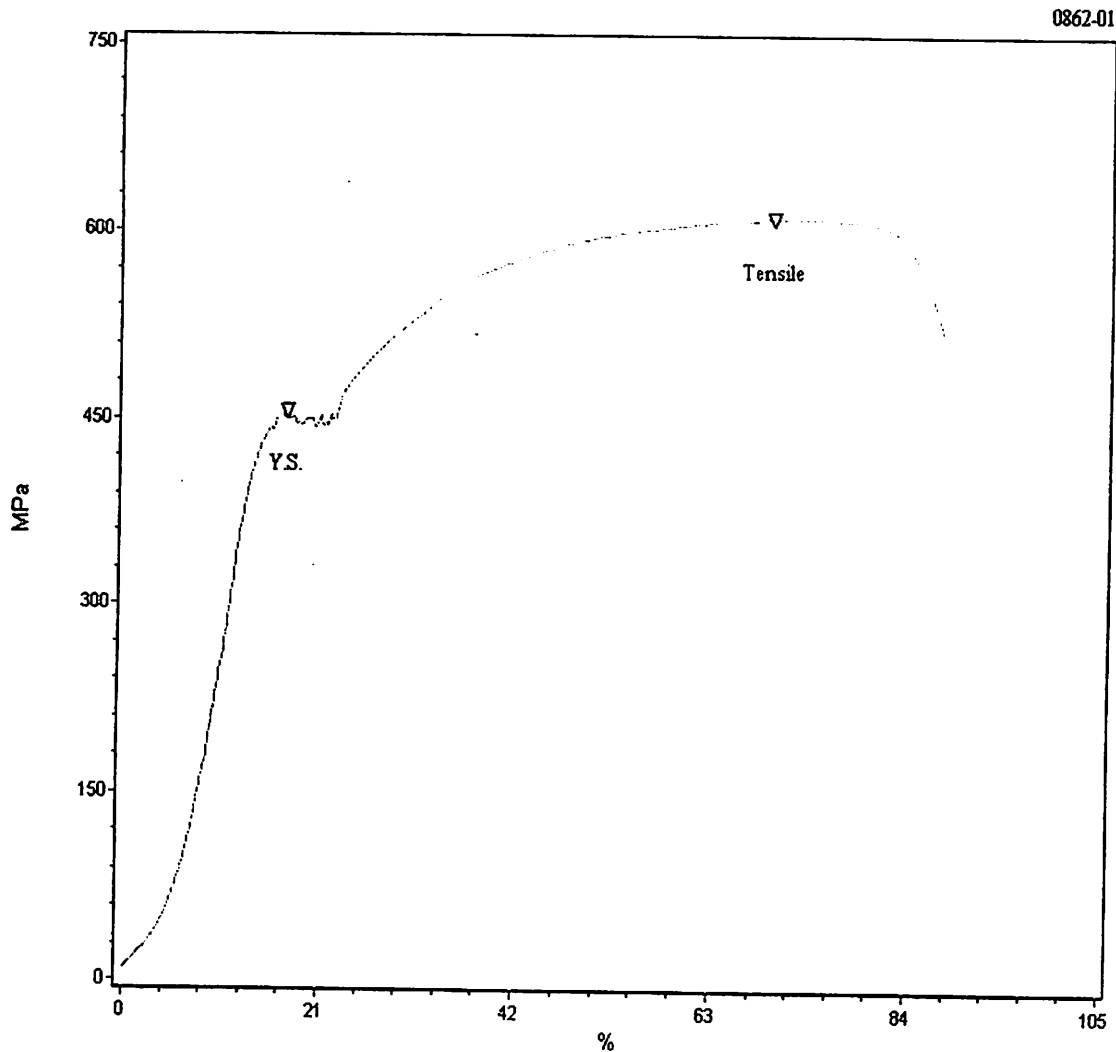
TEST REPORT

Test No.: 1862

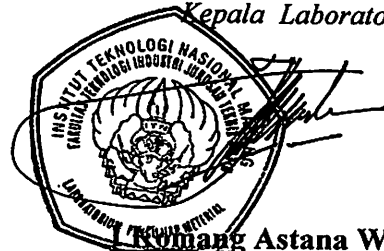
Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTD 10 mm C	47.17	28812.00	456.21	610.77	87.29



Kepala Laboratorium :



Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. HAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MALU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

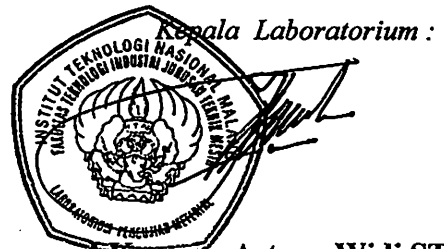
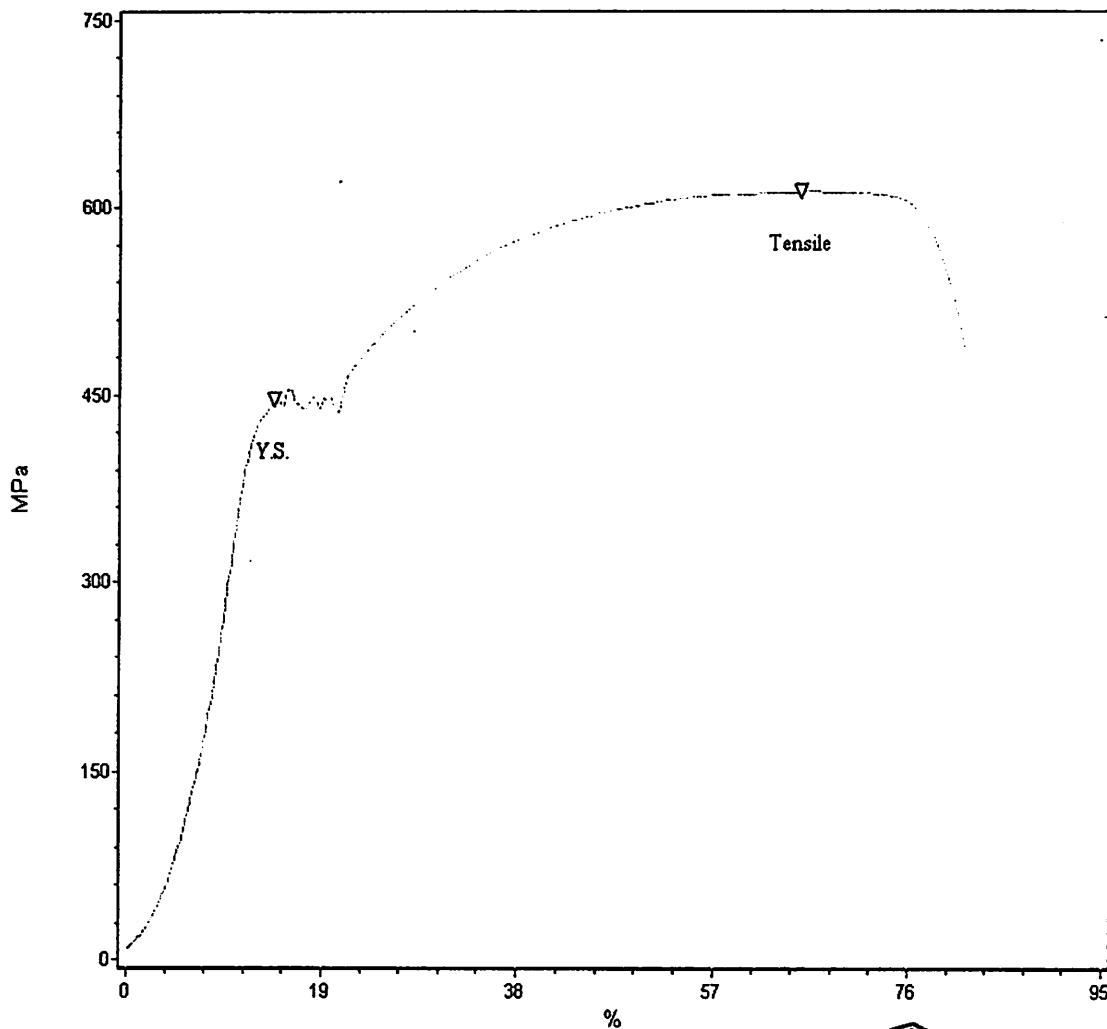
est No.: 1861

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTD 10 mm B	47.17	28919.80	446.55	613.06	80.80

0861-01



Konang Astana Widi, ST.MT
NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. RAYA KAKANGLU KM. 2 TASIK MAJU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

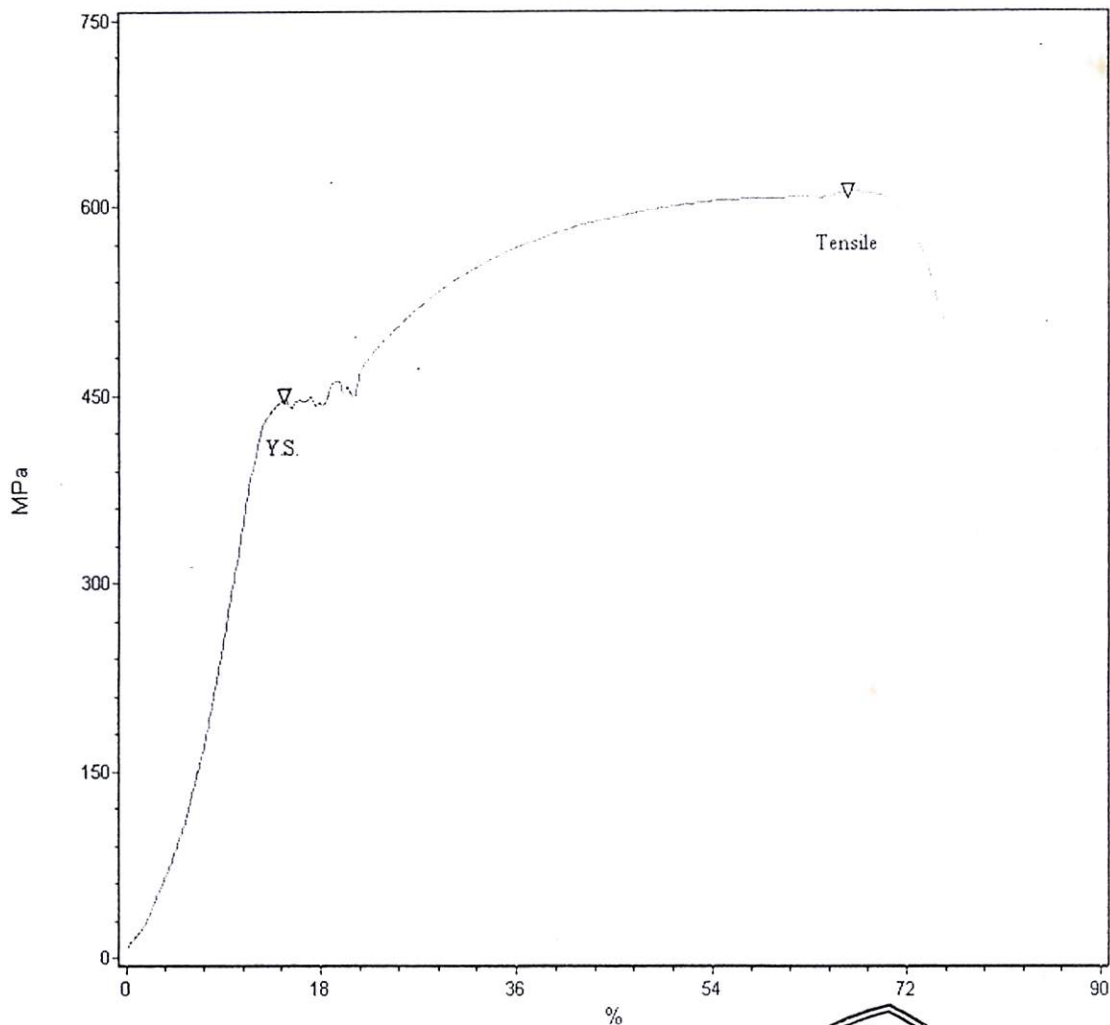
Test No.: 1860

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTD 10 mm A	47.17	28856.10	449.25	611.71	74.93

0860-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT.

NIP Y. 1030400405

Table 6.2 Stress Block Parameters α and γ as a Function of ϵ_{cm} and Z^a

ϵ_{cm}	Z								
	10	30	50	70	100	140	200	300	400
Values of α									
0.002	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
0.003	0.776	0.773	0.769	0.766	0.761	0.754	0.744	0.728	0.711
0.004	0.828	0.818	0.808	0.798	0.783	0.763	0.733	0.683	0.633
0.005	0.858	0.840	0.822	0.804	0.777	0.741	0.687	0.600	0.547
0.006	0.876	0.849	0.822	0.796	0.756	0.702	0.622	0.533	0.489
0.007	0.887	0.851	0.815	0.780	0.726	0.655	0.562	0.486	0.448
0.008	0.894	0.849	0.804	0.759	0.692	0.602	0.517	0.450	0.417
0.009	0.899	0.844	0.790	0.735	0.654	0.558	0.481	0.422	0.393
0.010	0.901	0.837	0.773	0.709	0.613	0.522	0.453	0.400	0.373
0.011	0.903	0.829	0.755	0.682	0.576	0.493	0.430	0.382	0.358
0.012	0.903	0.819	0.736	0.653	0.544	0.468	0.411	0.367	0.344
0.013	0.902	0.809	0.716	0.623	0.518	0.448	0.395	0.354	0.333
0.014	0.901	0.798	0.695	0.593	0.495	0.430	0.381	0.343	0.324
0.015	0.899	0.787	0.674	0.567	0.476	0.415	0.369	0.333	0.316
Values of γ									
0.002	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
0.003	0.405	0.407	0.408	0.409	0.411	0.414	0.418	0.425	0.432
0.004	0.427	0.430	0.433	0.436	0.441	0.449	0.460	0.482	0.507
0.005	0.441	0.446	0.452	0.457	0.466	0.479	0.501	0.543	0.568
0.006	0.451	0.459	0.466	0.474	0.488	0.508	0.545	0.586	0.602
0.007	0.459	0.469	0.479	0.490	0.508	0.538	0.582	0.631	0.622
0.008	0.466	0.477	0.490	0.504	0.529	0.570	0.607	0.627	0.633
0.009	0.471	0.484	0.500	0.518	0.550	0.595	0.623	0.636	0.638
0.010	0.475	0.491	0.509	0.531	0.573	0.613	0.634	0.641	0.641
0.011	0.479	0.497	0.519	0.546	0.594	0.626	0.641	0.644	0.642
0.012	0.482	0.503	0.528	0.560	0.610	0.635	0.645	0.645	0.641
0.013	0.485	0.508	0.538	0.576	0.622	0.642	0.648	0.645	0.640
0.014	0.488	0.514	0.547	0.592	0.631	0.646	0.649	0.644	0.638
0.015	0.490	0.519	0.557	0.606	0.638	0.650	0.649	0.642	0.635

^a From reference 6.5.

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

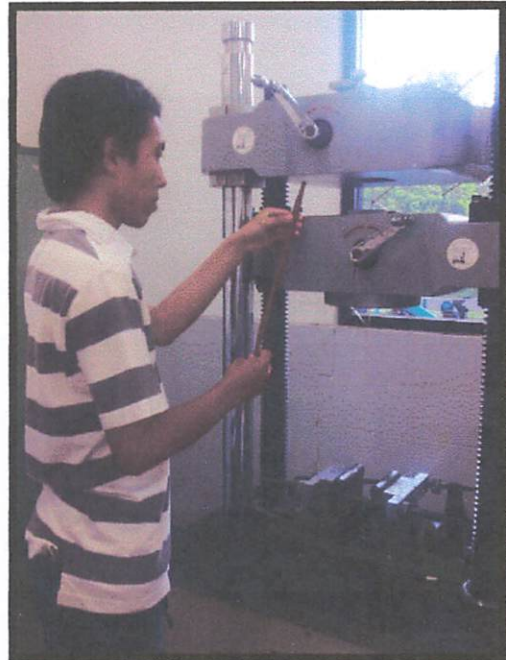


Foto Proses pemasangan benda uji pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II , Institut Teknologi Nasional Malang

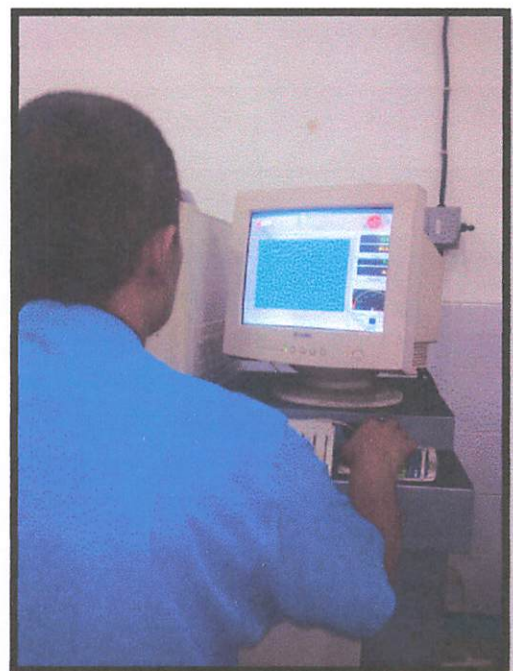
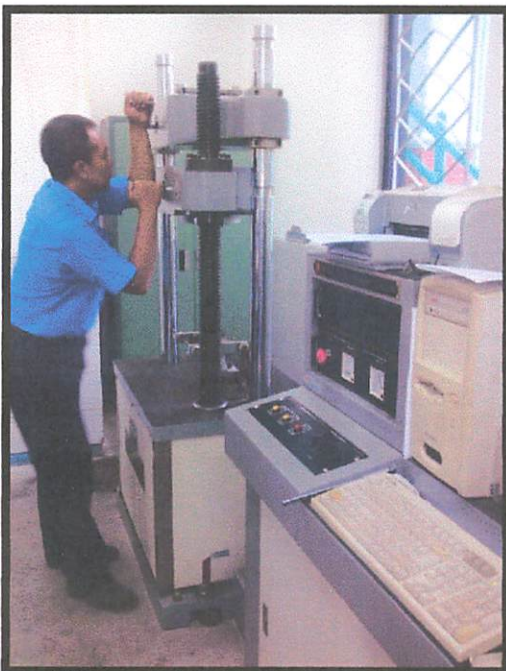


Foto Proses pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II , Institut Teknologi Nasional Malang

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

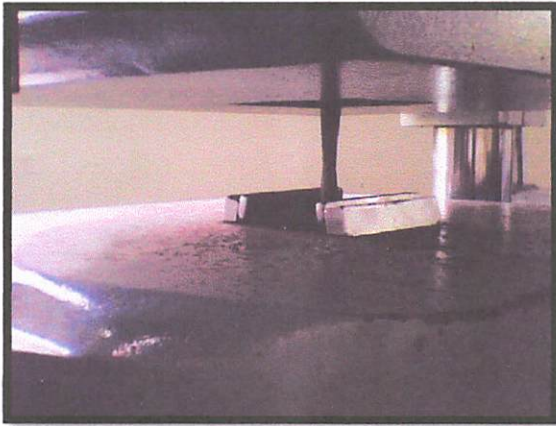


Foto Proses pemasangan benda uji pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II , Institut Teknologi Nasional Malang

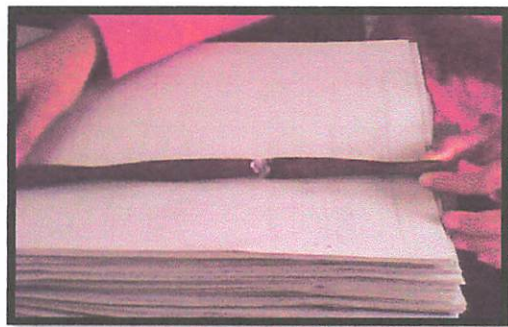
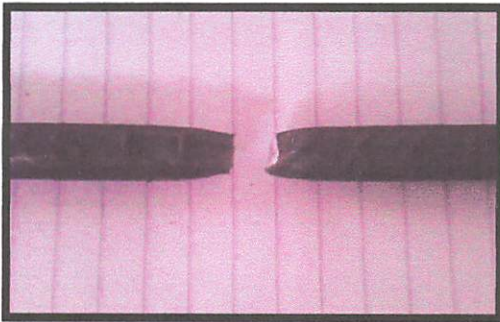


Foto Hasil pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II , Institut Teknologi Nasional Malang

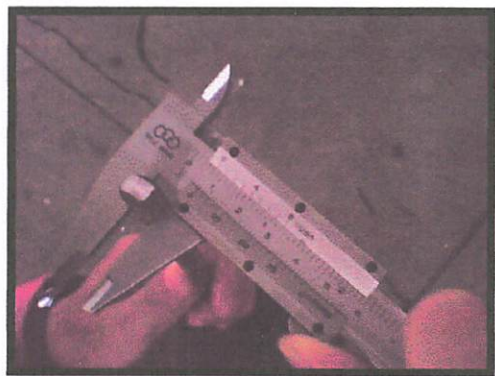
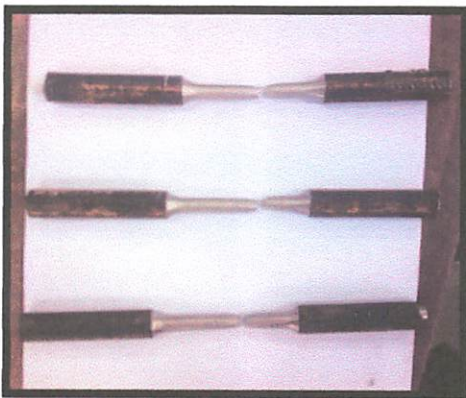


Foto Hasil pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II , Institut Teknologi Nasional Malang

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

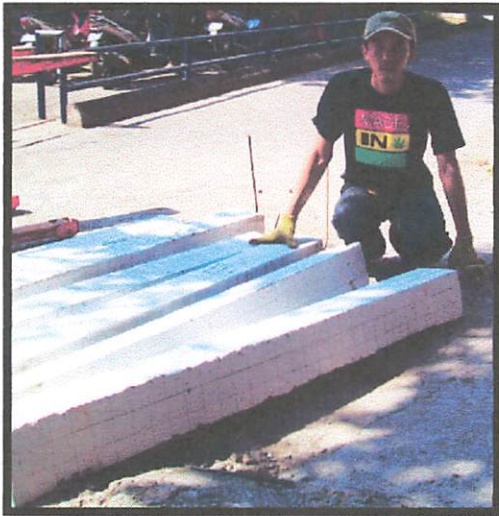


Foto Proses persiapan pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

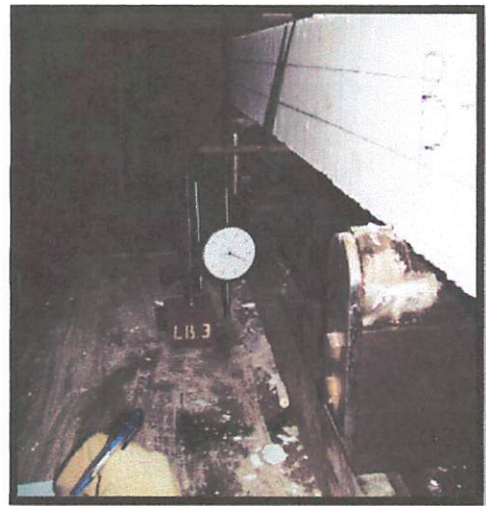
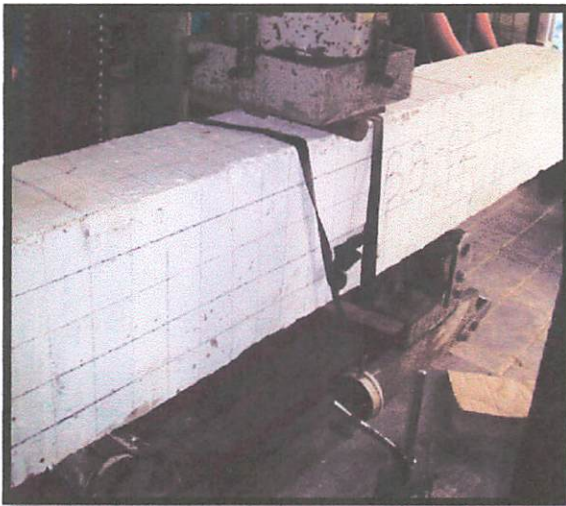


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

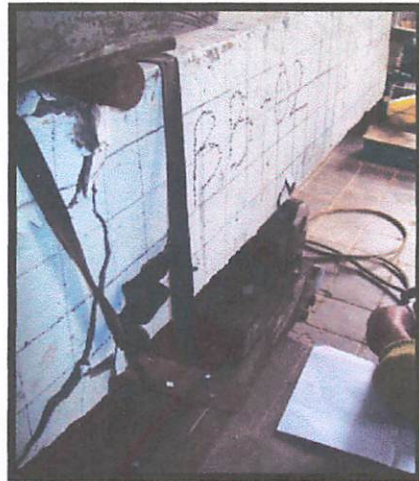


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya



Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok dengan tulangan CRT di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

