

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :
PAULINA LIMBA
(09.21.912)

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

1971

MEMORANDUM FOR THE DIRECTOR
FROM THE ASSISTANT ATTORNEY GENERAL
RE: [Illegible]

MILK
PERMUTANAN
INDONESIA

[Illegible text]

[Illegible text]

LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI

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

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil (S-1)
Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :
PAULINA LIMBA
09.21.912

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir.H. Sudirman Indra, MSc.)


(Eri Andrian Yudianto, ST, MT.)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1


(Ir. H. Hirijanto, MT.)

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD
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 Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

PAULINA LIMBA

09.21.912

Disahkan Oleh :

Ketua



(Ir. H. Hirijanto, MT.)

Sekretaris



(Lilla Ayu Ratna Winanda, ST.MT)

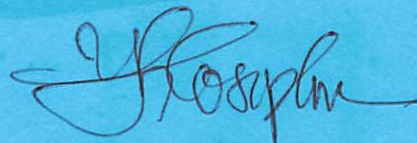
Anggota Penguji :

Dosen Penguji I



(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

Dosen Penguji II



(Yosimson P. Manaha, ST. MT)

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

2011

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **PAULINA LIMBA**
Nim : **09.21.912**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

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

Adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 24 Februari 2011

Yang Membuat Pernyataan



(PAULINA LIMBA)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul : *"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTD 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.

Selama melaksanakan penelitian Tugas Akhir penulis telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak 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. Bapak Ir. H Sudirman Indra, MS dan Bapak Eri Andrian Yudianto, ST.MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
4. 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.
5. Bapak Sumardji, Bapak Hendra dan semua Staf Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi ITS Surabaya yang telah banyak membantu pelaksanaan pengujian sample.
6. Suamiku dan anak-anak tercinta Sem, Oin dan Arnes yang selalu setia dalam doa.
7. Keluarga Bapak J.Papilaya yang selalu memotivasi selama masa studi.

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 terutama Niko, Amel, Ben dan Fandi.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna. Jika masih ada kekurangan dalam hal isi maupun tata tulis, saran dan masukkan dari pembaca sangat penulis harapkan.

Dan akhirnya penulis berharap semoga penulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Pebruari 2011

Penulis

ABSTRAK

”PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,52 MPa TERHADAP KUAT LENTUR”. Paulina Limba (0921.912) Dosen Pembimbing I : Ir. H. Sudiman Indra, MSc., Pembimbing II : H. Eri Andrian Yudianto, ST.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-03) dan balok dengan tulangan BJTD (BB-04).

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas penggunaan tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) terhadap tulangan BJTD (tulangan ulir). 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 BJTD, dapat disimpulkan bahwa tulangan *Cold Rolled and Twisted Bar (CRT)* tanpa panjang penyaluran kurang efektif digunakan sebagai tulangan alternatif pengganti tulangan BJTD. Hal ini dibuktikan hasil pengujian eksperimental BB-03 yang dibandingkan dengan hasil eksperimental BB-04, dimana dengan perbedaan rasio tulangan (A_{st}) sebesar 0,976 terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -18,03%, tegangan beton puncak sebesar 5,41%, regangan beton ultimit sebesar -19,81% dan lendutan sebesar -10,04%.

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

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	
Lembar Persetujuan	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	iii
Kata Pengantar	iv
Abstrak.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel	xi
Daftar Grafik.....	xii
Daftar Gambar.....	xiii
 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	4
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tulangan <i>Cold Rolled & Twisted Bar</i> (Tulangan Spiral)	5
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 Balok	15
2.5.1. Asumsi Dasar Perilaku.....	15
2.6. Balok 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
2.11. 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.....	40
3.5. Rancangan Penelitian.....	41
3.6. Prosedur Penelitian	41
3.6.1. Pemeriksaan Material Beton	41
3.6.2. Perencanaan Campuran Beton	42
3.7. Pelaksanaan Penelitian.....	42
3.7.1. Persiapan Bahan.....	42
3.7.2. Perhitungan Rencana Campuran Beton	43
3.7.3. Proses Pembuatan Benda Uji.....	43
3.7.4. Pengujian Mutu Beton f^c	45
3.7.5. Pengujian Tarik Baja	45
3.8. Metode Pengumpulan Data	47
3.9. Teknik Analisa Data	47
3.9.1. Analisa Pada Penelitian	47
3.9.2. Analisa Eksperimental	48
3.10. Analisa Teoritis.....	49
3.10.1. Balok Dengan Tulangan CRT # 10 (BB – 03).....	49
3.10.2. Balok Dengan Tulangan BJTD (Balok BB – 04).....	68
3.11. Bagan Alir Proses Penelitian	91

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian.....	92
4.1.1. Perancangan Campuran Beton	92
4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	93
4.1.3. Pengujian Kuat Tarik Baja	94
4.2. Pengujian Balok Beton Tulangan CRT Tanpa Panjang Penyaluran (BB-03).....	97
1. Mekanisme Keruntuhan.....	97
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	99
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton.....	101
4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTD Dengan Panjang Penyaluran (BB-04).....	103
1. Mekanisme Keruntuhan.....	103
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	105
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton.....	103
4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 03 Terhadap Balok (BB – 04).....	109
4.5. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 03 Terhadap Balok (BB – 04).....	110
4.6. Efektifitas Balok BB – 03 Terhadap Balok (BB – 04)	111

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	113
5.2. Saran.....	114

DAFTAR PUSTAKA.....	115
----------------------------	------------

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN I : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen

Tabel L.1.1 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 03)

Tabel L.1.1-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 03 A)

Tabel L.1.1-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 03 B)

Tabel L.1.1-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 03 C)

Tabel L1.1 – D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 03 D)

Tabel L.1.1-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok (BB–03)

Tabel L.1.2 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 04)

Tabel L.1.1-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 04 A)

Tabel L.1.1-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 04 B)

Tabel L.1.1-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 04 C)

Tabel L1.1 – D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok (BB – 04 D)

Tabel L.1.1-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok (BB–04)

LAMPIRAN II

Tabel L.2.1 : Tabel Hasil Perancangan Campuran Beton 24,52 MPa

Tabel L.2.2 : Tabel Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan BJTD

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

Laporan Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan BJTD

LAMPIRAN IV

Foto Dokumentasi Proses Penelitian

LEMBAR ASISTENSI

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi Berdasarkan <i>PCA Test On Unconfined Specimens</i>	19
Tabel 2.2	Tabel Batang Ulir atau kawat	38
Tabel 3.1	Variasi benda Uji	41
Tabel 3.2	Data Analisis	47
Tabel 3.3	Interpolasi Nilai – Nilai Parameter CRT.....	61
Tabel 3.4	Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB -03	66
Tabel 3.5	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-03.....	67
Tabel 3.6	Interpolasi Nilai – Nilai Parameter BJTD.....	81
Tabel 3.7	Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB-04	87
Tabel 3.8	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 04	88
Tabel 4.1.	Proporsi Campuran Beton Mutu 22,5 Mpa.....	92
Tabel 4.2	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16	94
Tabel 4.3	Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10	95
Tabel 4.4	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTD D 10.....	96
Tabel 4.5	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-03	101
Tabel 4.6	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-03	103
Tabel 4.7	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-04	107
Tabel 4.8	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-04	109
Tabel 4.9	Perbandingan efektifitas balok BB-03dengan balok BB-04	112

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 <i>Kurva Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB-03</i>	67
Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-03	68
Grafik 3.3 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB-04	88
Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-04	89
Grafik 3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-03 dan balok BB-04	90
Grafik 4.1 Kurva Tegangan-Regangan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-03	100
Grafik 4.2 Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-03	102
Grafik 4.3 Kurva Tegangan-Regangan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-04	106
Grafik 4.4 Kurva beban dan lendutan Balok tanpa Panjang Penyaluran BB-04	108
Grafik 4.5 Kurva Tegangan - Regangan Balok BB-03 dan Balok BB-04	110
Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-03 dan Balok BB-04	111

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`3.3	Pengujian Kuat Lentur Benda Uji Balok.....	46
Gambar`3.4	Model Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Tulangan CRT # 10.....	49
Gambar`3.5	Penampang Balok Dengan Tulangan CRT # 10.....	50
Gambar`3.4	Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan CRT.....	64
Gambar`3.5	Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10.....	66
Gambar`3.6	Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT.....	67
Gambar 3.7	Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan BJTP.....	83
Gambar`3.8	Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan BJTP.....	86
Gambar`3.9	Model Diagram Regangan Tulangan BJTP.....	88
Gambar`3.10	Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTP.....	90
Gambar 3.11	Bagan Alir Proses Penelitian.....	100
Gambar`4.1	Pengujian Balok BB-07.....	108
Gambar`4.2	Pengujian Balok BB-08.....	114

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

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

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi beton bertulang.
2. Memberikan informasi tentang penggunaan bahan baru yaitu tulangan baja Cold Rolled & Twisted Bar pada mutu beton $f'c$ 24,52 MPa , tentang kuat lentur dan geser yang terjadi antara tulangan dengan beton di sekelilingnya.

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. Efektifitas tulangan CRT dan tulangan BJTD pada Balok dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa.
2. Model kurva tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa.
3. Kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa.

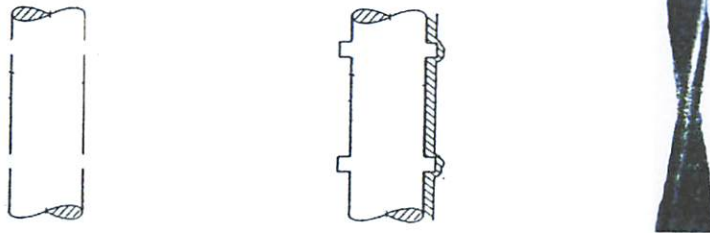
BAB II

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.



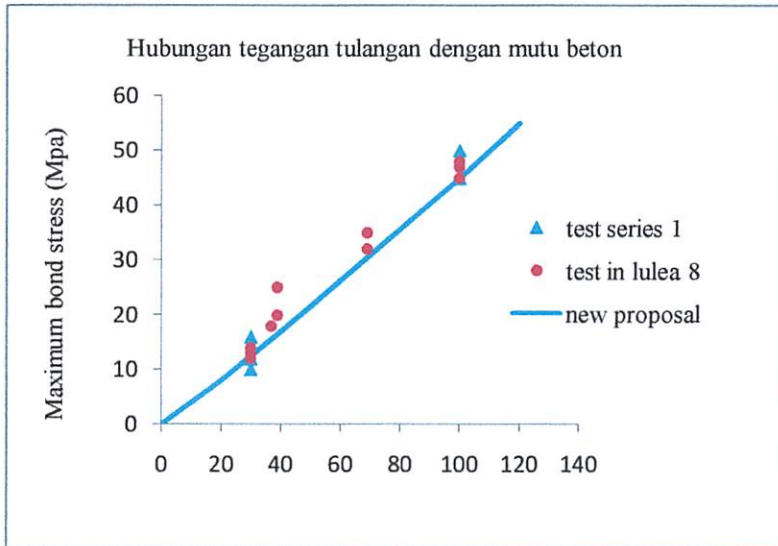
a. Tulangan polos b. Tulangan ulir c. Tulangan spiral (CRT)

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 1macam mutu beton yaitu $f'c30$ Mpa. Adapun agregat yang dipakai seperti semen, pasir, kerikildan 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/m³ dan 2500 kg/m³ 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.

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

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

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

- 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).

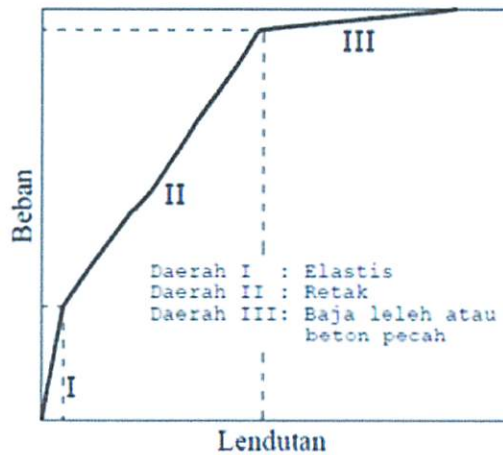
Respons non-linier disebabkan dua hal utama yaitu :

- 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-regangan beton 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 :



Grafik2.2. Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton
(Wiryanto ,2005)

Dari hasil uji ekperimen, 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 di daerah 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 :

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

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 :

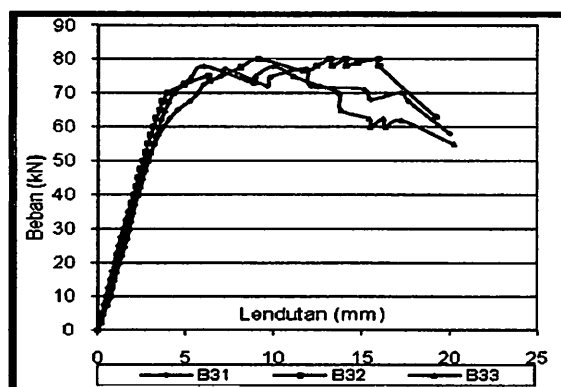
- Keruntuhan tarik (*tensile failure*) pada tegangan tarik prinsipal yang relatif rendah
- Keruntuhan pecah tekan (*compression crushing failure*) pada tegangan desak yang besar Terjadi pelemahan regangan (*strain softening*) setelah keruntuhan pecah tekan yang berlanjutsampai suatu regangan batas (*ultimate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

Model Keruntuhan pada baja adalah :

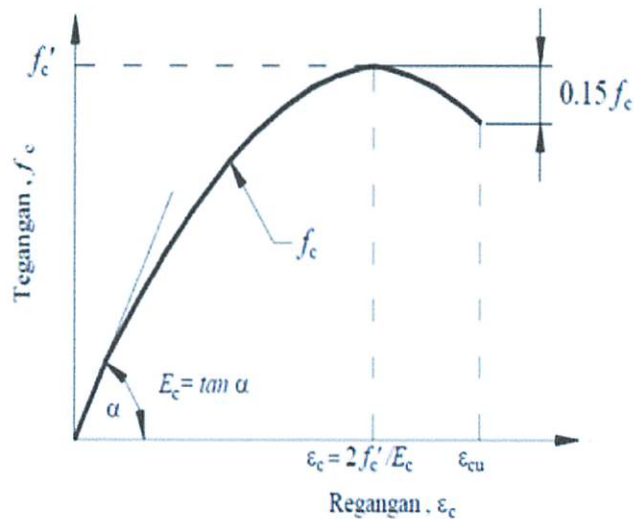
Properti tulangan baja tidak seperti beton, yaitu tidak tergantung dari kondisi lingkungan atau berjalannya waktu. Sehingga menetapkannya sebagai hubungan tegangan-regangan tunggal sudah mencukupi untuk mendefinisikan bahan material untuk analisa struktur beton bertulang.

Kurva hubungan tegangan-regangan dari tulangan baja yang digunakan untuk konstruksi beton diperoleh dari uji tulangan yang dibebani secara monotonik tarik. Untuk semua kegunaanpraktek , baja memperlihatkan kurva hubungan tegangan-regangan yang sama baik dalam tarik maupun tekan. Hubungan tegangan-regangan memperlihatkan hubungan elastis linier, daerahleleh, 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 bajadengan kadar karbon tinggi, umumnya mempunyai daerah leleh yang kecil dibanding baja kuatrendah 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)



Grafik2.4. 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.

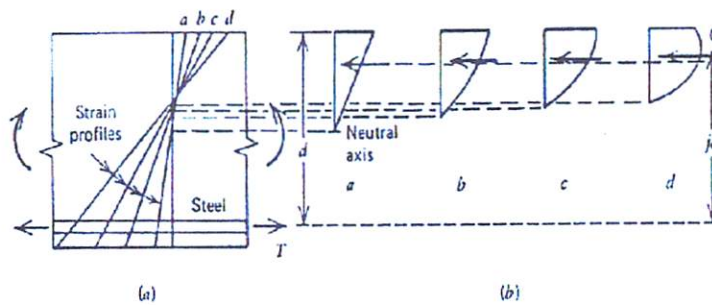
Banyaknya deviasi dari type linier harus dimaklumi karena keakuratan yang kurang pada pengukuran regangan oleh setiap peneliti dan beberapa kesalahan lokasi garis gauge. Dapat dipastikan bahwa pengukuran profil regangan adalah linear, dan asumsi kondisi potongan melintang tidak berubah sangat akurat 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 perkuatan baja diabaikan. Bilamana peningkatan kekuatan mampu menyebabkan kondisi yang tidak menguntungkan, perencana akan menggunakan kekuatan tambahan dengan perkuatan berdasarkan kurva actual regangan-tegangan baja.

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

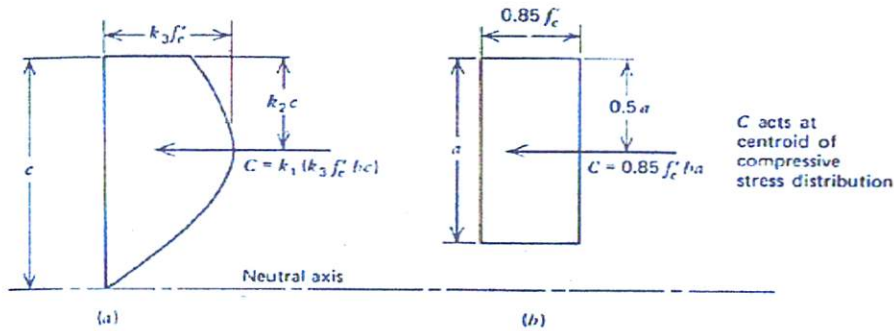
Asumsi keempat sangat diperlukan untuk memperkirakan perilaku sesungguhnya pada bagian . Saat tegangan pada bagian beton yang mengalami tekan proporsional dengan jarak dari sumbu netral, bentuk dari kurva regangan-tegangan mengindikasikan bentuk dari blok tegangan tekan pada berbagai tahap pembebanan.

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*

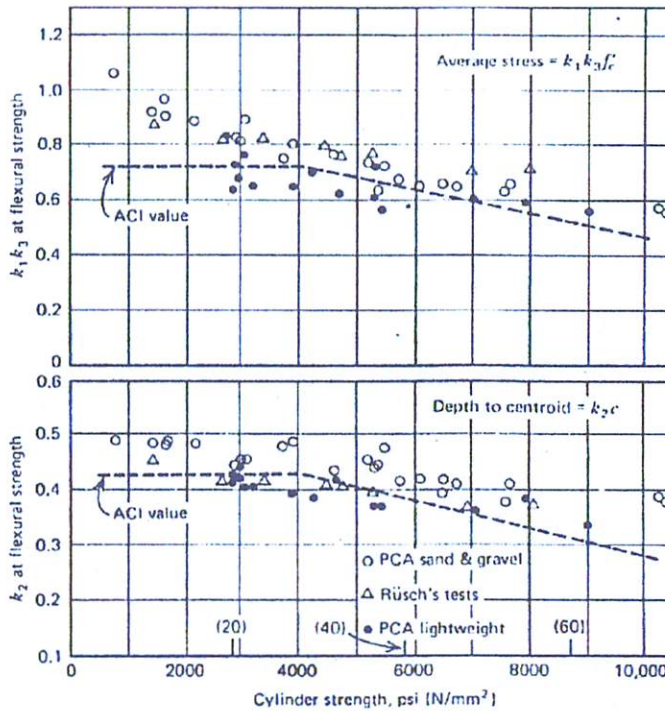
f_c		k_1	k_2	k_3	ϵ_c
psi	N/mm ²				
2000	13.8	0.86	0.48	1.03	0.0037
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

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:

$$C = k_1 k_3 f_c b c = 0,85 f_c b a \rightarrow k_1 k_3 = 0,85 a/c = 0.85 \beta_1 \quad (2.5)$$

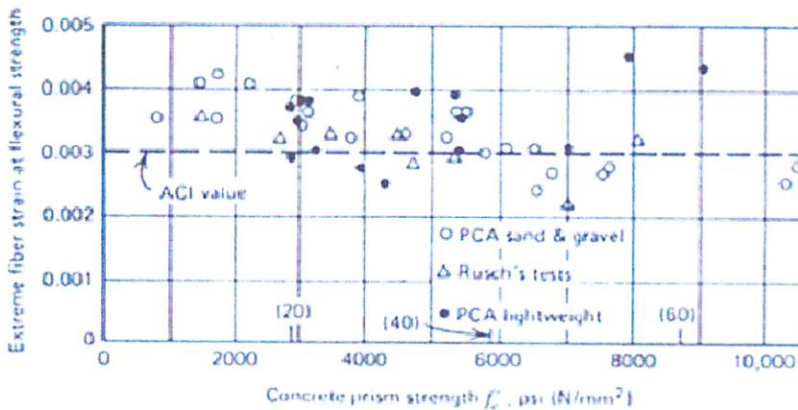
$$\text{dan } k_2 c = 0.5 a \rightarrow k_2 = 0,5 a/c = 0.5 \beta_1 \quad (2.6)$$

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).

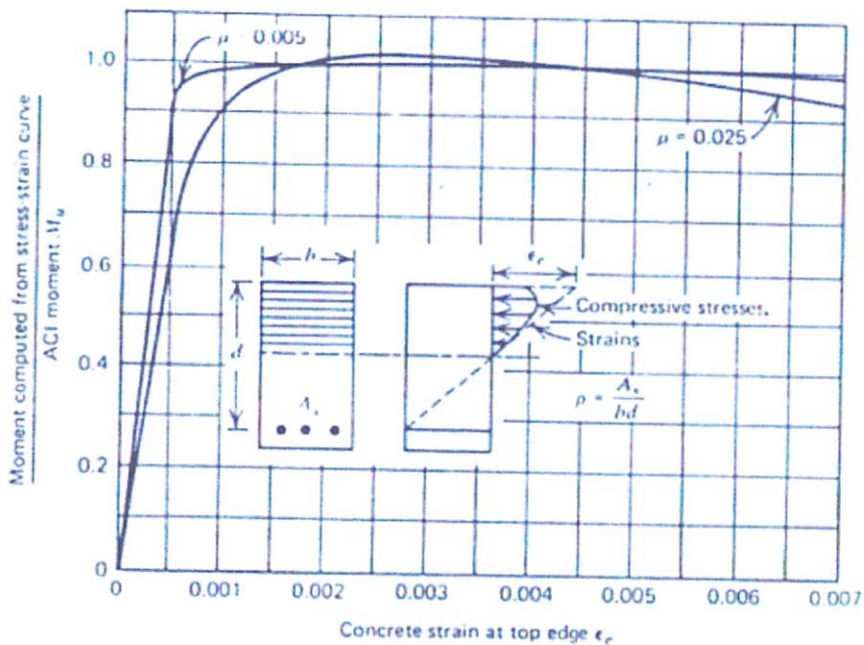
2.7 Regangan Beton Pada Kekuatan Lentur

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 ekstim. 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 PengaruhPembebanan 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 ($27,6$ N/mm²) dan berkurang secara kontinyu dengan rate 0.005 setiap 1000 psi ($6,89$ N/mm²) pada kekuatan lebih dari 4000 psi ($27,6$ N/mm²).
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 ($0,2 \cdot 10^6$ N/mm²). 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 diketemukan 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 :

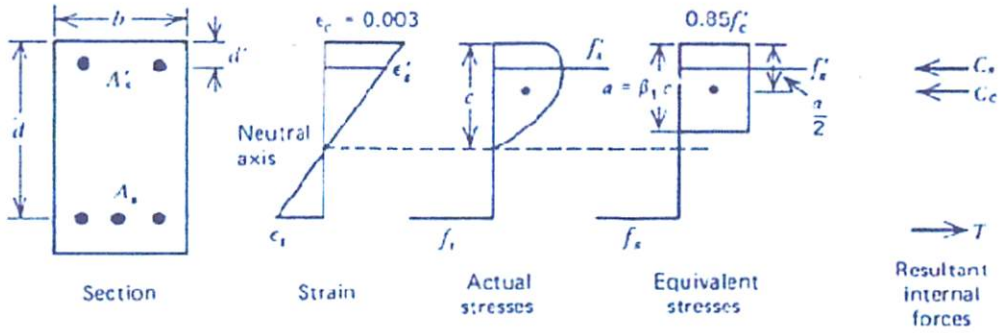
$$C_c = 0.85 f'_c a b \quad (2.7)$$

Gaya tekan pada baja :

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

Dimana A'_s = area tekan pada baja

$$\text{Gaya tarik pada baja} \quad T = A_s \cdot f_y \quad (2.9)$$



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

Persamaan kesetimbangan :

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

$$\therefore \quad \text{—————} \quad (2.10)$$

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

Berdasarkan segitiga yang sama dari diagram tegangan, didapatkan :

$$\text{—————} \quad \text{—————} \quad (2.11)$$

$$\text{—————} \quad \text{—————} \quad (2.12)$$

$$\text{—————} \quad \text{—} \quad (2.13)$$

Dan

$$\text{—————} \quad \text{—} \quad (2.14)$$

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

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

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 :

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

dimana berdasarkan diagram regangan :

$$f's = \varepsilon'_s Es = 0.003 \frac{a - \beta_1 d'}{a} Es \text{ atau } fy \quad (2.17)$$

$$f_s = \varepsilon_s Es = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} Es \text{ atau } fy \quad (2.18)$$

dan kemudian :

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

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 bertulangan 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 (C_c/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 dan 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 :

$$M_u = \phi \left[0.85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A's f_y (d - d') \right] \quad (2.20)$$

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 :

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

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 :

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

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 :

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= 0.003 \frac{d-cb}{cb} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a_b}{a_b} = \frac{f_y}{E_s} \\ \therefore a_b &\geq \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \beta_1 d \end{aligned} \quad (2.29)$$

Dan untuk persamaan

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

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

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

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.

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

Atau f_y , diambil nilai yang lebih kecil.

Persamaan 2.29 dan 2.30 memberikan :

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

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

$$\rho \leq 0.75 \left(\frac{0.85 f'c \beta_1}{f_y} \frac{0.003Es}{0.003Es+f_y} + \frac{\rho' f's}{f_y} \right) \quad (2.33)$$

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 (senggang) yang terpasang disepanjang bentang balok. Dalam prakteknya, semua balok yang baik dilengkapi dengan tulangan senggang. Sejauh ini, tulangan senggang hanyadiperhitungkan untuk menahan gaya dalam geser saja. Selama ini, untukmenganalisis kapasitas lentur didasarkan pada kode bangunan yangmengadopsi hubungan tegangan-regangan beton tak terkekang yangdisederhanakan menjadi tegangan blok ekuivalen. Untuk menghasilkanprediksi yang lebih baik dalam menganalisis kuat lentur pada balok betonbertulang, efek pengekangan harus dipertimbangkan sebagai pengganti dari penggunaan model tegangan-regangan beton tak terkekang.

Untuk menganalisis efek (pengaruh) pengekangan lateral terhadappenambahan kapistas balok, dilakukan suatu studi terhadap perilaku balokbalok beton bertulang yang terkekang. Karena perhitungan yang cukuprumit dengan iterasi yang panjang, maka dibutuhkan suatu programkomputer sebagai alat bantu. Untuk mencapai tujuan studi ini, sebuahprogram sederhana dikembangkan dengan memakai bahasa pemrogramanVisual Basic 6.0. Program bantu ini dinamakan ConBeam v.1.0.0, dandapat diaplikasikan untuk balok penampang persegi dengan tulangantunggal atau rangkap. Prosedur analisis program ini juga mengadopsibeberapa model hubungan tegangan-regangan beton terkekang dandisederhanakan menjadi tegangan blok.

Dari studi ini dapat disimpulkan bahwa pengekan lateral mempengaruhi bentuk dan besarnya kurva tegangan regangan beton. Perubahan ini jelas terlihat dari nilai tegangan puncak, regangan puncak dan regangan ultimatanya. 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.

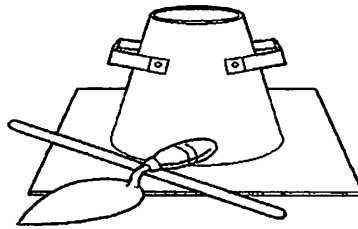
3.3. Peralatan dan Bahan

3.3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*), dengan kapasitas $0,15 \text{ m}^3$.

- 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. *Torse 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 (ϕ_t) = 10 mm,
- c. Diameter tulangan BJTD yaitu 10 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 Kota Surabaya.
- 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 *Torse 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 – 03	150 x 250 x 2000 mm	CRT # 10 mm	Ø 6 – 150 mm	4 buah
BB – 04	150 x 250 x 2000 mm	BJTDD 10 mm	Ø 6 – 150 mm	4 buah

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 modifikasi DOE (Department Of Environment) Komposisi campuran beton berupa pasir sebagai agregat halus dan menggunakan krikil 5 – 10 mm.

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 BJTD, 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 baja
Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (pasir)	Pengujian kuat lentur
Pemeriksaan kadar air agregat	
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 BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa

- b. Pengujian kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa
- c. Pengujian kuat geser balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa

3.9.2. Analisa Eksperimental

- a. Dari eksperimen diperoleh data besar kuat lentur dan kuat geser balok , tegangan dan regangan tulangan CRT dan BJTD
- b. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa
- c. Pengujian kuat lentur balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa
- d. Pengujian kuat geser balok dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa
- e. Point b sampai d dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan terhadap tulangan BJTD dan tulangan CRT.
- f. Point b sampai d dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat perbandingan kuat lentur dan geser terhadap tulangan BJTD 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.

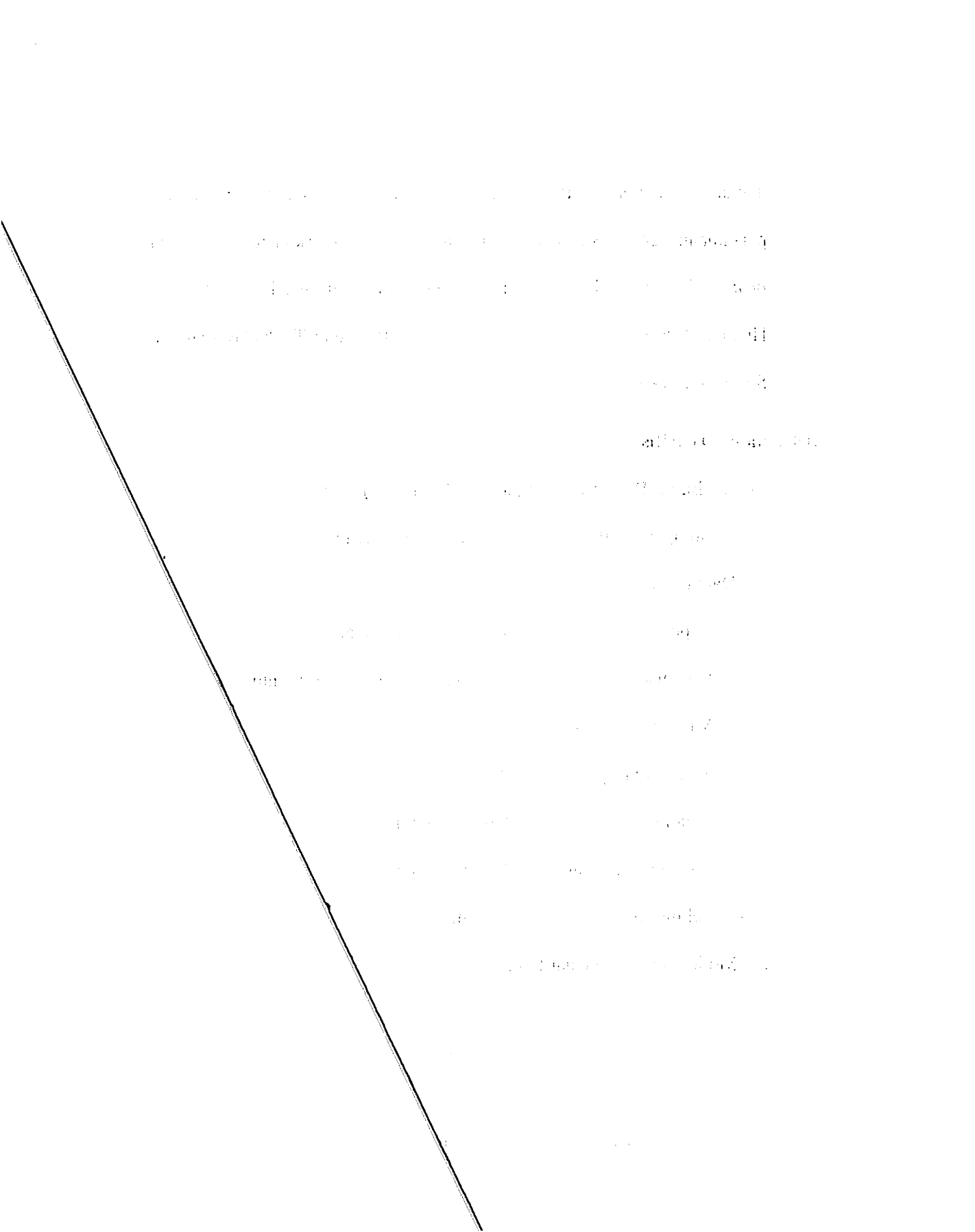
3.10. Analisa Teoritis

3.10.1. Balok Dengan Tulangan CRT # 10 (BB – C

1. Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan T_{10}

a. Data benda uji :

- Type : F
- Dimensi
- Mutu beton
- M_{u^*}



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. Analisa Teoritis

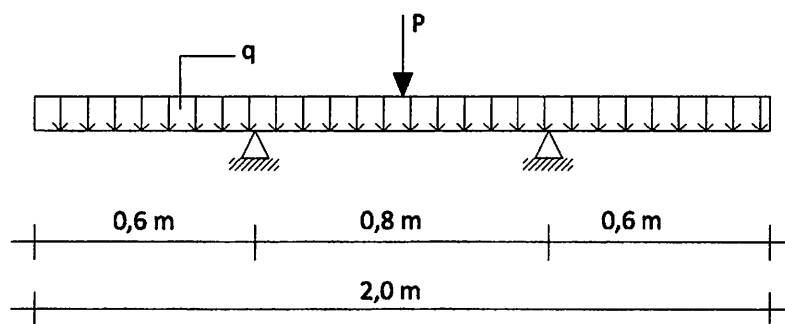
3.10.1. Balok Dengan Tulangan CRT # 10 (BB – 03)

1. Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10

a. Data benda uji :

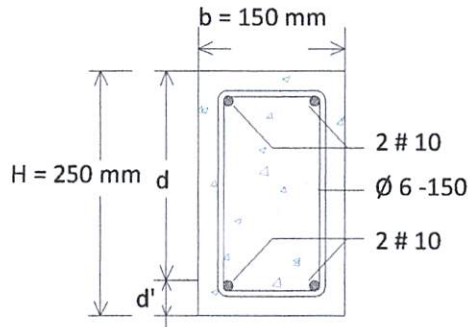
- Type : Balok beton bertulang
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton ($f'c$) : 24,52 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 455 MPa
- Tulangan utama : CRT # 10 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

b. Model Pengujian Kuat Lentur



Gambar 3.4 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan CRT #10

c. Kontrol momen CRT #10



Gambar 3.5 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)

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

$$= 0,0023$$

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

$$\rho_b = \frac{0,05 \cdot \rho_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (\text{SK SNI T-15-1991 ps.3.1.4, hal:8})$$

$$= \frac{0.85 \cdot 0.85 \cdot 24.52}{455} \cdot \frac{600}{600+455}$$

$$= 0,02214$$

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

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

$$= 0,00308$$

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

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

$$= 0,01661$$

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 :

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

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

$$= 20,295 \text{ mm}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

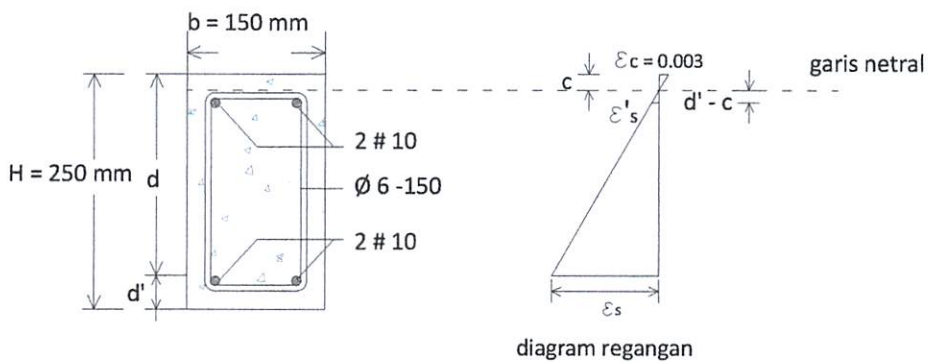
$$c = \frac{u}{\beta}$$

$$= \frac{20,295}{0,85}$$

$$= 23,876 \text{ mm}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal

benar :



Gambar 3.6 Model diagram regangan tulangan CRT #10

$$\frac{s'_s}{\epsilon_c} = \frac{d' - c}{c}$$

$$\epsilon'_s = \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c$$

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

$$\epsilon_s = \frac{n - c}{c} \cdot \epsilon_c$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{219,239 - 23,876}{23,876} \cdot 0,003 \\
&= 0,0246 \\
\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
&= \frac{455}{200.000} \\
&= 0,0023
\end{aligned}$$

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:

$$C_c + C_s = T$$

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

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

$$\begin{aligned}
(0,85 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85) \cdot c^2 + (600 \cdot 139,446 - 139,446 \cdot 455) \cdot c \\
- (600 \cdot 139,446) \cdot 30,711 = 0
\end{aligned}$$

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 :

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

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

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

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

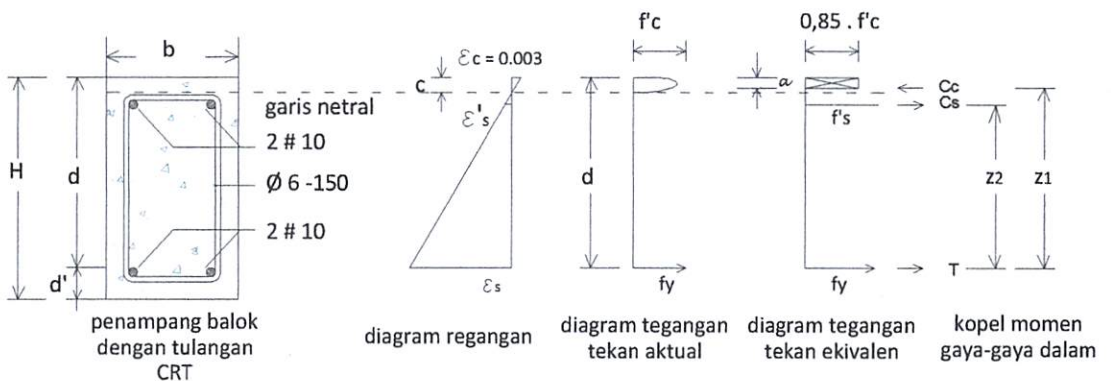
kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut :

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

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

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

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



Gambar 3.7 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 :

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 139,446 \cdot 455 \cdot 10^{-3}$$

$$= 63,448 \text{ kN}$$

$$C_c - C_s = T$$

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

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

$$Z_1 = d - \left(\frac{1}{2} \cdot a\right)$$

$$= 219,289 - \left(\frac{1}{2} \cdot 23,395\right)$$

$$= 207,59 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d'$$

$$= 219,289 - 30,711$$

$$= 188,58 \text{ mm}$$

$$M_{n1} = (C_c \cdot Z_1)$$

$$= (73,139 \cdot 207,59) \cdot 10^{-3}$$

$$= 15,18 \text{ KNm}$$

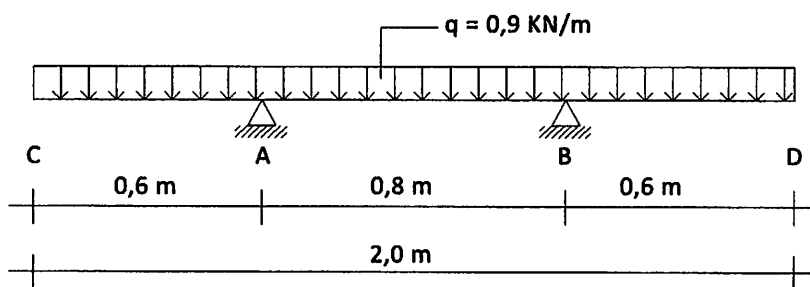
$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= (C_s \cdot Z_2) \\
 &= (9,691 \cdot 188,58) \cdot 10^{-3} \\
 &= 1,83 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

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

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

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

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



Gambar 3.8 Perhitungan Momen akibat Berat Sendiri Balok dengan tulangan CRT #10

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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

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

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

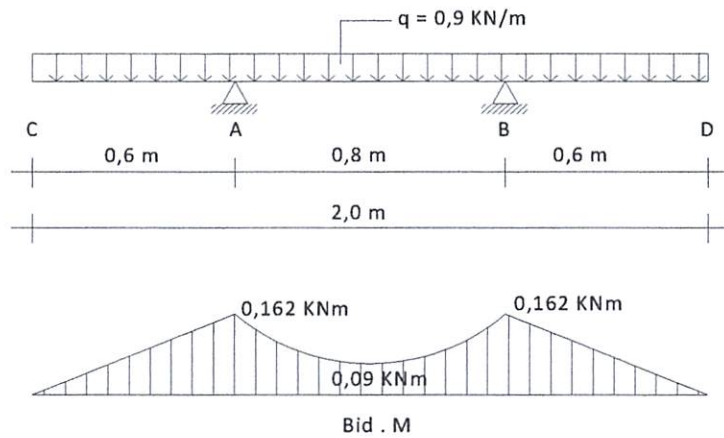
$$x = 0,4 \text{ m}$$

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

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

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

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



Gambar 3.9 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

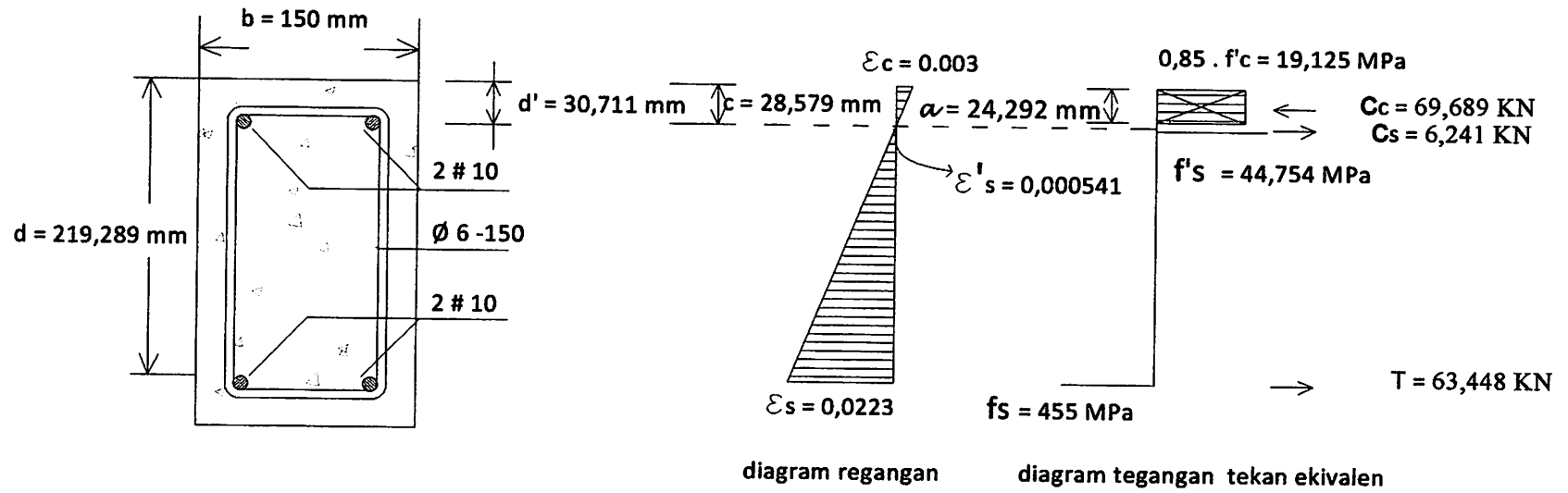
$$\rho^o \leq \rho_{\max} \leq 0,01661$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

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

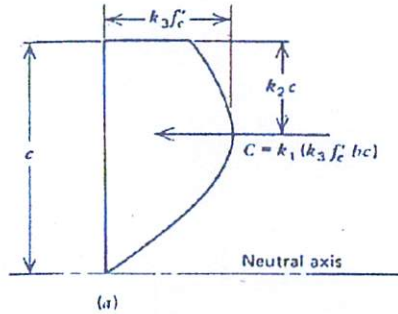
$$= \frac{139,446}{150 \cdot 219,289}$$

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



Gambar 3.10 Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10

2. Analisa Distribusi Tegangan Aktual Balok dengan Tulangan CRT # 10



Gambar 3.11 Distribusi Tegangan Tekan Aktual
 Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Tabel 3.5 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

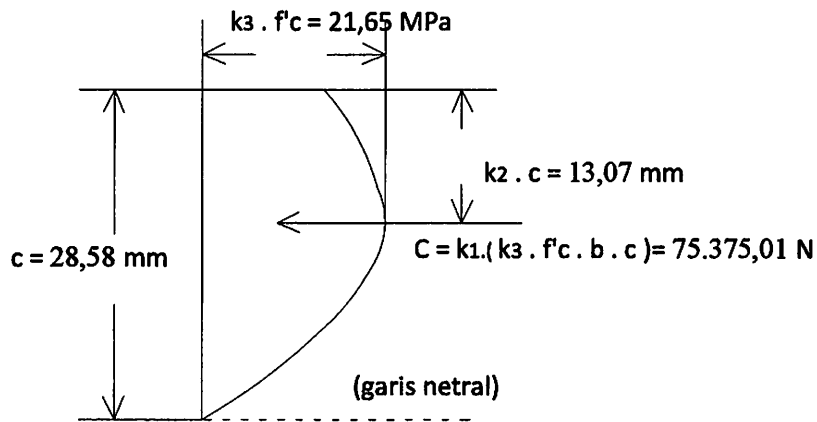
$$k_3 \cdot f_c = 0,953 \cdot 24,52 = 23,38 \text{ Mpa}$$

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

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

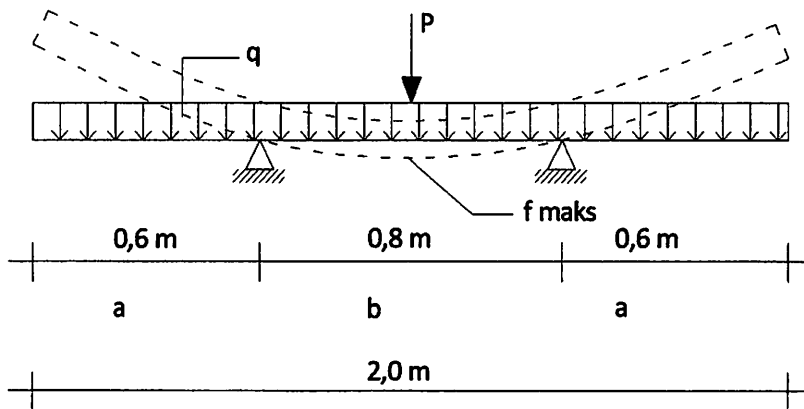
$$k_1 \cdot (k_3 \cdot f_c \cdot b \cdot c) = 0,803 \cdot (0,953 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 27,52)$$

$$= 77536,8 \text{ N}$$



Gambar 3.12 Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10

3. Lendutan Balok dengan Tulangan CRT # 10



Gambar 3.13 Model Lendutan Pada Balok CRT # 10

Diketahui :

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

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 800 \text{ mm}$

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

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

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

$$f \text{ maks} = \frac{P \cdot b^3}{48 EI} + \frac{w \cdot b^2}{384 EI} (5b^2 - 24 a^2)$$

$$= \frac{66327,6 \times 800^3}{48 \times 23.273.207 \times 195.312.500} + \frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273.207 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2)$$

$$= 0,1606 \text{ mm}$$

4. Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10

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

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

$$C_c = 20 - \frac{9,477}{2} = 15,289 \text{ mm.}$$

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2,5 C_c \leq \frac{300}{252/f_s}$$

$$= \frac{95.000}{0,6(455)} - 2,5 \cdot 15,289 \leq \frac{300}{252/(0,6 \cdot 455)}$$

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

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

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

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

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

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

Kontrol retak lentur

Dimana :

$$\begin{aligned} B_h &= \frac{d+d'-c}{d-c} \\ &= \frac{219,289+30,711-27,523}{219,289-27,523} \\ &= 1,16 \\ f_s &= 0,6 f_y = 0,6 \cdot 455 = 273 \text{ Mpa} \\ d_c &= 20 \text{ mm} \\ A &= \frac{b \cdot (h-f)}{2} \\ &= \frac{150 \cdot (250-27,523)}{2} \\ &= 16685,775 \text{ mm}^2 \\ w &= 0,076 \cdot B_h \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \\ &= 0,076 \cdot 1,16 \cdot 273 \cdot \sqrt[3]{20 \cdot 16685,775} \\ &= \frac{1559,397}{1000} \\ &= 1,669 \text{ mm} > \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012 \end{aligned}$$

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

5. Panjang Plastis (Lp) Balok dengan Tulangan CRT # 10

Untuk balok beton bertulang yang terkekang oleh tulangan transversal

a. Baker

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

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

$$k_3 = 0,762$$

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

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

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

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

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

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

6. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

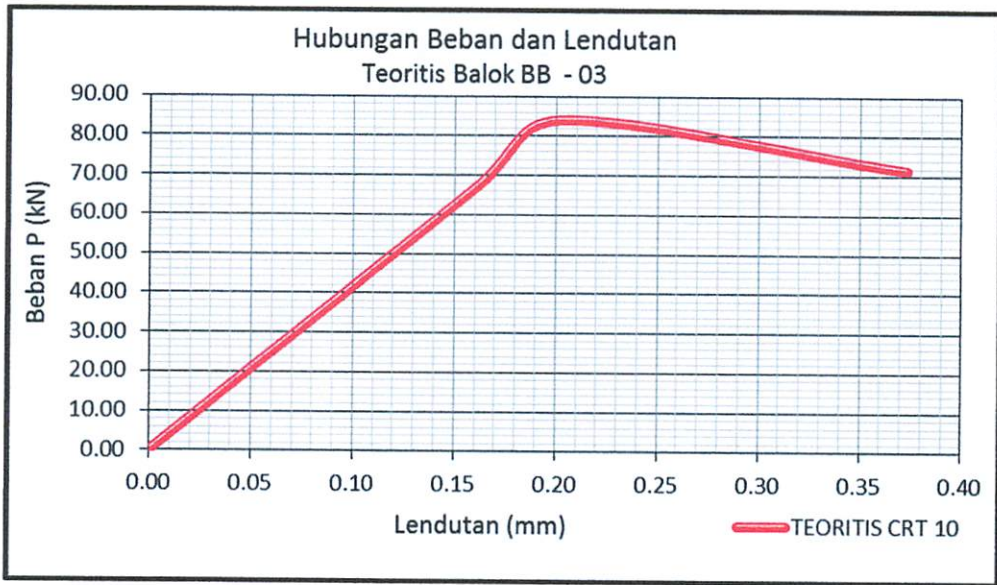
Tabel 3.3 Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB-03

NO	f_c	f_s	P	f	ket.
	Mpa	Mpa	KN	mm	
1	2	3	4	5	
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 3.3

- a. Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- b. Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton
- c. Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja
- d. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- e. Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton

Kurva hubungan beban dan lendutan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB-03) yang terlihat pada Grafik 3.1. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.3 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 5 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.1 Kurva Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 03

7. Grafik Tegangan dan Regangan

Dari hasil di atas maka nilainya dapat di tabelkan sebagai berikut:

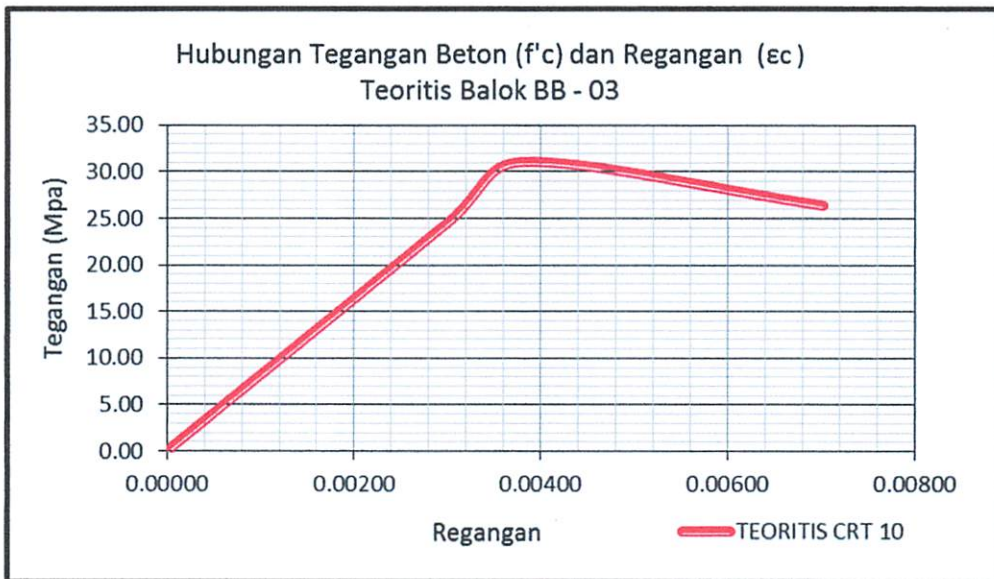
Tabel 3.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-03

No	f'_c	f_s	P	ϵ_c	ket.
	Mpa	Mpa	KN		
1	2	3	4	5	6
2	0.00	0.00	0.00	0.00000	
3	24.52	455.00	66.33	0.00300	retak 1
4	31.04	576.00	83.97	0.00380	ultimate
5	26.38	489.60	71.37	0.00703	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 Regangan Beton

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB-03) yang terlihat pada Grafik 3.2. 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 (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-03

3.10.2. Balok Dengan Tulangan BJTD D10 (BB-04)

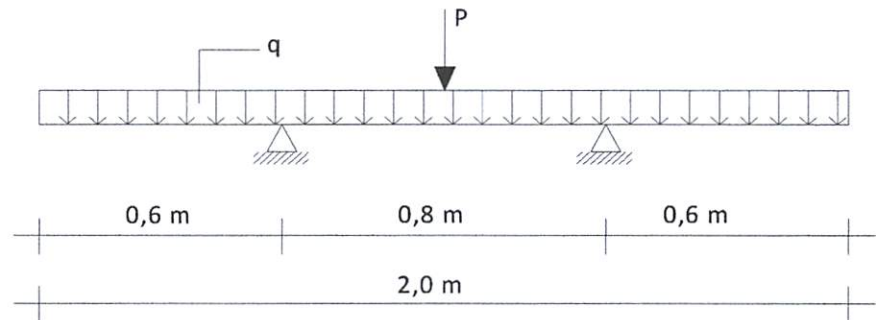
1. Perhitungan Kuat Lentur Balok dengan Tulangan BJTD D 10

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) : 451 MPa

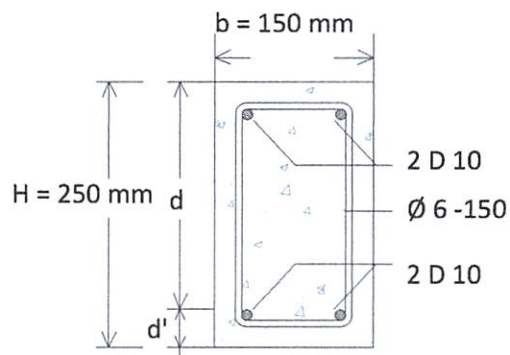
- Tulangan utama : BJTD D 10 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

b. Model Pengujian Kuat Lentur



Gambar 3.14 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan BJTD D 10

c. Kontrol momen BJTD



Gambar 3.15 Penampang Balok dengan Tulangan BJTD D 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)

$$= \frac{451}{200.000}$$

$$= 0,0023$$

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

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

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,52}{451} \cdot \frac{600}{600+451}$$

$$= 0,02242$$

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

$$= \frac{1,4}{451}$$

$$= 0,00310$$

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

$$= 0,75 \cdot 0,02242$$

$$= 0,01682$$

Direncanakan penulangan :

$$\text{Tul.tarik As} = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9,53^2 = 142,661 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tul.tekan A's} = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9,53^2 = 142,661 \text{ mm}^2$$

$$d' = 20 + 6 + (9,53/2) = 30,765 \text{ mm}$$

$$d = 250 - 30,765$$

$$= 219,235 \text{ mm}$$

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 :

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

$$= \frac{142,661 \cdot 451}{(0,85 \cdot 24,52) \cdot 150}$$

$$= 20,58 \text{ mm}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

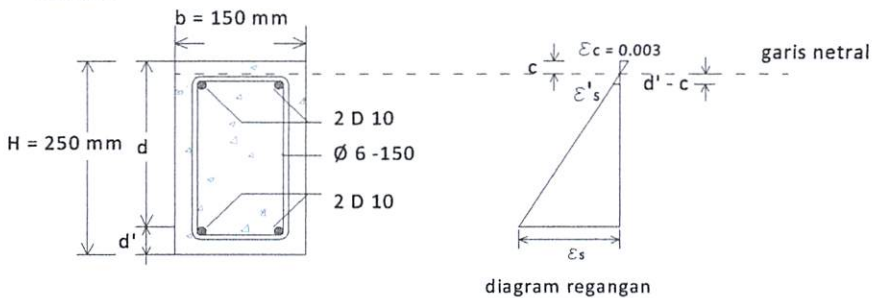
$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$= \frac{20,58}{0,85}$$

$$= 24,212 \text{ mm}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal

benar :



Gambar 3.16 Model diagram regangan tulangan BJTD D 10

$$\frac{\epsilon'_s}{\epsilon_c} = \frac{d' - c}{c}$$

$$\begin{aligned} \epsilon'_s &= \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{30,765 - 24,212}{24,212} \cdot 0,003 \\ &= 0,000812 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{219,235 - 24,212}{24,212} \cdot 0,003 \\ &= 0,0242 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{451}{200.000} \\ &= 0,0023 \end{aligned}$$

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 :

$$C_c + C_s = T$$

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

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

$$(0,85 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85) \cdot c^2 + (600 \cdot 142,661 - 142,661 \cdot 451) \cdot c - (600 \cdot 142,661) \cdot 30,765 = 0$$

atau memakai :

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

dimana :

$$R = \frac{600 \cdot A's - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1} \quad \text{dan} \quad Q = \frac{600 \cdot d' \cdot A's}{0,25 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1}$$

Dan diketahui :

$$A_s = 142,661 \text{ mm}^2$$

$$A's = 142,661 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$f_y = 451 \text{ MPa}$$

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

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

$$d' = 30,765 \text{ mm}$$

kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut :

$$R = \frac{600 \cdot A's - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1}$$

$$= \frac{600 \cdot 142,561 - 142,661 \cdot 451}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85}$$

$$= 4,0$$

$$Q = \frac{600 \cdot d' \cdot A_s}{0,05 \cdot f'c \cdot B_w \cdot \beta_1}$$

$$= \frac{600 \cdot 30,765 \cdot 142,661}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,05}$$

$$= 990,979$$

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

$$= \pm \sqrt{(990,979 + 4,0^2)} - 4,0$$

$$= 27,733 \text{ mm}$$

$$f's = \epsilon's \cdot E_s$$

$$= \frac{(d' - c)}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s$$

$$= \frac{(d' - c)}{c} \times 0,003 \times 200.000$$

$$= \frac{(d' - c)}{c} \cdot 600$$

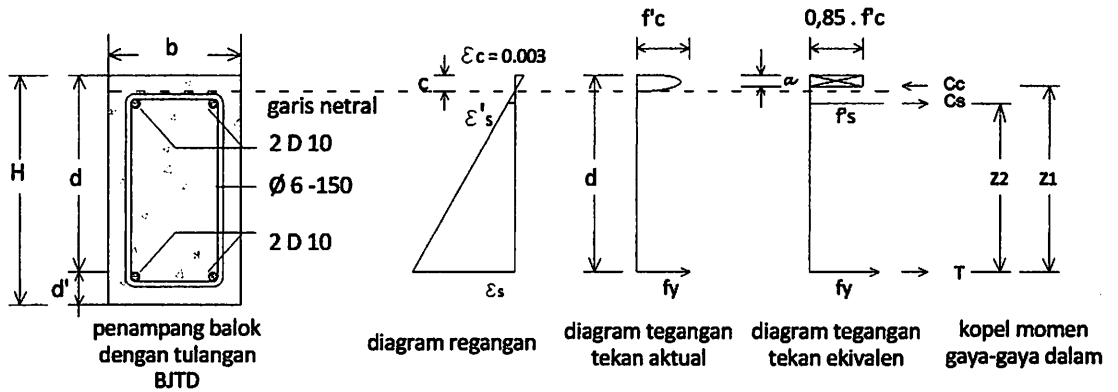
$$= \frac{(30,765 - 27,733)}{27,733} \cdot 600$$

$$= 65,59 \text{ Mpa} < f_y = 451 \text{ MPa}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 27,733$$

$$= 23,573 \text{ mm}$$



Gambar 3.17 Ilustrasi Diagram Regangan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Dengan Tulangan BJT D 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 :

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 24,52 \cdot 23,573 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \\ &= 73,697 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan pada tulangan tekan :

$$\begin{aligned} C_s &= A'_s \cdot f'_s \\ &= 142,661 \cdot 65,59 \cdot 10^{-3} \\ &= 9,357 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik pada tulangan tarik :

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 142,661 \cdot 451 \cdot 10^{-3} \\ &= 64,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$C_c - C_s = T$$

$$73,697 \text{ kN} - 9,357 \text{ kN} = 64,34 \text{ kN}$$

$$64,34 \text{ kN} = 64,34 \text{ kN} \dots \text{ (ok)}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= d - \left(\frac{1}{2} \cdot a\right) \\ &= 219,235 - \left(\frac{1}{2} \cdot 23,573\right) \\ &= 207,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= d - d' \\ &= 219,235 - 30,765 \\ &= 188,47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= (C_c \cdot Z_1) \\ &= (73,697 \cdot 207,45) \cdot 10^{-3} \\ &= 15,29 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= (C_s \cdot Z_2) \\ &= (9,357 \cdot 188,47) \cdot 10^{-3} \\ &= 1,76 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} - M_{n2} \\ &= 15,29 - 1,76 \\ &= 13,52 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \cdot M_n \\ &= 0,8 \cdot 13,52 \\ &= 10,82 \text{ KNm} \end{aligned}$$

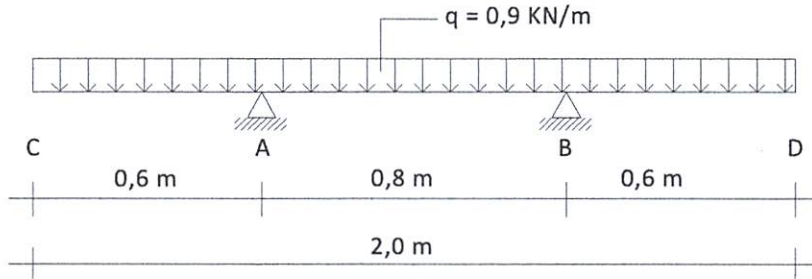
$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

$$q_{bs} = b \cdot h \cdot 2400$$

$$= 0,15 \times 0,25 \times 2400$$

$$= 90 \text{ kg/m}$$

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



Gambar 3.18 Perhitungan Momen Akibat Berat Sendiri Balok Dengan Tulangan BJTD D 10

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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

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

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

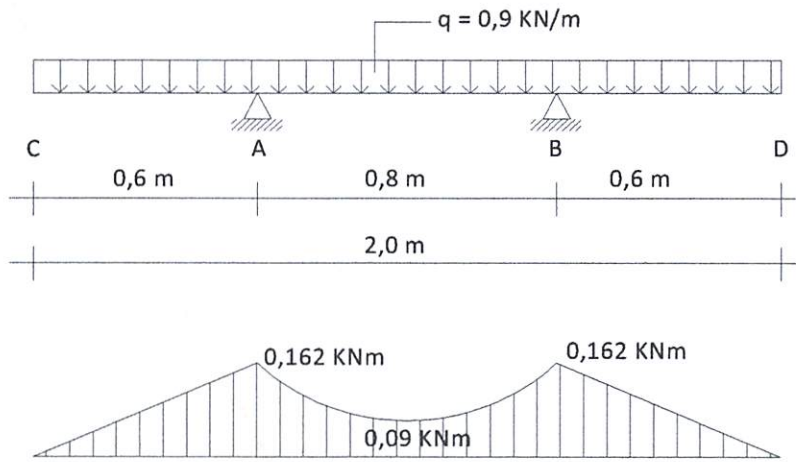
$$x = 0,4 \text{ m}$$

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

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

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

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



Bid . M

Gambar 3.19 Momen Maksimum Akibat Berat Sendiri Pada Balok Dengan Tulangan BJTD D 10

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

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

$$13,52 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L$$

$$13,52 - 0,09 = \frac{1}{4} \cdot P \cdot 0,8$$

$$P = 67,17 \text{ kN} = 6717 \text{ Kg}$$

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

Cek syarat daktilitas

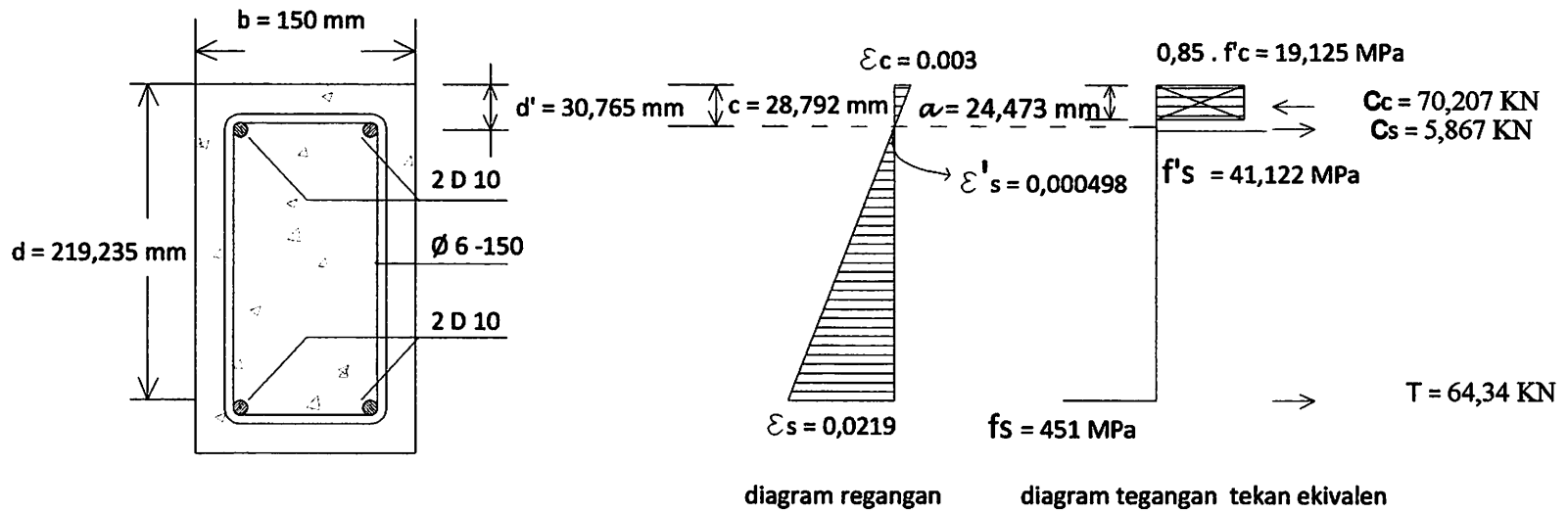
$$\rho^{\circ} \leq \rho \text{ max} \leq 0,01682$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

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

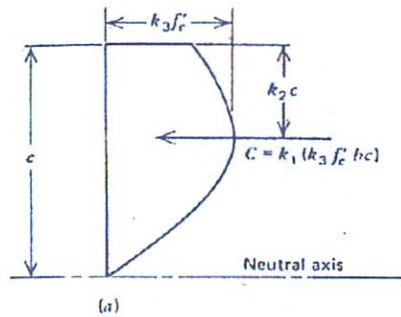
$$= \frac{142\ 661}{150 \cdot 219,235}$$

$$= 0,0043 < \rho \text{ max} = 0,01682 \dots \dots \dots (\text{ok})$$



Gambar 3.20 Model Diagram Regangan Tulangan BJTD D 10

2. Analisa distribusi tegangan aktual Balok dengan Tulangan BJTD D 10



Gambar 3.21 Distribusi Tegangan Tekan Aktual
Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Tabel 3.6 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan f_c 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan BJTD D 10

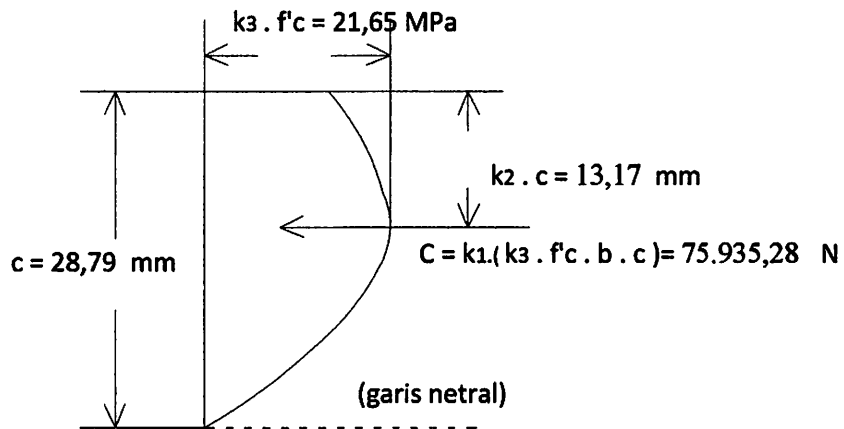
f_c N/mm ²	Nilai			
	k_1	k_2	k_3	ϵ_c
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
24.52	0.803	0.454	0.953	0.00344

$$k_3 \cdot f_c = 0,962 \cdot 24,52 = 23,38 \text{ Mpa}$$

$$c = 27,73 \text{ mm}$$

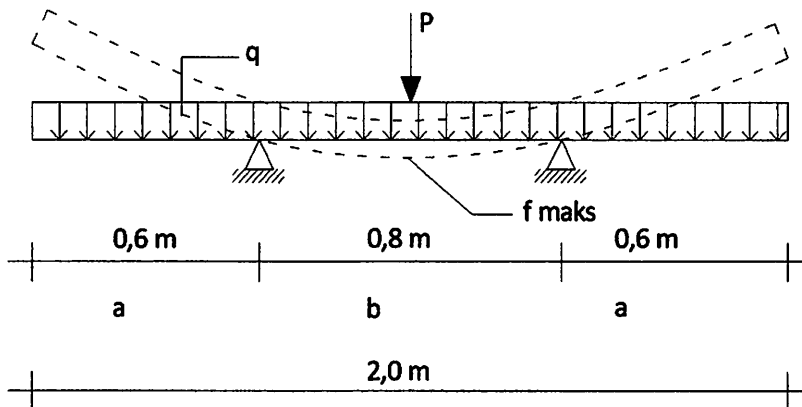
$$k_2 \cdot c = 0,457 \cdot 28,79 = 12,6 \text{ mm}$$

$$k_1 \cdot (k_3 \cdot f_c \cdot b \cdot c) = 0,803 \cdot (0,953 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 27,73) = 78128,9 \text{ N}$$



Gambar 3.22 Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJT D 10

3. Lendutan Balok dengan Tulangan BJT D 10



Gambar 3.23 Model Lendutan Pada Balok BJT D 10

Diketahui :

$P = 67.174,22 \text{ N}$

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 800 \text{ mm}$

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

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

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

$$f \text{ maks} = \frac{P \cdot b^3}{48 EI} + \frac{w \cdot b^2}{384 EI} (5b^2 - 24a^2)$$

$$= \frac{67.174,22 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} + \frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2)$$

$$= 0,1627 \text{ mm}$$

4. Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan BJTD Ø 10

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

$$f_y = 451 \text{ Mpa}$$

$$c_c = 20 \cdot \frac{2,53}{2} = 15,235 \text{ mm}$$

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 - 5

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2,5 c_c \leq \frac{300}{252/f_s}$$

$$= \frac{95.000}{0,6(451)} - 2,5 \cdot 15,235 \leq \frac{300}{252/(0,6 \cdot 451)}$$

$$312,984 \text{ mm} < 322,143 \text{ mm}$$

$$312,984 \text{ mm} > 110 \text{ mm}$$

$$d = 219,235 \text{ mm}$$

$$d^1 = 30,765 \text{ mm}$$

$$c = 27,733 \text{ mm}$$

Kontrol retak Lentur

Perkiraan lebar retak

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

Dimana :

$$\begin{aligned} B_h &= \frac{d+d_t-c}{d-c} \\ &= \frac{219,235 + 30,376 - 27,733}{219,235 - 27,733} = 1,159 \end{aligned}$$

$$f_s = 0,6 f_y = 0,6 \cdot 451 = 270,6 \text{ Mpa}$$

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

$$\begin{aligned} A &= \frac{b \cdot (h-c)}{2} \\ &= \frac{150 \cdot (250 - 27,733)}{2} = 16670,025 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= 0,076 \cdot B_h \cdot f_s \sqrt[3]{dc \cdot A} \\ &= 0,076 \cdot 1,162 \cdot 270,6 \sqrt[3]{20 \cdot 16670,025} \\ &= \frac{1657,05}{1000} \end{aligned}$$

$$= 1,657 \text{ mm} > \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012$$

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

5. Panjang Plastis (L_p) Balok dengan Tulangan BJTD D 10

Untuk rotasi plastis ultimate dianalisa berdasarkan curvature.

Beberapa persamaan empiris didapatkan dari penelitian teoritis panjang plastis ekuivalen (L_p) pada kurva ultimate sebagai berikut :

- Untuk balok beton bertulang tak terkekang

$$L_p = k_1 - k_2 - k_3 \left(\frac{z}{d}\right)^{1/4} d$$

Dimana $k_1 = 0,7$ untuk mild steel atau $0,9$ untuk cold worked steel

$$k_2 = 1 + 0,5 P_u/P_o$$

Dimana $P_u =$ Gaya tekan aksial pada balok

$P_o =$ Gaya tarik aksial pada balok tanpa momen tekuk

$k_3 = 0,6$ untuk $f^1c = 35,2 \text{ N/m}^2$ atau $0,9$ untuk $f^1c = 11,7 \text{ N/m}^2$
diansumsikan $f^1c = 0,85$ kekuatan beton kubus.

$z =$ jarak bagian kritis ke titik contrafleksure

$d =$ Tinggi efektifitas balok

Baker mengidentifikasi untuk batasan bentang/d dan $\frac{z}{d}$ ditemukan pada percobaan, L_p pada batasan $0,4 d$ dan $2,4 d$.

- Untuk balok beton bertulang yang terkekang oleh tulangan transversal
 - a. Pada umumnya berdasarkan penelitian Baker memberikan persamaan untuk Q_p menyatakan bahwa untuk balok yang mengalami tarik :

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

Dimana : $k_1 = 0,9$

$$k_3 = 0,762$$

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

$$d = 291,235 \text{ mm}$$

$$c = 27,733 \text{ mm}$$

$$L_p = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,762 \left(\frac{400}{219,235} \right) \cdot 27,733$$

$$= 27,761 \text{ mm.}$$

b. Berdasarkan persamaan Corley

Dari hasil pengujian balok tumpuan sederhana, Corley memberikan persamaan untuk panjang plastis ekuivalen :

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

$$= 0,5 \times 219,235 + 0,2 \sqrt{219,235} \left(\frac{400}{219,235} \right)$$

$$= 115,021 \text{ mm}$$

c. Berdasarkan penelitian Corley,s, Mattock menyarankan bentuk sederhana yang sesuai berdasarkan data dengan pembuktian yang akurat :

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

$$= 0,5 (219,235) + 0,05 \cdot (400)$$

$$= 129,618 \text{ mm}$$

d. Sawyer memberikan persamaan berikut untuk panjang plastis ekuivalen

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

$$= 0,25 (219,235) + 0,075 (400)$$

$$= 84,809 \text{ mm}$$

6. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

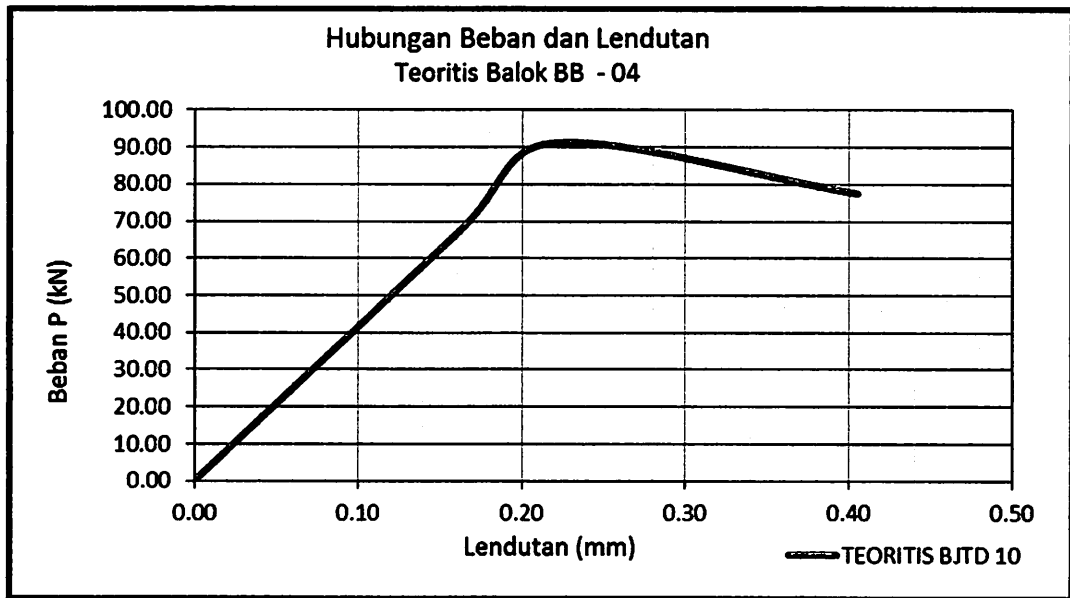
Tabel 3.3 Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB – 04

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	451	67.17	0.16	retak 1
4	33.27	612.00	91.15	0.22	ultimate
5	28.28	520.20	77.48	0.41	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.3

- f. Pada Kolom 1 berisi No. Urut*
- g. Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton*
- h. Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja*
- i. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat*
- j. Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton*

Kurva hubungan beban dan lendutan teoritis balok dengan tulangan BJTD (BB-04) yang terlihat pada Grafik 3.1. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.3 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 5 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.3 Kurva Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 04

8. Grafik Tegangan dan Regangan

Dari hasil di atas maka nilainya dapat di tabelkan sebagai berikut:

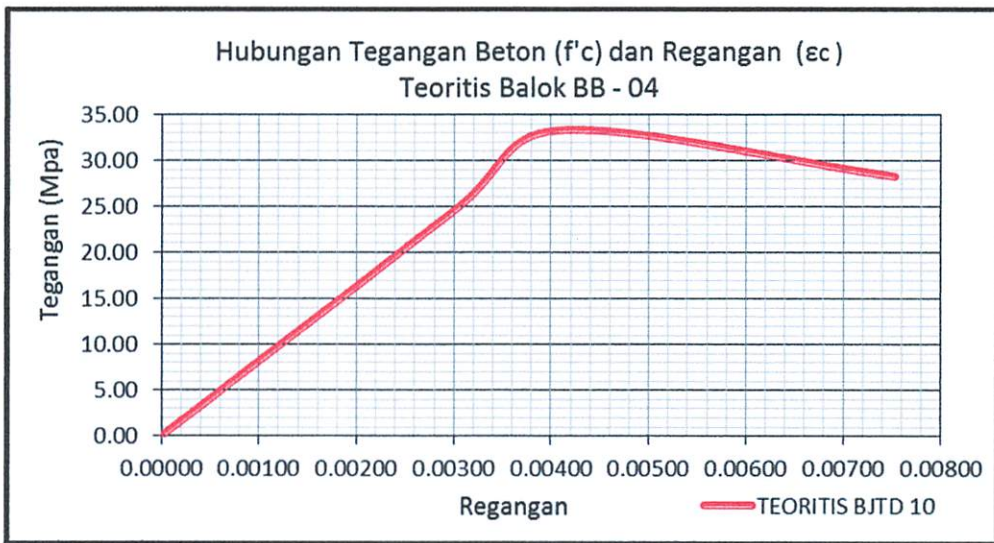
Tabel 3.4 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-04

No	f_c	f_s	P	ϵ_c	ket.
	Mpa	Mpa	KN		
1	2	3	4	5	6
2	0.00	0.00	0.00	0.00000	
3	24.52	451.00	67.17	0.00300	retak 1
4	33.27	612.00	91.15	0.00407	ultimate
5	28.28	520.60	77.48	0.00753	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.4

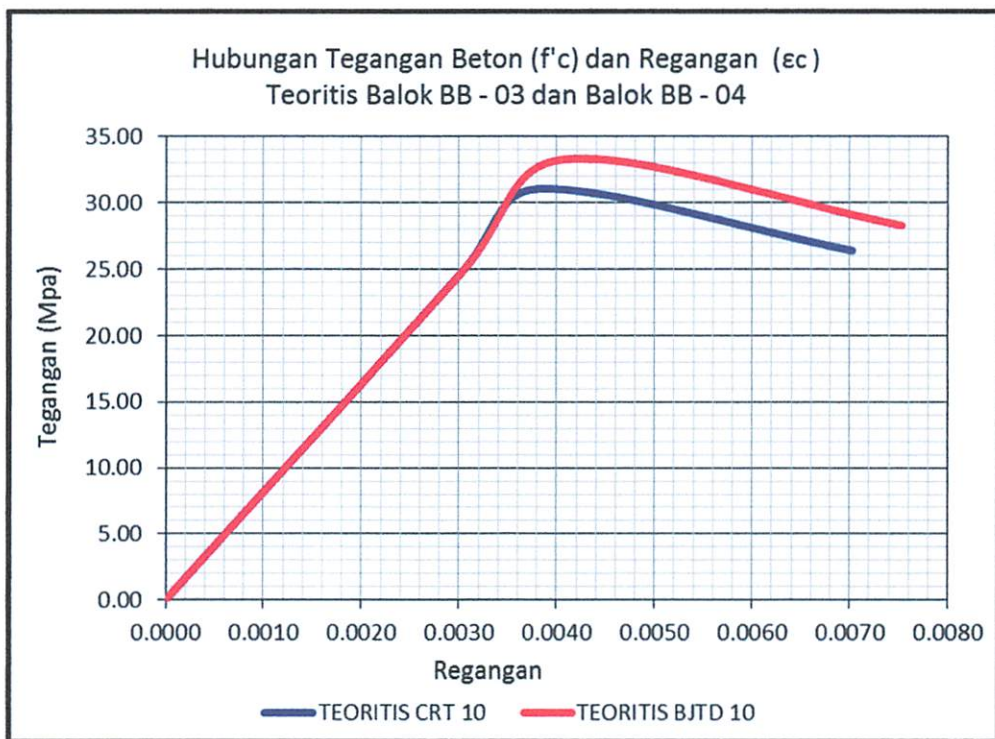
- a. Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- b. Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton
- c. Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja
- d. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- e. Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan BJTD (BB-04) yang terlihat pada Grafik 3.2. 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 (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



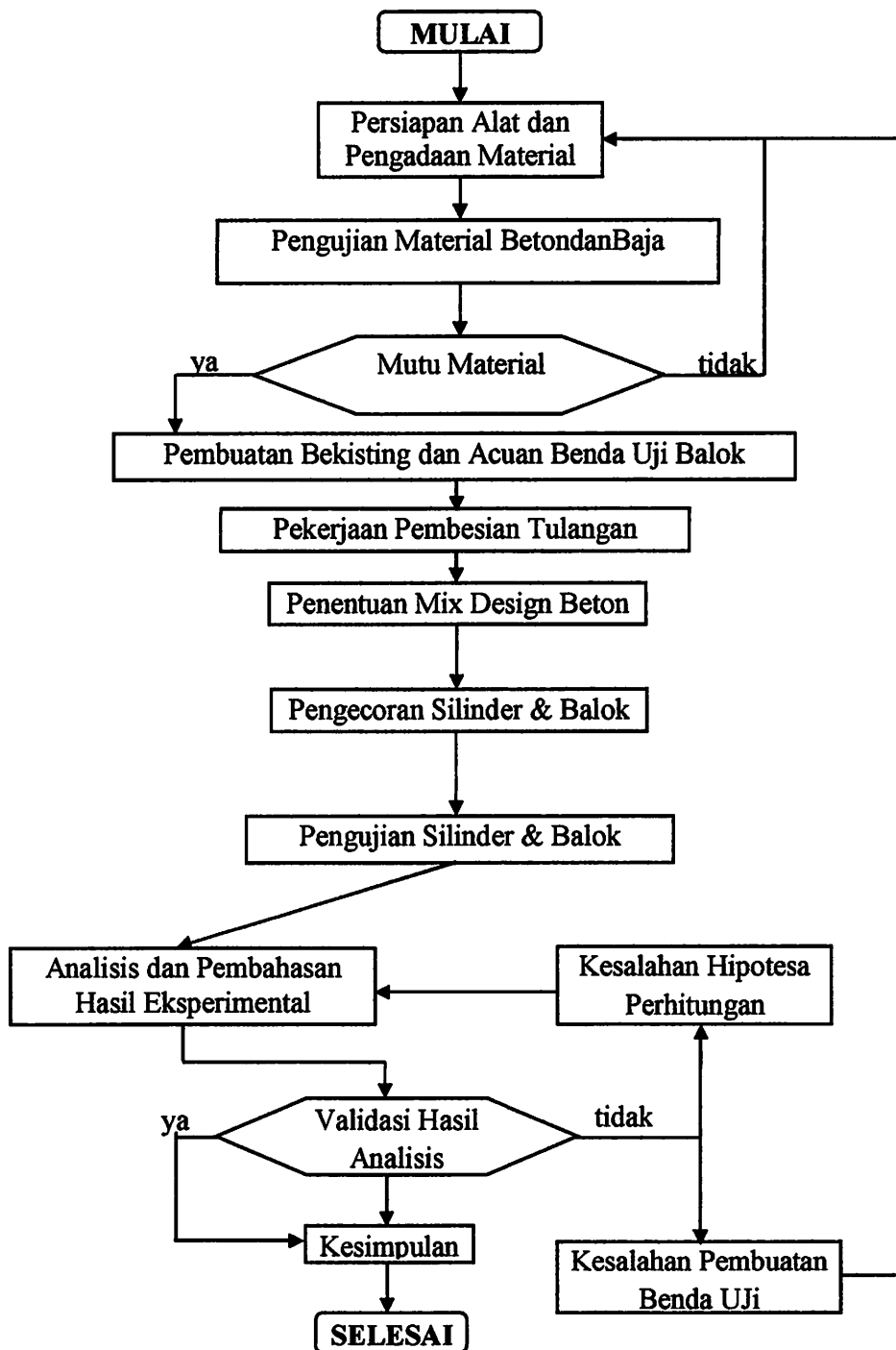
Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB-04

Grafik 3.4 dibawah adalah kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 03) dan balok dengan tulangan BJTD (BB-04) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTD (BB-04) mempunyai tegangan puncak yang lebih besar daripada balok dengan tulangan CRT (BB-03). Namun pada nilai regangan, terlihat kedua balok mempunyai nilai regangan ultimit yang relatif sama.



Grafik 3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis
Balok BB-03 dan Balok BB-04

3.11. Bagan Alir Proses Penelitian



Gambar 3.24 Bagan Alir Proses Penelitian

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	liter
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 PengujianKuatTarik Baja

4.4.3.1 PengujianKuatTariktulangan BJTP Ø 16

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

Tabel 4.2 Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16

No.	Specimen	Area (mm ²)	Max Force (N)	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BJTP Ø 16	176.24	20723.80	248.41	344.65	85.53
2	BJTP Ø 16	176.24	21424.92	257.32	356.31	86.15
3	BJTP Ø 16	176.24	21204.24	253.76	352.64	89.96
Σ				759.49	1053.6	

$$\begin{aligned} f_y \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_y}{\text{jumlah benda uji}} \\ &= \frac{759.49}{3} \\ &= 253\text{MPa} \end{aligned}$$

Maka tegangan leleh (f_y) pada Tulangan BJTP Ø 16 sebesar 253 MPa

$$\begin{aligned} f_u \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_u}{\text{jumlah benda uji}} \\ &= \frac{1053.6}{3} = 351.2\text{MPa} \end{aligned}$$

Maka tegangan ultimate (f_u) padaTulangan BJTP Ø 16 sebesar 351.2 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 (mm ²)	Max Force (N)	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
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 Pengujian Kuat Tariktulangan BJTD D 10

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

Tabel 4.4 Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTD D 10

No.	Specimen	Area (mm ²)	Max Force (N)	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
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 Penyaluran (BB-03)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB-03, 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 BB-03A diawali dengan retak arah membelah melintang 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 BB-03B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah melintang 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 4.3, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 10,8 \text{ ton}$. 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 BB-03C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 7,6$ ton, kemudian lebar retak bertambah seiring 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 BB-03D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 6,8$ ton kemudian lebar retak bertambah seiring 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.



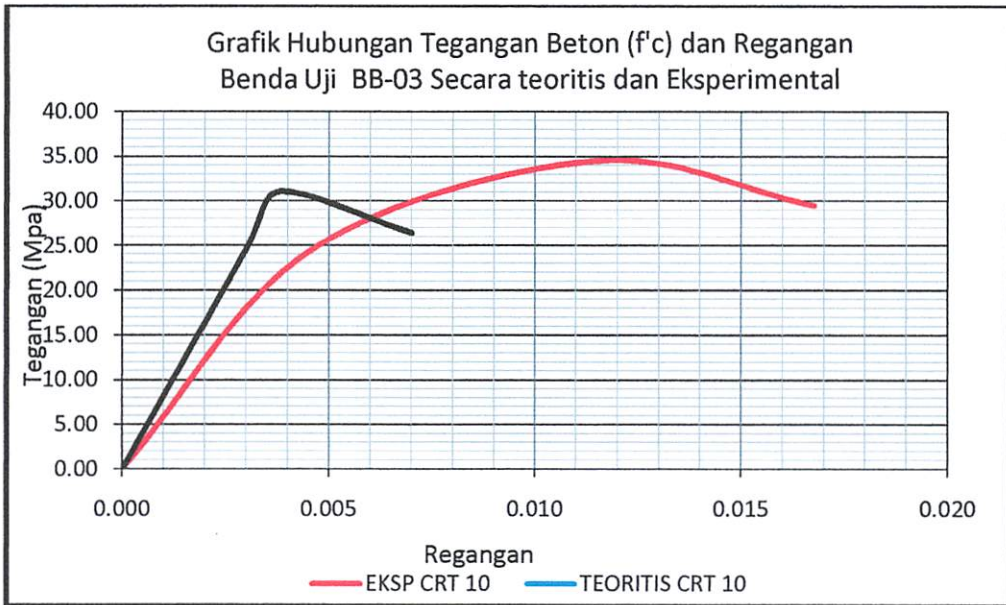
Gambar 4.1. Pengujian balok BB-03

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 tinggi balok mula-mula yaitu $L = 400$ mm untuk memperoleh nilai regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada *Lampiran I Tabel L1.1*.

Kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-03 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran I Tabel L.1.1-E* yaitu angka-angka pada kolom 3 dan kolom 5. Sedangkan kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran

BB-07 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 Penyaluran BB- 03

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.1, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB-03 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'_{cc} maksimum sebesar 35,13 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 31,04 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -11,34 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,012 sedangkan ϵ_c hasil analisa

teoritis sebesar 0,0038 atau mengalami perbedaan sebesar -67,01%.

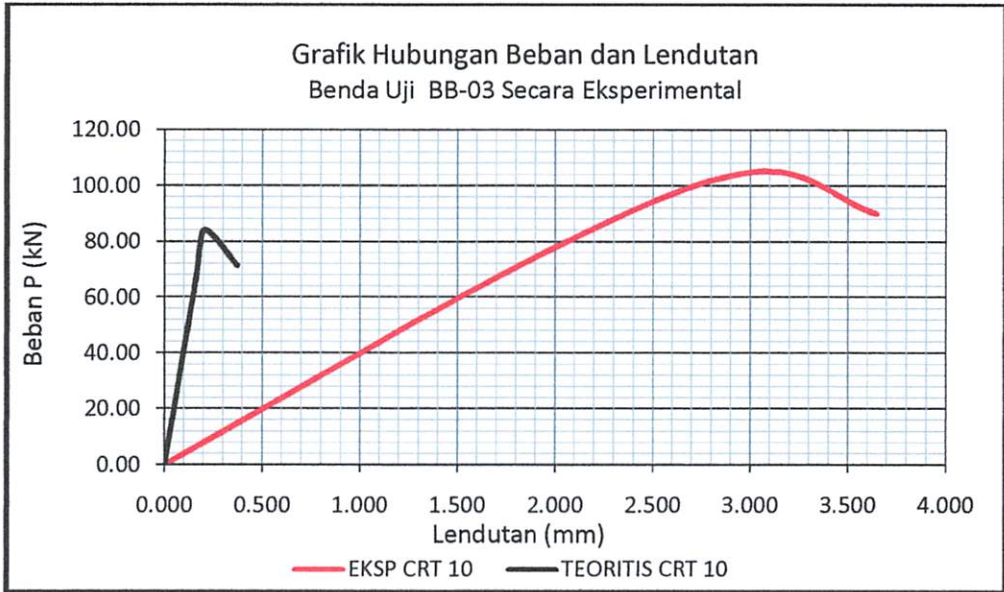
Hasil Perbandingan f'_c , dan ϵ_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.5

Table 4.5 Perbandingan Tegangan Dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 03

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c	ϵ_c
1	BB-03A	31.04	0.0038	32.69	0.01304	-5.05	-70.88
2	BB-03B	31.04	0.0038	36.78	0.01098	-15.60	-65.43
3	BB-03C	31.04	0.0038	33.55	0.00909	-7.49	-58.23
4	BB-03D	31.04	0.0038	37.50	0.01432	-17.23	-73.48
5	BB-03 Rata-rata	31.04	0.0038	35.13	0.01186	-11.34	-67.01

3. Kurva hubungan beban dan lendutan beton

Kurva hubungan beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-03 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-03 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 Penyaluran BB-03

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-03 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 100 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 83,97 kN sehingga terdapat perbedaan beban P_{maks} sebesar -15,20 %. Nilai lendutan beton f hasil analisa eksperimen sebesar 3,069 sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,202 atau mengalami perbedaan sebesar -93,38%. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.6.

Table 4.6 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-03

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f(mm)	P _{maks} (KN)	f(mm)	P _{maks} (KN)	P _{maks}	f(mm)
1	BB-03A	0.20179	83.97	3.23000	84.00	-0.04	-93.75
2	BB-03B	0.20179	83.97	2.96444	108.00	-22.25	-93.19
3	BB-03C	0.20179	83.97	2.69707	104.00	-19.26	-92.52
4	BB-03D	0.20179	83.97	3.38500	104.00	-19.26	-94.04
5	BB-03 Rata-rata	0.20179	83.97	3.06913	100.00	-15.20	-93.38

4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTDTanpa Penyaluran (BB-04)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB-04, 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 BB-04A diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada bagian tengah saat beban mencapai $P = 8,8 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring 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 $P = 12,1 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 7,1 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga

akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB-04B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 9,2 \text{ ton}$, 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 $P = 12,4 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 7,4 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB-04C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 9,6 \text{ ton}$, 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 $P = 12,8 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 8,8 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB-04 D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang 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. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 11,6$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 4,6$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.



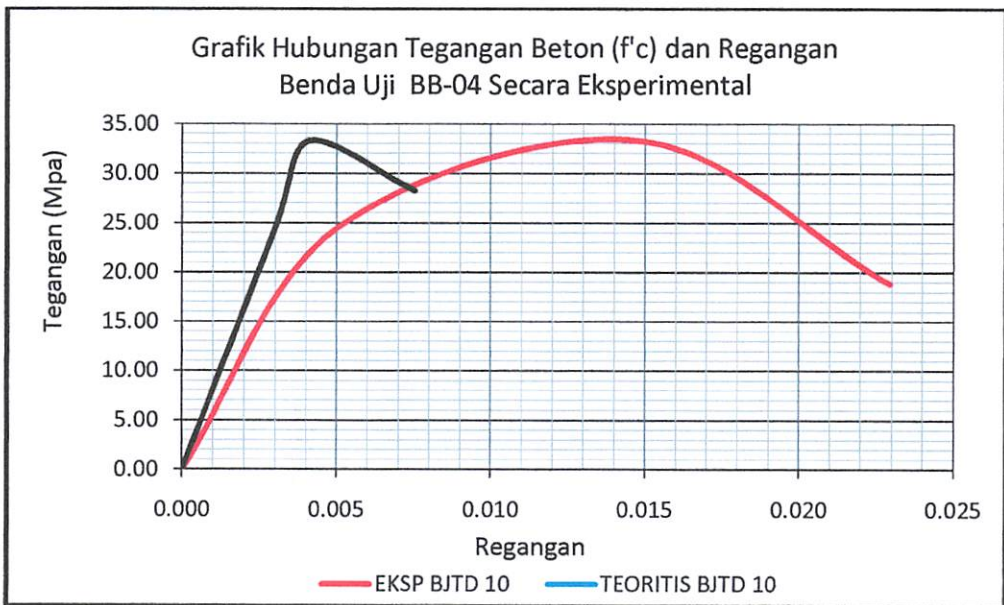
Gambar 4.2 Pengujian balok BB - 04

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 tinggi 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-04 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-04 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 Penyaluran BB – 04

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.3, terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ_{cc} pada kurva tegangan-regangan

beton Balok BB-04 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 33,33 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 34,02 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 2,07 %. Nilai regangan beton ε'_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,01479 sedangkan ε'_c hasil analisa teoritis sebesar 0,00416 atau mengalami perbedaan sebesar -71,86 %. Hasil Perbandingan f'_c , dan ε_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.7.

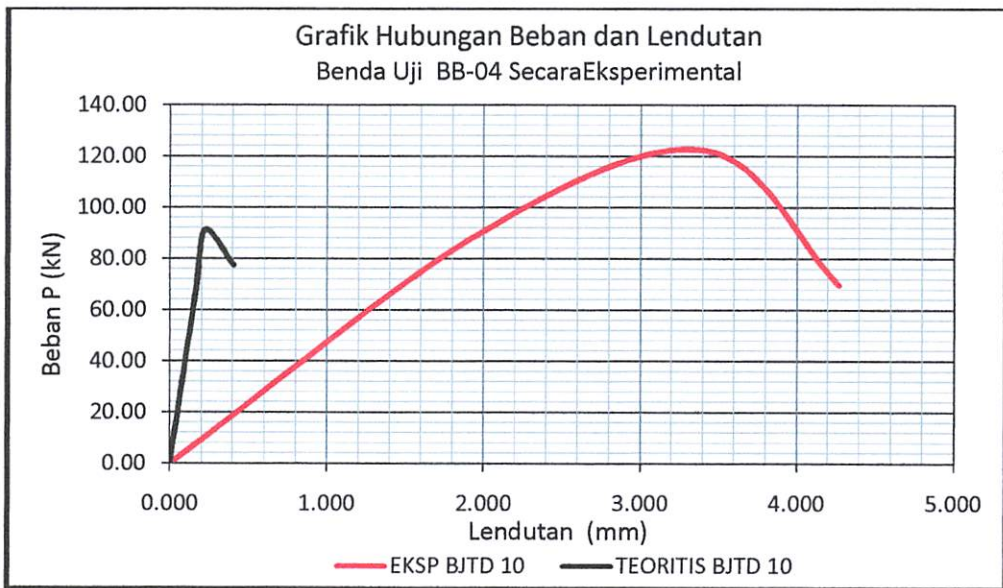
Table 4.7 Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 04

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c (Mpa)	ε_c	f'_c (Mpa)	ε_c	f'_c	ε_c
1	BB-04A	34.02	0.00416	33.72	0.01279	0.90	-67.46
2	BB-04B	34.02	0.00416	33.05	0.01890	2.93	-77.98
3	BB-04C	34.02	0.00416	32.69	0.01767	4.05	-76.45
4	BB-04D	34.02	0.00416	33.86	0.00980	0.46	-57.53
5	BB-04 Rata-rata	34.02	0.00416	33.33	0.01479	2.07	-71.86

3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan

Kurva hubungan Bebandan lendutan beton baloktanpa panjang penyaluran BB-04 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-04 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 dengan Panjang Penyaluran BB-04

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-04 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai beban beton P_{maks} sebesar 122,25 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis

sebesar 124,49kN sehingga terdapat peningkatan beban P_{maks} sebesar 1,83 %. Nilai lendutan beton (f) hasil analisa eksperimen sebesar 3,41 mm sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,24 mm atau mengalami perbedaan sebesar -91,10 %. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.8.

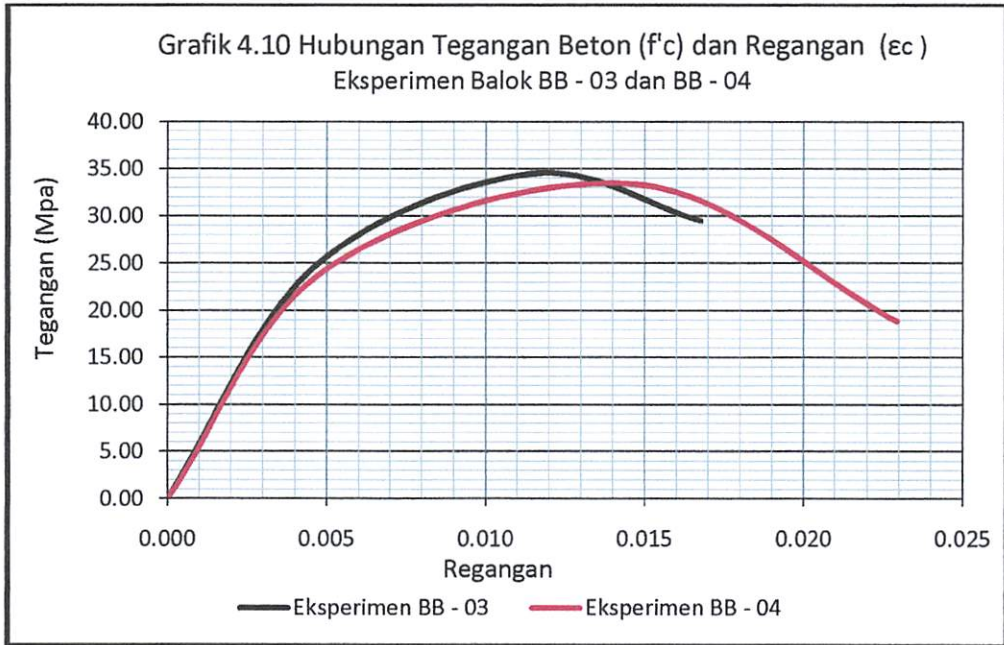
Table 4.8 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB-04

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f (mm)	P_{maks} (kN)	f	P_{maks} (kN)	P_{maks}	f
1	BB-04A	0.23529	124.49	3.19900	121.00	2.88	-92.64
2	BB-04B	0.23529	124.49	3.88833	124.00	0.39	-93.95
3	BB-04C	0.23529	124.49	3.76000	128.00	-2.74	-93.74
4	BB-04D	0.23529	124.49	2.80000	116.00	7.32	-91.60
5	BB-04 Rata-rata	0.23529	124.49	3.41183	122.25	1.83	-93.10

4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB-03 terhadap Balok BB-04

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.5, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c . Pada kurva tegangan-regangan balok BB-03 dan Balok BB-04 sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB-03 mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 35,13 MPa sedangkan f'_c hasil analisa balok BB-04 sebesar 33,33 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar 5,41%. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa balok BB-03 sebesar 0,0119 sedangkan ϵ_c hasil analisa balok BB-04 sebesar 0,0148 atau terjadi perbedaan sebesar -19,81%.



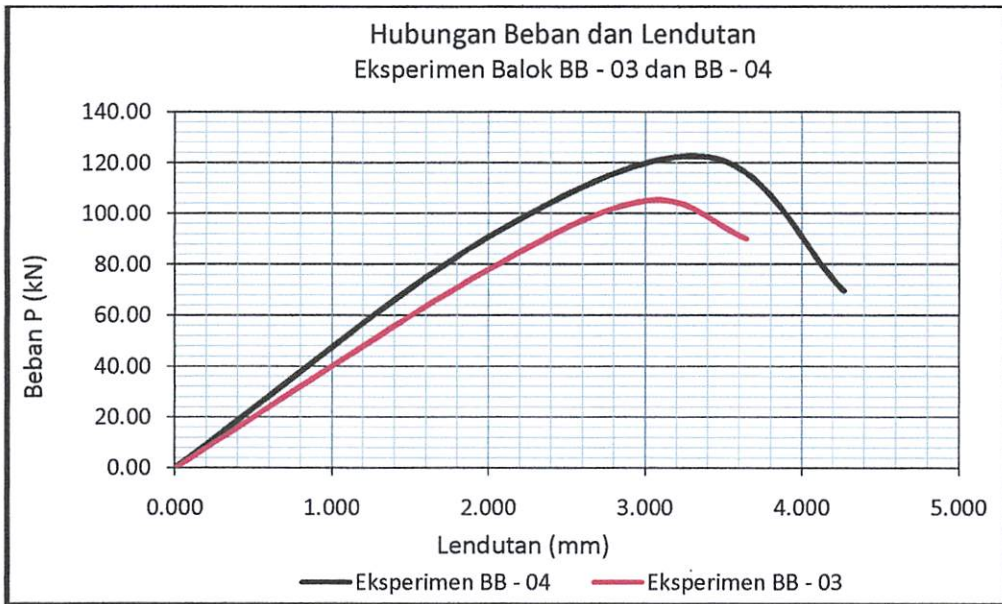
Grafik 4.5. Kurva Tegangan - Regangan Balok BB-03 dan Balok BB-04

4.5. Perbandingan Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-03 Terhadap Balok BB-04

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan f pada kurva beban dan lendutan balok BB-03 dan balok BB-04 sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen balok BB-03 mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 10 ton sedangkan P_{maks} hasil analisa eksperimen balok BB-04 sebesar 12,2 ton sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -22,02%. Nilai lendutan beton f hasil analisa

eksperimen balok BB-03 sebesar 3,07 sedangkan f hasil analisa balok BB-04 sebesar 3,41 atau terjadi perbedaan sebesar -10,04%.



Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-03 dan Balok BB-04

4.6. Efektifitas Balok BB-03 Terhadap Balok BB-04

Pada tabel 4.9 dibawah, terlihat Balok BB-03 dengan rasio tulangan $A_{st} = 0,796$, perbedaan $f_y = 3,99 MPa$ dan $f_u = - 36,20 MPa$ ternyata terjadi inefisiensi jika dibandingkan dengan Balok BB-04.

.Tabel 4.9 Perbandingan efektifitas balok dengan tulangan CRT (BB-03)
terhadap Balok dengan tulangan BJTD (BB-04)

No.	TIPE BALOK	Ast (mm ²)		Rasio Ast	Tensile		Beda Tensile		Eksperimen				Perbedaan (%)			
		CRT	BJTP		f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f'_c (Mpa)	e_c	f (mm)	Pmaks (kN)	Pmaks	f'_c	e_c	f
1	BB-03 (CRT)	557	570.6	0.976	455	575.80	3.99	-36.20	35.13	0.0119	3.07	100	-22	5.41	-19.81	-10.04
2	BB-04 (BJTD)				451	612			33.33	0.0148	3.41	122				

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Penggunaan tulangan CRT pada balok BB-03 ternyata terjadi Inefisiensi jika dibandingkan dengan balok tulangan BJTD (BB-04), dimana terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -22 ton, f'_c sebesar -5,41%, ϵ_c sebesar -19,81% dan lendutan f sebesar -10,04%.
2. Dari model kurva tegangan regangan balok BB-03 dan BB-04 (*Grafik 4.6*) terlihat bahwa pada balok dengan tulangan CRT (BB-03) mempunyai sudut tegangan sedikit lebih besar dari pada balok dengan tulangan BJTD (BB-04). Namun pada regangan, balok dengan tulangan CRT (BB-03) memiliki sudut yang lebih kecil dari balok dengan tulangan BJTD (BB-04). Dengan demikian Tulangan CRT kurang baik untuk digunakan sebagai tulangan tarik pada perencanaan komponen lentur.
3. Berdasarkan hasil analisa eksperimen (*tabel 4.9*) balok dengan tulangan CRT (BB-03) pada beban P ultimate 10 Ton mengalami lendutan sebesar 3,07 mm namun pada balok dengan tulangan BJTD (BB-04) pada beban P Ultimit 12,2 Ton mengalami lendutan sebesar 3,41 mm. Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur P ultimate berbeda -18,03% dan lendutan berbeda -10,04%.

5.2. Saran

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

1. Pembuatan benda uji sangat menentukan ketepatan hasil penelitian, antara lain dari segi kualitas, perawatan, maupun mobilisasi benda uji.
2. Penentuan dimensi benda uji baik ukuran balok maupun jumlah tulangan sangat mempengaruhi analisa baik secara teoritis maupun eksperimental.

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 I : Tabel 1.1A

Benda Uji BB-03A (CRT tanpa Penyaluran)

ket.	P		x	d	f		M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f-400$	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	15	0.150	0.023	400.000	0.000	80000	1.168	21.667
	800	21	0.210	0.044	400.000	0.000	160000	2.335	43.333
	1200	27	0.270	0.073	400.000	0.000	240000	3.503	65.000
	1600	34	0.340	0.116	400.000	0.000	320000	4.670	86.667
	2000	37	0.370	0.137	400.000	0.000	400000	5.838	108.333
	2400	41	0.410	0.168	400.000	0.000	480000	7.006	130.000
	2800	45	0.450	0.203	400.000	0.000	560000	8.173	151.667
	3200	49	0.490	0.240	400.000	0.000	640000	9.341	173.333
	3600	55	0.550	0.303	400.000	0.000	720000	10.509	195.000
	4000	65	0.650	0.423	400.001	0.001	800000	11.676	216.667
	4400	76	0.760	0.578	400.001	0.001	880000	12.844	238.333
	4800	86	0.860	0.740	400.001	0.001	960000	14.011	260.000
	5200	97	0.970	0.941	400.001	0.001	1040000	15.179	281.667
	5600	109	1.090	1.188	400.001	0.001	1120000	16.347	303.333
	6000	119	1.190	1.416	400.002	0.002	1200000	17.514	325.000
	6400	130	1.300	1.690	400.002	0.002	1280000	18.682	346.667
	6800	149	1.490	2.220	400.003	0.003	1360000	19.850	368.333
	7200	156	1.560	2.434	400.003	0.003	1440000	21.017	390.000
	7600	170	1.700	2.890	400.004	0.004	1520000	22.185	411.667
	8000	184	1.840	3.386	400.004	0.004	1600000	23.352	433.333
RETAK 1	8400	195	1.950	3.803	400.005	0.005	1680000	24.520	455.000
	8800	219	2.190	4.796	400.006	0.006	1760000	25.688	476.667
	9200	231	2.310	5.336	400.007	0.007	1840000	26.855	498.333
	9600	251	2.510	6.300	400.008	0.008	1920000	28.023	520.000
	10000	269	2.690	7.236	400.009	0.009	2000000	29.190	541.667
	10400	287	2.870	8.237	400.010	0.010	2080000	30.358	563.333
	10800	305	3.050	9.303	400.012	0.012	2160000	31.526	585.000
ULTIMIT	11200	323	3.230	10.433	400.013	0.013	2240000	32.693	606.667
	10800	341	3.410	11.628	400.015	0.015	2160000	31.526	585.000
	10400	359	3.590	12.888	400.016	0.016	2080000	30.358	563.333
RUNTUH	10000	377	3.770	14.213	400.018	0.018	2000000	29.190	541.667

Lampiran I : Tabel 1.1B

Benda Uji BB-03B (CRT tanpa Penyaluran)

ket.	P		x	d	f		M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f-400$	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	0	0.000	0.000	400.000	0.000	80000	1.362	25.278
	800	6	0.060	0.004	400.000	0.000	160000	2.724	50.556
	1200	15	0.150	0.023	400.000	0.000	240000	4.087	75.833
	1600	20	0.200	0.040	400.000	0.000	320000	5.449	101.111
	2000	29	0.290	0.084	400.000	0.000	400000	6.811	126.389
	2400	38	0.380	0.144	400.000	0.000	480000	8.173	151.667
	2800	46	0.460	0.212	400.000	0.000	560000	9.536	176.944
	3200	55	0.550	0.303	400.000	0.000	640000	10.898	202.222
	3600	60	0.600	0.360	400.000	0.000	720000	12.260	227.500
	4000	85	0.850	0.723	400.001	0.001	800000	13.622	252.778
	4400	105	1.050	1.103	400.001	0.001	880000	14.984	278.056
	4800	121	1.210	1.464	400.002	0.002	960000	16.347	303.333
	5200	124	1.238	1.532	400.002	0.002	1040000	17.709	328.611
	5600	136	1.361	1.853	400.002	0.002	1120000	19.071	353.889
	6000	148	1.484	2.204	400.003	0.003	1200000	20.433	379.167
	6400	161	1.608	2.585	400.003	0.003	1280000	21.796	404.444
	6800	173	1.731	2.997	400.004	0.004	1360000	23.158	429.722
RETAK I	7200	185	1.854	3.439	400.004	0.004	1440000	24.520	455.000
	7600	198	1.978	3.912	400.005	0.005	1520000	25.882	480.278
	8000	210	2.101	4.415	400.006	0.006	1600000	27.244	505.556
	8400	222	2.224	4.948	400.006	0.006	1680000	28.607	530.833
	8800	235	2.348	5.512	400.007	0.007	1760000	29.969	556.111
	9200	247	2.471	6.106	400.008	0.008	1840000	31.331	581.389
	9600	259	2.594	6.731	400.008	0.008	1920000	32.693	606.667
	10000	272	2.718	7.386	400.009	0.009	2000000	34.056	631.944
	10400	284	2.841	8.072	400.010	0.010	2080000	35.418	657.222
ULTIMIT	10800	296	2.964	8.788	400.011	0.011	2160000	36.780	682.500
	10400	309	3.088	9.534	400.012	0.012	2080000	35.418	657.222
	10000	321	3.211	10.311	400.013	0.013	2000000	34.056	631.944
	9600	333	3.334	11.119	400.014	0.014	1920000	32.693	606.667
RUNTUH	9200	346	3.458	11.956	400.015	0.015	1840000	31.331	581.389

Lampiran I : Tabel 1.1C

Benda Uji BB-03C (CRT tanpa Penyaluran)

ket.	P	x	d	f	$\epsilon = f-400$	M	f'c	fs
	(Kg)	mm	mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5} mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	2	0.020	400.000	0.000	80000	1.291	23.947
	800	4	0.040	400.000	0.000	160000	2.581	47.895
	1200	13	0.130	400.000	0.000	240000	3.872	71.842
	1600	17	0.170	400.000	0.000	320000	5.162	95.789
	2000	27	0.270	400.000	0.000	400000	6.453	119.737
	2400	36	0.360	400.000	0.000	480000	7.743	143.684
	2800	43	0.430	400.000	0.000	560000	9.034	167.632
	3200	51	0.510	400.000	0.000	640000	10.324	191.579
	3600	58	0.580	400.000	0.000	720000	11.615	215.526
	4000	68	0.680	400.001	0.001	800000	12.905	239.474
	4400	87	0.870	400.001	0.001	880000	14.196	263.421
	4800	112	1.120	400.002	0.002	960000	15.486	287.368
	5200	121	1.210	400.002	0.002	1040000	16.777	311.316
	5600	126	1.261	400.002	0.002	1120000	18.067	335.263
	6000	138	1.379	400.002	0.002	1200000	19.358	359.211
	6400	150	1.497	400.003	0.003	1280000	20.648	383.158
	6800	162	1.615	400.003	0.003	1360000	21.939	407.105
	7200	173	1.734	400.004	0.004	1440000	23.229	431.053
RETAK 1	7600	185	1.852	400.004	0.004	1520000	24.520	455.000
	8000	197	1.970	400.005	0.005	1600000	25.811	478.947
	8400	209	2.088	400.005	0.005	1680000	27.101	502.895
	8800	221	2.206	400.006	0.006	1760000	28.392	526.842
	9200	239	2.390	400.007	0.007	1840000	29.682	550.789
	9600	248	2.475	400.008	0.008	1920000	30.973	574.737
	10000	260	2.599	400.008	0.008	2000000	32.263	598.684
ULTIMIT	10400	270	2.697	400.009	0.009	2080000	33.554	622.632
	10000	280	2.802	400.010	0.010	2000000	32.263	598.684
	9600	291	2.906	400.011	0.011	1920000	30.973	574.737
	9200	301	3.011	400.011	0.011	1840000	29.682	550.789
	8800	312	3.115	400.012	0.012	1760000	28.392	526.842
RUNTUH	8400	322	3.220	400.013	0.013	1680000	27.101	502.895

Lampiran I : Tabel 1.1D

Benda Uji BB-03D (CRT tanpa Penyaluran)

				d	f				
ket.	P		x	x ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f-400$	M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0	0	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	0	0.000	0.000	400.000	0.000	80000	1.442	26.765
	800	6	0.060	0.004	400.000	0.000	160000	2.885	53.529
	1200	17	0.170	0.029	400.000	0.000	240000	4.327	80.294
	1600	22	0.220	0.048	400.000	0.000	320000	5.769	107.059
	2000	31	0.310	0.096	400.000	0.000	400000	7.212	133.824
	2400	38	0.380	0.144	400.000	0.000	480000	8.654	160.588
	2800	46	0.460	0.212	400.000	0.000	560000	10.096	187.353
	3200	52	0.520	0.270	400.000	0.000	640000	11.539	214.118
	3600	63	0.630	0.397	400.000	0.000	720000	12.981	240.882
	4000	85	0.850	0.723	400.001	0.001	800000	14.424	267.647
	4400	107	1.070	1.145	400.001	0.001	880000	15.866	294.412
	4800	124	1.240	1.538	400.002	0.002	960000	17.308	321.176
	5200	140	1.400	1.960	400.002	0.002	1040000	18.751	347.941
	5600	155	1.550	2.403	400.003	0.003	1120000	20.193	374.706
	6000	170	1.700	2.890	400.004	0.004	1200000	21.635	401.471
	6400	185	1.850	3.423	400.004	0.004	1280000	23.078	428.235
RETAK I	6800	200	2.000	4.000	400.005	0.005	1360000	24.520	455.000
	7200	220	2.200	4.840	400.006	0.006	1440000	25.962	481.765
	7600	236	2.360	5.570	400.007	0.007	1520000	27.405	508.529
	8000	245	2.450	6.003	400.008	0.008	1600000	28.847	535.294
	8400	263	2.630	6.917	400.009	0.009	1680000	30.289	562.059
	8800	278	2.781	7.734	400.010	0.010	1760000	31.732	588.824
	9200	293	2.932	8.597	400.011	0.011	1840000	33.174	615.588
	9600	308	3.083	9.505	400.012	0.012	1920000	34.616	642.353
	10000	323	3.234	10.459	400.013	0.013	2000000	36.059	669.118
ULTIMIT	10400	339	3.385	11.458	400.014	0.014	2080000	37.501	695.882
	10000	354	3.536	12.503	400.016	0.016	2000000	36.059	669.118
	9600	369	3.687	13.594	400.017	0.017	1920000	34.616	642.353
	9200	384	3.838	14.730	400.018	0.018	1840000	33.174	615.588
	8800	399	3.989	15.912	400.020	0.020	1760000	31.732	588.824
RUNTUH	8400	414	4.140	17.140	400.021	0.021	1680000	30.289	562.059

Lampiran I : Tabel 1.1E

Benda Uji BB-03 (CRT tanpa Penyaluran) rata-rata

P rata-rata	Lendutan	ϵ rata-rata	Mrata-rata	f'c rata-rata	fs rata-rata
Kgmm	mm	Kgmm	Kgmm	MPa	MPa
0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
400	0.043	0.000	80000	1.316	24.414
800	0.093	0.000	160000	2.631	48.828
1200	0.180	0.000	240000	3.947	73.242
1600	0.233	0.000	320000	5.263	97.657
2000	0.310	0.000	400000	6.578	122.071
2400	0.383	0.000	480000	7.894	146.485
2800	0.450	0.000	560000	9.210	170.899
3200	0.518	0.000	640000	10.525	195.313
3600	0.590	0.000	720000	11.841	219.727
4000	0.758	0.001	800000	13.157	244.141
4400	0.938	0.001	880000	14.472	268.555
4800	1.108	0.002	960000	15.788	292.970
5200	1.204	0.002	1040000	17.104	317.384
5600	1.315	0.002	1120000	18.420	341.798
6000	1.438	0.003	1200000	19.735	366.212
6400	1.564	0.003	1280000	21.051	390.626
6800	1.709	0.004	1360000	22.367	415.040
7200	1.837	0.004	1440000	23.682	439.454
7600	1.972	0.005	1520000	24.998	463.868
8000	2.090	0.006	1600000	26.314	488.283
8400	2.223	0.006	1680000	27.629	512.697
8800	2.381	0.007	1760000	28.945	537.111
9200	2.526	0.008	1840000	30.261	561.525
9600	2.666	0.009	1920000	31.576	585.939
10000	2.810	0.010	2000000	32.892	610.353
10400	2.948	0.011	2080000	34.208	634.767
10400	3.088	0.012	2080000	34.157	633.825
10200	3.228	0.013	2040000	33.425	620.245
9800	3.367	0.014	1960000	32.109	595.831
9400	3.507	0.016	1880000	30.794	571.416
9000	3.647	0.017	1800000	29.478	547.002

Lampiran I : Tabel 1.2A

Benda Uji BB-04A (BJTD tanpa Penyaluran)

ket.	P		x	d	f				
	(Kg)		mm	mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5}	$\epsilon = f/400$	M	f'c	fs
					mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	0	0	0.000	400.000	0.000	80000	1.115	20.500
	800	1	0.01	0.000	400.000	0.000	160000	2.229	41.000
	1200	5	0.05	0.003	400.000	0.000	240000	3.344	61.500
	1600	7	0.07	0.005	400.000	0.000	320000	4.458	82.000
	2000	9	0.09	0.008	400.000	0.000	400000	5.573	102.500
	2400	11	0.11	0.012	400.000	0.000	480000	6.687	123.000
	2800	14	0.14	0.020	400.000	0.000	560000	7.802	143.500
	3200	18	0.18	0.032	400.000	0.000	640000	8.916	164.000
	3600	21	0.21	0.044	400.000	0.000	720000	10.031	184.500
	4000	25	0.25	0.063	400.000	0.000	800000	11.145	205.000
	4400	31	0.31	0.096	400.000	0.000	880000	12.260	225.500
	4800	39	0.39	0.152	400.000	0.000	960000	13.375	246.000
	5200	43	0.427	0.182	400.000	0.000	1040000	14.489	266.500
	5600	58	0.581	0.338	400.000	0.000	1120000	15.604	287.000
	6000	74	0.735	0.540	400.001	0.001	1200000	16.718	307.500
	6400	89	0.889	0.790	400.001	0.001	1280000	17.833	328.000
	6800	104	1.043	1.088	400.001	0.001	1360000	18.947	348.500
	7200	120	1.197	1.433	400.002	0.002	1440000	20.062	369.000
	7600	135	1.351	1.825	400.002	0.002	1520000	21.176	389.500
	8000	151	1.505	2.265	400.003	0.003	1600000	22.291	410.000
	8400	166	1.659	2.752	400.003	0.003	1680000	23.405	430.500
RETAK 1	8800	181	1.813	3.287	400.004	0.004	1760000	24.520	451.000
	9200	197	1.967	3.869	400.005	0.005	1840000	25.635	471.500
	9600	212	2.121	4.499	400.006	0.006	1920000	26.749	492.000
	10000	228	2.275	5.176	400.006	0.006	2000000	27.864	512.500
	10400	243	2.429	5.900	400.007	0.007	2080000	28.978	533.000
	10800	258	2.583	6.672	400.008	0.008	2160000	30.093	553.500
	11200	274	2.737	7.491	400.009	0.009	2240000	31.207	574.000
	11600	289	2.891	8.358	400.010	0.010	2320000	32.322	594.500
	12000	305	3.045	9.272	400.012	0.012	2400000	33.436	615.000
ULTIMIT	12100	320	3.199	10.234	400.013	0.013	2420000	33.715	620.125
	11100	335	3.353	11.243	400.014	0.014	2220000	30.929	568.875
	10100	351	3.507	12.299	400.015	0.015	2020000	28.142	517.625
	9100	366	3.661	13.403	400.017	0.017	1820000	25.356	466.375
	8100	382	3.815	14.554	400.018	0.018	1620000	22.570	415.125
RUNTUH	7100	397	3.969	15.753	400.020	0.020	1420000	19.783	363.875

Lampiran I : Tabel 1.2B

Benda Uji BB-04B (BJTD tanpa Penyaluran)

ket.	P	x	d	f	$\epsilon = f-400$	M	f'c	fs	
	(Kg)	mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	mm	Kgmm	MPa	MPa	
	0	0	0	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	3	0.03	0.001	400.000	0.000	80000	1.066	19.609
	800	15	0.15	0.023	400.000	0.000	160000	2.132	39.217
	1200	21	0.21	0.044	400.000	0.000	240000	3.198	58.826
	1600	29	0.285	0.081	400.000	0.000	320000	4.264	78.435
	2000	36	0.36	0.130	400.000	0.000	400000	5.330	98.043
	2400	44	0.435	0.189	400.000	0.000	480000	6.397	117.652
	2800	51	0.51	0.260	400.000	0.000	560000	7.463	137.261
	3200	57	0.57	0.325	400.000	0.000	640000	8.529	156.870
	3600	60	0.6	0.360	400.000	0.000	720000	9.595	176.478
	4000	72	0.715	0.511	400.001	0.001	800000	10.661	196.087
	4400	83	0.83	0.689	400.001	0.001	880000	11.727	215.696
	4800	95	0.945	0.893	400.001	0.001	960000	12.793	235.304
	5200	106	1.06	1.124	400.001	0.001	1040000	13.859	254.913
	5600	118	1.175	1.381	400.002	0.002	1120000	14.925	274.522
	6000	129	1.29	1.664	400.002	0.002	1200000	15.991	294.130
	6400	141	1.405	1.974	400.002	0.002	1280000	17.057	313.739
	6800	152	1.52	2.310	400.003	0.003	1360000	18.123	333.348
	7200	164	1.635	2.673	400.003	0.003	1440000	19.190	352.957
	7600	175	1.75	3.063	400.004	0.004	1520000	20.256	372.565
	8000	187	1.865	3.478	400.004	0.004	1600000	21.322	392.174
	8400	211	2.11	4.452	400.006	0.006	1680000	22.388	411.783
	8800	227	2.268333	5.145	400.006	0.006	1760000	23.454	431.391
RETAK 1	9200	245	2.448333	5.994	400.007	0.007	1840000	24.520	451.000
	9600	263	2.628333	6.908	400.009	0.009	1920000	25.586	470.609
	10000	281	2.808333	7.887	400.010	0.010	2000000	26.652	490.217
	10400	299	2.988333	8.930	400.011	0.011	2080000	27.718	509.826
	10800	317	3.168333	10.038	400.013	0.013	2160000	28.784	529.435
	11200	335	3.348333	11.211	400.014	0.014	2240000	29.850	549.043
	11600	353	3.528333	12.449	400.016	0.016	2320000	30.917	568.652
	12000	371	3.708333	13.752	400.017	0.017	2400000	31.983	588.261
ULTIMIT	12400	389	3.888333	15.119	400.019	0.019	2480000	33.049	607.870
	11400	407	4.068333	16.551	400.021	0.021	2280000	30.383	558.848
	10400	425	4.248333	18.048	400.023	0.023	2080000	27.718	509.826
	9400	443	4.428333	19.610	400.025	0.025	1880000	25.053	460.804
	8400	461	4.608333	21.237	400.027	0.027	1680000	22.388	411.783
RUNTUH	7400	479	4.788333	22.928	400.029	0.029	1480000	19.723	362.761

Lampiran I : Tabel 1.2C

Benda Uji BB-04C (BJTD tanpa Penyaluran)

ket.	P		x	d	f		M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f-400$	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	10	0.100	0.010	400.000	0.000	80000	1.022	18.792
	800	19	0.190	0.036	400.000	0.000	160000	2.043	37.583
	1200	27	0.270	0.073	400.000	0.000	240000	3.065	56.375
	1600	36	0.357	0.127	400.000	0.000	320000	4.087	75.167
	2000	44	0.443	0.197	400.000	0.000	400000	5.108	93.958
	2400	53	0.530	0.281	400.000	0.000	480000	6.130	112.750
	2800	62	0.617	0.380	400.000	0.000	560000	7.152	131.542
	3200	70	0.703	0.495	400.001	0.001	640000	8.173	150.333
	3600	79	0.790	0.624	400.001	0.001	720000	9.195	169.125
	4000	88	0.877	0.769	400.001	0.001	800000	10.217	187.917
	4400	96	0.963	0.928	400.001	0.001	880000	11.238	206.708
	4800	105	1.050	1.103	400.001	0.001	960000	12.260	225.500
	5200	114	1.137	1.292	400.002	0.002	1040000	13.282	244.292
	5600	122	1.223	1.497	400.002	0.002	1120000	14.303	263.083
	6000	131	1.310	1.716	400.002	0.002	1200000	15.325	281.875
	6400	140	1.397	1.951	400.002	0.002	1280000	16.347	300.667
	6800	148	1.483	2.200	400.003	0.003	1360000	17.368	319.458
	7200	157	1.570	2.465	400.003	0.003	1440000	18.390	338.250
	7600	166	1.657	2.745	400.003	0.003	1520000	19.412	357.042
	8000	174	1.743	3.039	400.004	0.004	1600000	20.433	375.833
	8400	183	1.830	3.349	400.004	0.004	1680000	21.455	394.625
	8800	192	1.917	3.674	400.005	0.005	1760000	22.477	413.417
	9200	200	2.003	4.013	400.005	0.005	1840000	23.498	432.208
RETAK 1	9600	213	2.130	4.537	400.006	0.006	1920000	24.520	451.000
	10000	235	2.350	5.523	400.007	0.007	2000000	25.542	469.792
	10400	246	2.460	6.052	400.008	0.008	2080000	26.563	488.583
	10800	267	2.670	7.129	400.009	0.009	2160000	27.585	507.375
	11200	287	2.870	8.237	400.010	0.010	2240000	28.607	526.167
	11600	312	3.120	9.734	400.012	0.012	2320000	29.628	544.958
	12000	335	3.350	11.223	400.014	0.014	2400000	30.650	563.750
	12400	352	3.520	12.390	400.015	0.015	2480000	31.672	582.542
ULTIMIT	12800	376	3.760	14.138	400.018	0.018	2560000	32.693	601.333
	11800	392	3.920	15.366	400.019	0.019	2360000	30.139	554.354
	10800	408	4.080	16.646	400.021	0.021	2160000	27.585	507.375
	9800	424	4.240	17.978	400.022	0.022	1960000	25.031	460.396
RUNTUH	8800	440	4.400	19.360	400.024	0.024	1760000	22.477	413.417

Lampiran I : Tabel 1.2D

Benda Uji BB-04D (BJTD tanpa Penyaluran)

ket.	P		x	d	f		M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f-400$	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	0	0.000	0.000	400.000	0.000	80000	1.168	21.476
	800	2	0.020	0.000	400.000	0.000	160000	2.335	42.952
	1200	4	0.040	0.002	400.000	0.000	240000	3.503	64.429
	1600	6	0.060	0.004	400.000	0.000	320000	4.670	85.905
	2000	8	0.080	0.006	400.000	0.000	400000	5.838	107.381
	2400	12	0.120	0.014	400.000	0.000	480000	7.006	128.857
	2800	16	0.160	0.026	400.000	0.000	560000	8.173	150.333
	3200	18	0.180	0.032	400.000	0.000	640000	9.341	171.810
	3600	21	0.210	0.044	400.000	0.000	720000	10.509	193.286
	4000	25	0.250	0.063	400.000	0.000	800000	11.676	214.762
	4400	27	0.270	0.073	400.000	0.000	880000	12.844	236.238
	4800	30	0.300	0.090	400.000	0.000	960000	14.011	257.714
	5200	38	0.380	0.144	400.000	0.000	1040000	15.179	279.190
	5600	40	0.400	0.160	400.000	0.000	1120000	16.347	300.667
	6000	56	0.560	0.314	400.000	0.000	1200000	17.514	322.143
	6400	72	0.720	0.518	400.001	0.001	1280000	18.682	343.619
	6800	88	0.880	0.774	400.001	0.001	1360000	19.850	365.095
	7200	104	1.040	1.082	400.001	0.001	1440000	21.017	386.571
	7600	120	1.200	1.440	400.002	0.002	1520000	22.185	408.048
	8000	136	1.360	1.850	400.002	0.002	1600000	23.352	429.524
RETAK 1	8400	152	1.520	2.310	400.003	0.003	1680000	24.520	451.000
	8800	168	1.680	2.822	400.004	0.004	1760000	25.688	472.476
	9200	184	1.840	3.386	400.004	0.004	1840000	26.855	493.952
	9600	200	2.000	4.000	400.005	0.005	1920000	28.023	515.429
	10000	216	2.160	4.666	400.006	0.006	2000000	29.190	536.905
	10400	232	2.320	5.382	400.007	0.007	2080000	30.358	558.381
	10800	248	2.480	6.150	400.008	0.008	2160000	31.526	579.857
	11200	264	2.640	6.970	400.009	0.009	2240000	32.693	601.333
ULTIMIT	11600	280	2.800	7.840	400.010	0.010	2320000	33.861	622.810
	10600	296	2.960	8.762	400.011	0.011	2120000	30.942	569.119
	9600	312	3.120	9.734	400.012	0.012	1920000	28.023	515.429
	8600	328	3.280	10.758	400.013	0.013	1720000	25.104	461.738
	7600	344	3.440	11.834	400.015	0.015	1520000	22.185	408.048
	6600	360	3.600	12.960	400.016	0.016	1320000	19.266	354.357
	5600	376	3.760	14.138	400.018	0.018	1120000	16.347	300.667
RUNTUH	4600	392	3.920	15.366	400.019	0.019	920000	13.428	246.976

Lampiran I : Tabel 1.2E

Benda Uji BB-04D (BJTD tanpa Penyaluran) rata-rata

P rata-rata	Lendutan	erata-rata	Mrata-rata	f'c rata-rata	fs rata-rata
Kgmm	mm	Kgmm	Kgmm	MPa	MPa
0	0.000	0.0000000	0	0.000	0.000
400	0.033	0.0000034	80000	1.092	20.094
800	0.093	0.0000185	160000	2.185	40.188
1200	0.143	0.0000378	240000	3.277	60.282
1600	0.193	0.0000678	320000	4.370	80.377
2000	0.243	0.0001065	400000	5.462	100.471
2400	0.299	0.0001552	480000	6.555	120.565
2800	0.357	0.0002142	560000	7.647	140.659
3200	0.408	0.0002764	640000	8.740	160.753
3600	0.453	0.0003351	720000	9.832	180.847
4000	0.523	0.0004390	800000	10.925	200.941
4400	0.593	0.0005581	880000	12.017	221.036
4800	0.671	0.0006993	960000	13.110	241.130
5200	0.751	0.0008570	1040000	14.202	261.224
5600	0.845	0.0010546	1120000	15.295	281.318
6000	0.974	0.0013231	1200000	16.387	301.412
6400	1.103	0.0016354	1280000	17.480	321.506
6800	1.232	0.0019915	1360000	18.572	341.600
7200	1.361	0.0023914	1440000	19.665	361.694
7600	1.489	0.0028351	1520000	20.757	381.789
8000	1.618	0.0033225	1600000	21.850	401.883
8400	1.780	0.0040199	1680000	22.942	421.977
8800	1.920	0.0046651	1760000	24.035	442.071
9200	2.065	0.0053945	1840000	25.127	462.165
9600	2.220	0.0062323	1920000	26.220	482.259
10000	2.398	0.0072657	2000000	27.312	502.353
10400	2.549	0.0082075	2080000	28.404	522.448
10800	2.725	0.0093716	2160000	29.497	542.542
11200	2.899	0.0105964	2240000	30.589	562.636
11600	3.085	0.0119940	2320000	31.682	582.730
11650	3.266	0.0134397	2330000	31.753	584.032
11625	3.432	0.0148364	2325000	31.615	581.491
10975	3.615	0.0164653	2195000	29.777	547.699
9975	3.779	0.0179831	1995000	27.046	497.463
8975	3.942	0.0195681	1795000	24.315	447.228
7975	4.106	0.0212201	1595000	21.584	396.993
6975	4.269	0.0229392	1395000	18.853	346.757

LAMPIRAN III
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	Bagian Cacat 10% 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)	$f_{cr} = f_c + 1,34 \times s$ $f_{cr} = 22,5 + 1,34 \times 4 = 27,86 \text{ N/mm}^2$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$ $f_{cr} = 22,5 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 23,665 \text{ N/mm}^2$
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	1600 kg/m ³
19	Jumlah presantasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.8	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 x 1600 = 1008 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 kg
Volume padat mutlak 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

LAMPIRAN III : HASIL PENGUJIAN TEKAN 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		\bar{f}_c (Mpa)	$(f_c - \bar{f}_c)^2$ (Mpa)	sd (Mpa)	f'c (Mpa)
									(kg/cm ²)	(Mpa)				
1	B1	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	12,82	15	176,71459	60600	342,92585	34,29259	27,718896	43,213382	2,388	24,519
2	B2	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	13,00	15	176,71459	54800	310,10456	31,01046		10,8343673		
3	B3	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	12,92	15	176,71459	54000	305,57749	30,55775		8,05908417		
4	B4	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	13,10	15	176,71459	45400	256,91145	25,69114		4,11177764		
5	B5	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	13,12	15	176,71459	45800	259,17498	25,9175		3,24503537		
6	B6	25-Okt-10	24-Nop-10	30 Hari	13,04	15	176,71459	46400	262,57029	26,25703		2,13705695		
7	B7	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	13,12	15	176,71459	44800	253,51614	25,35161		5,60402602		
8	B8	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	12,90	15	176,71459	52800	298,78688	29,87869		4,66469943		
9	B9	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	12,94	15	176,71459	52400	296,52334	29,65233		3,73818183		
10	B10	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	12,92	15	176,71459	45800	259,17498	25,9175		3,24503537		
11	B11	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	13,07	15	176,71459	47400	268,22913	26,82291		0,80278622		
12	B12	27-Okt-10	24-Nop-10	28 Hari	13,17	15	176,71459	37600	212,77248	21,27725		41,4948413		
											131,150274			

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

2011

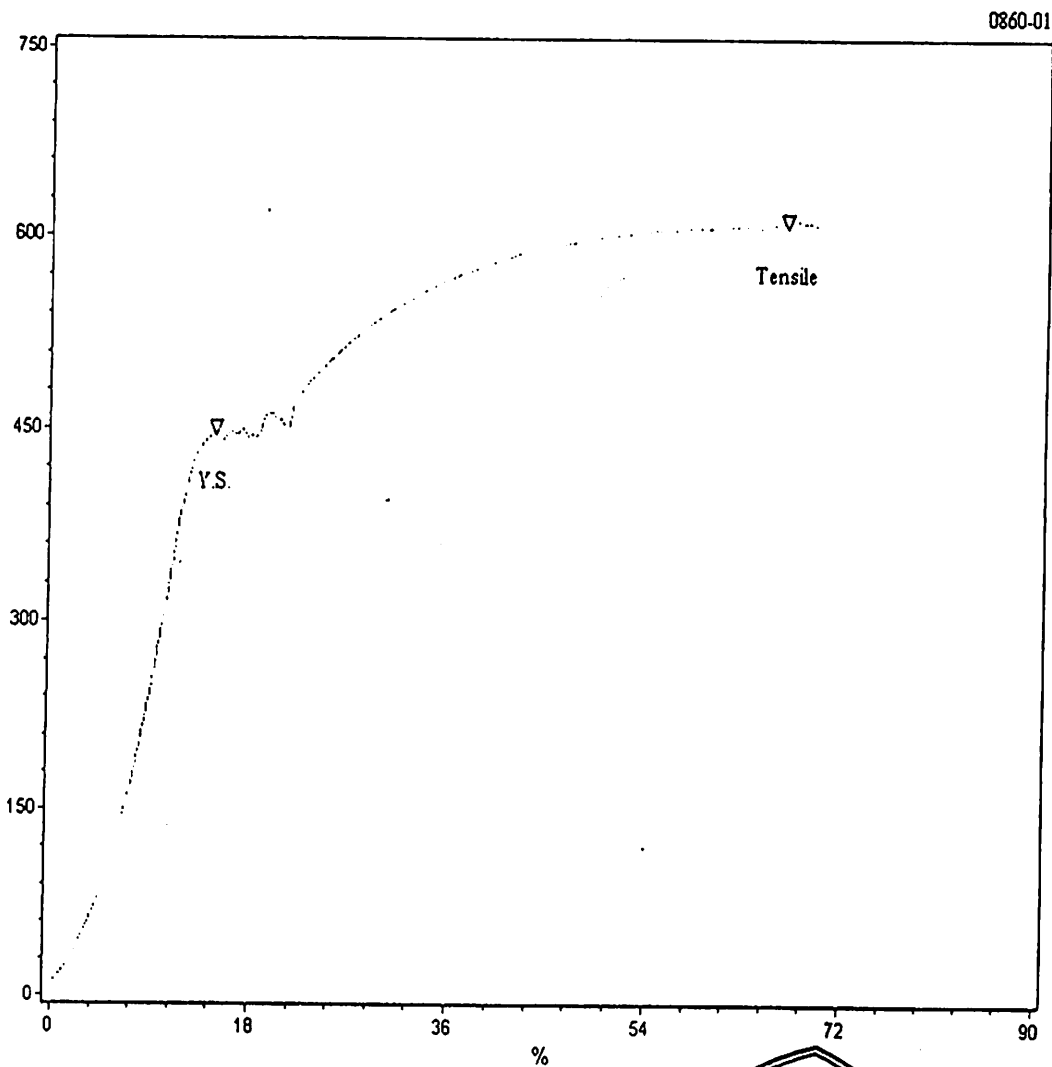
TEST REPORT

0860

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	1 (MPa)	Elongation (%)
BJTD 10 mm A	47.17	28856.10	449.25	611.71	74.93



Kepala Laboratorium :

[Signature]
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 KARANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

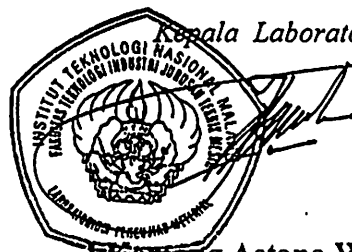
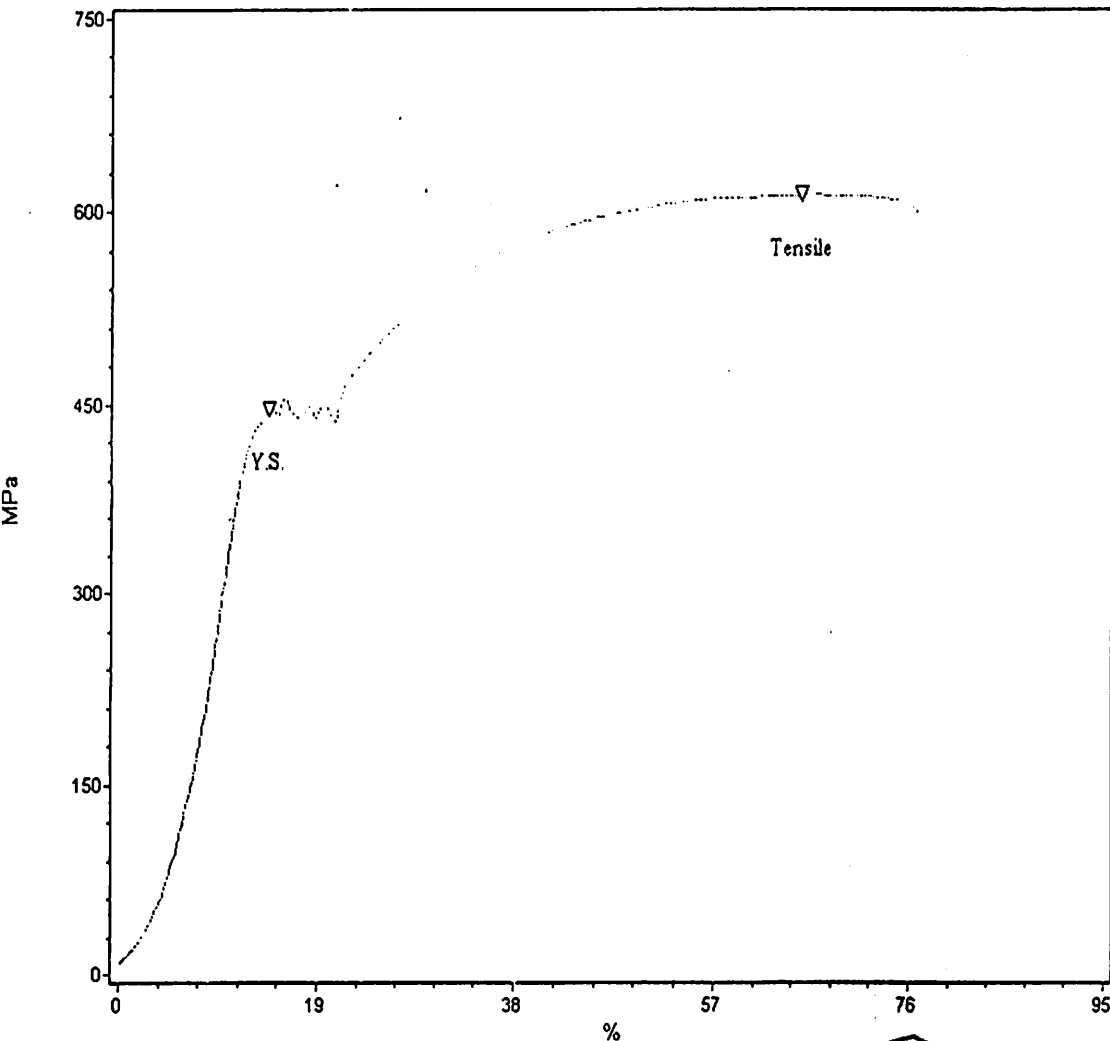
0861

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BJTD 10 mm B	47.17	28919.80	446.55	613.06	80.80

0861-01



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT.

NIP Y. 1030400405

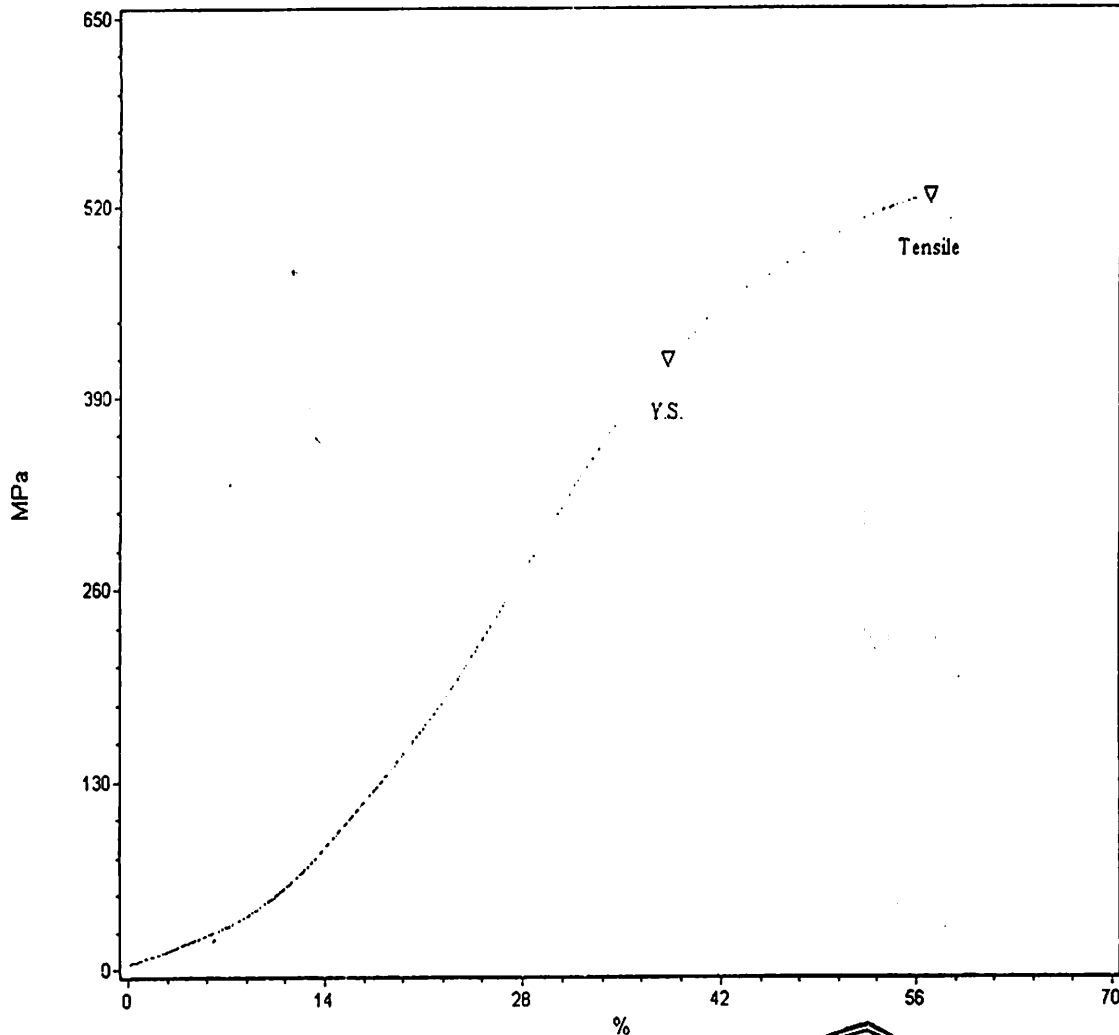
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 KAMPUS II JL. RAYA KARANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

0859 Test Description : tensile Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
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 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

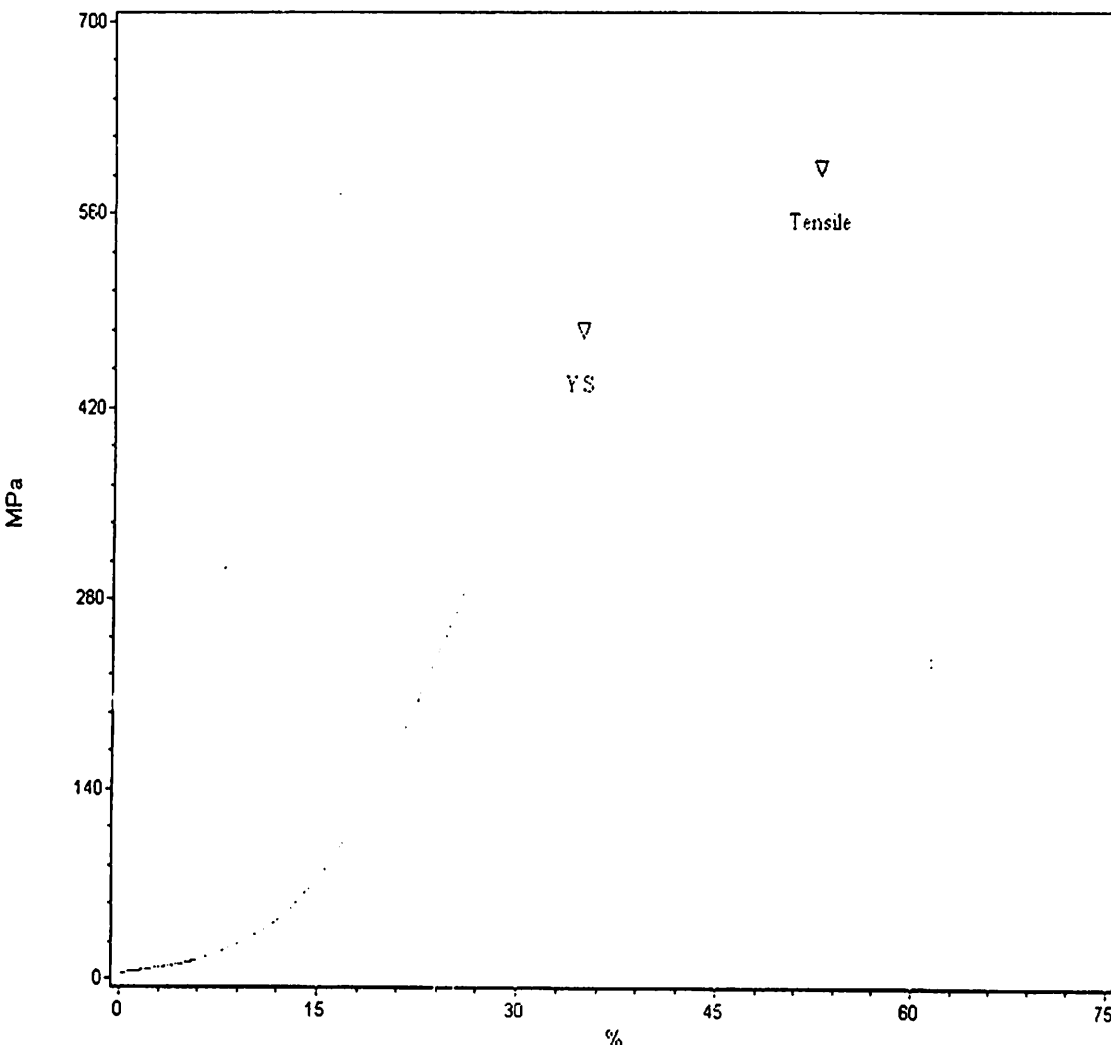
0858

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
CRT 10 mm B	114.3	67771.90	475.54	592.87	63.11

0858-01



Kepala Laboratorium :



Kotnang 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 IASIK MALU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

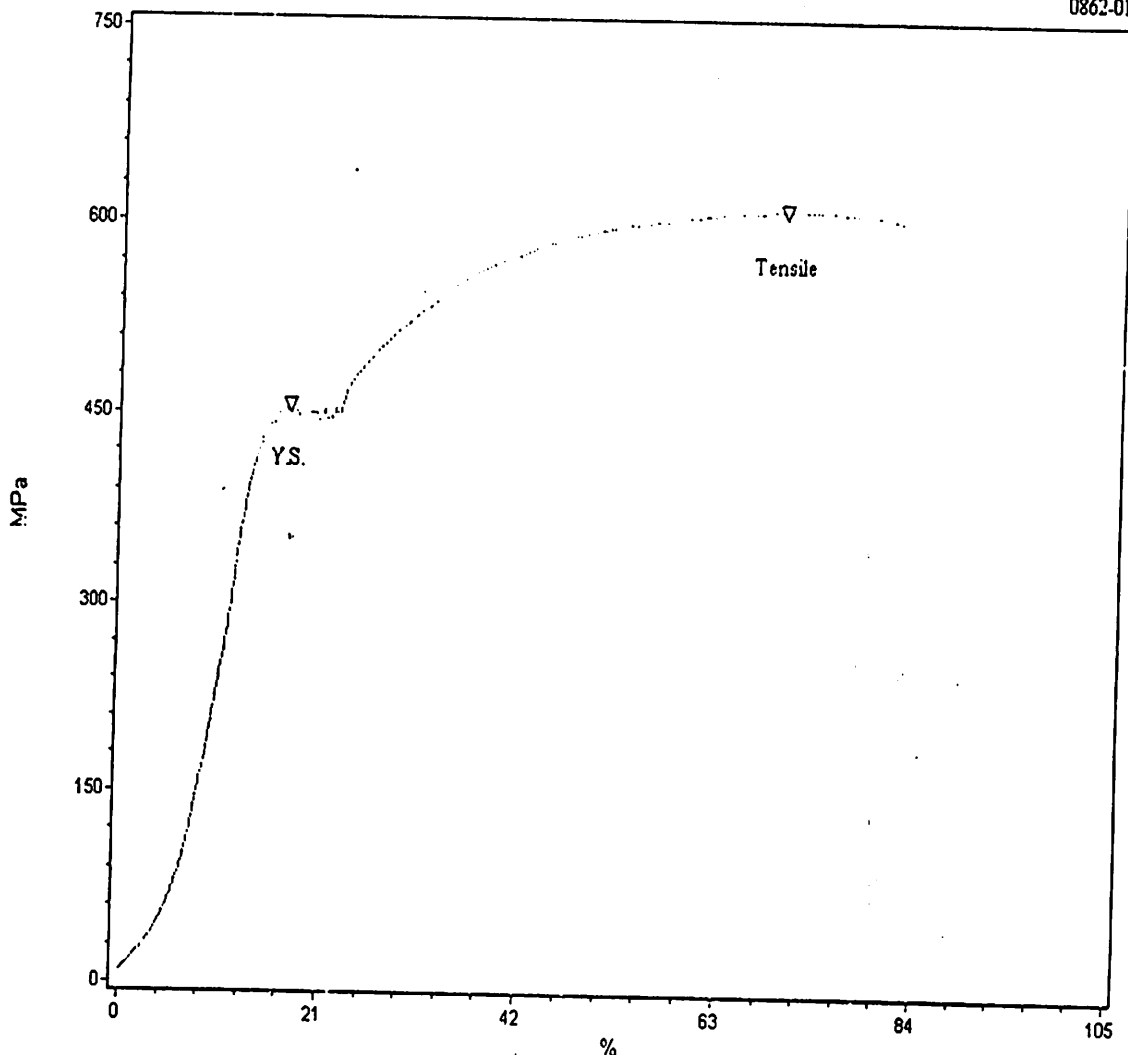
No.: 1862

Test Description : Tensile

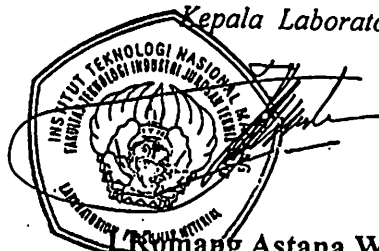
Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BJTD 10 mm C	47.17	28812.00	456.21	610.77	87.29

0862-01



Kepala Laboratorium :



Romang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

LAMPIRAN IV

DOKUMENTASI PEMBUATAN DAN PENGUJIAN SILINDER



Foto1.1 :Pengadukan Beton Dengan Molen



Foto1.4 : Benda Uji Silinder



Foto1.2 :Pengukuran nilai slump = 86 mm



Foto1.5 : Perawatan Silinder Beton



Foto1.3 : Pemasakan Benda Uji Silinder



Foto 1.6 : Pengujian Silinder Beton

LAMPIRAN V

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA



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

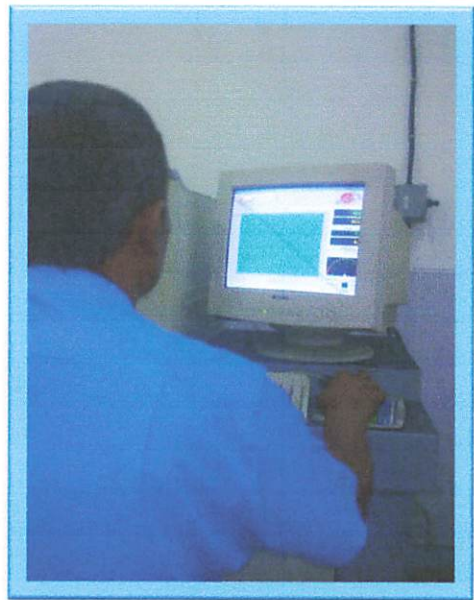
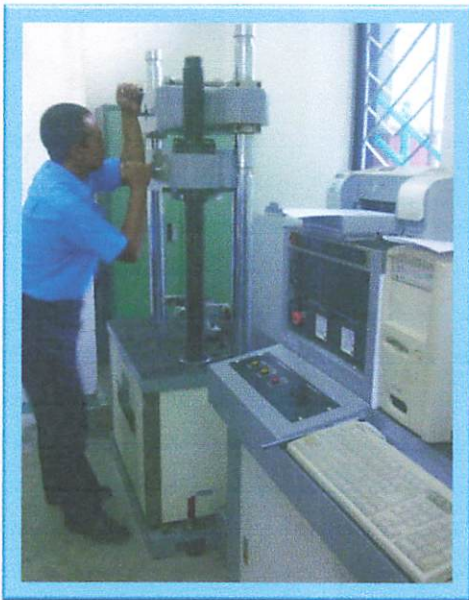


Foto Proses pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

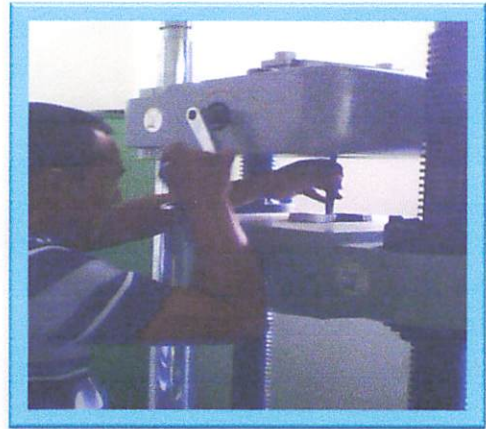


Foto Proses pemasangan benda uji pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

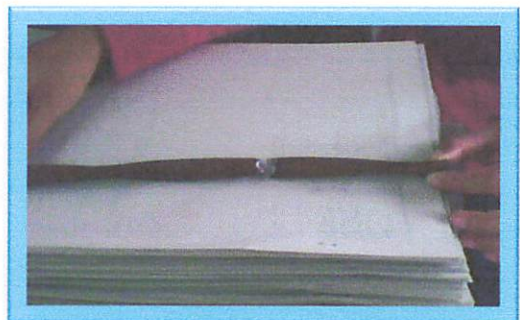
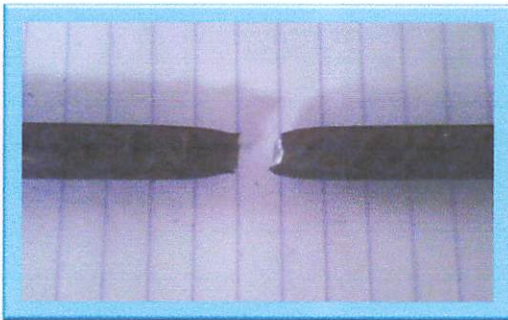


Foto Hasil pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

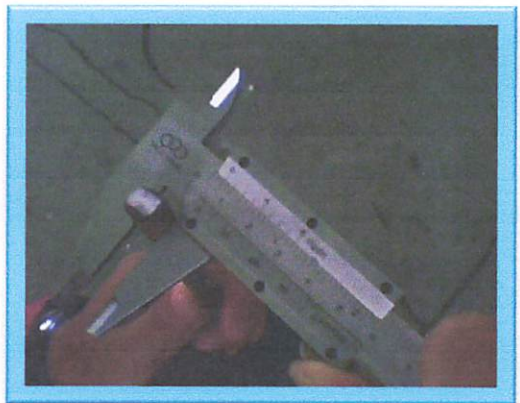
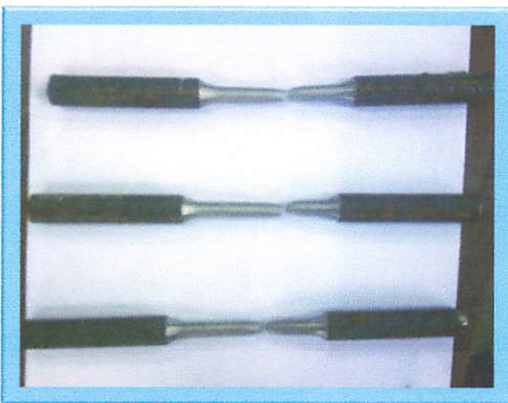


Foto Hasil pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

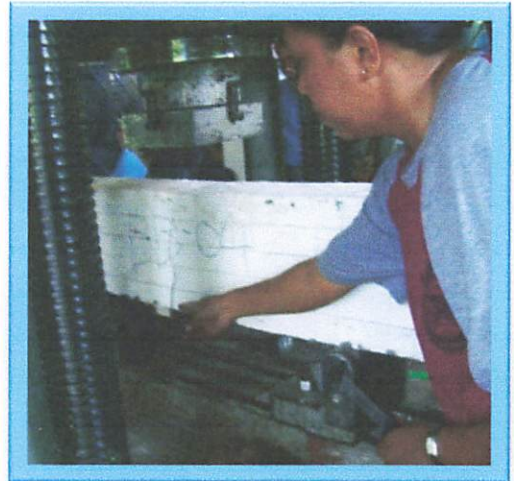


Foto Proses persiapan pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

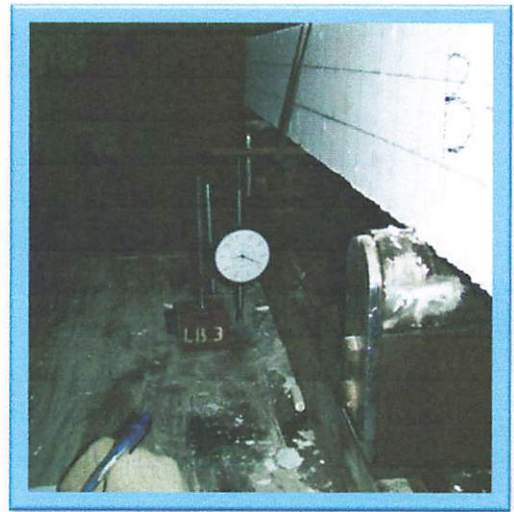
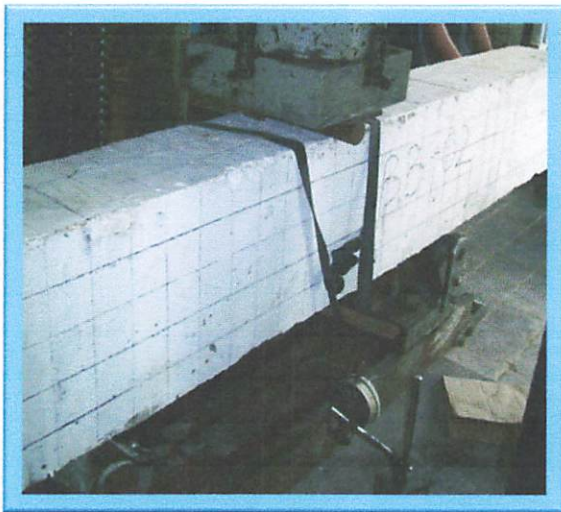


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

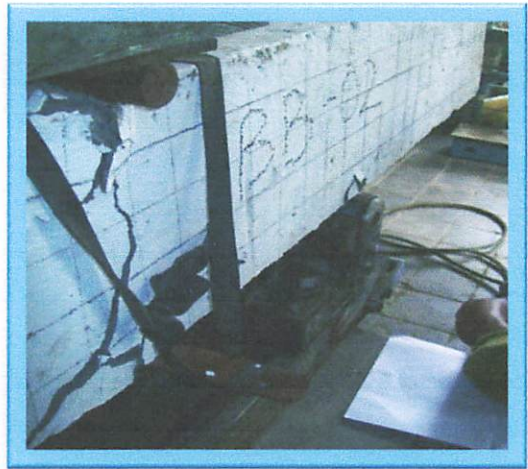
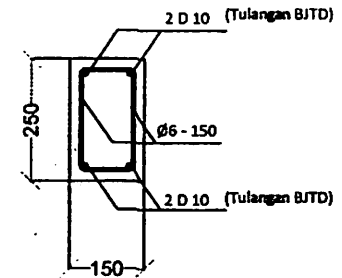
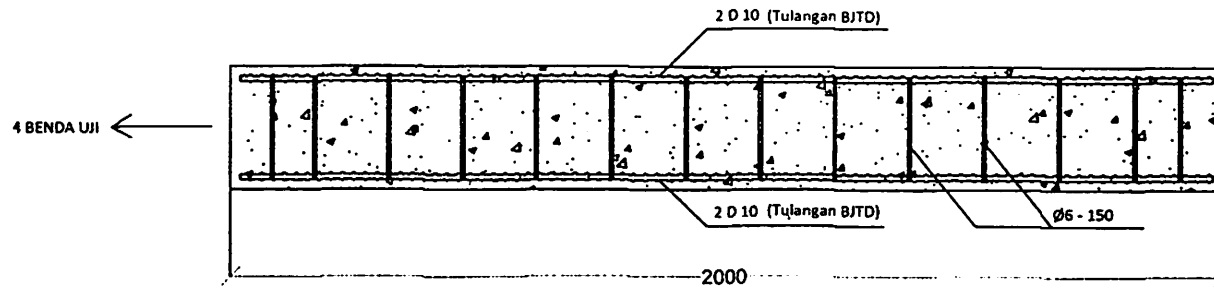
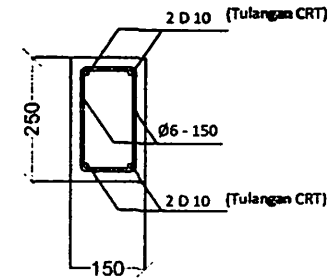
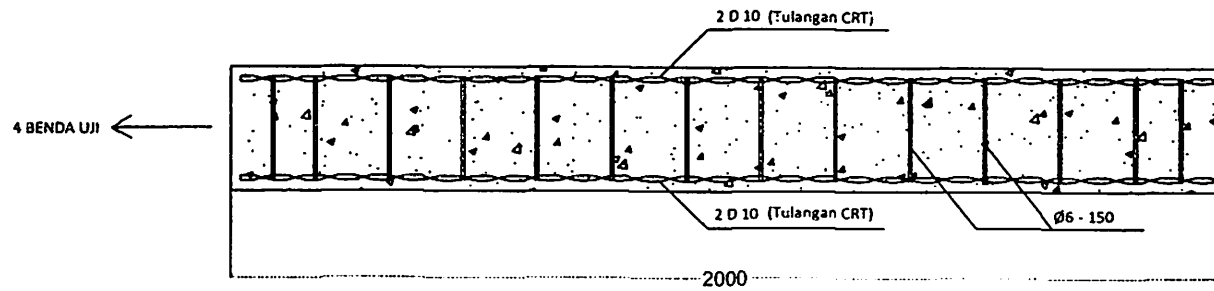


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya



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





MODEL BENDA UJI BALOK DENGAN TULANGAN CRT DAN BJTD



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-2010.02/21/B/TA/II/Gjl 2010
Lampiran : -
Perihal : **Bimbingan Skripsi**

20 Oktober 2010

Kepada Yth : **Bapak. Ir. Sudirman Indra, MSc.**

Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Di -

MALANG.

Dengan Hormat,

Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

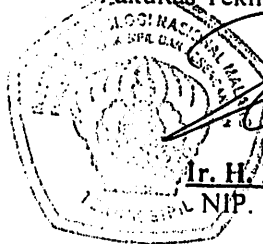
Nama : **Paulina Limba**
Nim : **09. 21.912**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT dan Tulangan BJTP pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton f'c 22.5 MPa Terhadap Lentur dan Geser".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi.
Waktu penyelesaian Skripsi tersebut selama 6 (enam) bulan terhitung mulai tanggal : **20 Oktober 2010** s/d **19 April 2011**. Apabila melebihi batas waktu yang telah di tentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)
Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan



Ir. H. Hirijanto, MT
NIP. 101 88 00182

Tembusan Kepada Yth :

1. Wakil Dekan I FTSP.
2. Arsip.



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-2010.02/21/B/TA/I/Gjl 2010
Lampiran : -
Perihal : **Bimbingan Skripsi**

20 Oktober 2010

Kepada Yth : **Bapak. Eri Andrian Yudianto, ST., MT.**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang
Di -

MALANG.

Dengan Hormat,

Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

Nama : **Paulina Limba**
Nim : **09. 21.912**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT dan Tulangan BJTP pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton f'c 22.5 MPa Terhadap Lentur dan Geser".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi.
Waktu penyelesaian Skripsi tersebut selama 6 (enam) bulan dihitung mulai tanggal : **20 Oktober 2010** s/d **19 April 2011**. Apabila melebihi batas waktu yang telah di tentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)
Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan



Ir. H. Hirijanto, MT
NIP. 101 88 00182

Tembusan Kepada Yth :
1. Wakil Dekan I FTSP.
2. Arsip.



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NEGERI MALANG

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : PAULINA LIMBA
NIM : 09.21.912
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa TERHADAP KUAT
LENTUR

PEMBIMBING I : Ir. H. SUDIRMAN INDRA, MS

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
	18/07/11	Coba lentur pengujian beton (peng. lentur)	A
		Uji $f_y = 451 \text{ MPa}$ 2 $\phi 10$ Balok $f_y = 451 \text{ MPa}$	

18/07/11



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NEGERI MALANG

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : PAULINA LIMBA
NIM : 09.21.912
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN
MUTU BETON f_c 22,5 Mpa TERHADAP KUAT LENTUR

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
	11 11 0116	table 1.1 → Diagram Momen Lentur 11/11/16 Dep. Teknik Sipil A. P. S. S. P.	A

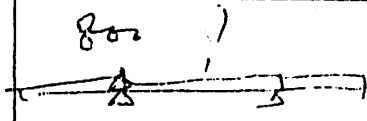
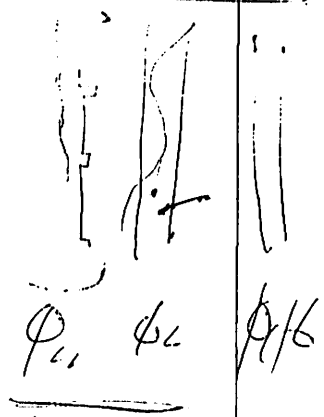


JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NEGERI MALANG

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : PAULINA LIMBA
 NIM : 09.21.912
 JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa TERHADAP KUAT LENTUR

PEMBIMBING I : Ir. H. SUDIRMAN INDRA, MS

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
	28 01	 <p> Ccbs Cc. Utk lebar 45 cm → ϕ 6. Polos 45 cm → Cc pini garis normal </p> <hr/> <p> CRT celur # # # 10 crt. ϕ 10 Polos 16 </p> 	

$y = 45 \text{ cm} \rightarrow$ grafik CRT # 10 → 65, 84
 1 = 45 cm
 = 432
 28
01 011
 Rebar. kawat +
 kerind. H. ...

UX



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NEGERI MALANG

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : PAULINA LIMBA
NIM : 09.21.912
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN
MUTU BETON f_c 22,5 Mpa TERHADAP KUAT LENTUR

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
1	28/11/2010	Secara umum, komentar bawahi sana Epa milih Amelica. Belgia manulis yang baik.	
2	08/12/10	Nomer halaman? Apa LUDI yg dimaksud? Lanjut!	
3	22/12/10	Memang... polor ϕ 10 fy sama fy 432, dibandingkan antara $\frac{CRT\ 10}{Polor\ 10}$ fy sama! = ?	



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NEGERI MALANG

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : PAULINA LIMBA
NIM : 09.21.912
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa TERHADAP KUAT LENTUR

PEMBIMBING II : ERI ANDRIAN YUDIANTO, ST, MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
4	29/11	Revisi tampilan tabel. • --- kesimpulan BTV • --- tambahkan gambar. → Maja asistensi by ⊕ persipon untuk presenter	
5	5/2/11	- Daftar Gambar - --- Tabel. - Daftar pustaka - Lampiran - Diteliti bahan (bgr. bkr.) - Mix Design - Dokumentasi. - Pustaka ditambch. - Ace seminar lentur	



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

SEMINAR HASIL SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG penelitian.

Nama : Paulina Limba
 NIM : 09.21.912
 Hari / tanggal : Rabu , 16 - 02 - 2011.

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi

- Parib. IV Cetak Satuan 2
dan simbol 2
- power point di lengkapi w/
perhitungan kompres.

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

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

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 21 - 02 - 2011

Dosen Pembahas

[Signature]

Malang, 16 - 02 - 2011

Dosen Pembahas

[Signature]
 (Yes masor [unclear])



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

SEMINAR HASIL SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG Penelitian

Nama : Paulina Limba
NIM : 0921912
Hari / tanggal : Rabu, 16 - 2 - 2011

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir mengenai

- Perbaiki mutu beton yg ada $f_c' = 24.5 \text{ Mpa}$.

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari tertung 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, 22 - 2 - 2011
Dosen Pembahas

Malang, 16 - 2 - 2011
Dosen Pembahas

(A. Agus Santosa)



FORM REVISI / PERBAIKAN
 BIDANG penelitian

Nama : Paulina Limba
 NIM : 09.21.912
 Hari / tanggal : Senin / 24-02-2011

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

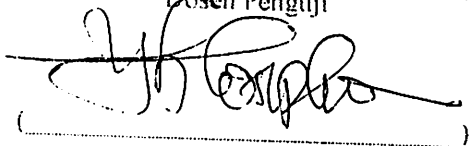
- cek lagi kurva?
- revisi Rumus E, f²
- perbaiki Abstrak

Acc. 03/03-11.

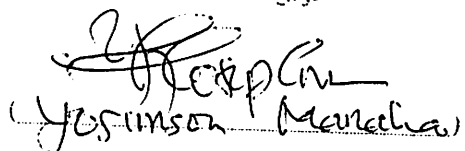
Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 03-03-2011
 Dosen Penguji



Malang, 24-02-2011
 Dosen Penguji


 (Yosinson Manalia)



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

UJIAN SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG PENELITIAN

Nama : PAULINA LIMBA
NIM : 0921912
Hari / tanggal : Kamis, 24 - 2 - 2011

Perbaiki materi Skripsi meliputi :

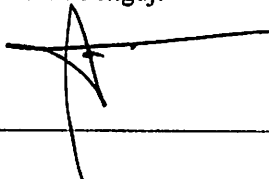
- Tabel 3.3. → satuan P → betulkan.
Gaji

- judul revisi. $f_c' = 24.52 \text{ Mpa}$.

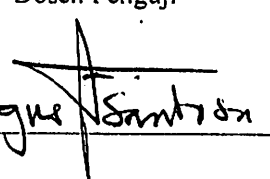
Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 4 - 3 - 2011
Dosen Penguji



Malang, 24 - 2 - 2011
Dosen Penguji


(A. Agus Santosa)