

SKRIPSI

**PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN
KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 24,5 Mpa**



**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

**Disusun Oleh :
FANDI SAM AKBAR
(09.21.908)**

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

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

2011

SKRIPSI
PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN
KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 24,5 Mpa

Untuk Memenuhi sebagai Persyaratan Mencapai Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang



Disusun Oleh :
FANDI SAM AKBAR
(09.21.908)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2010

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR
PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,5 Mpa"**

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

Disusun Oleh :

FANDI SAM AKBAR

09 21 908

Menyetujui

Pembimbing I



(Ir.Ester Priskasari, MT)

Pembimbing II



(Yosimson P. Manaha, ST. MT)

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. H. Hirijanto, MT)

LEMBAR PENGESAHAN

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN
BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR
PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,5 Mpa"**

SKRIPSI

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi

Jenjang Strata (S-1)

Pada Hari : Kamis

Tanggal : 24 Februari 2011

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

Disusun Oleh :

FANDI SAM AKBAR

09 21 908

Disahkan Oleh :

Ketua



(Ir. H. Hirijanto, MT)

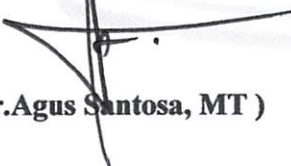
Sekretaris



(Lila Ayu Ratna Wipanda, ST. MT)

Anggota Penguji :

Penguji I



(Ir. Agus Santosa, MT)

Penguji II



(Ir. H. Sudirman Indra, MSc)

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **FANDI SAM AKBAR**

NIM : **09 21 908**

Jurusan : **Teknik Sipil S-1**

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan bahwa dengan sesungguhnya Tugas Akhir yang berjudul :

**“PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24,5 Mpa”**

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

Malang, Februari 2011

Yang Membuat Pernyataan

FANDI SAM AKBAR

ABSTRAK

“Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTP Terhadap Panjang Penyaluran Dan Kuat Lentur Pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton f_c 24.5 Mpa”. FANDI SAM AKBAR (09.21.908); Dosen Pembimbing: Ir. Ester Priskasari, MT dan Yosimson P. Manaha, ST. MT.

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. Beton bertulang merupakan gabungan antara material beton dan material baja tulangan yang mana 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. 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 kekuatannya.

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 yang diberi panjang penyaluran (BB – 07) dan balok dengan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran (BB – 08).

Berdasarkan parameter tegangan-regangan beton dan kuat lentur hasil analisa eksperimen balok dengan tulangan CRT dan BJTP, dapat disimpulkan bahwa tulangan Cold Rolled and Twisted Bar (CRT) yang diberi panjang penyaluran tidak dapat digunakan sebagai tulangan alternatif pengganti tulangan BJTP. Hal ini dibuktikan hasil pengujian eksperimental BB - 07 yang dibandingkan dengan hasil eksperimental BB - 08, dimana dengan perbedaan rasio tulangan (A_{st}) sebesar 0,79 terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -42,9%, tegangan beton puncak sebesar -9,38%, regangan beton ultimit sebesar -27,04% dan lendutan sebesar 14,18%.

Kata Kunci : *Tegangan-regangan beton, Kuat Lentur Balok, Panjang Penyaluran.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkah dan Rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul : *"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24.5 Mpa"* yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di program Studi Teknik Sipil-S1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

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

1. 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. Ir.Ester Priskasari, MT dan Yosimson P. Manaha, ST. MT selaku dosen Pembimbing I dan dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Muh. Mahfud, selaku Asisten Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi ITN Malang, Pak Sumardji, Pak Hendra dan semua Staf Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi ITS Surabaya yang telah banyak membantu pelaksanaan pengujian sample.

5. Bapak, Mama, Kakak, dan Pacar tercinta Nancy, yang selalu mendukung studi penulis hingga selesai.
6. Teman-teman terbaik, Benyamin, Nona Limba, Okin, Amel, Oliv, Dede, Yoan, Thela, Ronald, dan Aroth, yang selalu mendukung dan kompak dalam setiap langkah.

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

Malang, Januari 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan	iii
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	iv
Persembahan	v
Abstrak.....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Grafik.....	xiv
Daftar Gambar	xv

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 Cold Rolled & Twisted Bar (Tulangan Spiral)	5
2.2. Mutu Beton	6
2.2.1. Modulus Elastisitas	8
2.3. Kuat Lentur.....	9
2.4. Perilaku Keruntuhan Pada Balok	10
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. Panjang Penyaluran	36
2.12. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan	39

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	43
3.2. Metode Penelitian	43
3.3. Peralatan dan Bahan	43
3.3.1. Peralatan	43
3.3.2. Bahan.....	45
3.4. Populasi dan Sampel	46
3.5. Rancangan Penelitian	48
3.6. Prosedddur Penelitian	48
3.6.1. Pemeriksaan Material Beton.....	48
3.6.2. Perencanaan Campuran Beton.....	48
3.7. Pelaksanaan Penelitian	48
3.7.1. Persiapan Bahan.....	48
3.7.2. Perhitungan Rencana Campuran Beton.....	49
3.7.3. Proses Pembuatan Benda Uji.....	49
3.7.4. Pengujian Mutu Beton Beton f'_c	51
3.7.5. Pengujian Tarik Baja.....	52
3.8. Metode Pengumpulan Data	52
3.9. Teknik Analisa Data.....	53
3.9.1. Analisa Pada Penelitian	53
3.9.2. Analisa Eksperimental.....	53
3.10. Prediksi Analitis.....	54
3.10.1. Balok Dengan Tulangan CRT #10 (BB – 07).....	54
3.10.2. Balok Dengan Tulangan BJTP (Balok BB = 08).....	76

3.11. Bagan Alir Proses Penelitian	100
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Pengujian.....	101
4.1.1. Perancangan Campuran Beton	101
4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	102
4.1.3. Pengujian Kuat Tarik Baja.....	103
4.2. Pengujian Balok Beton Tulangan CRT Dengan Panjang Penyaluran (BB-07)	106
1. Mekanisme Keruntuhan	106
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton	108
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton	110
4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTD Dengan Panjang Penyaluran (BB-08)	112
1. Mekanisme Keruntuhan	112
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton	114
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton	116
4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 07 Terhadap Balok BB – 08	118
4.5. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 07 Terhadap Balok BB – 08	119
4.6. Efektifitas Balok BB – 07 Terhadap Balok BB – 08	120
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	122
5.2. Saran.....	123
DAFTAR PUSTAKA.....	124
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
LAMPIRAN I : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen	
Tabel L.1.1 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB - 07	
Tabel L.1.1-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 07 A	

Tabel L.1.1-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 07 B

Tabel L.1.1-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 07 C

Tabel L.1.1 – D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 07 D

Tabel L.1.1-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok BB–07

Tabel L.1.2 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 08

Tabel L.1.1-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 08 A

Tabel L.1.1-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 08 B

Tabel L.1.1-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 08 C

Tabel L.1.1 – D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 08 D

Tabel L.1.1-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok BB–08

LAMPIRAN II

Tabel L.2.1 : Tabel Hasil Perancangan Campuran Beton 22,5 MPa

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

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

Laporan Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan BJTP

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 Idlb Batang Ulir atau kawat	38
Tabel 3.1	. Variasi benda Uji	46
Tabel 3.2	Data Analisis	52
Tabel 3.3	Interpolasi Nilai – Nilai Parameter.....	67
Tabel 3.4	Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB – 07	73
Tabel 3.5	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 07	74
Tabel 3.6	Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 08	96
Tabel 3.7	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 08	97
Tabel 4.1.	Proporsi Campuran Beton Mutu 22,5 Mpa.....	101
Tabel 4.2	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16	103
Tabel 4.3	Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10	104
Tabel 4.4	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTD D 10.....	105
Tabel 4.5	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 08.....	110
Tabel 4.6	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 08	112
Tabel 4.7	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 07.....	116
Tabel 4.8	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 08	118
Tabel 4.9	Perbandingan efektifitas balok BB - 07 dengan balok BB - 08.....	121

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Hubungan Tegangan Tulangan Dengan Mutu Beton.....	7
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	20
Grafik 2.6 Regangan Beton pada Serat Tekan Ekstrim pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi, berdasarkan Nilai ACI dan Hasil Pengujian	22
Grafik 2.7 Kurva Momen Regangan untuk Balok Beton Bertulangan Tunggal berdasarkan Pengujian Silinder.....	23
Grafik 3.1 Kurva Beban <i>P</i> dan Lendutan Teoritis Balok BB – 07.....	74
Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 07	75
Grafik 3.3 Kurva Hubungan Beban <i>P</i> dan Lendutan Teoritis Balok BB – 08	97
Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 08	98
Grafik 3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 07 dan balok BB – 08	99
Grafik 4.1 Kurva Tegangan-Regangan Balok dengan Panjang Penyaluran BB - 08	109
Grafik 4.2 Kurva beban dan lendutan Balok dengan Panjang Penyaluran BB-07.....	111
Grafik 4.3 Kurva Tegangan-Regangan Balok dengan Panjang Penyaluran BB- 08	115
Grafik 4.4 Kurva beban dan lendutan Balok dengan Panjang Penyaluran BB - 08.....	117
Grafik 4.5 Kurva Tegangan - Regangan Balok BB–07 dan Balok BB-08.....	119
Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB–07 dan Balok BB-08.....	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar`2.1	Macam-macam bentuk tulangan	6
Gambar`2.2	Distribusi Tegangan Dan Regangan pada Penampang Beton yang Tertekan Dimana Momen Tekuk Meningkat hingga Kekuatan Lentur.....	17
Gambar`2.3	Distribusi Tegangan Tekan Pada Zona Tekan Suatu Penampang Persegi Beton.....	18
Gambar`2.4	Penampang Beton Bertulangan Ganda pada Kondisi Tercapainya Kekuatan Lentur	28
Gambar`3.1	Peralatan Slump Test	44
Gambar 3.2	Model Benda Uji	47
Gambar`3.3	Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan CRT.....	61
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. 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.

Sehubungan dengan adanya gaya lentur yang timbul akibat pembebanan pada komponen lentur, maka diperlukan tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tersebut, dalam hal ini adalah tulangan utama yang berperan untuk menahan gaya lentur.

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 dilakukan hanya menggunakan tulangan BJTP (tulangan polos) atau BJTD (tulangan ulir) dikarenakan tulangan tersebut umum digunakan pada konstruksi struktur. Sekarang ini beredar di pasaran tulangan jenis Cold Rolled & Twisted Bar (CRT) yang mana permukaan tulangan tidak seperti tulangan yang lain (polos dan ulir). Oleh karena itu timbul permasalahan mengenai pemakaian tulangan CRT yang sampai saat ini belum ditemukan hasil penelitian mengenai perilaku lekatan (bond) dan panjang penyaluran (l_d) khususnya pada beton mutu tinggi

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan tulangan CRT dan tulangan BJTP terhadap perilaku panjang penyaluran dan kuat lentur pada struktur balok.

Sehingga judul penelitian yang akan dilakukan adalah ***“PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24.5 Mpa*”**. 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 terhadap tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran pada komponen lentur dengan mutu beton f_c 24,5 Mpa ?
2. Bagaimana model kurva tegangan dan regangan balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton f_c 24,5 Mpa ?
3. Berapa besar kuat lentur balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton f_c 24,5 Mpa ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efektifitas penggunaan tulangan CRT terhadap tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran pada komponen lentur dengan mutu beton f_c 24,5 Mpa.
2. Mengetahui model kurva tegangan dan regangan balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton f_c 24,5 Mpa.

3. Mengetahui besar kuat lentur balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton $f'c$ 24,5 Mpa.

1.4. Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi :

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

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan, diperlukan pembatasan masalah agar maksud dan tujuan yang diinginkan tercapai.

Adapun batasan – batasan masalah tersebut adalah :

1. Mencari efektifitas penggunaan tulangan CRT terhadap tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran pada komponen lentur dengan mutu beton $f'c$ 24,5 Mpa.
2. Mencari model kurva tegangan dan regangan balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton $f'c$ 24,5 Mpa.
3. Mencari besar kuat lentur balok tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton $f'c$ 24,5 Mpa.

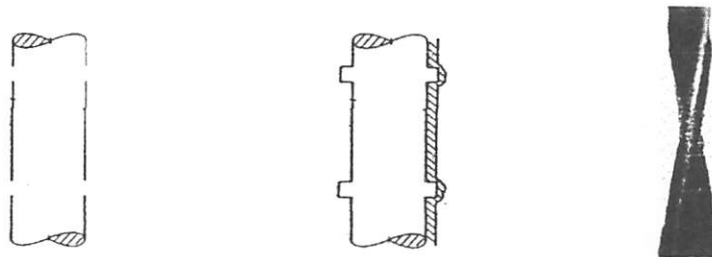
BAB II

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 (sekalipun masih ada) dan lebih mengandalkan tahanan dari gerigi terhadap beton, sehingga tulangan spiral ini diharapkan dapat memberikan kuat lekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulangan polos dan ulir.



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

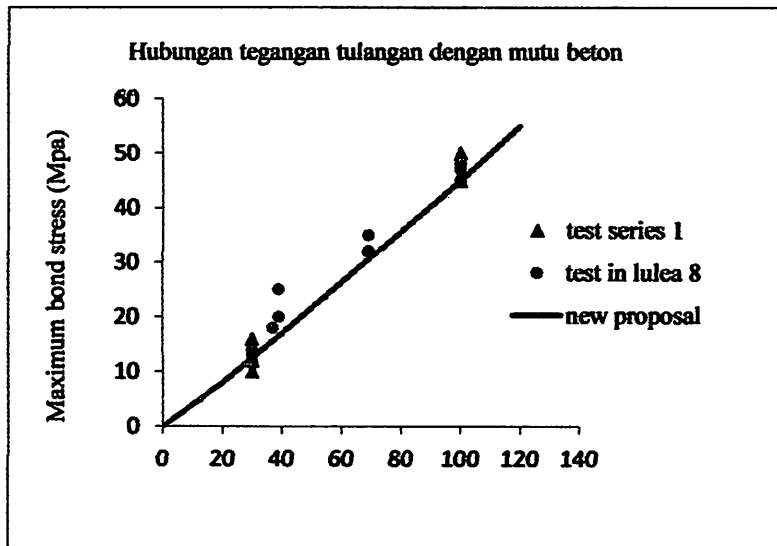
Gambar 2.1 Macam-Macam Bentuk Tulangan

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 455 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 grafik 2.1



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

Berdasarkan keterangan diatas yang menyebutkan bahwa kekuatan lekatan dipengaruhi oleh mutu beton dan selain itu hal juga ini ditunjukkan bahwa untuk menghitung tegangan lekat digunakan $\sqrt{f_c'}$, maka di dalam penelitian ini nantinya hanya menggunakan 1 macam mutu beton yaitu $f_c' = 30$ Mpa. Adapun agregat yang dipakai seperti semen, pasir, kerikil dan air sudah disesuaikan pada aturan ASTM dan analisa campuran menggunakan aturan (rumus) yang sudah ada (pedoman SNI 03-2847-

2002 dan Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Mutu Tinggi). Akan tetapi jika campuran yang ada diatas tidak mencapai mutu beton yang diinginkan, maka akan digunakan bahan tambahan seperti silika, fly ash ataupun copper slag.

Di dalam pengujian mutu beton dapat dilakukan dengan menggunakan benda uji bentuk silinder dengan dimensi 150 X 300 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.

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

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

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

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

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

2.4 Perilaku Keruntuhan Pada Balok

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

Perilaku keruntuhan dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu :

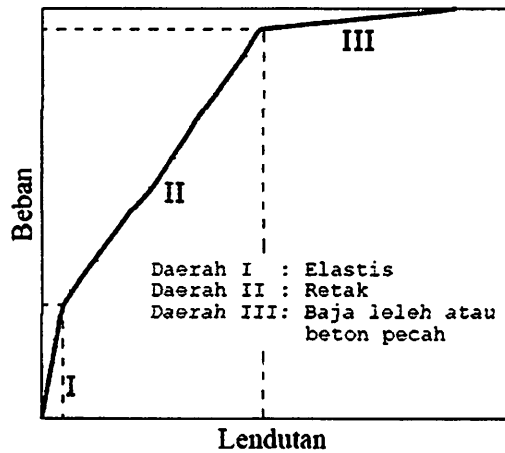
- a) elastis penuh (belum retak)
- b) tahapan mulai terjadi retak-retak
- c) tahapan plastis (leleh pada baja atau beton pecah)

Respons non-linier disebabkan dua hal utama yaitu :

- a) keretakan beton didaerah tarik dan tulangan mengalami leleh atau beton pecah (*crushing*) pada daerah desak.
- b) bond-slip antara tulangan baja dan beton disekitarnya, aksi penguncian agregat pada daerah retak aksi ankur (*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 :



Grafik 2.2. 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 didaerah tekan dekat dengan daerah pembebanan.
2. *Shear-compression* (V-C), keruntuhan geser–tekan didominasi oleh balok dengan bentang menengah dan mempunyai tulangan sengkang.
3. *Flexure-compression* (F-C), keruntuhan lentur dan terjadi pada balok dengan bentang yang panjang dan ada sengkangnya.

kondisi keruntuhan yang akan ditinjau sebagai berikut:

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 ($P_u = 4 \cdot M_u / \text{Span}$)

Model Keruntuhan pada Beton adalah :

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

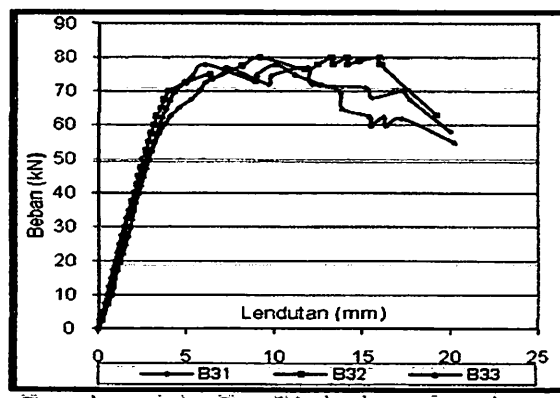
Model Keruntuhan pada baja adalah :

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

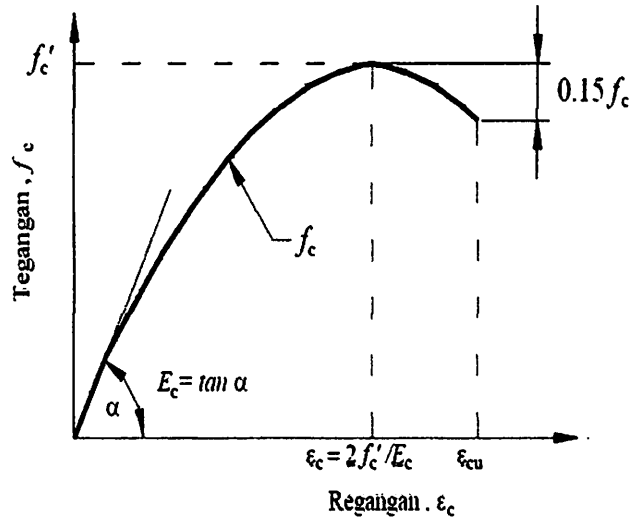
Kurva hubungan tegangan-regangan dari tulangan baja yang digunakan untuk konstruksi beton diperoleh dari uji tulangan yang dibebani secara monotonik tarik. Untuk semua kegunaan praktek, baja memperlihatkan kurva hubungan tegangan-regangan yang sama baik dalam tarik maupun tekan. Hubungan tegangan-regangan memperlihatkan

hubungan elastis linier, daerah leleh, daerah *strain hardening* dimana ada pertambahan tegangan bersamaan dengan adanya regangan dan akhirnya daerah yang mengalami penurunan tegangan dan akhirnya drop setelah mengalami fraktur. Pertambahan daerah leleh merupakan fungsi kekuatan tarik baja. Kuat tarik tinggi, atau baja dengan kadar karbon tinggi, umumnya mempunyai daerah leleh yang kecil dibanding baja kuat rendah sedang atau baja dengan kadar karbon rendah.

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



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



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

2.5 Dasar Teori Asumsi untuk Kuat Lentur

2.5.1 Asumsi Dasar Perilaku

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

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

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

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

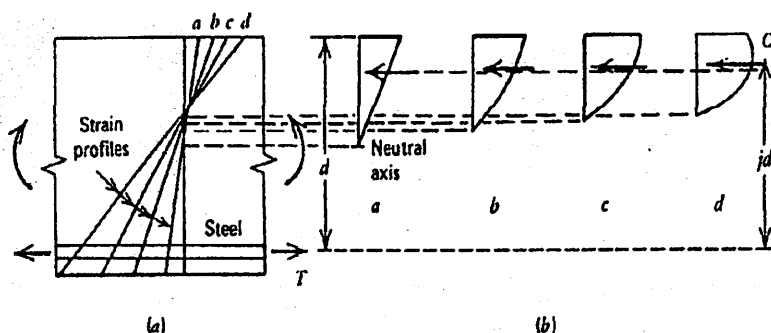
Banyaknya deviasi dari type linier harus dimaklumi karena keakuratan yang kurang pada pengukuran regangan oleh setiap peneliti dan beberapa kesalahan lokasi garis gauge. Dapat dipastikan bahwa pengukuran profil regangan adalah linear, dan asumsi kondisi potongan melintang tidak berubah sangat akurat 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.

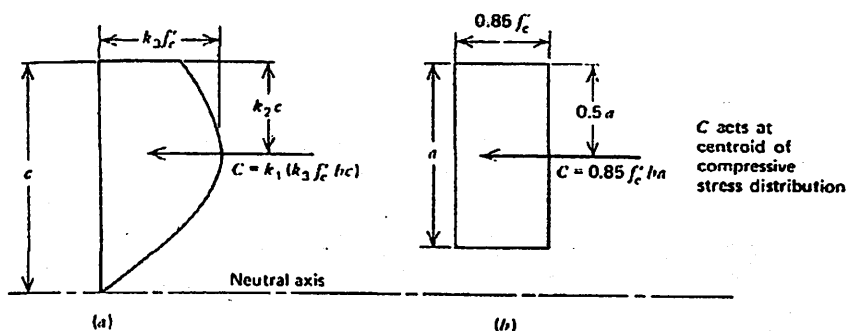
Asumsi ketiga sangat tepat, dimana banyak kekuatan tegangan yang ada pada beton dibawah sumbu netral sangat kecil.

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 2.2 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 ekivalen 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 2.3. Untuk penampang segiempat dengan lebar b dan tinggi efektif d , gaya tekan total pada beton menjadi $k_1(k_3 \cdot f'_c \cdot bc)$ dan *internal level arms* adalah $d - k_2c$, 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_1k_3 yang didapatkan dari setiap pengujian. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 50 – 52).

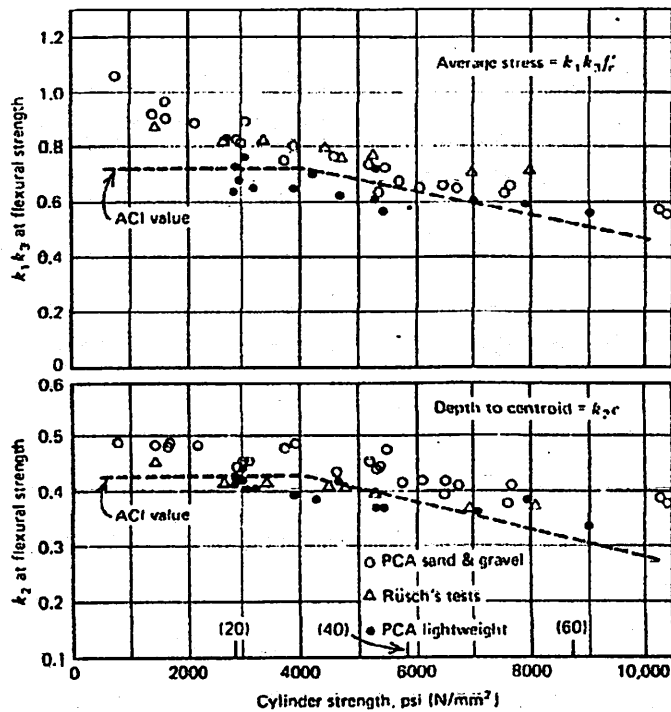
**Tabel 2.1 Parameter Blok Tegangan Pada Kekuatan Lentur
Penampang Persegi Berdasarkan *PCA Test On Unconfined Specimens***

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)

Penampang persegi 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 grafik 2.5 memiliki besar dan tipe garis yang sama dan nilai paramaeternya yaitu:

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

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

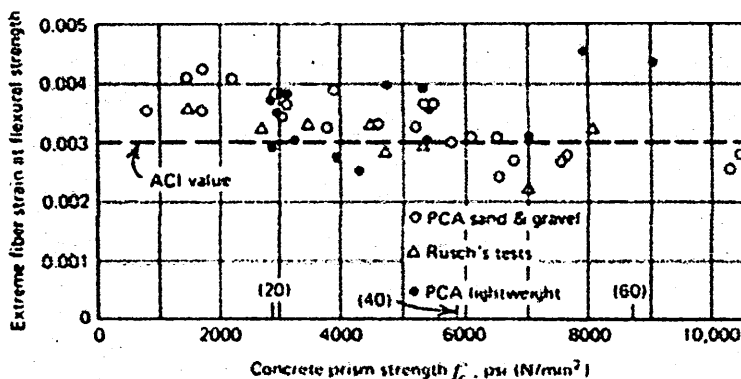
nilai (k_1k_3) dan (k_2) dari rumus 2.5 dan 2.6 , dengan nilai β_1 yang disarankan dari ACI dibandingkan dengan nilai aktual yang didapatkan dari pengujian benda uji oleh PCA dan Rüsç pada grafik 2.5. Perbandingan didasarkan penelitian oleh Mattock, Kriz, dan Hognestad. Hal tersebut menunjukkan nilai 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 grafik 2.7 untuk kekuatan silinder yang melebihi 8000 psi (55.2 N/mm^2). 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 Rüsç pada benda uji yang tidak dibatasi ditunjukkan pada grafik 2.6 dimana

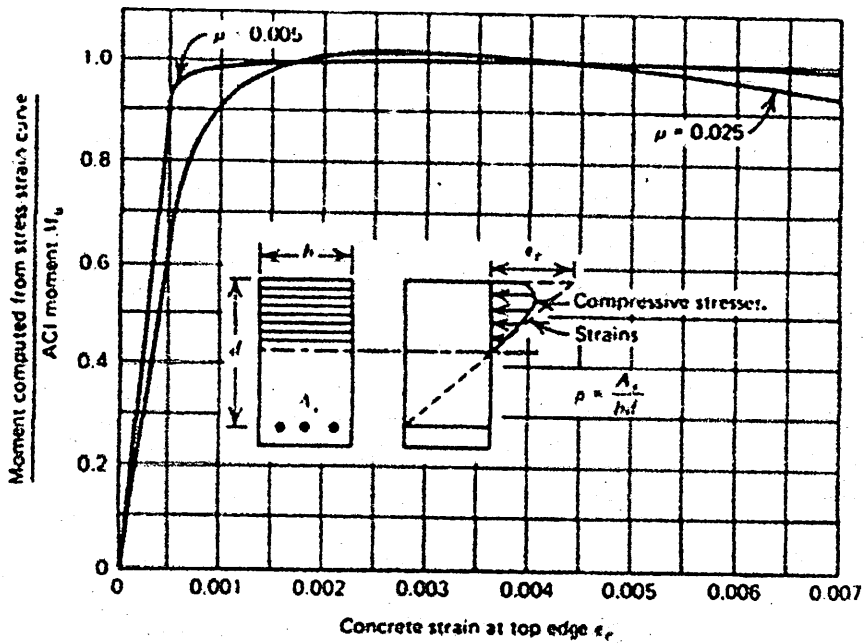
diambil dari referensi grafik 2.5. Grafik tersebut mengindikasikan jika 0.003 merupakan nilai yang cukup layak. Pada regangan ini, beton yang tertekan pada balok lentur tidak akan secara normal menunjukkan retakan-retakan yang dapat terlihat walaupun regangan tersebut lebih besar dari hubungan terhadap 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. Grafik 2.6 didapat berdasarkan Blame, Newmark, dan Corning membuat titik ini sangat jelas. Untuk penampang balok beton bertulangan tunggal dan tulangan ganda adalah berbeda untuk gaya tarik baja masing-masing kondisi. Rasio momen hambatan dihitung berdasarkan kurva regangan-

tegangan untuk beton dengan momen hambatan yang dihitung berdasarkan metode ACI telah diplot pada tegangan dengan serat tertekan ekstrim. Kurva regangan-tegangan digunakan pada analisa awal terhadap silinder dengan kekuatan kurang lebih 3600 psi (22.11 N/mm²). (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 55).



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

Area di bawah kurva tegangan regangan dan centroid telah ditentukan untuk variasi tegangan dan menetapkan nilai k_1 k_3 dan k_2 batasan untuk regangan serat ekstrim ϵ_c . Kemudian momen kapasitas pada penampang dengan tulangan ganda dihitung untuk variasi tegangan pada serat ekstrim dan dibandingkan dengan kekuatan lentur yang dihitung

berdasarkan kode ACI. Pada regangan tekan serat ekstrim 0.007 penurunan momen hambatan lebih kecil dari 1% untuk $\rho = 0.005$ dan kurang dari 6% untuk $\rho = 0.025$. Nilai yang ditentukan untuk regangan beton serat ekstrim tersebut memiliki pengaruh pada kekuatan lentur balok dengan batasan yang lebar. Bagaimanapun, untuk pembebanan eksentris pada kolom dengan kegagalan tekan, perubahan pada parameter blok tegangan yang terjadi seiring dengan peningkatan regangan serat ekstrim akan menyebabkan perubahan pada kekuatan lentur dengan regangan yang lebih besar.

Perbedaannya sangat jelas dimana kurva pada penampang tersebut sangat bergantung pada nilai yang diambil untuk serat ekstrim. Untuk perhitungan kurva ultimate akan terlihat lebih layak untuk mengambil nilai yang lebih tinggi dari 0.003. Blume, Newmark dan Corning merekomendasikan nilai 0.004 untuk perhitungan kurva ultimate menyangkut beton yang tidak dibatasi. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 56).

2.8 Pengaruh Pembebanan Secara Perlahan Dengan Pembebanan Terus Menerus

Parameter blok tegangan yang dibuat oleh PCA dan Rüsch 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 grafik 2.7. 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

Analisis penampang dengan tulangan ganda

Gambar 2.4 menunjukkan penampang dengan tulangan ganda ketika kekuatan lentur tercapai. Bergantung pada letak dan luas penampang tekan, kuat tarik dan tekan baja kemungkinan tidak pada f_y (*yield strength*) ketika momen maksimum tercapai. Bagaimanapun analisis pada penampang adalah paling tepat sebagai asumsi pertama bahwa semua tulangan baja mengalami *yield*, dan merubah perhitungan selanjutnya jika ditemukan bahwa hampir semua tulangan baja tidak pada kondisi *yield*.

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

Gaya tekan pada beton :

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

Gaya tekan pada baja :

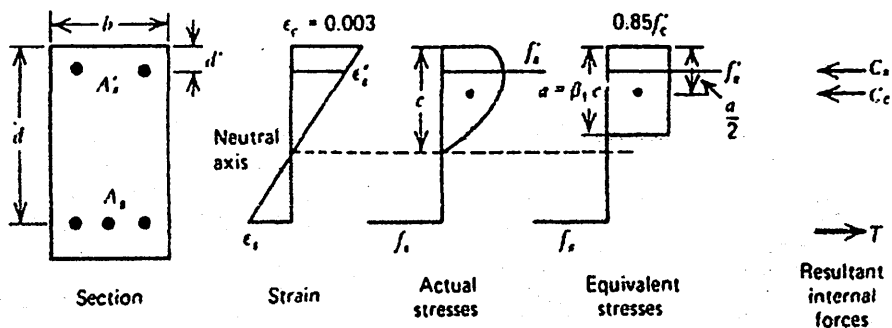
$$C_s = A'_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana A'_s = area tekan pada baja

Gaya tarik pada baja

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

Dimana A_s = area tarik pada baja



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

Persamaan kesetimbangan :

$$C - C_c + C_s = T$$

$$\therefore 0.85 f'_c a b + A's . f_y = A_s . f_y$$

$$\therefore \text{-----} \dots\dots\dots(2.10)$$

Diagram tegangan sekarang digunakan untuk memeriksa apakah baja mengalami *yield*. Baja mengalami *yield* apabila regangannya melebihi f_y / E_s . Berdasarkan segitiga yang sama dari diagram tegangan, didapatkan :

$$\text{-----} \text{-----} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{-----} \text{-----} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{-----} \text{-----} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dan

$$\text{-----} \text{-----} \dots\dots\dots(2.14)$$

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

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

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 :

$$a = \frac{As fs - A's f's}{0.85 f'c . b} \dots \dots \dots (2.16)$$

dimana berdasarkan diagram regangan :

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

$$fs = \epsilon_s Es = 0.003 \frac{\beta_1 d - a}{a} Es \text{ atau } fy \dots \dots \dots (2.18)$$

dan kemudian :

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

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 f_y , kemungkinan lainnya adalah tulangan tekan mengalami *yield*. Daripada mengembangkan rumus umum untuk semua kasus, lebih baik untuk menyelesaikan setiap kasus secara numeric berdasarkan prinsip awal. Rumus umum, jika disesuaikan didapatkan dari penelitian Mattock, Kriz dan Hognestad. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 79 – 81).

2.10.2 Desain penampang berulang ganda

Tulangan tekan kemungkinan diperlukan pada desain untuk alasan berikut :

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

Contohnya untuk balok dengan $f'_c = 3000$ psi ($20,7 \text{ N/mm}^2$) dan $f_y = 40000$ psi (276 N/mm^2), kekuatan desain ρ_{max} sebesar 0.0278 dan tegangan yang bekerja pada perencanaan ρ balance

sebesar 0.0128. Walaupun tulangan tekan tersebut dibutuhkan pada metode desain tegangan yang bekerja, hal tersebut jelas dibutuhkan pada metode desain kekuatan untuk mempertinggi kekuatan lentur.

2. Tulangan tekan kemungkinan digunakan pada desain untuk meningkatkan daktilitas penampang pada kekuatan lentur. Maka jelas bila tulangan tekan pada penampang, jarak sumbu netral akan mengecil karena gaya tekan internal dibagi oleh beton dan tulangan tekan. Karena itu kurva ultimate (Cc/c) pada penampang dengan tulangan tekan akan lebih besar.
3. Tulangan tekan akan digunakan untuk mengurangi defleksi balok pada beban layan. Balok bertulangan tunggal dengan ρ_{max} melebihi tegangan tinggi pada beton untuk beban layan. Contohnya, desain balok bertulangan tunggal untuk tebal maksimum pada contoh dengan $f'_c = 3000 \text{ psi}$ ($20,7 \text{ N/mm}^2$) memiliki tegangan maksimum pada beton 2490 psi ($17,2 \text{ N/mm}^2$) 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 dikecilkan dengan mengurangi tegangan yang diterima beton. Hal ini tercapai dengan menempatkan tulangan tekan pada

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

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

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

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

Dimana

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0.85 f'_c b} \dots\dots\dots(2.21)$$

Sejak digunakan dalam persamaan $0.85 f'_c ab = (A_s - A'_s) f_y$, persamaan 2.20 dapat ditulis :

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

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 :

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

Rumus tersebut memerlukan :

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

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

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

atau,

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

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 :

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

rumus persamaan untuk desain menjadi :

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

dimana

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

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 :

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-cb}{cb} = 0.003 \frac{\beta_1 d - a_b}{a_b} = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\therefore a_b \geq \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \beta_1 d \dots\dots\dots(2.29)$$

Dan untuk persamaan

$$0.85 f'_c a_b b = A_s f_y - A'_s f'_s$$

$$= (\rho_b f_y - \rho' f'_s) b d$$

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

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

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.

$$\therefore f's = 0.003Es \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a_b} \right)$$

$$f's = 0.003Es \left[1 - \frac{d}{d'} \left(\frac{0.003 Es + f_y}{0.003 Es} \right) \right] \dots\dots\dots(2.31)$$

Atau f_y , diambil nilai yang lebih kecil.

Persamaan 2.29 dan 2.30 memberikan :

$$\rho_b = \frac{0.85 f'c \beta_1}{f_y} \frac{0.003Es}{0.003Es + f_y} + \frac{\rho' f's}{f_y} \dots\dots\dots(2.32)$$

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

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

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 Panjang Penyaluran

Faktor yang digunakan dalam rumus untuk menentukan panjang penyaluran yang diperlukan tulangan ulir dan kawat ulir yang mendapat gaya tarik (ACI 12.2.4)

(1) α (alpha) = faktor lokasi tulangan

- tulangan horizontal ditempatkan sedemikian rupa sehingga lebih dari 12 in beton segar dituang dalam batang dibawah panjang penyaluran atau sambungan.....1,5
- Tulangan lain 1,0

(2) β (beta) = faktor pelapisan (coating)

- tulangan atau kawat dicat epoksi dengan selimut beton kurang dari 3d atau jarak bersih kurang dari 6d.....1,5
- semua tulangan atau kawat yang dilapis epoksi 1,2
- Tulangan tanpa pelapisan 1,0
- Tetapi perkalian, $\alpha\beta$ tidak boleh lebih besar dari 1,7.

(3) γ (gama) = faktor ukuran tulangan

- tulangan dan kawat berulir No. 6 dan lebih kecil 0,8
- Tulangan No. 7 dan lebih besar 1,0

Dalam satuan SI

Tulangan dan kawat berulir No. 6 dan lebih kecil 0,8

Tulangan No. 22 dan lebih besar 1,0

(4) λ (lambda) = faktor beton agregat ringan

Jika digunakan beton agregat ringan 1,3

Tetapi jika F_{cl} ditentukan, λ boleh diambil sebesar $6,7\sqrt{f'c}$ fcl

Dalam satuan SI $\frac{\sqrt{f'c}}{1,8 F_{cl}}$

Tetapi tidak boleh kurang dari 1,0

Jika digunakan beton normal 1,0

(5) c = jarak atau dimensi selimut, in.

Gunakan nilai terkecil antara jarak pusat tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat atau separuh jarak pusat ke pusat tulangan atau kawat.

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{1500sn}$$

Dengan A_{tr} = luas penampang total semua tulangan transversal

dengan jarak pusat ke pusat s dan kekuatan leleh f_{yt}

n = jumlah tulangan atau kawat dalam bidang belah

peraturan ACI dalam bagian 12.2.4 secara konservatif mengijinkan penggunaan $K_{tr} = 0$ untuk menyederhanakan perhitungan meskipun jika ada tulangan transversal.

ACI 12.2.3 membatasi nilai tersebut sebesar $\frac{c+K_{tr}}{db}$ dan maksimum 2.5 untuk digunakan dalam persamaan telah didapatkan bahwa (jika

digunakan nilai lebih besar dari 2.5, panjang penyaluran yang lebih pendek akan meningkatkan bahaya keruntuhan tipe tarik keluar).

Dalam satuan SI $K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10s_n}$ (McCormac, Jack C, 2004 : 198)

Tabel 2.2 $l_d d_b$ batang ulir atau kawat ulir

Keterangan	Batang D-19 dan lebih kecil atau kawat ulir	Batang D-22 atau lebih besar
Spasi bersuh batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut beton bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang melingkupi l_d tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan Atau Spasi bersih batang-batang yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut beton bersih tidak kurang dari d_b	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c'}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f_c'}}$
Kasus-kasus lain	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{18f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c'}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9f_y \alpha \beta \lambda}{10\sqrt{f_c'}}$

K_{tr} = Indeks Tulangan Transversal, $K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10s_n}$ dengan :

A_{tr} = luas penampang total dari semua tulangan transversal yang berada dalam daerah berspasasi s dan yang memotong bisang belah potensial yang melalui tulangan yang disalurkan, mm^2

f_{yt} = kuat leleh yang ditentukan untuk tulangan transversal, MPa

s = spasi maksimum dari sumbu ke sumbu tulangan transversal yang melingkupi l_d , mm

n = jumlah batang atau kawat yang disalurkan sepanjang bidang belah

Nilai $(c + K_{tr}) / d_b$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5

Sebagai penyederhanaan perencanaan, diperbolehkan memakai $K_{tr} = 0$ Obahkan untuk kondisi dimana tulangan transversal dipasang.

2.12 Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan

1. Prof. Ir. Rachmat Purwono, MSc, Ir. Kurdian Suprpto, MS dan Muhammad Erfan (2010)

Dalam penelitian yang berjudul "*Kekuatan Lekatan (Bond) Dan Panjang Penyaluran Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (Tulangan Spiral) Pada Beton Mutu Tinggi*" disimpulkan bahwa salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah lekatan (bond), lekatan (bond) disini adalah hubungan kerja sama antara baja tulangan dengan beton disekelilingnya. Saat ini kerjasama antara tulangan dengan beton hanya dilakukan pada

tulangan polos dan deform (ulir), yang didukung oleh pengetahuan dan penelitian yang telah dilakukan oleh banyak peneliti dan hasilnya telah dipakai dalam praktek perencanaan struktur beton bertulang. Sekarang ini beredar di pasaran tulangan jenis Cold Rolled & Twisted Bar (spiral) yang mana permukaan tulangan tidak seperti tulangan yang lain (polos dan ulir). Oleh karena itu timbul permasalahan mengenai pemakaian tulangan CRT yang sampai saat ini belum ditemukan hasil penelitian mengenai perilaku lekatan (bond) dan panjang penyaluran (l_d) khususnya pada beton mutu tinggi. Penelitian ini menggunakan percobaan metode *pull-out* dan diuji dengan alat Universal Testing Machine yang akan menghasilkan gaya aksial tarik maksimum pada masing-masing benda uji yang memenuhi syarat ASTM C 234-91a. Eksperimen dibagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok 1 untuk uji tegangan lekatan dan kelompok 2 untuk uji panjang penyaluran (l_d). Benda uji yang digunakan adalah bentuk kubus berukuran 150X150X150 mm (ASTM C 234-91a) untuk kelompok 1 dan 200X200X300 mm dan 200X200X420 mm untuk kelompok 2, diameter nominal tulangan CRT 10 mm dengan mutu beton adalah f'_c 60 Mpa. Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa tulangan Cold Rolled & Twisted Bar tergolong tulangan polos, tulangan CRT memiliki kekuatan lekatan yang besar dengan slip yang besar dan kekuatan lekatan l_d tulangan CRT pada slip $< 2,5$ mm mencapai $f_s = 42,537\%$

f_y namun pada slip $> 2,5$ mm kekuatan lekatan l_d menghasilkan $f_s > f_y$.

2. Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc, Kurdian Suprpto, M.S. dan Syafruddin Ishak Latuconsina (2010)

Dalam penelitian yang berjudul *“karakteristik lekatan (bond) dan panjang penyaluran (development length) pada beton normal dengan tulangan cold rolled&twisted bar (crt[tulangan puntir])”* disimpulkan bahwa kemampuan lekatan (bond) dan panjang penyaluran (development length) tulangan puntir (CRT) dalam menerima gaya aksial tarik dibandingkan dengan tulangan polos dan ulir, yang didapatkan melalui penelitian experimental Laboratorium Konstruksi Beton ITS. Penelitian ini dilakukan dalam 2 tahap yaitu : Penelitian Tahap-1 tentang kemampuan lekatan (bond) menggunakan 3 buah benda uji dan mutu beton $f'c$ 25 Mpa dengan menggunakan bentuk tulangan CRT $\phi_n = 9,422$ mm (10 mm) dan prosedur sesuai ASTM benda uji berbentuk kubus berukuran 150x150x150mm. Model eksperimen akan diuji dengan alat Universal Testing Machine (UTM) yang akan menghasilkan gaya aksial tarik maksimum pada masing-masing benda uji dan kuat lekatan (μ). Kemudian hasil dari Penelitian Tahap-1 kuat lekatan (μ) dipakai Penelitian Tahap-2 untuk menentukan panjang penyaluran (development length), pada penelitian ini menggunakan 12 benda uji (6 pasang) dan mutu beton $f'c$ 29 Mpa dengan bentuk tulangan CRT

$\phi_n = 9,422 \text{ mm}$ (10 mm) dan benda uji berbentuk balok berukuran 200x200x400mm. Model eksperimen akan diuji dengan alat Universal Testing Machine (UTM) yang akan menghasilkan gaya aksial tarik maksimum pada masing-masing benda uji. Dari hasil penelitian secara eksperimen ini disimpulkan bahwa CRT tergolong tulangan polos dan Nilai l_d secara teoritis ternyata sesuai dengan hasil eksperimen, tetapi dengan slip yang besar ($\text{slip} > 2,5 \text{ mm}$).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Jalan Raya Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang dan Laboratorium Beton Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya mulai dari pengujian bahan dasar sampai pada pelaksanaan pengecoran, pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian benda uji.

3.2 Metode Penelitian

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

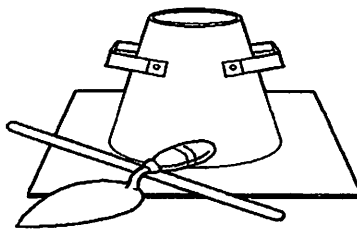
3.3 Peralatan dan Bahan

3.3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*), dengan kapasitas 0,15 m³.
- b. Tongkat pemadat, dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 0.6 m. Digunakan untuk memadatkan adukan beton di dalam cetakan, sehingga didapatkan beton yang padat dan tidak keropos.

- c. Kerucut Abrams, terbuat dari pelat baja berbentuk kerucut berlubang dengan diameter lubang atas 10 cm dan diameter lubang bawah 20 cm serta tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan alas plat baja dan tongkat baja diameter 16 mm, panjang 60 cm sebagai alat pemadat. Kerucut Abrams digunakan untuk pengujian nilai slump dari suatu adukan beton saat pengecoran.



Gambar 3.1. Peralatan Slump Test

- d. Cetakan balok berukuran lebar 15 cm, tinggi 25 cm dan panjang 200cm.
- e. Cetakan benda uji mortar.
- f. Gelas ukur
- g. Seperangkat saringan dan timbangan.
- h. Bak air untuk perendaman perawatan beton (moist curing)
- i. Kompor dan Tempat untuk mencairkan belerang
- j. Alat pemotong tulangan
- k. Alat pembengkok tulangan (bending)
- l. *Torsee Loading Machine*, kapasitas 100 ton.
- m. *Alat uji tekan beton*.
- n. *Dial gauge*, alat pengukur slip.

3.3.2. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan ialah :

- a. Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar yang dipakai merupakan produksi dari PT. Alim Surya Steel.
- b. Diameter tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (ϕ_t) = 10 mm.
- c. Diameter tulangan BJTP yaitu 16 mm.
- d. Semen portland yang digunakan adalah Semen Gresik tipe I, sesuai ASTM C 150-02a.
- e. Air yang digunakan sesuai ACI Committee 363, yakni air PDAM
- f. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang memenuhi ASTM C33-02.
- g. Agregat halus yang digunakan adalah pasir kali yang memenuhi ASTM C33-02, C87-02 dan C 136-02.
- h. Benda uji balok dengan penampang 250 x 150 mm dengan panjang = 2000 mm.
- i. Alat yang digunakan berupa *Torsee Loading Machine* (ASTM, C1245-93), *Compressometer* (ASTM, C469-02), *Extensometer* (ASTM, C469-02), *Alat uji split silinder* (ASTM, C469-96) dan *alat uji tekan*.

3.4 Populasi dan Sampel

Total benda uji yang digunakan untuk masing-masing bentuk tulangan sebanyak 4 benda uji sehingga total keseluruhannya sebanyak 8 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 :

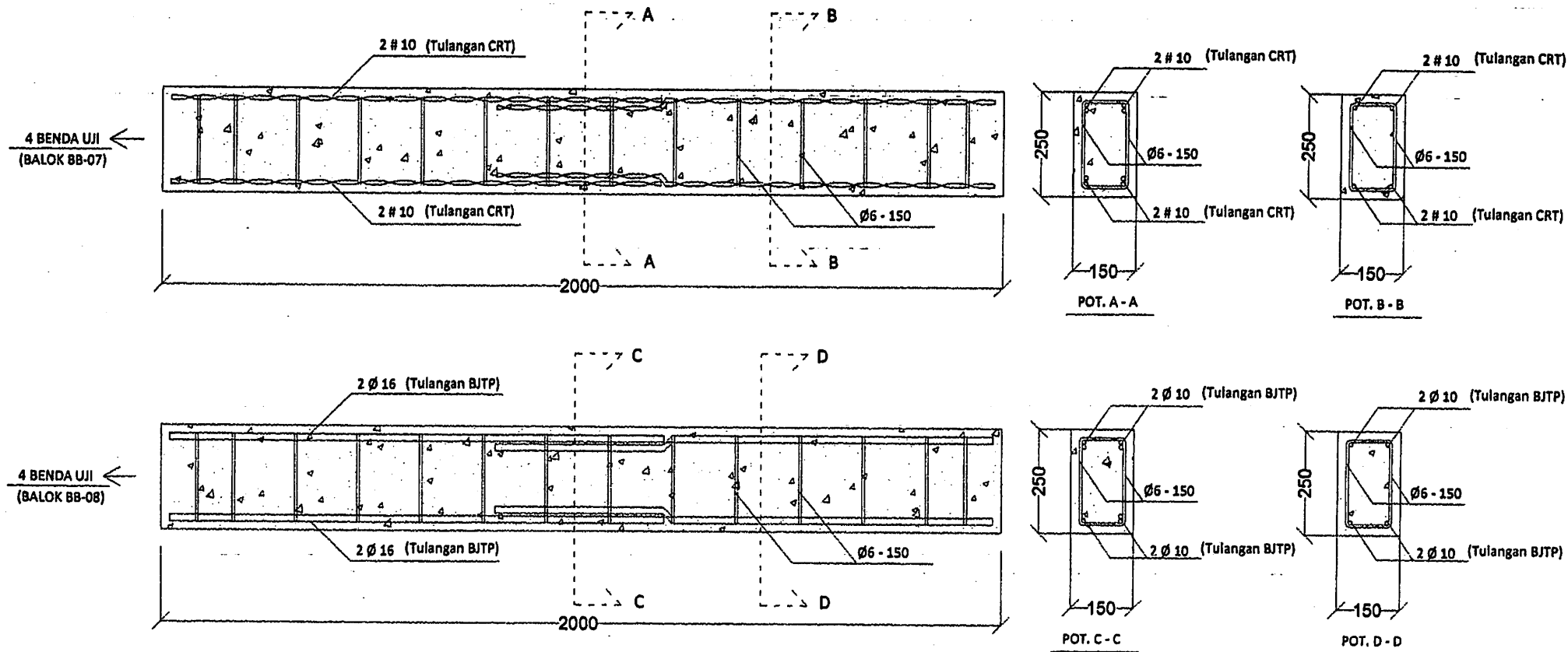
Tabel 3.1 Variasi Benda Uji

Kode Benda uji	Dimensi balok	Tulangan Longitudinal	Tulangan Tranversal	Jumlah Benda Uji
BB – 07	150 X 250 X 2000 mm	CRT #10 mm	Ø6 – 150 mm	4 buah
BB – 08	150 X 250 X 2000 mm	BJTP Ø16 mm	Ø6 – 150 mm	4 buah

Keterangan :

BB – 07 = Balok dengan tulang longitudinal CRT diameter 10 mm dengan tulangan utama panjang Penyaluran

BB – 08 = Balok dengan tulang longitudinal BJTP diameter 16 mm dengan tulangan utama panjang Penyaluran



GAMBAR 3.2 MODEL BENDA UJI BALOK DENGAN TULANGAN BJTP DAN CRT
DENGAN PANJANG PENYALURAN)

3.5 Rancangan Penelitian

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

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1. Pemeriksaan Material Beton

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

3.6.2. Perencanaan Campuran Beton

Metode perencanaan yang digunakan berdasarkan MCP 211-ACI-2006 dengan menggunakan material pasir Pasuruan dan kerikil dari Jawa Timur serta Semen Gresik tipe 1.

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, sehingga tidak perlu membuat suatu presentase 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 8 buah. Dalam menentukan panjang tulangan yang tertanam dalam beton digunakan persamaan yang disederhanakan dalam tabel 2.2 untuk tes l_d dengan asumsi lebih kecil, sama dengan dan lebih besar dari hasil persamaan.

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 split 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, 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.

3.8 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 BJTP dengan mutu beton f'_c 22,5 MPa terhadap panjang penyaluran.
- b. Pengujian kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton f'_c 22,5 Mpa

3.9.2 Analisa Eksperimental

- a. Dari eksperimen diperoleh data besar kuat lentur balok , tegangan dan regangan tulangan CRT dan BJTP yang diberi panjang penyaluran.
- b. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTP yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton f'_c 24,5 MPa
- c. Pengujian kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTP dengan mutu beton f'_c 24,5 MPa
- d. Point b dan c dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan terhadap tulangan BJTP dan tulangan CRT

- e. Point b dan c dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat perbandingan besar kuat lentur balok terhadap tulangan BJTP dan tulangan CRT

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

3.10 Prediksi Analitis

3.10.1 Balok Dengan Tulangan CRT #10 (BB – 07)

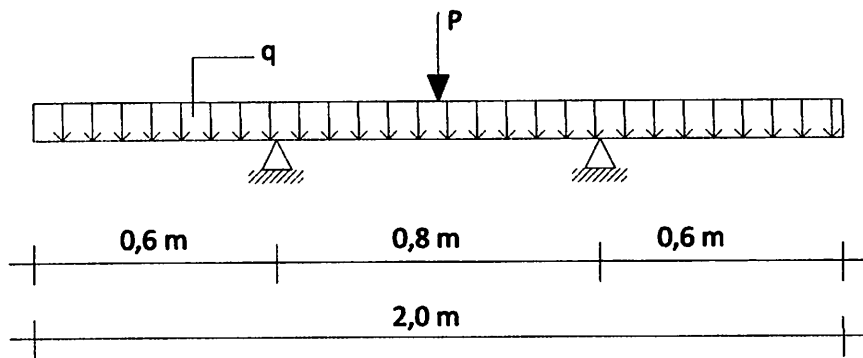
1. Analisa Kuat Lentur, Tegangan dan Regangan

a. Perhitungan Beban Rencana

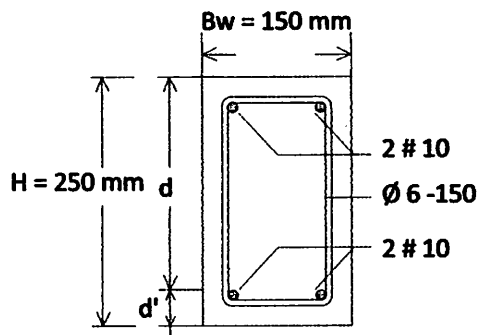
Karakteristik balok BB - 07 :

- Type : Balok beton bertulang BB -07
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 24,5 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 455 MPa
- Tulangan utama : CRT # 10 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

Model Pengujian Kuat Lentur



Kontrol momen CRT



penampang balok dengan tulangan CRT

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{24,5} \\
 &= 23.273,307 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

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

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

(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)

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

(Regangan baja tulangan dalam keadaan leleh)

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

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

(SK SNI T-15-1991 ps.3.1.4, hal:8)

$$\begin{aligned}&= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,5}{455} \cdot \frac{600}{600 + 455} \\ &= 0,02214\end{aligned}$$

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

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

$$= 0,00308$$

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

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

$$= 0,01661$$

Direncanakan penulangan :

$$\begin{aligned}\text{Tul.tarik As} &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9,422^2 \\ &= 139,446 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

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

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

$$d = 250 - 30,711$$

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

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

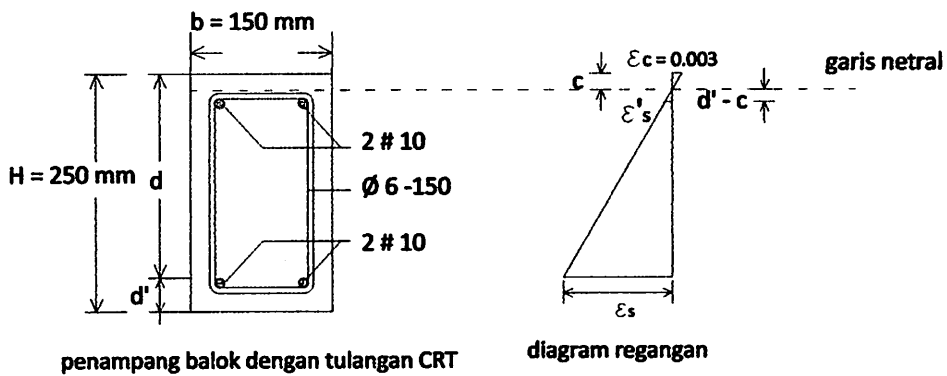
Dari pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik,
dicari blok tegangan tekan :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'c) \cdot Bw} \\ &= \frac{139,446 \cdot 455}{(0,85 \cdot 24,5) \cdot 150} \\ &= 20,295 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

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

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal benar :



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

$$\begin{aligned}\epsilon'_s &= \frac{d' - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{30,711 - 23,876}{23,876} \cdot 0,003 \\ &= 0,000859\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{219,289 - 23,876}{23,876} \cdot 0,003 \\ &= 0,0246\end{aligned}$$

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

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 :

$$C_c + C_s = T$$

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

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

$$A'_s . d' = 0$$

$$(0,85 . 24,5 . 150 . 0,85) . c^2 + (600 . 139,446 - 139,446 .$$

$$455) . c - (600 . 139,446) . 30,711 = 0$$

atau memakai :

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

dimana :

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

Dan diketahui :

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

$$f'_c = 24,5 \text{ MPa}$$

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

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

kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut:

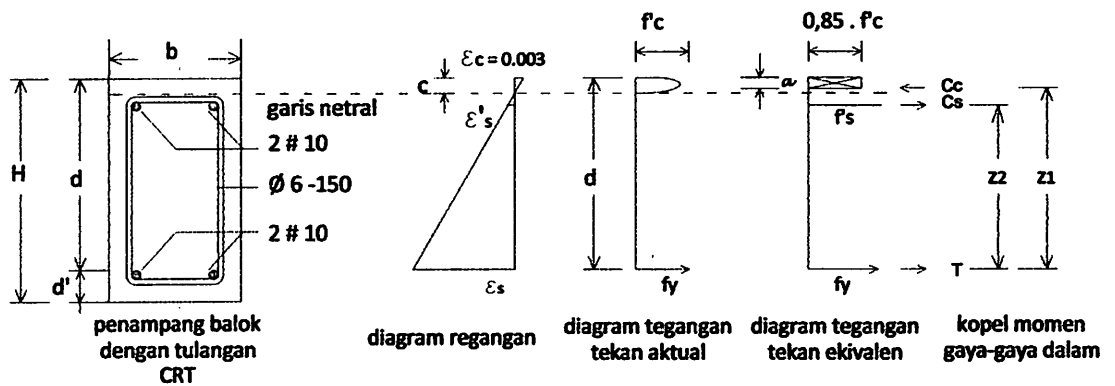
$$\begin{aligned} R &= \frac{600 . A' s - A s . f_y}{1,7 . f' c . B w . \beta_1} \\ &= \frac{600 . 139,446 - 139,446 . 455}{1,7 . 24,5 . 150 . 0,85} \\ &= 3,804 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{600 . d' . A' s}{0,85 . f' c . B w . \beta_1} \\ &= \frac{600 . 30,711 . 139,446}{1,7 . 24,5 . 150 . 0,85} \\ &= 966,945 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 . c \\ &= 0,85 . 27,523 \\ &= 23,395 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 3.3 Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan CRT

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

Syarat : $C_c - C_s = T$

Resultante gaya tekan dari blok tegangan tekan ekuivalen :

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 24,5 \cdot 23,395 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \\ &= 73,139 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan pada tulangan tekan :

$$\begin{aligned} C_s &= A'_s \cdot f'_s \\ &= 139,446 \cdot 69,495 \cdot 10^{-3} \\ &= 9,691 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik pada tulangan tarik :

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

$$C_c - C_s = T$$

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

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

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

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

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

$$Z_2 = d - d'$$

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

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

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

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

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

$$M_{n2} = (C_s \cdot Z_2)$$

$$= (9,691 \cdot 188,58) \cdot 10^{-3}$$

$$= 1,83 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_{n1} - M_{n2}$$

$$= 15,18 - 1,83$$

$$= 13,36 \text{ KNm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 13,36$$

$$= 10,68 \text{ KNm}$$

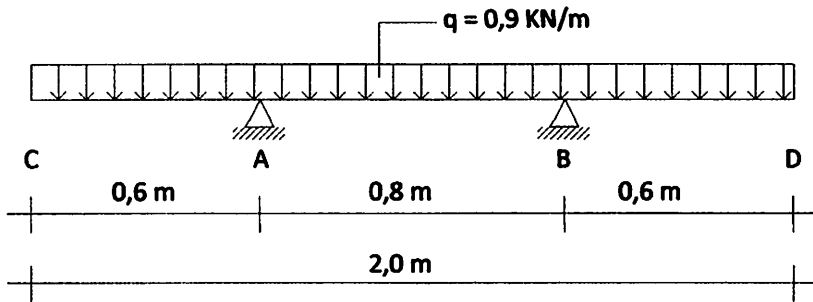
$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

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

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

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

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



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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

Kontrol :

$$\Sigma F_V = 0$$

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

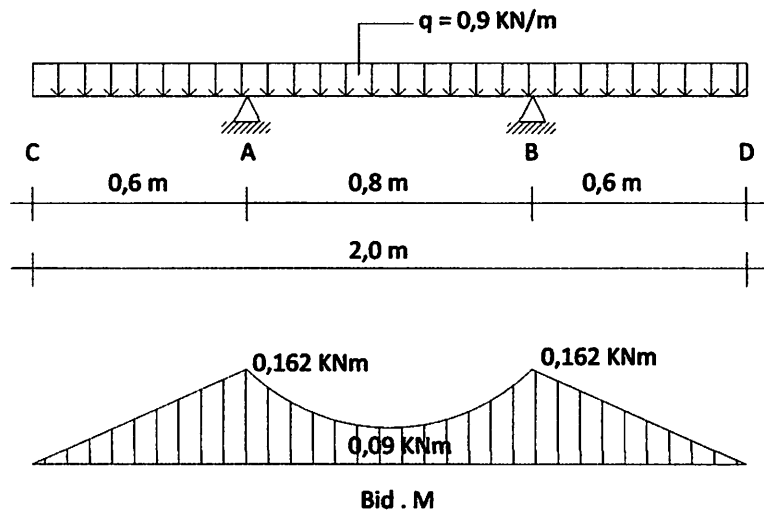
$$-0,54 + 0,9 - 0,9 x = 0$$

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

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

$$\begin{aligned} M_{\max} &= -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + 0,4)) + R_A V (0,4) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot 0,4^2)) \\ &= -0,09 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_A &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,3 \\ &= 0,162 \text{ KNm} \end{aligned}$$



Gambar 3.4 Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan CRT

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

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

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

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

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

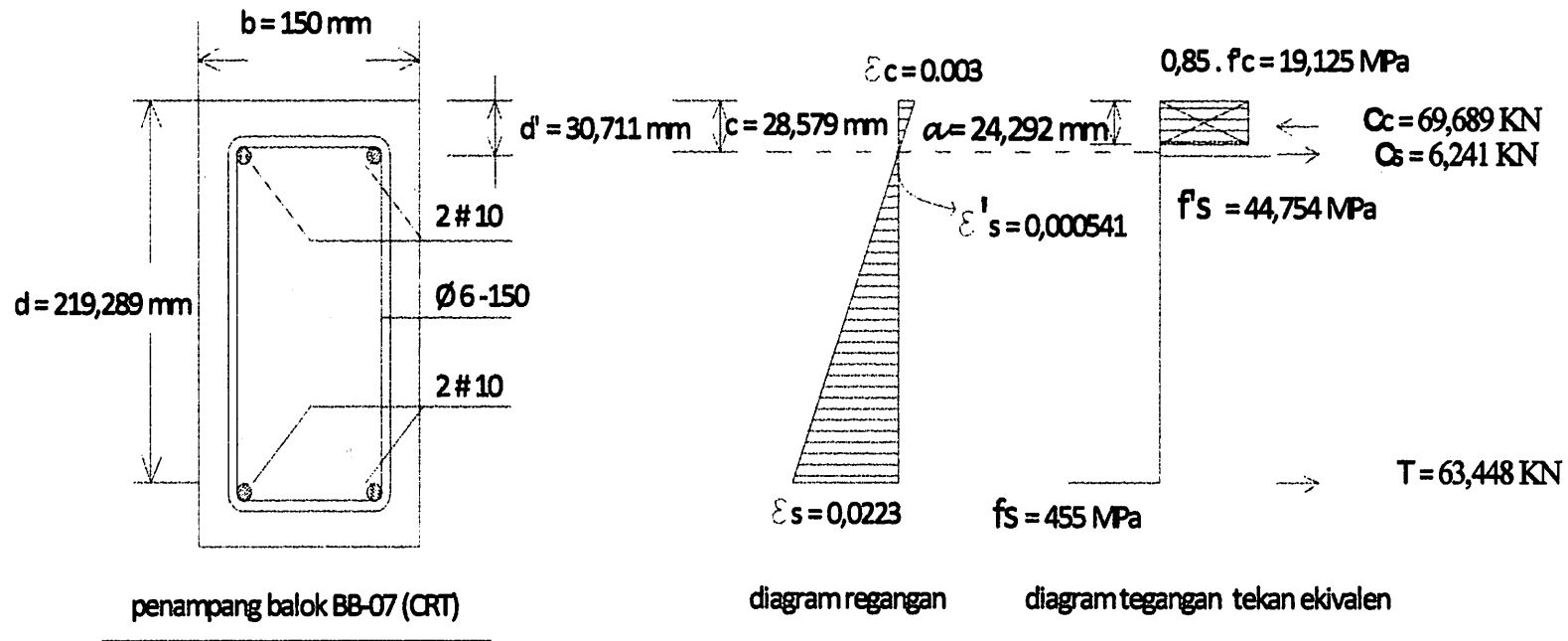
ket : beban P direncanakan pada kondisi beton mengalami retak I.

Cek syarat daktilitas

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

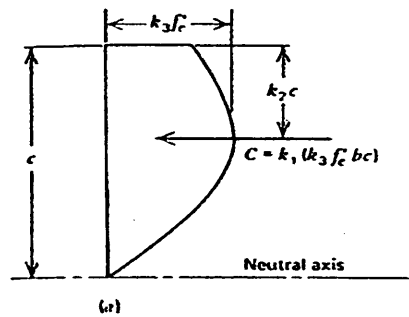
Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

$$\rho^o = \frac{As}{b \cdot d} \\ = \frac{139,446}{150 \cdot 219,289} = 0,0042 < \rho_{\max} = 0,01661 \dots \dots \dots (\text{ok})$$



Gambar 3.5 Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10

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



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

Tabel 3.3 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan f'c
 24,5MPa padaBalok dengan Tulangan CRT #10

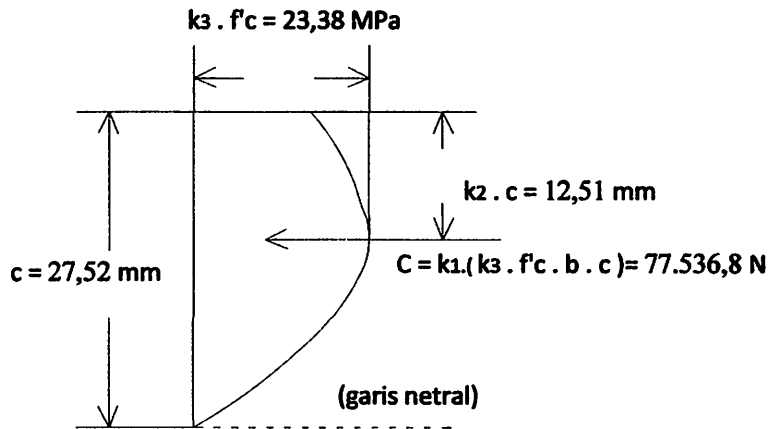
f'c N/mm ²	Nilai			
	k1	k2	k3	εc
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
24.52	0.803	0.454	0.953	0.00344

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

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

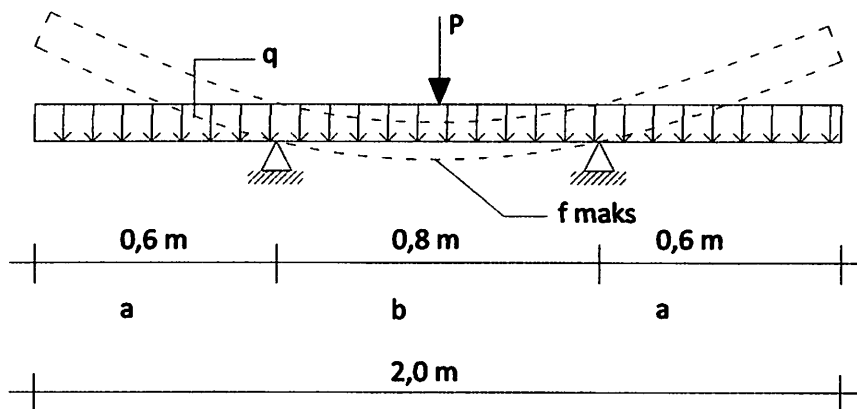
$k_2 \cdot c$
 $= 0,454 \cdot 28,58= 12,51 \text{ mm}$

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



Gambar 3.6 Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10

c. Perhitungan Lendutan Balok



Diketahui :

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

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 800 \text{ mm}$

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

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

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

$$= 195.312.500 \text{ mm}^4$$

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

$$= \frac{66327,6 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} +$$

$$\frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2)$$

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

d. Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan CRT # 10

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

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

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

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

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

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

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

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

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

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

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

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

Kontrol retak lentur

Dimana :

$$\begin{aligned} B_h &= \frac{d+d'-c}{d-c} \\ &= \frac{219,289+30,711-27,523}{219,289-27,523} \\ &= 1,16 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} A &= \frac{b \times (h-c)}{2} \\ &= \frac{150 \times (250-27,523)}{2} \\ &= 16685,775 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= 0,076 \cdot B_h \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \\ &= 0,076 \cdot 1,16 \cdot 273 \cdot \sqrt[3]{20 \cdot 16685,775} \\ &= \frac{1669,397}{1000} \end{aligned}$$

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

Lebar retak melebihi lebar retak yang diizinkan berdasarkan
ACI 224

e. 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

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

f. Analisa Panjang Penyaluran Tulangan CRT 10mm

Faktor yang di gunakan dalam rumus untuk menentukan panjang penyaluran yang di perlukan tulangan ulir dan kawat ulir yang mendapatkan Gaya Tarik

(ACI 12.2.4)

- α : 1,0 untuk tulangan bawah
 β : 1,0 untuk tulangan pelapis
 γ : 1,0 untuk tulangan diameter 10 mm
 λ : 1,0 untuk beton normal
C : selimut sisi tulangan = 20 mm

a. Menggunakan persamaan yang disederhanakan tabel 2.2

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{fc'}} = \frac{12 \cdot 451 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{25 \sqrt{24,52}} = 44,105 \text{ diameter}$$

b. Menggunakan persamaan ACI 2 -1

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

$$\text{atau} = 150 - (2 \cdot 20) - 2(6) - 2(9,422) = 79,096 \text{ mm}$$

$$Ktr = \text{indeks tulangan transversal, } Ktr = \frac{Atr \cdot Fyt}{10 sn}$$

$$Atr = \frac{1}{4} \pi \cdot 6^2 = 28,274 \text{ mm}^2$$

$$Fyt = \varnothing 6\text{mm} = 269,34 \text{ Mpa}$$

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

$$n = 2$$

$$f_y = \phi 10 = 455 \text{ MPa}$$

$$K_{tr} = \frac{2 \cdot 28,274 \cdot 269,34}{10 \cdot 150 \cdot 2} = 5,077 > 2,5$$

Panjang penyaluran untuk Tulangan Tarik :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b} \right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{455}{\sqrt{24,52}} \frac{1.1.1.1}{2,5} = 33,079 \text{ diameter}$$

c. Menggunakan persamaan ACI 12-1 dengan nilai $K_{tr}=0$

$$\frac{c+K_{tr}}{d_b} = \frac{20+5,077}{9,422} = 2,66 < 2,5$$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b} \right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{455}{\sqrt{24,52}} \frac{1.1.1.1}{2,66} = 31,089 \text{ diameter}$$

2. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

Tabel 3.4 Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB – 07

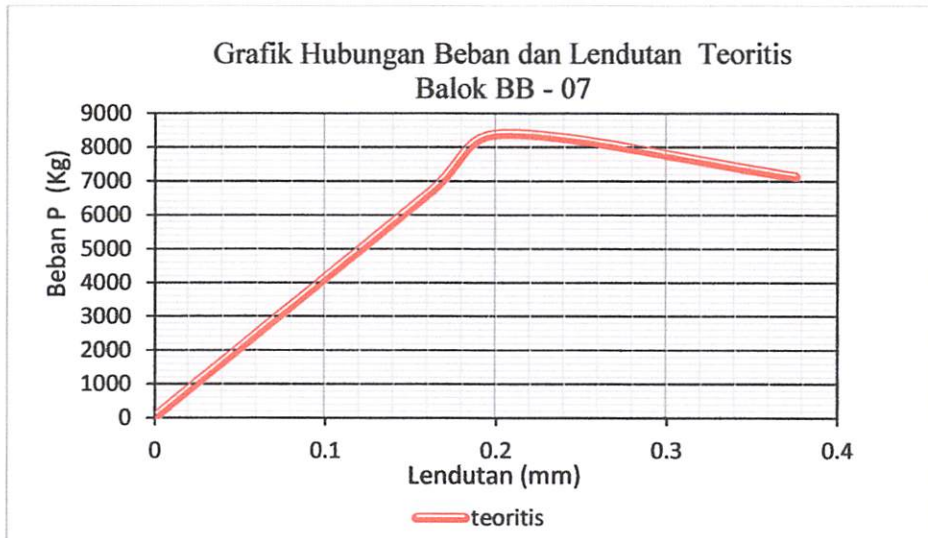
No	f'c	fs	P (kg)	f	Ket
1	2	3	4	5	
2	0	0	0	0	
3	24,52	455	66.33	0.16	Retak 1
4	31,0407033	576	83.97	0.20	Ultimate
5	26,3845978	489,6	71.37	0.37	Runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.3

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

Kurva hubungan beban dan lendutan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB – 07) yang terlihat pada Grafik 3.1. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan

dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.4 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 5 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.1 Kurva Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 07

3. Grafik Tegangan dan Regangan

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

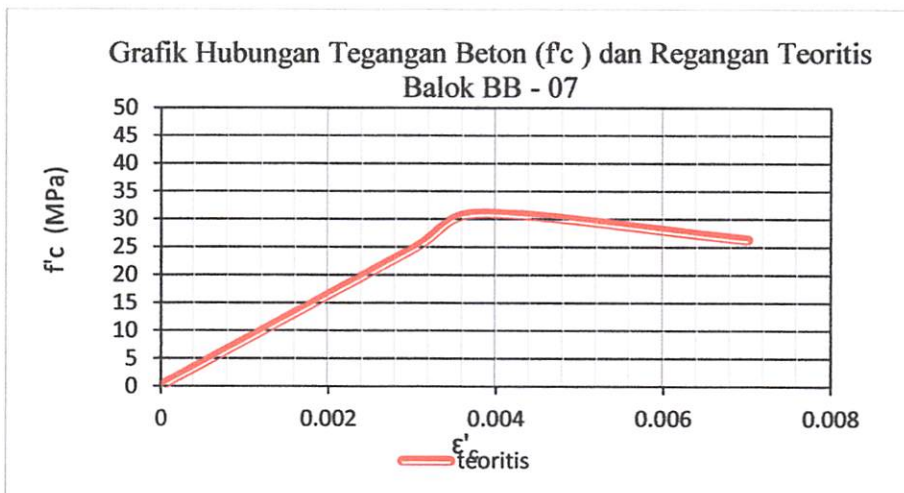
Tabel 3.5 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 07

No	f'_c	f_s	P	ϵ'_c	Ket
1	2	3	4	5	6
1	0	0	0.00	0	
2	24,52	455	66.33	0.00300	Retak I
3	31,0407033	576	83.97	0.00380	Ultimate
4	26,3845978	489,6	71.37	0.00703	Runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.5

- Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton
- Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja
- Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton
- Pada Kolom 6 berisi Keterangan

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB – 07) yang terlihat pada Grafik 3.2. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5 yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 07

3.10.2 Balok dengan Tulangan BJTP (Balok BB – 08)

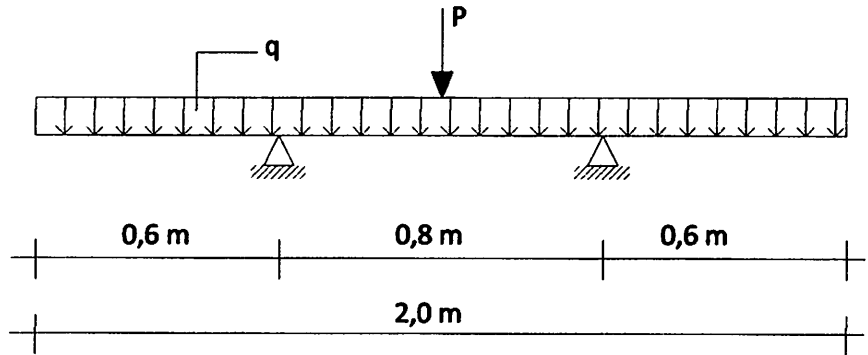
1. Analisa Kuat Lentur, Tegangan dan Regangan

a. Perhitungan Beban Rencana

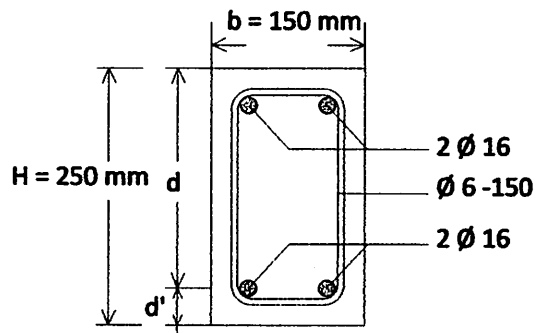
- Type : Balok beton bertulang BB -01
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton (f_c) : 24,5 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 253 MPa

- Tulangan utama : BJTP Ø 16 mm
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

Model Pengujian Kuat Lentur



Kontrol momen BJTP



penampang balok dengan tulangan BJTP

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \sqrt{24,5} \\
 &= 23.273,307 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

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

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

(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)

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{253}{200.000} \\ &= 0,001265\end{aligned}$$

(Regangan baja tulangan dalam keadaan leleh)

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

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,5}{253} \cdot \frac{600}{600+253} \\ &= 0,04925\end{aligned}$$

(SK SNI T-15-1991 ps.3.1.4, hal:8)

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

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

$$= 0,00553$$

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

$$= 0,75 \cdot 0,04925$$

$$= 0,03694$$

Direncanakan penulangan :

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

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

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

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

Bila dianggap bahwa semua penulangan telah mengalami yield ,maka $f'_s = f_y$ dan $f_s = f_y$, dengan demikian :

A_s = Luas tulangan tarik

A'_s = Luas tulangan tekan

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

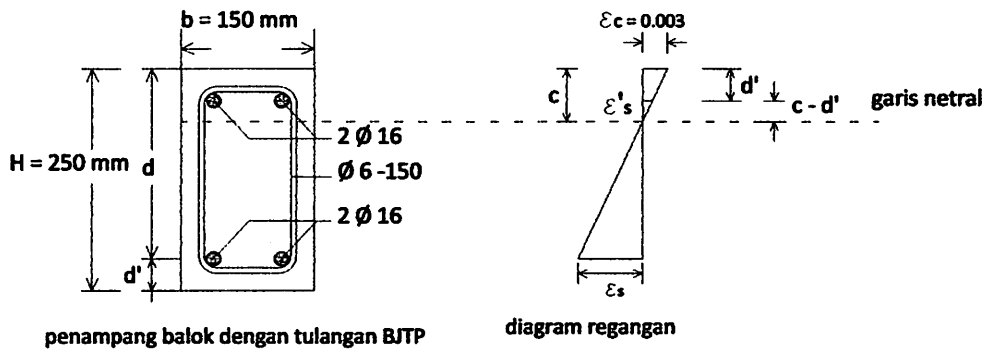
$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot Bw} \\ &= \frac{352,487 \cdot 253}{(0,85 \cdot 24,5) \cdot 150} \\ &= 28,526 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta} \\ &= \frac{28,53}{0,85} \\ &= 33,559 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui

apakah asumsi awal benar :



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

$$\begin{aligned} \varepsilon'_s &= \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{33,559 - 33,49}{33,559} \cdot 0,003 \\ &= 6,206 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{216,51 - 33,559}{33,559} \cdot 0,003 \\ &= 0,0164 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{fy}{Es} \\ &= \frac{253}{200.000} = 0,0013 \end{aligned}$$

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

$$C_c + C_s = T$$

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

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

$$d' = 0$$

$$(0,85 . 24,5 . 150 . 0,85) . c^2 + (600 . 352,487 - 352,487 .$$

$$253) . c - (600 . 352,487) . 33,49 = 0$$

atau memakai :

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

dimana :

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

Dan diketahui :

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

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

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 \\
 f_y &= 253 \text{ MPa} \\
 f'_c &= 24,5 \text{ MPa} \\
 b &= 150 \text{ MPa} \\
 d' &= 33,49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{600 \cdot A's - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1} \\
 &= \frac{600 \cdot 352,487 - 352,487 \cdot 253}{1,7 \cdot 24,5 \cdot 150 \cdot 0,85} \\
 &= 23,014
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{600 \cdot d' \cdot A's}{0,85 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1} \\
 &= \frac{600 \cdot 33,49 \cdot 352,487}{1,7 \cdot 24,5 \cdot 150 \cdot 0,85} \\
 &= 2665,387
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 f'_s &= \epsilon's \cdot E_s \\
 &= \frac{(c - d')}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\
 &= \frac{(c - d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\
 &= \frac{(c - d')}{c} \cdot 600
 \end{aligned}$$

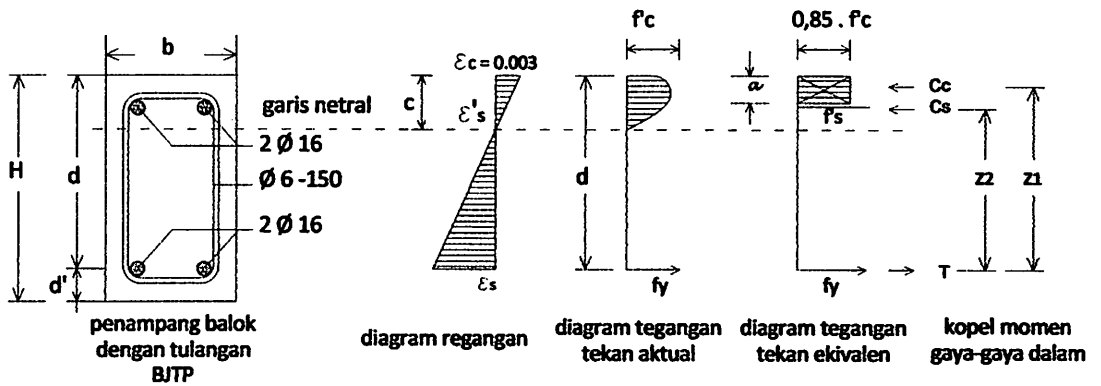
$$= \frac{(33,511 - 33,49)}{33,511} \cdot 600$$

$$= 0,368 \text{ Mpa} < f_y = 253 \text{ MPa}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 33,511$$

$$= 28,484 \text{ mm}$$



Gambar 3.7 Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan BJTP

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

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

Resultante gaya tekan dari balok tegangan tekan ekuivalen :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \cdot 24,5 \cdot 28,484 \cdot 150 \cdot 10^{-3}$$

$$= 89,049 \text{ kN}$$

Gaya tekan pada tulangan tekan :

$$\begin{aligned}C_s &= A's \cdot f's \\&= 352,487 \cdot 0,368 \cdot 10^{-3} \\&= 0,13 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya tarik pada tulangan tarik :

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

$$C_c + C_s = T$$

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

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

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

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

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

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

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$= 18,01 + 0,02$$

$$= 18,04 \text{ KNm}$$

$$M_r = \varphi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 18,04$$

$$= 14,43 \text{ KNm}$$

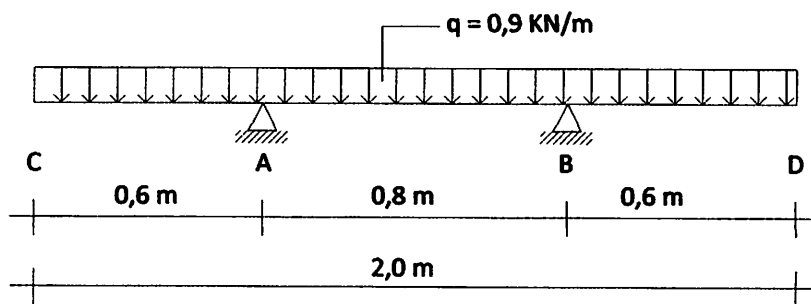
$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

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

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

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

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



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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

Kontrol :

$$\Sigma F_V = 0$$

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

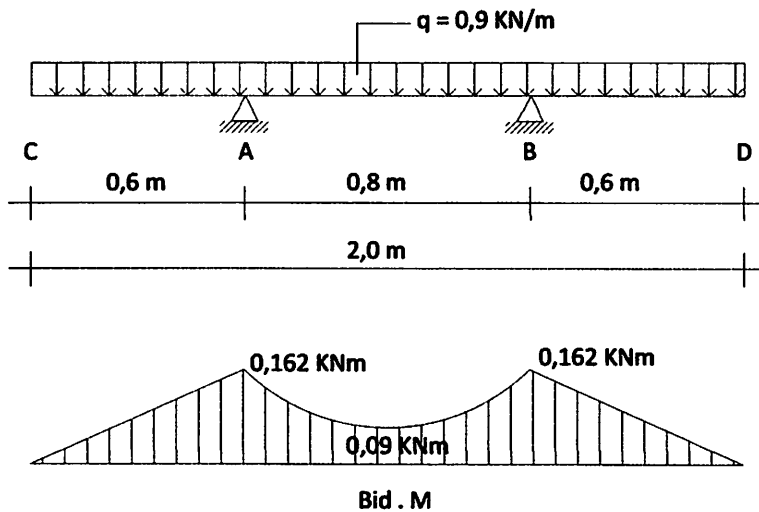
$$-0,54 + 0,9 - 0,9 x = 0$$

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

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

$$\begin{aligned} M_{\max} &= -((0,9 \cdot 0,6) (0,3 + 0,4)) + R_A V(0,4) - (\frac{1}{2} \cdot (0,9 \cdot 0,4^2)) \\ &= -0,09 \text{ KNm} \end{aligned}$$

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



Gambar 3.8 Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan BJTP

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

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

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

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

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

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

Cek syarat daktilitas

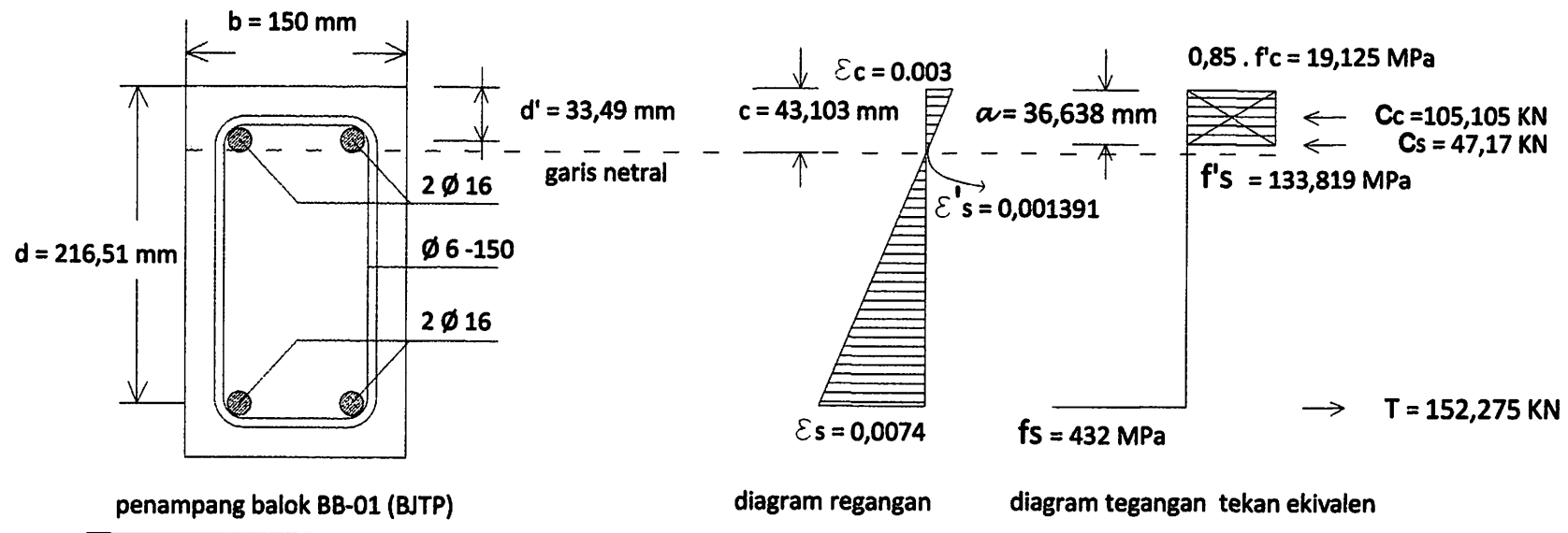
$$\rho^o \leq \rho_{\max}$$

$$\leq 0,03694$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

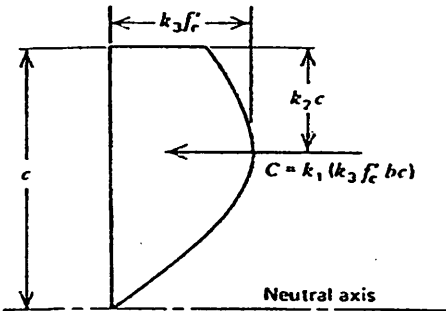
$$\rho^o = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

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



Gambar 3.9 Model Diagram Regangan Tulangan BJTP Ø 16 mm

- b. Analisa distribusi tegangan aktual Benda Uji dengan Tulangan BJTP Ø 16



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

Perhitungan blok tegangan tekan menggunakan parameter nilai maksimum k_1k_3 yang didapatkan dari setiap pengujian. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 50 – 52)

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

fc					
Psi	N/mm ²	k1	k2	k3	Ec
2000	13.8	0.86	0.48	1.03	0.0037
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

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

Tabel 3.7 Interpolasi nilai-nilai parameter dengan f_c 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

f_c N/mm ²	Nilai			
	k1	k2	k3	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

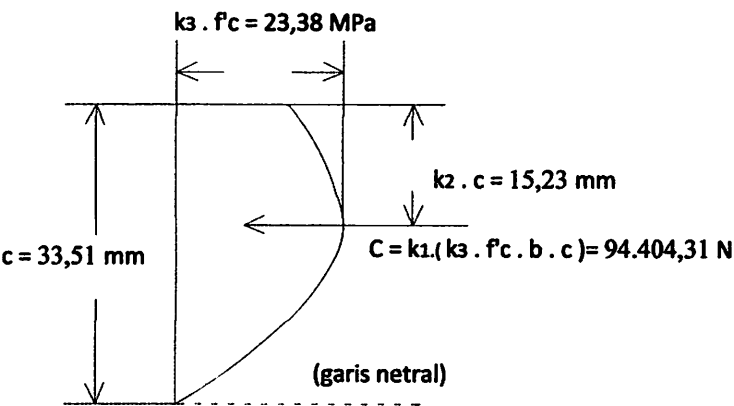
$k_3 \cdot f_c$
=
0,953 . 24,52 = 23,38 Mpa

c
=
33,51 mm

$k_2 \cdot c$
=
0,454 . 33,51= 15,23 mm

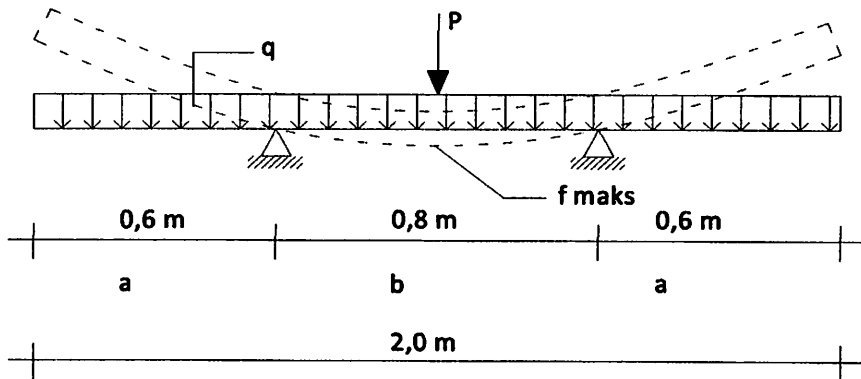
$k_1 \cdot (k_3 \cdot f_c \cdot b \cdot c)$
=
0,803 (0,953 . 24,52 . 150 . 33,51)

=
94404,31 N



Gambar 3.10 Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTP Ø 16

c. Perhitungan Lendutan Balok



Diketahui :

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

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

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

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

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

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

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

$$= \frac{89728,10 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} +$$

$$\frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2)$$

$$= 0,2088\text{ mm}$$

d. Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

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

Lormas

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

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

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

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

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

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

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

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

$$d^1 = 33,49 \text{ mm}$$

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

Kontrol retak lentur

Dimana :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= 0,92 \text{ mm}$$

lebar retak yang diizinkan = 0,012

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

e. Panjang Plastis (L_p) Balok dengan Tulangan BJTP Ø 16

Untuk balok beton bertulang yang terkekang oleh tulangan transversal

a. Baker

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

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

$$k_3 = 0,762$$

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

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

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

$$\begin{aligned} L_p &= (0,8) \cdot (0,9) \cdot 0,762 \left(\frac{400}{216,51} \right) \cdot 33,511 \\ &= 33,967 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Corley

$$\begin{aligned} L_p &= 0,5 d + 0,2 \sqrt{d} \left(\frac{z}{d} \right) \\ &= 0,5 (216,51) + 0,2 \sqrt{216,51} \left(\frac{400}{216,51} \right) \\ &= 113,692 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Mattock

$$\begin{aligned} L_p &= 0,5 d + 0,05 z \\ &= 0,5 (216,51) + 0,05 (400) \\ &= 128,225 \text{ mm.} \end{aligned}$$

d. Sawyer

$$\begin{aligned} L_p &= 0,25 d + 0,075 z \\ &= 0,25 (216,51) + 0,075 (400) \\ &= 84,128 \text{ mm.} \end{aligned}$$

f. Analisa Panjang Penyaluran Tulangan BJTP 16mm

Faktor yang di gunakan dalam rumus untuk menentukan panjang penyaluran yang di perlukan tulangan ulir dan kawat ulir yang mendapatkan Gaya Tarik

(ACI 12.2.4)

α : 1,0 untuk tulangan bawah

β : 1,0 untuk tulangan pelapis

γ : 1,0 untuk tulangan diameter 10 mm

λ : 1,0 untuk beton normal

C : selimut sisi tulangan = 20 mm

a) Menggunakan persamaan yang disederhanakan tabel 2.2

$$\frac{ld}{db} = \frac{12 \cdot fy \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{25 \sqrt{fc'}} = \frac{12 \cdot 432 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{25 \sqrt{24,52}} = 41,876 \text{ diameter}$$

b) Menggunakan persamaan ACI 2 -1

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

$$\text{atau} = 150 - (2 \cdot 20) - 2(6) - 2(14,98) = 68,04 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = \text{indeks tulangan transversal, } K_{tr} = \frac{A_{tr} \cdot F_{yt}}{10 s n}$$

$$A_{tr} = \frac{1}{4} \pi \cdot 6^2 = 28,274 \text{ mm}^2$$

$$F_{yt} = \varnothing 6 \text{ mm} = 269,34 \text{ Mpa}$$

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

$$n = 2$$

$$f_y = \varnothing 16 = 432 \text{ MPa}$$

$$K_{tr} = \frac{2.28,274.269,34}{10.150.2} = 5,077 > 2,5$$

Panjang penyaluran untuk Tulangan Tarik :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{10\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{432}{\sqrt{24,52}} \frac{1.1.1.1}{2,5} = 31,407 \text{ diameter}$$

c) Menggunakan persamaan ACI 12-1 dengan nilai $K_{tr}=0$

$$\frac{c+K_{tr}}{d_b} = \frac{20+5,077}{14,98} = 1,674 < 2,5$$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{432}{\sqrt{24,52}} \frac{1.1.1.1}{1,674} = 46,904 \text{ diameter}$$

2. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

Tabel 3.6 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 08

No	f'_c	f_s	P	f
1	2	3	4	5
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	24.52	253.00	89.73	0.17
3	34.02	351.00	124.49	0.24
4	28.92	298.35	105.81	0.44

Keterangan Pengisian tabel 3.6

Pada Kolom 1 berisi No. Urut

Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton

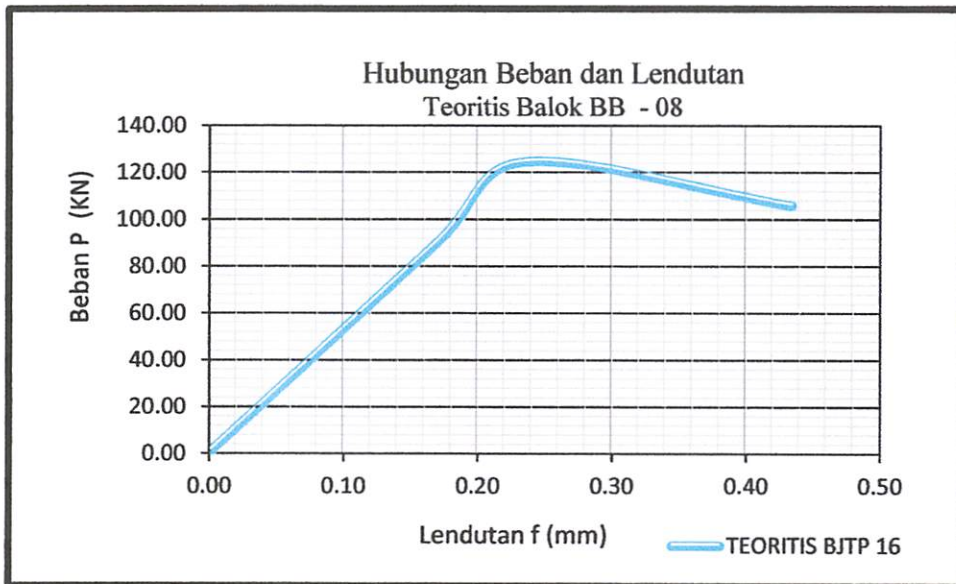
Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja

Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat

Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton

Kurva beban dan lendutan balok dengan tulangan BJTP (BB – 08) yang terlihat pada Grafik 3.3. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.6 yaitu angka-angka pada kolom 5

untuk arah horisontal (lendutan) dan kolom 4 untuk arah vertikal (beban terpusat).



Grafik 3.3 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB - 08

3. Grafik Regangan dan Tegangan

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

Tabel 3.7 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 08

No	f'_c	f_s	P	ϵ'_c
1	2	3	4	5
1	0.00	0.00	0.00	0
2	24.52	253.00	89.73	0,003
3	34.02	351.00	124.49	0,004257
4	28.92	298.35	105.81	0,006807

Keterangan Pengisian tabel 3.7

Pada Kolom 1 berisi No. Urut

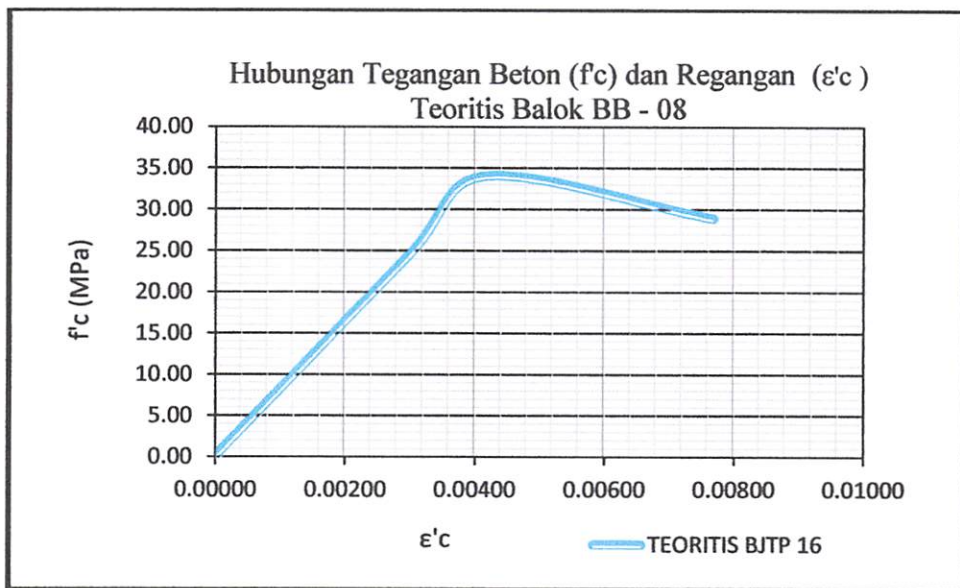
Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton

Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja

Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat

Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton

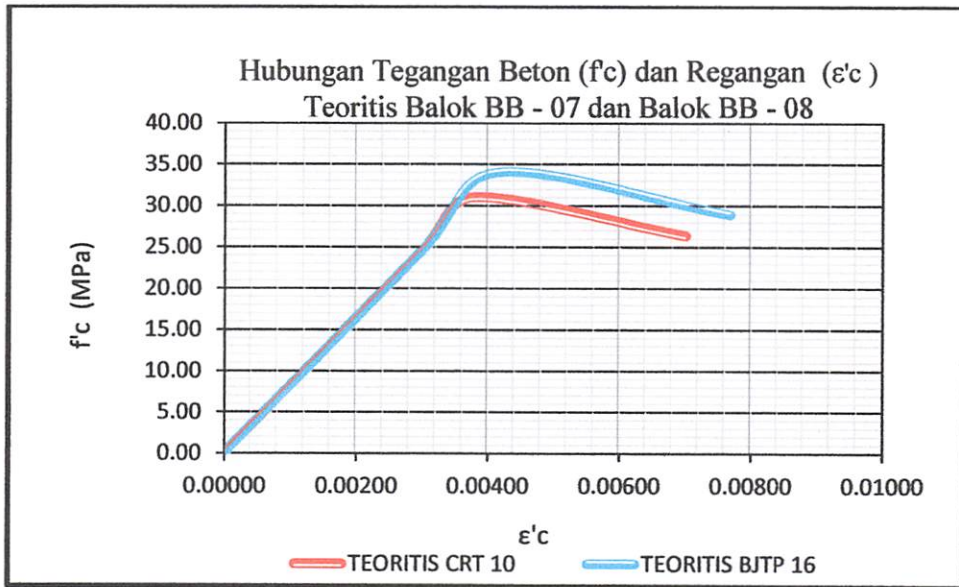
Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan BJTP (BB – 08) yang terlihat pada Grafik 3.4. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.7. yaitu angka-angka pada kolom 5 untuk arah horisontal (regangan) dan kolom 1 untuk arah vertikal (tegangan).



Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 08

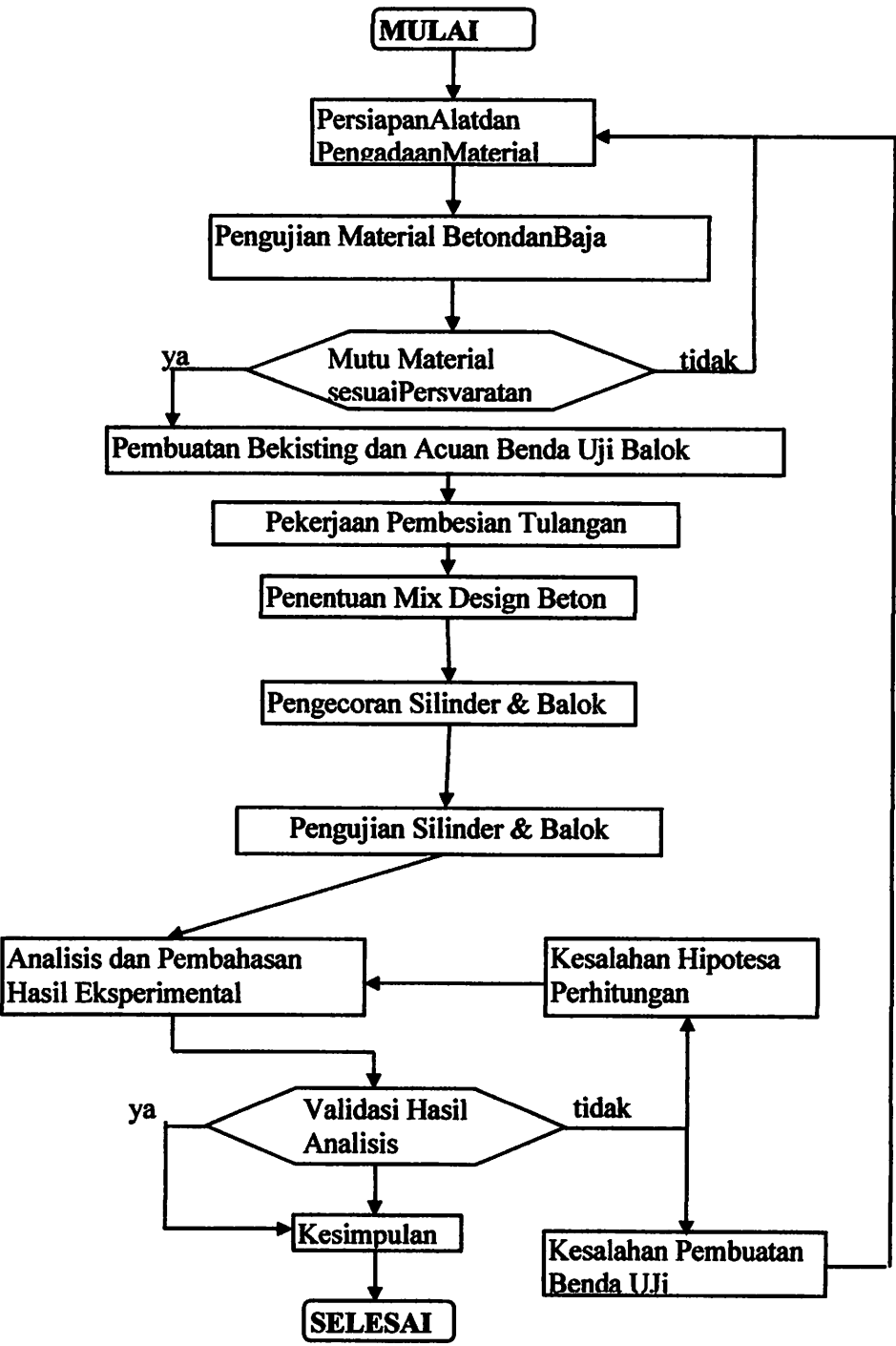
Grafik 3.5 dibawah adalah kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 07) dan balok dengan tulangan BJTP (BB – 08) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTP (BB – 08) mempunyai tegangan puncak yang lebih besar daripada balok dengan tulangan CRT (BB-07).

Namun pada nilai regangan, terlihat kedua balok mempunyai nilai regangan ultimit yang relatif sama.



Grafik 3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Gabungan
Balok BB – 07 dan Balok BB - 08

3.11 Bagan Alir Proses Penelitian



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

4.1.1. 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

4.1.2. 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.

4.1.3. PengujianKuat Tarik Baja

4.1.3.1.PengujianKuat Tarik tulangan BJTP Ø 16

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

Tabel 4.2PengujianKuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16

No.	Specimen	Area	Max Force	Yield strength	Tensile Strength	Elongation
		(mm ²)	(N)	(MPa)	(MPa)	(%)
1	BJTP Ø 16	176.24	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	

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

Maka tegangan leleh (fy) padaTulangan BJTP Ø 16 sebesar 253 MPa

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

Maka tegangan ultimate (fu) padaTulangan BJTP Ø 16 sebesar 351.2 MPa

4.1.3.2.PengujianKuat Tarik tulangan CRT # 10

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

Tabel 4.3Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10

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

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

Maka tegangan leleh (fy) 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 (fu) pada Tulangan CRT # 10 sebesar 576 MPa

4.1.3.3.PengujianKuat Tarik tulangan BJTD D 10

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

Tabel 4.4PengujianKuat Tarik Tulangan BJTD D 10

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

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

Maka tegangan leleh (fy) 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 (fu) padaTulangan BJTD D 10 sebesar 612 MPa

4.2. Balok Beton Tulangan CRT Dengan Panjang Penyaluran (BB-07)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB-07, 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.

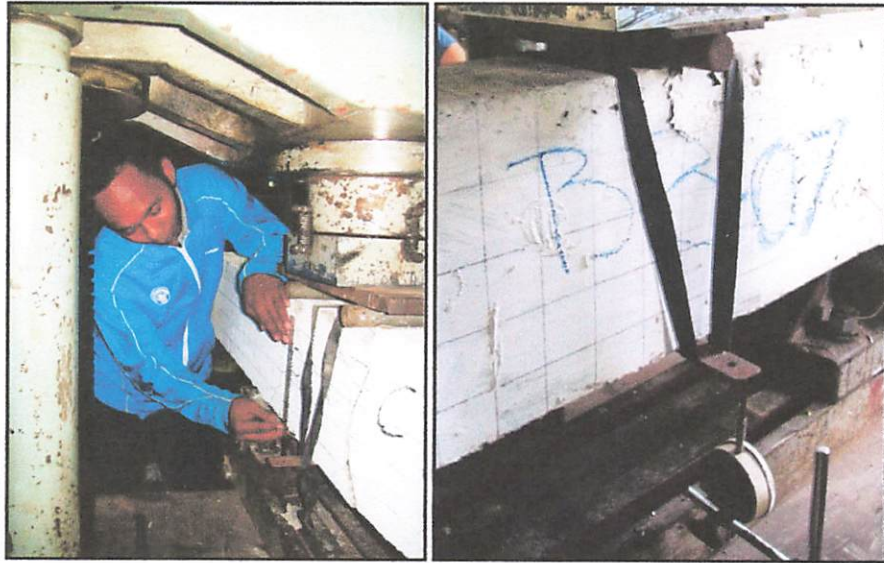
Mekanisme keruntuhan balok BB 07 - A diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 4,8 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak (ultimate). Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 6,4 \text{ ton}$ Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 4,8 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 07 - B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 5,2 \text{ ton}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 7,2 \text{ ton}$ Setelah

kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 4,4$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB 07 - C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 4,8$ 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 $P = 6,4$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 2,8$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 07 - D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 5,6$ 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 $P = 7,6$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 5,6$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.



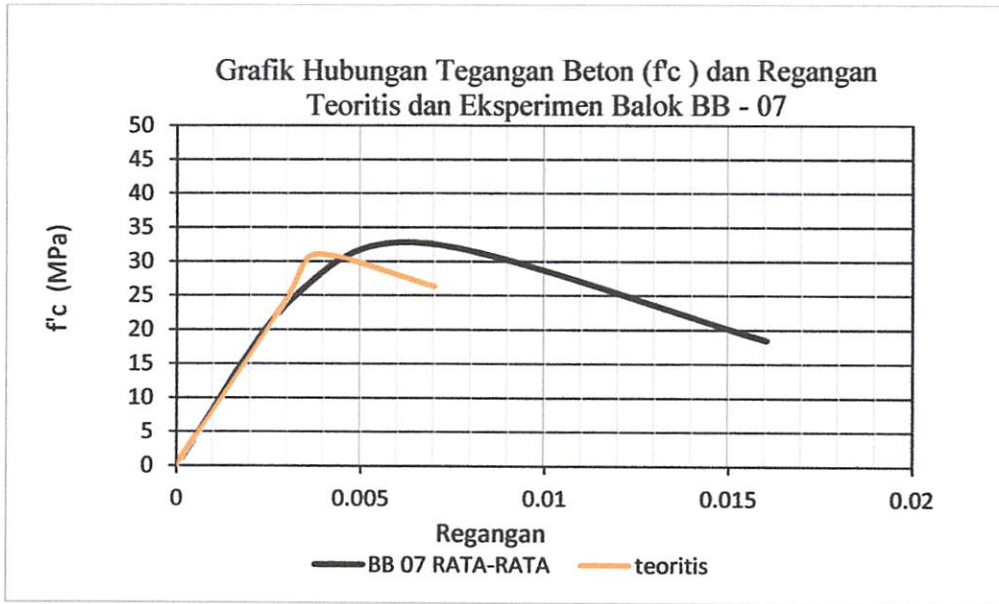
Gambar 4.1. Pengujian balok BB-07

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 kolom mula-mula yaitu $L = 400\text{mm}$ untuk memperoleh nilai regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada *Lampiran 1 Tabel L1.1*.

Kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 07 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran 1 Tabel L1.1-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 dengan Panjang Penyaluran BB- 07

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ'_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 07 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 32,64 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 31,04 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -4,91 %. Nilai regangan beton ϵ'_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,00681 sedangkan ϵ'_c hasil

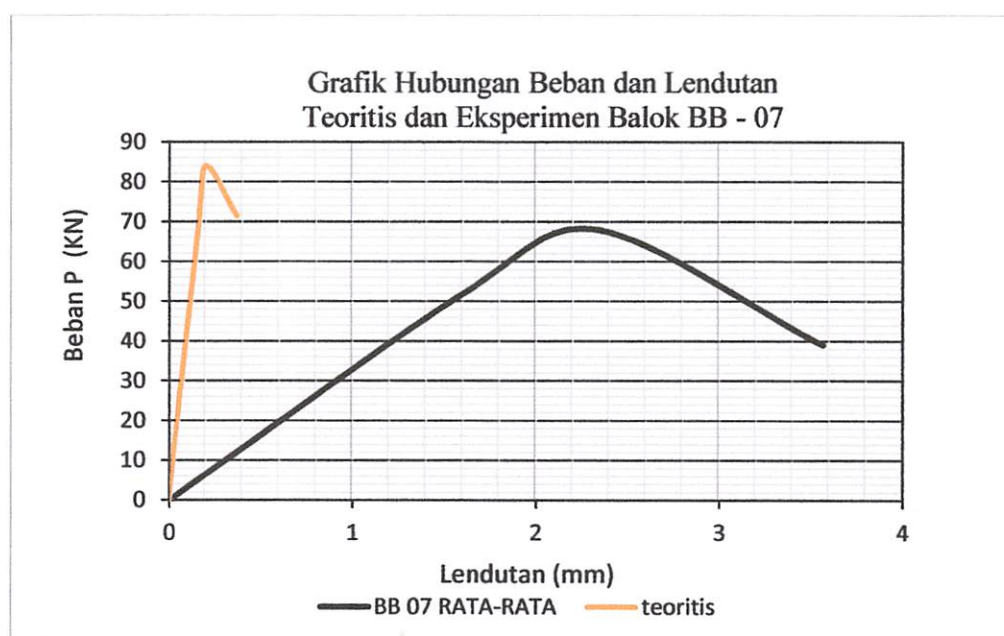
analisa teoritis sebesar 0,0038 atau mengalami perbedaan sebesar -44,20 %. Hasil Perbandingan f'_c dan ϵ'_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.5

Table 4.5 Perbandingan Tegangan Dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 07

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c	ϵ_c	f'_c	ϵ_c	f'_c	ϵ_c
1	BB-07A	31,04	0,00380	30,65	0,00520	1,27	-26,99
2	BB-07B	31,04	0,00380	33,95	0,00738	-8,57	-48,55
3	BB-07C	31,04	0,00380	32,69	0,00714	-5,05	-46,81
4	BB-07D	31,04	0,00380	33,28	0,00750	-6,72	-49,38
5	BB-07 Rata-rata	31,04	0,00380	32,64	0,00681	-4,91	-44,20

3. Kurva hubungan beban dan lendutan beton

Kurva hubungan momen dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-07 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 momen dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB – 07 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 dengan Panjang Penyaluran BB - 07

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan lendutan (f) pada kurva momen dan lendutan beton Balok BB - 07 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 68 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 83,97 kN sehingga terdapat perbedaan beban P_{maks} sebesar -19,02 %. Nilai lendutan beton f hasil analisa eksperimen sebesar 2,328 sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,203 atau mengalami perbedaan sebesar -91,33 %. 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 – 07

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f	P_{maks} (Kg)	f	P_{maks} (KN)	P_{maks}	f
1	BB-07A	0,20179	83,97	2,04000	60,00	39,95	-90,11
2	BB-07B	0,20179	83,97	2,43000	72,00	-14,25	-91,70
3	BB-07C	0,20179	83,97	2,39000	64,00	-23,78	-91,56
4	BB-07D	0,20179	83,97	2,45000	76,00	-9,49	-91,76
5	BB-07 Rata-rata	0,20179	83,97	2,32750	68,00	-19,02	-91,33

4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTP Dengan Panjang Penyaluran (BB-08)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB - 08, 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 08 - A diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada bagian tengah saat beban mencapai $P = 7,6 \text{ ton}$, 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 $P = 11,2 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 9,2 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga

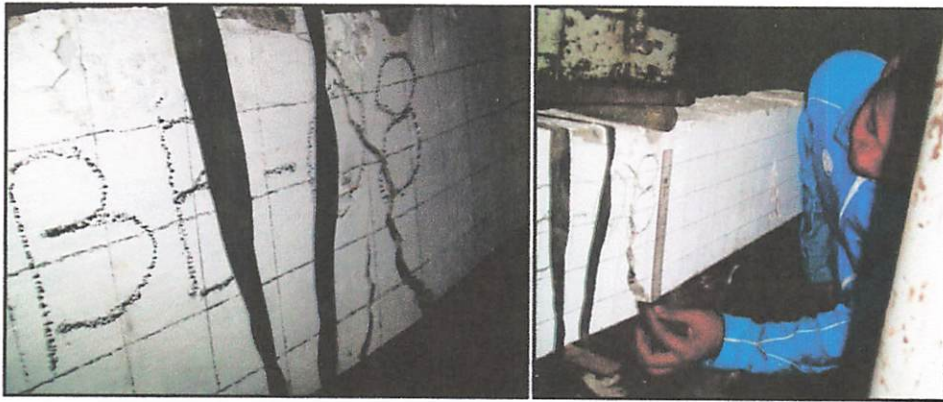
akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 08 - B, keruntuhan juga 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. 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 $P = 11,6 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB 08 - C bermula retak dari bagian 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 $P = 12,4 \text{ ton}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 11,6 \text{ ton}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB08-D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 8 \text{ ton}$ kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan

penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 11,6$ ton Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 10$ ton dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.



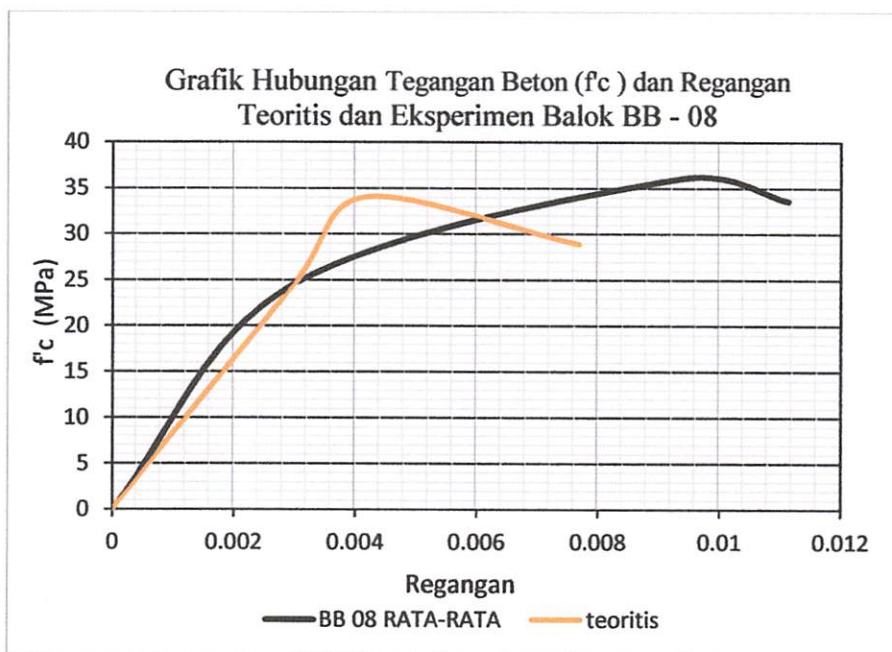
Gambar 4.2 Pengujian balok BB - 08

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 $L = 400\text{mm}$ 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 - 08 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan

dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran I Tabel L.1.2-E* yaitu angka-angka pada kolom 5 dan kolom 3. Sedangkan kurva tegangan- tegangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-08 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 dengan Panjang Penyaluran BB - 08

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.3, terlihat ada perbedaan nilai f'_{cc} , ϵ'_{cc} pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 08 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 36,02 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 34,02 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -5,56 %. Nilai regangan beton ϵ'_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,009 sedangkan ϵ'_c hasil analisa teoritis sebesar 0,004 atau mengalami perbedaan sebesar -55,39 %. Hasil Perbandingan f'_c , dan ϵ'_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.7.

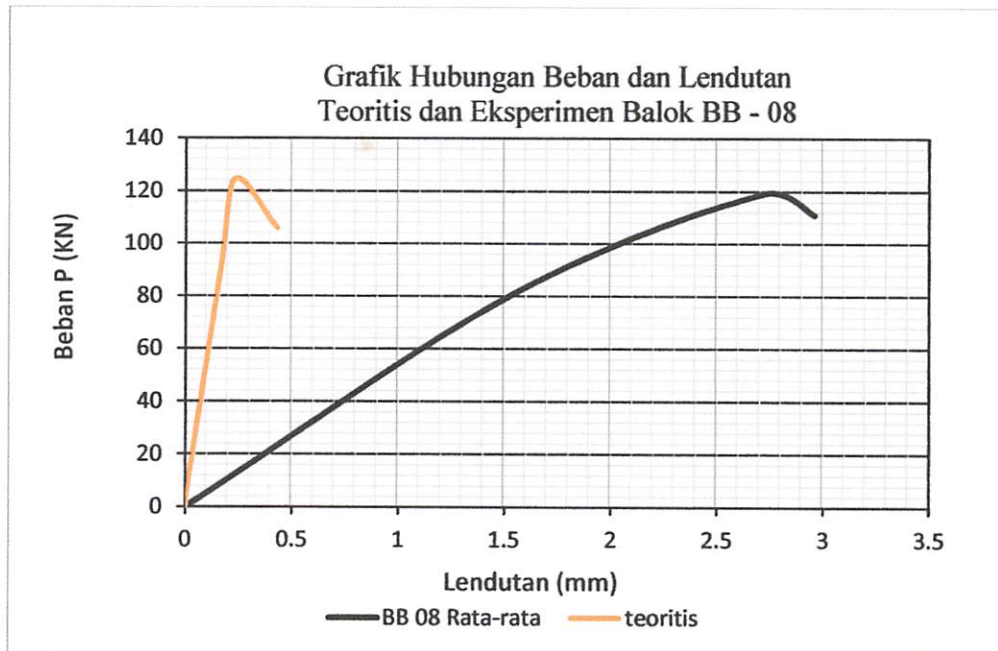
Table 4.7 Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 08

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c	ϵ_c	f'_c	ϵ_c	f'_c	ϵ_c
1	BB-08A	34,02	0,00416	36,13	0,00987	-5,86	-57,83
2	BB-08B	34,02	0,00416	36,20	0,00786	-6,02	-47,06
3	BB-08C	34,02	0,00416	36,20	0,01280	-6,02	-67,48
4	BB-08D	34,02	0,00416	35,55	0,00679	-4,32	-38,67
5	BB-08 Rata-rata	34,02	0,00416	36,02	0,00933	-5,56	-55,39

3. Kurva Hubungan Momen dan Lendutan

Kurva hubungan momen dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB-08 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 - 08 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-08

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 - 08 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 119 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 124,49 kN sehingga terdapat peningkatan beban P_{maks} sebesar 4,61 %. Nilai lendutan beton (f) hasil analisa

eksperimen sebesar 2,712 mm sedangkan f hasil analisa teoritis sebesar 0,24 mm atau mengalami perbedaan sebesar -91,32 %. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.8.

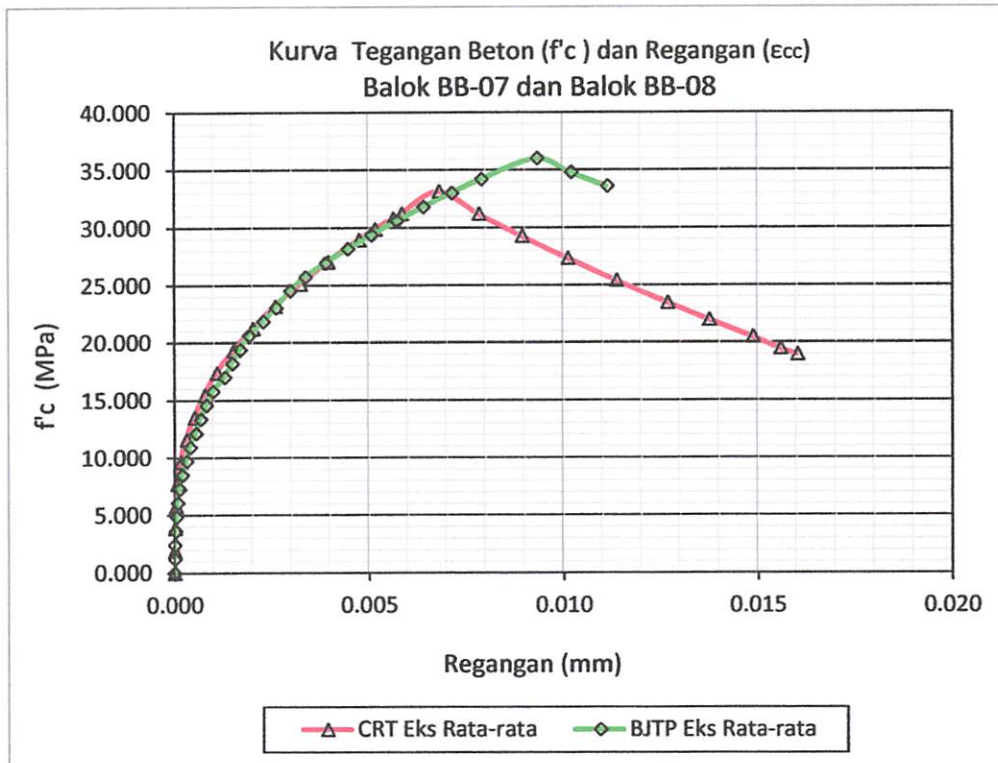
Table 4.8 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 08

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f	P_{maks} (Kg)	f	P_{maks} (Kg)	P_{maks}	f
1	BB-08A	0,23529	124,49	2,81000	112,00	11,15	-91,63
2	BB-08B	0,23529	124,49	2,50800	124,00	0,39	-90,62
3	BB-08C	0,23529	124,49	3,20000	124,00	0,39	-92,65
4	BB-08D	0,23529	124,49	2,33000	116,00	7,32	-89,90
5	BB-08 Rata-rata	0,23529	124,49	2,71200	119,00	4,61	-91,32

4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB-07 terhadap Balok BB-08

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.5, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ'_c . Pada kurva tegangan-regangan balok BB - 07 dan balok BB - 08 sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ'_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB - 07 mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 32,64 MPa sedangkan f'_c hasil analisa balok BB-08 sebesar 36,02 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -9,38 %. Nilai regangan beton ϵ'_c hasil analisa balok BB - 07 sebesar 0,0068 sedangkan ϵ'_c hasil analisa balok BB - 08 sebesar 0,009 atau terjadi perbedaan sebesar -27,04 %.



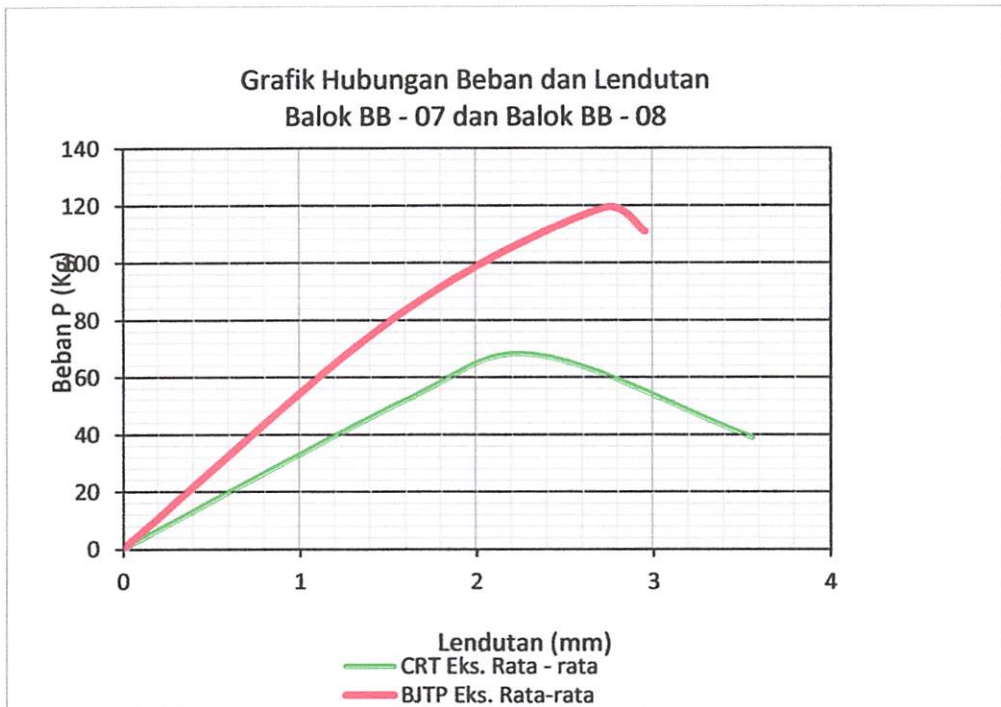
Grafik 4.5. Kurva Tegangan - Regangan Balok BB - 07 dan Balok BB - 08

4.5. Perbandingan Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-07 Terhadap Balok BB-08

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan f_c pada kurva beban dan lendutan balok BB-07 dan balok BB-08 sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB - 07 mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 6,800 ton sedangkan P_{maks} hasil analisa balok BB - 08 sebesar 11,900 ton sehingga terdapat perbedaan kuat tekan

sebesar -42,9 %. Nilai lendutan beton f hasil analisa balok BB-07 sebesar 2,327 sedangkan f hasil analisa balok BB - 08 sebesar 2,712 atau terjadi perbedaan sebesar -14,2%.



Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB – 07 dan Balok BB - 08

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

Pada tabel 4.9 dibawah, terlihat Balok BB07 dengan rasio tulangan $A_{st} = 0,79$, perbedaan $f_y = 202 \text{ MPa}$ dan $f_u = 224,60 \text{ MPa}$ ternyata terjadi inefisiensi jika dibandingkan dengan Balok BB-08.

.Tabel 4.9Perbandingan efektifitas balok dengan tulangan CRT (BB– 07)
terhadap Balok dengan tulangan BJTP(BB –08)

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	ε_c	f	Pmaks (KN)	Pmaks	f'_c	ε_c	f
BB-07 (CRT)	557	705	0,79	455	575,80	202	224,60	32,64	0,0068	2,33	68	-42,9	-9,38	-27,04	-14,18
BB-08 (BJTP)				253	351,2			36,02	0,0093	2,71	119				

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Penggunaan tulangan CRT pada balok BB-07 ternyata terjadi Inefisiensi jika dibandingkan dengan balok tulangan BJTP (BB-08), dimana terjadi perbedaan P_{maks} sebesar -42,9 kN, f'_c sebesar -9,38%, ϵ'_c sebesar -27,04% dan lendutan f sebesar -14,18%.
2. Dari model kurva tegangan regangan balok BB-07 dan BB-08 (*Grafik 4.6*) terlihat bahwa pada balok dengan tulangan CRT (BB-07) mempunyai sudut tegangan sedikit lebih besar dari pada balok dengan tulangan BJTP (BB-08). Namun pada regangan, balok dengan tulangan CRT (BB-07) memiliki sudut yang jauh lebih kecil dari balok dengan tulangan BJTP (BB-08). Dengan katalain Tulangan CRT baik untuk perencanaan komponen lentur terhadap gempa karena mempunyai daktilitas yang jauh lebih baik.
3. Berdasarkan hasil analisa eksperimen (*tabel 4.6*) balok dengan tulangan CRT (BB-07) pada beban P ultimate 68 kN mengalami lendutan sebesar 2,33 mm namun pada balok dengan tulangan BJTP (BB-08) pada beban P Ultimit 119 kN mengalami lendutan sebesar 2,71 mm. Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur P ultimate berbeda -42,9% dan lendutan berbeda -14,18%.

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 mobilesasi benda uji.**
- 2. Penentuan dimensi benda uji baik ukuran balok maupun jumlah tulangan sangat mempengaruhi analisa baik secara teoritis maupun eksperimental.**

DAFTAR PUSAKA

- 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 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*, Bandung.
- 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.
- Naeim F., 1989, *Seismic Design Handbook*, New York : Van Nostrand Reinhold.
- Nawi E.G., 1998, *Beton Bertulang*, Bandung : Refika Aditama.
- Park R., Paulay T., 1975, *Reinforced Concrete Structure*, New York : John Wiley and Sons.
- Paulay T. Priestley M.J.N., 1991, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, 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 dolenkapi Penjelasan (S-2002)*, ITS Surabaya.
- Uniform Bilding Code, 1997, *Structural Engineering Design Provisions Volume 2*, New York : International Conference of Building Official.

Wang C.K., Salmon C. G., 1979, *Reinforced Concrete Design*, New York :
Harper and Row.

National Readymix Concrete Association, 2000, *Concrete In Practice (NRMCA)*.

Hermanto Sigid, *Pemeriksaan Kapasitas Lentur Dan Geser Pada Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Dari Lebar Sengkang*, Universitas Muhammadiyah Malang, Department of Civil Engineering - student-research.umm.ac.id

Dewobroto Wiryanto, 2005, *Simulasi Keruntuhan Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang dengan ADINATM*, Prosiding Seminar Nasional “Rekayasa Material dan Konstruksi Beton 2005”, Jurusan Teknik Sipil ITENAS 4 Juni 2005 , Hotel Grand Aquilla, Bandung.

Erfan Muhammad, 2010, *Kekuatan Lekatan (Bond) dan Panjang Penyaluran Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (Tulangan Spiral) Pada Beton Mutu Tinggi*, Penelitian Mahasiswa Teknik Struktur S2 ITS, 2010

Latuconsina, Syafruddin Ishak, 2010, *Karakteristik Lekatan (Bond) dan Panjang Penyaluran (Development Length) Pada Beton Normal Dengan Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (CRT(Tulangan Puntir))*, Penelitian Mahasiswa Teknik Struktur S2 ITS, 2010

Tabel L1.1-A
Benda Uji BB-07A (CRT dengan Penyaluran)

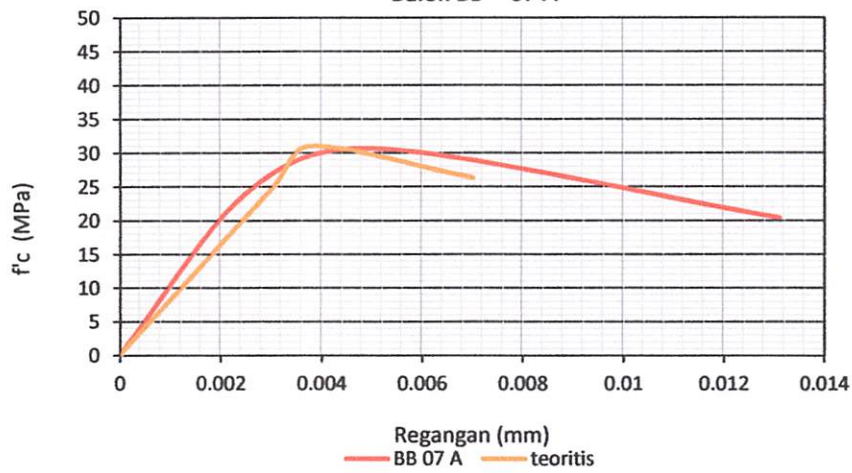
ket.	P (Kg)	x mm	d x ² mm ²	f (400 ² + x ²) ^{0.5} mm	ε= f-400 mm	M kgmm	f'c MPa	fs MPa
	0	0	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	4	0.040	400.000	0.000	80000	2.043	37.917
	800	7	0.070	400.000	0.000	160000	4.087	75.833
	1200	13	0.130	400.000	0.000	240000	6.130	113.750
	1600	24	0.240	400.000	0.000	320000	8.173	151.667
	2000	39	0.390	400.000	0.000	400000	10.217	189.583
	2400	54	0.540	400.000	0.000	480000	12.260	227.500
	2800	69	0.690	400.001	0.001	560000	14.303	265.417
	3200	84	0.840	400.001	0.001	640000	16.347	303.333
	3600	99	0.990	400.001	0.001	720000	18.390	341.250
	4000	114	1.140	400.002	0.002	800000	20.433	379.167
	4400	129	1.290	400.002	0.002	880000	22.477	417.083
RETAK 1	4800	144	2.074	400.003	0.003	960000	24.520	455.000
	5200	159	2.528	400.003	0.003	1040000	26.563	492.917
	5600	174	3.028	400.004	0.004	1120000	28.607	530.833
	6000	189	3.572	400.004	0.004	1200000	30.650	568.750
RUNTUH	6000	204	4.162	400.005	0.005	1200000	30.650	568.750
	6000	219	4.796	400.006	0.006	1200000	30.650	568.750
	6000	234	5.476	400.007	0.007	1200000	30.650	568.750
	6000	249	6.200	400.008	0.008	1200000	30.650	568.750
	5600	264	6.970	400.009	0.009	1120000	28.607	530.833
	5200	279	7.784	400.010	0.010	1040000	26.563	492.917
	4800	294	8.644	400.011	0.011	960000	24.520	455.000
	4400	309	9.548	400.012	0.012	880000	22.477	417.083
	4000	324	10.498	400.013	0.013	800000	20.433	379.167

Ket:

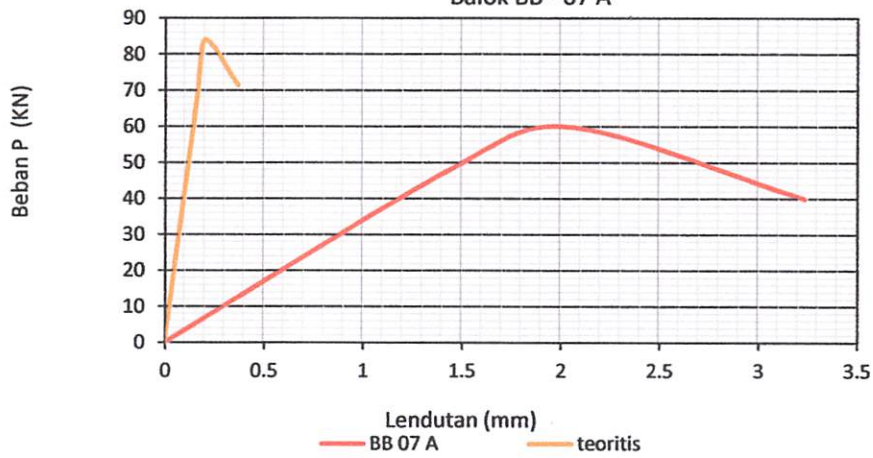
$$f'c = \frac{p_n}{p_{retak I}} 24,52$$

$$fs = \frac{p_n}{p_{retak I}} fy$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 07 A



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 07 A



Tabel L1.1-B
Benda Uji BB-07B (CRT dengan Penyaluran)

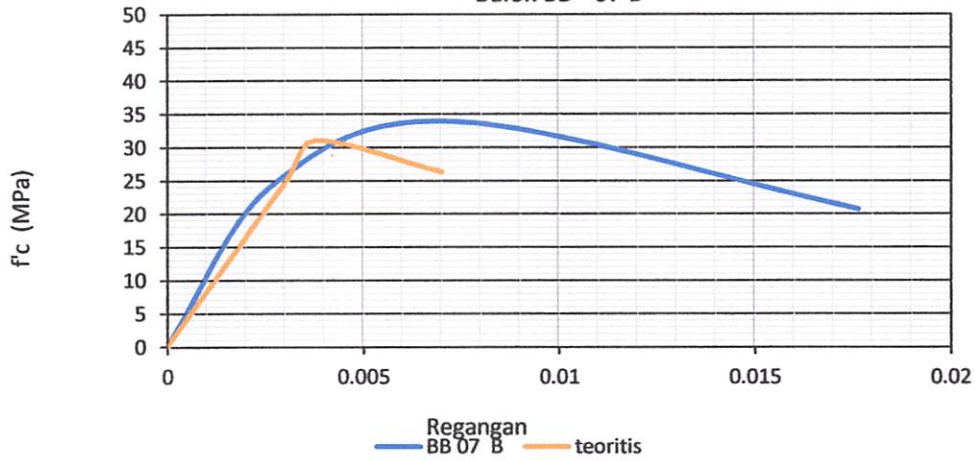
ket.	P		x	d	f				
	(Kg)		mm	mm ²	mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	8	0.080	0.006	400.000	0.000	80000	1.886	35.000
	800	16	0.160	0.026	400.000	0.000	160000	3.772	70.000
	1200	24	0.240	0.058	400.000	0.000	240000	5.658	105.000
	1600	32	0.320	0.102	400.000	0.000	320000	7.545	140.000
	2000	40	0.400	0.160	400.000	0.000	400000	9.431	175.000
	2400	48	0.480	0.230	400.000	0.000	480000	11.317	210.000
	2800	56	0.560	0.314	400.000	0.000	560000	13.203	245.000
	3200	64	0.640	0.410	400.001	0.001	640000	15.089	280.000
	3600	72	0.720	0.518	400.001	0.001	720000	16.975	315.000
	4000	91	0.910	0.828	400.001	0.001	800000	18.862	350.000
	4400	110	1.100	1.210	400.002	0.002	880000	20.748	385.000
	4800	129	1.290	1.664	400.002	0.002	960000	22.634	420.000
RETAK I	5200	148	1.480	2.190	400.003	0.003	1040000	24.520	455.000
	5600	167	1.670	2.789	400.003	0.003	1120000	26.406	490.000
	6000	186	1.860	3.460	400.004	0.004	1200000	28.292	525.000
	6400	205	2.050	4.203	400.005	0.005	1280000	30.178	560.000
	6800	224	2.240	5.018	400.006	0.006	1360000	32.065	595.000
RUNTUH	7200	243	2.430	5.905	400.007	0.007	1440000	33.951	630.000
	6800	262	2.620	6.864	400.009	0.009	1360000	32.065	595.000
	6400	281	2.810	7.896	400.010	0.010	1280000	30.178	560.000
	6000	300	3.000	9.000	400.011	0.011	1200000	28.292	525.000
	5600	319	3.190	10.176	400.013	0.013	1120000	26.406	490.000
	5200	338	3.380	11.424	400.014	0.014	1040000	24.520	455.000
	4800	357	3.570	12.745	400.016	0.016	960000	22.634	420.000
	4400	376	3.760	14.138	400.018	0.018	880000	20.748	385.000

Ket:

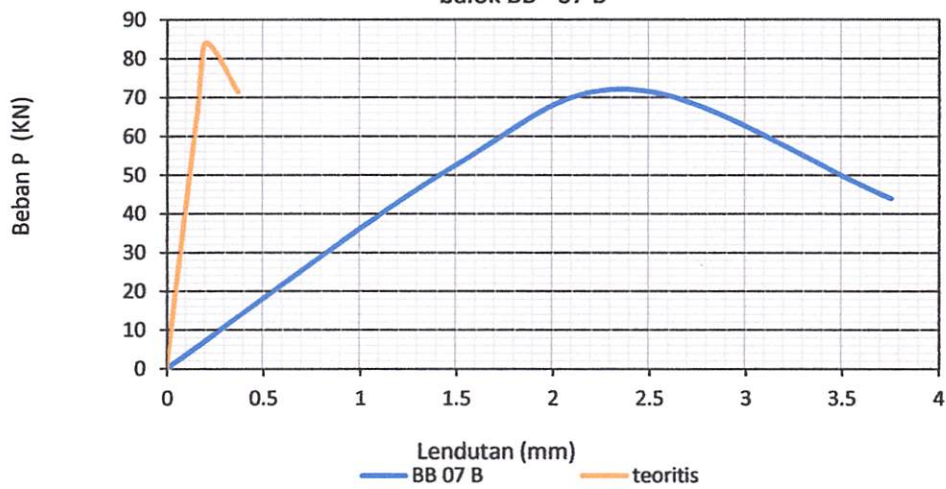
$$f_c = \frac{p_n}{p_{retak I}} 24,52$$

$$f_s = \frac{p_n}{p_{retak I}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 07 B



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
balok BB - 07 B



Tabel L1.1-C
Benda Uji BB-07C (CRT dengan Penyaluran)

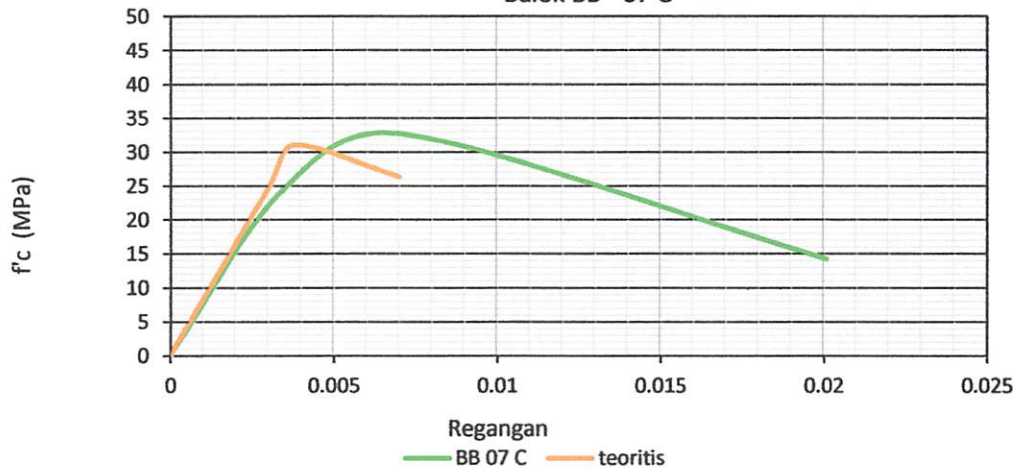
ket.	P		x	d	f			f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5}	ε= f-400	M	MPa	MPa
	0	0	0	0	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	11	0.110	0.012	400.000	0.000	80000	2.043	37.917
	800	13	0.130	0.017	400.000	0.000	160000	4.087	75.833
	1200	19	0.190	0.036	400.000	0.000	240000	6.130	113.750
	1600	23	0.230	0.053	400.000	0.000	320000	8.173	151.667
	2000	41	0.410	0.168	400.000	0.000	400000	10.217	189.583
	2400	59	0.590	0.348	400.000	0.000	480000	12.260	227.500
	2800	77	0.770	0.593	400.001	0.001	560000	14.303	265.417
	3200	95	0.950	0.903	400.001	0.001	640000	16.347	303.333
	3600	113	1.130	1.277	400.002	0.002	720000	18.390	341.250
	4000	131	1.310	1.716	400.002	0.002	800000	20.433	379.167
	4400	149	1.490	2.220	400.003	0.003	880000	22.477	417.083
RETAK 1	4800	167	1.670	2.789	400.003	0.003	960000	24.520	455.000
	5200	185	1.850	3.423	400.004	0.004	1040000	26.563	492.917
	5600	203	2.030	4.121	400.005	0.005	1120000	28.607	530.833
	6000	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1200000	30.650	568.750
RUNTUH	6400	239	2.390	5.712	400.007	0.007	1280000	32.693	606.667
	6000	257	2.570	6.605	400.008	0.008	1200000	30.650	568.750
	5600	275	2.750	7.563	400.009	0.009	1120000	28.607	530.833
	5200	293	2.930	8.585	400.011	0.011	1040000	26.563	492.917
	4800	311	3.110	9.672	400.012	0.012	960000	24.520	455.000
	4400	329	3.290	10.824	400.014	0.014	880000	22.477	417.083
	4000	347	3.470	12.041	400.015	0.015	800000	20.433	379.167
	3600	365	3.650	13.323	400.017	0.017	720000	18.390	341.250
	3200	383	3.830	14.669	400.018	0.018	640000	16.347	303.333
	2800	401	4.010	16.080	400.020	0.020	560000	14.303	265.417

Ket:

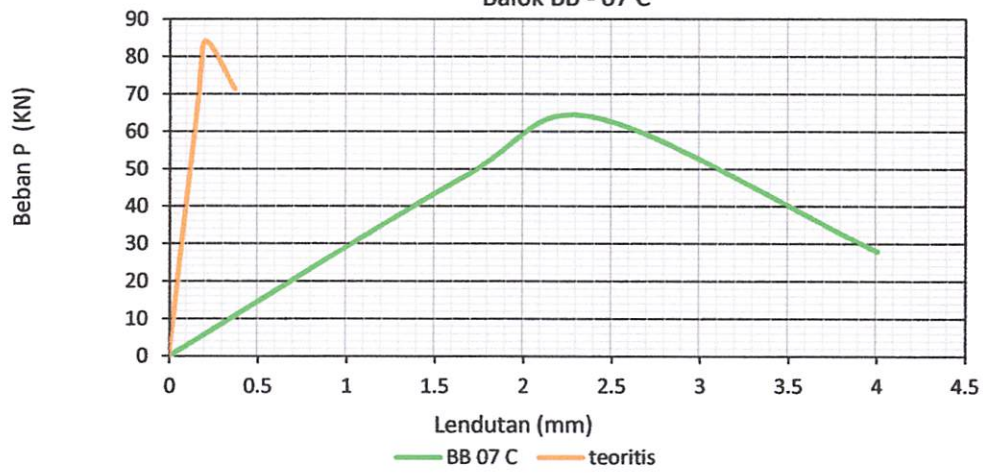
$$f'c = \frac{p_n}{p_{retak\ 1}} 24,52$$

$$fs = \frac{p_n}{p_{retak\ 1}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 07 C



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 07 C



Tabel L1.1-D

Benda Uji BB-07D (CRT dengan Penyaluran)

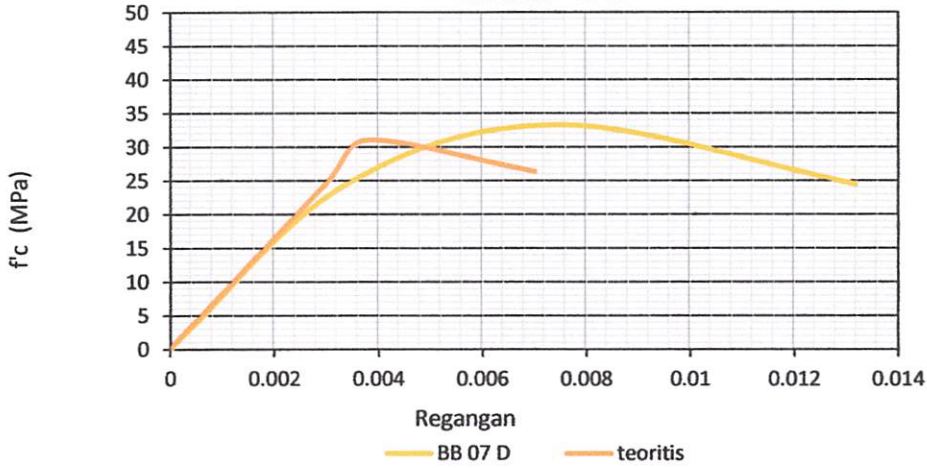
ket.	P		x	d	f		M	f _c	f _s
	(Kg)		mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$	$\epsilon = f/400$	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0	0	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	3	0.030	0.001	400.000	0.000	80000	1.751	32.500
	800	7	0.070	0.005	400.000	0.000	160000	3.503	65.000
	1200	12	0.120	0.014	400.000	0.000	240000	5.254	97.500
	1600	19	0.190	0.036	400.000	0.000	320000	7.006	130.000
	2000	21	0.210	0.044	400.000	0.000	400000	8.757	162.500
	2400	37	0.370	0.137	400.000	0.000	480000	10.509	195.000
	2800	53	0.530	0.281	400.000	0.000	560000	12.260	227.500
	3200	69	0.690	0.476	400.001	0.001	640000	14.011	260.000
	3600	85	0.850	0.723	400.001	0.001	720000	15.763	292.500
	4000	101	1.010	1.020	400.001	0.001	800000	17.514	325.000
	4400	117	1.170	1.369	400.002	0.002	880000	19.266	357.500
	4800	133	1.330	1.769	400.002	0.002	960000	21.017	390.000
	5200	149	1.490	2.220	400.003	0.003	1040000	22.769	422.500
RETAK I	5600	165	1.650	2.723	400.003	0.003	1120000	24.520	455.000
	6000	181	1.810	3.276	400.004	0.004	1200000	26.271	487.500
	6400	197	1.970	3.881	400.005	0.005	1280000	28.023	520.000
	6800	213	2.130	4.537	400.006	0.006	1360000	29.774	552.500
	7200	229	2.290	5.244	400.007	0.007	1440000	31.526	585.000
RUNTUH	7600	245	2.450	6.003	400.008	0.008	1520000	33.277	617.500
	7200	261	2.610	6.812	400.009	0.009	1440000	31.526	585.000
	6800	277	2.770	7.673	400.010	0.010	1360000	29.774	552.500
	6400	293	2.930	8.585	400.011	0.011	1280000	28.023	520.000
	6000	309	3.090	9.548	400.012	0.012	1200000	26.271	487.500
	5600	325	3.250	10.563	400.013	0.013	1120000	24.520	455.000

Ket:

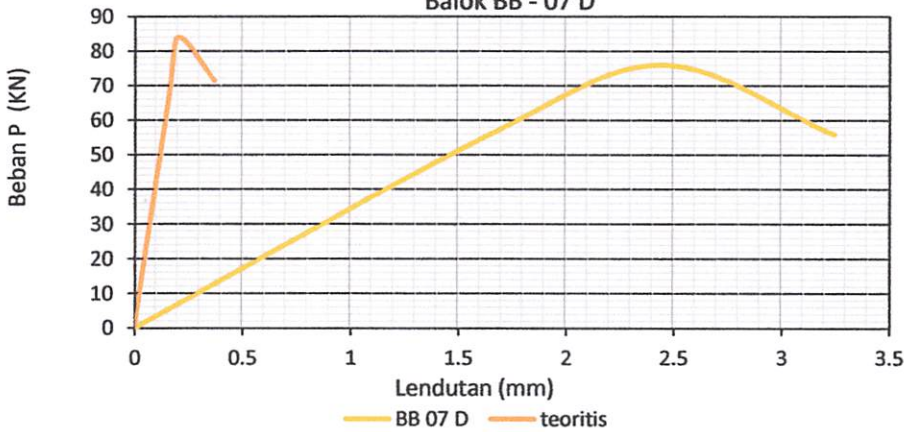
$$f_c = \frac{p_n}{p_{retak I}} 24,52$$

$$f_s = \frac{p_n}{p_{retak I}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 07 D



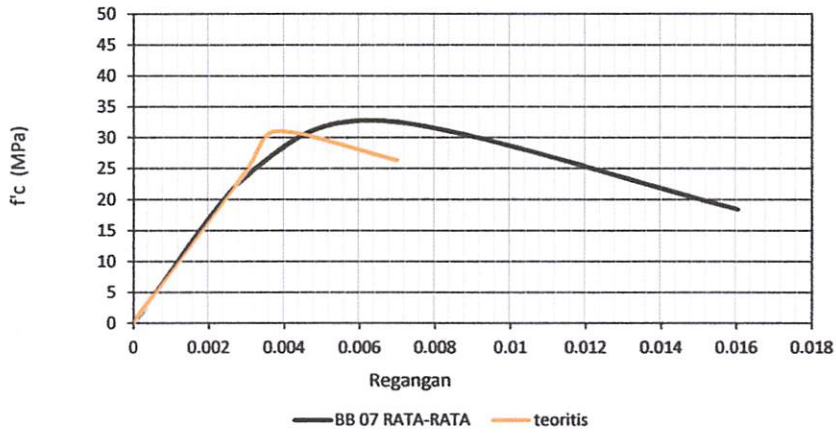
Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 07 D



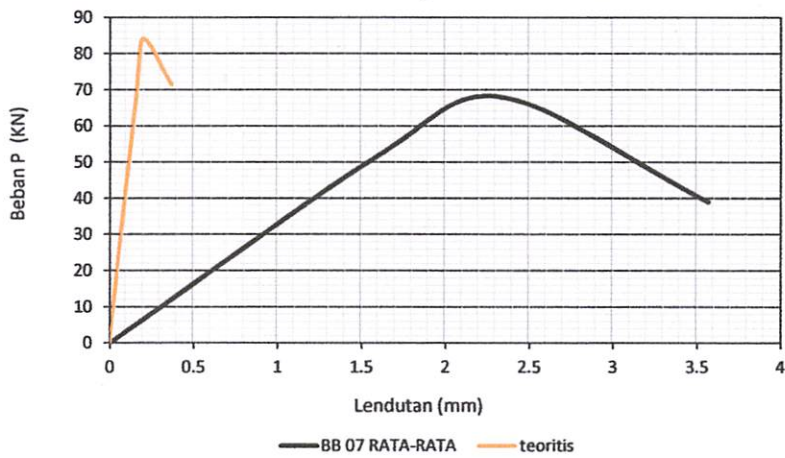
Tabel L1.1-E
Rata - rata Benda Uji BB-07 (CRT dengan Penyaluran)

P rata-rata Kgmm	Lendutan mm	erata-rata Kgmm	Mrata-rata Kgmm	f'c rata-rata MPa	fs rata-rata MPa
1	2	3	4	5	6
0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
400	0.065	0.000	80000	1.931	35.833
800	0.108	0.000	160000	3.862	71.667
1200	0.170	0.000	240000	5.793	107.500
1600	0.245	0.000	320000	7.724	143.333
2000	0.353	0.000	400000	9.655	179.167
2400	0.495	0.000	480000	11.586	215.000
2800	0.638	0.001	560000	13.517	250.833
3200	0.780	0.001	640000	15.448	286.667
3600	0.923	0.001	720000	17.380	322.500
4000	1.093	0.002	800000	19.311	358.333
4400	1.263	0.002	880000	21.242	394.167
4800	1.433	0.003	960000	23.173	430.000
5200	1.603	0.003	1040000	25.104	465.833
5600	1.773	0.004	1120000	27.035	501.667
6000	1.943	0.005	1200000	28.966	537.500
6200	2.030	0.005	1240000	29.875	554.375
6400	2.118	0.006	1280000	30.785	571.250
6500	2.158	0.006	1300000	31.223	579.375
6800	2.328	0.007	1360000	32.643	605.729
6400	2.498	0.008	1280000	30.712	569.896
6000	2.668	0.009	1200000	28.781	534.063
5600	2.838	0.010	1120000	26.850	498.229
5200	3.008	0.011	1040000	24.919	462.396
4800	3.178	0.0127	960000	22.988	426.563
4500	3.308	0.0137	900000	21.494	398.854
4200	3.438	0.0149	840000	20.001	371.146
4000	3.520	0.0156	800000	18.979	352.188
3900	3.565	0.0160	780000	18.469	342.708

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f_c) dan Regangan
Teoritis dan Eksperimen Balok BB - 07



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Teoritis dan Eksperimen Balok BB - 07



Tabel L1.2-A
Benda Uji BB-08A (BJTP dengan Penyaluran)

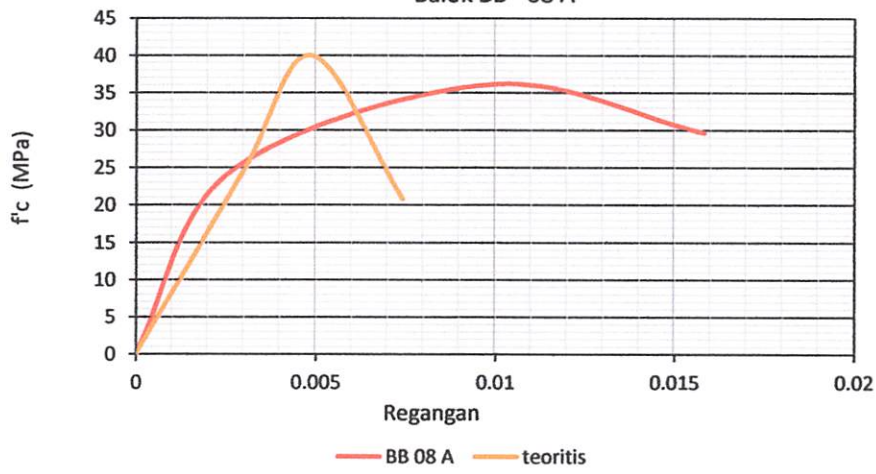
ket.	P		x	d	f		M	f'c	fs
	(Kg)		mm	mm ²	mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	8	0.080	0.006	400.000	0.000	80000	1.291	22.737
	800	13	0.130	0.017	400.000	0.000	160000	2.581	45.474
	1200	24	0.240	0.058	400.000	0.000	240000	3.872	68.211
	1600	29	0.290	0.084	400.000	0.000	320000	5.162	90.947
	2000	31	0.310	0.096	400.000	0.000	400000	6.453	113.684
	2400	38	0.380	0.144	400.000	0.000	480000	7.743	136.421
	2800	42	0.420	0.176	400.000	0.000	560000	9.034	159.158
	3200	46	0.460	0.212	400.000	0.000	640000	10.324	181.895
	3600	50	0.500	0.250	400.000	0.000	720000	11.615	204.632
	4000	54	0.540	0.292	400.000	0.000	800000	12.905	227.368
	4400	58	0.580	0.336	400.000	0.000	880000	14.196	250.105
	4800	62	0.620	0.384	400.000	0.000	960000	15.486	272.842
	5200	75	0.750	0.563	400.001	0.001	1040000	16.777	295.579
	5600	80	0.804	0.646	400.001	0.001	1120000	18.067	318.316
	6000	86	0.857	0.735	400.001	0.001	1200000	19.358	341.053
	6400	91	0.911	0.829	400.001	0.001	1280000	20.648	363.789
	6800	116	1.160	1.346	400.002	0.002	1360000	21.939	386.526
	7200	131	1.310	1.716	400.002	0.002	1440000	23.229	409.263
RETAK I	7600	146	1.460	2.132	400.003	0.003	1520000	24.520	432.000
	8000	161	1.610	2.592	400.003	0.003	1600000	25.811	454.737
	8400	176	1.760	3.098	400.004	0.004	1680000	27.101	477.474
	8800	191	1.910	3.648	400.005	0.005	1760000	28.392	500.211
	9200	206	2.060	4.244	400.005	0.005	1840000	29.682	522.947
	9600	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1920000	30.973	545.684
	10000	236	2.360	5.570	400.007	0.007	2000000	32.263	568.421
	10400	251	2.510	6.300	400.008	0.008	2080000	33.554	591.158
	10800	266	2.660	7.076	400.009	0.009	2160000	34.844	613.895
RUNTUH	11200	281	2.810	7.896	400.010	0.010	2240000	36.135	636.632
	10800	296	2.960	8.762	400.011	0.011	2160000	34.844	613.895
	10400	311	3.110	9.672	400.012	0.012	2080000	33.554	591.158
	10000	326	3.260	10.628	400.013	0.013	2000000	32.263	568.421
	9600	341	3.410	11.628	400.015	0.015	1920000	30.973	545.684
	9200	356	3.560	12.674	400.016	0.016	1840000	29.682	522.947

Ket:

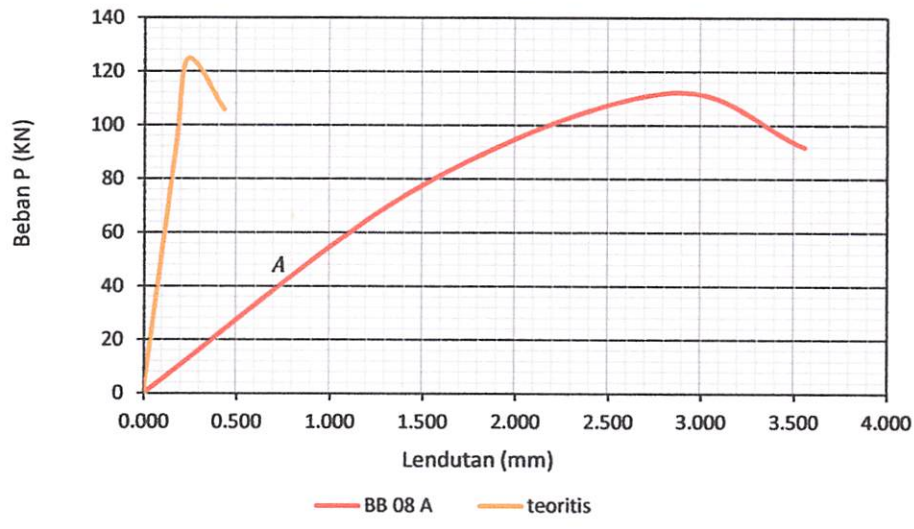
$$f'c = \frac{P_n}{P_{retak I}} 24,52$$

$$fs = \frac{P_n}{P_{retak I}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 08 A



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 08 A



Tabel L1.2-B

Benda Uji BB-08B (BUTP dengan Penyaluran)

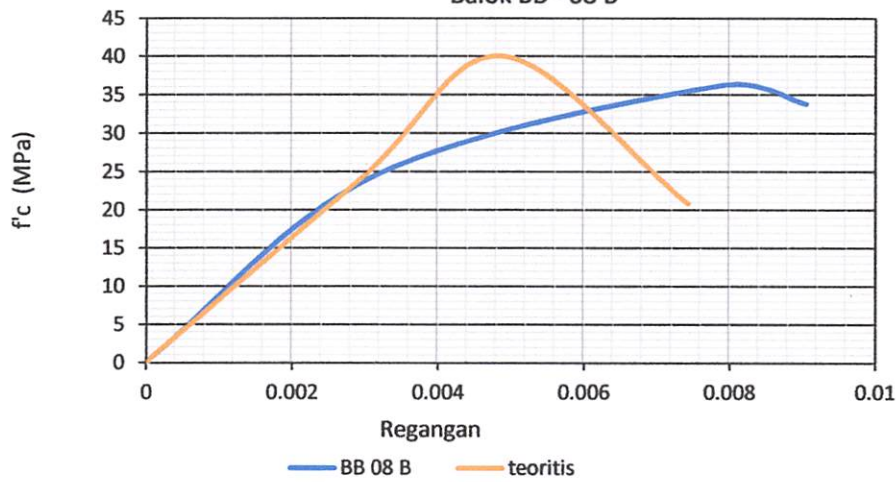
				d	f				
Ket.	P	x	x ²	(400 ² + x ²) ^{√0.5}	ε = f-400	M	f _c	f _s	
	(Kg)	mm	mm ²	mm	mm	Kgmm	MPa	MPa	
	0	0	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000	
	400	2	0.02	0.000	0.000	80000	1.168	20.571	
	800	4	0.04	0.002	0.000	160000	2.335	41.143	
	1200	4	0.04	0.002	0.000	240000	3.503	61.714	
	1600	8	0.08	0.006	0.000	320000	4.670	82.286	
	2000	15	0.15	0.023	0.000	400000	5.838	102.857	
	2400	22	0.22	0.048	0.000	480000	7.006	123.429	
	2800	29	0.29	0.084	0.000	560000	8.173	144.000	
	3200	36	0.36	0.130	0.000	640000	9.341	164.571	
	3600	43	0.43	0.185	0.000	720000	10.509	185.143	
	4000	50	0.5	0.250	0.000	800000	11.676	205.714	
	4400	57	0.57	0.325	0.000	880000	12.844	226.286	
	4800	64	0.64	0.410	0.001	960000	14.011	246.857	
	5200	71	0.71	0.504	0.001	1040000	15.179	267.429	
	5600	78	0.78	0.608	0.001	1120000	16.347	288.000	
	6000	104	1.036	1.073	0.001	1200000	17.514	308.571	
	6400	113	1.128	1.272	0.002	1280000	18.682	329.143	
	6800	122	1.22	1.488	0.002	1360000	19.850	349.714	
	7200	131	1.312	1.721	0.002	1440000	21.017	370.286	
	7600	140	1.404	1.971	0.002	1520000	22.185	390.857	
	8000	150	1.496	2.238	0.003	1600000	23.352	411.429	
RETAK I	8400	159	1.588	2.522	0.003	1680000	24.520	432.000	
	8800	168	1.68	2.822	0.004	1760000	25.688	452.571	
	9200	177	1.772	3.140	0.004	1840000	26.855	473.143	
	9600	186	1.864	3.474	0.004	1920000	28.023	493.714	
	10000	196	1.956	3.826	0.005	2000000	29.190	514.286	
	10400	205	2.048	4.194	0.005	2080000	30.358	534.857	
	10800	214	2.14	4.580	0.006	2160000	31.526	555.429	
	11200	223	2.232	4.982	0.006	2240000	32.693	576.000	
	11600	232	2.324	5.401	0.007	2320000	33.861	596.571	
	12000	242	2.416	5.837	0.007	2400000	35.029	617.143	
RUNTUH	12400	251	2.508	6.290	0.008	2480000	36.196	637.714	
	12000	260	2.6	6.760	0.008	2400000	35.029	617.143	
	11600	269	2.692	7.247	0.009	2320000	33.861	596.571	

Ket:

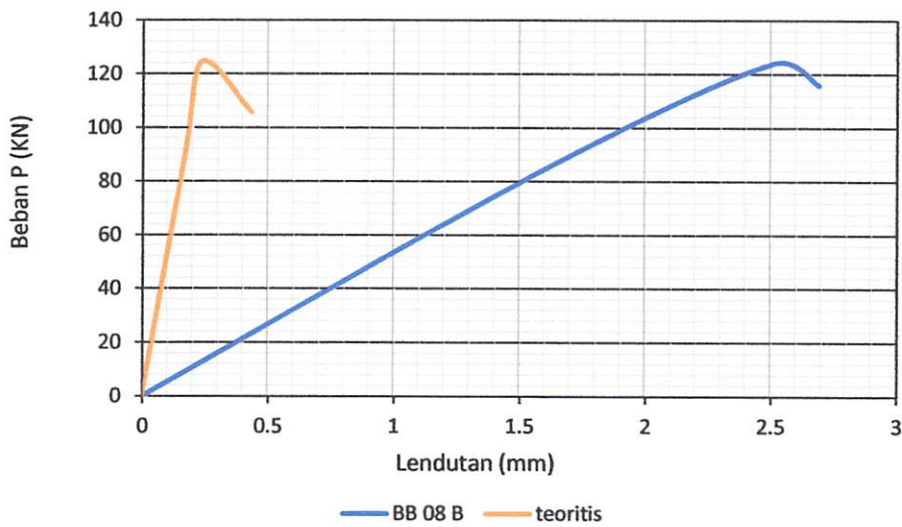
$$f_c = \frac{P_n}{p_{retak\,I}} 24,52$$

$$f_s = \frac{P_n}{p_{retak\,I}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 08 B



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 08 B



Tabel L1.2-C

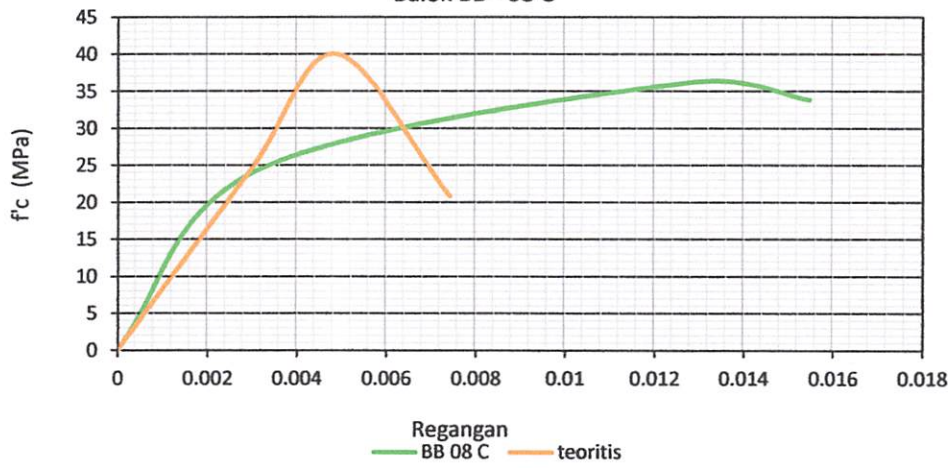
Benda Uji BB-08C (BJTP dengan Penyaluran)									
ket.	P		x	d	f				
	(Kg)		mm	mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5}	ε= f-400	M	f _c	f _s
					mm	mm	Kgmm	MPa	MPa
	0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	1	0.010	0.000	400.000	0.000	80000	1.168	20.571
	800	1	0.010	0.000	400.000	0.000	160000	2.335	41.143
	1200	7	0.070	0.005	400.000	0.000	240000	3.503	61.714
	1600	12	0.120	0.014	400.000	0.000	320000	4.670	82.286
	2000	23	0.230	0.053	400.000	0.000	400000	5.838	102.857
	2400	32	0.320	0.102	400.000	0.000	480000	7.006	123.429
	2800	45	0.450	0.203	400.000	0.000	560000	8.173	144.000
	3200	65	0.650	0.423	400.001	0.001	640000	9.341	164.571
	3600	68	0.680	0.462	400.001	0.001	720000	10.509	185.143
	4000	71	0.710	0.504	400.001	0.001	800000	11.676	205.714
	4400	89	0.890	0.792	400.001	0.001	880000	12.844	226.286
	4800	97	0.970	0.941	400.001	0.001	960000	14.011	246.857
	5200	108	1.075	1.156	400.001	0.001	1040000	15.179	267.429
	5600	118	1.180	1.392	400.002	0.002	1120000	16.347	288.000
	6000	124	1.240	1.538	400.002	0.002	1200000	17.514	308.571
	6400	130	1.300	1.690	400.002	0.002	1280000	18.682	329.143
	6800	136	1.360	1.850	400.002	0.002	1360000	19.850	349.714
	7200	142	1.420	2.016	400.003	0.003	1440000	21.017	370.286
	7600	148	1.480	2.190	400.003	0.003	1520000	22.185	390.857
	8000	154	1.540	2.372	400.003	0.003	1600000	23.352	411.429
RETAK I	8400	160	1.600	2.560	400.003	0.003	1680000	24.520	432.000
	8800	176	1.760	3.098	400.004	0.004	1760000	25.688	452.571
	9200	192	1.920	3.686	400.005	0.005	1840000	26.855	473.143
	9600	208	2.080	4.326	400.005	0.005	1920000	28.023	493.714
	10000	224	2.240	5.018	400.006	0.006	2000000	29.190	514.286
	10400	240	2.400	5.760	400.007	0.007	2080000	30.358	534.857
	10800	256	2.560	6.554	400.008	0.008	2160000	31.526	555.429
	11200	272	2.720	7.398	400.009	0.009	2240000	32.693	576.000
	11600	288	2.880	8.294	400.010	0.010	2320000	33.861	596.571
	12000	304	3.040	9.242	400.012	0.012	2400000	35.029	617.143
RUNTUH	12400	320	3.200	10.240	400.013	0.013	2480000	36.196	637.714
	12000	336	3.360	11.290	400.014	0.014	2400000	35.029	617.143
	11600	352	3.520	12.390	400.015	0.015	2320000	33.861	596.571

Ket:

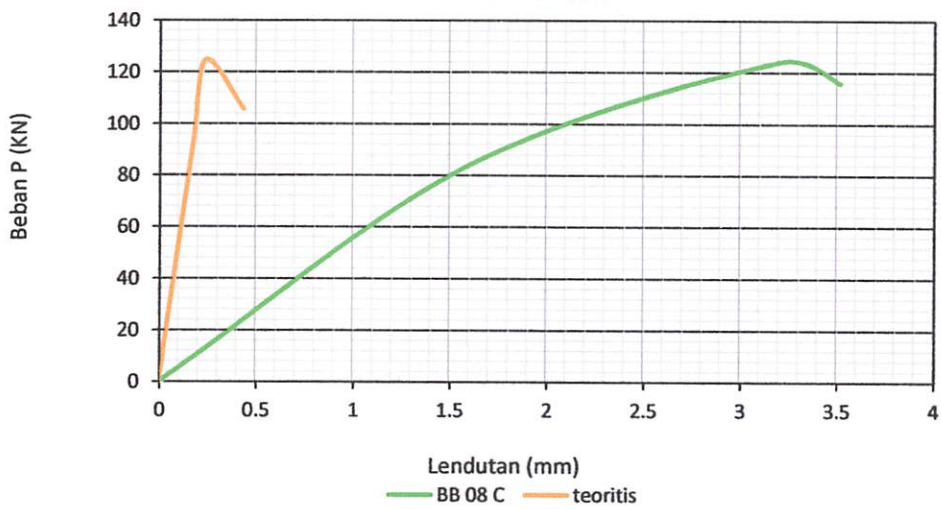
$$f_c = \frac{p_n}{p_{retak I}} 24,52$$

$$f_s = \frac{p_n}{p_{retak I}} f_y$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 08 C



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 08 C



Tabel L1.2-D
Benda Uji BB-08D (BJTP dengan Penyaluran)

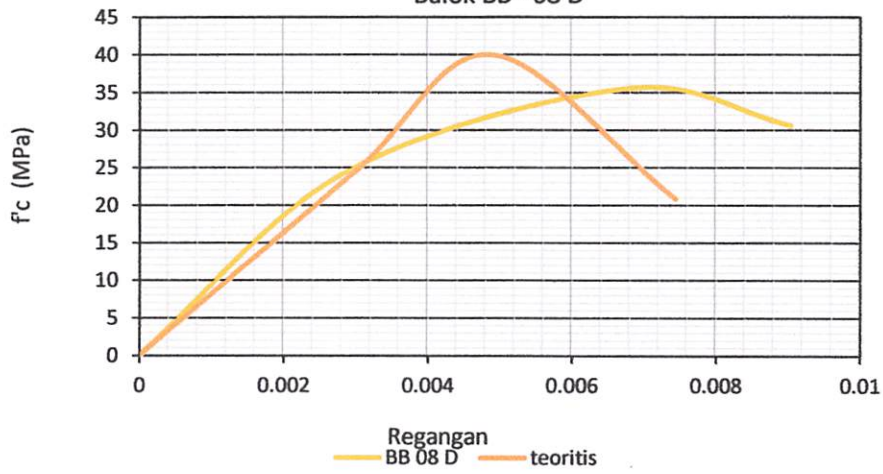
ket.	P (Kg)	x mm	d x ² mm ²	f (400 ² + x ²)/0.5 mm	ε= f-400 mm	M kgmm	f'c MPa	fs MPa
	0	0	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
	400	5	0.003	400.000	0.000	80000	1.226	21.600
	800	7	0.005	400.000	0.000	160000	2.452	43.200
	1200	13	0.017	400.000	0.000	240000	3.678	64.800
	1600	25	0.063	400.000	0.000	320000	4.904	86.400
	2000	29	0.084	400.000	0.000	400000	6.130	108.000
	2400	36	0.130	400.000	0.000	480000	7.356	129.600
	2800	43	0.185	400.000	0.000	560000	8.582	151.200
	3200	50	0.250	400.000	0.000	640000	9.808	172.800
	3600	57	0.325	400.000	0.000	720000	11.034	194.400
	4000	64	0.410	400.001	0.001	800000	12.260	216.000
	4400	71	0.504	400.001	0.001	880000	13.486	237.600
	4800	80	0.640	400.001	0.001	960000	14.712	259.200
	5200	89	0.792	400.001	0.001	1040000	15.938	280.800
	5600	98	0.960	400.001	0.001	1120000	17.164	302.400
	6000	107	1.145	400.001	0.001	1200000	18.390	324.000
	6400	116	1.346	400.002	0.002	1280000	19.616	345.600
	6800	125	1.563	400.002	0.002	1360000	20.842	367.200
	7200	134	1.796	400.002	0.002	1440000	22.068	388.800
	7600	143	2.045	400.003	0.003	1520000	23.294	410.400
RETAK I	8000	152	2.310	400.003	0.003	1600000	24.520	432.000
	8400	161	2.592	400.003	0.003	1680000	25.746	453.600
	8800	170	2.890	400.004	0.004	1760000	26.972	475.200
	9200	179	3.204	400.004	0.004	1840000	28.198	496.800
	9600	188	3.534	400.004	0.004	1920000	29.424	518.400
	10000	197	3.881	400.005	0.005	2000000	30.650	540.000
	10400	206	4.244	400.005	0.005	2080000	31.876	561.600
	10800	215	4.623	400.006	0.006	2160000	33.102	583.200
	11200	224	5.018	400.006	0.006	2240000	34.328	604.800
RUNTUH	11600	233	5.429	400.007	0.007	2320000	35.554	626.400
	11200	242	5.856	400.007	0.007	2240000	34.328	604.800
	10800	251	6.300	400.008	0.008	2160000	33.102	583.200
	10400	260	6.760	400.008	0.008	2080000	31.876	561.600
	10000	269	7.236	400.009	0.009	2000000	30.650	540.000

Ket:

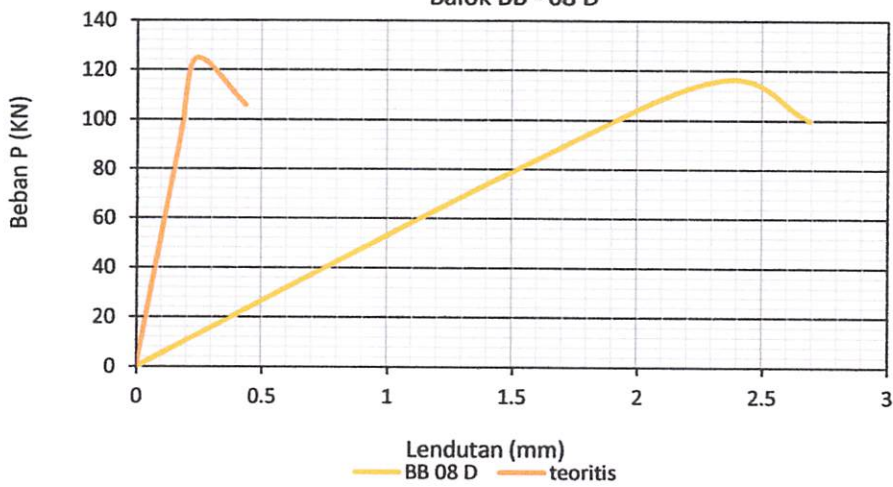
$$f'c = \frac{p_n}{p_{retak I}} 24,52$$

$$fs = \frac{p_n}{p_{retak I}} fy$$

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f'_c) dan Regangan
Balok BB - 08 D



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Balok BB - 08 D

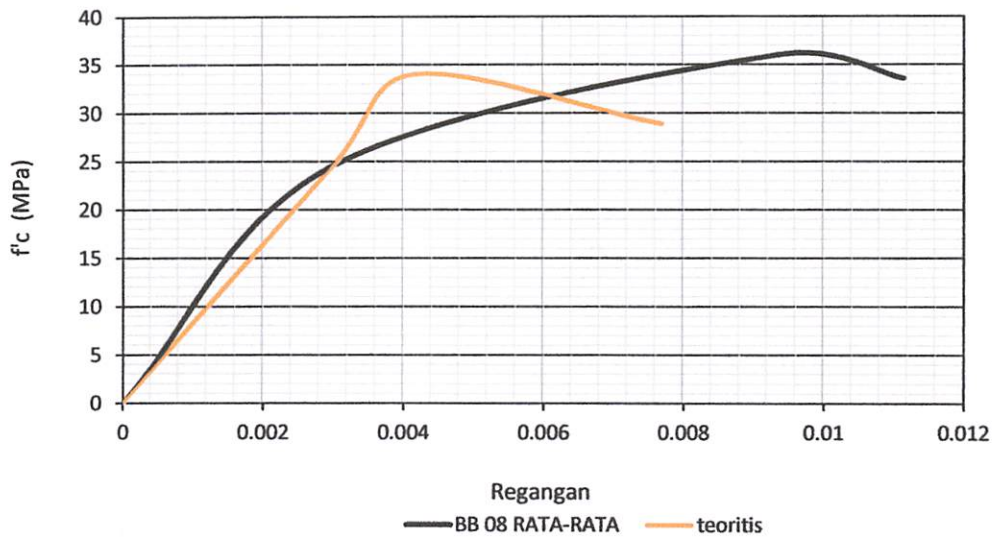


Tabel L1.2-E

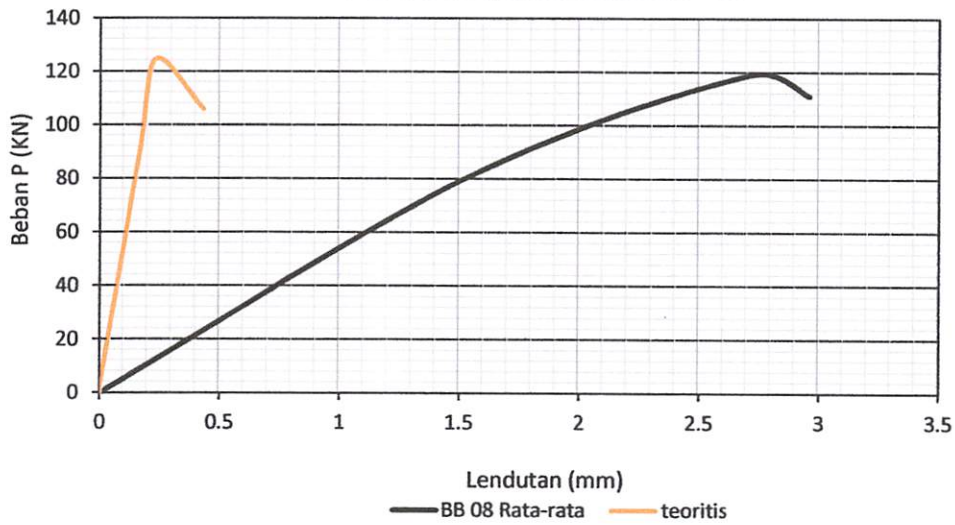
Rata - rata Benda Uji BB-08 (BJTP dengan Penyaluran)

P rata-rata	Lendutan	erata-rata	Mrata-rata	f'c rata-rata	fs rata-rata
Kgmm	mm	Kgmm	Kgmm	MPa	MPa
1	2	3	4	5	6
0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
400	0.040	0.000	80000	1.213	21.370
800	0.063	0.000	160000	2.426	42.740
1200	0.120	0.000	240000	3.639	64.110
1600	0.185	0.000	320000	4.852	85.480
2000	0.245	0.000	400000	6.065	106.850
2400	0.320	0.000	480000	7.278	128.220
2800	0.398	0.000	560000	8.491	149.589
3200	0.493	0.000	640000	9.704	170.959
3600	0.545	0.000	720000	10.916	192.329
4000	0.598	0.001	800000	12.129	213.699
4400	0.688	0.001	880000	13.342	235.069
4800	0.758	0.001	960000	14.555	256.439
5200	0.856	0.001	1040000	15.768	277.809
5600	0.936	0.001	1120000	16.981	299.179
6000	1.051	0.001	1200000	18.194	320.549
6400	1.125	0.002	1280000	19.407	341.919
6800	1.248	0.002	1360000	20.620	363.289
7200	1.346	0.002	1440000	21.833	384.659
7600	1.444	0.003	1520000	23.046	406.029
8100	1.542	0.003	1620000	24.520	432.000
8400	1.665	0.003	1700000	25.733	453.370
8800	1.788	0.004	1780000	26.946	474.740
9200	1.911	0.004	1860000	28.159	496.110
9600	2.034	0.005	1940000	29.372	517.480
10000	2.157	0.006	2020000	30.585	538.850
10400	2.280	0.006	2100000	31.798	560.220
10800	2.403	0.007	2180000	33.011	581.589
11200	2.526	0.008	2260000	34.224	602.959
11900	2.712	0.009	2380000	36.020	634.615
11500	2.835	0.010	2300000	34.807	613.245
11100	2.958	0.011	2220000	33.594	591.875

Grafik Hubungan Tegangan Beton (f_c) dan Regangan
Teoritis dan Eksperimen Balok BB - 08



Grafik Hubungan Beban dan Lendutan
Teoritis dan Eksperimen Balok BB - 08



LAMPIRAN L2.1
PERANCANGAN CAMPURAN BETON

No	Uraian	Tabel, Perhitungan,Peraturan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	22,5 N/mm ² pada umur 28 hari
2	Standar Deviasi	Ditetapkan	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)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$ $f_{cr} = 22,5 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 23,685 \text{ N/mm}^2$
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 presentasi agregat kasar	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.6	Didapat 0,63 atau 63%
20	Berat Jenis Beton	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.7.1	2345 kg/m ³
21	Jumlah Agregat Kasar	(18) x (17)	$0,63 \times 1600 = 1008 \text{ kg}$
Sehingga didapat :			
22	Air	(12)	205 kg
23	Semen	(14)	315,4 kg
24	Agregat Kasar	(21)	1008 kg
25	Total	(22) + (23) + (24)	1528,4 kg
26	Agregat Halus	(20) - (25)	$2345 - 1528,4 = 816,6 \text{ kg}$
Volume padat 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)	0,688 m ³
32	Volume padat dari pasir	1 - (31)	$1 - 0,688 = 0,302 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	(32) x (16)	$0,302 \times 2674 = 807,55 \text{ kg}$
Maka didapat Campuran Beton :			
	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	205 kg/m ³	205 kg/m ³
35	Semen	315,4 kg/m ³	315,4 kg/m ³
36	Agregat Kasar	1008 kg/m ³	1008 kg/m ³
37	Agregat Halus	816,6 kg/m ³	807,55 kg/m ³

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

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

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

No	Kode	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur Beton	Berat (kg)	Diameter (cm)	Luas (cm2)	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-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	12.82	15	176.71459	60600	342.92585	34.29259	27.718896	43.213382	2.388	24.519
2	B2	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.00	15	176.71459	54800	310.10456	31.01046		10.8343673		
3	B3	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	12.92	15	176.71459	54000	305.57749	30.55775		8.05908417		
4	B4	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.10	15	176.71459	45400	256.91145	25.69114		4.11177764		
5	B5	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.12	15	176.71459	45800	259.17498	25.9175		3.24503537		
6	B6	25-Oct-10	24-Nov-10	30 Hari	13.04	15	176.71459	46400	262.57029	26.25703		2.13705695		
7	B7	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.12	15	176.71459	44800	253.51614	25.35161		5.60402602		
8	B8	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.90	15	176.71459	52800	298.78688	29.87869		4.66469943		
9	B9	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.94	15	176.71459	52400	296.52334	29.65233		3.73818183		
10	B10	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	12.92	15	176.71459	45800	259.17498	25.9175		3.24503537		
11	B11	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.07	15	176.71459	47400	268.22913	26.82291		0.80278622		
12	B12	27-Oct-10	24-Nov-10	28 Hari	13.17	15	176.71459	37600	212.77248	21.27725		41.4948413		
												131.150274		

Foto Dokumentasi Proses Penelitian

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

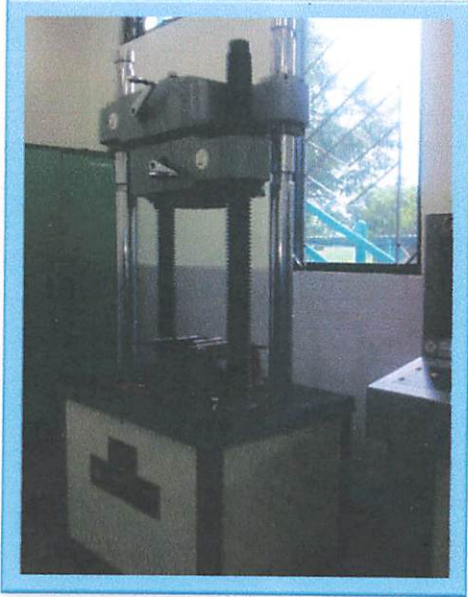


Foto Proses pemasangan benda uji pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II ,Institut Teknologi Nasional Malang

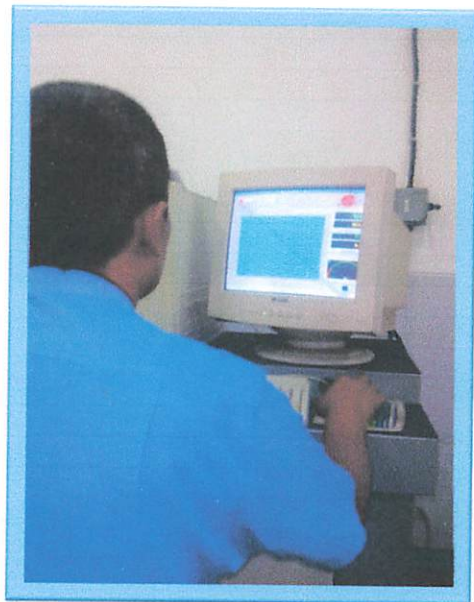


Foto Proses pengujian KuatTarik Baja pada Tensile Testing Machine di LaboratoriumTeknik Mesin Kampus II ,Institut Teknologi Nasional Malang

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

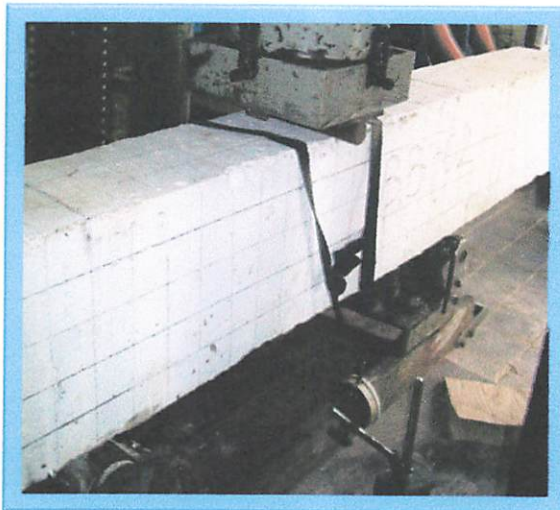


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

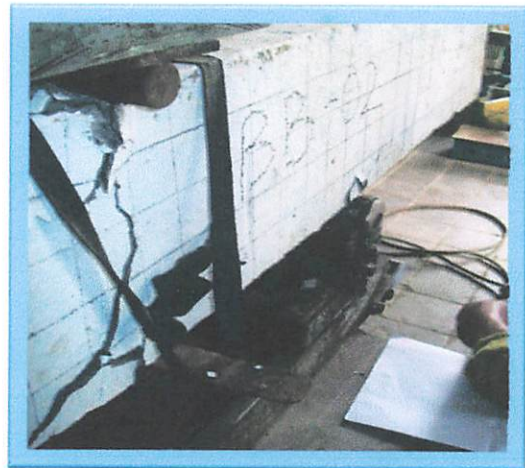


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya



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



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

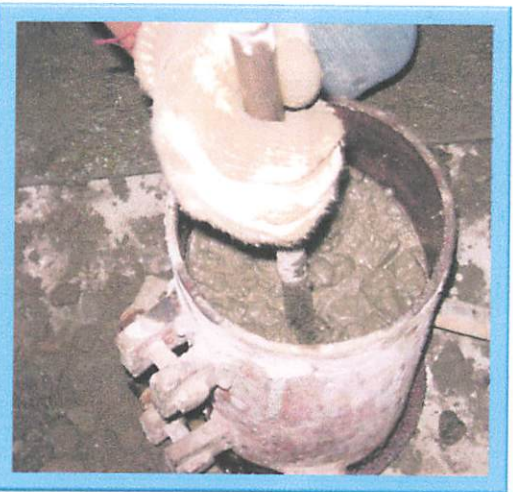


Foto1.3 : Pemasakan Benda Uji Silinder



Foto 1.6 : Pengujian Silinder Beton

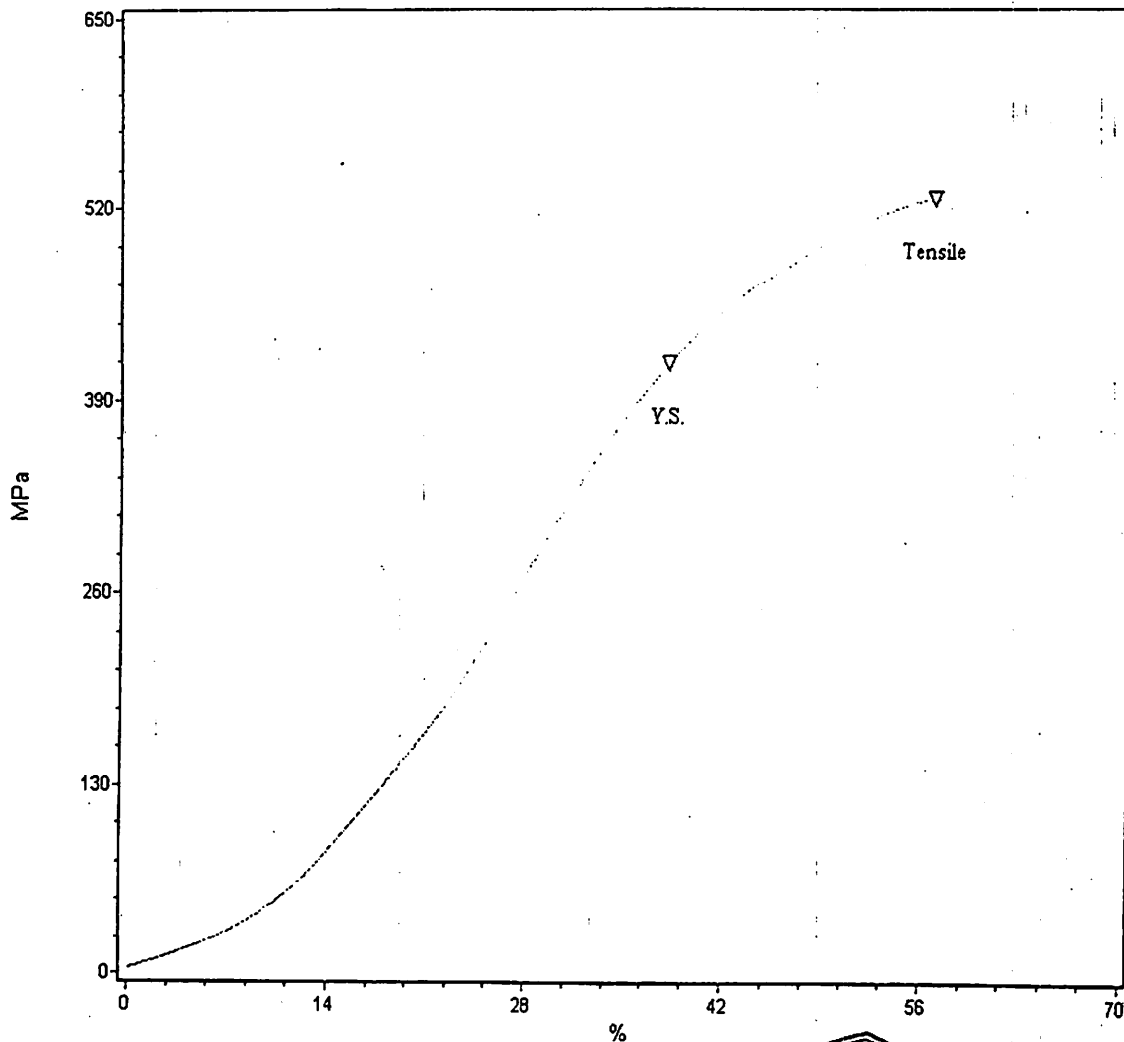
LABORATORIUM UJI MATERIAL.
JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. RAYA KARANGLU KM. 2 TASI K MAJU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

o.: 1859 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 :

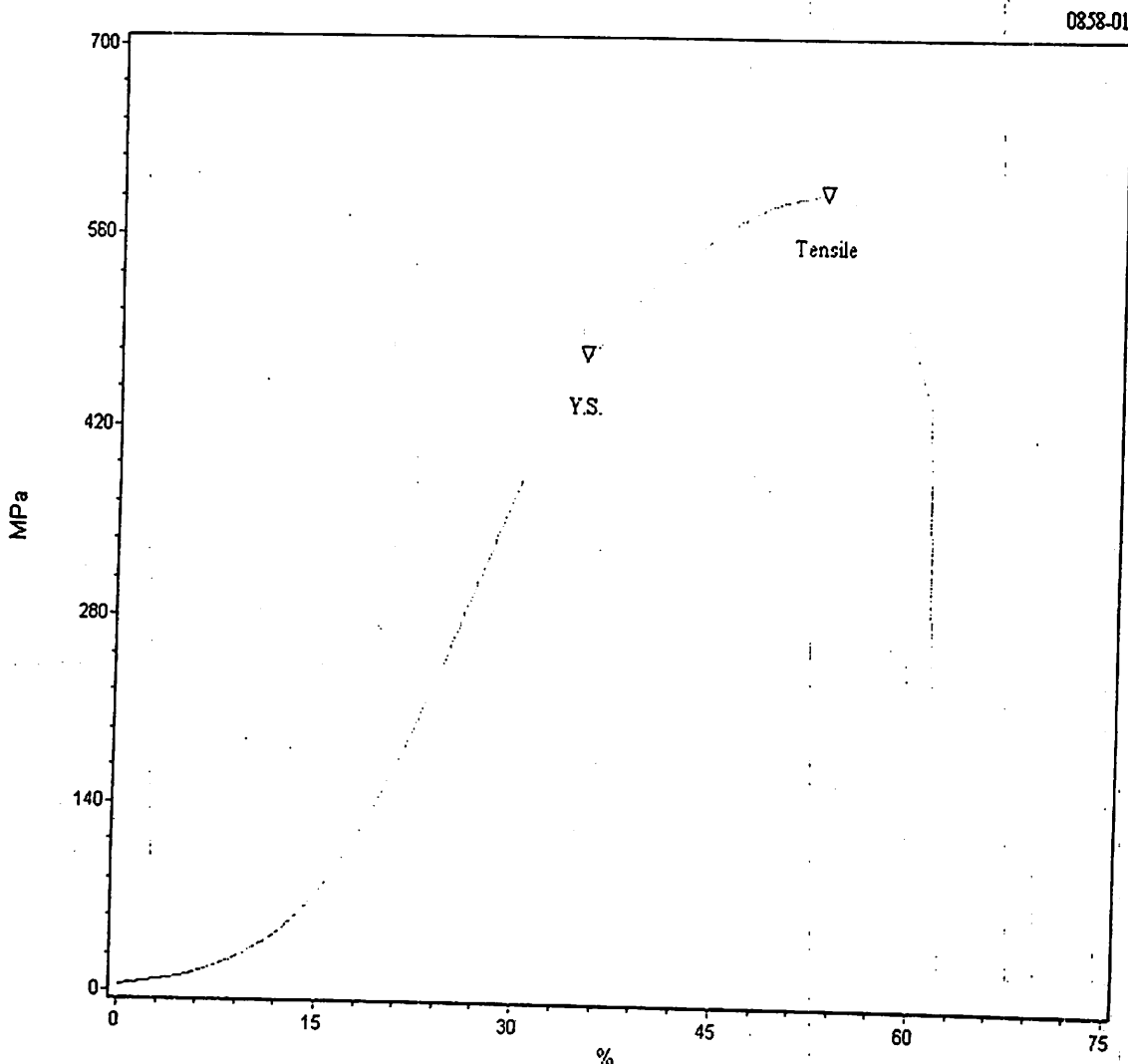
Komang Astana Widi, ST.MT
NIP Y. 1030400405

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

TEST REPORT

No.: 1858 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



Kepala Laboratorium :

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

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

TEST REPORT

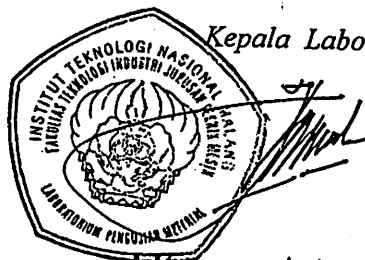
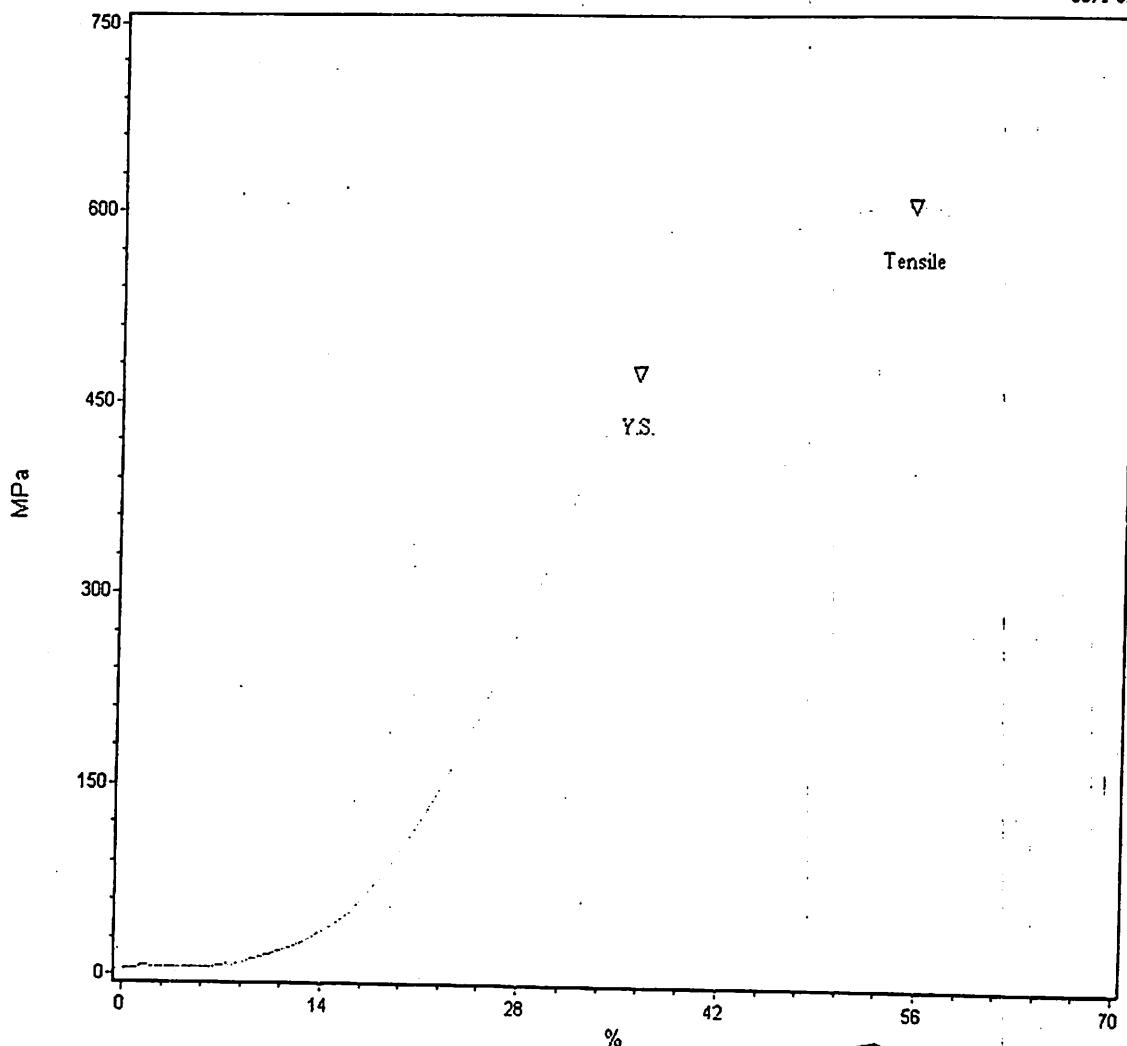
No.: 0871

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
CRT 10	112.3	68355.00	474.15	608.28	59.73

0871-01



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 KATA KARANGLU KM 2 TASIR MADU - MALANG
 TELP (0341) 417634, 417636 417637 FAX 0341 - 417634

TEST REPORT

Test No.: 0877

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

Test Date: 19 11 2010

No.

SPECIMEN

Area
(mm)²

Max. Force
(Newton)

Yield Strength
(MPa)

Tensile Strength
(MPa)

Elongation
(%)

1

BJTP 16 mm A

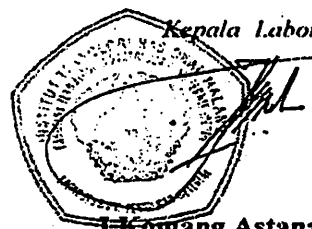
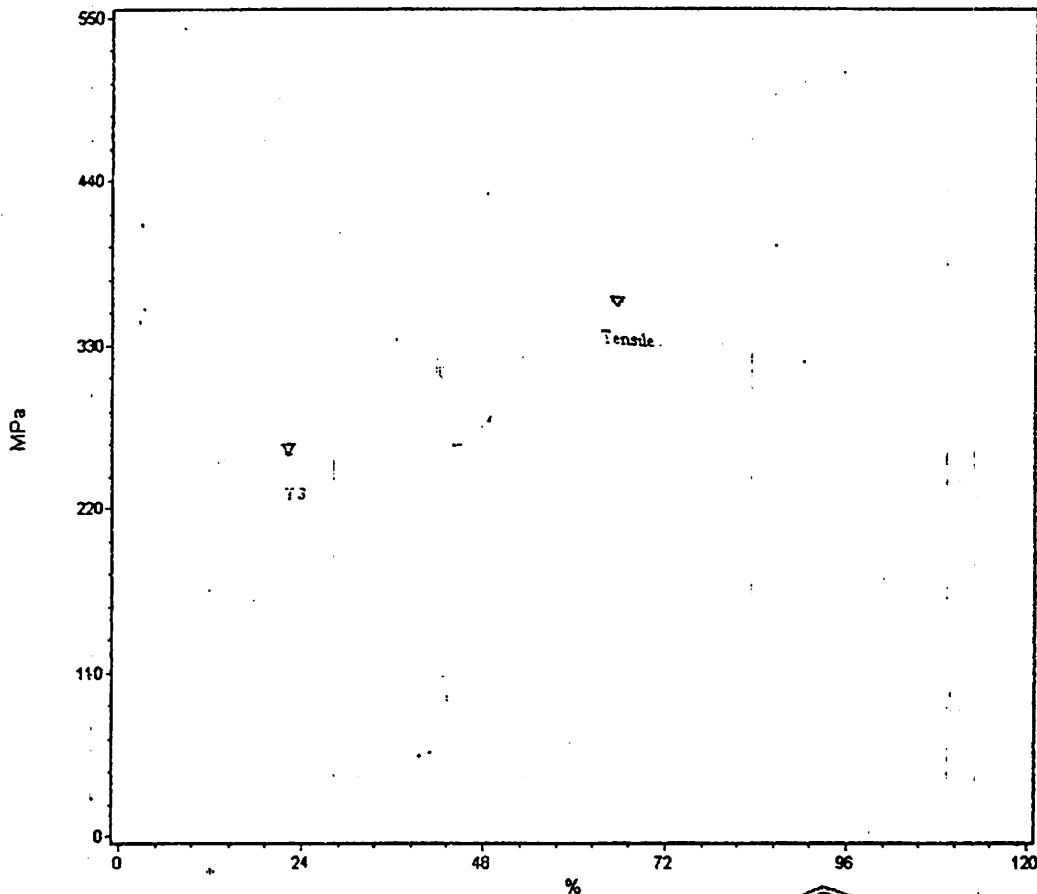
176.24

20723.80

248.41

344.65

85.53



Kepala Laboratorium :

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



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

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : FANDI SAM AKBAR
NIM : 09.21.908
DOSEN PEMBIMBING : Ir. ESTER PRISKASARI, MT.
JUDUL :

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22.5 Mpa".**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	3/11/2010	Tee di lengkapi	
2	16/11/2010	Rencana baja torsi CRT, potos di uji tarik	
3	15/12/2010	- pengemutannya untuk ditambah kem baja ϕ 6	
4	18/01/2011	grafik dan analisa dyafadu kesimpulan ?	
5	27/01/2011	see 11/12/11 kompre	



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

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : FANDI SAM AKBAR
NIM : 09.21.908
DOSEN PEMBIMBING : YOSIMSON P. MANAHA, ST. MT.
JUDUL :

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22.5 Mpa".**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
4.	13/12-10	- Uraian Bab III di cek lagi - tahanan balok di sekeritandg paku.	
5.	15/12-10	- Perhitungan teoritis di perbaiki lagi (1/4 PL tdk bisa di pakai dg tumpuan tsb). - L = ... m. - cek hit & tipe tulangan yg di gunakan (ada berapa tipe tulangan)?	
6.	17/12-10	- gambar momen & titungan teoritis di buat yg benar - hasil percobaan di lab di buat tabel many benda uji	
7.	23/12-10	- teoritis di buat grafik yg many balok - Hasil Eksperimental di buat grafik per - balok	



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

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : FANDI SAM AKBAR
NIM : 09.21.908
DOSEN PEMBIMBING : YOSIMSON P. MANAHA, ST. MT.
JUDUL :

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22.5 Mpa".**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1	12/11-10	- Bab. I di susun kembali dg judul - ketikan dibuat 49 Rpi	
2	3/12-10	- Rumusan masalah & tujuan harus connect - Manfaat penelitian dibuat w. rls, PT dan Masyarakat. - Judul & sub bab. dibuat bold	
3	8/12-10.	- Perbaiki lagi bab. III - Teori tumpuan balok di siap kan - Diagram etik di perbaiki lagi	



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

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : FANDI SAM AKBAR
NIM : 09.21.908
DOSEN PEMBIMBING : YOSIMSON P. MANAHA, ST. MT.
JUDUL :

**"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22.5 Mpa".**

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
8.	13/01-11	- Hasil Eksperimental 4 balok direta 2 kan & dibuat grafik rega (bandingkan dg grafik teoritis. - ~~Karya~~ Grafik teoritis & Eksperimental di pakung	
9	15/01-11	- Sensus grafik teoritis & Eksperimental di pakung & di validasi hasilnya	
10.	28/01-11	- Susun kesimpulan & Saran. - Siapkan lampiran?	
11.	8/2-11	- Buat Validasi hasil teoritis & Eksperimental - Kesimpulan di pakung total. - Abstrak dibuat	



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

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

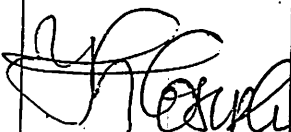
NAMA : FANDI SAM AKBAR

NIM : 09.21.908

DOSEN PEMBIMBING : YOSIMSON P. MANAHA, ST. MT.

JUDUL :

"PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTP
TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA
KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 22.5 Mpa".

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
12.	10/02-11.	- scrupondok Semarang - Dapat Maaf Seminar Hast.	



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 _____

Nama : Fandi

NIM : _____

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- Analisis cara kerja di pake' mutu beton.
semin & Hasil Experimen.

Ace

[Signature]

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

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

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2011

Dosen Pembahas

(_____)

Malang, _____ 2011

Dosen Pembahas

[Signature]
P. Dirpan
(_____)



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 : Pandi Sam Akbar

NIM : _____

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- judul bab pakai huruf standar
- Pakai mutu beton yg ada. $f_c' = 29.5 \text{ Mpa}$.

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

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

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 16 - 2 - 2011

Dosen Pembahas

(A. Agus Santosa)

Malang, 16 - 2 - 2011

Dosen Pembahas

(A. Agus Santosa)



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

UJIAN SKRIPSI PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG PENELITIAN

Nama : Fandi Sam Akbar

NIM : 0921900

Hari / tanggal : Kamis, 24 - 2 - 2011

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- Gambar grafik ora yg kurang jelas gambarnya.
(jelaskan)
- judulnya diubah menjadi mutu $f_c = 24,52 \text{ Mpa}$.
- setiap tabel hasil perhitungan diberi satu contoh perhitungan.

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 4 - 3 - 2010

Dosen Penguji

Malang, 24 - 2 - 2010

Dosen Penguji

(A. Agus Santoso.)



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 _____

Nama : _____

NIM : _____

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

dua kali revisi dan 24 Mei 2010

[Handwritten signature]

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, 24/05, 2010 *011*
Dosen Penguji

[Handwritten signature]

Malang, _____ 2010
Dosen Penguji

[Handwritten signature]