

SKRIPSI

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



**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

**Disusun Oleh :
AMELIA PUTRI PURNAMASARI
(09.21.909)**

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

0011

001000

DEPARTMENT OF DEFENSE
OFFICE OF THE SECRETARY
WASHINGTON, D.C. 20301

(001000)

OFFICE OF THE SECRETARY
WASHINGTON, D.C. 20301

THE SECRETARY
OF DEFENSE
WASHINGTON, D.C.

DEPARTMENT OF DEFENSE
OFFICE OF THE SECRETARY
WASHINGTON, D.C. 20301

001000

LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI

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

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

Disusun Oleh :

AMELIA PUTRI PURNAMASARI

09.21.909

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


(Ir. A. Agus Santosa, MT.)


(H. Eri Andrian Yudianto, ST, MT.)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1


(Ir. H. Hirijanto, MT.)

LEMBAR PENGESAHAN

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

SKRIPSI

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1)
Pada Hari : Kamis
Tanggal : 24 Februari 2011
Dan Diterima Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

AMELIA PUTRI PURNAMASARI

09.21.909

Disahkan Oleh :

Ketua



(Ir. H. Hirijanto, MT.)

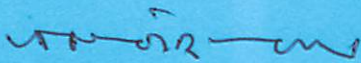
Sekretaris



(Lilla Ayu Ratna Winanda, ST.MT)

Anggota Penguji :

Dosen Penguji I



(Ir. H. Sudirman Indra, MSc)

Dosen Penguji II



(Yosimson P. Manaha, ST, MT)

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **AMELIA PUTRI PURNAMASARI**

Nim : **09.21.909**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

“PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON $f'c$ 24,52 MPa”

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

Malang, 24 Februari 2011

Yang Membuat Pernyataan



(AMELIA PUTRI PURNAMASARI)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Hari takkan indah tanpa mentari dan rembulan, begitu juga hidup takkan indah tanpa tujuan, harapan serta tantangan. Meski terasa berat, namun manisnya hidup justru akan terasa, apabila semuanya terlalui dengan baik, meski harus memerlukan pengorbanan.

Kupersembahkan karya kecil ini, untuk cahaya hidup, yang senantiasa ada saat suka maupun duka, selalu setia mendampingi, saat kulemah tak berdaya (Bapakku tercinta Sumarji Siran dan Ibu tercinta Sunarmi) yang selalu memanjatkan doa kepada putri Sulung tercinta dalam setiap sujudnya.

Terima kasih untuk semuanya.

Untuk ribuan tujuan yang harus dicapai, untuk jutaan impian yang akan dikejar, untuk sebuah pengharapan, agar hidup jauh lebih bermakna, karena tragedi terbesar dalam hidup bukanlah kematian tapi hidup tanpa tujuan. Teruslah bermimpi untuk sebuah tujuan, pastinya juga harus diimbangi dengan tindakan nyata, agar mimpi dan juga angan, tidak hanya menjadi sebuah bayangan semu.

Bukanlah suatu aib jika kamu gagal dalam suatu usaha, yang merupakan aib adalah jika kamu tidak bangkit dari kegagalan itu (Ali bin Abu Thalib).

Orang yang paling menyakitkan siksanya di hari kiamat adalah orang yang punya ilmu tapi Allah tidak mengizinkan memanfaatkan ilmunya (al-hadist).

ALLAH,,,,,,,,

Ampunilah hamba yang hina dan penuh dosa ini

Do'aku pada Mu ya Allah,,,

Tengadah aku menanti rido Mu dan lindungan Mu dalam perjalanan ku ini.

Semoga perlindungan Mu meridoiku

Amiiiiin ya Rabbal alamin.....

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala anugerah-NYA sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul "*PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD 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 Malang.

Dalam menyelesaikan Skripsi ini, penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak **Ir. A. Agus Santoso, MT** ; selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak **Ir. H. Hirijanto, MT** ; selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak **Ir. A. Agus Santoso, MT** dan Bapak **H. Eri Andrian Yudianto, ST, MT** ; Selaku Dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang amat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak **Ir. Bambang Wedyantadji, MT.** ; Selaku kepala Laboratorium beton Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Bapak **Mahfud.** ; Selaku Asisten Laboratorium beton Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
6. Bapak **Ir. Eding Iskak Imananto, MT.** ; Selaku kepala Laboratorium Tanah Institut Teknologi Nasional Malang.
7. Bapak **Sumardji** dan Bapak **Hendra** ; Selaku Staf Laboratorium Beton dan Bahan Konstruksi ITS Surabaya yang telah banyak membantu pelaksanaan pengujian sample.
8. Seluruh Dosen Sipil ITN malang.

Pada kesempatan ini penyusun tidak lupa mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya khususnya kepada :

1. Bapak dan mamah selaku orang tua penyusun, yang selalu mendukung studi penulis hingga selesai.
2. Adekku Diko Winarwan, kekasihku dan semua keluarga penyusun yang tidak bisa disebutkan satu persatu terima kasih atas doa dan dukungannya.
3. Teman-teman seperjuangan Sipil 2006 serta transferan 2009, teman-teman bimbingan (Paulina, Niko, Ben, Fandi “terima kasih teman atas bantuannya”).

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan segala bantuan dan dukungan moril dalam rangka menyelesaikan skripsi ini.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyusunan yang lebih baik. Dan semoga hasil yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya bidang Sipil, dan bagi semua pihak yang berkepentingan.

Malang, Maret 2011

Penyusun

ABSTRAK

“PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR DENGAN MUTU BETON f_c 24.5 MPa”.
AMELIA PUTRI PURNAMASARI (09.21.909); Dosen Pembimbing I : Ir. Agus Santosa, MT., Pembimbing II : H. Eri Andrian Yudianto, 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 kekuatan lenturnya.

Untuk memverifikasi efektifitas seperti yang telah diprediksi melalui pendekatan analisis, maka dilakukan uji eksperimental. Pengujian eksperimental tersebut memakai benda uji balok dengan dimensi 150 mm x 250 mm x 2000 mm dengan dua tipe balok yaitu balok dengan tulangan CRT yang diberi panjang penyaluran (BB – 05) dan balok dengan tulangan BJTD yang diberi panjang penyaluran (BB – 06).

Berdasarkan parameter tegangan-regangan beton dan kuat lentur hasil analisa eksperimen balok dengan tulangan CRT dan BJTD, dapat disimpulkan bahwa tulangan Cold Rolled and Twisted Bar (CRT) yang diberi panjang penyaluran tidak dapat digunakan sebagai tulangan alternatif pengganti tulangan BJTD. Hal ini dibuktikan hasil pengujian eksperimental BB-05 yang dibandingkan dengan hasil eksperimental BB-06, dimana dengan perbedaan rasio tulangan (A_{st}) sebesar 0,976 terjadi perbedaan P_{maks} sebesar 6,3%, tegangan beton puncak sebesar -4,31%, regangan beton ultimit sebesar 9,07% dan lendutan sebesar 4,37%.

Kata Kunci : Tegangan-regangan beton, tulangan CRT dan BJTD, kuat lentur Balok, panjang penyaluran.

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Judul	
Lembar Persetujuan	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian Skripsi	iii
Lembaran Persembahan	iv
Kata Pengantar	v
Abstrak	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	xii
Daftar Grafik	xiii
Daftar Gambar	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar)	6
2.2. Mutu Beton	7
2.2.1. Modulus Elastisitas	9
2.3. Kuat Lentur	9
2.4. Perilaku Keruntuhan Pada Balok	11
2.5. Dasar Teori asumsi Untuk Kuat Lentur	15
2.5.1. Asumsi Dasar Perilaku	15
2.5.2. Balok Tegangan Persegi Ekuivalen	19

2.5.3. Regangan Beton Pada Kekuatan Lentur.....	21
2.5.4. Pengaruh Pembebanan Secara Perlahan Dengan Pembebanan Terus Menerus	24
2.5.5. Ringkasan dan Rekomendasi Untuk Menentukan Kekuatan Penampang terhadap Lentur Dan aksial.....	25
2.5.6. Kekuatan Balok Lentur	26
2.6. Panjang Penyaluran.....	34
2.7. Hasil Penelitian Yang Pernah Dilakukan	38

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	41
3.2. Metode Penelitian	41
3.3. Peralatan dan Bahan	42
3.3.1. Peralatan	42
3.3.2. Bahan.....	43
3.4. Populasi dan Sampel	44
3.5. Rancangan Penelitian	46
3.6. Prosedur Penelitian	46
3.6.1. Pemeriksaan Material Beton.....	46
3.6.2. Perencanaan Campuran Beton.....	46
3.7. Pelaksanaan Penelitian	46
3.7.1. Persiapan Bahan.....	46
3.7.2. Perhitungan Rencana Campuran Beton.....	47
3.7.3. Proses Pembuatan Benda Uji.....	47
3.7.4. Pengujian Mutu Beton Beton $f'c$	49
3.7.5. Pengujian Tarik Baja.....	50
3.8. Metode Pengumpulan Data	50
3.9. Teknik Analisa Data.....	51
3.9.1. Analisa Pada Penelitian	51
3.9.2. Analisa Eksperimental.....	51
3.10. Prediksi Analitis.....	53
3.10.1. Balok Dengan Tulangan CRT #10 (BB – 05).....	53

3.10.2. Balok Dengan Tulangan BJTD (Balok BB – 06).....	75
3.11. Bagan Alir Proses Penelitian	98

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian	99
4.1.1. Perancangan Campuran Beton	99
4.1.2. Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	99
4.1.3. Pengujian Kuat Tarik Baja	101
4.2. Pengujian Balok Beton Tulangan CRT Dengan Panjang Penyaluran (BB-05)	104
1. Mekanisme Keruntuhan	104
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton	106
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton	108
4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTD Dengan Panjang Penyaluran (BB-06)	110
1. Mekanisme Keruntuhan	110
2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton	112
3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Beton	114
4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 05 Terhadap Balok BB – 06	116
4.5. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB – 05 Terhadap Balok BB – 06	117
4.6. Efektifitas Balok BB – 05 Terhadap Balok BB – 06	118

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	120
5.2. Saran.....	121

DAFTAR PUSTAKA.....	122
----------------------------	------------

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN I : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen

Tabel L.1.1 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB - 05

Tabel L.1.1-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 05 A
Tabel L.1.1-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 05 B
Tabel L.1.1-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 05 C
Tabel L.1.1- D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 05 D
Tabel L.1.1-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok BB–05
Tabel L.1.1-F : Hasil Analisa Teoritis Balok BB-05

Tabel L.1.2 : Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 06

Tabel L.1.2-A : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 06 A
Tabel L.1.2-B : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 06 B
Tabel L.1.2-C : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 06 C
Tabel L.1.2-D : Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB – 06 D
Tabel L.1.2-E : Rata-rata Hasil Eksperimen Pengamatan Balok BB–06

LAMPIRAN II

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

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

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

LAMPIRAN III

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>	18
Tabel 3.1	Variasi benda Uji	44
Tabel 3.2	Data Analisis	50
Tabel 3.3	Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 24,5MPa pada Balok dengan Tulangan CRT #10	66
Tabel 3.5	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 05.....	74
Tabel 3.6	Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 22,5MPa pada Balok dengan Tulangan BJTD D 10	86
Tabel 3.7	Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 06	94
Tabel 3.8	Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 06.....	95
Tabel 4.1.	Proporsi Campuran Beton Mutu 22,5 Mpa.....	99
Tabel 4.2	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16	101
Tabel 4.3	Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10	102
Tabel 4.4	Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTD D 10	103
Tabel 4.5	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 05	108
Tabel 4.6	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 05	110
Tabel 4.7	Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB – 06.....	114
Tabel 4.8	Perbandingan Beban dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 06	116
Tabel 4.9	Perbandingan efektifitas balok BB - 05 dengan balok BB - 06.....	119

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Hubungan Tegangan Tulangan Dengan Mutu Beton.....	8
Grafik 2.2 Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton.....	12
Grafik 2.3 Kurva Tegangan-Regangan Tulangan Baja.....	14
Grafik 2.4 Kurva Tegangan-Regangan Beton	15
Grafik 2.5 Sifat Distribusi Tegangan Tekan Pada Beton Pada Kekuatan Lentur Suatu Penampang Persegi ; Berdasarkan Parameter ACI Dan Hasil Test.....	19
Grafik 2.6 Regangan Beton pada Serat Tekan Ekstrim pada Kekuatan Lentur Penampang Persegi, berdasarkan Nilai ACI dan Hasil Pengujian	22
Grafik 2.7 Kurva Momen Regangan untuk Balok Beton Bertulangan Tunggal berdasarkan Pengujian Silinder.....	23
Grafik 3.1 Kurva Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 05	74
Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 05	75
Grafik 3.3 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 06.....	95
Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 06	96
Grafik 3.5 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Gabungan Balok BB – 07 dan balok BB – 08	97
Grafik 4.1 Kurva Tegangan-Regangan Balok dengan Panjang Penyaluran BB - 05.....	107
Grafik 4.2 Kurva beban dan lendutan Balok dengan Panjang Penyaluran BB-05.....	109
Grafik 4.3 Kurva Tegangan-Regangan Balok dengan Panjang Penyaluran BB- 06.....	113
Grafik 4.4 Kurva beban dan lendutan Balok dengan Panjang Penyaluran BB - 06.....	115
Grafik 4.5 Kurva Tegangan - Regangan Balok BB–05 dan Balok BB-06.....	117
Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB–05 dan Balok BB-06.....	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam bentuk tulangan	6
Gambar 2.2	Distribusi Tegangan Dan Regangan pada Penampang Beton yang Tertekan Dimana Momen Tekuk Meningkat hingga Kekuatan Lentur.....	17
Gambar 2.3	Distribusi Tegangan Tekan Pada Zona Tekan Suatu Penampang Persegi Beton.....	18
Gambar 2.4	Penampang Beton Bertulangan Ganda pada Kondisi Tercapainya Kekuatan Lentur	27
Gambar 3.1	Peralatan Slump Test	42
Gambar 3.2	Model Benda Uji	45
Gambar 3.3	Model Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Tulangan CRT #10.....	53
Gambar 3.4	Penampang Balok dengan Tulangan CRT #10	54
Gambar 3.5	Model diagram regangan tulangan CRT # 10.....	56
Gambar 3.6	Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan CRT #10	59
Gambar 3.7	Momen Maksimum akibat berat sendiri pada balok dengan tulangan CRT	63
Gambar 3.8	Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10.....	65
Gambar 3.9	Distribusi Tegangan Tekan Aktual.....	66
Gambar 3.10	Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10.....	67
Gambar 3.11	Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan BJTD D 10	76
Gambar 3.12	Penampang Balok dengan Tulangan BJTD D 10.....	76
Gambar 3.13	Model diagram regangan tulangan BJTD D 10	78
Gambar 3.14	Ilustrasi Diagram Regangan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Dengan Tulangan BJTD D 10.....	82
Gambar3.15	Perhitungan Momen Akibat Berat Sendiri Balok Dengan Tulangan BJTD D 10.....	84

Gambar 3.16	Momen Maksimum Akibat Berat Sendiri Pada Balok Dengan Tulangan BJTD D 10	85
Gambar 3.17	Distribusi Tegangan Tekan Aktual.....	86
Gambar 3.18	Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTD D 10	87
Gambar 3.19	Model Diagram Regangan Tulangan BJTD D 10	88
Gambar 3.20	Model Lendutan Pada Balok BJTD D 10	89
Gambar`4.1	Pengujian Balok BB-05.....	106
Gambar`4.2	Pengujian Balok BB-06.....	112

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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

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

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

kekuatan lenturnya. Kuat geser adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya horizontal dimana dalam kondisi ini balok diberikan beban horizontal yang menyebabkan pergeseran pada balok tersebut.

Sehubungan dengan adanya gaya lentur dan gaya geser 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 dan tulangan sengkang yang berperan untuk menahan gaya geser.

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

Pada umumnya pengujian kuat lentur dan geser yang 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 (tulangan spiral) yang mana permukaan tulangan tidak seperti tulangan yang lain (polos dan ulir) tetapi belum digunakan untuk konstruksi dikarenakan

kurangnya hasil penelitian yang membuktikan kemampuan tulangan CRT (tulangan spiral) layak dan sesuai untuk komponen struktur.

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) dan tulangan BJTD (tulangan spiral) terhadap perilaku panjang penyaluran dan kuat lentur pada struktur balok. Sehingga judul penelitian yang akan dilakukan adalah "*Pengaruh Penggunaan Tulangan Crt dan Tulangan Bjtd 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 diambil acuan sebagai pembanding digunakan rumus atau persamaan berdasarkan hasil penelitian Z. Huang, B. Engstrom dan J. Magnusson, R. Park dan T. Paulay maupun SNI 03-2847-2002.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana efektifitas tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) dan tulangan BJTD (*Baja Tulangan Deform*) pada Balok dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa ?
2. Bagaimana model kurva tegangan dan regangan balok dengan panjang penyaluran tulangan CRT (*Cold Rolled & Twisted Bar*) dan tulangan BJTD (*Baja Tulangan Deform*) dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa ?

3. Berapa besar kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) dengan mutu beton $f_c' 24,52 \text{ Mpa}$?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efektifitas tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) pada Balok dengan mutu beton $f_c' 24,52 \text{ Mpa}$.
2. Mengetahui model kurva tegangan dan regangan balok dengan panjang penyaluran tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) dengan mutu beton $f_c' 24,52 \text{ Mpa}$.
3. Mengetahui besar kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) dengan mutu beton $f_c' 24,52 \text{ Mpa}$.

1.4. Manfaat Penelitian

Diharapkan dalam penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Bagi para praktisi; diharapkan hasil penelitian ini bisa menjadi bahan informasi tentang kelebihan dan kekurangan tulangan CRT bagi para praktisi didunia konstruksi yang hendak bereksplorasi dengan penggunaan material baja tulangan alternatif.

2. Masyarakat; dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi dan referensi awal bagi penggunaan tulangan CRT yang lebih luas dalam konstruksi.

1.5. Batasan Masalah

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

Adapun batasan-batasan masalah tersebut adalah :

1. Mengetahui efektifitas tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) pada Balok dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.
2. Mengetahui model kurva tegangan dan regangan balok dengan panjang penyaluran tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.
3. Mengetahui besar kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT (Cold Rolled & Twisted Bar) dan tulangan BJTD (Baja Tulangan Deform) dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.

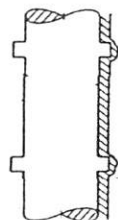
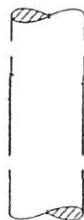
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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

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

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



a. Tulangan polos

b. Tulangan ulir

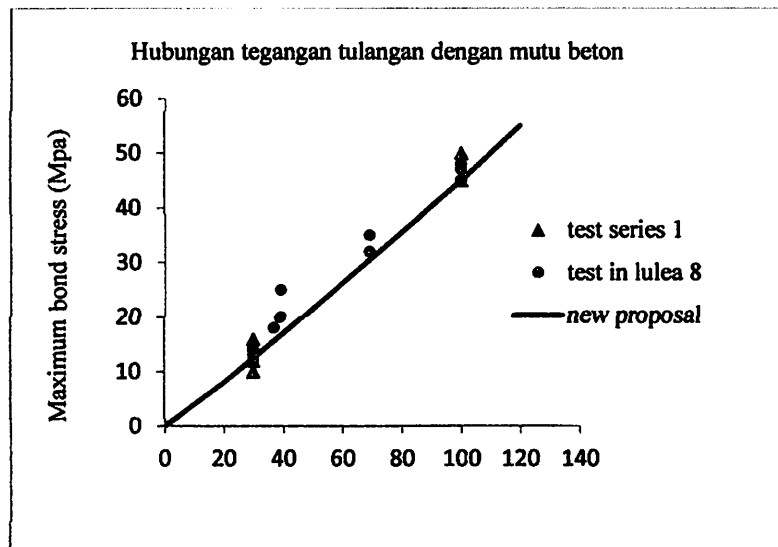
c. Tulangan spiral (CRT)

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 $\sqrt{fc'}$, maka di dalam penelitian ini nantinya hanya menggunakan 1 macam mutu beton yaitu $fc' 30 \text{ Mpa}$. 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/m^3 dan 2500 kg/m^3 sebagai berikut :

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

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

2.3 Kuat Lentur

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.4 Perilaku Keruntuhan pada Balok

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

Perilaku keruntuhan dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu :

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

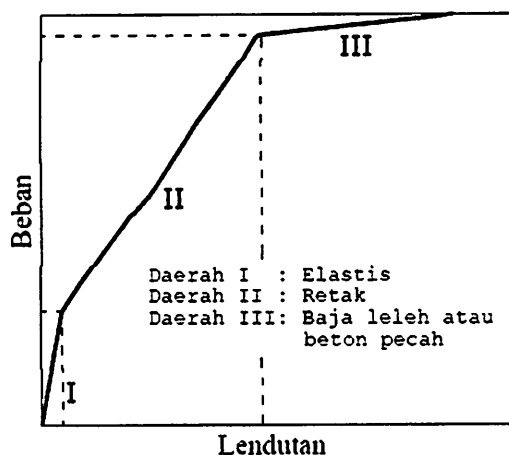
Respons non-linier disebabkan dua hal utama yaitu :

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

Perilaku sebagai fungsi waktu, misalnya : creep, shrinkage dan variasi temperatur juga menyumbang perilaku non-linier. Kecuali itu, hubungan tegangan 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.

Ada dua kondisi keruntuhan yang akan ditinjau sebagai berikut:

1 Keruntuhan Lentur

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

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right), \text{ dimana } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots 2.4$$

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

Model Keruntuhan pada Beton adalah :

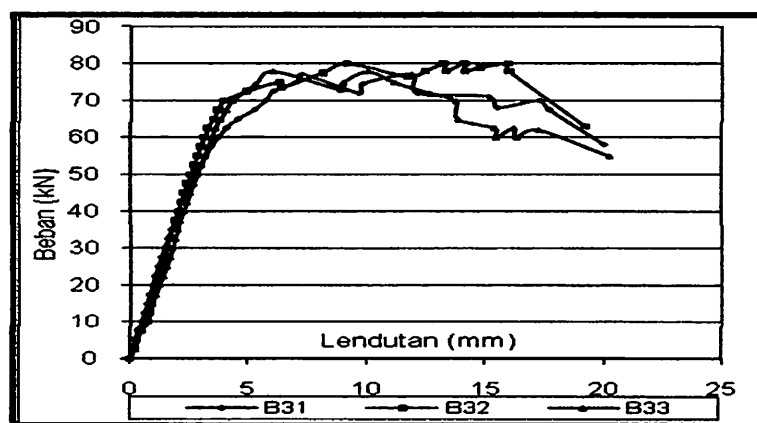
- Keruntuhan tarik (*tensile failure*) pada tegangan tarik prinsipal yang relatif rendah
- Keruntuhan pecah tekan (*compression crushing failure*) pada tegangan desak yang besar Terjadi pelemahan regangan (*strain softening*) setelah keruntuhan pecah tekan yang berlanjut sampai suatu regangan batas (*ultimate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

Model Keruntuhan pada baja adalah :

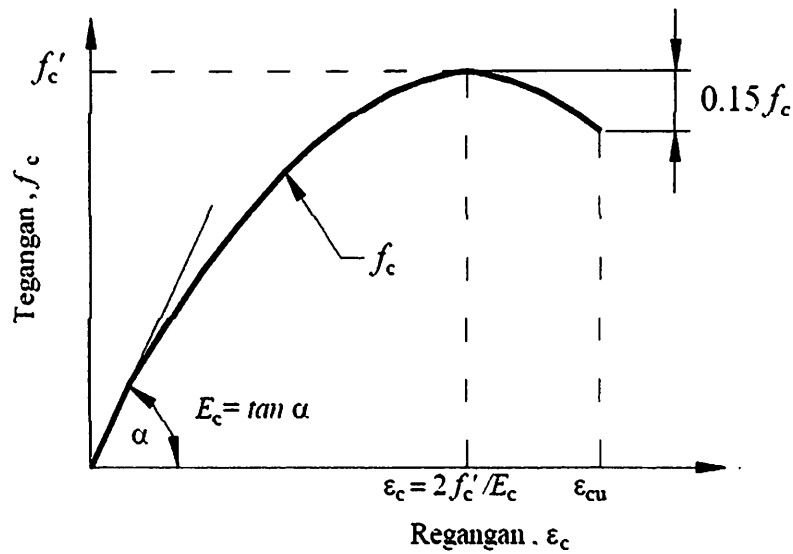
Properti tulangan baja tidak seperti beton, yaitu tidak tergantung dari kondisi lingkungan atau berjalannya waktu. Sehingga menetapkannya sebagai hubungan tegangan-regangan tunggal sudah mencukupi untuk mendefinisikan bahan material untuk analisa struktur beton bertulang.

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

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



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



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

2.5 Dasar Teori Asumsi untuk Kuat Lentur

2.5.1 Asumsi Dasar Perilaku

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

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

Asumsi pertama, Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa tegangan longitudinal pada beton dan baja untuk variasi titik pada bagian penampang adalah proporsional dengan jarak dari garis netral. Dari sejumlah besar pengujian balok beton bertulang telah mengindikasikan jika asumsi ini sangat mendekati

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

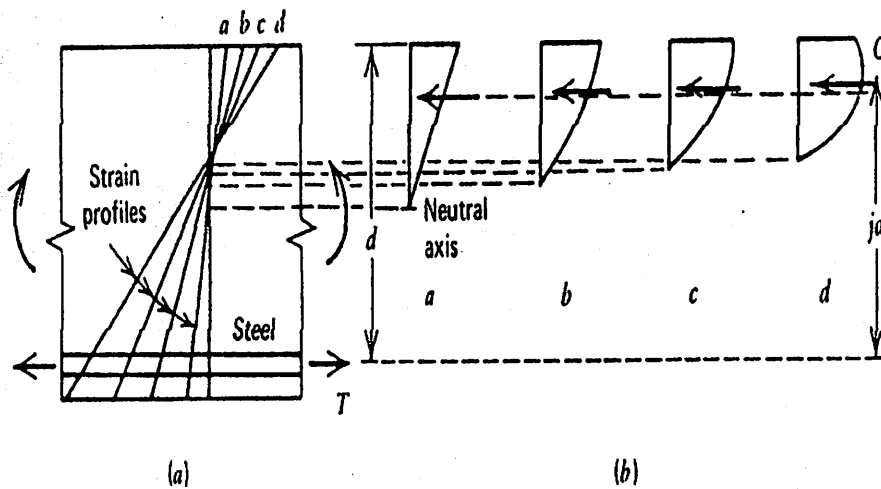
Banyaknya deviasi dari type linier harus dimaklumi karena keakuratan yang kurang pada pengukuran regangan oleh setiap peneliti dan beberapa kesalahan lokasi garis gauge. Dapat dipastikan bahwa pengukuran profil regangan adalah linear, dan asumsi kondisi potongan melintang tidak berubah sangat akurat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

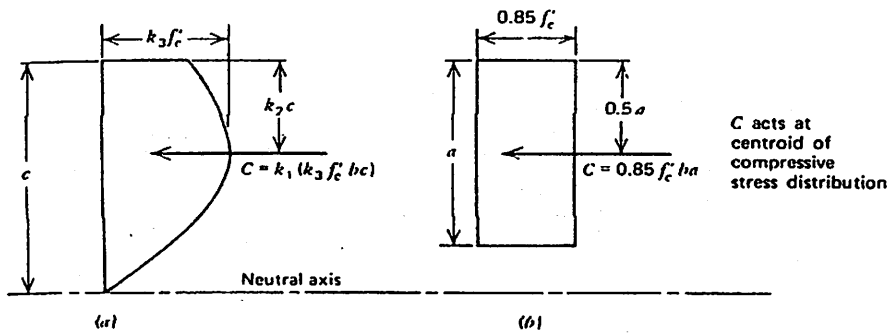
Asumsi keempat sangat diperlukan untuk memperkirakan perilaku sesungguhnya pada bagian. Saat tegangan pada bagian beton yang mengalami tekan proporsional dengan jarak dari sumbu netral, bentuk dari kurva regangan-tegangan mengindikasikan bentuk dari blok tegangan tekan pada berbagai tahap pembebanan.

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 ekuivalen penampang persegi
 Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Sifat dari blok tegangan tekan pada bagian yang mengalami momen maksimum dapat didefinisikan dengan parameter k_1 , k_2 , dan k_3 pada gambar 2.3. 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*

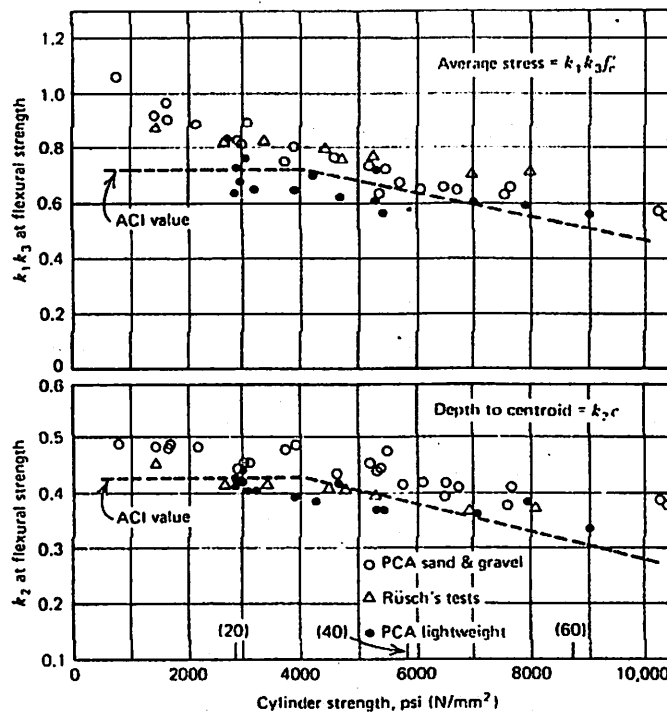
f'_c		k_1	k_2	k_3	c_c
psi	N/mm ²				
2000	13.8	0.86	0.48	1.03	0.0037
3000	20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
4000	27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
5000	34.5	0.75	0.44	0.92	0.0032
6000	41.4	0.71	0.42	0.92	0.0031
7000	48.3	0.67	0.41	0.93	0.0029

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

2.5.2 Balok 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:

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

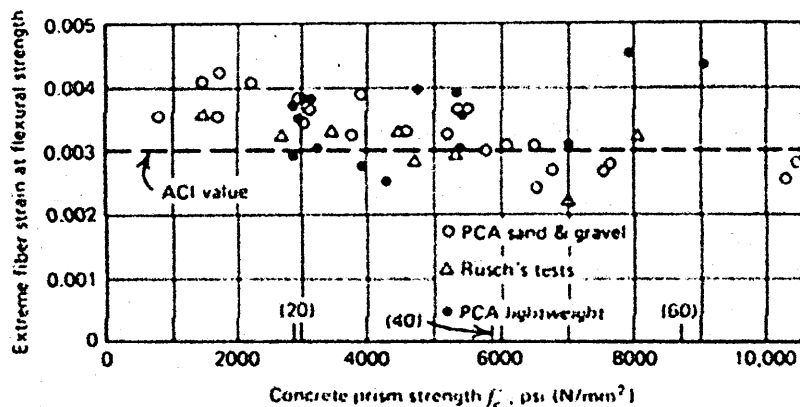
$$\text{dan } k_2 c = 0.5 a \rightarrow k_2 = 0,5 a/c = 0.5 \beta_1 \dots\dots\dots(2.6)$$

nilai ($k_1 k_3$) dan (k_2) dari rumus 2.5 dan 2.6 , dengan nilai β_1 yang disarankan dari ACI dibandingkan dengan nilai aktual yang didapatkan dari pengujian benda uji oleh PCA dan Rüsç pada 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/mm²). Bagaimanapun kemunculannya dari kecenderungan hasil dalam grafik parameter blok tegangan ACI adalah konservatif untuk kekuatan silinder yang lebih dari 8000 psi. Tentu saja hal tersebut harus dipertimbangkan bahwa parameter ACI tidak konservatif sebagaimana pada beton mutu tinggi. (R.Park dan T. Paulay, 1975 : 53 – 54).

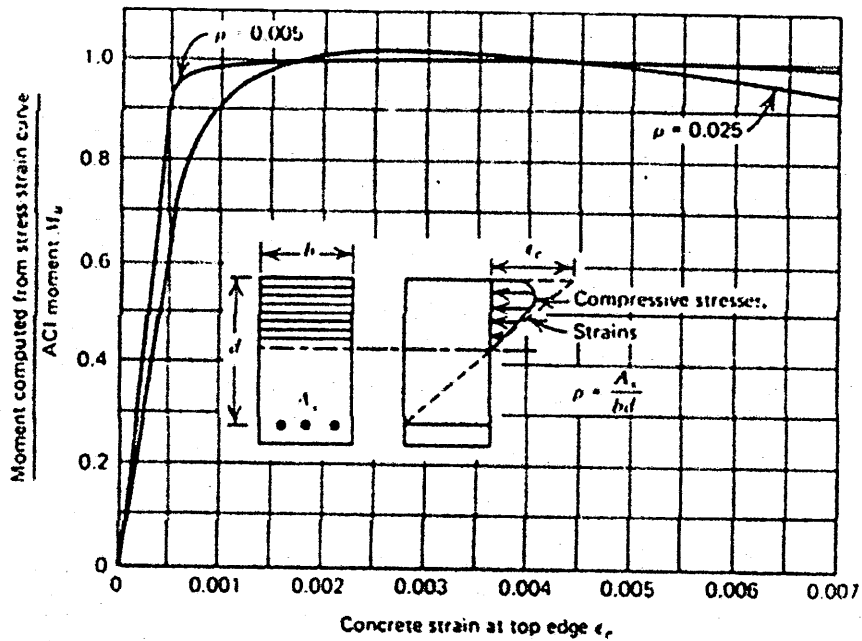
2.5.3 Regangan Beton Pada Kekuatan Lentur

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).

2.5.4 Pengaruh Pembebanan Secara Perlahan Dengan Pembebanan Terus Menerus

Parameter blok tegangan yang dibuat oleh PCA dan Rüschi 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).

2.5.5 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).

2.5.6 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.

- 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 :

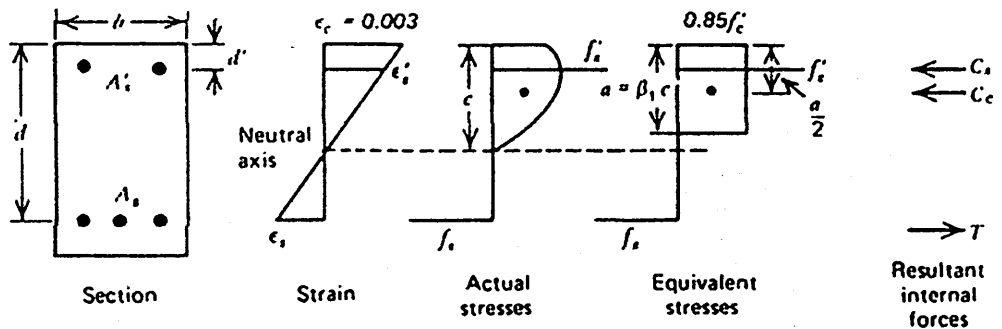
$$C_c = 0.85 f'_c a b \dots\dots\dots(2.7)$$

Gaya tekan pada baja :

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

Dimana A'_s = area tekan pada baja

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



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

Persamaan kesetimbangan :

$$C - C_c + C_s = T \quad \therefore \quad 0.85 f'_c a b + A'_s \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

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

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 :

$$\varepsilon'_s = 0.003 \frac{c-d'}{c} = 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\varepsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} = 0.003 \frac{\beta_1 d-a}{a} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\therefore f'_s = f_y \text{ jika } 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dan

$$f_s = f_y \text{ jika } 0.003 \frac{\beta_1 d-a}{a} \geq \frac{f_y}{E_s} \dots\dots\dots(2.14)$$

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

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

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 :

$$a = \frac{A_s f_s - A'_s f'_s}{0.85 f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana berdasarkan diagram regangan :

$$f'_s = \varepsilon'_s E_s = 0.003 \frac{a-\beta_1 d'}{a} E_s \text{ atau } f_y \dots\dots\dots(2.17)$$

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 0.003 \frac{\beta_1 d-a}{a} E_s \text{ atau } f_y \dots\dots\dots(2.18)$$

dan kemudian :

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

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).

- **Desain penampang berulang ganda**

Tulangan tekan kemungkinan diperlukan pada desain untuk alasan berikut :

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

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

tersebut jelas dibutuhkan pada metode desain kekuatan untuk mempertinggi kekuatan lentur.

2. Tulangan tekan kemungkinan digunakan pada desain untuk meningkatkan daktilitas penampang pada kekuatan lentur. Maka jelas bila tulangan tekan pada penampang, jarak sumbu netral akan mengecil karena gaya tekan internal dibagi oleh beton dan tulangan tekan. Karena itu kurva ultimate (Cc/c) pada penampang dengan tulangan tekan akan lebih besar.
3. Tulangan tekan akan digunakan untuk mengurangi defleksi balok pada beban layan. Balok bertulangan tunggal dengan ρ_{max} melebihi tegangan tinggi pada beton untuk beban layan. Contohnya, desain balok bertulangan tunggal untuk tebal maksimum pada contoh dengan $f'_c = 3000$ psi ($20,7$ N/mm²) memiliki tegangan maksimum pada beton 2490 psi ($17,2$ N/mm²) pada beban layan, berdasarkan teori elastisitas mengabaikan creep, walaupun tegangan baja sekitar 54 % dari f_y . Tegangan aktual pada beton lebih kecil dari bentuk kurva blok tegangan aktual, tetapi jelas jika tegangan beton akan lebih tinggi dan defleksi akan lebih besar. Defleksi dapat dicegah 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 :

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

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 :

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

Rumus tersebut memerlukan :

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

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

$$\frac{(As - A's) fy}{0.85 f'c b} \geq \frac{0.003 Es}{0.003 Es - fy} \beta_1 d' \dots\dots\dots(2.24)$$

atau,

$$\rho - \rho' \geq \frac{0.85 f'c \beta_1 d'}{fy d} \frac{0.003 Es}{0.003 Es - fy} \dots\dots\dots(2.25)$$

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

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

rumus persamaan untuk desain menjadi :

$$Mu = \phi \left[0.85 f'c ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A's f'_s (d - d') \right] \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana

$$a = \frac{As fy - A's f'_s}{0.85 f'c b} \dots\dots\dots(2.28)$$

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 :

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

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

Dan untuk persamaan

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

$$= (\rho_b f_y - \rho' f's) bd$$

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

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

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.

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

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

Atau f_y , diambil nilai yang lebih kecil.

Persamaan 2.29 dan 2.30 memberikan :

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

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

$$\rho \leq 0.75 \left(\frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} + \frac{\rho' f'_s}{f_y} \right) \dots\dots\dots(2.33)$$

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).

2.6 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 sambungan1,5
- 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 epoksi1,2
- 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 kecil0,8
- Tulangan No. 7 dan lebih besar1,0

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 ringan1,3

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

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

- Tetapi tidak boleh kurang dari1,0
- Jika digunakan beton normal1,0

(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.

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

Dengan A_{tr} = luas penampang total semua tulangan transversal dengan jarak pusat ke pusat s dan kekuatan leleh f_y

n = jumlah tulangan atau kawat dalam bidang belah

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

ACI 12.2.3 membatasi nilai tersebut sebesar $\frac{c+K_{tr}}{d_b}$ 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 $K_{tr} = \frac{A_{tr} f_y t}{10s n}$

(McCormac, Jack C, 2004 : 199)

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 bersih 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	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{12f_y \alpha \beta \lambda}{25\sqrt{f_c'}}$	$\frac{l_d}{d_b} = \frac{3f_y \alpha \beta \lambda}{5\sqrt{f_c'}}$

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		
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, $K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn}$ dengan :

A_{tr} = luas penampang total dari semua tulangan transversal yang berada dalam daerah berspasi s dan yang memotong bidang 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 $K_{tr} = 0$ bahkan untuk kondisi dimana tulangan transversal dipasang.

(Nasution, Amrinsyah, 2001 : 307)

2.7 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 (*ld*) 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 $\phi_n = 9,422$ 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 (slip > 2,5 mm).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pengujian dilakukan di 3 tempat yaitu:

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

3.2 Metode Penelitian

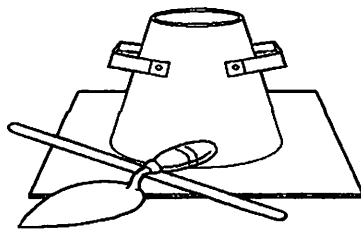
1. Studi Literatur, merupakan referensi sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian serta sebagai bahan kajian terhadap teori-teori yang ada.
2. Studi eksperimen, bertujuan untuk mendapatkan data-data pengujian yang akan dianalisis lebih lanjut.

3.3 Peralatan dan Bahan

3.3.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain:

- a. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*), dengan kapasitas 0,15 m³.
- b. Tongkat pemadat, dengan ukuran diameter 16 mm dan panjang 0.6 m. Digunakan untuk memadatkan adukan beton di dalam cetakan, sehingga didapatkan beton yang padat dan tidak keropos.
- c. Kerucut Abrams, terbuat dari pelat baja berbentuk kerucut berlubang dengan diameter lubang atas 10 cm dan diameter lubang bawah 20 cm serta tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan alas plat baja dan tongkat baja diameter 16 mm, panjang 60 cm sebagai alat pemadat. Kerucut Abrams digunakan untuk pengujian nilai slump dari suatu adukan beton saat pengecoran.



Gambar 3.1. Peralatan Slump Test

- d. Cetakan balok berukuran lebar 15 cm, tinggi 25 cm dan panjang 200 cm.
- e. Cetakan benda uji mortar.

- f. Gelas ukur
- g. Seperangkat saringan dan timbangan.
- h. Bak air untuk perendaman perawatan beton (moist curing)
- i. Kompor dan Tempat untuk mencairkan belerang
- j. Alat pemotong tulangan
- k. Alat pembengkok tulangan (bending)
- l. *Torse Loading Machine*, kapasitas 100 ton.
- m. *Alat uji tekan beton*.
- n. *Dial gauge*, alat pengukur slip.

3.3.2. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan ialah :

- a. Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar yang dipakai merupakan produksi dari PT. Alim Surya Steel.
- b. Diameter tulangan Cold Rolled & Twisted Bar (ϕ_t) = 10 mm.
- c. Diameter tulangan BJTD yaitu 10 mm.
- d. Semen portland yang digunakan adalah Semen Gresik tipe I, sesuai ASTM C 150-02a.
- e. Air yang digunakan sesuai ACI Committee 308, 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 *Torse 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 :

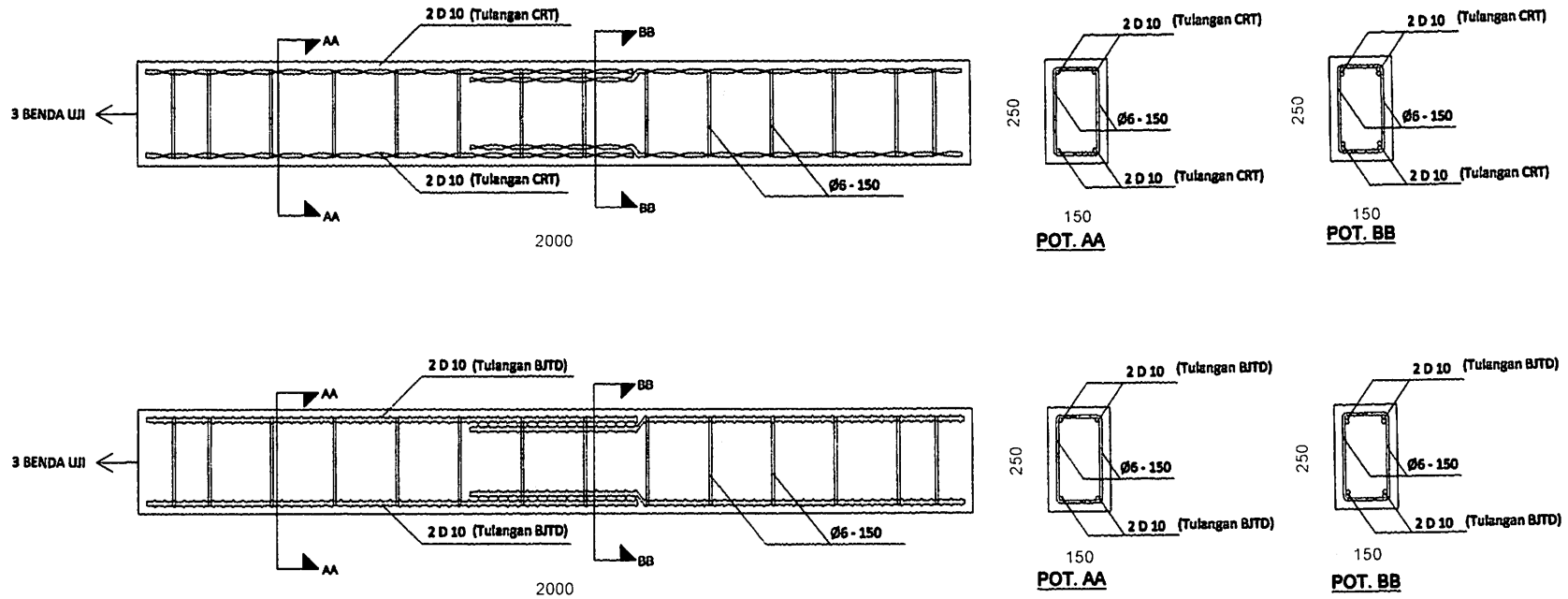
Tabel 3.1 Variasi Benda Uji

Kode Benda uji	Dimensi balok	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Jumlah Benda Uji
BB – 05	150 X 250 X 2000 mm	CRT #10 mm	Ø6 – 150 mm	4 buah
BB – 06	150 X 250 X 2000 mm	BJTD D 10 mm	Ø6 – 150 mm	4 buah

Keterangan :

BB – 05 = Balok dengan tulang longitudinal CRT diameter 10 mm dengan tulangan utama panjang Penyaluran

BB – 06 = Balok dengan tulang longitudinal BJTD diameter 10 mm dengan tulangan utama panjang Penyaluran



MODEL BENDA UJI BALOK DENGAN TULANGAN BJTD DAN CRT
 (TULANGAN UTAMA MENGGUNAKAN PANJANG PENYALURAN)

Gambar 3.2 Model Benda Uji

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 dalam tabel 2.2 untuk tes l_d dengan asumsi lebih kecil, sama dengan dan lebih besar dari hasil persamaan dan dan 5ϕ untuk tes μ (tegangan lekat).

c. Pengecoran benda uji

Tujuan dalam proses ini adalah untuk mencampur bahan-bahan pembentuk beton menjadi suatu beton dengan bentuk dan ukuran yang sudah ditentukan. Selama pengecoran dijaga agar tidak

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

3.7.4 Pengujian Mutu Beton $f'c$

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

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

3.7.5 Pengujian tarik baja

Untuk uji tarik tulangan baja dilakukan sesuai ASTM C370-94 yang bertujuan untuk mengetahui kuat tarik maksimum dari tulangan baja yang digunakan sebagai benda uji. Di dalam penelitian ini dipakai tulangan Cold Rolled & Twisted Bar, 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 (<i>abrasi tes</i>) dengan menggunakan alat lost angeles	

3.9 Teknik Analisa Data

3.9.1 Analisa pada penelitian

- a. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 MPa terhadap panjang penyaluran.
- b. Pengujian kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.

3.9.2 Analisa Eksperimental

- a. Dari eksperimen diperoleh data besar kuat lentur balok , tegangan dan regangan tulangan CRT dan BJTD yang diberi panjang penyaluran.
- b. Pembuatan grafik hubungan antara tegangan dan regangan balok dengan tulangan CRT dan tulangan BJTD yang diberi panjang penyaluran dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.

- c. Pengujian kuat lentur balok terhadap panjang penyaluran dengan menggunakan tulangan CRT dan tulangan BJTD dengan mutu beton $f'c$ 24,52 Mpa.
- d. Point b dan c dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan terhadap tulangan BJTD dan tulangan CRT.
- e. Point b dan c dibandingkan dengan hasil analisa teoritis dibuat perbandingan besar kuat lentur balok terhadap tulangan BJTD dan tulangan CRT.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, bahwa rumus/persamaan yang ada hanya berlaku pada tulangan polos dan deform (ulir), maka untuk menentukan rumus atau persamaan untuk kuat lentur dan kuat geser balok dengan tulangan CRT akan dilakukan suatu pendekatan rumus atau persamaan berdasarkan dari grafik hasil penelitian. Akan tetapi sebagai pembanding akan digunakan rumus atau 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 – 05)

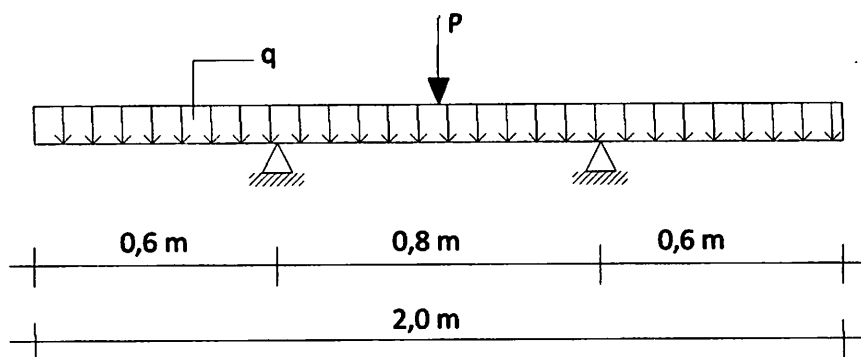
1. Analisa Kuat Lentur, Tegangan dan Regangan

a. Perhitungan Beban Rencana

Karakteristik balok BB - 05 :

- Type : Balok beton bertulang BB -05
- 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



Gambar 3.3 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan CRT #10

Kontrol momen CRT



Gambar 3.4 Penampang Balok dengan Tulangan CRT #10

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

(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)

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

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

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

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,5}{455} \cdot \frac{600}{600 + 455}$$

$$= 0,02214$$

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

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

$$= 0,00308$$

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

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

$$= 0,01661$$

Direncanakan penulangan :

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

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

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

$$d = 250 - 30,711$$

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

Bila dianggap bahwa semua penulangan telah mengalami

yield, maka $f'_s = f_y$ dan $f_s = f_y$, dengan demikian :

As = Luas tulangan tarik

A's = Luas tulangan tekan

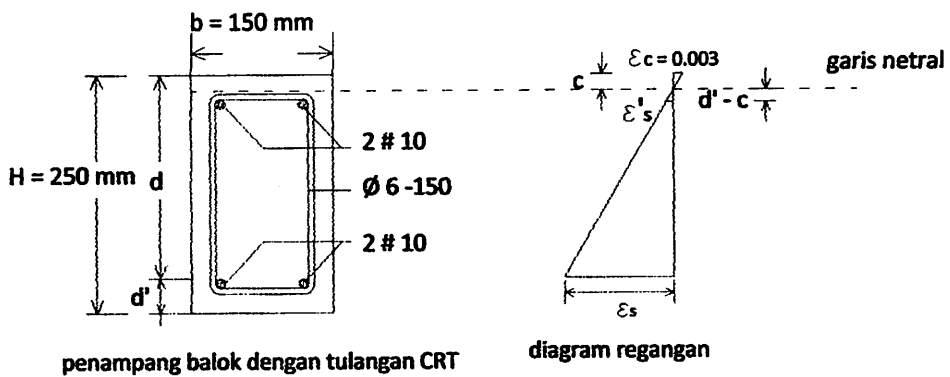
Dari pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik,
dicari blok tegangan tekan :

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

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 :



Gambar 3.5 Model diagram regangan tulangan CRT # 10

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

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

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

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

Kondisi penulangan :

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

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

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

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_c + C_s = T$$

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

$$(0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1) c^2 + (600 \cdot A's - As \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot$$

$$A's \cdot d' = 0$$

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

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

atau memakai :

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

dimana :

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

Dan diketahui :

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

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

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

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

kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut:

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

$$Q = \frac{600 \cdot d' \cdot A's}{0,85 \cdot f'c \cdot Bw \cdot \beta_1}$$

$$= \frac{600 \cdot 30,711 \cdot 139,446}{1,7 \cdot 24,5 \cdot 150 \cdot 0,85}$$

$$= 966,945$$

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

$$= \pm \sqrt{(966,945 + 3,804^2)} - 3,804$$

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

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

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

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

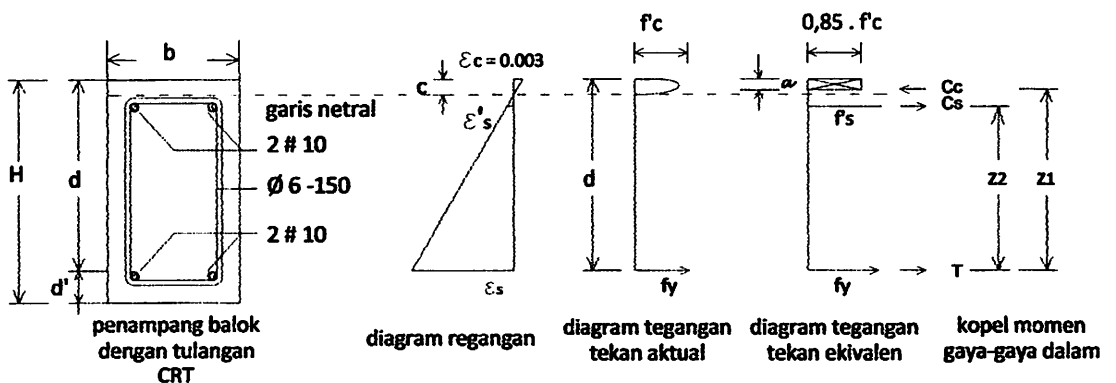
$$= \frac{(30,711 - 27,523)}{27,523} \cdot 600$$

$$= 69,495 \text{ Mpa} < f_y = 455 \text{ MPa}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 27,523$$

$$= 23,395 \text{ mm}$$



Gambar 3.6 Ilustrasi diagram regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan tulangan CRT #10

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

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

Resultante gaya tekan dari blok tegangan tekan ekuivalen :

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

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 :

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

$$C_c - C_s = T$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 Mn1 &= (Cc \cdot Z_1) \\
 &= (73,139 \cdot 207,59) \cdot 10^{-3} \\
 &= 15,18 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

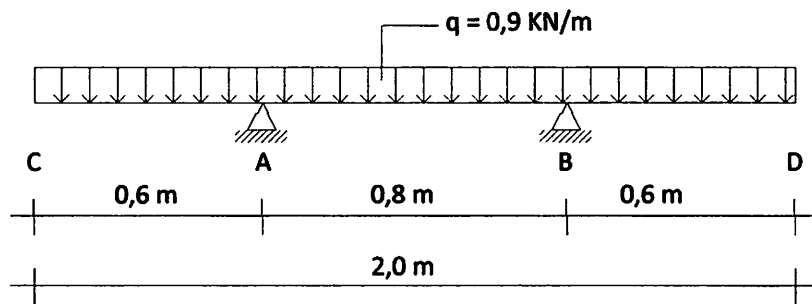
$$\begin{aligned}
 Mn2 &= (Cs \cdot Z_2) \\
 &= (9,691 \cdot 188,58) \cdot 10^{-3} \\
 &= 1,83 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= Mn1 - Mn2 \\
 &= 15,18 - 1,83 \\
 &= 13,36 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mr &= \varphi \cdot Mn \\
 &= 0,8 \cdot 13,36 \\
 &= 10,68 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

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

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



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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

Kontrol :

$$\Sigma F_V = 0$$

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

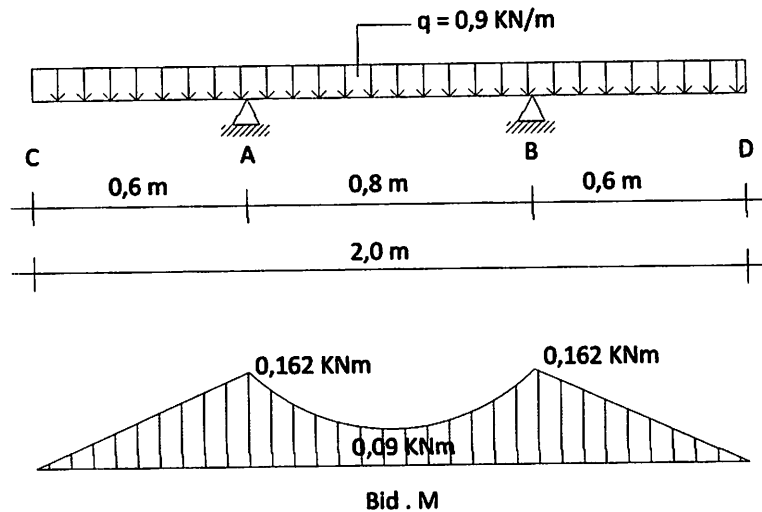
$$x = 0,4 \text{ m}$$

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

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

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

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



Gambar 3.7 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.

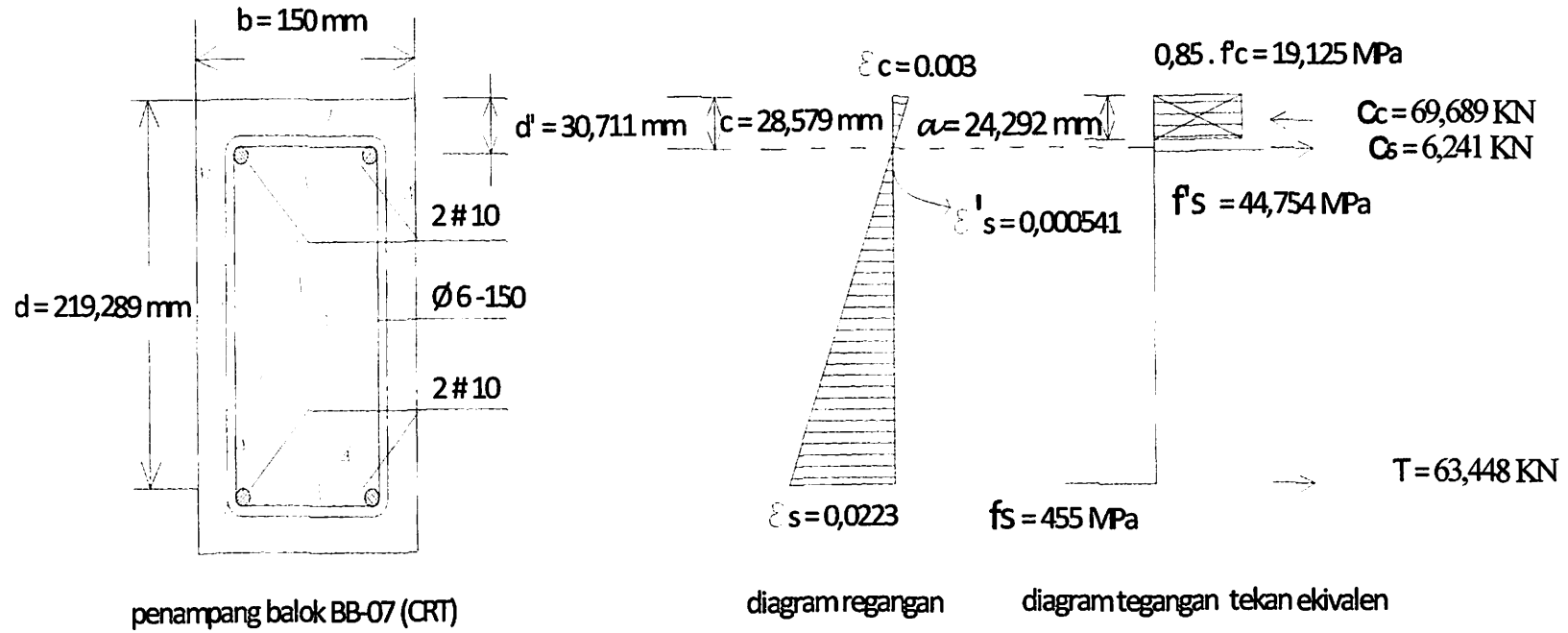
Cek syarat daktilitas

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

$$\leq 0,01661$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

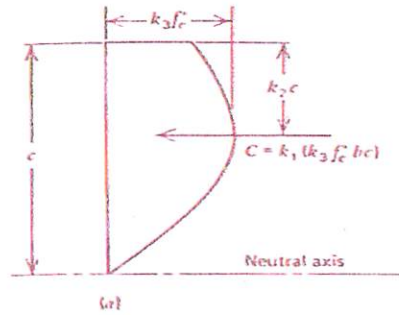
$$\begin{aligned}\rho^o &= \frac{As}{b \cdot d} \\ &= \frac{139,446}{150 \cdot 219,289} = 0,0042 < \rho \text{ max} = 0,01661 \dots \dots \text{(ok)}\end{aligned}$$



Gambar 3.8 Model Diagram Regangan Tulangan CRT # 10

b. Analisa Distribusi Tegangan Aktual Balok dengan Tulangan

CRT # 10



Gambar 3.9 Distribusi Tegangan Tekan Aktual

Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

Tabel 3.3. Interpolasi nilai-nilai parameter dengan $f'c$ 24,5MPa pada Balok dengan Tulangan CRT #10

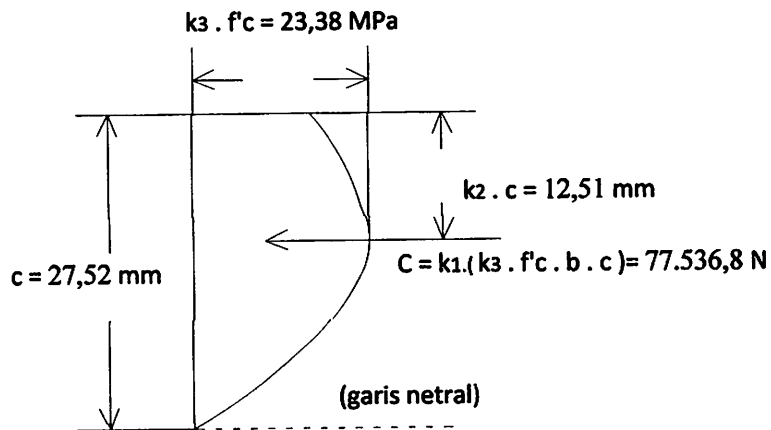
$f'c$ N/mm ²	Nilai			
	k1	k2	k3	ϵ_c
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
24.52	0.803	0.454	0.953	0.00344

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

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

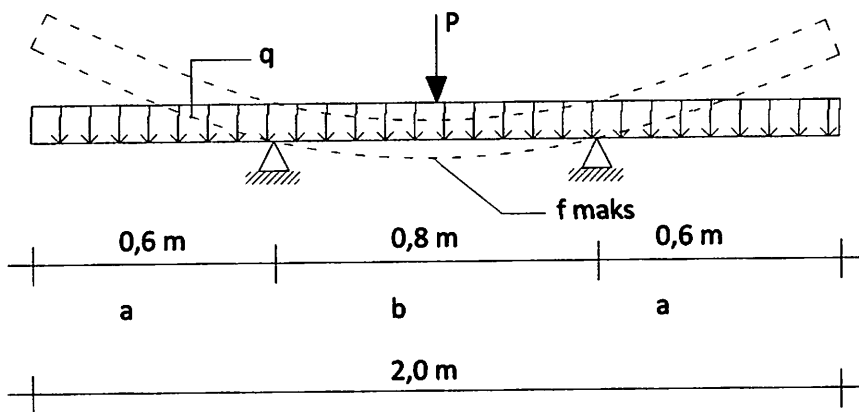
$$k_2 \cdot c = 0,454 \cdot 28,58 = 12,51 \text{ mm}$$

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



Gambar 3.10 Distribusi Tegangan Tekan Aktual CRT # 10

c. Perhitungan Lendutan Balok



Diketahui :

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

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 800 \text{ mm}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Kontrol retak lentur

Dimana :

$$B_h = \frac{d+d'-c}{d-c}$$
$$= \frac{219,289+30,711-27,523}{219,289-27,523}$$

$$= 1,16$$

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

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

$$A = \frac{b \times (h-c)}{2}$$
$$= \frac{150 \times (250-27,523)}{2}$$

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

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

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

Lebar retak melebihi lebar retak yang diizinkan berdasarkan

ACI 224

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 10 mm*

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

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

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

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

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

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

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

$$n = 2$$

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

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

Panjang penyaluran untuk Tulangan Tarik :

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{10 \sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{455}{\sqrt{24,52}} \frac{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2,5} = 33,079 \text{ diameter}$$

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

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

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9}{10} = \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left(\frac{c+K_{tr}}{d_b}\right)} = \frac{9}{10} \cdot \frac{455}{\sqrt{24,52}} \frac{1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2,66} = 31,089 \text{ diameter}$$

2. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

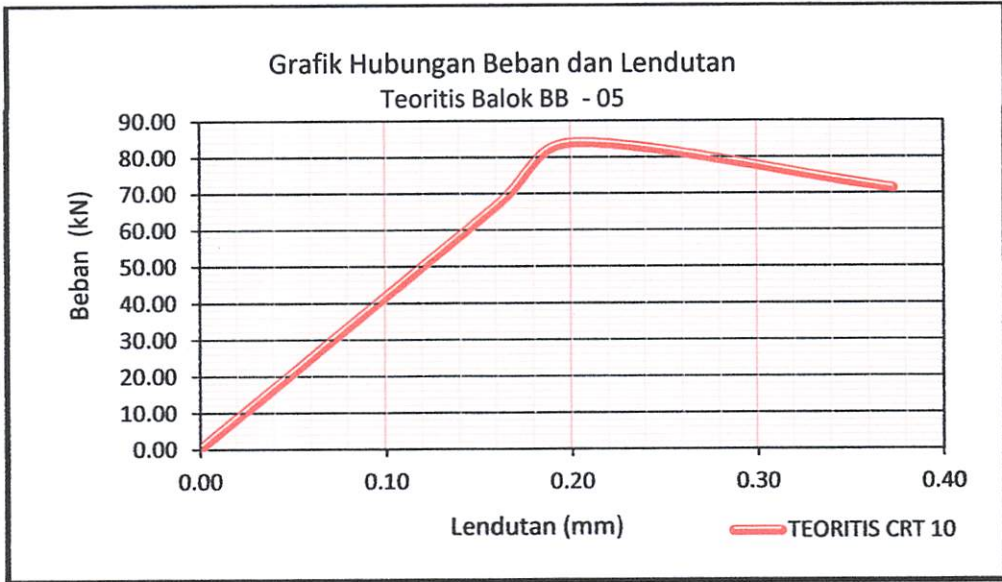
Tabel 3.4 Hubungan Beban P dan Lendutan Balok BB – 05

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

Keterangan Pengisian tabel 3.4

- a. Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- b. Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton
- c. Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja
- d. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- e. Pada Kolom 5 berisi nilai Lendutan Beton
- f. Pada Kolom 6 berisi keterangan

Kurva hubungan beban dan lendutan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB – 05) 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 (beban) dan kolom 5 (lendutan).



Grafik 3.1 Kurva Beban P dan Lenturan Teoritis Balok BB – 05

3. Grafik Tegangan dan Regangan

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

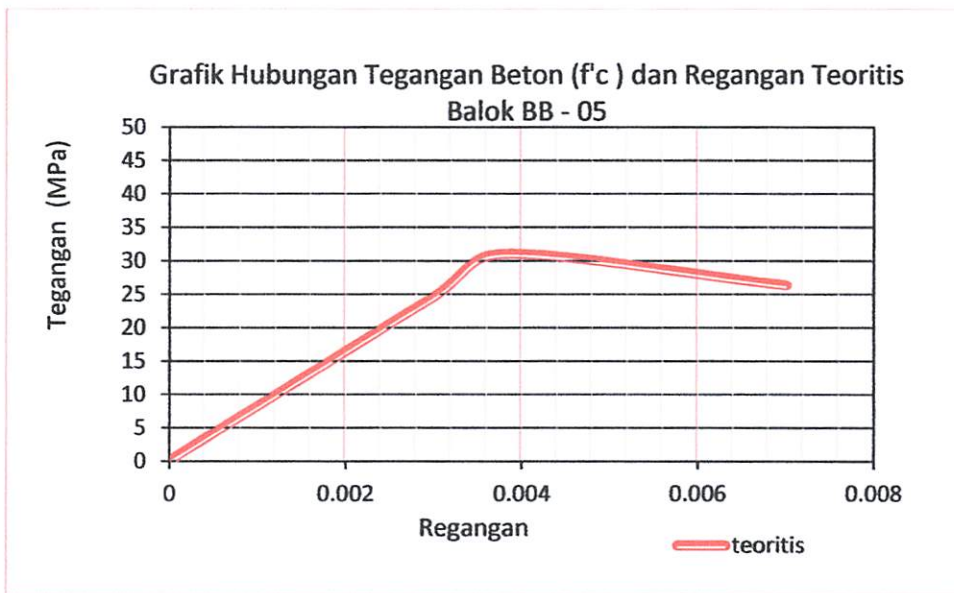
Tabel 3.5 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 05

No.	f_c Mpa	f_s Mpa	P kN	ϵ_c	ket.
1	2	3	4	5	6
2	0.00	0.00	0.00	0.00	
3	24.52	455.00	66.33	0.00300	retak 1
4	31.04	576.00	83.97	0.00380	ultimate
5	26.38	489.60	71.37	0.00703	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.5

- a. Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- b. Pada kolom 2 berisi nilai Tegangan Beton
- c. Pada kolom 3 berisi nilai Tegangan Baja
- d. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- e. Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton
- f. Pada Kolom 6 berisi Keterangan

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan CRT (BB – 05) 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 2 (tegangan) dan kolom 5 (regangan).



Grafik 3.2 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB - 05

3.10.2 Balok dengan Tulangan BJTD (Balok BB – 06)

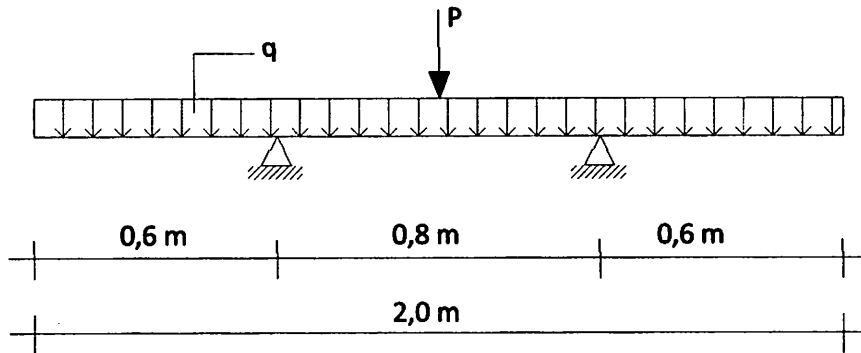
1. Analisa Kuat Lentur, Tegangan dan Regangan

a. Perhitungan Beban Rencana

- Type : Balok beton bertulang
- Dimensi : 150 mm x 250 mm x 2000 mm
- Mutu beton ($f'c$) : 24,52 MPa
- Mutu Baja (f_y) : 451 MPa
- Tulangan utama : BJTD D 10 mm

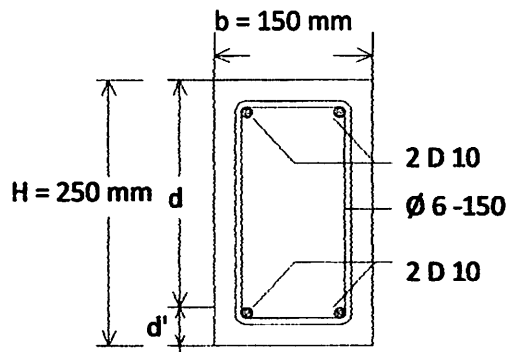
- Tulangan sengkang : BJTP Ø 6 mm
- Selimut beton : 20 mm

Model Pengujian Kuat Lentur



Gambar 3.11 Model Pengujian Kuat lentur Balok dengan Tulangan BJTD D 10

Kontrol momen BJTD



Gambar 3.12 Penampang Balok dengan Tulangan BJTD D 10

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

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

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

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

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

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

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

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

(Regangan baja tulangan dalam keadaan leleh)

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

$$= 0,0023$$

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

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

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

$$= 0,02242$$

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

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

$$= 0,00310$$

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

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

$$= 0,01682$$

Direncanakan penulangan :

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

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

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

$$d = 250 - 30,765$$

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

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

A_s = Luas tulangan tarik

$A's$ = Luas tulangan tekan

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

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

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

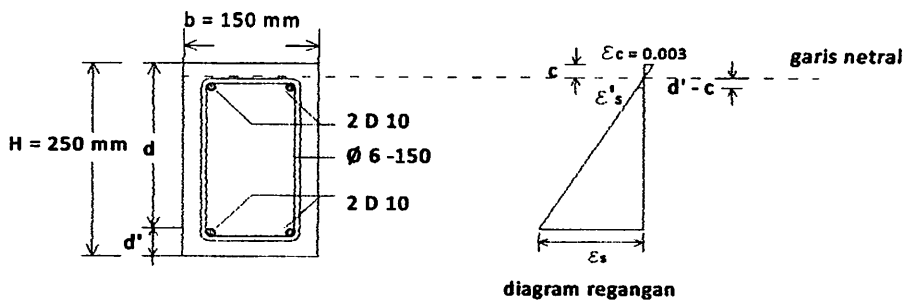
$$= 20,58 \text{ mm}$$

Kemudian dapat ditentukan letak garis netral

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

$$= \frac{20,58}{0,85} = 24,212 \text{ mm}$$

Pemeriksaan regangan – tegangan untuk mengetahui apakah asumsi awal
 benar :



Gambar 3.13 Model diagram regangan tulangan BJTD D 10

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

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

$$= 0,000812$$

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

$$= 0,0242$$

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

$$= 0,0023$$

Kondisi penulangan :

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

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

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

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_c + C_s = T$$

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

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

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

$$- (600 \cdot 142,661) \cdot 30,765 = 0$$

atau memakai :

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

dimana :

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

Dan diketahui :

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

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

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

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

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

kemudian untuk mencari nilai c dengan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} R &= \frac{600 \cdot A's - A_s \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot B_w \cdot \beta_1} \\ &= \frac{600 \cdot 142,661 - 142,661 \cdot 451}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85} \\ &= 4,0 \end{aligned}$$

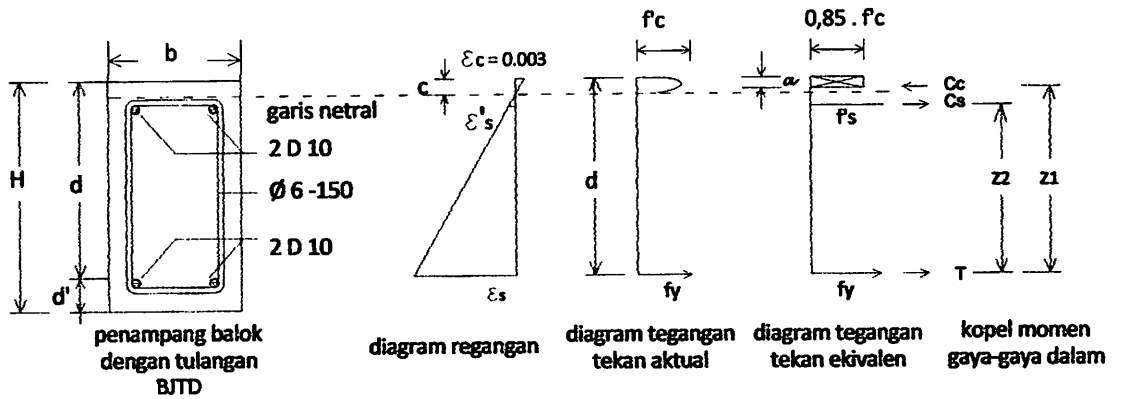
$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{600 \cdot d' \cdot A's}{0,85 \cdot f'c \cdot Bw \cdot \beta_1} \\
 &= \frac{600 \cdot 30,765 \cdot 142,661}{1,7 \cdot 24,52 \cdot 150 \cdot 0,85} \\
 &= 990,979
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \pm \sqrt{(Q + R^2)} - R \\
 &= \pm \sqrt{(990,979 + 4,0^2)} - 4,0 \\
 &= 27,733 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 f's &= \frac{(30,765 - 27,733)}{27,733} \cdot 600 \\
 &= 65,59 \text{ Mpa} < f_y = 451 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \beta_1 \cdot c \\
 &= 0,85 \cdot 27,733 \\
 &= 23,573 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.14 Ilustrasi Diagram Regangan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Dengan Tulangan BJTD D 10

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

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

Resultante gaya tekan dari blok tegangan tekan ekuivalen :

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

Gaya tekan pada tulangan tekan :

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

Gaya tarik pada tulangan tarik :

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

$$C_c - C_s = T$$

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

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

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

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

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

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

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

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

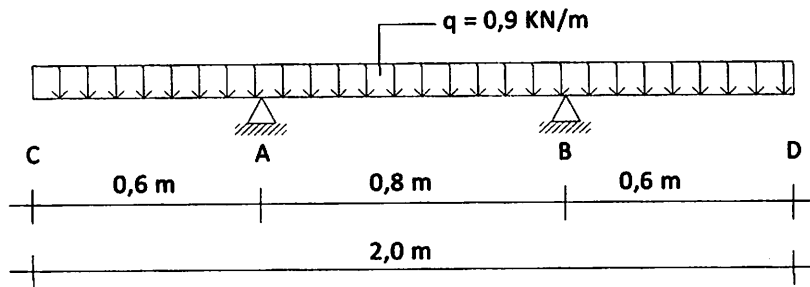
$$M_u = M_{bs} + M_{up}$$

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

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

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

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



Gambar 3.15 Perhitungan Momen Akibat Berat Sendiri Balok Dengan Tulangan BJTD D 10

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

$$\Sigma M_B = 0$$

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

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

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

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

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

$$R_A + R_B - Q = 0$$

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

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

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

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

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

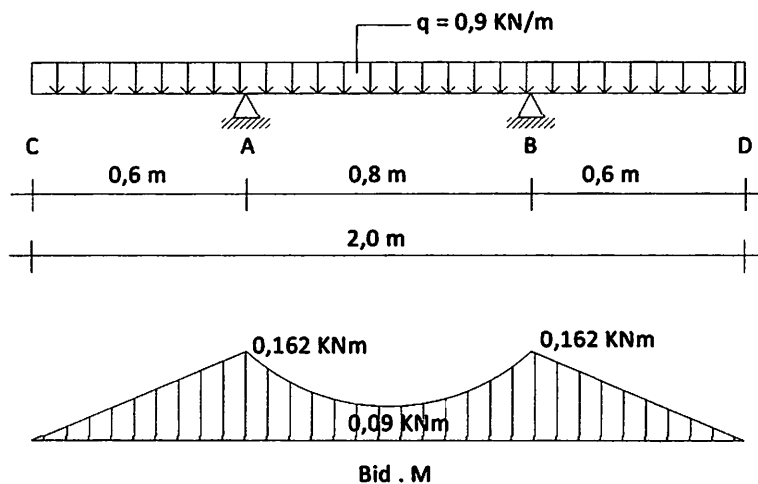
$$-0,54 + 0,9 - 0,9 x = 0$$

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

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

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

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



Gambar 3.16 Momen Maksimum Akibat Berat Sendiri Pada Balok Dengan Tulangan BJTD D 10

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

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

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

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

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

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

Cek syarat daktilitas

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

$$\leq 0,01682$$

Untuk pasangan kopel beton tekan dengan tulangan baja tarik

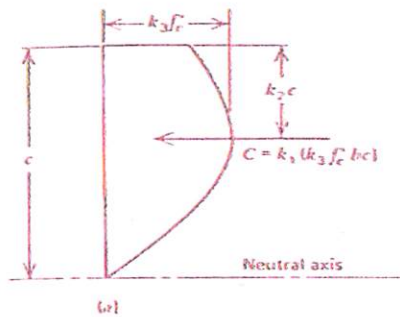
$$\rho^{\circ} = \frac{As}{b \cdot d}$$

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

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

b. Analisa distribusi tegangan aktual Balok dengan Tulangan

BJTD D 10



Gambar 3.17 Distribusi Tegangan Tekan Aktual

Sumber : R.Park dan T. Paulay (1995 : 51)

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

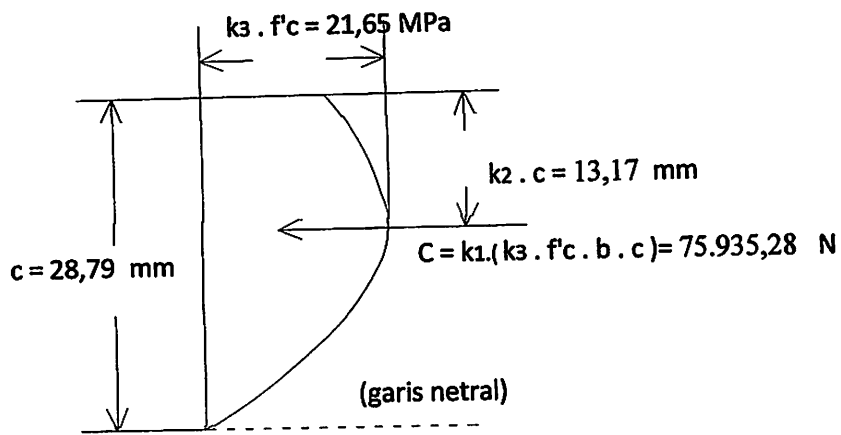
f_c N/mm ²	Nilai			
	k1	k2	k3	ϵ_c
20.7	0.82	0.46	0.97	0.0035
27.6	0.79	0.45	0.94	0.0034
22.5	0.812	0.457	0.962	0.00347

$$k_3 \cdot f_c = 0,962 \cdot 22,5 = 21,65 \text{ Mpa}$$

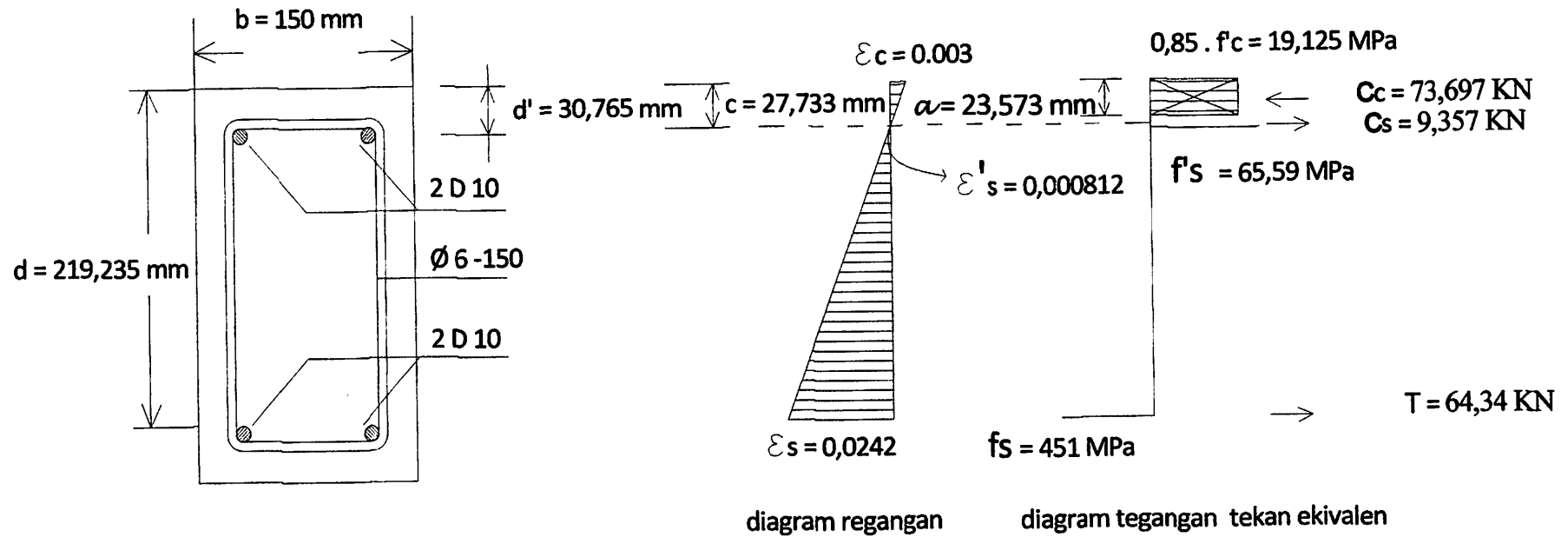
$$c = 28,79 \text{ mm}$$

$$k_2 \cdot c = 0,457 \cdot 28,79 = 13,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 k_1 \cdot (k_3 \cdot f'_c \cdot b \cdot c) &= 0,812 \cdot (0,962 \cdot 22,5 \cdot 150 \cdot 28,79) \\
 &= 75.935,28 \text{ N}
 \end{aligned}$$

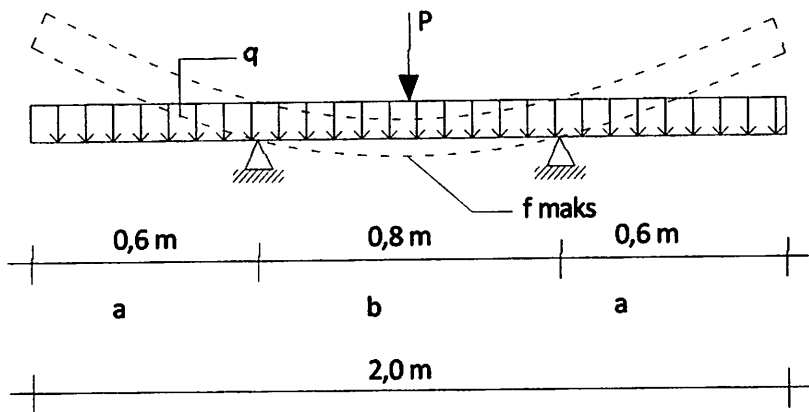


Gambar 3.18 Distribusi Tegangan Tekan Aktual BJTD D 10



Gambar 3.19 Model Diagram Regangan Tulangan BJTD D 10

c. Perhitungan Lendutan Balok



Gambar 3.20 Model Lendutan Pada Balok BJTD D 10

Diketahui :

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} f \text{ maks} &= \frac{P \times b^3}{48 EI} + \frac{w \cdot b^2}{384 EI} (5b^2 - 24 a^2) \\ &= \frac{67.174,22 \times 800^3}{48 \times 23.273,307 \times 195.312.500} + \\ &\quad \frac{0,9 \times 800^2}{384 \times 23.273,307 \times 195.312.500} (5 \times 800^2 - 24 \times 600^2) \\ &= 0,1627 \text{ mm} \end{aligned}$$

d. Analisa Retak Lentur Balok dengan Tulangan BJTD D 10

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

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

$$C_c = 20 - \frac{9,53}{2} = 15,235 \text{ mm.}$$

Pengawasan Peraturan ACI menyangkut Retak

Persamaan ACI 10 – 5

$$s = \frac{95000}{f_s} - 2,5 C_c \leq \frac{300}{252/f_s}$$
$$= \frac{95.000}{0,6(451)} - 2,5 \cdot 15,235 \leq \frac{300}{252/(0,6 \cdot 451)}$$

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

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

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

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

$$c = 28,792 \text{ mm}$$

Kontrol retak Lentur

Perkiraan lebar retak

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

Dimana :

$$B_h = \frac{219,235 + 30,376 - 28,792}{219,235 - 28,792} = 1,162$$

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

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

$$A = \frac{150 \times (250 - 28,792)}{2} = 16590,6 \text{ mm}^2$$

$$w = 0,076 \cdot 1,162 \cdot 270,6 \sqrt[3]{20 \cdot 16590,6}$$

$$= \frac{1654,416}{1000} = 1,654 \text{ mm} > \text{lebar retak yang diizinkan} = 0,012$$

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

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

Untuk rotasi plastis ultimate dianalisa berdasarkan curvature.

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

- Untuk balok beton bertulang tak terkekang

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

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

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

Dimana P_u = Gaya tekan aksial pada balok

P_o = Gaya tarik aksial pada balok tanpa momen tekuk

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

diamsumsikan $f^1c = 0,85$ kekuatan beton kubus.

z = jarak bagian kritis ke titik contrafleksure

d = Tinggi efektifitas balok

Baker mengidentifikasi untuk batasan bentang/ d dan $\frac{z}{d}$ ditemukan

pada percobaan, L_p pada batasan $0,4 d$ dan $2,4 d$.

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

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

Dimana : $k_1 = 0,9$

$$K_3 = 0,762$$

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

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

$$L_p = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,762 \left(\frac{400}{219,235}\right) 28,792$$

$$= 28.821 \text{ mm.}$$

- b. Berdasarkan persamaan Corley

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned}L_p &= 0,5 d + 0,05 z \\ &= 0,5 (219,235) + 0,05 \cdot (400) \\ &= 129,618 \text{ mm}\end{aligned}$$

- d. Sawyer memberikan persamaan berikut untuk panjang plastis ekuivalen

$$\begin{aligned}L_p &= 0,25 d + 0,075 z \\ &= 0,25 (219,235) + 0,075 (400) \\ &= 84,809 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Grafik Hubungan Beban P dan Lendutan

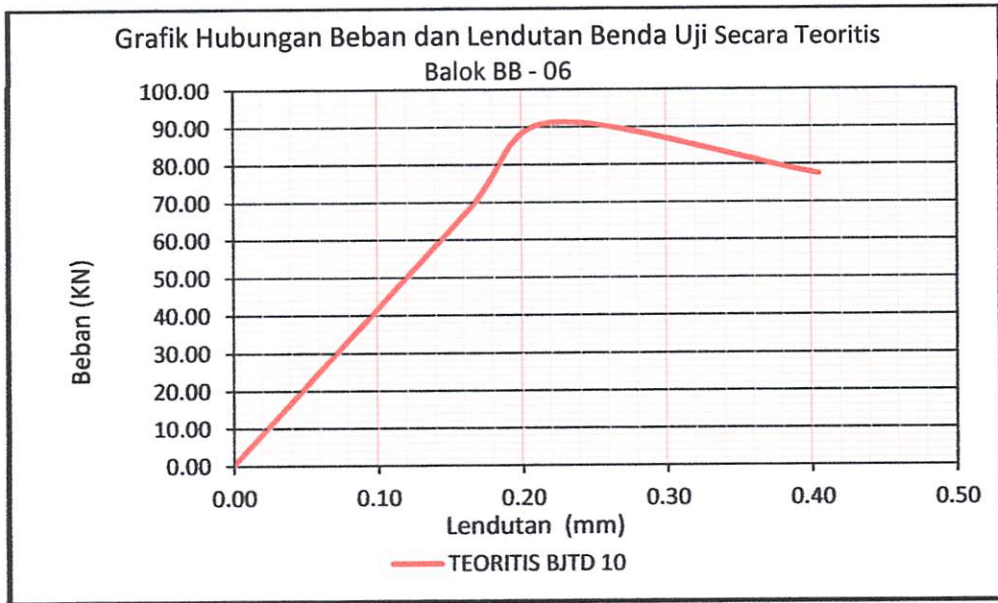
Tabel 3.7 Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 06

No	f_c	f_s	P	f	ket.
	Mpa	Mpa	kN	mm	
1	2	3	4	5	6
1	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	24.52	451.00	67.17	0.16	retak I
3	33.27	612.00	91.15	0.22	ultimate
4	28.28	520.20	77.48	0.41	runtuh

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 Lendutan Beton
- Pada Kolom 6 berisi Keterangan

Kurva beban dan lendutan balok dengan tulangan BJTD (BB – 06) 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 4 (Beban) dan kolom 4 (Lendutan).



Grafik 3.3 Kurva Hubungan Beban P dan Lendutan Teoritis Balok BB – 06

1. Grafik Regangan dan Tegangan

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

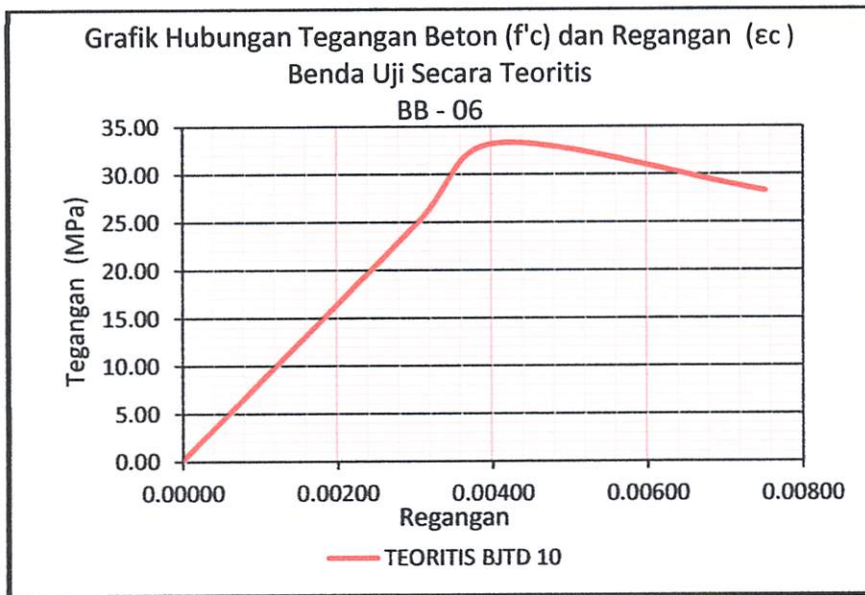
Tabel 3.8 Hubungan Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 06

No	f_c	f_s	P	ϵ_c	ket.
	Mpa	Mpa	KN		
1	2	3	4	5	6
1	0.00	0.00	0.00	0.00000	
2	24.52	451.00	67.17	0.00300	retak 1
3	33.27	612.00	91.15	0.00407	ultimate
4	28.28	520.20	77.48	0.00753	runtuh

Keterangan Pengisian tabel 3.8

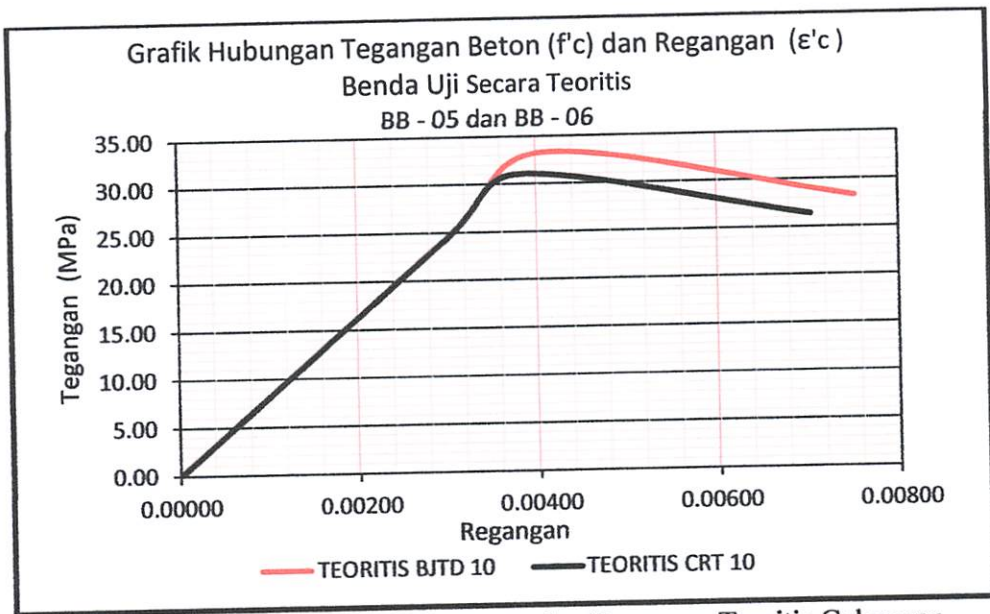
- a. Pada Kolom 1 berisi No. Urut
- b. Pada kolom 2 berisi nilai Regangan Beton
- c. Pada kolom 3 berisi nilai Regangan Baja
- d. Pada kolom 4 berisi nilai Beban Terpusat
- e. Pada Kolom 5 berisi nilai Regangan Beton
- f. Pada Kolom 6 berisi Keterangan

Kurva tegangan-regangan teoritis balok dengan tulangan BJTD (BB – 06) yang terlihat pada Grafik 3.4. di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.8. yaitu angka-angka pada kolom 2 untuk (tegangan) dan kolom 5 (regangan).



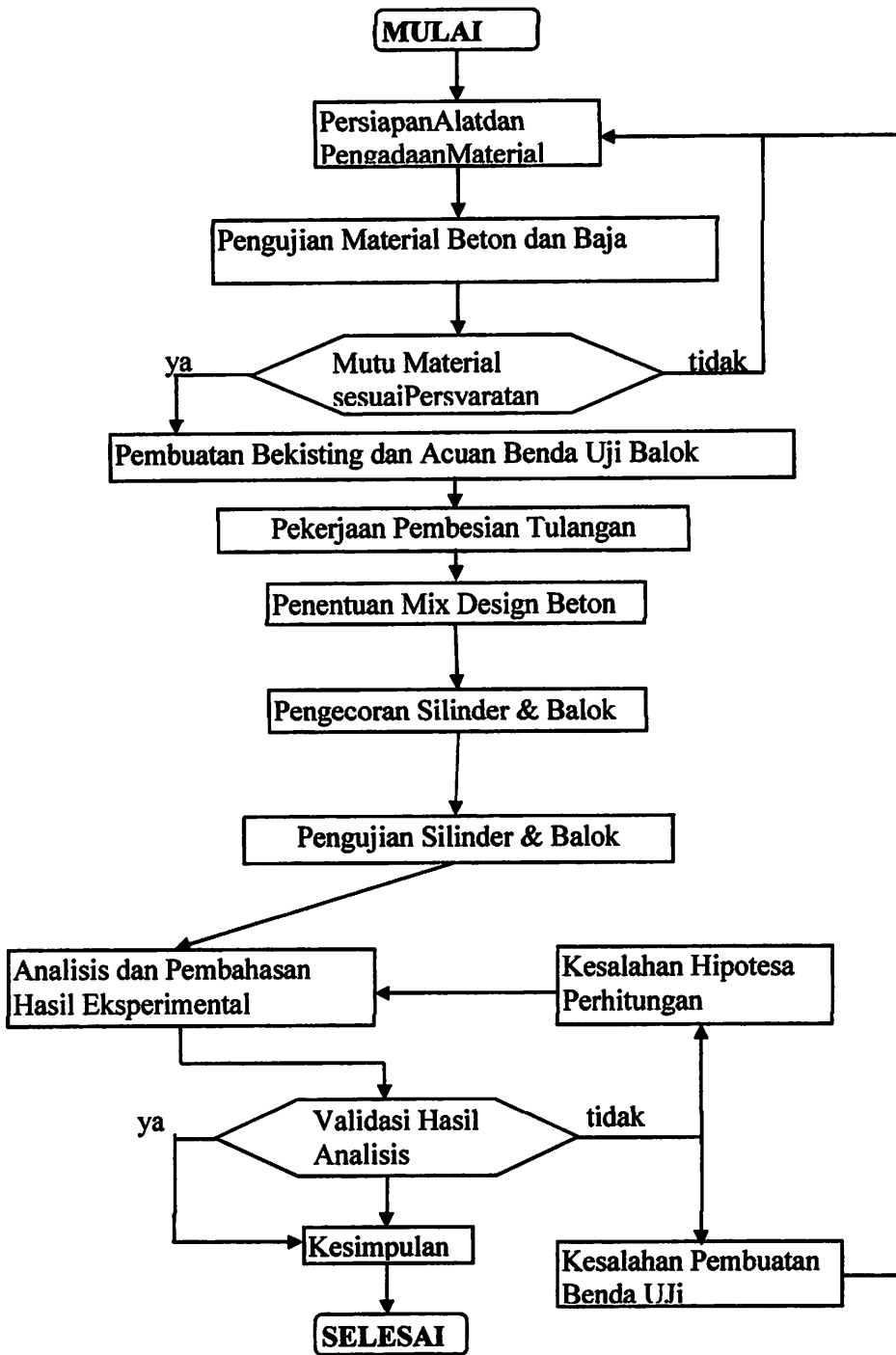
Grafik 3.4 Kurva Tegangan dan Regangan Teoritis Balok BB – 06

Grafik 3.5 dibawah adalah kurva tegangan-regangan hasil analisa teoritis Balok dengan tulangan CRT (BB – 05) dan balok dengan tulangan BJTD (BB – 06) yang digabungkan ke dalam satu kurva. Terlihat pada kurva, balok dengan tulangan BJTD (BB – 06) mempunyai tegangan puncak yang lebih besar daripada balok dengan tulangan CRT (BB-05). 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 – 05 dan Balok BB - 06**

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 22,5 MPa

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 $f'_c = 24,52$ MPa. Perhitungan kuat tekan silinder selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2.

4.1.3. Pengujian Kuat Tarik Baja

4.4.1.1 Pengujian Kuat Tarik tulangan BJTP Ø 16

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

Tabel 4.2 Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTP Ø 16

No.	Specimen	Area	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	

$$\begin{aligned} f_y \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_y}{\text{jumlah benda uji}} \\ &= \frac{759,49}{3} \\ &= 253 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} f_u \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma f_u}{\text{jumlah benda uji}} \\ &= \frac{1053.6}{3} = 351,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka tegangan ultimate (f_u) pada Tulangan BJTP Ø 16 sebesar 351,2 MPa

4.4.1.2 Pengujian Kuat Tarik tulangan CRT # 10

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

Tabel 4.3 Pengujian Kuat Tarik Tulangan CRT # 10

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

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

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

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

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

4.4.1.3 Pengujian Kuat Tarik tulangan BJTD D 10

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

Tabel 4.4 Pengujian Kuat Tarik Tulangan BJTD D 10

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

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

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

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

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

4.2. Balok Beton Tulangan CRT Dengan Panjang Penyaluran (BB-05)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB - 05, 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.

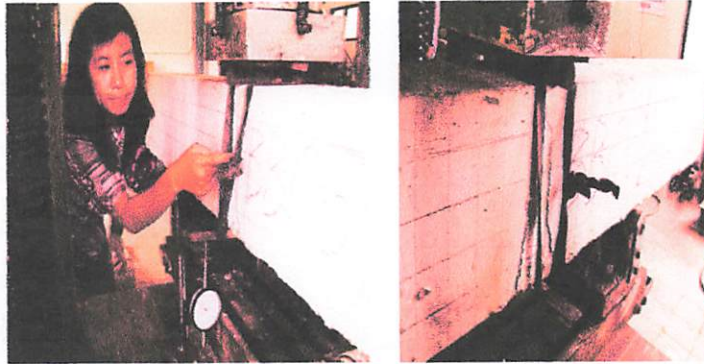
Mekanisme keruntuhan balok BB 05 - A diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 4,8 \text{ kN}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak (ultimate). Seperti terlihat dalam Gambar 4.1, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak sebesar $P = 6,4 \text{ kN}$ Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 3,2 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 05 - B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah memanjang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 5,2 \text{ kN}$, 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 $P = 7,2 \text{ kN}$ Setelah

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

Kehancuran pada Balok BB 05 - C bermula dari retak di bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 4,8 \text{ kN}$, 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 $P = 6,4 \text{ kN}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 2,8 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 05 - D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 5,6 \text{ kN}$ 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 $P = 7,6 \text{ kN}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 5,6 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

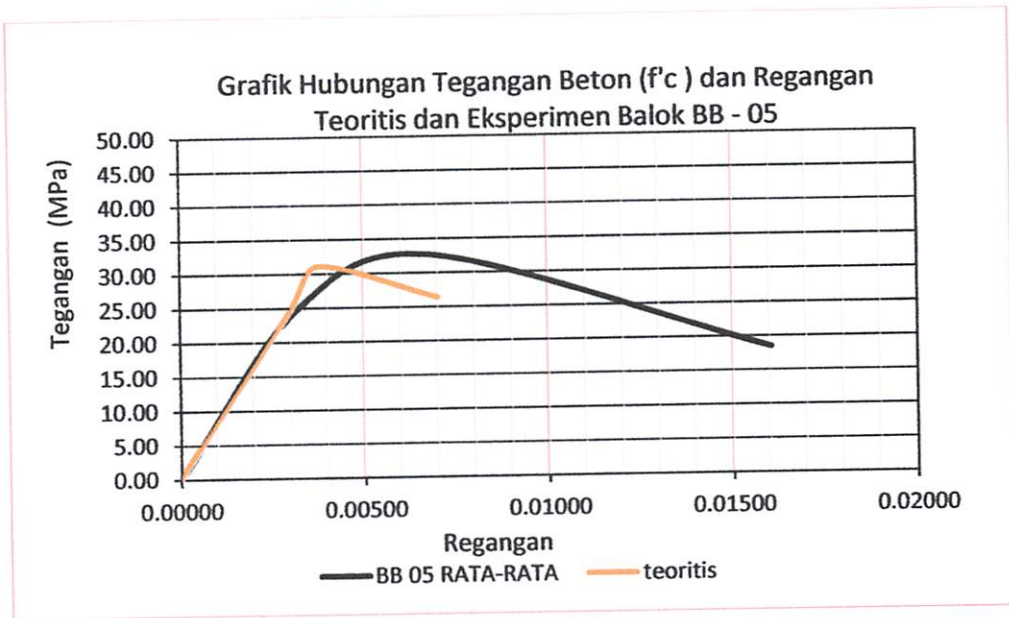


Gambar 4.1. Pengujian balok BB-05

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 $L = 400$ 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 - 05 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran 1 Tabel L.1.1-E* yaitu angka-angka pada kolom 5 dan kolom 7. Sedangkan kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB-05 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- 05

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.2, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 05 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

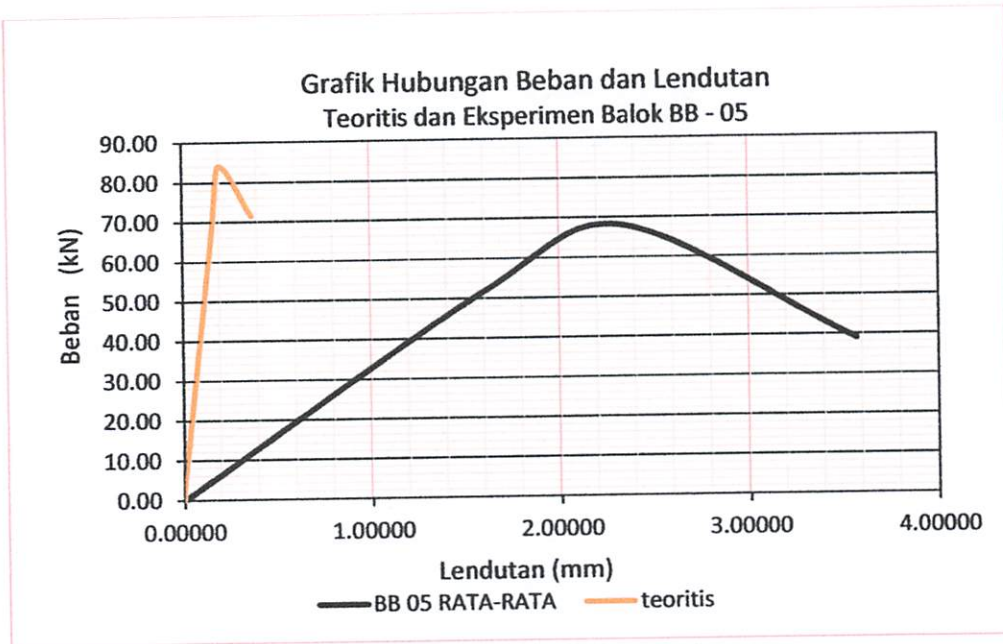
Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 32,64 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 31,04 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -4,91 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,00681 sedangkan ϵ_c hasil analisa teoritis 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 - 05

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c (Mpa)	ϵ_c
1	BB-05A	31.04	0.00380	30.65	0.00520	1.27	-26.99
2	BB-05B	31.04	0.00380	33.95	0.00738	-8.57	-48.55
3	BB-05C	31.04	0.00380	32.69	0.00714	-5.05	-46.81
4	BB-05D	31.04	0.00380	33.28	0.00750	-6.72	-49.38
5	BB-05 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 - 05 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Lampiran I Tabel L.1.1-E* yaitu angka-angka pada kolom 3 dan kolom 4. Sedangkan kurva beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 05 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 - 05

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 - 05 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 0,20 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 – 05

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f (mm)	P_{maks} (KN)	f (mm)	P_{maks} (KN)	P_{maks}	f
1	BB-05A	0.20179	83.97	2.04000	60.00	39.95	-90.11
2	BB-05B	0.20179	83.97	2.43000	72.00	-4.25	-91.70
3	BB-05C	0.20179	83.97	2.39000	64.00	-23.78	-91.56
4	BB-05D	0.20179	83.97	2.45000	76.00	-9.49	-91.76

4.3. Pengujian Balok Beton Tulangan BJTD Dengan Panjang Penyaluran (BB-06)

1. Mekanisme Keruntuhan.

Proses pengujian kuat lentur terhadap balok BB - 06, 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 06 - A diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada bagian tengah saat beban mencapai $P = 44 \text{ kN}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan dengan penambahan beban lentur P hingga beban puncak. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban P telah melewati beban puncak (ultimate) sebesar $P = 60 \text{ kN}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan

hingga $P = 36 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 06 - B, keruntuhan juga diawali dengan retak arah membelah melintang balok pada tengah balok saat beban mencapai $P = 40 \text{ kN}$, 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 sebesar $P = 56 \text{ kN}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 28 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Kehancuran pada Balok BB 06 - C bermula retak dari bagian tengah balok saat beban mencapai $P = 48 \text{ kN}$, 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 $P = 68 \text{ kN}$. Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 52 \text{ kN}$ dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

Pada balok BB 06 - D keruntuhan ditandai dengan retak arah membelah memanjang pada tengah balok saat beban mencapai $P = 52 \text{ kN}$ 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 $P = 72$ kN Setelah kondisi ultimate maka nilai beban menurun secara konstan hingga $P = 60$ kN dan lendutan semakin besar hingga akhirnya balok mengalami keruntuhan dan patah pada bagian tengah bentang.

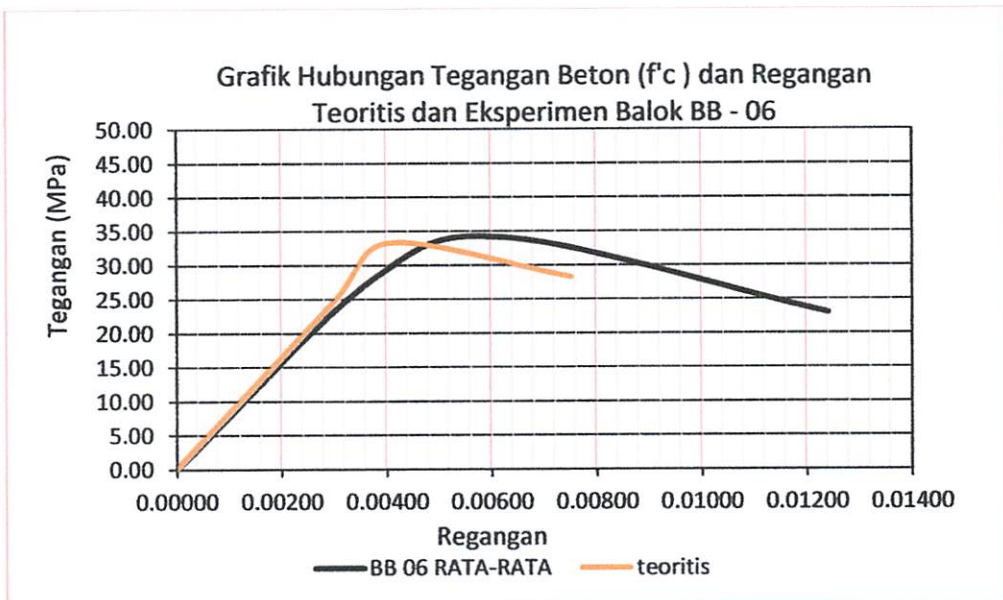


Gambar 4.2 Pengujian balok BB - 06

2. Kurva Hubungan Tegangan-Regangan Beton

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban lentur(P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat Dial sebanyak 2 buah. Nilai lendutan yang dipakai adalah nilai rata-rata dari hasil pembacaan 2 buah Dial yang dibagi dengan tinggi balok mula-mula yaitu $L = 400$ mm untuk memperoleh nilai regangan. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada Lampiran 1 Tabel *L.1.2-E*.

Kurva tegangan-regangan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 06 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 7. Sedangkan kurva tegangan- tegangan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 06 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 – 06

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.3, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , ϵ_c pada kurva tegangan-regangan beton Balok BB - 06 eksperimen dan teoritis, sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 34,11 MPa sedangkan f'_c hasil analisa teoritis sebesar 33,27 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -2,46 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa eksperimen sebesar 0,006 sedangkan ϵ_c hasil analisa teoritis sebesar 0,004 atau mengalami perbedaan sebesar -34,76 %. Hasil Perbandingan f'_c , dan ϵ_c teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.7.

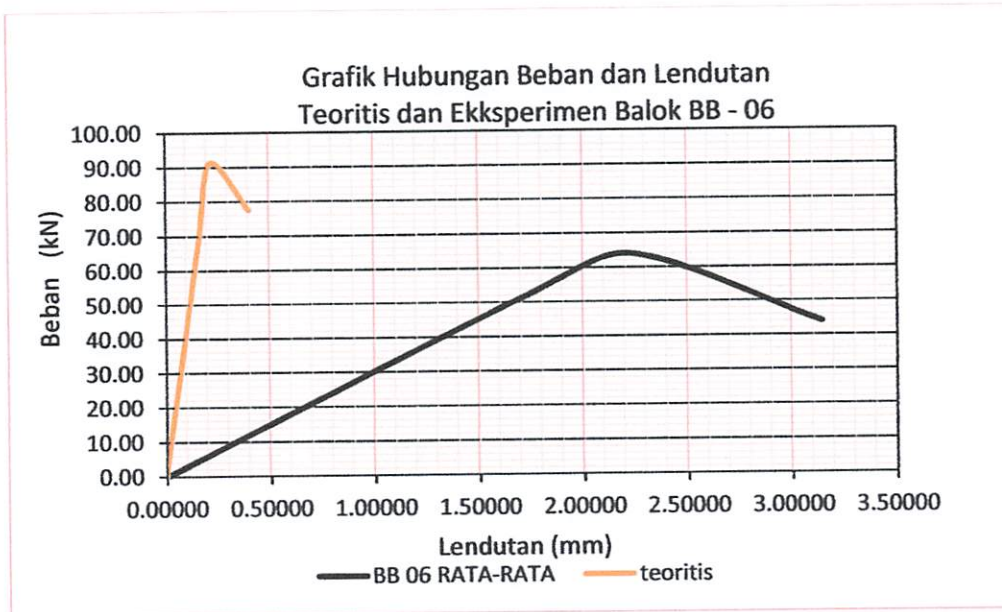
Table 4.7 Perbandingan Tegangan dan Regangan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 06

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan (%)	
		f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c (Mpa)	ϵ_c	f'_c (Mpa)	ϵ_c
1	BB-06A	33.27	0.004	33.44	0.006	-0.49	-34.51
2	BB-06B	33.27	0.004	34.33	0.005	-3.07	-19.39
3	BB-06C	33.27	0.004	34.74	0.007	-4.21	-42.98
4	BB-06D	33.27	0.004	33.95	0.007	-2.00	-37.90
5	BB-06 RATA2	33.27	0.004	34.11	0.006	-2.46	-34.76

3. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan

Kurva hubungan momen dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 06 hasil analisa eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Lampiran I Tabel L.1.2-E yaitu angka-angka pada kolom 3 dan kolom 4. Sedangkan kurva beban dan lendutan beton balok dengan panjang penyaluran BB - 06 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 - 06

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.4, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan lendutan (f) pada kurva beban dan lendutan beton Balok BB - 06 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 64 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa teoritis sebesar 91,15 kN sehingga terdapat perbedaan beban P_{maks} sebesar -29,79 %. Nilai lendutan beton (f) hasil analisa eksperimen sebesar 2,23 mm sedangkan f hasil analisa teoritis

sebesar 0,22 mm atau mengalami perbedaan sebesar -90,71 %. Hasil Perbandingan P_{maks} dan f teoritis dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.8.

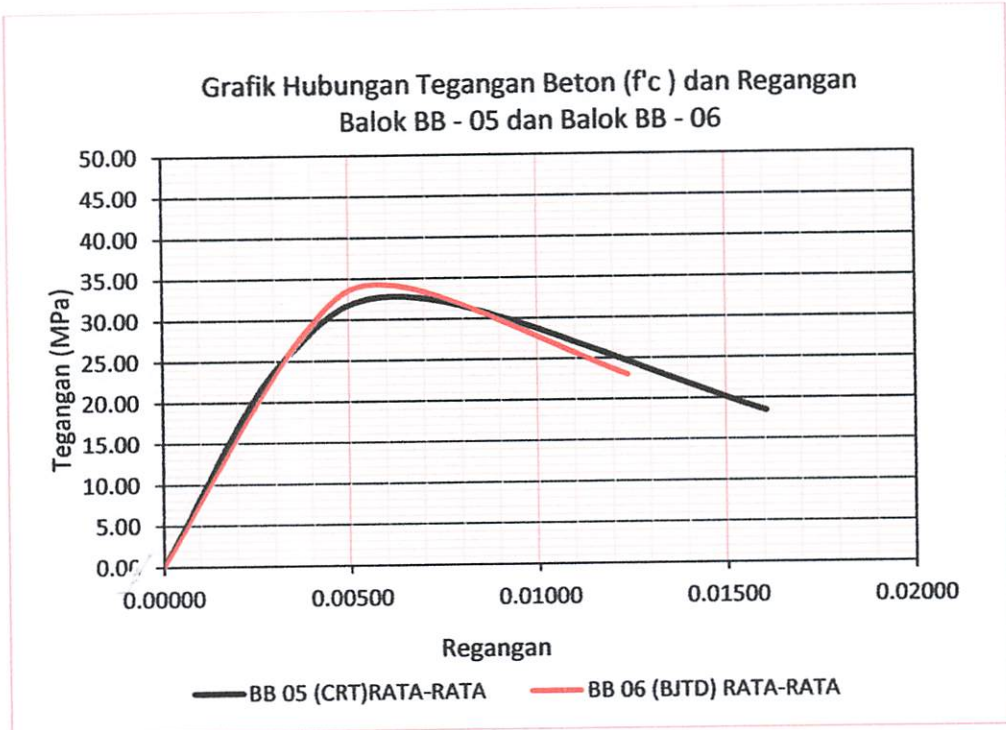
Table 4.8 Perbandingan Beban Dan Lendutan Teoritis Dan Eksperimen Balok BB - 06

No.	TIPE BALOK	Teoritis		Eksperimen		Perbedaan	
		f (mm)	P_{maks} (KN)	f (mm)	P_{maks} (KN)	P_{maks}	f
1	BB-06A	0.22	91.15	2.23	60.00	51.91	-90.17
2	BB-06B	0.22	91.15	2.01	56.00	-38.56	-89.10
3	BB-06C	0.22	91.15	2.39	68.00	-25.40	-90.83
4	BB-06D	0.22	91.15	2.29	72.00	-21.01	-90.43
5	BB-06 RATA2	0.22	91.15	2.23	64.00	-29.79	-90.17

4.4. Perbandingan Kurva Tegangan Regangan Balok BB-05 terhadap Balok BB-06

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.5, terlihat ada perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c . Pada kurva tegangan-regangan balok BB - 05 dan balok BB - 06 sehingga rincian perbedaan nilai f'_c , dan ϵ_c dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB - 05 mempunyai nilai tegangan beton f'_c maksimum sebesar 32,64 MPa sedangkan f'_c hasil analisa balok BB - 06 sebesar 34,11 MPa sehingga terdapat perbedaan kuat tekan sebesar -4,31 %. Nilai regangan beton ϵ_c hasil analisa balok BB - 05 sebesar 0,00681 sedangkan ϵ_c hasil analisa balok BB - 06 sebesar 0,00624 atau terjadi peningkatan sebesar 9,07 %.



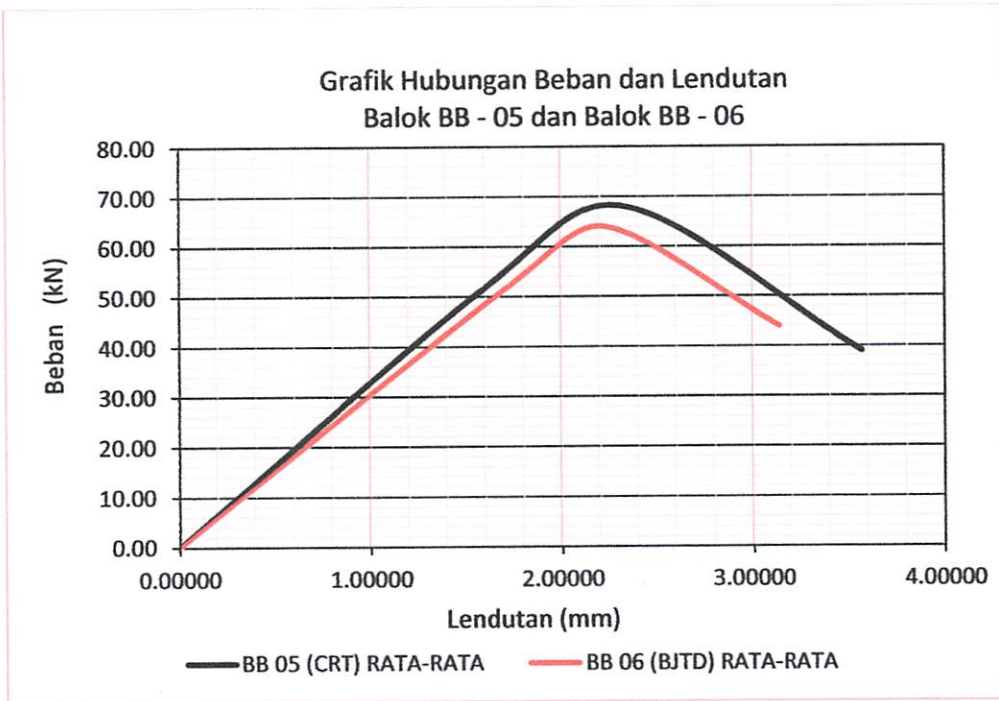
Grafik 4.5. Kurva Tegangan - Regangan Balok BB – 05 dan Balok BB – 06

4.5. Perbandingan Kurva Beban dan Lendutan Balok BB-05 Terhadap Balok BB-06

Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.6, terlihat ada perbedaan nilai P_{maks} dan f pada kurva beban dan lendutan balok BB - 05 dan balok BB - 06 sehingga rincian perbedaan nilai P_{maks} dan f dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa balok BB - 05 mempunyai nilai beban beton P maksimum sebesar 68 kN sedangkan P_{maks} hasil analisa balok BB - 06 sebesar 64 kN sehingga terdapat peningkatan kuat tekan sebesar 6,3 % Nilai lendutan beton f hasil analisa balok BB - 05 sebesar 2,327 sedangkan

hasil analisa balok BB - 06 sebesar 2,23 atau terjadi peningkatan sebesar -4,3%.



Grafik 4.6 Kurva Beban dan Lendutan Balok BB – 05 dan Balok BB – 06

4.6. Efektifitas Balok BB-05 Terhadap Balok BB-06

Pada tabel 4.9 dibawah, terlihat Balok BB05 dengan rasio tulangan $A_{st} = 0,976$, perbedaan $f_y = 3,99 \text{ MPa}$ dan $f_u = - 36,20 \text{ MPa}$ ternyata terjadi inefisiensi jika dibandingkan dengan Balok BB-06.

Tabel 4.9 Perbandingan efektifitas balok dengan tulangan CRT (BB- 05)
terhadap Balok dengan tulangan BJTD (BB -06)

No.	TIPE BALOK	Ast (mm ²)		Rasio Ast	Tensile		Beda Tensile		Eksperimen				Perbedaan (%)			
		CRT	BJTD		f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f'_c (Mpa)	ε'_c	f (mm)	Pmaks (kN)	Pmaks	f'_c	ε'_c	f
1	BB-05 (CRT)	557	570,6	0,976	455	575,80	3,99	-36,20	32,64	0,0068	2,33	68	6,3	-4,31	9,07	4,37
2	BB-06 (BJTD)				451	612			34,11	0,0062	2,23	64				

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Penggunaan tulangan CRT pada balok BB-05 ternyata terjadi Inefisiensi jika dibandingkan dengan balok tulangan BJTD (BB-06), dimana terjadi perbedaan P_{maks} sebesar 4 kN, f'_c sebesar -4,31%, ϵ'_c sebesar 9,07% dan lendutan f sebesar 4,37%.
2. Dari model kurva tegangan regangan balok BB-05 dan BB-06 (*Grafik 4.6*) terlihat bahwa pada balok dengan tulangan CRT (BB-05) mempunyai sudut tegangan sedikit lebih besar dari pada balok dengan tulangan BJTD (BB-06). Namun pada regangan, balok dengan tulangan CRT (BB-05) memiliki sudut yang jauh lebih kecil dari balok dengan tulangan BJTD (BB-06). Dengan kata lain Tulangan CRT baik untuk perencanaan komponen lentur terhadap gempa.
3. Berdasarkan hasil analisa eksperimen (*tabel 4.6*) balok dengan tulangan CRT (BB-05) pada beban P ultimate 68 kN mengalami lendutan sebesar 2,33 mm namun pada balok dengan tulangan BJTD (BB-06) pada beban P Ultimit 64 kN mengalami lendutan sebesar 2,23 mm. Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur P ultimate berbeda 6,3 % dan lendutan berbeda 4,37 %.

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.**
- 3. Penentuan diameter tulangan harus berdasarkan pengujian tarik terlebih dahulu sehingga diharapkan efektifitas masing-masing tulangan terhadap kuat lentur balok dapat dibandingkan secara tepat.**
- 4. Harus dibuat penelitian lanjutan dan menggunakan variasi \emptyset tulangan yang jauh lebih banyak misalkan \emptyset 8, \emptyset 10 , \emptyset 12, \emptyset 13, \emptyset 16, \emptyset 19 untuk masing-masing jenis tulangan (CRT, BJTP, BJTD).**
- 5. Perlu dicoba dengan dimensi balok yang lain, selain 15/25 dengan panjang 2 meter seperti dalam penelitian ini. Misalkan balok 20/30, 20/40 dan lain-lain dengan variasi panjang bentang.**

DAFTAR PUSTAKA

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

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

Tabel Hasil Pengamatan Eksperimen

Tabel L.1.1-A Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-05 A

NO	ket.	P (kg)	x mm	d x ² mm ²	f		M kgmm	f'c MPa	fs MPa
					$(400^2 + x^2)^{0.5}$ mm	$\epsilon = f-400$ mm			
1		0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.00	0.00
2		400	0.040	0.002	400.000	0.000	80000	2.04	37.92
3		800	0.070	0.005	400.000	0.000	160000	4.09	75.83
4		1200	0.130	0.017	400.000	0.000	240000	6.13	113.75
5		1600	0.240	0.058	400.000	0.000	320000	8.17	151.67
6		2000	0.390	0.152	400.000	0.000	400000	10.22	189.58
7		2400	0.540	0.292	400.000	0.000	480000	12.26	227.50
8		2800	0.690	0.476	400.001	0.001	560000	14.30	265.42
9		3200	0.840	0.706	400.001	0.001	640000	16.35	303.33
10		3600	0.990	0.980	400.001	0.001	720000	18.39	341.25
11		4000	1.140	1.300	400.002	0.002	800000	20.43	379.17
12		4400	1.290	1.664	400.002	0.002	880000	22.48	417.08
13	RETAK 1	4800	1.440	2.074	400.003	0.003	960000	24.52	455.00
14		5200	1.590	2.528	400.003	0.003	1040000	26.56	492.92
15		5600	1.740	3.028	400.004	0.004	1120000	28.61	530.83
16		6000	1.890	3.572	400.004	0.004	1200000	30.65	568.75
17		6000	1.890	3.572	400.004	0.004	1200000	30.65	568.75
18		6000	1.890	3.572	400.004	0.004	1200000	30.65	568.75
19		6000	1.890	3.572	400.004	0.004	1200000	30.65	568.75
20	ULTIMATE	6400	2.040	4.162	400.005	0.005	1280000	32.69	606.67
21		6000	2.190	4.796	400.006	0.006	1200000	30.65	568.75
22		5600	2.340	5.476	400.007	0.007	1120000	28.61	530.83
23		5200	2.490	6.200	400.008	0.008	1040000	26.56	492.92
24		4800	2.640	6.970	400.009	0.009	960000	24.52	455.00
25		4400	2.790	7.784	400.010	0.010	880000	22.48	417.08
26		4000	2.940	8.644	400.011	0.011	800000	20.43	379.17
27		3600	3.090	9.548	400.012	0.012	720000	18.39	341.25
28		3200	3.240	10.498	400.013	0.013	640000	16.35	303.33
29	RUNTUH	3200	3.240	10.4976	400.0131	0.013	640000	16.35	303.33

Tabel L.1.1.1-B Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-05 B

NO	ket.	P (Kg)	d			f		M Kgmm	f'c MPa	fs MPa
			x mm	x ² mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5} mm	ε= f-400 mm				
1		0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.00	0.00	
2		400	0.080	0.006	400.000	0.000	80000	1.89	35.00	
3		800	0.160	0.026	400.000	0.000	160000	3.77	70.00	
4		1200	0.240	0.058	400.000	0.000	240000	5.66	105.00	
5		1600	0.320	0.102	400.000	0.000	320000	7.54	140.00	
6		2000	0.400	0.160	400.000	0.000	400000	9.43	175.00	
7		2400	0.480	0.230	400.000	0.000	480000	11.32	210.00	
8		2800	0.560	0.314	400.000	0.000	560000	13.20	245.00	
9		3200	0.640	0.410	400.001	0.001	640000	15.09	280.00	
10		3600	0.720	0.518	400.001	0.001	720000	16.98	315.00	
11		4000	0.910	0.828	400.001	0.001	800000	18.86	350.00	
12		4400	1.100	1.210	400.002	0.002	880000	20.75	385.00	
13		4800	1.290	1.664	400.002	0.002	960000	22.63	420.00	
14	RETAK I	5200	1.480	2.190	400.003	0.003	1040000	24.52	455.00	
15		5600	1.670	2.789	400.003	0.003	1120000	26.41	490.00	
16		6000	1.860	3.460	400.004	0.004	1200000	28.29	525.00	
17		6400	2.050	4.203	400.005	0.005	1280000	30.18	560.00	
18		6800	2.240	5.018	400.006	0.006	1360000	32.06	595.00	
19		6800	2.240	5.018	400.006	0.006	1360000	32.06	595.00	
20	ULTIMATE	7200	2.430	5.905	400.007	0.007	1440000	33.95	630.00	
21		6800	2.620	6.864	400.009	0.009	1360000	32.06	595.00	
22		6400	2.810	7.896	400.010	0.010	1280000	30.18	560.00	
23		6000	3.000	9.000	400.011	0.011	1200000	28.29	525.00	
24		5600	3.190	10.176	400.013	0.013	1120000	26.41	490.00	
25		5200	3.380	11.424	400.014	0.014	1040000	24.52	455.00	
26		4800	3.570	12.745	400.016	0.016	960000	22.63	420.00	
27		4400	3.760	14.138	400.018	0.018	880000	20.75	385.00	
28		4400	3.760	14.138	400.018	0.018	880000	20.75	385.00	
29	RUNTUH	4400	3.760	14.138	400.018	0.018	880000	20.75	385.00	

Tabel L.1.1-C Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-05 C

NO	ket.	P (Kg)	x mm	d		f		$\epsilon = f-400$ mm	M Kgmm	f'c MPa	fs MPa
				x ² mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$ mm	$(400^2 + x^2)^{0.5}$ mm					
1		0	0	0	400.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000	0.00
2		400	11	0.110	0.012	400.000	0.000	80000	80000	2.043	37.92
3		800	13	0.130	0.017	400.000	0.000	160000	160000	4.087	75.83
4		1200	19	0.190	0.036	400.000	0.000	240000	240000	6.130	113.75
5		1600	23	0.230	0.053	400.000	0.000	320000	320000	8.173	151.67
6		2000	41	0.410	0.168	400.000	0.000	400000	400000	10.217	189.58
7		2400	59	0.590	0.348	400.000	0.000	480000	480000	12.260	227.50
8		2800	77	0.770	0.593	400.001	0.001	560000	560000	14.303	265.42
9		3200	95	0.950	0.903	400.001	0.001	640000	640000	16.347	303.33
10		3600	113	1.130	1.277	400.002	0.002	720000	720000	18.390	341.25
11		4000	131	1.310	1.716	400.002	0.002	800000	800000	20.433	379.17
12		4400	149	1.490	2.220	400.003	0.003	880000	880000	22.477	417.08
13	RETAK 1	4800	167	1.670	2.789	400.003	0.003	960000	960000	24.520	455.00
14		5200	185	1.850	3.423	400.004	0.004	1040000	1040000	26.563	492.92
15		5600	203	2.030	4.121	400.005	0.005	1120000	1120000	28.607	530.83
16		6000	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1200000	1200000	30.650	568.75
17		6000	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1200000	1200000	30.650	568.75
18		6000	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1200000	1200000	30.650	568.75
19		6000	221	2.210	4.884	400.006	0.006	1200000	1200000	30.650	568.75
20	ULTIMATE	6400	239	2.390	5.712	400.007	0.007	1280000	1280000	32.693	606.67
21		6000	257	2.570	6.605	400.008	0.008	1200000	1200000	30.650	568.75
22		5600	275	2.750	7.563	400.009	0.009	1120000	1120000	28.607	530.83
23		5200	293	2.930	8.585	400.011	0.011	1040000	1040000	26.563	492.92
24		4800	311	3.110	9.672	400.012	0.012	960000	960000	24.520	455.00
25		4400	329	3.290	10.824	400.014	0.014	880000	880000	22.477	417.08
26		4000	347	3.470	12.041	400.015	0.015	800000	800000	20.433	379.17
27		3600	365	3.650	13.323	400.017	0.017	720000	720000	18.390	341.25
28		3200	383	3.830	14.669	400.018	0.018	640000	640000	16.347	303.33
29	RUNTUH	2800	401	4.010	16.080	400.020	0.020	560000	560000	14.303	265.42

Tabel L.1.1-D Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-05 D

NO	ket.	P (kg)	x mm	d		f		M kgmm	f'c MPa	fs MPa
				x ² mm ²	(400 ² + x ²) ^{0.5} mm	$\epsilon = f-400$ mm				
1		0	0	0	400.000	0.000	0	0.00	0.00	0.00
2		400	3	0.030	400.001	0.000	80000	1.75	32.50	32.50
3		800	7	0.070	400.005	0.000	160000	3.50	65.00	65.00
4		1200	12	0.120	400.014	0.000	240000	5.25	97.50	97.50
5		1600	19	0.190	400.036	0.000	320000	7.01	130.00	130.00
6		2000	21	0.210	400.044	0.000	400000	8.76	162.50	162.50
7		2400	37	0.370	400.000	0.000	480000	10.51	195.00	195.00
8		2800	53	0.530	400.000	0.000	560000	12.26	227.50	227.50
9		3200	69	0.690	400.001	0.001	640000	14.01	260.00	260.00
10		3600	85	0.850	400.001	0.001	720000	15.76	292.50	292.50
11		4000	101	1.010	400.001	0.001	800000	17.51	325.00	325.00
12		4400	117	1.170	400.002	0.002	880000	19.27	357.50	357.50
13		4800	133	1.330	400.002	0.002	960000	21.02	390.00	390.00
14		5200	149	1.490	400.003	0.003	1040000	22.77	422.50	422.50
15	RETAK I	5600	165	1.650	400.003	0.003	1120000	24.52	455.00	455.00
16		6000	181	1.810	400.004	0.004	1200000	26.27	487.50	487.50
17		6400	197	1.970	400.005	0.005	1280000	28.02	520.00	520.00
18		6800	213	2.130	400.006	0.006	1360000	29.77	552.50	552.50
19		7200	229	2.290	400.007	0.007	1440000	31.53	585.00	585.00
20	ULTIMATE	7600	245	2.450	6.003	400.008	1520000	33.28	617.50	617.50
21		7200	261	2.610	6.812	400.009	1440000	31.53	585.00	585.00
22		6800	277	2.770	7.673	400.010	1360000	29.77	552.50	552.50
23		6400	293	2.930	8.585	400.011	1280000	28.02	520.00	520.00
24		6000	309	3.090	9.548	400.012	1200000	26.27	487.50	487.50
25		5600	325	3.250	10.563	400.013	1120000	24.52	455.00	455.00
26		5600	325	3.250	10.563	400.013	1120000	24.52	455.00	455.00
27		5600	325	3.250	10.563	400.013	1120000	24.52	455.00	455.00
28		5600	325	3.250	10.563	400.013	1120000	24.52	455.00	455.00
29	RUNTUH	5600	325	3.250	10.563	400.013	1120000	24.52	455.00	455.00

Tabel L .1.1-E Hasil Pengamatan Eksperimen Rata-rata Balok BB-05

NO		P rata-rata	Lendutan	ϵ rata-rata	Mrata-rata	f'c rata-rata	fs rata-rata
		Kgmm	mm	Kgmm	Kgmm	MPa	MPa
1		0	0.000	0.000	0	0.000	0.000
2		400	0.065	0.000	80000	1.931	35.833
3		800	0.108	0.000	160000	3.862	71.667
4		1200	0.170	0.000	240000	5.793	107.500
5		1600	0.245	0.000	320000	7.724	143.333
6		2000	0.353	0.000	400000	9.655	179.167
7		2400	0.495	0.000	480000	11.586	215.000
8		2800	0.638	0.001	560000	13.517	250.833
9		3200	0.780	0.001	640000	15.448	286.667
10		3600	0.923	0.001	720000	17.380	322.500
11		4000	1.093	0.002	800000	19.311	358.333
12		4400	1.263	0.002	880000	21.242	394.167
13		4800	1.433	0.003	960000	23.173	430.000
14		5200	1.603	0.003	1040000	25.104	465.833
15	RETAK I	5600	1.773	0.004	1120000	27.035	501.667
16		6000	1.943	0.005	1200000	28.966	537.500
17		6200	2.030	0.005	1240000	29.875	554.375
18		6400	2.118	0.006	1280000	30.785	571.250
19		6500	2.158	0.006	1300000	31.223	579.375
20	ULTIMATE	6900	2.328	0.007	1380000	33.154	615.208
21		6500	2.498	0.008	1300000	31.223	579.375
22		6100	2.668	0.009	1220000	29.292	543.542
23		5700	2.838	0.010	1140000	27.360	507.708
24		5300	3.008	0.011	1060000	25.429	471.875
25		4900	3.178	0.013	980000	23.498	436.042
26		4600	3.308	0.014	920000	22.005	408.333
27		4300	3.438	0.015	860000	20.512	380.625
28		4100	3.520	0.016	820000	19.490	361.667
29	RUNTUH	4000	3.565	0.016	800000	18.979	352.188

Tabel L .1.1-F Hasil Hasil Analisa Teoritis Balok BB-05

f_c	f_s	M_n	P	ε_c	ε_s	f	ket.
Mpa	Mpa	KNm	KN			mm	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	
24.52	451.00	13.52	67.17	0.00300	0.02420	0.16	retak I
33.27	612.00	18.35	91.15	0.00407	0.03284	0.22	ultimate
28.28	520.20	15.59	77.48	0.00753	0.06075	0.41	runtuh

Tabel L.1.2-A Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-06 A

NO	ket.	P (Kg)	x mm	x ² mm ²	d	f (400 ² + x ²) ^{0.5} mm	ε= f-400	M kgmm	f' _c MPa	f _s MPa
1		0	0	0.000		400.000	0.000	0	0.000	0.000
2		400	2.02	0.000		400.000	0.000	80000	2.229	41.000
3		800	15.015	0.023		400.000	0.000	160000	4.458	82.000
4		1200	28.028	0.078		400.000	0.000	240000	6.687	123.000
5		1600	41.041	0.168		400.000	0.000	320000	8.916	164.000
6		2000	54.054	0.292		400.000	0.000	400000	11.145	205.000
7		2400	67.067	0.449		400.001	0.001	480000	13.375	246.000
8		2800	79.079	0.624		400.001	0.001	560000	15.604	287.000
9		3200	91.091	0.828		400.001	0.001	640000	17.833	328.000
10		3600	103.103	1.061		400.001	0.001	720000	20.062	369.000
11		4000	123.123	1.513		400.002	0.002	800000	22.291	410.000
12	RETAK 1	4400	143.143	2.045		400.003	0.003	880000	24.520	451.000
13		4800	163.163	2.657		400.003	0.003	960000	26.749	492.000
14		5200	183.183	3.349		400.004	0.004	1040000	28.978	533.000
15		5600	203.203	4.121		400.005	0.005	1120000	31.207	574.000
16		5600	203.203	4.121		400.005	0.005	1120000	31.207	574.000
17		5600	203.203	4.121		400.005	0.005	1120000	31.207	574.000
18		5600	203.203	4.121		400.005	0.005	1120000	31.207	574.000
19	ULTIMATE	6000	223.223	4.973		400.006	0.006	1200000	33.436	615.000
20		5600	243.243	5.905		400.007	0.007	1120000	31.207	574.000
21		5200	263.263	6.917		400.009	0.009	1040000	28.978	533.000
22		4800	283.283	8.009		400.010	0.010	960000	26.749	492.000
23		4400	303.303	9.181		400.011	0.011	880000	24.520	451.000
24		4000	323.323	10.433		400.013	0.013	800000	22.291	410.000
25		3600	343.343	11.765		400.015	0.015	720000	20.062	369.000
26	RUNTUH	3600	343.343	11.765		400.015	0.0147	720000	20.062	369.000

Tabel L.1.2-B Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-06 B

NO	ket.	P (Kg)	x mm	d x ² mm ²	f (400 ² + x ²) ^{0.5} mm	ε = f/400	M Kggmm	f'c MPa	fs MPa
1		0	0.00	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
2		400	0.17	0.029	400.000	0.000	80000	2.452	45.100
3		800	0.23	0.053	400.000	0.000	160000	4.904	90.200
4		1200	0.32	0.102	400.000	0.000	240000	7.356	135.300
5		1600	0.45	0.203	400.000	0.000	320000	9.808	180.400
6		2000	0.67	0.449	400.001	0.001	400000	12.260	225.500
7		2400	0.87	0.757	400.001	0.001	480000	14.712	270.600
8		2800	1.07	1.145	400.001	0.001	560000	17.164	315.700
9		3200	1.27	1.613	400.002	0.002	640000	19.616	360.800
10		3600	1.47	2.161	400.003	0.003	720000	22.068	405.900
11	RETAK 1	4000	1.56	2.434	400.003	0.003	800000	24.520	451.000
12		4400	1.65	2.723	400.003	0.003	880000	26.972	496.100
13		4800	1.74	3.028	400.004	0.004	960000	29.424	541.200
14		5200	1.83	3.349	400.004	0.004	1040000	31.876	586.300
15		5200	1.83	3.349	400.004	0.004	1040000	31.876	586.300
16		5200	1.83	3.349	400.004	0.004	1040000	31.876	586.300
17		5200	1.83	3.349	400.004	0.004	1040000	31.876	586.300
18		5200	1.83	3.349	400.004	0.004	1040000	31.876	586.300
19	ULTIMATE	5600	2.01	4.040	400.005	0.005	1120000	34.328	631.400
20		5200	2.19	4.796	400.006	0.006	1040000	31.876	586.300
21		4800	2.37	5.617	400.007	0.007	960000	29.424	541.200
22		4400	2.55	6.503	400.008	0.008	880000	26.972	496.100
23		4000	2.73	7.453	400.009	0.009	800000	24.520	451.000
24		3600	2.91	8.468	400.011	0.011	720000	22.068	405.900
25		3200	3.09	9.548	400.012	0.012	640000	19.616	360.800
26	RUNTUH	2800	3.27	10.693	400.013	0.013	560000	17.164	315.700

Tabel L.1.2-C Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-06 C

NO	ket.	P	x	d	f	$\epsilon = f-400$	M	f'c	fs	
		(Kg)	mm	mm ²	$(400^2 + x^2)^{0.5}$ mm		Kgmm	MPa	MPa	
1		0	0	0.000	0.000	400.000	0.000	0	0.000	0.000
2		400	0	0.000	0.000	400.000	0.000	80000	2.043	37.583
3		800	9	0.090	0.008	400.000	0.000	160000	4.087	75.167
4		1200	15	0.150	0.023	400.000	0.000	240000	6.130	112.750
5		1600	31	0.310	0.096	400.000	0.000	320000	8.173	150.333
6		2000	47	0.470	0.221	400.000	0.000	400000	10.217	187.917
7		2400	63	0.630	0.397	400.000	0.000	480000	12.260	225.500
8		2800	79	0.790	0.624	400.001	0.001	560000	14.303	263.083
9		3200	95	0.950	0.903	400.001	0.001	640000	16.347	300.667
10		3600	111	1.110	1.232	400.002	0.002	720000	18.390	338.250
11		4000	127	1.270	1.613	400.002	0.002	800000	20.433	375.833
12		4400	143	1.430	2.045	400.003	0.003	880000	22.477	413.417
13	RETAK 1	4800	159	1.590	2.528	400.003	0.003	960000	24.520	451.000
14		5200	175	1.750	3.063	400.004	0.004	1040000	26.563	488.583
15		5600	191	1.910	3.648	400.005	0.005	1120000	28.607	526.167
16		6000	207	2.070	4.285	400.005	0.005	1200000	30.650	563.750
17		6400	223	2.230	4.973	400.006	0.006	1280000	32.693	601.333
18		6400	223	2.23	4.973	400.0062	0.0062	1280000	32.693	601.333
19	UITIMATE	6800	239	2.390	5.712	400.007	0.007	1360000	34.737	638.917
20		6400	255	2.550	6.503	400.008	0.008	1280000	32.693	601.333
21		6000	271	2.710	7.344	400.009	0.009	1200000	30.650	563.750
22		5600	287	2.870	8.237	400.010	0.010	1120000	28.607	526.167
23		5200	303	3.030	9.181	400.011	0.011	1040000	26.563	488.583
24		5200	303	3.03	9.181	400.0115	0.0115	1040000	26.563	488.583
25		5200	303	3.03	9.181	400.0115	0.0115	1040000	26.563	488.583
26	RUNTUH	5200	303	3.03	9.181	400.0115	0.0115	1040000	26.563	488.583

Tabel L.1.2-D Hasil Pengamatan Eksperimen Balok BB-06 D

NO	ket.	P (Kg)	x mm	d x ² mm ²	f		ε= f-400	M Kgm	f'c MPa	fs MPa
					(400 ² + x ²)/0.5 mm					
1		0	0.000	0.000	400.000		0.000	0	0.000	0.000
2		400	0.020	0.000	400.000		0.000	80000	1.886	34.692
3		800	0.140	0.020	400.000		0.000	160000	3.772	69.385
4		1200	0.200	0.040	400.000		0.000	240000	5.658	104.077
5		1600	0.310	0.096	400.000		0.000	320000	7.545	138.769
6		2000	0.370	0.137	400.000		0.000	400000	9.431	173.462
7		2400	0.410	0.168	400.000		0.000	480000	11.317	208.154
8		2800	0.450	0.203	400.000		0.000	560000	13.203	242.846
9		3200	0.670	0.449	400.001		0.001	640000	15.089	277.538
10		3600	0.890	0.792	400.001		0.001	720000	16.975	312.231
11		4000	1.110	1.232	400.002		0.002	800000	18.862	346.923
12		4400	1.330	1.769	400.002		0.002	880000	20.748	381.615
13		4800	1.410	1.988	400.002		0.002	960000	22.634	416.308
14	RETAK 1	5200	1.490	2.220	400.003		0.003	1040000	24.520	451.000
15		5600	1.570	2.465	400.003		0.003	1120000	26.406	485.692
16		6000	1.750	3.063	400.004		0.004	1200000	28.292	520.385
17		6400	1.930	3.725	400.005		0.005	1280000	30.178	555.077
18		6800	2.110	4.452	400.006		0.006	1360000	32.065	589.769
19	ULTIMATE	7200	2.290	5.244	400.007		0.007	1440000	33.951	624.462
20		6800	2.470	6.101	400.008		0.008	1360000	32.065	589.769
21		6400	2.650	7.023	400.009		0.009	1280000	30.178	555.077
22		6000	2.830	8.009	400.010		0.010	1200000	28.292	520.385
23		6000	2.83	8.009	400.010		0.010	1200000	28.292308	520.385
24		6000	2.83	8.009	400.010		0.010	1200000	28.292308	520.385
25		6000	2.83	8.009	400.010		0.010	1200000	28.292308	520.385
26	RUNTUH	6000	2.83	8.009	400.010		0.010	1200000	28.292308	520.385

Tabel L.1.2-E Hasil Pengamatan Eksperimen Rata-rata Balok BB-06

NO	ket.	P rata-rata	Lendutan	ϵ rata-rata	M rata-rata	f'c rata-rata	fs rata-rata
		Kg	mm	Kgmm	Kgmm	MPa	MPa
1		0	0	0	0	0	0
2		400	0.0525	9.28125E-06	80000	2.153	39.59391026
3		800	0.1525	3.22187E-05	160000	4.305	79.18782051
4		1200	0.2375	7.60312E-05	240000	6.458	118.7817308
5		1600	0.37	0.000175875	320000	8.611	158.375641
6		2000	0.5125	0.000343219	400000	10.763	197.9695513
7		2400	0.645	0.000553375	480000	12.916	237.5634615
8		2800	0.775	0.000811124	560000	15.069	277.1573718
9		3200	0.95	0.001185123	640000	17.221	316.7512821
10		3600	1.125	0.001639371	720000	19.374	356.3451923
11		4000	1.2925	0.002122338	800000	21.526	395.9391026
12		4400	1.46	0.002681616	880000	23.679	435.5330128
13		4800	1.5925	0.003187706	960000	25.832	475.1269231
14	RETAK 1	5200	1.725	0.003743857	1040000	27.984	514.7208333
15		5500	1.835	0.004244602	1100000	29.524	543.0397436
16		5700	1.92	0.004630348	1140000	30.506	561.1086538
17		5900	2.005	0.005052342	1180000	31.489	579.1775641
18		6000	2.05	0.005279589	1200000	31.960	587.850641
19	ULTIMATE	6400	2.23	0.006240326	1280000	34.113	627.4445513
20		6000	2.41	0.007282558	1200000	31.960	587.850641
21		5600	2.59	0.008406286	1120000	29.808	548.2567308
22		5200	2.77	0.009611509	1040000	27.655	508.6628205
23		4900	2.905	0.010569734	980000	25.974	477.7419872
24		4700	3	0.011278214	940000	24.804	456.2169872
25		4500	3.095	0.01203194	900000	23.633	434.6919872
26	RUNTUH	4400	3.14	0.012389679	880000	23.020	423.4169872

Tabel L.1.2-F Hasil Analisa Teoritis Balok BB-06

f_c	f_s	M_n	P	ε_c	ε_s	f	ket.
Mpa	Mpa	KNm	KN			mm	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00	
24.52	455.00	13.36	66.33	0.00300	0.02460	0.16	retak 1
31.04	576.00	16.91	83.97	0.00380	0.03114	0.20	ultimate
26.38	489.60	14.38	71.37	0.00703	0.05761	0.37	runtuh

LAMPIRAN II

- 1. Tabel Hasil Perancangan
Campuran Beton 22,5
MPa**
- 2. Tabel Hasil Pengujian
Tarik Baja Tulangan
BJTD**
- 3. Tabel Hasil Pengujian
Tekan Beton Silinder**

Tabel L .2.1 Hasil Perancangan Campuran Beton 22,5 Mpa

No	Uraian	Tabel, Perhitungan,Peraturan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan	Ditetapkan	22,5 N/mm ² pada umur 28 hari
2	Standar Deviasi	Ditetapkan	4 N/mm ²
3	Nilai tambah (margin)		$k = 1,34 \times 4 = 5,36 \text{ N/mm}^2$
4	Kekuatan tekan rata-rata yang ditargetkan	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	$f_{cr} = f_c + 1,34 \times s$
		SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.2)	$f_{cr} = f_c + 2,33 \times s - 3,5$
			$f_{cr} = 22,5 + 2,33 \times 4 - 3,5 = 23,665 \text{ N/mm}^2$
5	Kekuatan tekan rata-rata yang dipakai	SNI Ps.7.3.2.1 (Prs.1)	27,86 N/mm ²
6	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Gresik Tipe I
7	Jenis Agregat kasar	Ditetapkan	Batu Pecah (ukuran maksimum = 19mm)
8	Jenis Agregat halus	Ditetapkan	Pasir Pasuruan
9	Faktor Air semen	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.4(a)	0,65
10	Nilai slump	MCP 211.1-91 Tabel A1.5.3.1	80 mm
11	Ukuran agregat maksimum	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	19 mm
12	Kadar air bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	205 kg/m ³
13	Kadar udara bebas	MCP 211.1-91 Tabel A1 5.3.3	2% per-m ³
14	Jumlah semen	(11) / (8) MCP pasal 6.3.5 step 5	$205/0,65 = 315,4 \text{ kg/m}^3$
15	Berat jenis semen	Pengujian Lab. Beton ITN	3150 kg/m ³
16	Berat jenis agregat halus	Pengujian Lab. Beton ITN	2674 kg/m ³
17	Berat jenis agregat kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	2700 kg/m ³
18	Berat Volume Agregat Kasar	Pengujian Lab. Beton ITN	1600 kg/m ³
19	Jumlah 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 mutiak dengan Jumlah Air, Semen dan Agregat Kasar :			
27	Volume Air	(12) / 1000	$205/1000 = 0,205 \text{ m}^3$
28	Volume Semen	(23) / (15)	$315,4/3150 = 0,100 \text{ m}^3$
29	Volume Agregat Kasar	(21) / (17)	$1008/2700 = 0,373 \text{ m}^3$
30	Volume Udara	(13)	$2\% \times 1 = 0,020 \text{ m}^3$
31	Total Volume padat	(27) + (28) + (29) + (30)	0,698 m ³
32	Volume padat dari pasir	1 - (31)	$1 - 0,698 = 0,302 \text{ m}^3$
33	Berat Agregat halus gradient	(32) x (16)	$0,302 \times 2674 = 807,55 \text{ kg}$
Maka didapat Campuran Beton :			
	Agregat	Berdasarkan Massa beton	Berdasarkan Gradient
34	Air	205 kg/m ³	205 kg/m ³
35	Semen	315,4 kg/m ³	315,4 kg/m ³
36	Agregat Kasar	1008 kg/m ³	1008 kg/m ³
37	Agregat Halus	816,6 kg/m ³	807,55 kg/m ³

Referensi

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

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

2011

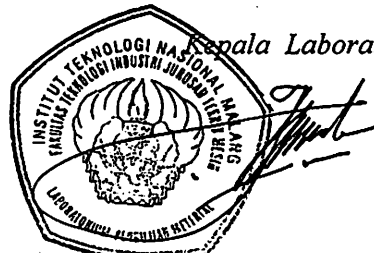
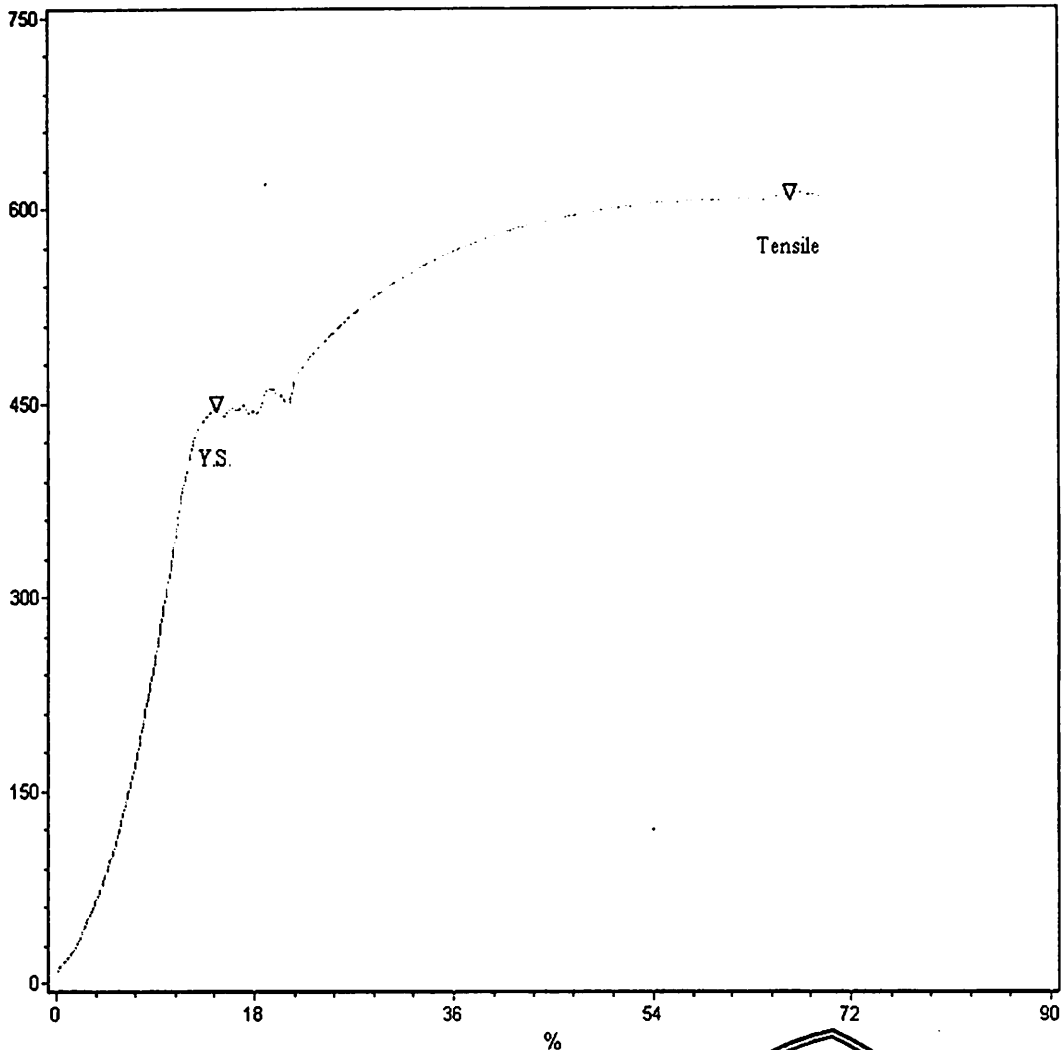
TEST REPORT

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

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

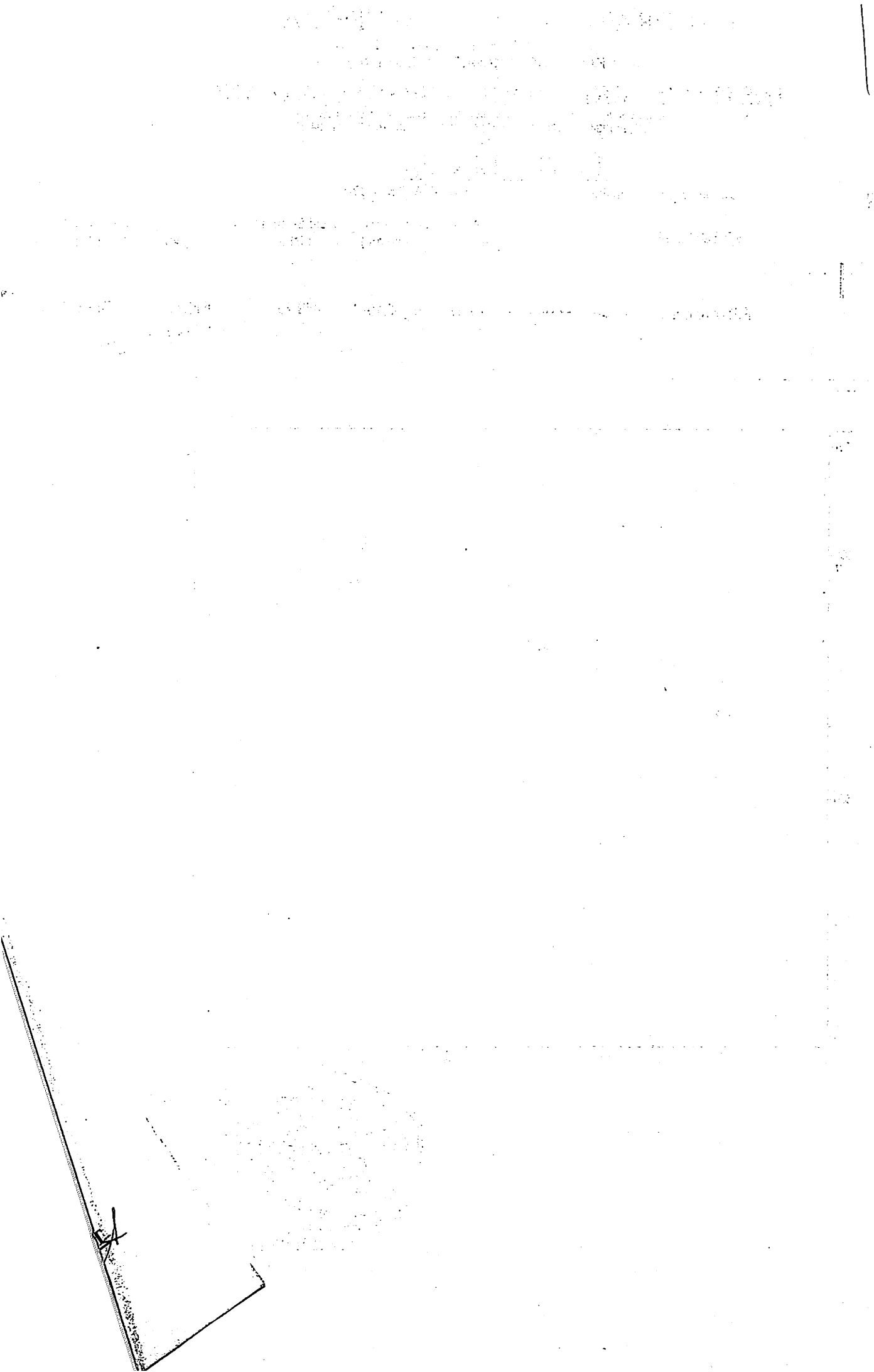
0860-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.M

NIP Y. 1030400405



LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

2011

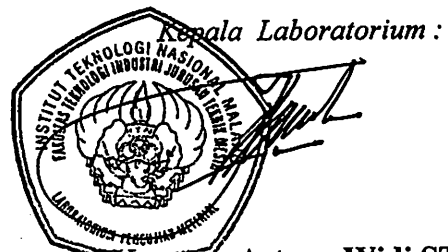
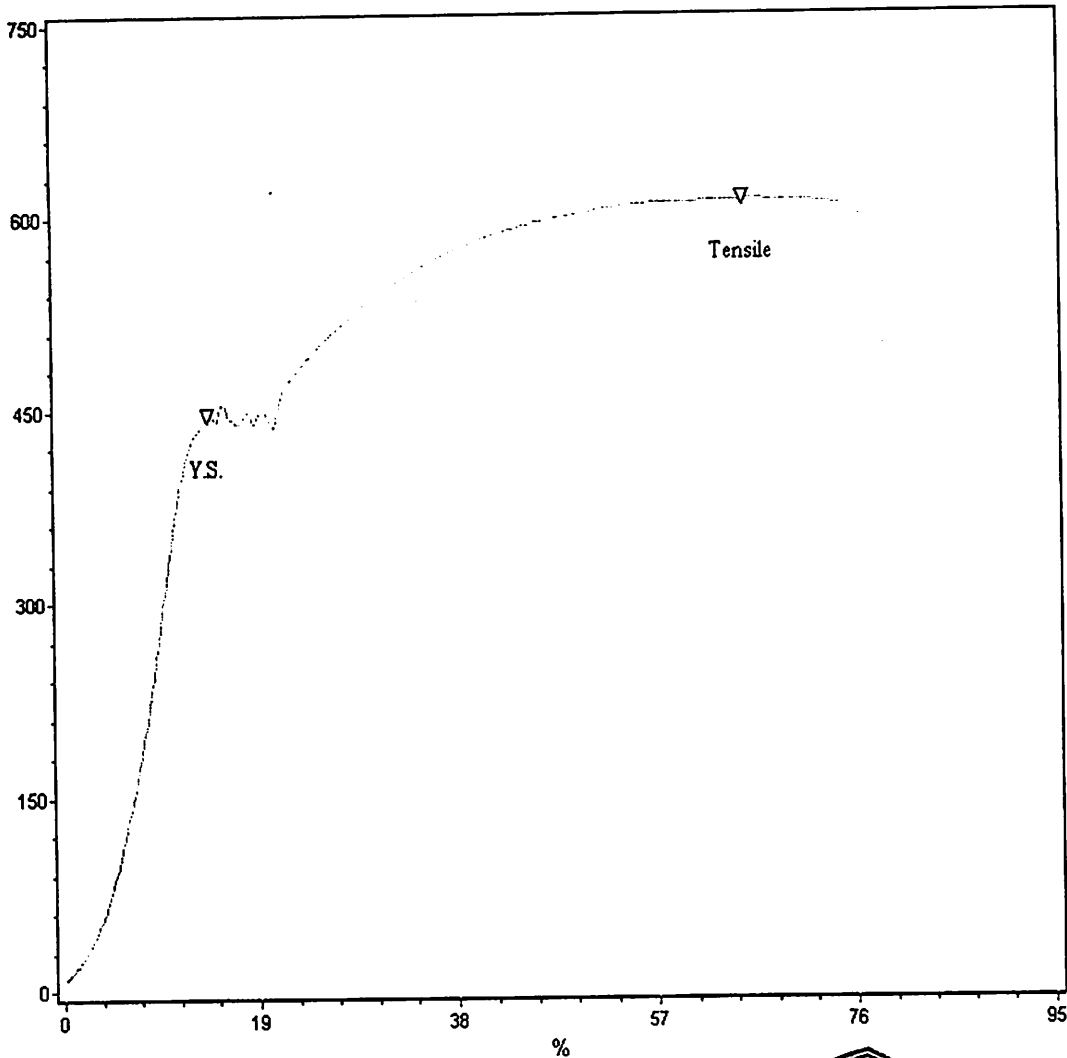
TEST REPORT

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

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

0861-01



Komang Astana Widi, ST, MT

NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. RAYA KARANGLU KM. 2 IASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

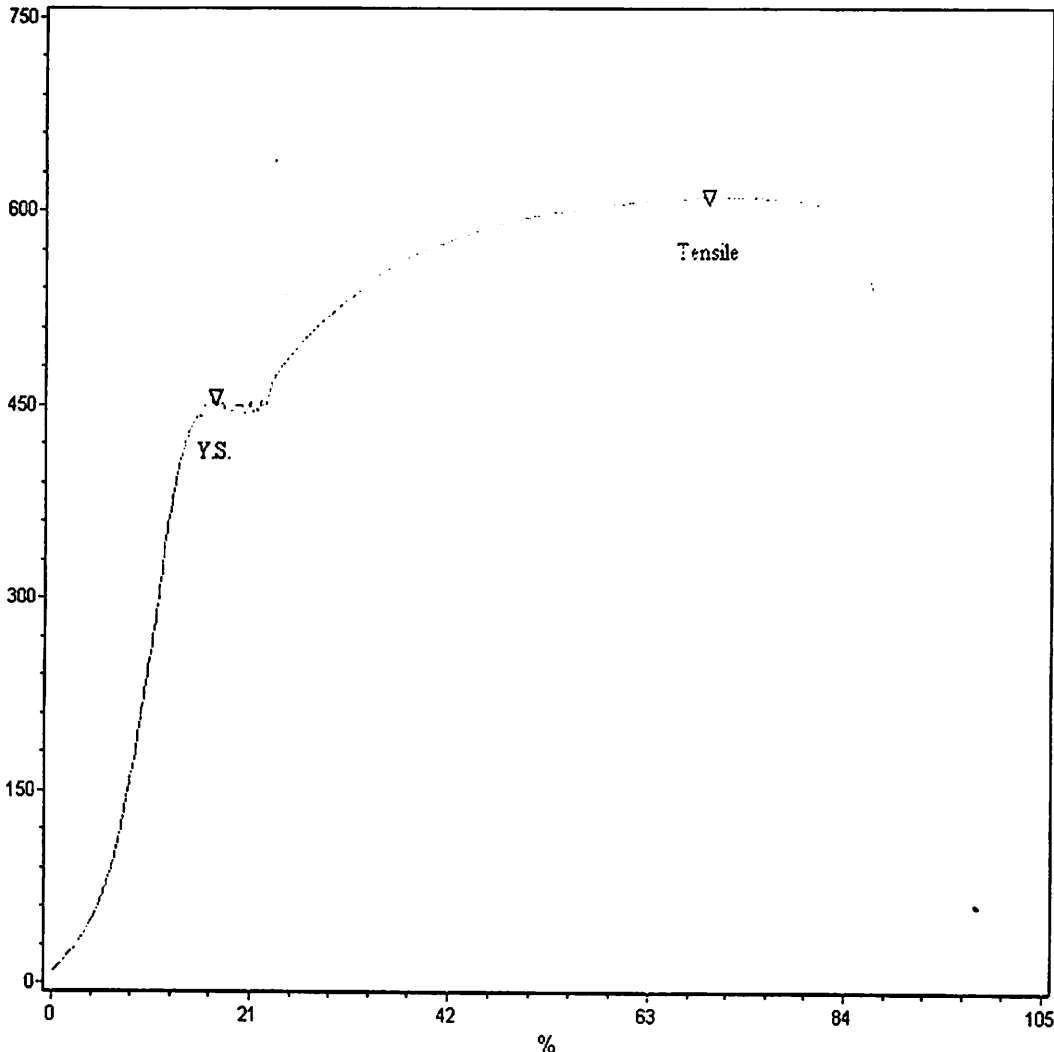
862

Test Description : Tensile

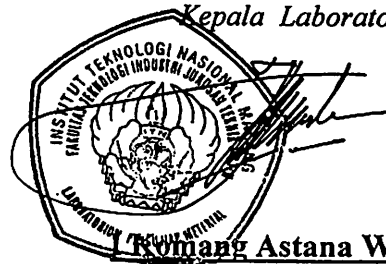
Standard : ASTM A370

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

0862-01



Kepala Laboratorium :



Romang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

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

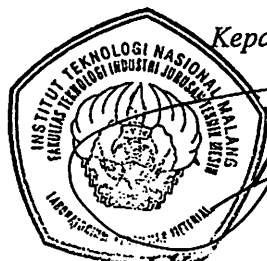
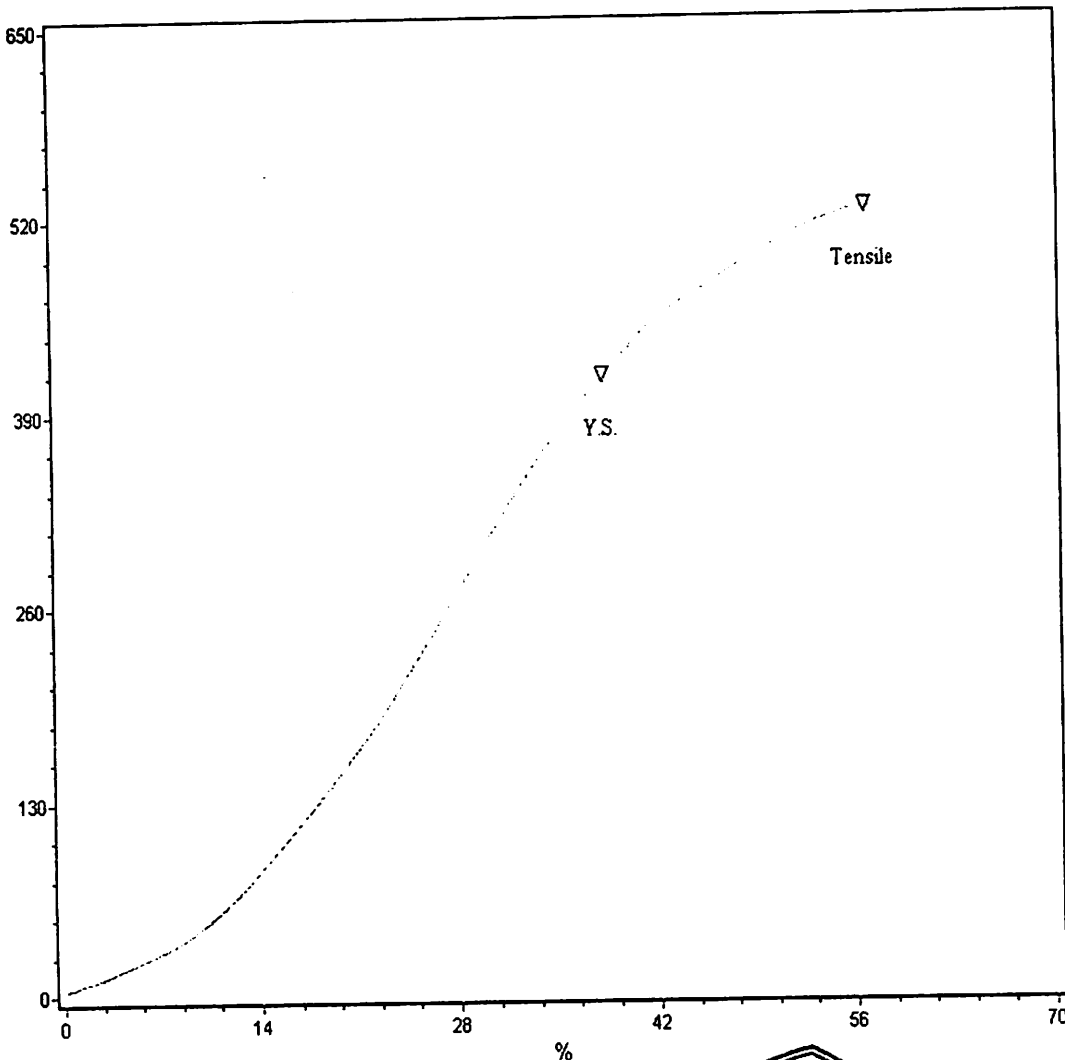
TEST REPORT

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

TEST REPORT

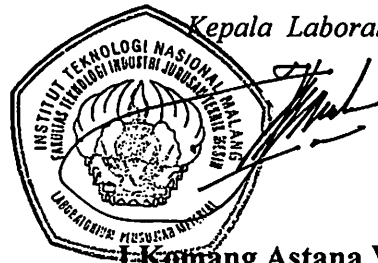
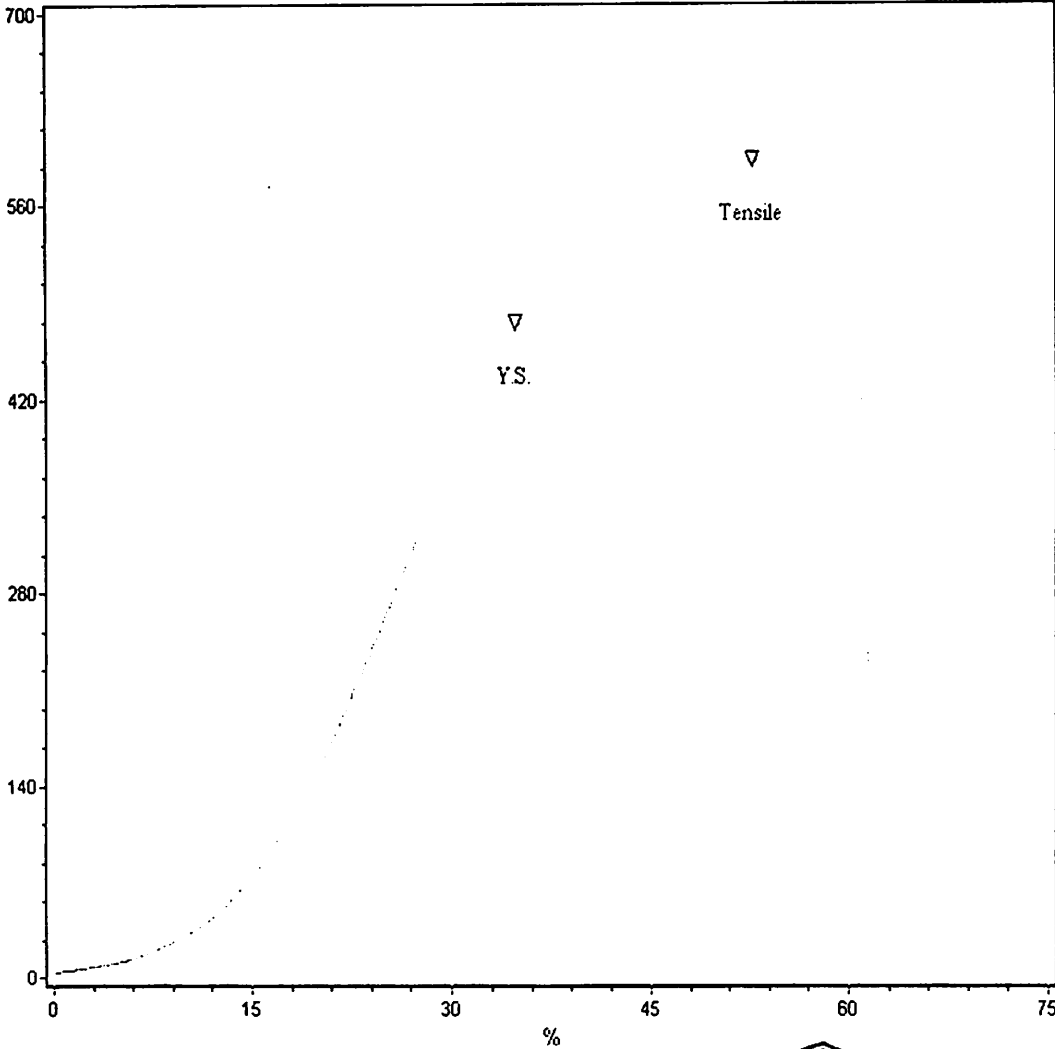
58

Test Description : Tensile

Standard : ASTM A370

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

0858-01



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405

Tabel L.2.3 : Tabel Hasil Pengujian Tekan Beton Silinder

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

No	Kode	Tanggal Pembuatan	Tanggal Pengujian	Umur Beton	Berat (kg)	Diameter (cm)	Luas (cm ²)	Beban (kg)	fc		\bar{f}_c (Mpa)	$(f_c - \bar{f}_c)^2$ (Mpa)	sd (Mpa)	fc (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			

LAMPIRAN III

Foto Dokumentasi

Proses Penelitian

Foto Dokumentasi Proses Penelitian

PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

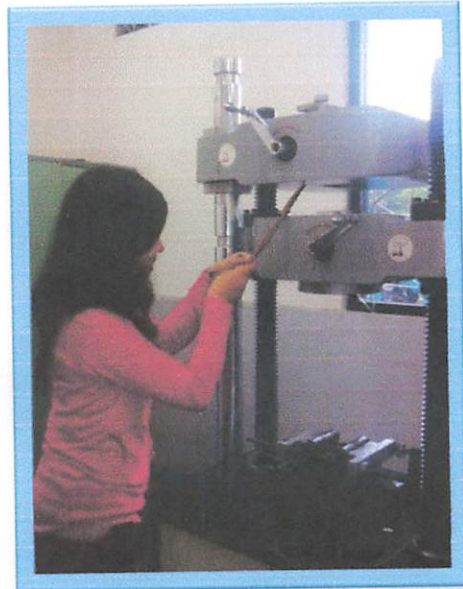
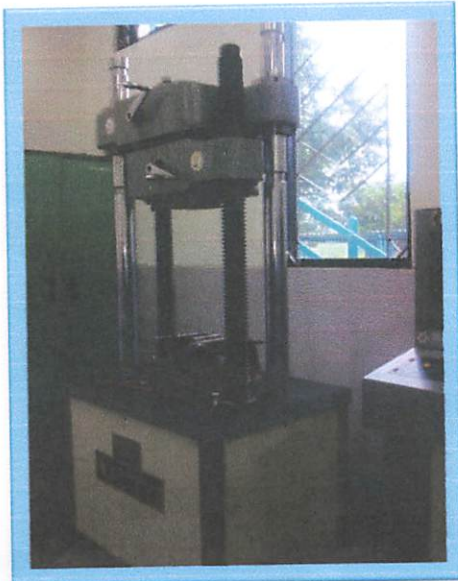


Foto Proses pemasangan benda uji pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

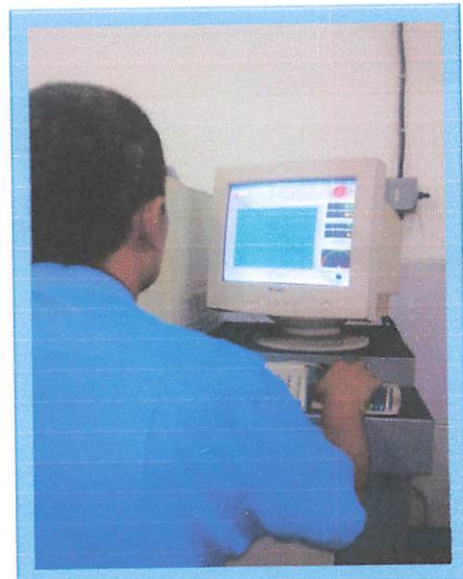


Foto Proses pengujian Kuat Tarik Baja pada Tensile Testing Machine di Laboratorium Teknik Mesin Kampus II, Institut Teknologi Nasional Malang

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK



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

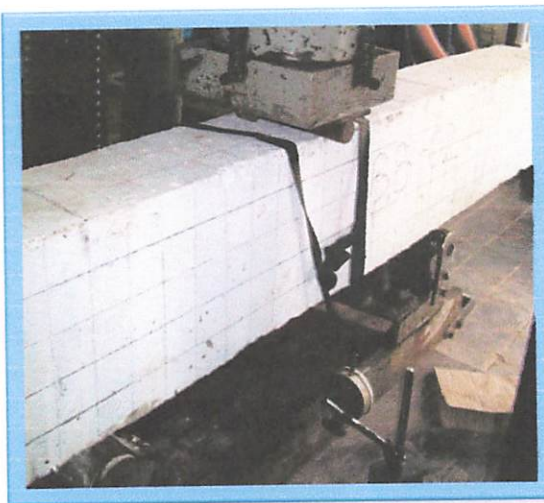


Foto Proses pengujian Kuat Lentur balok di Laboratorium Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

PENGUJIAN KUAT LENTUR BALOK

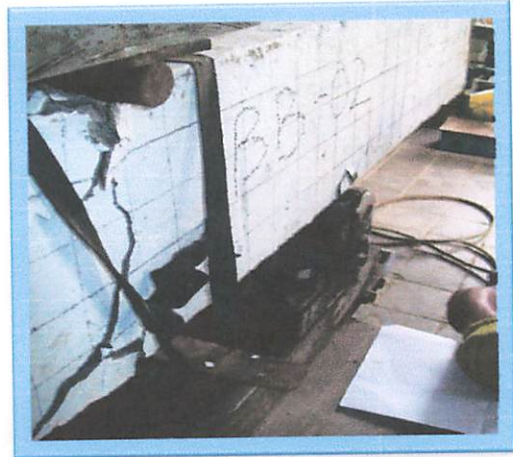


Foto Proses pengujianKuatLenturbalok di LaboratoriumTeknikSipil,
InstitutTeknologiSepuluhNopember (ITS) Surabaya



Foto Proses pengujianKuatLenturbalokdengantulangan CRT di LaboratoriumTeknikSipil,
InstitutTeknologiSepuluhNopember (ITS) Surabaya



DOKUMENTASI PEMBUATAN DAN PENGUJIAN SILINDER



Foto Pengadukan Beton Dengan Molen



Foto Benda Uji Silinder



Foto Pengukuran nilai slump = 86 mm



Foto Perawatan Silinder Beton



Foto Pemasakan Benda Uji Silinder



Foto Pengujian Silinder Beton

Lembar Asistensi



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

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

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor : ITN-2010.03/21/B/TA/I/Gjl 2010

20 Oktober 2010

ampiran : -

erihal : **Bimbingan Skripsi**

kepada Yth : **Bapak. Ir. A. Agus Santosa, MT.**

Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Di -

MALANG.

Dengan Hormat,

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

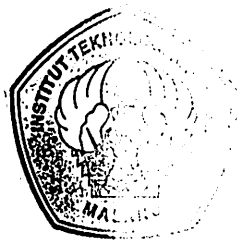
Nama : **Amelia Putri Purnamasari**

Nim : **09. 21.909**

Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT dan Tulangan BJT Terhadap panjang Penyaluran, Kuat Lentur dan Geser pada Komponen Lentur Dengan Tulangan Beton $f'c$ 22.5 MPa"

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing skripsi.



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

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

PT. BNI (PERSERO) Tbk.
BANK NIAGA MALANG

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

Nomor : 111/2010.03/21/B/TA/I/Gjl 2010

20 Oktober 2010

Lampiran :
Perihal : **Membimbing Skripsi**

Kepada Yth. Bapak **Eri Andrian Yudianto, ST., MT.**

Dekan Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya

MALANG.

Dengan Hormat,

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

Nama : **Amelia Putri Purnamasari**

Nim : **09. 21.909**

Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat **Membimbing Skripsi dan Mendampingi Seminar Skripsi** dengan judul : **"Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT dan Tulangan BJTP Terhadap panjang Rentangan, Kuat Lentur dan Geser pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton $f'c$ dan f'_{sp} "**.

Sehubungan dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi.

waktu penyelesaian Skripsi tersebut selama 6 (enam) bulan terhitung mulai tanggal : **20 Oktober 2010** s.d **19 April 2011**. Apabila melebihi batas waktu yang telah ditentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

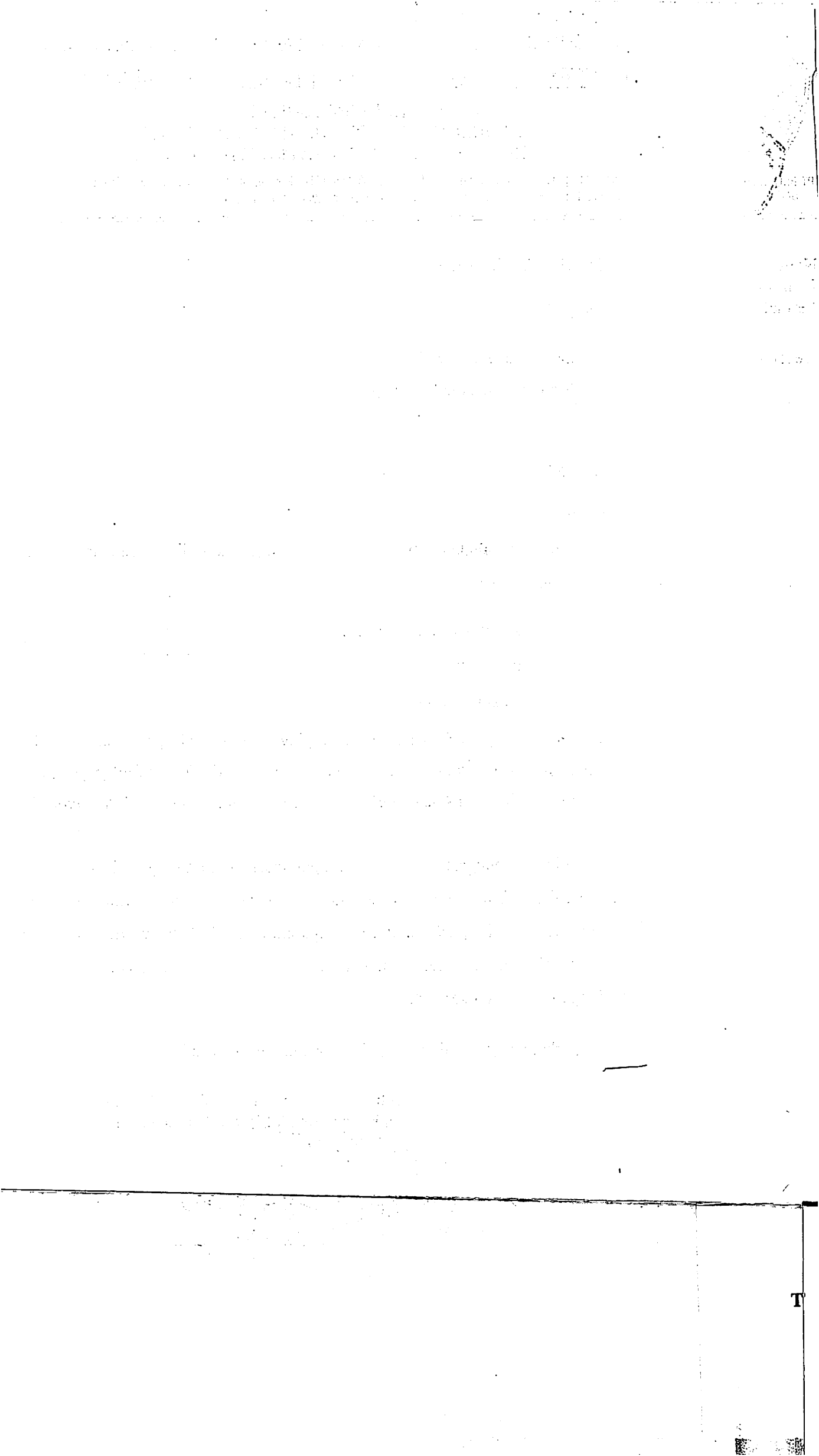
Terimakasih atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

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



Sehubungan dengan ini :

1. Wakil Dekan FTSP.
2. Arsip.





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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

PEMBIMBING I : Ir. AGUS SANTOSA , MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
1	11/ -2010 /11	- S/d. bab II . OK . - Untuk mutu tul x beton to dipakai mutu hasil test	
2	8/ -2010 /12	- Bab III OK . Pembahasan gbr yg telah jelas. Lanjut .	
3	5/ -2011 /1	- ketulhan pers . beban pu .	



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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

PEMBIMBING I : Ir. AGUS SANTOSA , MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
4	7-1-11	- Perbaikan pah. P.	
5	18-1-11	- Perhitungan torsi; untuk momen perbaikan - Grafik perlu dijabarkan.	
6	20-1-11	- Ld perh. & gbr grafik. lanjutan	
7	29-1-11	- Gambar grafik hub. P & lendutan cel bag.	



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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

PEMBIMBING I : Ir. AGUS SANTOSA, MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
8	31-1-2011	- Betulkan perh. lendutan - Perbaiki grafik sesuai kaidah perhitungan - - Perbaiki bab. V.	
9	5-2-2011	- Lengkapi kesimpulan. antara teoritis & eksperimen pd. benda uji yg sama.	
10	7-2-2011		



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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
1	28/11 2010	1. Belajar lagi tata tulis Bahasa 2. Equation atau gambar grafik yang tidak jelas diperbaiki, diganti yang bagus. 3. Hdl. 4 → jelaskan maksud asumsi teoritis!	
2	16/12 10	Mhn diberi nomer halaman Apa itu LVDT yg dimaksud? - Lanjutkan.	
3	22/11 10	Hitung ulang pelat ϕ 10 → frs am dan f_y f_{22} Pemer bisa dikurangi, atau tar. R ₁₀ f_{10} f_{10} falsifikasi = $\sqrt{\dots}$	



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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

PEMBIMBING II : ERI ANDRIAN YUDIANTO, ST, MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
4	29/11.	- Revisi tampilan tabel - -- kesimpulan Bab V - -- tambahkan saran → Maju asistensi lg ⊕ persiapkan untuk presentasi	
5	5/2 11	- Kata pengantar - Daftar isi - -- Tabel - -- Gambar - -- Pustaka - Lampiran - Pustaka diperbanyak untuk perkayaan referensi	

- Keengkapan bahan mana?
- Minggu Melamu jam 20.20.



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

LEMBARAN ASISTENSI

NAMA : AMELIA PUTRI PURNAMASARI
NIM : 09.21.909
JUDUL : PENGARUH PENGGUNAAN TULANGAN CRT DAN
TULANGAN BJTD TERHADAP PANJANG PENYALURAN
DAN KUAT LENTUR PADA KOMPONEN LENTUR
DENGAN MUTU BETON f_c 22,5 Mpa

PEMBIMBING II : ERI ANDRIAN YUDIANTO, ST, MT

NO	HARI TANGGAL	MATERI KONSULTASI	PARAF
	7/2 '11	Ace maju seminar hasil.	



FORM REVISI / PERBAIKAN DANG Penelitian

Nama: Amelia Putri P.

NPM: 09.21.909.

Kamit: 24-02-2011

Perbaikan / Revisi meliputi:

- Revisi Rumus a) dan b) ke dalam bentuk simbolis
- Revisi penyempurnaan simbolis
- Revisi grafik 2 dan simbolis
- Revisi hasil grafik teoritis & Eks
- Revisi Rumus 8 dan J

~~Acc~~

Perbaikan / Revisi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak tanggal pengumuman. Jika tidak selesai dalam batas waktu tersebut, maka tidak dapat diikutkan Ujian.

Tugas Akhir harus diperbaiki dan disetujui:

M. ... -03 2011
Dosen Penguji

M. ... 24-02-2011
Dosen Penguji

(M. ... Manaha)

(M. ... Manaha)



UJIAN SKRIPSI JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN ABSTRAK

Nama : _____
No. : _____ 21. _____
Hari/tgl : _____ / _____

Perbaikan / Revisi meliputi :

abstrak

AS

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

Tugas Akhir harus diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2010
Dosen Penguji

Malang, _____ 2010
Dosen Penguji

(_____)

(*AS*)