

TUGAS AKHIR

**TEGANGAN dan REGANGAN BALOK BETON BERTULANG
NON HOMOGEN PADA KONDISI LENTUR MURNI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD IOBAL

1107210207



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Muhammad Iqbal
NPM : 1107210207
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang Non
Homogen Pada Kondisi Lentur Murni
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana teknik pada program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2017

Mengetahui dan menyetujui,

Dosen pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

DR. Ade Faisal, ST, M.Sc

DR. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

Bambang Hadibroto, ST, MT.

Ir. Ellyza Chairina, M.Si

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,

DR. Ade Faisal, ST, Msc.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Iqbal
Tempat/Tanggal Lahir : Bandar Khalipah, 15 Juli 1990
NPM : 1107210207
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang Non Homogen Pada Kondisi Lentur Murni”,

Bukan merupakan plagiatisme (pencurian hasil karya milik orang lain) untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2017

Saya yang menyatakan,

Muhammad Iqbal

ABSTRAK

TEGANGAN dan REGANGAN BALOK BETON BERTULANG TIDAK HOMOGEN PADA KONDISI LENTUR MURNI

Muhammad Iqbal

1107210207

DR. Ade Faisal, ST, Msc.

DR. Fahrizal Zulkarnain, ST, MT.

Beton merupakan campuran dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikatan. Kondisi lentur murni adalah kondisi dimana balok beton bertulang memiliki gaya lintang nol dan momen konstan apabila diberi beban. Penelitian dengan judul “Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang Tidak Homogen Pada Kondisi Lentur Murni”, memiliki rumusan masalah bagaimana perbandingan tegangan dan regangan yang terjadi antara perhitungan teoritis dengan beton bertulang tidak homogen. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan tegangan dan regangan yang terjadi pada balok beton bertulang non homogen tipe I, II dan III.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, pengujian balok dilakukan diatas dua tumpuan sederhana (sendi-rol), kemudian diberi beban statis dengan menggunakan *Hydraulic Jack* dengan kondisi beton sudah mencapai umur 28 hari.

Berdasarkan analisis data, dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata regangan untuk tipe 1 sebesar 0,00192814, tipe 2 sebesar 0,00221204 dan tipe 3 sebesar 0,0029 dan nilai rata-rata tegangan sebesar 1685,556 N/mm². Peningkatan rata-rata untuk semua tipe regangan sebesar 24,75% dan peningkatan tegangan untuk semua tipe rata-rata sebesar 5,66%.

Kata Kunci : Balok Beton Bertulang Non homogen, Tegangan dan Regangan, Lentur Murni

ABSTRACT

VOLTAGE AND CONCRETE BEAM CONCRETE BEING HOMOGEN IN PURE LONG CONDITION

Muhammad Iqbal

1107210207

DR. Ade Faisal, ST, Msc.

DR. Fahrizal Zulkarnain, ST, MT.

Concrete is a mixture of some rock material that is bonded by bonding material. A pure bending condition is a condition where the reinforced concrete beam has a zero latitude and a constant moment when it is loaded. The study, entitled "Voltage and Reinforcement of Uncoupled Reinforced Concrete Beams in Pure Flexible Conditions", has the formulation of the problem of how the stress and strain ratio that occurs between theoretical calculations with reinforced concrete is not homogeneous. The purpose of this research is to know and compare stress and strain that happened on non-homogeneous reinforced concrete blocks of type I, II and III.

This research uses experimental research method, the beam testing is done on two simple pedestals (joint-roll), then given static load by using Hydraulic Jack with the condition of concrete has reached the age of 28 days.

Based on data analysis, it can be concluded that the average value of strain for type 1 is 0,00192814, type 2 is 0,00221204 and type 3 is 0,0029 and the mean value of voltage is 1685,556 N / mm². The average increase for all strain types was 24.75% and the increase in stress for all types was 5.66% on average.

Keywords: Non-homogeneous Reinforced Concrete Beam, Voltage and Strain, Pure Flexure

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tidak terduga. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang Tidak Homogen Pada Kondisi Lentur Murni” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak DR. Ade Faisal, ST, Msc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak DR. Fahrizal Zulkarnain, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Bambang Hadibroto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Ir. Ellyza Chairina, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
6. Orang tua penulis Bapak (Alm) Sutino dan Ibu Dahlia yang senantiasa selalu mendoakan dan memberikan semangatnya kepada penulis.
7. Istri saya Nur Chairumminallahi Chadijah, S.Psi yang juga senantiasa membantu dan mendoakan saya.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, Oktober 2017

Muhammad Iqbal

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum	6
2.2 Bahan yang Digunakan	6
2.2.1 Semen <i>Portland</i>	6
2.2.2 Agregat	9
2.2.3 Air	11
2.2.4 Bahan Tambah (<i>Additive</i>)	12
2.3 Sifat Beton	14
2.3.1 Kuat Tarik Beton	14

2.3.2 Kuat Geser	15
2.3.3 Rangkak	16
2.3.4 Susut	16
2.4 Perilaku Tegangan dan Regangan Beton	17
2.5 Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang	19
2.6 Balok Beton Bertulang	20
2.6.1 Baja Tulangan	20
2.6.2 Analisa Balok Beton Bertulang	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bagan Alir	29
3.2 Persiapan Pembuatan Benda Uji Beton	30
3.3 Pengecoran benda Uji	31
3.3.1 Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan mutu K175 dan K250 Tanpa Sekat Pemisah	32
3.3.2 Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan mutu K175 + K250 dan Balok Beton Bertulang Homogen dengan Mutu K175, K250 dengan Sekat Pemisah	32
3.3.3 Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan mutu K175 + K250 dengan Sekat Pemisah	33
3.4 Perawatan Benda Uji Pasca Pengecoran	34
3.5 Pengujian Kuat Lentur	35
3.6 Perhitungan Benda Uji Balok Beton Bertulang	37
3.6.1. Perhitungan Benda Uji Balok Beton Bertulang Nonhomogen	37
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN	
4.1 Pengujian Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang	50
4.2 Hubungan Tegangan dan Regangan	58
4.2.1 Hubungan Tegangan-Regangan Beton Balok Beton	

Bertulang	59
4.4.2 Hubungan Tegangan-Regangan Tulangan Tarik Balok Beton Bertulang	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Komposisi Senyawa Kimia Semen <i>Portland</i>	8
Tabel 2.2 : Batasan Gradasi Pada Agregat Halus	10
Tabel 2.3 : Syarat Gradasi Agregat Kasar Berdasarkan ASTM	11
Tabel 2.4 : Tegangan dan Regangan Leleh dan Kuat Tarik Minimum Baja Tulangan	21
Tabel 4.1 : Hasil Perhitungan Regangan Tekan Beton (ϵ_c) dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Bertulang Nonhomogen Tipe I	54
Tabel 4.2 : Hasil Perhitungan Regangan Tekan Beton (ϵ_c) dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Bertulang Nonhomogen Tipe II	55
Tabel 4.3 : Hasil Perhitungan Regangan Tekan Beton (ϵ_c) dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Bertulang Nonhomogen Tipe III	56
Tabel 4.4 : Hubungan Tegangan dan Regangan Beton pada Balok Beton Bertulang Homogen dan Nonhomogen	59
Tabel 4.5 : Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik pada Balok Beton Bertulang Homogen dan Nonhomogen	61
Tabel 4.6 : Lanjutan Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik Pada Balok Bertulang Homogen dan Nonhomogen	62
Tabel 4.7 : Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik pada Balok Beton Bertulang Homogen dan Nonhomogen	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 : Lentur Murni Balok Beton	27
Gambar 3.2 : Bagan Alir	29
Gambar 3.3 : Bahan Adukan Benda Uji	30
Gambar 3.4 : Potongan Memanjang dan Melintang Balok Beton Bertulang 1	30
Gambar 3.5 : Potongan Memanjang dan Melintang Balok Beton Bertulang 2	30
Gambar 3.6 : Potongan Memanjang dan Melintang Balok Beton Bertulang 3	31
Gambar 3.7 : Sekat Pemisah	31
Gambar 3.8 : Proses Pengambilan Sekat Pembatas	32
Gambar 3.9 : Proses Pengambilan Sekat Pembatas	33
Gambar 3.10 : Proses Pengambilan Sekat Pembatas	34
Gambar 3.11 : Perawatan Benda Uji Balok	35
Gambar 3.12 : <i>Dial Indicator</i>	36
Gambar 3.13 : Alat Pompa dan <i>Hydraulic Jack</i>	36
Gambar 3.14 : Selang <i>Hydraulic</i> dan Manometer	37
Gambar 3.15 : Sketsa Perencanaan Balok Beton Bertulang	38
Gambar 3.16 : Regangan Tulang Baja Berdasarkan Segitiga Sebangun	39
Gambar 3.17 : Sketsa Perencanaan Balok Beton Bertulang	42
Gambar 3.18 : Regangan Tulang Baja Berdasarkan Segitiga Sebangun	43
Gambar 3.19 : Sketsa Perencanaan Balok Beton Bertulang	46
Gambar 3.20 : Regangan Tulang Baja Berdasarkan Segitiga Sebangun	47
Gambar 4.1 : Suatu Elemen dari Papan yang Melengkung	50
Gambar 4.2 : Diagram Regangan Beton Bertulang Nonhomogen Tipe I	54

Gambar 4.3 : Diagram Regangan Beton Bertulang Nonhomogen Tipe II	55
Gambar 4.4 : Diagram Regangan Beton Bertulang Nonhomogen Tipe III	56
Gambar 4.5 : Hubungan Beban – Regangan Beton (ϵ_c) pada Balok Beton Bertulang Tipe I, II, dan III	57
Gambar 4.6 : Hubungan Beban – Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Bertulang	58
Gambar 4.7 : Hubungan Tegangan dan Regangan Beton (ϵ_c) pada Balok Beton Tipe I	60
Gambar 4.8 : Hubungan Tegangan dan Regangan Beton (ϵ_c) pada Balok Beton Tipe II	60
Gambar 4.9 : Hubungan Tegangan dan Regangan Beton (ϵ_c) pada Balok Beton Tipe III	61
Gambar 4.10 : Hubungan Tegangan dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Nonhomogen	62
Gambar 4.11 : Hubungan Tegangan dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Nonhomogen	63
Gambar 4.12 : Hubungan Tegangan dan Regangan Tulang Tarik (ϵ_s) pada Balok Beton Homogen dan Nonhomogen	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kata beton dalam bahasa Indonesia berasal dari kata yang sama dalam bahasa Belanda. Kata *Concrete* dalam bahasa Inggris berasal dari bahasa Latin *concretus* yang artinya tumbuh bersama atau menggabungkan jadi satu. Dalam Bahasa Jepang *Kotau-zai*, yang arti harfiahnya material-material seperti tulang, mungkin karena agregat mirip tulang-tulang hewan. (Nugraha dan Antoni, 2007).

Beton merupakan campuran dari beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan ikatan. Beton dibentuk dari agregat kasar dan halus, semen, air dengan perbandingan tertentu. Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Beton Dapat pula ditambah dengan campuran tertentu apabila dianggap perlu, biasanya berupa zat kimia, yang digunakan untuk kecocokan beton pada saat pengerjaan konstruksi tertentu untuk meningkatkan *workability*, *durability* dan waktu pengerasan. (Dipohusodo, 1994, halaman 1).

Sebagai bahan konstruksi, beton mempunyai keunggulan dan kelemahan, keunggulan beton antara lain:

1. Harga relatif murah.
2. Mampu memikul baban yang berat.
3. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi.
4. Biaya perawatan/pemeliharaan relatif kecil
5. Material campuran beton relatif mudah didapat, dan biaya tidak terlalu mahal.

Selain memiliki keunggulan , beton juga memiliki kekurangan, antara lain:

1. Memiliki kuat tarik yang rendah.
2. Beton tidak kedap air secara sempurna, sehingga beton dapat dimasuki air dan air yang mengandung garam dapat merusak beton.

3. Daya pantul (gema) suara yang besar.
4. Kualitas beton tergantung kualitas dilapangan.

Tegangan lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Apabila kekuatan tarik beton telah terlampaui, maka beton mengalami retak rambut. Oleh karena itu beton tidak dapat meneruskan gaya tarik pada daerah retak, sehingga seluruh gaya tarik yang timbul ditahan oleh baja tulangan. Pada kondisi tersebut, distribusi tegangan beton tekan masih dianggap sebanding dengan nilai regangannya. (James G. Mac Gregor, 1997).

Teori lentur untuk beton bertulang didasarkan pada tiga anggapan, yang cukup mengizinkan untuk suatu perhitungan momen dari suatu balok. Tiga anggapan dasar teori lentur balok beton bertulang (James G. Mac Gregor, 1997) :

1. Bagian tegak lurus pada sumbu lenturan adalah bidang sebelum membengkokkan bidang sisa setelah lenturan.
2. Regangan di dalam tulangan sebanding dengan regangan di dalam beton ditingkatan yang sama atau sebatas beban sedang.
3. Tegangan di dalam beton dan tulangan dapat dihitung dari tegangan menggunakan kurva tegangan-regangan untuk beton dan baja.

Kekuatan tarik di dalam lentur yang dikenal dengan modulus runtuh (*modulus of rupture*) merupakan sifat yang penting di dalam menentukan retak dan lendutan balok. Saat terjadi momen lentur positif, tegangan dan regangan tekan akan terjadi pada bagian atas balok dan tegangan dan regangan tarik akan terjadi pada bagian bawah balok. Oleh karena itu balok yang dirancang harus mampu menahan tegangan dan regangan tekan dan tarik.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang dapat dirumuskan suatu permasalahan, yaitu:

- a. Berapa kapasitas lentur balok beton non homogen pada daerah lapangan

dan tumpuan?

- b. Bagaimana perbandingan tegangan dan regangan yang terjadi antara perhitungan teoritis dengan beton bertulang tidak homogen?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian yang dilakukan, ada beberapa lingkup masalah yang dibatasi, yaitu karakteristik bahan yang digunakan sebagai benda uji adalah sebagai berikut:

1. Benda Uji yang digunakan berupa beton berbentuk balok dengan ukuran penampang 15 cm x 25 cm dan panjang 320 cm.
2. Beton yang digunakan pada balok non homogen adalah K175, K250 dan K175 + K250 dengan system sambungan yang berbeda.
3. Tulangan yang digunakan berupa tulangan polos.
4. Tulangan yang digunakan:
 - a. Tulangan pada daerah tumpuan : 4D12
 - b. Tulangan pada daerah lapangan : 4D12
 - c. Tulangan sengkang : D6-100
5. Perletakan balok adalah perletakan sederhana (sendi-rol).
6. Beban yang bekerja adalah beban vertikal.
7. Dimensi cetakan silinder yang digunakan dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
8. Analisis yang dilakukan meliputi tegangan dan regangan balok pada kondisi lentur murni

1.4. Tujuan Penelitian

Dalam penulisan tugas akhir ini, ada beberapa tujuan penulis yang ingin dicapai antara lain untuk mengetahui dan membandingkan tegangan dan regangan yang terjadi pada balok beton bertulang non homogen tipe I, II dan III.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat antara lain :

1. Memberikan sumbangan ilmu pengetahuan terutama dalam bidang tegangan dan regangan balok beton bertulang tidak homogen serta bahan acuan bagi peneliti selanjutnya.
2. Dapat digunakan sebagai bahan acuan bagi mahasiswa dalam penelitian selanjutnya.
3. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan terhadap kajian tentang tegangan dan regangan balok beton bertulang tidak homogen.

1.6. Metode Penelitian

Adapun metodologi penelitian adalah metode eksperimen di laboratorium. Pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium beton Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah balok beton bertulang non homogen dan 6 buah beton silinder. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan benda uji 6 buah beton silinder. Pengujian kuat lentur balok beton bertulang non homogen dilakukan di laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Pengujian balok dilakukan diatas dua tumpuan sederhana (*sendi-rol*), kemudian diberi beban statis dengan menggunakan *Hydraulic Jack* dengan kondisi beton sudah mencapai umur 28 hari.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara garis besar isi setiap bab yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian tentang beton bertulang normal dan beton bertulang nonhomogen yang akan diteliti.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian tentang persiapan penelitian balok beton bertulang tidak homogen pada kondisi lentur murni mencakup perhitungan dimensi alat dan bahan uji pemasangan alat. Pembuatan benda uji mulai dari persiapan penyediaan bahan, sampai pembuatan benda uji hingga pelaksanaan pengujian.

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Bab ini berisi analisa dan hasil pengujian benda uji dalam penelitian, meliputi: hasil pengujian kuat lentur pada beton homogen dan non homogen serta tegangan dan regangan pada balok beton bertulang.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan-kesimpulan yang diperoleh dari seluruh proses kegiatan tugas akhir ini, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Beton sebagai bahan konstruksi yang umum digunakan, memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah, untuk mengatasi hal ini dipasanglah tulangan untuk menahan kelemahan beton terhadap tarik, inilah yang disebut beton bertulang. Sehingga ketika material beton tidak mampu lagi menahan gaya tarik yang terjadi, maka tulangan yang sepenuhnya bertugas untuk menahan gaya tarik, sedangkan gaya tekan tetap ditahan oleh beton.

2.2. Bahan yang digunakan

Beton tersusun atas tiga bahan penyusun utama, yaitu semen, agregat, dan air. Terkadang juga diberi bahan tambahan (*additive*) ke dalam campuran beton untuk tujuan tertentu itupun kalau diperlukan.

2.2.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat yang dihasilkan dengan cara menggiling terak *portland* terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat yang boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Sifat semen *portland* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sifat fisika dan sifat kimia.

1. Sifat Fisika Semen *Portland*

a. Kehalusan Butir (*Fineness*)

Kehalusan butir semen sangat mempengaruhi proses hidrasi. Semakin halus butiran semen, maka proses hidrasinya akan semakin cepat sehingga kekuatan awal tinggi dan kekuatan akhir akan berkurang. Hal ini dikarenakan waktu ikat (*setting time*) akan menjadi semakin cepat jika

butir semen lebih halus. Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding* (naiknya air ke permukaan), tetapi justru menambah kecenderungan beton mengalami retak susut.

b. Kepadatan (*Density*)

Berdasarkan ASTM, berat jenis semen yang disyaratkan adalah $3,15 \text{ Mg/m}^3$. Namun pada kenyataannya, berat jenis semen yang diproduksi dan beredar di pasaran berkisar antara $3,05 \text{ Mg/m}^3$ sampai $3,25 \text{ Mg/m}^3$.

c. Konsistensi (*Consistency*)

Konsistensi semen *Portland* lebih berpengaruh saat pencampuran awal, yaitu saat terjadi pengikatan sampai beton mengeras. Dan bergantung pada perbandingan antara semen dan air (pasta segar), dan aspek bahan semen seperti kehalusan dan kecepatan hidrasi.

d. Waktu Pengikatan (*Setting Time*)

Waktu Pengikatan adalah waktu yang dihitung dari semen mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta hingga pasta mengeras dan cukup kaku. Waktu pengikatan dibedakan atas dua jenis, yaitu: 1) Waktu ikat awal (*initial setting time*), yaitu waktu antara bercampurnya semen dan air menjadi pasta hingga sifat plastis hilang. Biasanya berkisar 1,0 – 2,0 jam dan tidak boleh kurang dari 1,0 jam. 2) Waktu ikat akhir (*final setting time*), yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga mengeras. Biasanya tidak boleh lebih dari 8,0 jam

e. Panas Hidrasi (*Heat of Hydration*)

Panas hidrasi adalah panas yang dihasilkan saat semen bereaksi dengan air. Panas yang dihasilkan bergantung pada jenis semen yang dipakai (komposisi kimia) dan kehalusan butiran semen.

f. Kekalan (Perubahan Volume)

Kekalan pasta yang mengeras merupakan suatu indikasi yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

g. Kekuatan Tekan (*Compressive Strength*)

Pengujian kuat tekan semen dilakukan dengan cara membuat mortar yang akan ditekan sampai hancur. Kuat tekan semen dipengaruhi oleh tipe semen, komposisi semen, dan kehalusan butir semen.

2. Sifat Kimia Semen *Portland*

a. Susunan Kimia

Tabel 2.1: Komposisi senyawa kimia semen *portland*.

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda / Potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Secara garis besar ada empat senyawa kimia utama penyusun semen *portland*, yaitu:

- 1) Trikalsium Silikat (3CaO. SiO₂), yang biasanya disingkat menjadi C₃S.
- 2) Dikalsium Silikat (2CaO. SiO₂), yang biasanya disingkat menjadi C₂S.
- 3) Trikalsium Aluminat (3CaO. Al₂O₃), yang biasanya disingkat menjadi C₃A.
- 4) Tetrakalsium Aluminoferrit (4CaO. Al₂O₃. Fe₂O₃), yang biasanya disingkat menjadi C₄AF.

Komposisi C₃S dan C₂S berkisar antara 70%-80% dari berat semen. Senyawa tersebut merupakan senyawa paling dominan yang memberikan sifat semen.

b. Kesegaran Semen

Pengujian kehilangan berat akibat pembakaran pada semen dilakukan pada suhu 900-1000°C. Kehilangan berat dapat terjadi karena adanya kelembaban dan karbon dioksida ataupun magnesium yang menguap. Kehilangan berat ini merupakan ukuran dari kesegaran semen.

c. Sisa Yang Tak Larut (*Insoluble Residue*)

Sisa bahan yang tidak habis bereaksi merupakan sisa bahan yang tidak aktif pada semen. Semakin sedikit sisa bahan, maka semakin baik kualitas semen. Jumlah maksimum sisa bahan tidak larut yang disyaratkan adalah 0.85%.

Berdasarkan *American Society for Testing Materials* (ASTM) ada lima jenis semen *portland*, yaitu:

- 1) Tipe I: Semen serbaguna yang digunakan pada pekerjaan konstruksi biasa.
- 2) Tipe II: Semen modifikasi yang mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah daripada semen tipe I dan memiliki ketahanan terhadap sulfat yang cukup tinggi.
- 3) Tipe III: Semen dengan kekuatan awal yang tinggi yang akan menghasilkan, dalam waktu 24 jam, beton dengan kekuatan sekitar dua kali semen Tipe I. Semen ini memiliki panas hidrasi yang jauh lebih tinggi.
- 4) Tipe IV: Semen dengan panas hidrasi rendah yang menghasilkan beton yang melepaskan panas dengan sangat lambat. Semen jenis ini digunakan untuk struktur-struktur beton yang sangat besar.
- 5) Tipe V: Semen untuk beton-beton yang akan ditempatkan di lingkungan dengan konsentrasi sulfat yang tinggi.

2.2.2 Agregat

Agregat merupakan material granular seperti kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton atau adukan semen hidrolik. Agregat yang digunakan sebagai campuran beton harus memenuhi syarat-syarat yaitu: bersih, kuat, tahan lama,

tidak bercampur dengan lumpur, dan distribusi ukuran agregat memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku.

Agregat berdasarkan besar butiran dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

1. Agregat Halus

Agregat halus (pasir) merupakan hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang memiliki ukuran butir terbesar 5 mm. Pasir yang digunakan sebagai bahan campuran beton harus memenuhi syarat berikut:

- a. Berbutir tajam dan keras.
- b. Bersifat kekal, yaitu tidak mudah lapuk atau hancur oleh perubahan cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Jika kandungan lumpur lebih dari 5% maka pasir tersebut harus dicuci.
- d. Tidak boleh digunakan pasir laut (kecuali dengan petunjuk staf ahli), karena pasir laut ini banyak mengandung garam yang dapat merusak beton/baja tulangan.

Tabel 2.2: Batasan gradasi pada agregat halus.

Ukuran Saringan ASTM	Persentase berat yang lolos pada tiap saringan
9.5 mm (3/8 in)	100
4.76 mm (No.4)	95 – 100
2.36 mm (No.8)	80 – 100
1.19 mm (No.16)	50 – 85
0.595 mm (No.30)	25 – 60
0.300 mm (No.50)	10 – 30
0.150 mm (No.100)	2 – 10

2. Agregat Kasar

Agregat kasar (kerikil) merupakan agregat yang mempunyai ukuran diameter 5 mm sampai 40 mm. Sebagai pengganti kerikil dapat pula digunakan batu pecah (split). Kerikil atau batu pecah yang digunakan sebagai bahan beton harus memenuhi syarat berikut:

- a. Bersifat padat dan keras, tidak berpori.
- b. Harus bersih, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika kandungan lumpur lebih dari 1% maka kerikil/batu pecah tersebut harus dicuci.
- c. Pada keadaan terpaksa, dapat dipakai kerikil bulat.

Tabel 2.3: Syarat gradasi agregat kasar berdasarkan ASTM.

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Tembus Kumulatif			
	Ukuran Butir Nominal (mm)			
	37.5 – 4.75	25 – 4.75	19 – 4.75	12 – 4.75
50	100	-	-	-
37.5	95 – 100	100	-	-
25	-	95 – 100	100	-
19	35 – 70	-	90 – 100	100
12.5	-	25 – 60	-	90 - 100
9.5	30 – 60	-	20 - 55	40 – 70
4.75	0 – 5	0 – 10	0 - 10	0 – 15
2.36	-	0 – 5	0 - 5	0 - 5

2.2.3 Air

Air dalam campuran beton berfungsi sebagai pemicu reaksi kimia dengan semen, membasahi agregat, dan mempermudah pengerjaan beton karena air akan membuat beton menjadi lecah. Air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- a. Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.

- b. Tidak mengandung garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan lainnya).
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.2.4 Bahan Tambah (*Additive*)

Bahan tambah, *aditif* adalah bahan selain semen, agregat, dan air yang ditambahkan pada adukan beton, selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya. Ada beberapa jenis aditif yang sering digunakan, yaitu:

1. Air entraining admixture

Sesuai dengan ASTM C125 dan C618, digunakan untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap efek beku dan cair dan memperbaiki ketahanan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh garam yang mencair. Sehingga ketika beton mencair, air dapat mengalir keluar dari gelembung sehingga retak pada beton yang diberi tambahan zat ini akan lebih sedikit dibandingkan tidak menggunakan tidak menggunakan *air entraining admixture*

2. Accelerating admixture

Zat aditif ini seperti kalsium klorida yang bersifat mempercepat kekuatan beton. Hasil dari penggunaan zat aditif ini ke dalam adukan beton adalah dapat mengurangi waktu untuk perawatan dan perlindungan beton dan mempercepat waktu untuk pelepasan cetakan.

3. Retarding admixture

Zat ini digunakan untuk memperlambat pengerasan beton dan menghambat kenaikan temperature. Zat ini sangat berguna untuk penuangan beton dalam jumlah besar dimana kenaikan temperature yang signifikan mungkin terjadi.

4. Waterproofing material

Bahan aditif ini berguna untuk membantu memperlambat penetrasi air ke dalam beton yang berpori, namun mungkin tidak akan membantu pada beton yang sudah padat dan terawatt dengan baik.

5. *Superplasticizer*

Penggunaan zat aditif ini ke dalam campuran beton dapat mengurangi kandungan air di dalam beton secara signifikan dan dalam waktu yang bersamaan meningkatkan nilai *slump* beton.

Menurut ASTM C494 dan British Standard 5075, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

Superplasticizer juga mempunyai pengaruh yang besar dalam meningkatkan workabilitas bahan ini merupakan sarana untuk menghasilkan beton mengalir tanpa terjadi pemisahan (*segregasi/bleeding*) yang umumnya terjadi pada beton dengan jumlah air yang besar, maka bahan ini berguna untuk pencetakan beton ditempat-tempat yang sulit seperti tempat pada penulangan yang rapat. *Superplasticizer* dapat memperbaiki workabilitas namun tidak berpengaruh besar dalam meningkatkan kuat tekan beton untuk faktor air semen yang diberikan. Namun kegunaan *Superplasticizer* untuk beton mutu tinggi secara umum sangat berhubungan dengan pengurangan jumlah air dalam campuran beton. Pengurangan ini tergantung dari kandungan air yang digunakan, dosis dan tipe dari *Superplasticizer* yang dipakai. (L. J. Parrot, 1988).

Untuk meningkatkan *workability* campuran beton, penggunaan dosis *Superplasticizer* secara normal berkisar antara 1-3 liter tiap 1 meter kubik beton. Larutan *Superplasticizer* terdiri dari 40% material aktif. Ketika *Superplasticizer* digunakan untuk mengurangi jumlah air, dosis yang digunakan akan lebih besar, 5 sampai 20 liter tiap 1 meter kubik beton. (Neville, 1995)

Menurut (Edward G Nawy, 1996), *Superplasticizer* dibedakan menjadi 4 jenis :

1. Modifikasi *Lignosulfonat* tanpa kandungan klorida.
2. Kondensasi Sulfonat Melamine Formaldehyde (SMF) dengan kandungan klorida sebesar 0.005%

3. Kondensasi Sulfonat Nephthalene Formaldehyde (SNF) dengan kandungan klorida yang diabaikan.
4. Carboxyl acrylic ester copolymer.

Jenis SMF dan SNF yang disebut garam sulfonik lebih sering digunakan karena lebih efektif dalam mendispersikan butiran semen, juga mengandung unsur-unsur yang memperlambat pengerasan. *Superplasticizer* adalah zat-zat polymer organik yang dapat larut dalam air yang telah dipersatukan dengan menggunakan proses polymerisasi yang kompleks untuk menghasilkan molekul-molekul panjang dari massa molecular yang tinggi. Molekul-molekul panjang ini akan membungkus diri mengelilingi partikel semen dan memberikan pengaruh negatif yang tinggi sehingga antar partikel semen akan saling menjauh dan menolak. Hal ini akan menimbulkan pendispersian partikel semen sehingga mengakibatkan keenceran adukan dan meningkatkan workabilitas. Perbaikan workabilitas ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan beton dengan *workability* yang tinggi atau menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi.

5. Beton Nonhomogen

Pada dasarnya beton merupakan bahan bangunan yang banyak dipakai dalam suatu konstruksi. Umumnya beton yang digunakan berupa beton bertulang yang homogen atau dengan kata lain beton yang mempunyai mutu yang sama pada satu dalam satu bidang beton misalkan dalam satu balok mempunyai mutu yang sama. Dalam kasus ini mencoba menggunakan beton Nonhomogen, dimana tiap ruas mempunyai mutu yang berbeda yaitu K175, K250, dan pencampuran 2 mutu beton pada satu balok beton bertulang yaitu mutu K250 + K175, dengan ruas memanjang.

2.3. Sifat Beton

Sifat beton sendiri memiliki beberapa cakupan seperti kuat tekan, kuat tarik beton, kuat geser, rangkai, dan susut beton.

2.3.1 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton dilakukan dengan pengujian *split cylinder* yang hasilnya mendekati kuat tarik yang sebenarnya, dimana diperoleh nilai kuat tarik dari

beberapa kali pengujian adalah 0,50-0,60 kali $\sqrt{f^c}$, sehingga untuk beton normal digunakan $0,57\sqrt{f^c}$. Pengujian kuat tarik beton ini juga menggunakan benda uji yang sama dengan uji kuat tekan, yaitu silinder beton berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, yang diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji. Kemudian silinder akan diberikan beban merata searah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Ketika kuat tariknya terlampaui, maka benda uji akan terbelah menjadi dua bagian, dimana tegangan dan regangan tarik yang timbul pada saat benda uji tersebut terbelah disebut *split cylinder strength*, diperhitungkan dengan menggunakan Pers. 2.1 dibawah ini:

$$f_t = \frac{2}{\pi} \frac{P}{LD} \quad (2.1)$$

Dimana:

- F_t = Kuat tarik belah $\left(\frac{N}{m^2}\right)$
- P = Beban pada waktu belah (N)
- L = Panjang benda uji silinder (m)
- D = Diameter benda uji silinder (m)

2.3.2 Kuat Geser

Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila gaya geser yang bekerja cukup besar sehingga diluar kemampuan beton untuk menahannya, maka perlu memasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menunjukkan tegangan dan regangan lentur dan tegangan dan regangan geser adalah seperti Pers. 2.2 di bawah ini:

$$f = \frac{M.c}{I} \text{ dan } v = \frac{V.S}{Ib} \quad (2.2)$$

Dimana:

- f = tegangan dan regangan lentur
- M = momen yang bekerja pada balok
- c = jarak serat terluar terhadap garis netral
- I = momen inersia penampang balok terhadap garis netral
- v = tegangan dan regangan geser

V = gaya geser akibat beban luar

S = Momen statis terhadap garis netral penampang

b = Lebar penampang

2.3.3 Rangkak

Ketika beton menerima beban secara terus menerus, maka beton akan mengalami deformasi, dimana setelah deformasi awal terjadi, selanjutnya akan terjadi deformasi yang disebut rangkak (*creep*). Hal-hal yang mempengaruhi rangkak adalah:

1. Tegangan dan regangan sangat mempengaruhi rangkak, karena rangkak berbanding lurus dengan tegangan dan regangan selama tegangan dan regangan yang terjadi tidak lebih dari 0,50 f_c' , lebih dari tingkat ini maka rangkak akan bertambah sangat cepat.
2. Lama waktu perawatan beton, semakin lama waktu perawatan maka rangkak yang terjadi semakin kecil.
3. Beton mutu tinggi akan mengalami rangkak lebih sedikit daripada beton mutu rendah pada tingkat tegangan dan regangan yang sama.
4. Temperatur, semakin tinggi temperature maka rangkak akan semakin bertambah.
5. Kelembapan, semakin tinggi kelembapan maka rangkak akan semakin berkurang.
6. Beton dengan persentase pasta yang paling tinggi memiliki rangkak yang paling besar.

2.3.4 Susut

Susut adalah berkurangnya volume beton akibat kehilangan uap air karena penguapan. Susut berlangsung selama bertahun-tahun, namun umumnya sekitar 90% susut terjadi pada tahun pertama. Hal-hal yang mempengaruhi susut adalah:

1. Semakin besar luas permukaan dari salah satu elemen beton bila dibandingkan dengan volumenya, semakin besar tingkat susutnya.

2. Lingkungan juga sangat mempengaruhi besarnya susut, jika beton terkena angin yang cukup banyak selama perawatan, maka susut yang dialami akan semakin besar.
3. Penggunaan agregat yang tidak terlalu absorptive seperti granit dan batu kapur juga dapat mengurangi susut.
4. Meminimalisasi jumlah air dalam campuran beton juga dapat mengurangi susut yang terjadi.

2.4. Perilaku Tegangan dan regangan Beton

Tegangan dan regangan merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada beton dengan luas penampang beton. Keadaan ini dapat dinyatakan dalam Pers. 2.3 berikut:

$$\sigma = P/A \quad (2.3)$$

Dimana:

σ = Tegangan dan regangan beton (Mpa)

P = Beban (N)

A = Luas penampang beton (mm²)

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L). Regangan dinotasikan dengan ε dan tidak mempunyai satuan. Regangan yang terjadi pada beton dinyatakan dalam rumus seperti yang tertera pada Pers. 2.4 berikut:

$$\varepsilon = \Delta L/L \quad (2.4)$$

Dimana:

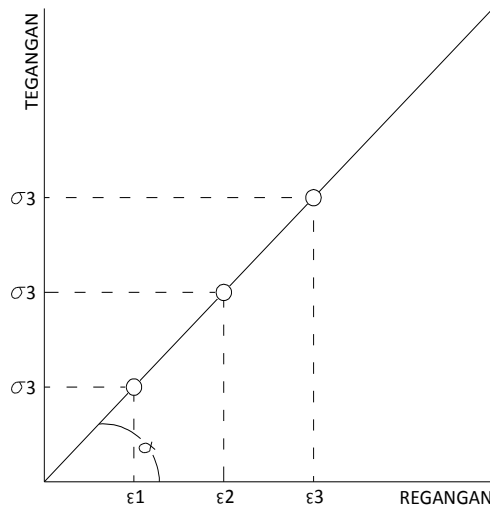
ε = Regangan beton

ΔL = Perubahan panjang

L = Panjang awal

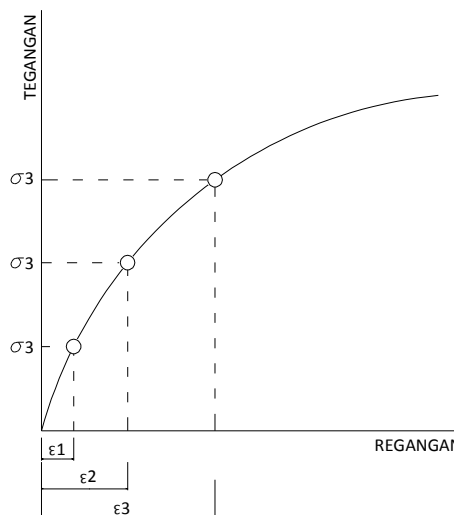
Jika hubungan tegangan dan regangan dibuat dalam bentuk grafik dimana setiap nilai tegangan dan regangan yang terjadi dipetakan kedalamnya dalam

bentuk titik-titik, maka titik-titik tersebut terletak dalam suatu garis lurus sehingga terdapat kesebandingan antara hubungan tegangan dan regangan.



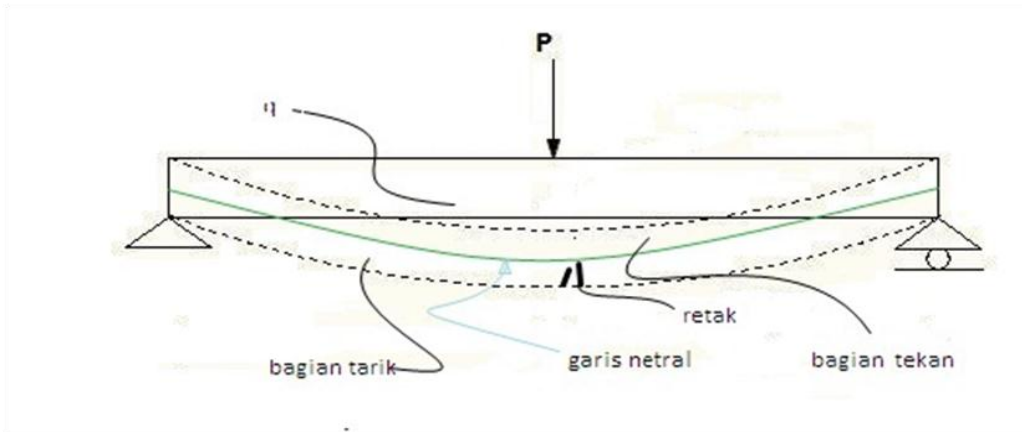
Gambar 2.1: Hubungan tegangan dan regangan linear.

Hubungan tegangan dan regangan seperti yang ditunjukkan gambar di atas adalah hubungan yang linear, dimana regangan berbanding lurus dengan tegangan dan regangannya. Hukum Hooke berlaku dalam keadaan ini. Akan tetapi dalam kondisi yang sebenarnya, tegangan dan regangan tidak selalu berbanding lurus dengan regangan, hubungan tersebut apabila dipetakan dalam bentuk titik-titik, maka akan berbentuk seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.2: Hubungan tegangan dan regangan non linear.

2.5. Regangan Tegangan dan regangan Balok Beton Bertulang



Gambar 2.3: Deformasi lentur balok beton bertulang.

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi dibagian atas dan regangan tarik dibagian bawah dari penampang.

Regangan tersebut menimbulkan tegangan dan regangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan dan regangan tekan di sebelah atas dan tegangan dan regangan tarik di sebelah bawah.

2.6. Balok Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerjasama dalam memikul gaya-gaya. (SNI 03- 2847 – 2002, Pasal 3.13).

Baja tulangan memiliki sifat kuat terhadap gaya tarik, sedangkan beton memiliki sifat kuat terhadap tekan, namun lemah terhadap tarik. Berdasarkan kelebihan dan kekurangan kedua material tersebut, maka lahirlah beton bertulang menjadi satu kesatuan yang komposit.

Beton bertulang mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton. Beton juga dapat melindungi baja dari kebakaran dan karat agar tetap awet. Ketika beban yang diterima kecil, maka beton dan tulangan akan bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang terjadi, namun ketika beban yang diterima semakin besar maka struktur akan mengalami retak, dimana gaya tarik yang terjadi sepenuhnya akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan gaya tekan akan ditahan oleh beton.

Ada dua kondisi yang mungkin terjadi pada beton bertulang, yaitu ketika beton yang tertekan hancur terlebih dahulu (beton mencapai kekuatan batasnya terlebih dahulu) sebelum baja tulangan mencapai batas luluhnya. Keruntuhan ini terjadi secara tiba-tiba (*brittle failure*). Kondisi kedua, tulangan mencapai tegangan dan regangan lelehnya (f_y) terlebih dahulu, setelah itu beton mencapai regangan batasnya (c), dan selanjutnya struktur runtuh. Pada kasus ini terlihat ada tanda-tanda berupa defleksi yang besar sebelum terjadi keruntuhan. Keruntuhan ini disebut keruntuhan yang daktail.

2.6.1 Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan dalam struktur beton bertulang dapat berupa batang baja lonjoran ataupun kawat rangkaian las (*welded wire fabric*) yang berupa kawat baja yang dirangkai dengan teknik pengelasan. Batang tulangan mengacu pada tulangan polos dan tulangan ulir. Tulangan ulir yang diberi ulir guna mendapatkan ikatan yang lebih baik antara beton dan baja, digunakan untuk hampir semua aplikasi. Sedangkan tulangan polos jarang digunakan kecuali untuk membungkus tulangan longitudinal, terutama pada kolom.

Sifat fisik baja tulangan yang paling penting dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan dan regangan luluh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Tegangan dan regangan luluh baja ditentukan melalui prosedur pengujian standar dengan ketentuan bahwa tegangan dan regangan luluh adalah tegangan dan regangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan dan

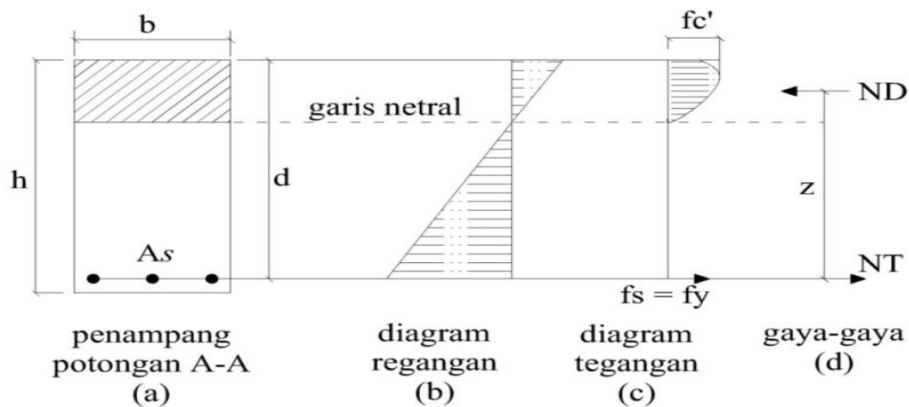
regangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Modulus elastisitas baja ditetapkan dalam SK SNI 03-2847-2002 adalah sebesar 200000 Mpa.

Tabel 2.4: Tegangan dan regangan leleh dan kuat tarik minimum baja tulangan.

Jenis	Simbol	Tegangan dan regangan leleh minimum (mpa)	Kuat tarik minimum (mpa)
Tulangan Polos	Bj TP 24	235	382
	Bj TP 30	294	480
Tulangan Ulir/Deform	Bj TD 24	235	382
	Bj TD 30	294	480
	Bj TD 35	343	490
	Bj TD 40	392	559
	Bj TD 50	490	618

2.6.2 Analisa Balok Beton Bertulang

Bila penampang beton diberi beban hingga batas runtuh (kondisi regangan seimbang, yaitu kondisi dimana balok menahan beban hingga regangan tekan lentur beton maksimum, ϵ_c mencapai 0,003 dan tegangan dan regangan tarik baja tulangan telah mencapai tegangan dan regangan leleh f_y), diagram distribusi tegangan dan regangan tekan mempunyai bentuk kurva yang serupa dengan diagram tegangan dan regangan – regangan beton tekan seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.4: Diagram tegangan dan regangan-regangan saat beton dalam kondisi regangan seimbang.

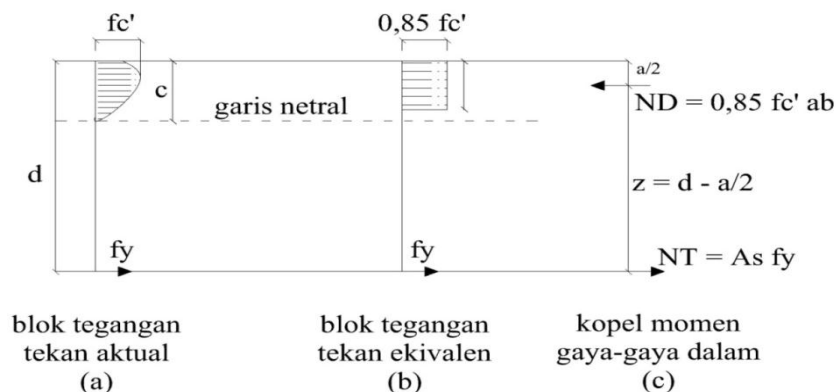
Kuat lentur suatu balok tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan dan regangan-tegangan dan regangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Momen tahanan dalam tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana actual yang ditimbulkan oleh beban luar.

Dalam penelitian ini, digunakan Metode Kekuatan Batas (Ultimit) dalam menganalisa kekuatan lentur balok beton bertulang.

1. Analisa balok terlentur tulangan tarik (tunggal)

Untuk merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu maka harus diketahui komposisi dimensi balok beton seperti lebar balok (b), tinggi balok (h), dan jumlah serta luas tulangan baja (A_s), f_c' dan f_y sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

Namun menentukan momen tahanan dalam bukanlah hal yang mudah karena hubungan dengan bentuk diagram tegangan dan regangan tekan diatas garis netral berbentuk garis lengkung. Untuk mempermudah perhitungan, maka Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan dan regangan beton tekan ekivalen. Standar SK SNI 03-2847-2002 juga pasal 12.2.7.1 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan. Usulan ini juga sudah digunakan secara luas karena bentuknya berupa empat persegi panjang yang cukup mudah dalam penggunaannya, baik untuk perencanaan maupun analisis.



Gambar 2.5: Distribusi tegangan dan regangan beton tekan ekivalen model Whitney.

$$Nd = 0,85 f'c'.a.b$$

$$Asb = \rho . b . d$$

$$Nt = As . fy$$

$$As \text{ max} = 0,75 Asb$$

$$a = \beta_1 c$$

$$\rho \text{ max} = 0,75 \rho b$$

$$\rho \text{ min} = 1,4/fy$$

$$\rho b = \frac{0,85 f'c' . \beta_1}{fy} \cdot \frac{600}{600 + fy} \quad (2.5)$$

$$Mr = Nd = Nt \quad (2.6)$$

$$0,85 f'c'.a.b = As.fy$$

Keterangan:

Nd = Resultan seluruh gaya tekan di atas garis netral

Nt = Resultan seluruh gaya tarik di bawah garis netral

Mr = Momen tahanan

Z = Jarak antara resultan gaya tekan dan Tarik

C = Jarak serat tekan terluar ke garis netral

Fy = Tegangan dan regangan luluh tulangan baja

$F'c$ = Kuat tekan beton

Asb = Luas tulangan balok

ρ = Rasio penulangan

d = Tinggi efektif balok

b = Lebar balok

β_1 = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

SK SNI 03-2847-2002 pasal S12.2.7 menetapkan nilai β_1 sebesar 0,85 untuk beton dengan $f'c' \leq 30$ MPa, berkurang 0,05 untuk setiap kenaikan 7 MPa bagi $f'c'$ yang lebih dari 30 MPa. Syarat dasar untuk desain kekuatan menurut SNI 03-2847-2002 dapat diungkapkan dalam Pers. 2.7 sebagai berikut:

$$\text{Kuat rencana } (Mr) \geq \text{Kuat perlu } (Mu) \quad (2.7)$$

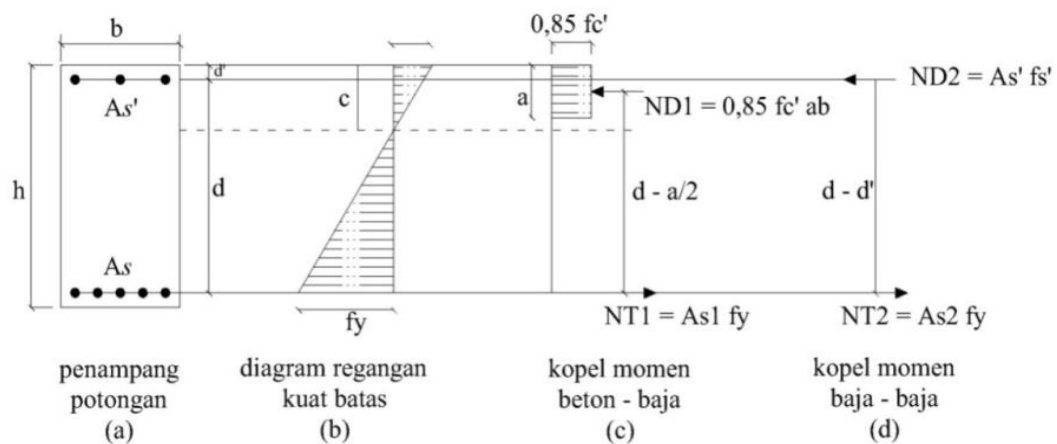
$$Mr = \phi Mn$$

Kuat perlu dapat diungkapkan sebagai bentuk beban-beban terfaktor ataupun momen, dan gaya-gaya lain yang terkait yang kemudian dikalikan dengan faktor-faktor beban yang sesuai. Penggunaan faktor reduksi kekuatan ϕ untuk tarik aksial tanpa dan dengan lentur sebesar 0,8.

2. Analisa Balok Terlentur Tulangan Tekan-Tarik (Rangkap)

Anggapan- anggapan dasar yang digunakan dalam analisis balok terlentur tulangan rangkap pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja, namun ada satu anggapan penting yaitu tegangan dan regangan tulangan baja tekan (f_s') merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Tulangan baja berperilaku elastis hanya pada saat regangannya mencapai luluh (ϵ_y), sehingga ketika regangan tekan baja (ϵ_s') sama tau lebih besar dari regangan luluhnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan dan regangan tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan dan regangan luluhnya (f_y).

Karena gaya tekan akan ditahan oleh dua bahan yang berbeda, yaitu beton dan baja, maka gaya tekan total adalah penjumlahan dari gaya tekan yang ditahan oleh beton ($Nd1$) dan yang ditahan oleh baja tulangan ($Nd2$). Di dalam analisis momen tahanan dalam diperhitungkan atas dua bagian yaitu, kopel pasangan beton tekan dengan tulangan baja tarik, dan pasangan tulangan baja tekan dengan tulangan baja tarik. Sehingga kuat momen total balok bertulangan rangkap adalah penjumlahan dari kedua kopel momen dalam.



Gambar 2.6: Analisis balok bertulangan rangkap.

$$\begin{aligned}
Nd1 &= 0,85 f'c a.b & a &= \beta_1.c \\
Nd2 &= As' f's & As &= As1 + As2 \\
Nt1 &= As1 fy & As1 &= \rho_{maks}.b.d \\
As' = As2 &= \frac{Mu \text{ sisa}}{\phi f's(d-d')} & & (2.8)
\end{aligned}$$

$$\frac{\epsilon's}{0,003} = \frac{c-d'}{c} \quad (2.9)$$

$$Mr1 = \phi b d^2 k \quad (2.10)$$

$$Mr2 = Mu - Mr1$$

$$Mr = Nd = Nt$$

$$Nt = Nd1 + Nd2$$

$$As.fy = 0,85 f'c a.b + As'f's \quad (2.11)$$

Keterangan:

$Nd1$ = Resultan seluruh gaya tekan di atas garis netral yang ditahan beton

$Nd2$ = Resultan seluruh gaya tekan di atas garis netral yang ditahan baja tekan

$Nt1$ = Resultan seluruh gaya tarik pada tulangan tarik akibat beton

Mr = Momen tahanan

Z = Jarak antara resultan gaya tekan dan tarik

C = Jarak serat tekan terluar ke garis netral

Fy = Tegangan dan regangan luluh tulangan baja

$F'c$ = Kuat tekan beton

$As1$ = Luas tulangan baja tekan (As')

$As2$ = Luas tulangan baja tarik

ρ = Rasio penulangan

d = Tinggi efektif balok

b = Lebar balok

β_1 = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 nilai $\beta_1 = 0,85$ untuk beton dengan kuat tekan (f'_c) ≤ 30 Mpa dan akan berkurang 0,005 setiap kenaikan 7 Mpa untuk f'_c lebih dari 30 MPa.

3. Tulangan Geser

Perencanaan penulangan geser didasarkan pada anggapan bahwa beton akan menahan sebagian dari gaya geser yang terjadi, namun kekuatan geser yang melebihi kemampuan beton untuk menahannya akan ditahan oleh tulangan baja geser. Umumnya untuk menahan gaya geser yang terjadi digunakan penulangan dengan sengkang karena selain lebih mudah dan sederhana juga lebih tepat pemasangannya. Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 kapasitas kemampuan beton untuk menahan geser dapat dilihat pada Pers. 2.12 dan 2.13 di bawah ini:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w \cdot d \quad (2.12)$$

$$V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c \quad (2.13)$$

Jika $V_u \geq \frac{1}{2} \phi V_c$ maka diperlukan tulangan geser

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 disebutkan dalam Pers. 2.15 berikut:

$$A_v = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y} \quad (2.15)$$

Keterangan:

V_c = Gaya geser yang bekerja pada beton (N)

V_u = Gaya geser dalam yang bekerja (N)

A_v = Luas tulangan geser (mm²)

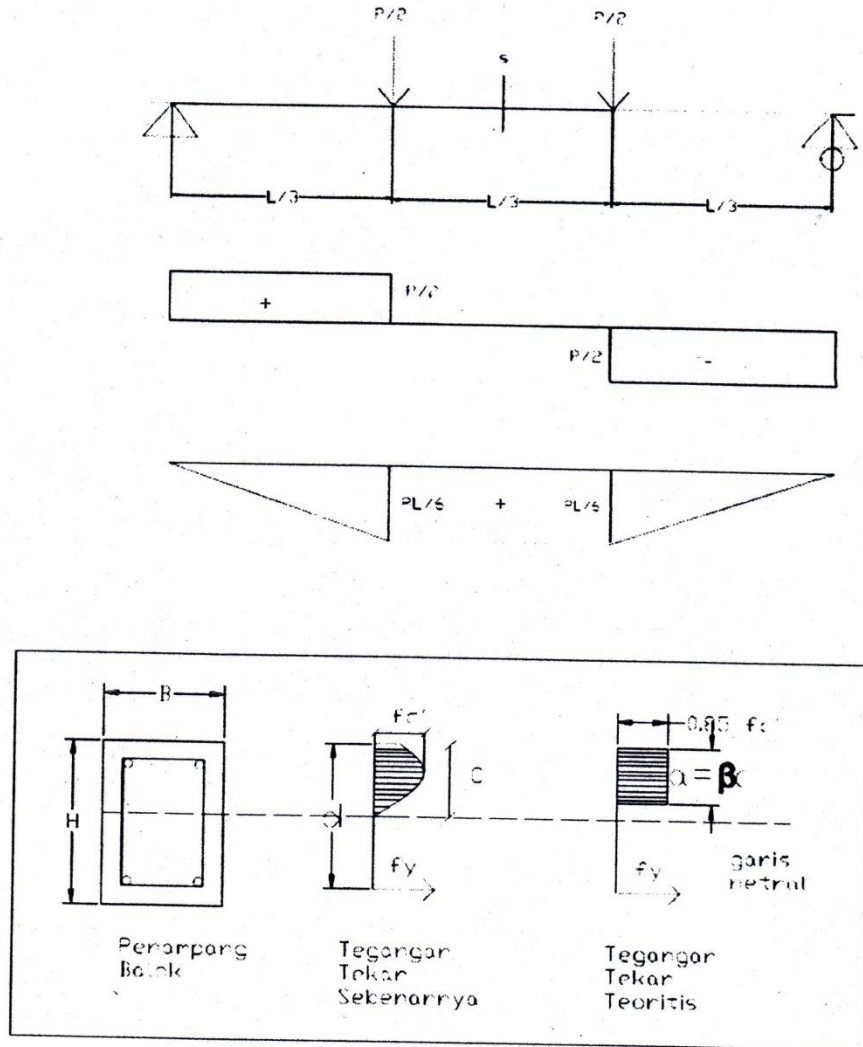
B_w = Lebar balok (mm)

S = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm)

F_y = Kuat luluh tulangan geser (Mpa)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Lentur murni adalah kondisi dimana balok beton bertulang memiliki gaya lintang nol dan momen konstan apabila diberi beban sebesar $P/2$ (lihat gambar).



Gambar 3.1: Lentur murni balok beton.

Penampang S, yang berada ditengah bentang, mengalami lentur murni. Ketika diberikan beban hingga mencapai batas runtuhnya, maka secara aktual tegangan dan regangan tekan yang terjadi bervariasi sepanjang c dari garis netral hingga ke serat atas balok, sedangkan tegangan dan regangan tarik akan ditahan oleh tulangan baja. Namun, secara teoritis, untuk mempermudah perhitungan

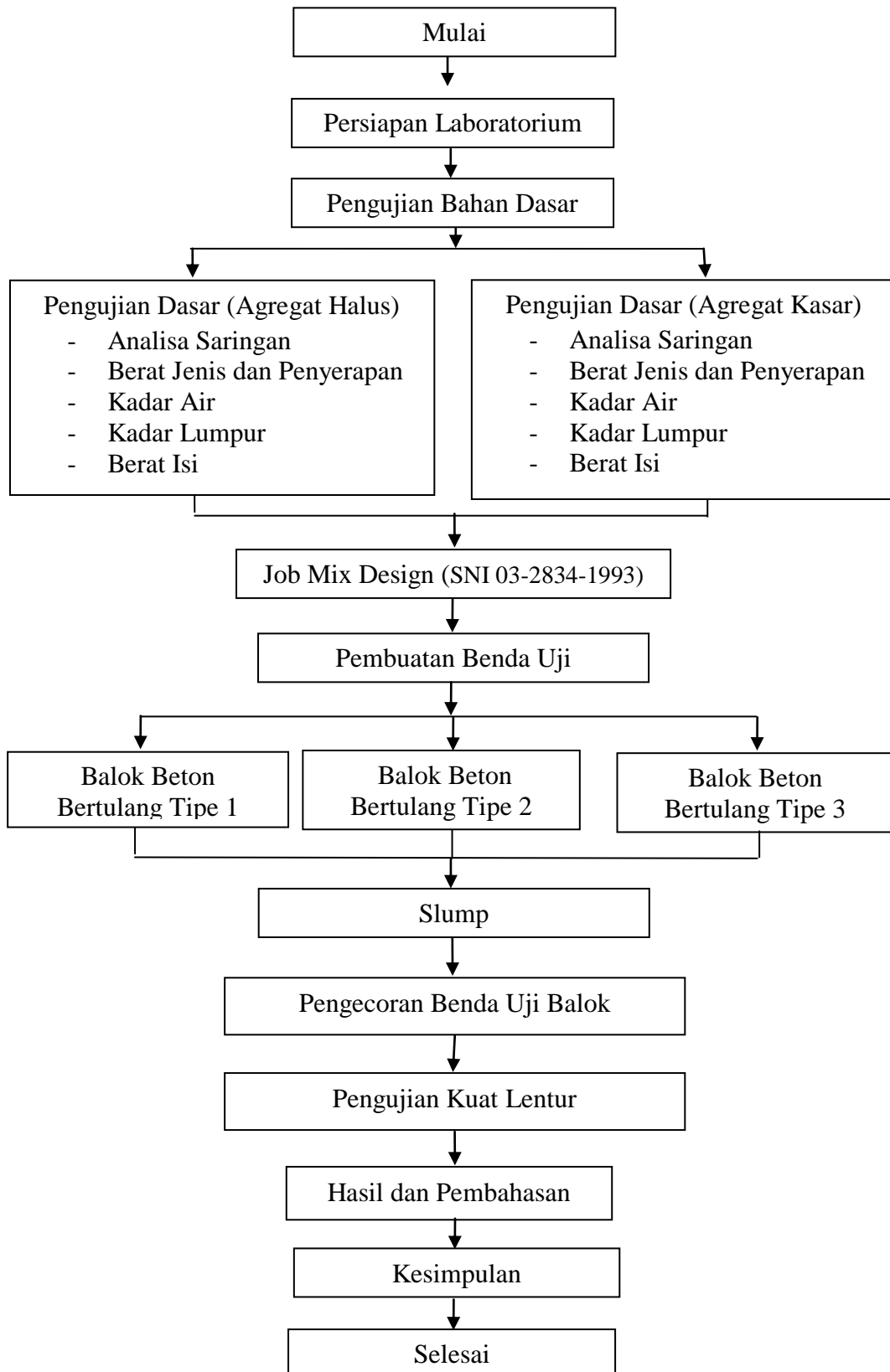
tegangan dan regangan tekan dianggap berbentuk persegi, dimana tegangan dan regangan tekan yang terjadi sebesar $0,85 f_c$ sepanjang a yang terjadi diatas garis netral hingga serat atas balok, tegangan dan regangan tarik juga akan ditahan oleh tulangan baja.

Berdasarkan asumsi diagram tegangan dan regangan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk membuktikan dan membandingkan tegangan dan regangan yang terjadi dengan melakukan percobaan pada balok beton bertulang homogen dan balok bertulang non homogen dengan menggunakan mutu beton pada daerah tumpuan lebih kecil pada daerah lapangan (tarik) dalam kondisi lentur murni yang dilakukan dilaboratorium dengan perhitungan lentur murni yang didapat secara analisis. Penelitian ini juga akan membuktikan dan membandingkan bagaimana jika pengaruh beton pada daerah lapangan (tarik) ditambahkan kekuatannya.

Dalam penelitian yang dilakukan, ada beberapa lingkup masalah yang dibatasi, yaitu karakteristik bahan yang digunakan sebagai benda uji adalah sebagai berikut:

1. Benda Uji yang digunakan berupa beton berbentuk balok dengan ukuran penampang 15 cm x 25 cm dan panjang 320 cm.
2. Beton yang digunakan pada balok non homogen adalah K175, K250 dan K175 + K250 dengan system sambungan yang berbeda.
3. Tulangan yang digunakan berupa tulangan polos.
4. Tulangan yang digunakan:
 - a. Tulangan pada daerah tumpuan : 4D12
 - b. Tulangan pada daerah lapangan : 4D12
 - c. Tulangan sengkang : D6-100
5. Perletakan balok adalah perletakan sederhana (sendi-rol).
6. Beban yang bekerja adalah beban vertikal.
7. Dimensi cetakan silinder yang digunakan dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
8. Analisis yang dilakukan meliputi tegangan dan regangan balok pada kondisi lentur murni.

3.1. Bagan Alir Percobaan (Flowchart)



Gambar 3.2: Tahapan singkat penelitian yang dilaksanakan.

3.2.Persiapan Pembuatan Benda Uji Beton

1. Persiapan pembuatan benda uji balok beton bertulang nonhomogen

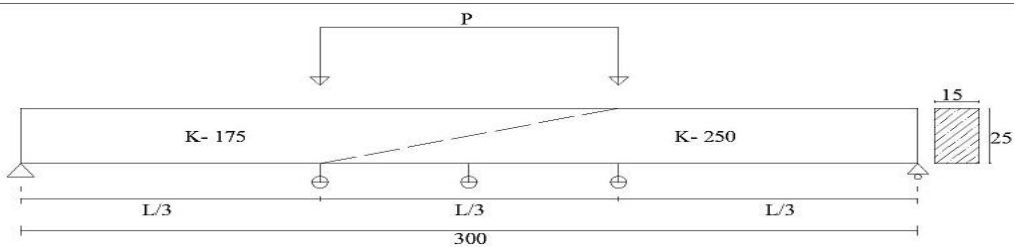
Langkah langkah yang harus dilakukan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan bahan- bahan yang digunakan sebagai campuran beton yaitu semen, pasir, kerikil, dan air sesuai perbandingan *mix design* yang direncanakan.

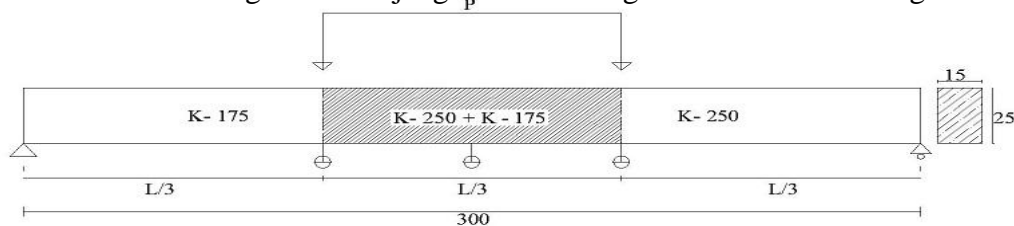


Gambar 3.3: Bahan adukan benda uji.

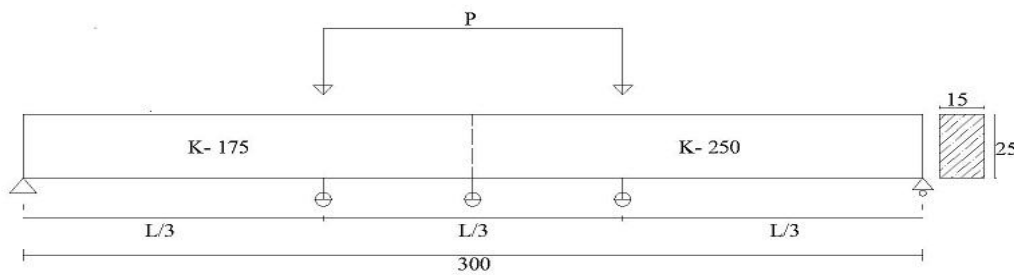
- b. Siapkan alat-alat yang diperlukan dalam proses pencampuran.
- c. Siapkan cetakan yang sesuai untuk balok berukuran 15 x 25 x 320 cm.
- d. Siapkan tulangan yang telah dirakit sedemikian rupa sesuai dengan gambar perencanaan yang telah dibuat sebelumnya seperti gambar berikut:



Gambar 3.4: Potongan memanjang dan melintang balok beton bertulang 1.



Gambar 3.5 : Potongan memanjang dan melintang balok beton bertulang 2.



Gambar 3.6: Potongan memanjang dan melintang balok beton bertulang 3.

- e. Siapkan bahan-bahan penyusun beton seperti semen, pasir, kerikil, dan air sesuai dengan perbandingan dalam perencanaan *mix design* yang telah dibuat sebelumnya.
- f. Siapkan alat-alat yang akan digunakan dalam proses pencampuran beton.
- g. Untuk Beton Nonhomogen digunakan sekat agar dapat memisahkan antar segmen campran beton.



Gambar 3.7: Sekat pemisah.

3.3.Pengecoran Benda Uji

Adapun benda uji yang digunakan pada tugas akhir ini adalah balok beton bertulang non homogen yang terbagi menjadi tiga jenis yaitu balok beton bertulang nonhomogen dengan mutu k175 dan k250 tanpa sekat pemisah, balok beton bertulang nonhomogen dengan mutu k175, k250 dan k175 + k250 dengan sekat pemisah, dan balok beton bertulang nonhomogen dengan mutu k175, k250 dengan sekat pemisah.

3.3.1. Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan Mutu K175 dan K250 Tanpa Sekat Pemisah.

Pada saat pengecoran balok beton bertulang nonhomogen digunakan sekat untuk memisahkan mutu beton yang satu dengan yang lainnya. Pada dasarnya pengecoran dilakukan hampir sama dengan pengecoran balok beton bertulang nonhomogen namun ada beberapa perbedaan pada tahapan pengecorannya yaitu sebagai berikut:

- a. Pada pengecoran pertama tidak menggunakan sekat karena sambungan beton diagonal. Dengan kata lain untuk membuat diagonal tersebut dilakukan perataan saat pengecoran awal dengan mutu beton K175.
- b. Pengecoran tahap kedua dilakukan dengan mutu K250.
- c. Setiap mutu beton dibuat 4 benda uji silinder.
- d. Selang waktu yang digunakan pada tiap tahap pengecoran sekitar 20-30 menit.



Gambar 3.8 : Proses pengambilan sekat pembatas.

3.3.2. Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan Mutu K175 + K250 dan Balok Beton Bertulang Homogen dengan mutu K175, K250 Dengan Sekat Pemisah

Pada saat pengecoran balok beton bertulang nonhomogen digunakan sekat untuk memisahkan mutu beton yang satu dengan yang lainnya. Pada dasarnya pengecoran dilakukan hampir sama dengan pengecoran balok beton bertulang nonhomogen namun ada beberapa perbedaan pada tahapan pengecorannya yaitu sebagai berikut:

1. Pada pengecoran pertama dilakukan dengan mengisi bagian sisi kiri dengan beton Mutu K175 sepanjang 1 meter dan bagian sisi kanan dengan K250 sepanjang 1 meter.
2. Pengecoran tahap kedua dilakukan mencampur mutu K175 dengan mutu K250 dan di isi pada bagian tengah balok.
3. Pada saat pengecoran ditahap kedua ini setelah memenuhi volume yang ditentukan cabut sekat pemisah mutu beton agar beton menyatu setelah dirojok/divibrator.
4. Setiap mutu beton dibuat 4 benda uji silinder.
5. Selang waktu yang digunakan pada tiap tahap pengecoran sekitar 20-30 menit.



Gambar 3.9: Proses pengambilan sekat pembatas.

3.3.3. Pengecoran Balok Beton Bertulang Nonhomogen dengan Mutu K175 + K250 dengan Sekat Pemisah.

Pada saat pengecoran balok beton bertulang nonhomogen digunakan sekat untuk memisahkan mutu beton yang satu dengan yang lainnya. Pada dasarnya pengecoran dilakukan hampir sama dengan pengecoran balok beton bertulang nonhomogen namun ada beberapa perbedaan pada tahapan pengecorannya yaitu sebagai berikut:

1. Pada pengecoran pertama dilakukan dengan mengisi bagian sisi kiri dengan beton Mutu K175 sepanjang 1.5 meter.

2. Pengecoran tahap kedua dilakukan mengisi bagian sisi kanan dengan beton mutu K250 sepanjang 1.5 meter.
3. Pada saat pengecoran ditahap kedua ini setelah memenuhi volume yang ditentukan cabut sekat pemisah mutu beton agar beton menyatu setelah dirojok/divibrator.
4. Setiap mutu beton dibuat 4 benda uji silinder.
5. Selang waktu yang digunakan pada tiap tahap pengecoran sekitar 20-30 menit.



Gambar 3.10 : Proses pengambilan sekat pembatas.

3.4. Perawatan Benda Uji Pasca Pengecoran

Perawatan beton atau yang dikenal dengan *curing* adalah kegiatan penjagaan beton paska pengecoran dan finishing pengecoran dengan tujuan menjaga kelembaban beton sehingga ikatan antara semen dan agregat semakin kuat dan kualitas beton semakin baik. Selain itu, perawatan beton juga dilakukan untuk menghasilkan beton dengan permukaan yang bagus, lebih awet dan perlindungan terhadap besi tulangan beton yang lebih baik.

Perawatan beton dilakukan segera setelah beton mengeras atau mencapai *final setting*. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan untuk beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat. Perawatan beton ini dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

- a. Menempatkan beton segar dalam ruangan yang lembab atau bekisting tetap dibiarkan terpasang pada balok untuk menghindari penguapan secara langsung.
- b. Menempatkan beton segar dalam genangan air.
- c. Menyelimuti permukaan beton dengan karung basah.
- d. Menyirami permukaan beton secara terus menerus.

Pada penelitian ini, perawatan beton untuk silinder beton dilakukan dengan cara menempatkan beton segar di dalam bak perendam sehingga seluruh permukaan balok terendam selama 28 hari. Sedangkan perawatan untuk balok dilakukan dengan cara menyirami benda uji dengan air secara kontiniu selama 7 (tujuh) hari.



Gambar 3.11: Perawatan benda uji balok.

3.5. Pengujian Kuat Lentur

Pada penelitian ini, pengujian lentur dilakukan pada 2 (dua) buah balok beton bertulang, dimana salah satu balok merupakan balok nonhomogen arah memanjang.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian lentur balok beton bertulang adalah sebagai berikut:

1. Atur perletakan sesuai dengan jarak yang telah direncanakan sebelumnya.
2. Letakkan benda uji di atas kedua perletakan sendi-rol yang telah disiapkan.

3. Letakkan besi yang digunakan sebagai pembebanan untuk benda uji, dimana pembebanan akan dilakukan pada dua titik di tengah bentang yang berjarak 100 cm.
4. Pasang 3 (tiga) buah *Dial Indicator* yang digunakan untuk menghitung lendutan yang terjadi dengan jarak 75 cm. Pastikan dial ini telah menyentuh dasar balok dan berada dalam posisi angka nol.



Gambar 3.12: *Dial indicator*.

5. Letakkan jack ditengah bentang diatas besi pembebanan dan naikkan beban setiap 10 kg dengan membaca *Manometer Jack*.



Gambar 3.13: Alat Pompa dan *Hydraulic Jack*.



Gambar 3.14: Selang *Hydraulic* dan *Manometer*

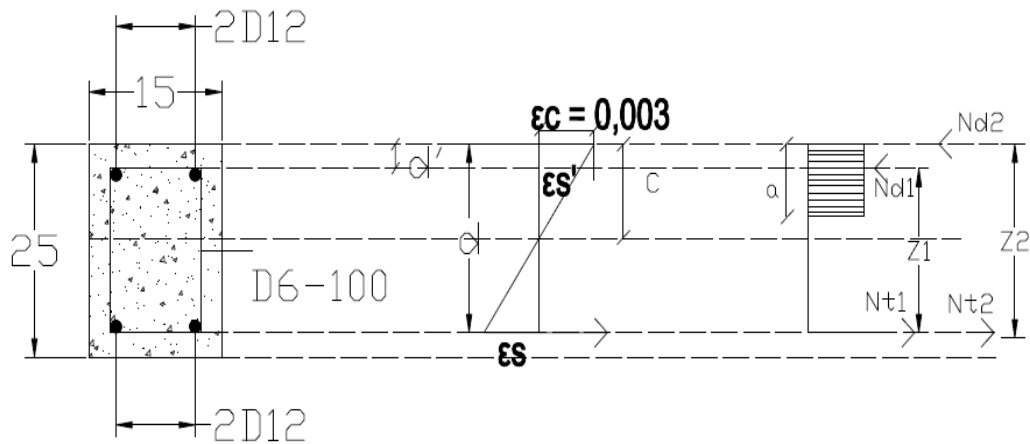
6. Catat setiap penurunan yang terjadi pada dial ketika beban dinaikkan.
7. Lakukan pembacaan hingga balok mencapai keruntuhan.

3.6. Perhitungan Benda Uji Balok Beton Bertulang

3.6.1. Perhitungan Benda Uji Balok Beton Bertulang Nonhomogen

Sebelum melaksanakan praktikum diperlukan analisa pada benda uji balok beton bertulang. Untuk perhitungan kekuatan lentur nominal (M_n) dipakai pemisalan diantaranya adalah regangan maksimum yang dapat dipakai ϵ_c pada serat ekstrim beton atau dalam kata lain beton mengalami keruntuhan diambil sebesar 0,003 (Wang, 1993). Analisa yang akan dilakukan berupa analisa perhitungan tinggi garis netral balok beton bertulang yang telah direncanakan dimensi dan batasan sebagai berikut:

1. Balok Mutu K175



Gambar 3.15: Sketsa perencanaan balok beton bertulang.

Direncanakan suatu balok beton bertulang :

$$B = 15 \text{ cm} \quad \text{mutu beton K175 } (f'c = 10.206 \text{ MPa})$$

$$H = 25 \text{ cm} \quad \text{mutu tulangan baja BJTP 24 } (fy = 240 \text{ MPa})$$

Selimut beton = 3,5 cm

$$As = As' = 226,2 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{selimut beton} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2}(\emptyset \text{ tulangan utama}) \\ &= 35 \text{ mm} + 6 \text{ mm} + \frac{1}{2}(12) \\ &= 47 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2}(\emptyset \text{ tulangan utama}) \\ &= 250 \text{ mm} - 35 \text{ mm} - 6 \text{ mm} - \frac{1}{2}(12) \\ &= 203 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Tinggi Garis Netral Balok Beton Bertulang Normal dengan Metode Kekuatan Batas (Ultimit). Dianggap bahwa semua tulangan baja, baik tulangan tarik maupun tulangan tekan telah mencapai luluh.

Dengan mengacu pada gambar:

$$NT1 + NT2 = ND1 + ND2 \quad (3.1)$$

$$As'(fy) + As(fy) = 0,85(f'c)(a)(b) + As'(f's) \quad (3.2)$$

$$(226,2\text{mm}^2 + 226,2\text{mm}^2)(240\text{N/mm}^2) = 0,85(10.206\text{N/mm}^2)(a)(150\text{mm}) + 226,2\text{mm}^2(240\text{N/mm}^2)$$

$$24559 = 1301,2(a)\text{N/mm} + 54288\text{N}$$

$$1301,2(a)\text{N/mm} = 24505\text{N}$$

$$a = 18,833\text{mm}$$

Tentukan letak garis netral

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

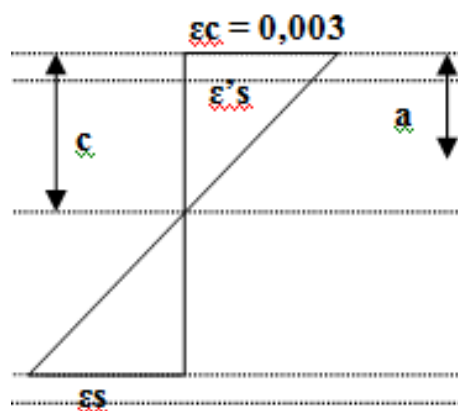
$$c = \frac{18,833\text{mm}}{0,85}$$

$$c = 22,15\text{mm}$$

dimana:

c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

Pemeriksaan regangan tulangan baja dengan berdasarkan segitiga sebangun:



Gambar 3.16 : Regangan tulangan baja berdasarkan segitiga sebangun.

Pada tulangan tekan, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.3 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{s'} &= \frac{c-d'}{c}(0,003) \\ &= \frac{(22,15-47)}{22,15}(0,003) = -0.06008\end{aligned}\tag{3.3}$$

Pada tulangan Tarik, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.4 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c}(0,003) \\ &= \frac{(203-22,15)}{22,15}(0,003) = 0,606\end{aligned}\tag{3.4}$$

Untuk baja mutu 24, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.5 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= \frac{f_y}{200000} \\ &= \frac{240}{200000} = 0,002\end{aligned}\tag{3.5}$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_{s'}$, maka tulangan baja tarik telah meluluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003, tetapi baja tekan belum. Dengan demikian, ternyata asumsi di tahap awal tidak benar. Maka diperlukan mencari garis netral terlebih dahulu dengan menggunakan Pers. 3.6 dan 3.7 di bawah ini.

$$NT1 + NT2 = ND1 + ND2\tag{3.6}$$

$$As'(f_y) + As(f_y) = 0,85(f'c)(a)(b) + As'(f's)\tag{3.7}$$

$$\text{Dimana: } f's = \varepsilon_{s'} E_s = \frac{c-d'}{c}(0,003)(E_s)$$

$$A_{stot} = As' + As$$

$$a = \beta_1(c)$$

Dengan melakukan beberapa substitusi didapat:

$$A_{stot}(f_y) = 0,85(f'c)\beta_1(c)(b) + As' \frac{c-d}{c}(0,003)(E_s) \} xc$$

$$A_{stot}(f_y)c = 0,85(f'c)\beta_1(c^2)(b) + 0,003EsAs'c - 0,003EsAs'd'$$

$$0,85(f'c)\beta_1(b)(c^2) + (0,003EsAs' - A_{stot}f_y)c - 0,003EsAs'd' = 0$$

Dengan memasukan nilai-nilai berikut:

$$Es = 200000N/mm^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$A_{stot} = 452,4mm^2$$

$$As' = 226,2mm^2$$

$$F_y = 240N/mm^2$$

$$f'c = 10,206N/mm^2$$

$$b = 150mm$$

$$d' = 47mm$$

diperoleh persamaan berikut untuk memperoleh nilai c:

$$1106,07c^2 + 27144c - 6378840 = 0$$

Dengan rumus ABC didapat:

$$c_1 = 63,162mm$$

$$c_2 = -87,700mm(\text{tidak memenuhi})$$

Digunakan : $c = 63,126mm$

Dengan nilai $c = 63,162mm$ dicari nilai-nilai yang belum diketahui:

$$f's = \frac{c-d'}{c}(0.003)(Es) \quad (3.8)$$

$$= \frac{(63,162 - 47)}{63,162}(0.003)(200000) = 153,529 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}$$

Nilai $f's < f_y$, dengan demikian berarti asumsi bahwa tulangan tarik telah luluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003 sementara tulangan tekan belum luluh sudah benar.

$$a = \beta_1(c) = 0,85(63,162) = 53,6877$$

$$Nd_1 = 0,85(f'c)(a)(b) = 0,85(10,206)(53,6877)(150) = 69861,9N$$

$$Nd_2 = As'f's = (226,2)(153,529) = 34728,2N$$

$$Nd = Nd_1 + Nd_2 = 108576N$$

$$Nt = A_{stot}(f_y) = (452,4)(240) = 108576N$$

$$Nd = Nt \dots\dots\dots (OK)$$

$$Mn_1 = Nd_1(z_1) = Nd_1(d - \frac{1}{2}a) = 69861,9(203 - \frac{1}{2}(53,6877))$$

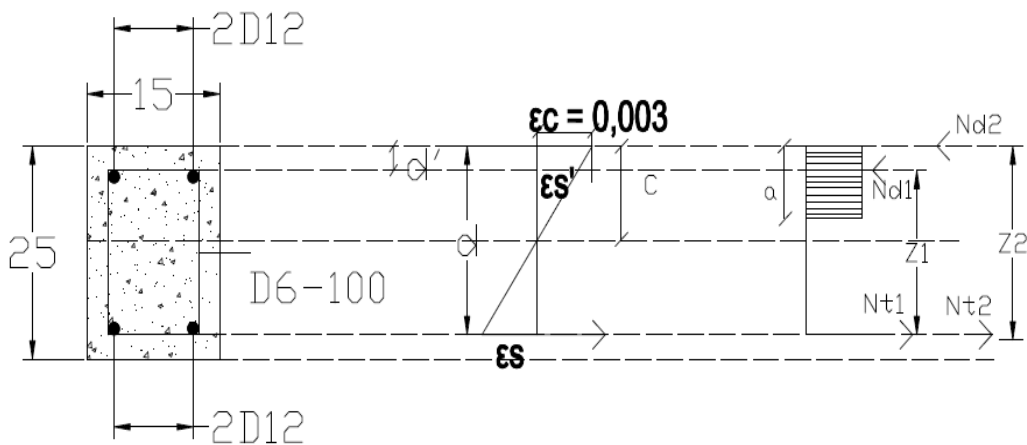
$$= 12306603,34Nmm \text{ atau } 12,30KNm$$

$$Mn_2 = Nd_2(z_2) = Nd_2(d - d') = 34728,2(203 - 47)$$

$$= 5417599,2Nmm \text{ atau } 5,41KNm$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = 17724202,54Nmm \text{ atau } 17,72KNm$$

2. Balok Mutu Beton K250



Gambar 3.17 : Sketsa perencanaan balok beton bertulang.

Direncanakan suatu balok beton bertulang :

$$B = 15cm \quad \text{Mutu beton K250} \quad = f'c = 14,638Mpa$$

$$H = 25cm \quad \text{Mutu baja} \quad = BJTP - 24(fy = 240Mpa)$$

$$\text{Selimut beton} = 3,5cm$$

$$As = As' = 226,2mm^2$$

$$d' = \text{selimut} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \varnothing \text{ tulangan utama}$$

$$d' = 35mm + 6mm + \frac{1}{2}(12mm)$$

$$d' = 47mm$$

$$d = h - \text{selimut} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 250\text{mm} - 35\text{mm} - 6\text{mm} - \frac{1}{2}(12)$$

$$d = 203\text{mm}$$

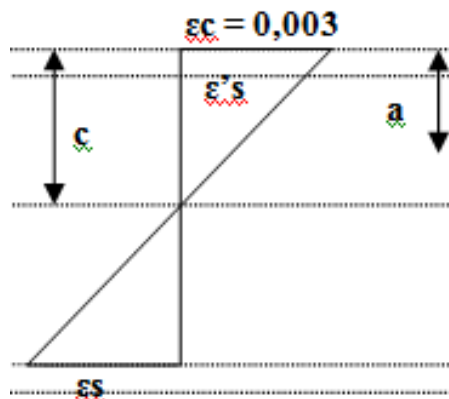
Menghitung tinggi garis netral balok beton bertulang dengan metode kekuatan batas (ultimit) dengan asumsi semua tulangan baja, baik tulangan tarik maupun tekan telah mencapai luluh. Maka berdasarkan gambar perencanaan balok beton bertulang digunakan persamaan yang sama seperti Pers. 3.1 dan 3.2 sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} Nt_1 + Nt_2 &= Nd_1 + Nd_2 \\ As'.fy + As.fy &= 0,85f'c.a.b + As'.fs \\ (226,2\text{mm}^2 + 226,2\text{mm}^2)(240\text{N/mm}^2) &= 0,85(14,628\text{N/mm}^2)(a)(150\text{mm}) + \\ &\quad (226,2\text{mm}^2)(240\text{N/mm}^2) \\ 108576\text{N} &= 1865,07(a)\text{N/mm} + 54288\text{N/mm} \\ 1865,07(a)\text{N/mm} &= 54288\text{N} \\ a &= 29,10\text{mm} \end{aligned}$$

Menentukan letak garis netral:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{29,10\text{mm}}{0,85} = 34,23\text{mm}$$

Pemeriksaan regangan tulangan baja dengan berdasarkan segitiga bangun.



Gambar 3.18 : Regangan tulang baja berdasarkan segitiga sebangun.

Pada tulangan tekan, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.3 sehingga diperoleh:

$$\varepsilon_s' = \frac{c - d}{c} 0,003 = \frac{34,23 - 47}{34,23} 0,003 = -1.1191$$

Pada tulangan tarik, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.4 sehingga diperoleh:

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{203 - 34,23}{34,23} 0,003 = 0.0147$$

Baja mutu 24, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.5 sehingga diperoleh:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{200000} = \frac{240}{200000} = 0,002$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_s'$, maka tulangan baja tarik telah meluluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003, tetapi tulangan baja tekan belum. Dengan demikian, ternyata asumsi di tahap awal tidak benar. Maka harus dicari besar garis netral dahulu dengan menggunakan Pers. 3.6 dan 3.7 seperti yang telah dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} Nt_1 + Nt_2 &= Nd_1 + Nd_2 \\ As'.fy + As.fy &= 0,85f'c.a.b + As'.fs \end{aligned}$$

Dimana : $fs = \varepsilon_s'Es = \frac{c - d}{c} 0,003Es$

$$Astot = As' + As$$

$$a = \beta_1(c)$$

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai di atas dalam Pers. 3.7 maka didapat:

$$Astot(fy) = 0,85(f'c)\beta_1.c.b + As' \frac{c - d}{c} 0,003Es \dots\dots\dots \text{dikali } c$$

$$Astot(fy)c = 0,85(f'c)\beta_1.c^2.b + 0,003Es.As'c - 0,003EsAs'.d'$$

$$0,85(f'c) \beta_1 \cdot b \cdot (c^2) + (0,003 E_s \cdot A_s' - A_{stot} f_y) (c) - 0,003 E_s A_s' \cdot d' = 0$$

Diketahui:

$$\begin{array}{ll} E_s &= 20000 N/mm^2 & \beta_1 &= 0,85 \\ A_{stot} &= 452,4 mm^2 & A_s' &= 226,2 mm^2 \\ F_y &= 240 N/mm^2 & f'c &= 14,638 N/mm^2 \\ b &= 150 mm & d' &= 47 mm \end{array}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai diatas diperoleh persamaan berikut:

$$1586,39c^2 + 27144c - 6378840 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh nilai:

$$C_1 = 54,27 mm \text{ (memenuhi)}$$

$$C_2 = -71,38 mm \text{ (tidak memenuhi)}$$

Dengan nilai $c = 54,27 mm$ maka:

$$f's = \frac{c-d}{c} 0,003 E_s = \frac{54,27 mm - 47 mm}{54,27 mm} 0,003 (200000) = 80,37 Mpa \dots \dots \dots (OK)$$

Nilai $f's < f_y$, dengan demikian berarti asumsi bahwa tulangan tarik telah luluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003 sementara tulangan tekan belum luluh sudah benar.

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85 a (54,27 mm) = 46,129 mm$$

$$Nd_1 = 0,85 f'c \cdot a \cdot b = 0,85 (14,638 N/mm^2) (54,27 mm) (150 mm) = 101286,54 N$$

$$Nd_2 = A_s' \cdot f_s = (226,2 mm^2) (80,37 N/mm^2) = 18179,69 N$$

$$Nd_{total} = Nd_1 + Nd_2 = 101286,54 N + 18179,69 N = 108576 N$$

$$Nt = A_{stot} \cdot (f_y) = (452,4 mm^2) (240) = 108576 N$$

$$Nd = Nt \dots \dots \dots (OK)$$

$$Mn_1 = Nd_1 Z_1$$

$$Mn_2 = Nd_2 Z_2$$

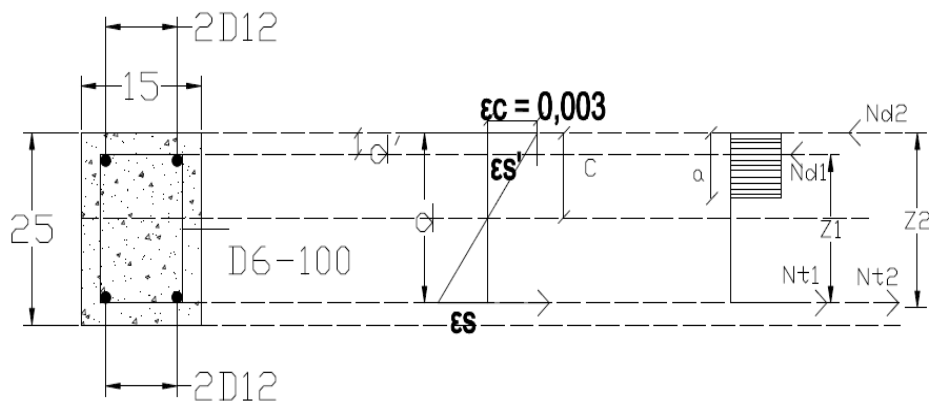
$$= Nd_1 \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= Nd_2 (d - d')$$

$$\begin{aligned}
&= 101286,54N9203 - \frac{1}{2}(46,129)) &= 18179,69(203 - 47) \\
&= 18224947,05Nmm &= 2836031,64Nmm \\
&= 18,22KNm &= 2,83KNm
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\therefore Mn &= Mn_1 + Mn_2 \\
&= 18224947,05Nmm \\
&= 21060978,69Nmm \\
&= 21,06KNm
\end{aligned}$$

3. Balok Mutu Beton K250 + K175



Gambar 3.19: Sketsa perencanaan balok beton bertulang.

Direncanakan suatu balok beton bertulang :

$$B = 15cm \quad \text{Mutu beton K250+K175} = f'_c = 14,027Mpa$$

$$H = 25cm \quad \text{Mutu baja} = BJTP - 24(f_y = 240Mpa)$$

$$\text{Selimut beton} = 3,5cm$$

$$As = As' = 226,2mm^2$$

$$d' = \text{selimut} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d' = 35mm + 6mm + \frac{1}{2}(12mm) d$$

$$d' = 47mm$$

$$d = h - \text{selimut} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$d = 250mm - 35mm - 6mm - \frac{1}{2}(12) d$$

$$d = 203mm$$

Menghitung tinggi garis netral balok beton bertulang dengan metode kekuatan batas (ultimit) dengan asumsi semua tulangan baja, baik tulangan tarik maupun tekan telah mencapai luluh. Maka berdasarkan gambar perencanaan balok beton bertulang digunakan persamaan yang sama seperti Pers. 3.1 dan 3.2 sehingga diperoleh:

$$Nt_1 + Nt_2 = Nd_1 + Nd_2$$

$$As'.fy + As.fy = 0,85f'c.a.b + As'fs$$

$$(226,2mm^2 + 226,2mm^2)(240N/mm^2) = 0,85(14,027N/mm^2)(a)(150mm) +$$

$$(226,2mm^2)(240N/mm)$$

$$108576N = 1788,4(a)N/mm + 54288N$$

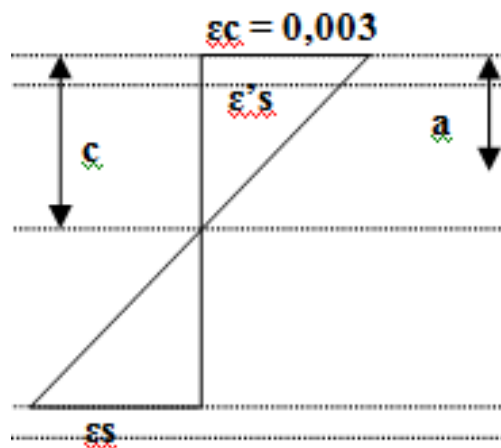
$$2154,75(a)N/mm = 54288N$$

$$a = 30,35mm$$

Menentukan letak garis netral:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{30,35mm}{0,85} = 35,71mm$$

Pemeriksaan regangan tulangan baja dengan berdasarkan segitiga bangun.



Gambar 3.20 : Regangan tulangan baja berdasarkan segitiga sebangun.

Pada tulangan tekan, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.3 sehingga diperoleh :

$$\varepsilon_{s'} = \frac{c - d}{c} 0,003 = \frac{35,71 - 47}{35,71} 0,003 = -0,000948$$

Pada tulangan tarik, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.4 sehingga diperoleh :

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} 0,003 = \frac{203 - 35,71}{35,71} 0,003 = 0,014$$

Baja mutu 24, perhitungan dilakukan dengan menggunakan Pers. 3.3 sehingga diperoleh:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{200000} = \frac{240}{200000} = 0,002$$

Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y > \varepsilon_{s'}$, maka tulangan baja tarik telah meluluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003, tetapi tulangan baja tekan belum. Dengan demikian, ternyata asumsi di tahap awal tidak benar. Maka harus dicari besar garis netral dahulu dengan menggunakan Pers. 3.6 dan 3.7 seperti yang telah dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh:

$$Nt_1 + Nt_2 = Nd_1 + Nd_2$$

$$As'.f_y + As.f_y = 0,85 f'c.a.b + As'.f_s$$

Dimana :

$$f's = \varepsilon_{s'} E_s = \frac{c - d}{c} 0,003 E_s$$

$$A_{stot} = As' + As$$

$$a = \beta_1(c)$$

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai di atas dalam Pers. 3.7 maka didapat:

$$A_{stot}(f_y) = 0,85(f'c)\beta_1.c.b + As' \frac{c - d}{c} 0,003 E_s \dots\dots\dots \text{dikali } c$$

$$A_{stot}(f_y)c = 0,85(f'c)\beta_1.c^2.b + 0,003 E_s.As'c - 0,003 E_s As'.d'$$

$$0,85(f'c)\beta_1.b.(c^2) + (0,003 E_s.As' - A_{stot}f_y)(c) - 0,003 E_s As'.d' = 0$$

Diketahui:

$$E_s = 200000 N / mm^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$A_{stot} = 452,4 \text{ mm}^2 \text{ A}$$

$$A_s' = 226,2 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 240 \text{ N / mm}^2$$

$$f'_c = 14,027 \text{ N / mm}^2 \text{ f}$$

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

$$d' = 47 \text{ mm}$$

Dengan memasukkan nilai-nilai diatas diperoleh persamaan berikut:

$$1831,53c^2 + 27144c - 6378840 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh nilai:

$$C_1 = 55,23 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$C_2 = -73,08 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

Dengan nilai $c = 55,23 \text{ mm}$ maka:

$$f's = \frac{c-d}{c} 0,003 E_s = \frac{55,23 \text{ mm} - 47 \text{ mm}}{55,23 \text{ mm}} 0,003 (200000) = 89,40 \text{ Mpa} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Nilai $f's < f_y$, dengan demikian berarti asumsi bahwa tulangan tarik telah luluh bersamaan dengan tercapainya regangan maksimum beton sebesar 0,003 sementara tulangan tekan belum luluh sudah benar.

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85(55,23 \text{ mm}) = 46,94 \text{ mm}$$

$$Nd_1 = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b = 0,85(14,27 \text{ N / mm}^2)(46,94 \text{ mm})(150 \text{ mm}) = 83949,49 \text{ N}$$

$$Nd_2 = A_s' \cdot f_s = (226,2 \text{ mm}^2) \cdot (89,40 \text{ N / mm}^2) = 20222,28 \text{ N}$$

$$Nd_{total} = Nd_1 + Nd_2 = 20222,28 \text{ N} + 83949,49 \text{ N} = 108555,18 \text{ N}$$

$$Nt = A_{stot} \cdot (f_y) = (452,4 \text{ mm}^2) \cdot (240) = 108576 \text{ N}$$

$$Nd = Nt \dots\dots\dots (\text{OK})$$

$$Mn_1 = Nd_1 Z_1$$

$$Mn_2 = Nd_2 Z_2$$

$$= Nd_1 \cdot (d - \frac{1}{2} a)$$

$$= Nd_2 (d - d') =$$

$$= 20222,28 \text{ N} (203 - \frac{1}{2} (46,94))$$

$$= 83949,49 (203 - 47)$$

$$= 3630505,58 \text{ Nmm}$$

$$= 13096 \text{ Nmm}$$

$$= 36,5 \text{ KNm}$$

$$= 1,3096 \text{ KNm}$$

$$\therefore Mn = Mn_1 + Mn_2$$

$$= 36,5 \text{ KNm} + 1,3 \text{ KNm}$$

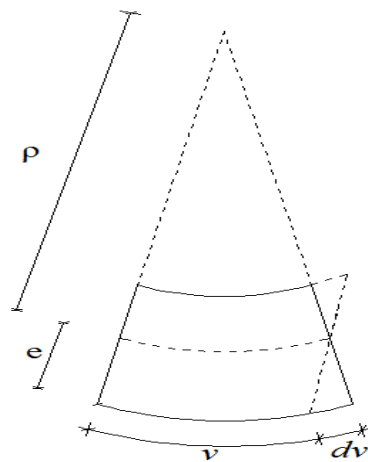
$$= 37,8 \text{ KNm}$$

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

4.1 Pengujian Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang

Perhitungan tegangan dan regangan dapat dilakukan berdasarkan hubungan antara lendutan dan jari-jari kelengkungan. Misalnya papan yang melengkung pada Gambar 4.1, anggaplah v adalah panjang elemen mula-mula, yaitu sebelum terjadi lengkungan karena lendutan (akibat momen). Pada saat papan mengalami lendutan, maka serat-serat pada bagian bawah mengalami penambahan panjang sebesar dv . Serat ditengah-tengah pada sumbu netral dengan panjang v tidak mengalami perubahan. Karena pada penegujian tidak dilakukan pengujian regangan menggunakan *Strain Gauge*, teori ini digunakan dalam perhitungan regangan.



Gambar 4.1: Suatu elemen dari papan yang melengkung.

Dengan ρ sebagai jari-jari kelengkungan dari sumbu netral dan e adalah jarak antara sumbu netral ke serat bawah, maka dari hubungan kesebangunan segitiga diperoleh Pers. 4.1 seperti dibawah ini:

$$\frac{e}{\rho} = \frac{dv}{v} \quad (4.1)$$

Perbandingan dv menyatakan suatu regangan, sesuai dengan $\frac{\Delta l}{l}$, maka didapatkan Pers. 4.2 sebagai berikut:

$$\frac{e}{\rho} = \varepsilon \quad \text{atau} \quad \frac{1}{\rho} = \varepsilon / e \quad (4.2)$$

Menurut Hukum Hooke seperti pada Pers. 4.3:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{atau} \quad \varepsilon = \sigma / E \quad (4.3)$$

Sehingga :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma}{E \cdot e} \quad (4.4)$$

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad \text{maka} \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\sigma}{E W e} \quad (4.4)$$

Hasil kali $W \cdot e = I$ dan disebut momen inersia, sehingga dapat dituliskan seperti berikut:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (4.5)$$

Hubungan antara jari-jari kelengkungan, momen, modulus elastisitas dan lendutan untuk beban dua titik menggunakan Pers. 4.6:

$$\Delta = \frac{M}{24EI} (3l^2 - 4x^2) \rightarrow M = \frac{24EI\Delta}{(3l^2 - 4x^2)} \quad (4.6)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \rightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{24\Delta}{(3l^2 - 4x^2)}$$

Sehingga diperoleh Pers. 4.7 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{(3l^2 - 4x^2)}{24\Delta} \quad (4.7)$$

Dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas, dapat dihitung regangan tekan (ϵ_c) dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok berdasarkan lendutan hasil percobaan.

Contoh Perhitungan pada Balok Nonhomogen Tipe I:

- Menghitung letak garis netral (y)

$$\frac{1}{2} b y^2 + n A_s' y - n A_s' d' - n A_s d + n A_s y = 0$$

$$\frac{1}{2} (150) y^2 + 10(226,2) y - 10(226,2)(47) - 10(226,2)(203) + (10)(226,2) y = 0$$

$$75 y^2 + 4524 y - 565500 = 0$$

$$y^2 + 60,32 y - 7540 = 0$$

$$y_1 = -122,082 \text{ mm} \text{ dan } y_2 = 61762 \text{ mm}$$

diambil $y = 61,762 \text{ mm}$

- Jarak dari garis netral ke serat bawah (e)

$$e = d - y = 203 - 61,762 = 141,238 \text{ mm}$$

- Jari – jari kelengkungan

$$\rho = \frac{(3l^2 - 4x^2)}{24\Delta} = \frac{(3(3000 \text{ mm})^2 - 4(1000 \text{ mm})^2)}{24(1,20 \text{ mm})} = 798611,11 \text{ mm}$$

- Regangan tekan (ϵ_c)

$$\epsilon_c = -\frac{e}{\rho} = -\frac{141,238 \text{ mm}}{798611,11 \text{ mm}} = -0,000176$$

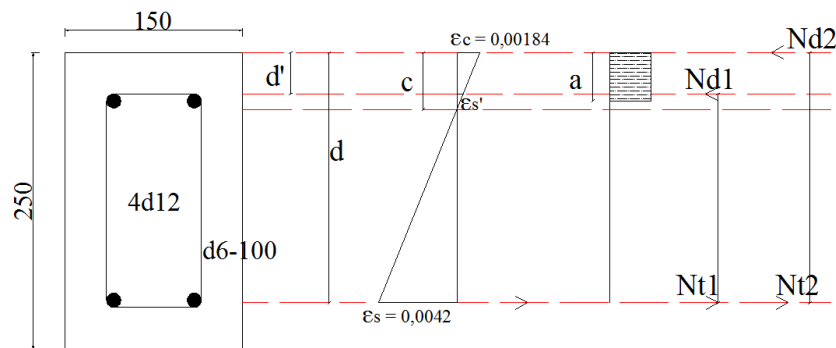
- Regangan tulangan tarik (ϵ_s)

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} (\epsilon_c) = \frac{203 \text{ mm} - 61,762 \text{ mm}}{61,762 \text{ mm}} (-0,000176) = 0,000402$$

Perhitungan regangan tekan beton dan regangan tulangan tarik untuk pembebanan lainnya dapat dilakukan dengan cara yang sama. Dan hasil perhitungan regangan disajikan dalam Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.1: Hasil perhitungan regangan tekan beton (ϵ_c) dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton bertulang non homogen tipe I.

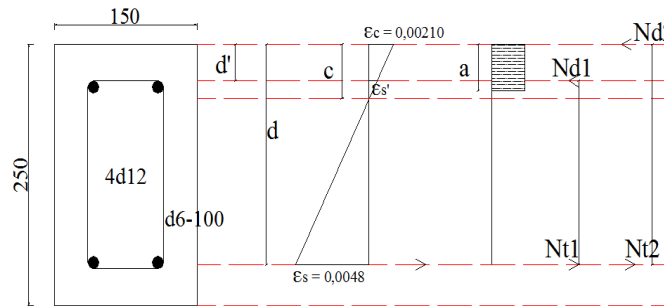
P (kg)	Lendutan Pengujian (mm)	Garis netral (y) (mm)	Jarak garis netral ke serat bawah (e) (mm)	Jari-jari kelengkungan (ρ) (mm)	Regangan tekan (ϵ_c)	Regangan tarik (ϵ_s)
0	0	61.762	141.238	0.000	0.0000000	0.0000000
1000	1.2	61.762	141.238	798611.111	0.0001769	0.00040443
2000	5.81	61.762	141.238	164945.496	0.0008563	0.00195813
3000	7.9	61.762	141.238	121308.017	0.0011643	0.00266252
4000	11.45	61.762	141.238	836972.344	0.0001687	0.00038590
5000	12.55	61.762	141.238	763612.218	0.0001850	0.00042297



Gambar 4.2: Diagram regangan beton bertulang nonhomogen tipe I.

Tabel 4.2: Hasil perhitungan regangan tekan beton (ϵ_c) dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton bertulang nonhomogen tipe II.

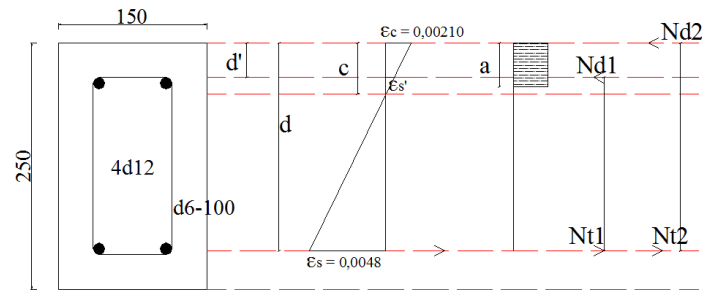
P (kg)	Lendutan Pengujian (mm)	Garis netral (y) (mm)	Jarak garis netral ke serat bawah (e) (mm)	Jari-jari kelengkungan (ρ) (mm)	Regangan tekan (ϵ_c)	Regangan tarik (ϵ_s)
0	0	61.762	141.238	0.000	0.0000000	0.0000000
1000	1.54	61.762	141.238	622294.372	0.0002270	0.0005190
2000	6.76	61.762	141.238	141765.286	0.0009963	0.0022783
3000	8.97	61.762	141.238	106837.607	0.0013220	0.0030231
4000	11.98	61.762	141.238	799944.352	0.0001766	0.0004038
5000	14.35	61.762	141.238	667828.107	0.0002115	0.0004836



Gambar 4.3: Diagram regangan beton bertulang nonhomogen tipe II.

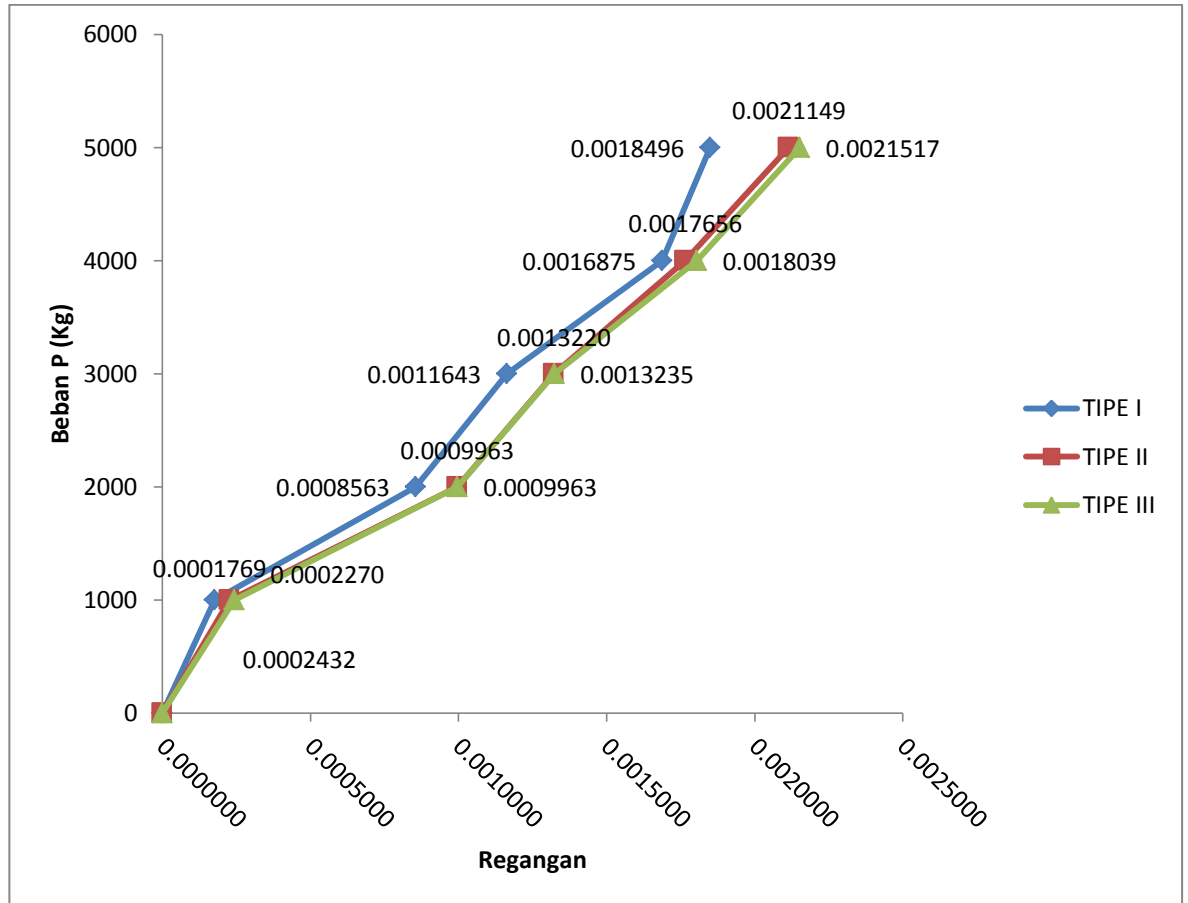
Tabel 4.3: Hasil perhitungan regangan tekan beton (ϵ_c) dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton bertulang nonhomogen tipe III.

P (kg)	Lendutan Pengujian (mm)	Garis netral (y) (mm)	Jarak garis netral ke serat bawah (e) (mm)	Jari-jari kelengkungan (ρ) (mm)	Regangan tekan (ϵ_c)	Regangan tarik (ϵ_s)
0	0	61.762	141.238	0.000	0.0000000	0.0000000
1000	1.65	61.762	141.238	580808.081	0.0002432	0.0005561
2000	6.76	61.762	141.238	141765.286	0.0009963	0.0022783
3000	8.98	61.762	141.238	106718.634	0.0013235	0.0030265
4000	12.24	61.762	141.238	782952.070	0.0001804	0.0004125
5000	14.6	61.762	141.238	656392.694	0.0002152	0.0004921



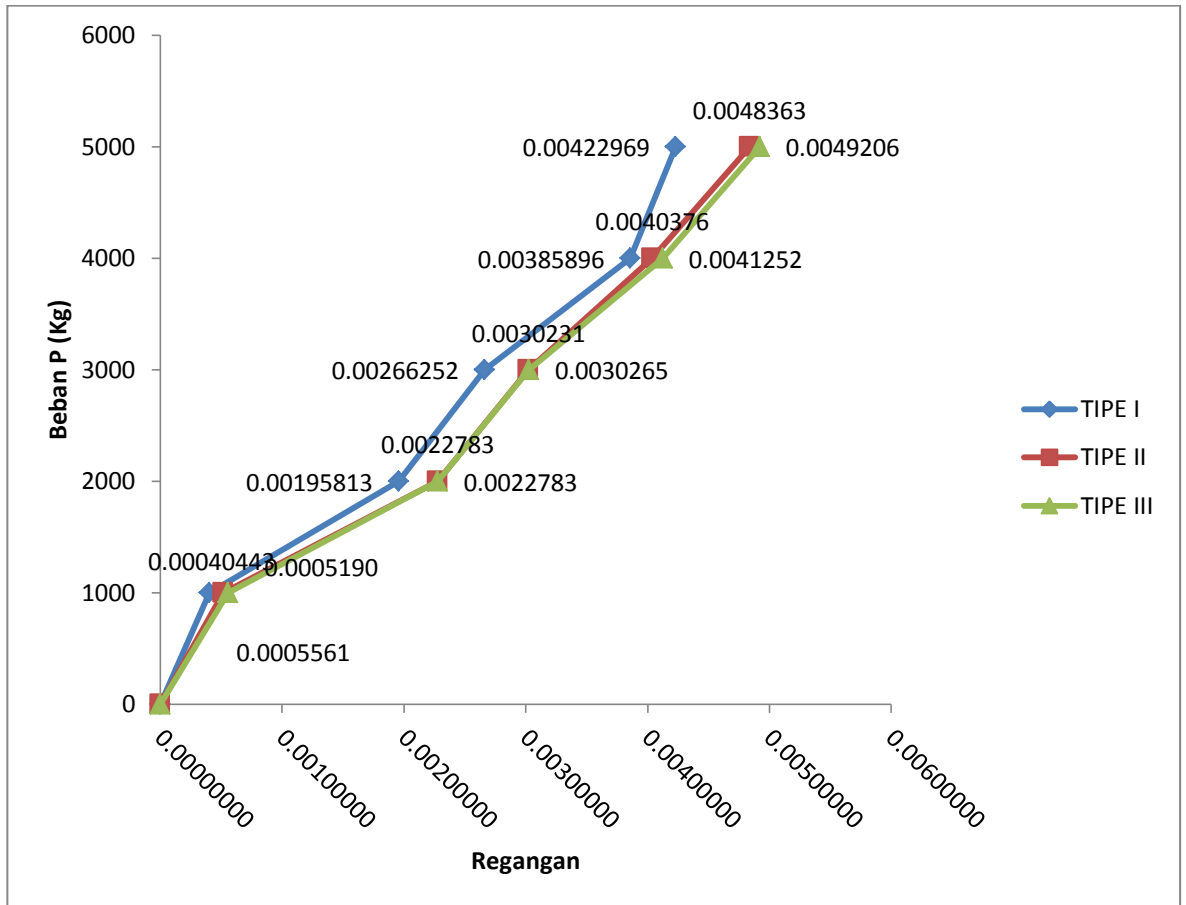
Gambar 4.4: Diagram regangan beton bertulang nonhomogen tipe III.

Peningkatan regangan beton (ϵ_c) yang diperoleh berdasarkan data perhitungan regangan untuk balok beton bertulang Homogen dan balok beton bertulang Nonhomogen digambarkan dalam grafik berikut ini:



Grafik 4.5: Hubungan beban-regangan beton (ϵ_c) pada balok beton bertulang nonhomogen tipe I, II, dan III.

Sedangkan peningkatan regangan tulangan tarik (ϵ_s) yang diperoleh berdasarkan data perhitungan regangan untuk balok beton bertulang Nonhomogen dan balok Homogen digambarkan dalam grafik berikut ini:



Grafik 4.6: Hubungan beban-regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton bertulang non homogen tipe I, II dan III.

4.2 Hubungan Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan memiliki hubungan yang linier dengan regangan dan modulus elastisitas seperti yang ditunjukkan dalam Pers. 4.8 berikut ini:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (4.8)$$

Dimana:

σ = Tegangan dan regangan

ϵ = Regangan

E = Modulus elastisitas

4.2.1 Hubungan Tegangan dan Regangan Balok Beton Bertulang

Pada balok beton bertulang, hubungan tegangan dan regangan dapat dijabarkan dengan menggunakan Pers. 4.9 berikut ini:

$$f_c = E_c \times \epsilon_c \quad (4.9)$$

Dimana:

f_c = Tegangan dan regangan beton

ϵ_c = Regangan beton

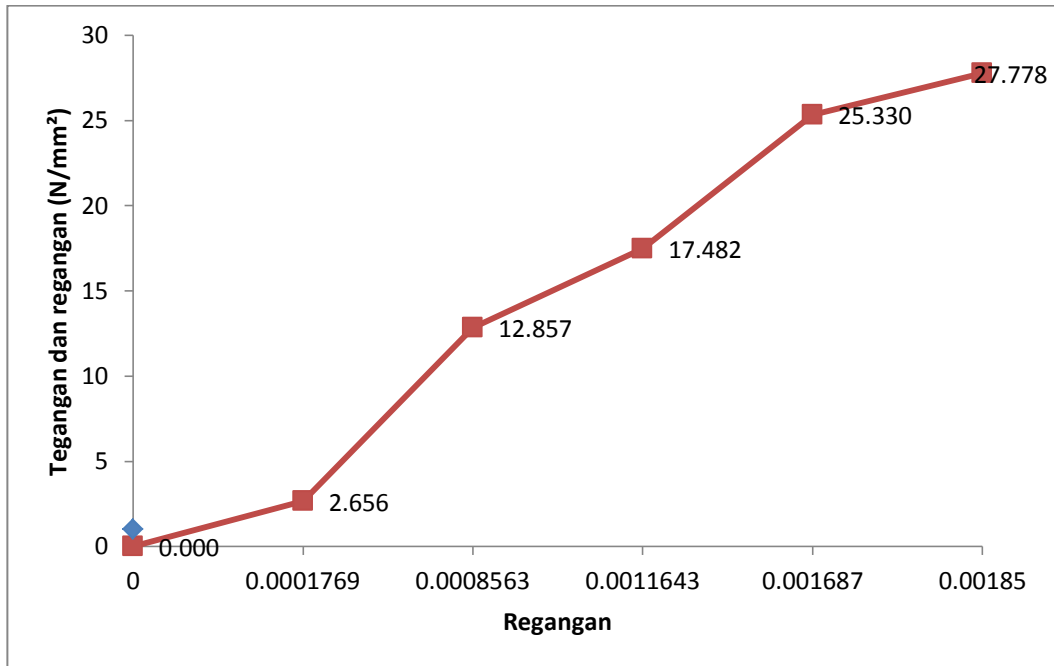
E_c = Modulus elastisitas beton Homogen

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{10.206} = 15015 \text{ N/mm}^2$$

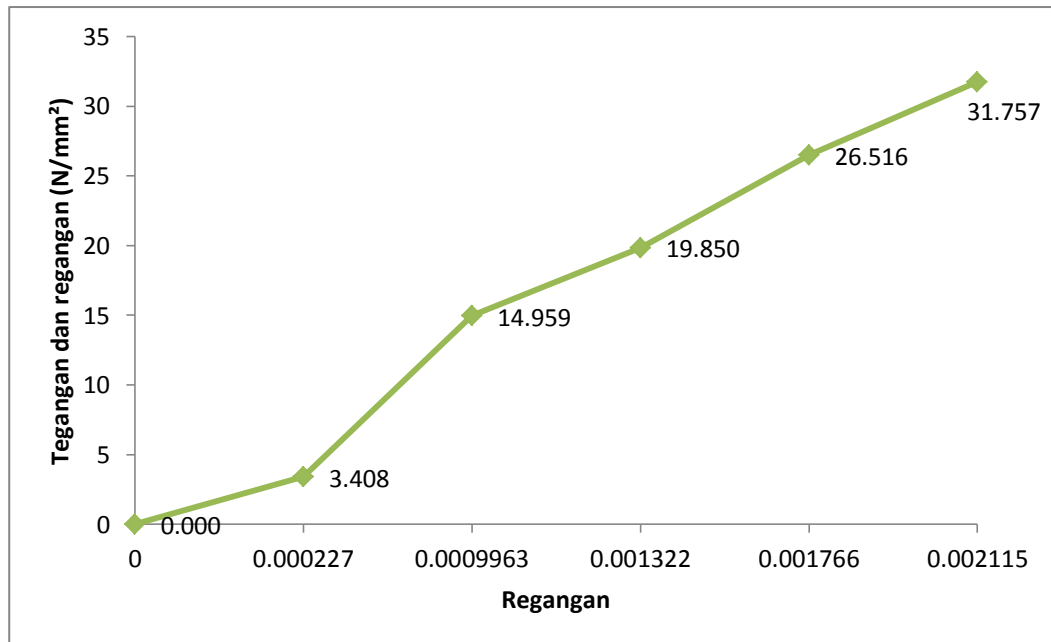
Tabel 4.4: Hubungan tegangan dan regangan beton pada balok beton bertulang homogen dan nonhomogen.

Beban P (Kg)	Balok Tipe I		Balok Tipe II		Balok Tipe III	
	ϵ_c	f_c (N/mm ²)	ϵ_c	f_c (N/mm ²)	ϵ_c	f_c (N/mm ²)
0	0	0	0	0	0	0
1000	0.0001769	2.656	0.0002270	3.408	0.0002432	3.65164
2000	0.0008563	12.857	0.0009963	14.959	0.0009963	14.95944
3000	0.0011643	17.482	0.0013220	19.850	0.0013235	19.87235
4000	0.0001687	25.330	0.0001766	26.516	0.0018040	27.08706
5000	0.001850	27.778	0.002115	31.757	0.002152	32.31228

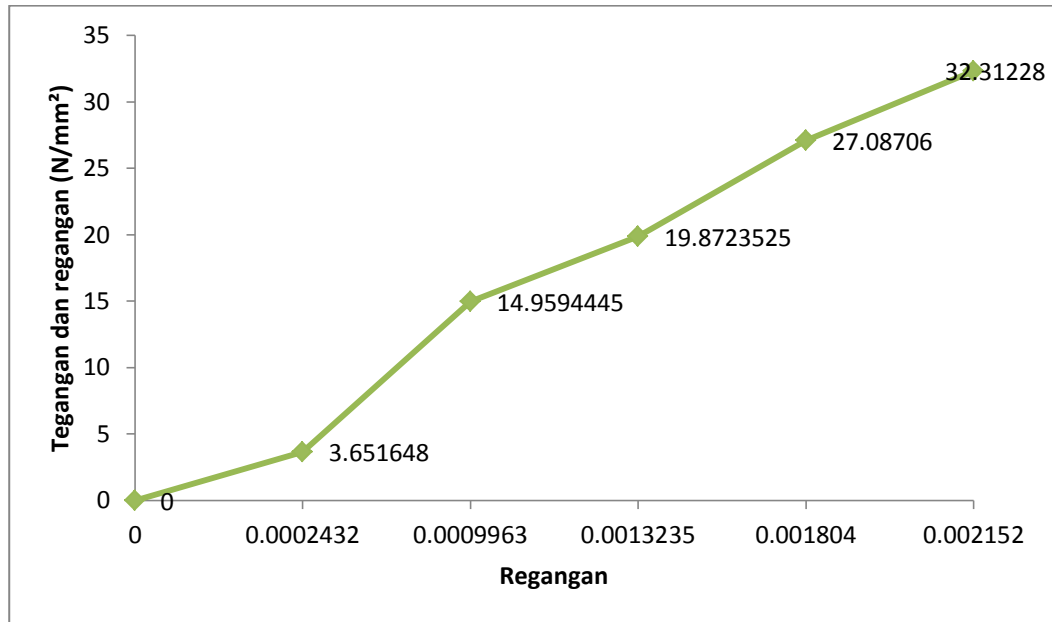
Hubungan tegangan dan regangan beton untuk balok beton bertulang Homogen dan Nonhomogen dapat dilihat dalam grafik berikut ini:



Grafik 4.7: Hubungan Tegangan dan Regangan Beton (ϵ) pada Balok Beton Tipe I.



Grafik 4.8: Hubungan tegangan dan regangan beton (ϵ) pada balok beton tipe II.



Grafik 4.9: Hubungan tegangan dan regangan beton (ϵ_c) pada balok beton tipe III.

4.2.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik Balok Beton Bertulang

$$f_s = E_s \times \epsilon_s \quad (4.10)$$

Dimana:

f_s = Tegangan dan regangan tulangan tarik

ϵ_s = Regangan tulangan tarik

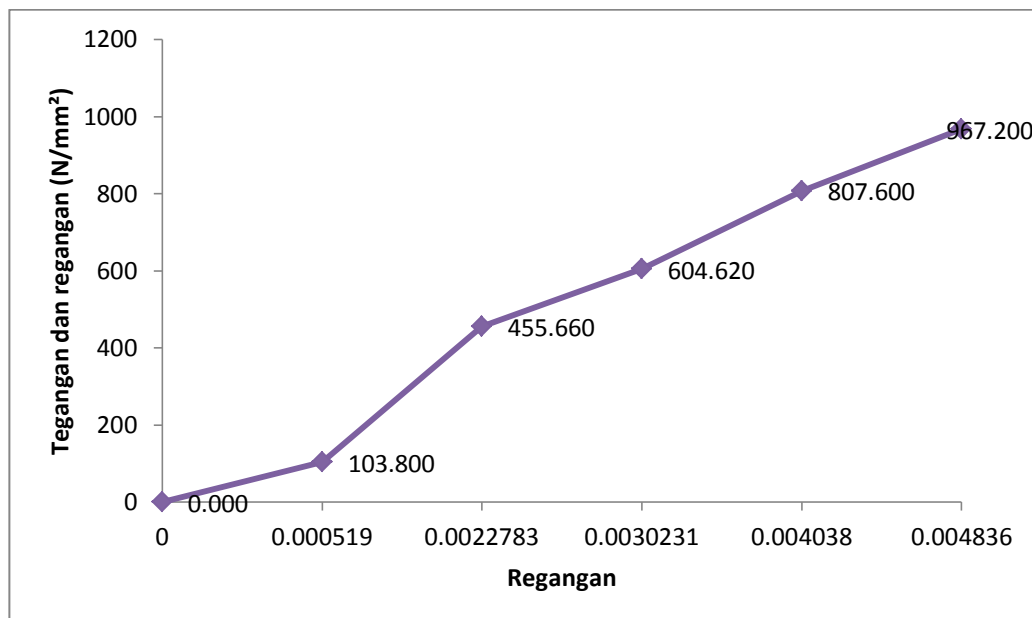
E_s = Modulus elastisitas baja tulangan = 200000 N/mm^2

Tabel 4.5 : Hubungan tegangan dan regangan tulangan tarik pada balok beton bertulang homogen dan nonhomogen.

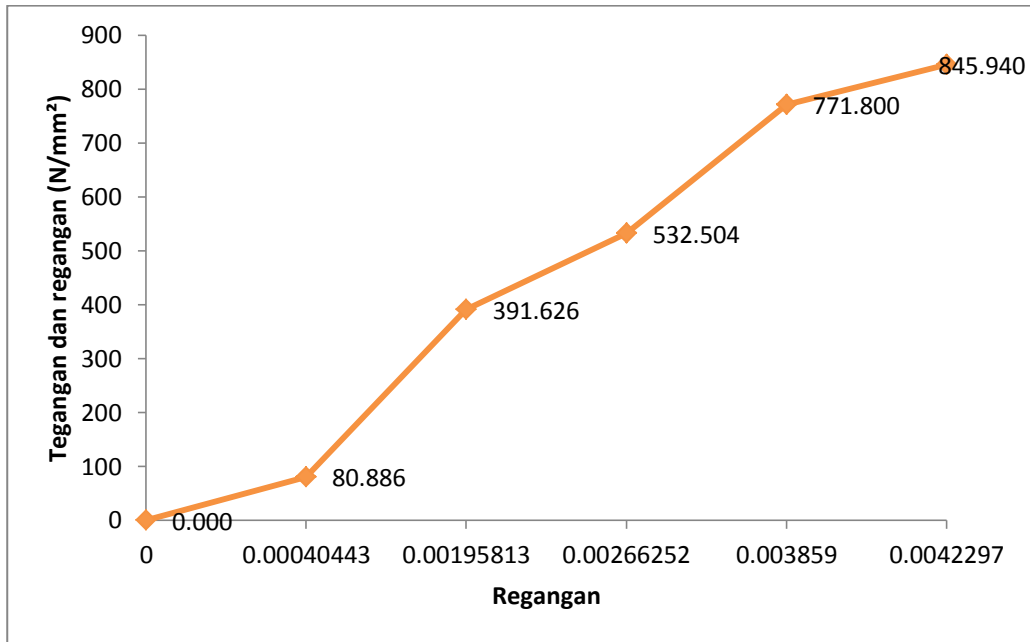
Beban P (Kg)	Balok Beton Bertulang Tipe I		Balok Beton Bertulang Tipe II		Balok Beton Bertulang Tipe III	
	ϵ_s	f_s (N/mm ²)	ϵ_s	f_s (N/mm ²)	ϵ_s	f_s (N/mm ²)
0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.6: *Lanjutan*

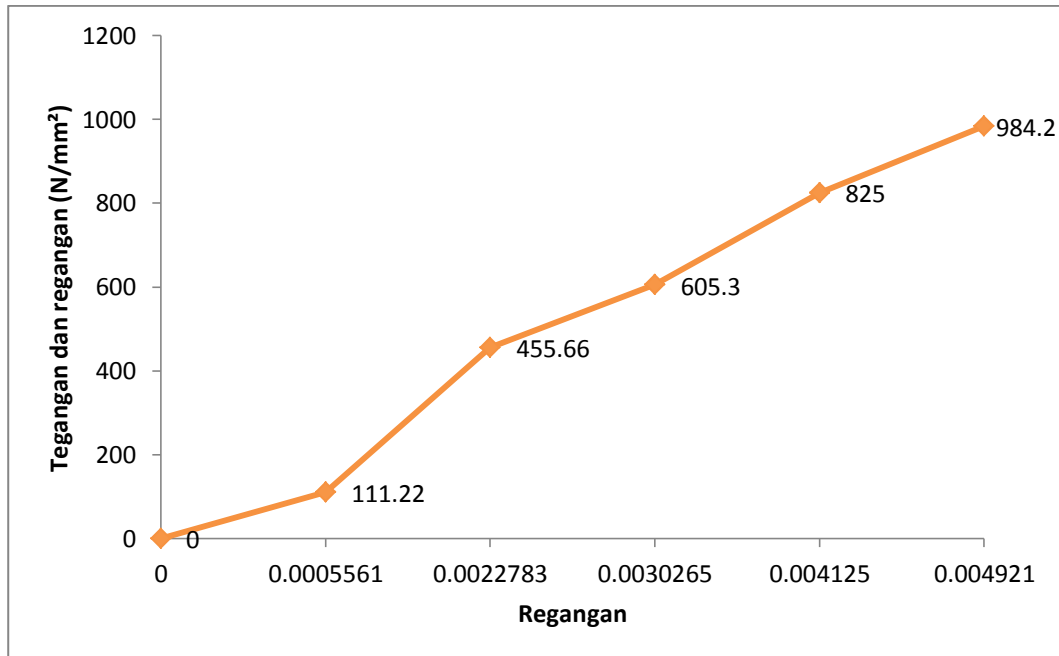
Beban P (Kg)	Balok Beton Bertulang Tipe I		Balok Beton Bertulang Tipe II		Balok Beton Bertulang Tipe III	
	Es	fs (N/mcm ²)	εs	fs (N/mm ²)	εs	fs (N/mm ²)
1000	0.00040443	80.4	0.0005190	101	0.0005561	111.22
2000	0.00195813	384	0.0022783	446	0.0022783	455.66
3000	0.00266252	520	0.0030231	598	0.0030265	605.3
4000	0.00038590	712	0.0004038	801	0.004125	825
5000	0.0042297	844	0.004836	960	0.004921	984.2



Grafik 4.10: Hubungan tegangan dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton nonhomogen.



Grafik 4.11: Hubungan tegangan dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton nonhomogen.



Grafik 4.12: Hubungan tegangan dan regangan tulangan tarik (ϵ_s) pada balok beton homogen dan nonhomogen.

Tabel 4.7 : Hubungan tegangan dan regangan tulangan tarik pada balok beton bertulang homogen dan nonhomogen.

Beban P (kg)	Balok Beton Bertulang Tipe I		Balok Beton Bertulang Tipe II		Balok Beton Bertulang Tipe III	
	ϵ_s	f_s (N/mm ²)	ϵ_s	f_s (N/mm ²)	ϵ_s	f_s (N/mm ²)
0	0	0	0	0	0	0
1000	0,00040443	80,4	0,0005190	101	0,0005561	111,22
2000	0,00195813	384	0,0022783	446	0,0022783	455,66
3000	0,00266252	520	0,0030231	598	0,0030265	605,3
4000	0,00038590	712	0,0004038	801	0,004125	825
5000	0,0042297	844	0,004836	960	0,004921	984,2
Rata-rata	0,00192814	508,08	0,00221204	581,2	0,0029814	596,276

Apabila kita membandingkan antara regangan dan tegangan balok beton bertulang tipe I, tipe II dan tipe III , maka dapat kita lihat adanya peningkatan nilai regangan dan regangan pada balok beton bertulang tipe I, tipe II dan tipe III. Persentase peningkatannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini:

- Besar nilai peningkatan regangan antara tipe I dan Tipe II

$$= \frac{0,00221204 - 0,00192814}{0,00192814} \times 100\% = 14,72\%$$

- Besar nilai peningkatan regangan antara tipe II dan Tipe III

$$= \frac{0,0029814 - 0,00221204}{0,00221204} \times 100\% = 34,78\%$$

Sehingga, nilai peningkatan regangan rata-rata untuk tipe I, tipe II dan tipe III sebesar :

$$= \frac{14,72\% + 34,78\%}{2} = 24,75\%$$

➤ Besar nilai peningkatan tegangan antara tipe I dan Tipe II

$$= \frac{581,2 - 508,08}{508,08} \times 100\% = 14,39\%$$

➤ Besar nilai peningkatan tegangan antara tipe II dan Tipe III

$$= \frac{596,28 - 581,2}{581,2} \times 100\% = 2,59\%$$

Sehingga, nilai peningkatan tegangan rata-rata untuk tipe I, tipe II dan tipe III sebesar :

$$= \frac{14,39\% + 2,59\%}{2} = 5,66\%$$

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di laboratorium, maka dapat disimpulkan bahwa :

Nilai rata-rata Regangan untuk tipe 1 sebesar 0,00192814, tipe 2 sebesar 0,00221204 dan tipe 3 sebesar 0,0029 dan Nilai rata-rata Tegangan sebesar 1685,556 N/mm². Peningkatan Rata-rata untuk semua tipe Regangan Sebesar 24,75% dan Peningkatan Tegangan untuk semua tipe rata-rata sebesar 5,66%.

5.2. Saran

Harus diadakannya beton bertulang homogen sebagai acuan perbandingan dengan mutu beton yang bervariasi (Nonhomogen).

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. (2010) Balok dan Pelat Beton Bertulang. Yogyakarta: Graha ilmu.
- ASTM C 125-1995, *Annual Book of ASTM Standards 1995: Vol.04.02, Concrete And Aggregate*, Philadelphia: ASTM 1995.
- ASTM C494 , dan British Standard 5075, 1982. *Superplasticizer*. American dan British.
- ASTM C 618, 2004. *Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement*. 100 Barr Harbor Drive. PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428. United States: Association of Standard Testing Materials.
- Burl, E. D (2003) Pokok-Pokok Teknologi Struktur Untuk Konstruksi dan Arsitektur. Jakarta: Erlangga.
- Desai, C.S. (1988) Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga. Jakarta: Erlangga.
- Dipohusodo, I. (1994). Struktur Beton Bertulang. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- L. J. Parrot, 1988, *A Literature Review of High Strength Concrete Properties*, British Cement Association (BCA), Wexham Springs
- Mac Gregor, J.G. (1997). “*Reinforced Concrete : Mechanics and Design 3rd Ed.*” , Prentice-Hall International, Inc.
- McCormac, J.C. (2004) Lendutan Balok Beton. Jakarta: PT. Pranamedia.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete (4th ed.)*. Harlow, Essex, England: Pearson Education Ltd.
- Nugraha, P dan Antoni. (2007) Teknologi Beton. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- SNI-03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Beta Version, Bandung.
- Wang, C.K. (1993) Desain beton Bertulang edisi keempat jilid satu. Jakarta: Erlangga.
- Wikana, I dan Yohanes, W. (2007) Tinjauan Kuat Lentur Balok Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beton yang Berbeda. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM, Yogyakarta.

LAMPIRAN