



**ANALISA PENGUJIAN DAN PERBANDINGAN KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN BAJA TULANGAN  
BARU DAN BAJA TULANGAN BEKAS BONGKARAN**

**SKRIPSI**

oleh

**TEGUH ARI CAHYONO  
NIM 111910301032**

**PROGRAM STUDI STRATA I  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**ANALISA PENGUJIAN DAN PERBANDINGAN KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN BAJA TULANGAN  
BARU DAN BAJA TULANGAN BEKAS BONGKARAN**

**SKRIPSI**

oleh

**TEGUH ARI CAHYONO  
NIM 111910301032**

**PROGRAM STUDI STRATA I  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**ANALISA PENGUJIAN DAN PERBANDINGAN KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN BAJA TULANGAN  
BARU DAN BAJA TULANGAN BEKAS BONGKARAN**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Sipil  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**TEGUH ARI CAHYONO  
NIM 111910301032**

**PROGRAM STUDI STRATA I  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Sebuah usaha kecil dari kewajiban dalam agama-Mu (menuntut ilmu), *Alhamdulillah* telah Engkau lapangkan jalannya. Ya Allah, terima kasih atas rahmat serta hidayah-Mu kepadaku dan kepada Nabi Muhammad SAW teladanku dan umatnya yang membawa cahaya di dunia-Mu. Akhirnya, kupersembahkan tugas akhir ini untuk:

1. Kedua Orangtuaku, Ibunda tercinta Asmini dan Ayahanda Puryantadi, yang telah memberikan semangat, do'a dan semua pengorbanannya yang tak terhitung nilainya;
2. Adikku tercinta Novia Dwi Cahyanti, yang selalu mendukung dan menghiburku selama melaksanakan studi ini hingga selesai;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbingku dengan sabar;
4. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTO**

Tunjukkan kami jalan yang lurus.  
(*terjemahan Surat Al-Fatihah ayat 6*)<sup>\*)</sup>

Orang yang paling bodoh ialah orang yang paling kuat keyakinannya tentang  
kebaikan dirinya.  
(*Imam Ghazali*)

Dalam hidup ini gunakanlah dua cermin. Satu untuk melihat kekuranganmu,  
dan satu lagi untuk melihat kelebihan orang lain.  
(*KH. Ahmad Mustofa Bisri*)

\*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2013. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Solo: PT Tiga Serangkai Pustaka Mandiri.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Teguh Ari Cahyono

NIM : 111910301032

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”*Analisa Pengujian dan Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Baru dan Baja Tulangan Bekas Bongkaran*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, September 2015

Yang menyatakan,

Teguh Ari Cahyono  
NIM 111910301032



**SKRIPSI**

**ANALISA PENGUJIAN DAN PERBANDINGAN KUAT LENTUR  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN BAJA TULANGAN  
BARU DAN BAJA TULANGAN BEKAS BONGKARAN**

oleh

Teguh Ari Cahyono  
NIM 111910301032

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

Dosen Pembimbing Anggota : Dwi Nurtanto, ST., MT.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “*Analisa Pengujian dan Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Baru dan Baja Tulangan Bekas Bongkaran*” Teguh Ari Cahyono, NIM 111910301032 telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 21 September 2015

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tim Penguji:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP. 19661215 199503 2 001

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.  
NIP. 19731015 199802 1 001

Penguji I

Penguji II

Ir. Hernu Suyoso, M.T.  
NIP. 19551112 198702 1 001

Akhmad Nasanuddin, S.T.,M.T.  
NIP. 19710327 199803 1 003

Mengesahkan  
Dekan,

Ir. Widnyono Hadi, M.T.  
NIP. 19610414 198902 1 001



**RINGKASAN**

**Analisa Pengujian dan Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Baru dan Baja Tulangan Bekas Bongkaran;** Teguh Ari Cahyono, 111910301032; 2015: 60 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Baja tulangan merupakan material utama penyusun beton bertulang dalam menahan gaya tarik, terutama saat terjadi lentur pada beton bertulang. Besarnya kekuatan lentur pada beton bertulang erat hubungannya dengan kondisi baja tulangan yang digunakan. Kondisi baja adalah suatu keadaan yang memperlihatkan apakah baja tulangan tersebut masih dalam kondisi normal atau telah mengalami reaksi dengan lingkungan sekitarnya yang memungkinkan terjadinya penurunan kualitas baja tulangan tersebut (Wibowo, 2007).

Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi terhadap kondisi baja tulangan terhadap kekuatan lentur balok beton bertulang. Sebagai bahan penelitian dipakai baja tulangan polos bekas bongkaran dengan diameter 8 yang diperoleh dari beberapa tempat di wilayah jember, yaitu Mangli, Gebang, dan Tidar, serta digunakan baja tulangan baru sebagai material pembandingnya. Dari penelitian ini didapat hasil berupa nilai pengujian kuat tarik baja tulangan dan kuat lentur balok beton bertulang dari tulangan baja baru dan tulangan baja bekas bongkaran. Hasil penelitian memberikan gambaran tentang kekuatan baja tulangan dan reduksi kekuatannya, khususnya baja tulangan bekas bongkaran di kawasan Jember sehingga dapat diketahui kelayakan penggunaan baja tulangan bekas bongkaran untuk konstruksi struktur bangunan. Dari penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan atau bahan kajian kepada masyarakat dan praktisi ilmu terkait penggunaan baja bekas sebagai tulangan beton bertulang.

Hasil penelitian ini diketahui bahwa adanya reduksi tegangan tarik baja tulangan bekas bongkaran. Ditinjau dari hasil pengujian kuat lentur balok beton bertulang di laboratorium kekuatan lentur yang dihasilkan masih mampu memenuhi kekuatan lentur yang direncanakan sehingga baja tulangan bekas bongkaran layak digunakan kembali. Adapun tindakan untuk mengantisipasi kegagalan konstruksi akibat reduksi kekuatan baja tulangan bekas bongkaran yaitu harus dilakukan kontrol terhadap pembebanan struktur yang direncanakan, serta disarankan untuk dilakukan uji tarik tulangan sebelumnya untuk mengetahui kemampuan nominal struktur dalam menerima beban.

## SUMMARY

**Testing Analysis and Comparison of Flexure Strength of Beams Reinforced Concrete with New Steel Reinforcement and Used Dismantled Steel Reinforcement;** Teguh Ari Cahyono, 111910301032; 2015: 60 pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Reinforcement steel is the main material constituent of reinforced concrete for retaining tensile strength, especially in times of flexure in reinforced concrete. The amount of the bending strength of reinforced concrete related to the condition of reinforced steel. Steel condition is a situation that shows whether the Reinforcement Steel is still in normal condition or have had a reaction to the surrounding environment which allows the decreasing quality of the reinforcing steel (Wibowo, 2007).

In this study, the identification of the condition of the steel reinforcement to bending strength of reinforced concrete beams. As material in this study is Used Dismantled Steel Reinforcement with diameter of 8 from several places in the Jember, this is Mangli, Gebang and Tidar, and new steel reinforcement as material for comparison. From this study obtain tensile strength and flexural strength reinforced concrete beams form new steel reinforcement and used dismantled steel reinforcement. Results of the study provides an overview of the strength of the reinforcement steel and the reduction of its strength, particularly the used dismantled reinforcement steel in Jember region so as can to know the feasibility of using the used dismantled steel reinforcement for construction of building structures. From this research can be used as an input or study materials to the public and practitioners of the science related to the use used dismantled steel reinforcement as reinforcement of reinforced concrete.

Results of this research knowed the reduction of tensile steel of used dismantled steel reinforcement. From the test results reinforced concrete beam flexural strength in the laboratory generated flexural strength was still able form planned flexural strength so that the used dismantled steel reinforcement feasible reused. As for measures to anticipate the failure of construction result the reduction of the strength of the used reinforced steel that is control to the imposition of the planned structure, and it is advisable to test the tensile reinforcement beforehand to determine the ability of the structure to receive the nominal load.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Analisa Pengujian dan Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Baja Tulangan Baru dan Baja Tulangan Bekas Bongkaran*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Erno Widayanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama;
3. Dwi Nurtanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota;
4. Ir. Hernu Suyoso, M.T., selaku Dosen Penguji Utama;
5. Akhmad Hasanuddin, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Anggota;
6. Ketut Aswatama, S.T.,M.T., selaku kepala laboratorium struktur, Fakultas Teknik, Universitas Jember;
7. Kedua Orangtuaku, Ibunda tercinta Asmini dan Ayahanda Puryantadi;
8. Adikku tercinta Novia Dwi Cahyanti;
9. Devi Anggun Cholifah atas perhatian dan motivasi hingga terselesaikannya tugas akhir ini;
10. Teman seperjuangan selama masa penelitian hingga selesai, Asmara, Fiqi, Galih, Faisal, Tewe, Dimas;
11. Teman-teman seperjuangan di Jember, keluarga kos Yapeni, keluarga kontrakan Jawa 7, keluarga kontrakan AKB 61, dan keluarga kontrakan Brantas XV 101;



12. Saudara-saudaraku Teknik Sipil Angkatan 2011 yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, terimakasih atas persahabatan luar biasa yang tak akan pernah terlupakan, dukungan serta semangat tiada henti;
13. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.  
Segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, 1 September 2015

Penulis



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSATAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Kuat Tekan Beton .....	5
2.3 Kekuatan Baja Tulangan .....	8
2.4 Beton Bertulang .....	9
2.5 Fungsi Utama Beton dan Tulangan .....	10

2.6	Keruntuhan Lentur Pada Sistem Perencanaan.....	10
2.7	Balok Beton dengan Tulangan .....	11
2.8	Balok Beton Tulangan Rangkap.....	12
2.9	Pemasangan Tulangan Balok .....	13
2.10	Distribusi Regangan dan Tegangan .....	14
2.11	Prinsip Hitungan Struktur Balok Beton Bertulang .....	15
2.12	Skema Hitungan Balok Beton Bertulang .....	16
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>18</b>
3.1	Persiapan Alat dan Bahan .....	18
3.1.1	Persiapan Bahan .....	18
3.1.2	Persiapan Alat .....	18
3.2	Pengujian Material Penyusun Beton .....	20
3.2.1	Pengujian Semen .....	20
3.2.2	Pengujian Agregat Halus .....	22
3.2.3	Pengujian Agregat Kasar .....	25
3.3	Pengujian Material Baja Tulangan .....	29
3.4	Desain Beton .....	30
3.5	Penulangan dan Pembetonan .....	32
3.6	Perawatan .....	33
3.7	Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang .....	33
3.8	Analisa dan Pembahasan .....	34
<b>BAB 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>38</b>
4.1	Data Pengujian Material .....	38
4.1.1	Semen .....	38
4.1.2	Agregat Halus .....	39
4.1.3	Agregat Kasar .....	40
4.1.4	Kuat Tekan Sampel Beton .....	41
4.1.5	Kuat Tarik Baja Tulangan .....	42

4.2	Perhitungan Momen Lentur Teoritis .....	44
4.3	Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang .....	48
4.4	Uji Statistik Data Penelitian .....	51
4.5	Keruntuhan pada Benda Uji Balok .....	52
4.6	Defleksi Balok Beton Bertulang .....	55
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	.....	<b>58</b>
5.1	Kesimpulan .....	58
5.1	Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>		

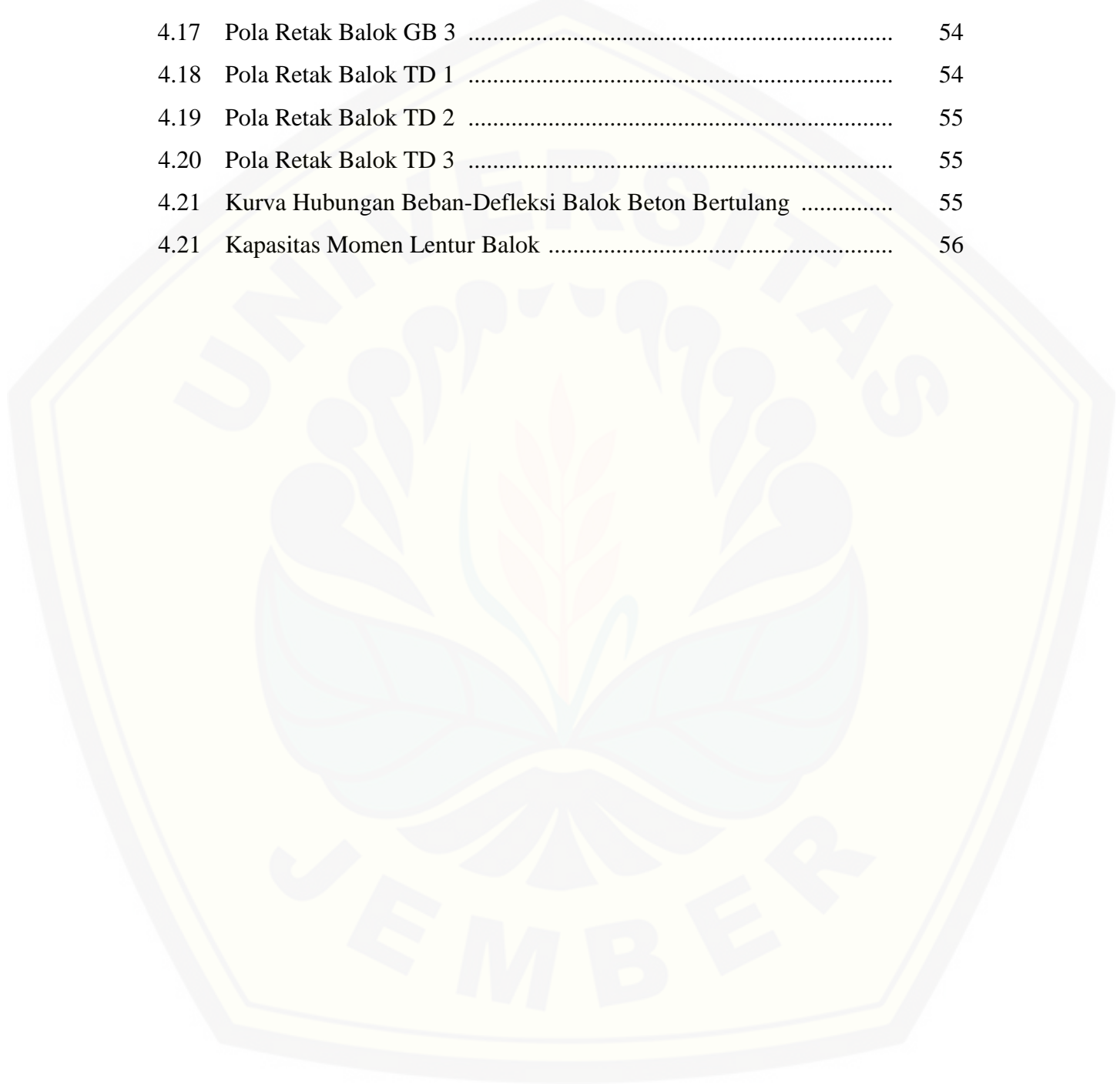
**DAFTAR TABEL**

	Halaman
4.1 Analisa Pengujian semen PPC Tiga Roda .....	38
4.2 Analisa Pengujian Gregat Halus .....	39
4.3 Analisa Pengujian Agregat Kasar .....	40
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton .....	41
4.5 Analisa Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan .....	43
4.6 Hasil Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{teori}$ ) .....	47
4.7 Hasil Pengujian Momen Lentur Uji ( $M_{uji}$ ) .....	49
4.8 Uji Statistik Data Penelitian .....	51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tekan Beton .....	7
2.2 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan.....	9
2.3 Balok Beton Bertulang .....	12
2.4 Letak Tulangan pada Balok .....	13
2.5 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap .	14
2.6 Skema Dasar Hitungan Beton Bertulang .....	16
2.7 Skema Hitungan Momen Rencana Balok (Penampang Balok dengan Tulangan Rangkap) .....	17
3.1 Desain Rencana Benda Uji Balok Beton Bertulang .....	33
3.2 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang .....	34
3.3 Bidang Momen pada <i>Third Loading Bending Test</i> .....	35
3.4 Diagram <i>Flowchart</i> Alur Penelitian .....	37
4.1 Tingkat Korosi Baja Tulangan .....	42
4.2 Benda Uji Kuat Tarik Baja Tulangan .....	43
4.3 Grafik Uji Tarik Baja Tulangan .....	44
4.4 Dimensi Penulangan Balok Beton .....	44
4.5 Distribusi Regangan Tegangan .....	47
4.6 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang di Laboratorium .....	48
4.7 Grafik Hasil Pengujian Momen Lentur uji ( $M_{uji}$ ) .....	50
4.8 Kurva Hipotesis Uji Statistik Penelitian.....	52
4.9 Pola Retak Balok NEW 1 .....	53
4.10 Pola Retak Balok NEW 2 .....	53
4.11 Pola Retak Balok NEW 3 .....	53
4.12 Pola Retak Balok MG 1 .....	53
4.13 Pola Retak Balok MG 2 .....	54
4.14 Pola Retak Balok MG 3 .....	54

4.15	Pola Retak Balok GB 1 .....	54
4.16	Pola Retak Balok GB 2 .....	54
4.17	Pola Retak Balok GB 3 .....	54
4.18	Pola Retak Balok TD 1 .....	54
4.19	Pola Retak Balok TD 2 .....	55
4.20	Pola Retak Balok TD 3 .....	55
4.21	Kurva Hubungan Beban-Defleksi Balok Beton Bertulang .....	55
4.21	Kapasitas Momen Lentur Balok .....	56





**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A Formulir Rencana <i>Mix Design</i> Beton Mutu K175 .....	59
B Hasil Pengujian Laboratorium Balok Beton Bertulang .....	61
C Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{\text{teori}}$ ) Benda Uji MG .....	62
D Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{\text{teori}}$ ) Benda Uji GB .....	64
E Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{\text{teori}}$ ) Benda Uji TD .....	66
F Dokumentasi Penelitian .....	69

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton bertulang adalah struktur komposit yang sangat baik untuk digunakan pada konstruksi bangunan. Pada struktur beton bertulang terdapat berbagai keunggulan akibat dari penggabungan dua buah bahan, yaitu beton (PC, agregat halus, agregat kasar) dan baja sebagai tulangan. Kita tahu bahwa keunggulan dari beton adalah kuat tekannya yang tinggi, sementara baja tulangan sangat baik untuk menahan gaya tarik dan geser. Penggabungan antara material beton dan baja tulangan memungkinkan pelaku konstruksi untuk mendapatkan bahan baru dengan kemampuan untuk menahan gaya tekan, tarik, dan geser sehingga struktur bangunan secara keseluruhan menjadi lebih kuat dan aman.

Karena kelebihan yang dimilikinya, maka penggunaan beton bertulang sebagai bahan struktur utama bangunan sangat populer. Beton bertulang lebih menjadi pilihan dibandingkan material lain seperti bambu, kayu, beton konvensional atau baja. Penerapan beton bertulang pada struktur bangunan biasanya dapat dijumpai pada: pondasi (jenis pondasi dalam seperti tiang pancang, bored pile), balok ikat (sloof), kolom, balok, plat beton, dan dinding geser (shear wall).

Namun dibalik kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh beton bertulang jika dibandingkan dengan bahan material lainnya, beton bertulang juga memiliki masalah yang dapat mengurangi keunggulannya. Diantara masalah yang sering dijumpai adalah masalah keretakan yang terjadi pada bahan tersebut. Keretakan pada beton bertulang dapat timbul pada saat pra-konstruksi dan pasca konstruksi. Selain keretakan, kuat lentur beton bertulang perlu dipertimbangkan. Kuat lentur beton bertulang dipengaruhi oleh kekuatan tarik baja tulangan. Besarnya kekuatan lentur pada beton bertulang erat hubungannya dengan kondisi baja tulangan yang digunakan untuk menyusun beton tersebut. Kondisi baja adalah suatu keadaan yang memperlihatkan apakah baja tulangan tersebut masih dalam kondisi normal atau telah

mengalami reaksi dengan lingkungan sekitarnya yang memungkinkan terjadinya penurunan kualitas baja tulangan tersebut (Wibowo, 2007).

Pada kenyataan di lapangan, untuk menekan biaya konstruksi sebagian masyarakat menggunakan baja tulangan bekas bongkaran sebagai material struktur bangunan. Melihat kasus di lapangan, penggunaan kembali baja tulangan bekas bongkaran perlu diteliti lebih lanjut, terutama kuat tarik baja tulangan maupun kuat lentur struktur beton bertulang. Hal ini dilakukan untuk menghindari kegagalan struktur akibat reduksi kekuatan baja tulangan bekas bongkaran. Selain berpengaruh terhadap kuat tarik, baja tulangan bekas bongkaran berpengaruh pula terhadap kuat lekatannya yang dapat mempengaruhi kuat lentur beton bertulang. Untuk balok struktur yang menahan momen lentur, tegangan lekat timbul setara dengan variasi perubahan nilai momen lentur yang ditahan di sepanjang balok. Dengan berubahnya nilai momen lentur mengakibatkan berlangsungnya suatu interaksi longitudinal antara baja dan beton sehingga besar tegangan tarik yang harus ditahan juga menyesuaikan di sepanjang batang tulangan baja tarik (Dipohusodo, 1994).

Saat ini, untuk mencari baja tulangan bekas sangatlah mudah. Di pasar-pasar besi tua dan pasar loak menyediakan baja tulangan bekas bongkaran dengan fisik yang relatif bagus. Para konsumen menggunakan baja bekas bongkaran tersebut untuk digunakan kembali sebagai tulangan beton tanpa diteliti kekuatannya terlebih dulu. Fisik baja tulangan yang relatif bagus dikhawatirkan tidak menjamin kekuatannya, mengingat pengaruh bangkokan, lendutan akibat beban lama, serta korosi. Baja bekas bongkaran bangunan dengan baja baru diperkirakan akan menghasilkan kuat lentur yang berbeda meskipun dengan ukuran diameter yang sama. Adapun jenis tulangan yang diuji berupa tulangan bekas bongkaran yang dijual kembali untuk digunakan sebagai material bangunan khususnya beton bertulang. Sebagai parameter pembanding dalam penelitian ini, digunakan baja tulangan baru dengan diameter yang sama. Dari nilai kekuatan baja tulangan yang telah diuji dapat diketahui penurunan kualitas maupun kuantitas dari baja tulangan bekas bongkaran

sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan baja tulangan bekas bongkaran untuk mengantisipasi kegagalan struktur bangunan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari Latar belakang diatas didapat rumusan masalah yaitu :

1. Bagaimana perbandingan kuat lentur balok beton bertulang baja tulangan bekas bongkaran dengan kuat lentur balok beton bertulang baja tulangan baru?
2. Apakah baja tulangan bekas bongkaran layak digunakan kembali sebagai material struktur bangunan?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari Penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui perbandingan kuat lentur balok beton bertulang baja tulangan bekas bongkaran dengan kuat lentur balok beton bertulang baja tulangan baru.
2. Mengetahui kelayakan baja tulangan bekas bongkaran yang digunakan kembali untuk material struktural bangunan.

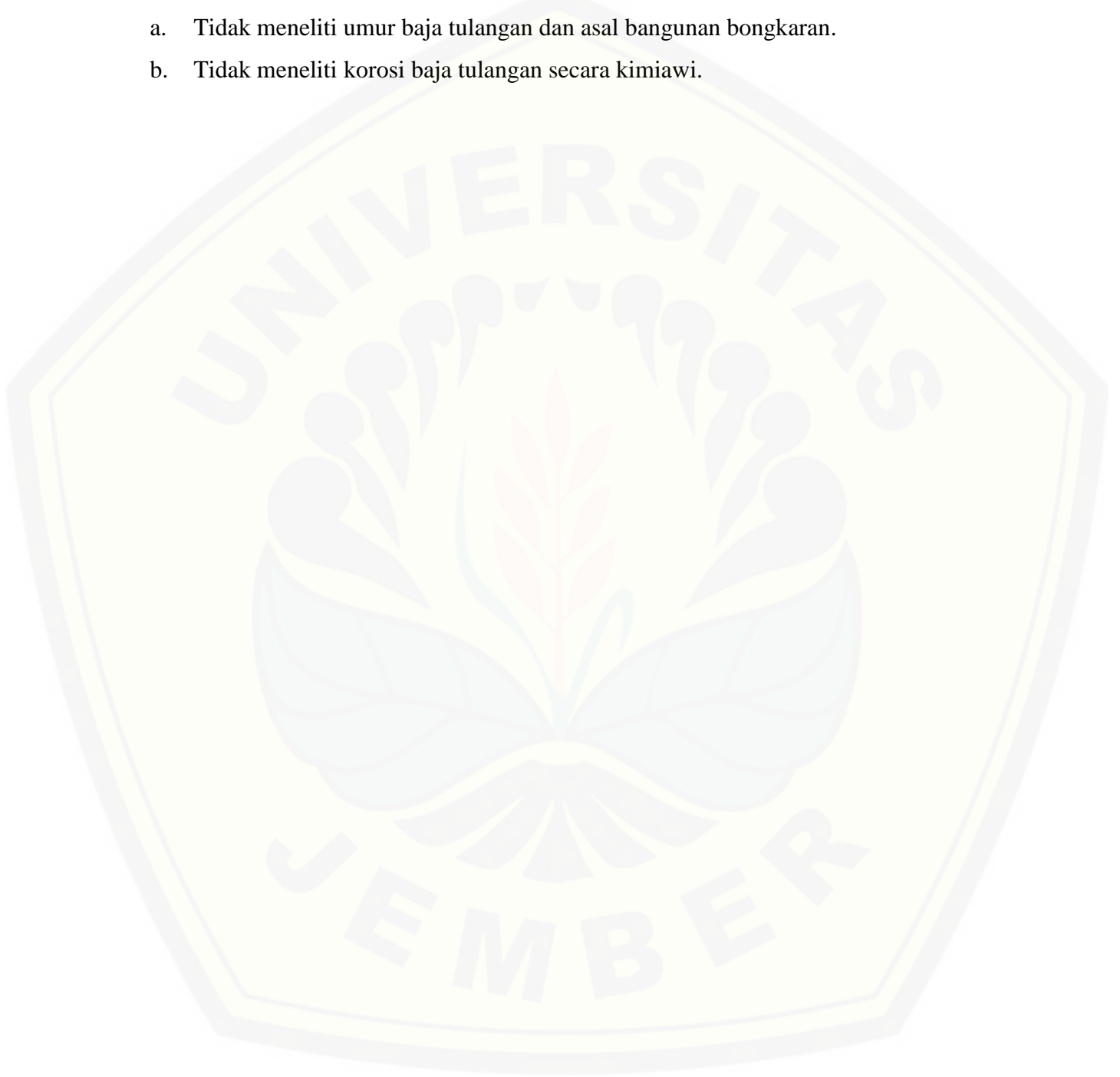
## **1.4 Manfaat**

Dari penelitian ini didapat hasil berupa nilai pengujian kuat tarik baja tulangan dan kuat lentur balok beton bertulang dari tulangan baja baru dan tulangan baja bekas bongkaran yang berasal dari beberapa tempat di daerah Jember. Hasil penelitian memberikan gambaran rata-rata kekuatan baja tulangan dan reduksi kekuatannya, khususnya baja tulangan bekas bongkaran di kawasan Jember sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan penggunaan baja tulangan bekas bongkaran untuk konstruksi struktur bangunan. Dari penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan atau bahan kajian kepada masyarakat dan praktisi ilmu terkait penggunaan baja bekas sebagai tulangan beton bertulang.

### **1.5 Batasan Masalah**

Dari rumusan masalah, penelitian dibatasi sebagai berikut:

- a. Tidak meneliti umur baja tulangan dan asal bangunan bongkaran.
- b. Tidak meneliti korosi baja tulangan secara kimiawi.





## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

1. Pada tahun 2011, Gatot Setya Budi melakukan penelitian tentang Pengujian Kuat Tarik Dan Modulus Elastisitas Tulangan Baja (Kajian Terhadap Tulangan Baja Dengan Sudut Bengkok  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ). Pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap tulangan baja bekas bongkaran dengan cara membengkokkan tulangan baja dengan sudut-sudut tertentu. Tulangan baja yang dibengkokkan kemudian diluruskan kembali untuk diuji kuat tarik dan modulus elastisitasnya. Dari hasil penelitian didapat tulangan baja yang dibengkokkan mempunyai kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan tulangan baru.
2. Pada tahun 2009, Laksmi Irianti melakukan penelitian tentang Tinjauan Kuat Geser dan Kuat Lentur Balok Beton Abu Ketel Mutu Tinggi dengan Tambahan *Accelerator*. Penelitian ini membandingkan momen lentur aktual dengan momen lentur nominalnya. Dari hasil penelitian, momen lentur balok abu ketel mutu tinggi dengan tambahan *accelerator* menghasilkan momen aktual yang lebih besar dibandingkan balok abu ketel mutu tinggi tanpa tambahan *accelerator*, namun momen aktual yang dapat didukung oleh balok beton bertulang baik yang menggunakan *accelerator* maupun tidak, tidak mencapai momen nominal yang diharapkan.

### 2.2 Kuat Tekan Beton

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban takan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lainnya (misalnya: kuat tarik, modulus elastisitas beton) dapat dikorelasi terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan di Indonesia (PBI-1971, diperbaiki dengan SK SNI T-15-1991-03 dan SNI 03-2847-2002), kuat tekan beton



diberi notasi dengan  $f_c'$ , yaitu kuat tekan silinder beton yang diisyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. Mutu beton dengan  $f_c'$  kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktural (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. Mutu beton dengan  $f_c'$  antara 10 MPa sampai 20 MPa, digunakan untuk beton struktural (misalnya: balok, kolom, pelat maupun pondasi).
3. Mutu beton dengan  $f_c'$  sebesar 20 MPa ke atas, digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm ditekan dengan beban  $P$  sampai runtuh. Karena ada beban tekan  $P$ , maka terjadi tegangan tekan pada beton ( $\sigma_c$ ) sebesar beban ( $P$ ) dibagi dengan luas penampang ( $A$ ), sehingga dirumuskan:

$$\sigma_c = P/A$$

dengan:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \text{tegangan tekan beton, MPa} \\ P &= \text{besar beban tekan, N} \\ A &= \text{luas penampang beton, mm}^2 \end{aligned}$$

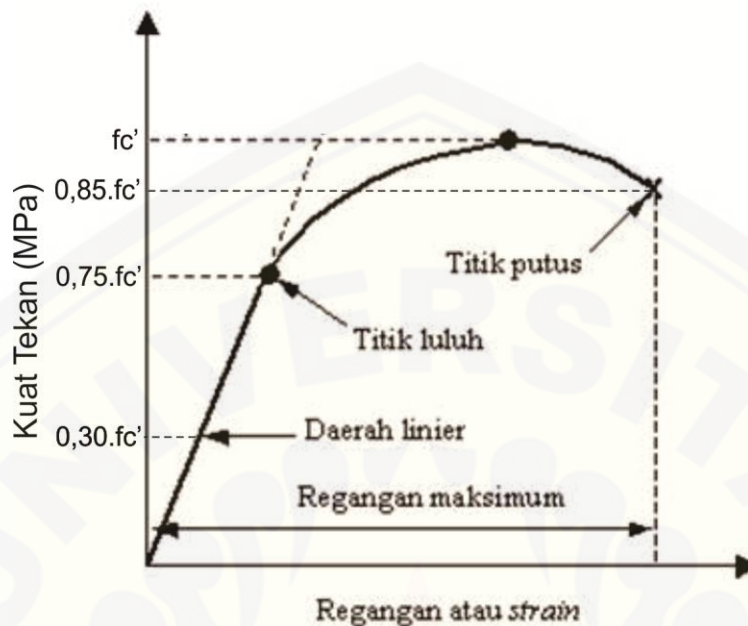
Beban  $P$  tersebut juga mengakibatkan bentuk fisik silinder beton berubah menjadi lebih pendek, sehingga timbul regangan tekan pada beton ( $\epsilon_c'$ ) sebesar perpendekan beton ( $\Delta L$ ) dibagi dengan tinggi awal silinder beton ( $L_0$ ), ditulis dengan rumus:

$$\epsilon_c' = \Delta L/L_0$$

dengan:

$$\begin{aligned} \epsilon_c' &= \text{regangan tekan beton} \\ \Delta L &= \text{perpendekan beton, mm} \\ L_0 &= \text{tinggi awal silinder, mm} \end{aligned}$$

Hubungan antara tegangan dan regangan tekan beton dilukiskan seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tekan Beton

Pada gambar 2.1 tampak perilaku tegangan regangan beton sebagai berikut:

1. Pada saat beban tekan mencapai  $0,3.fc' - 0,4.fc'$ , perilaku tegangan regangan beton pada dasarnya masih linier. Retak-retak lekatan (*bond crack*) yang sebelum pembebanan sudah terbentuk, akan tetap stabil dan tidak berubah selama tegangan tekan yang bekerja masih di bawah  $0,3.fc'$  ( $fc'$  merupakan kekuatan batas tekan beton).
2. Pada saat beban tekan melebihi  $0,3.fc' - 0,4.fc'$ , retak-retak lekatan mulai terbentuk. Pada saat ini mulai terjadi deviasi pada hubungan tegangan regangan dari kondisi linier.
3. Pada saat beban tekan mencapai  $0,75.fc' - 0,90.fc'$ , retak-retak lekatan tersebut merambat ke mortar sehingga terbentuk pola retak yang kontinu. Pada kondisi ini hubungan tegangan regangan beton semakin menyimpang dari kondisi linier. Gambar 2.1 juga menunjukkan, bahwa pada saat beton akan runtuh (kuat tekan beton telah mencapai puncak  $fc'$ ), maka tegangan beton turun menjadi  $0,85.fc'$

sedangkan regangan akan tetap naik sampai mencapai batas retak ( $\epsilon_{cu}$  sebesar 0,003).

### 2.3 Kekuatan Baja Tulangan

#### a. Jenis Baja Tulangan

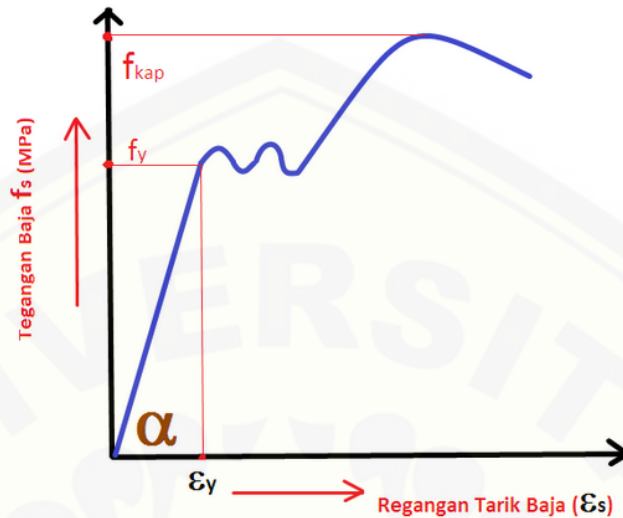
Menurut SNI 03-2847-2002, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan dan kawat baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan lain, selain dari baja tulangan atau kawat baja tersebut.

Baja tulangan yang tersedia di pasaran ada 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau *deform* (BJTD). Tulangan polos biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/senggang, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal sebesar 240 MPa (disebut BJTP-24), dengan ukuran  $\emptyset 6$ ,  $\emptyset 8$ ,  $\emptyset 10$ ,  $\emptyset 12$ ,  $\emptyset 14$ , dan  $\emptyset 16$  (dengan  $\emptyset$  adalah simbol yang menyatakan diameter tulangan polos). Tulangan ulir atau *deform* digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh ( $f_y$ ) minimal 300 MPa (disebut BJTD-30).

#### b. Kuat Tarik Baja Tulangan

Meskipun baja tulangan juga mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena harganya cukup mahal, maka baja tulangan ini hanya diutamakan untuk menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh betonnya.

Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dilukiskan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan

c. Modulus Elastisitas Baja Tulangan

Dari hubungan tegangan regangan tarik baja tulangan pada gambar 2.2, terlihat sudut  $\alpha$  yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan leleh  $f_y$  dan garis regangan  $\epsilon_s$ . Modulus elastisitas baja tulangan ( $E_s$ ) merupakan tangens dari sudut  $\alpha$  tersebut. Menurut pasal 10.5.2 SNI 03-2847-2002, modulus elastisitas baja tulangan non pratekan  $E_s$  dapat diambil sebesar 200000 MPa.

## 2.4 Beton Bertulang

Pada dasarnya beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan / material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos merupakan bahan yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja akan memberikan kekuatan tarik yang besar sehingga tulangan baja akan memberi kekuatan tarik yang diperlukan. Dengan adanya kelebihan masing-masing elemen tersebut, maka konfigurasi antara beton dan

tulangan baja diharapkan dapat saling bekerja sama dalam menahan gaya-gaya yang bekerja dalam struktur tersebut, dimana gaya tekan ditahan oleh beton, dan tarik ditahan oleh tulangan baja.

Baja dan beton dapat bekerja sama atas dasar beberapa hal :

1. Lekatan (*bond*) yang merupakan interaksi antara tulangan baja dengan beton di sekelilingnya, yang akan mencegah slip dari baja relatif terhadap beton.
2. Campuran beton yang memadai yang memberikan sifat anti resap yang cukup dari beton untuk mencegah karat baja.
3. Angka kecepatan muai yang relatif serupa menimbulkan tegangan antara baja dan beton yang dapat diabaikan di bawah perubahan suhu.

## 2.5 Fungsi Utama Beton dan Tulangan

Beton maupun baja-tulangan pada struktur beton bertulang tersebut mempunyai fungsi atau tugas pokok yang berbeda, sesuai dengan sifat bahan yang bersangkutan.

Fungsi utama dari beton, yaitu untuk :

- a. Menahan beban/gaya tekan
- b. Menutup baja tulangan agar tidak berkarat

Sedangkan fungsi utama dari baja tulangan, yaitu untuk :

- a. Menahan gaya tarik (meskipun juga kuat terhadap gaya tekan)
- b. Mencegah retak beton agar tidak melebar.

## 2.6 Keruntuhan Lentur Pada Sistem Perencanaan

Terdapat tiga keadaan keruntuhan lentur pada struktur beton bertulang yang mungkin terjadi, yaitu :

1. Keruntuhan tarik (*tension failure*)

Keruntuhan tarik akan terjadi bila presentase baja tulangan suatu penampang balok relatif kecil (balok perkuatan kurang, *underreinforced beams*) sehingga



tulangan akan lebih dulu mencapai tegangan lelehnya sebelum tegangan tekan beton mencapai maksimum. Pada tahap ini, regangan baja tulangan  $\varepsilon_s = \varepsilon_y$  dengan regangan beton  $\varepsilon_c < \varepsilon_{cu}$  dan akan terus berlanjut hingga  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ . Tanda-tanda ini adalah timbulnya retak-retak pada daerah tarik.

2. Keruntuhan imbang (*balance failure*)

Keruntuhan imbang terjadi apabila beton maupun baja tulangan mencapai regangan dan tegangan maksimumnya secara bersamaan, keruntuhan ini terjadi secara serentak.

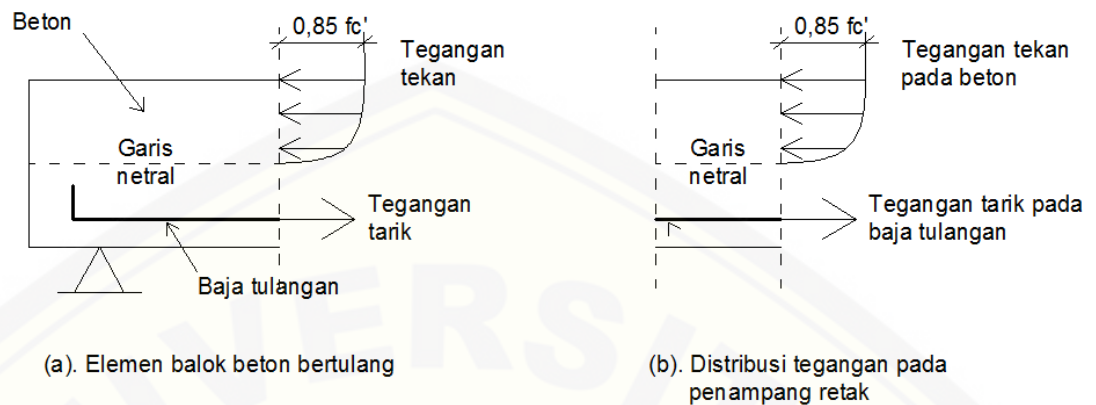
3. Keruntuhan tekan (*compression failure*)

Keruntuhan tekan terjadi bila presentase baja tulangan suatu penampang balok relatif besar (balok perkuatan berlebihan, *overreinforced beams*), sehingga tegangan di serat beton lebih dulu mencapai kapasitas maksimumnya sebelum tegangan leleh maksimum tulangan baja tercapai. Pada tahap ini, regangan baja tulangan  $\varepsilon_s = \varepsilon_y$ , dan regangan beton  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ . Keruntuhan terjadi di daerah tekan beton, terjadi secara tiba-tiba dan sering disertai bunyi ledakan beton hancur, dan sebelumnya tidak ada tanda-tanda berupa defleksi yang besar.

## 2.7 Balok Beton dengan Tulangan

Untuk menahan gaya tarik yang cukup besar pada serat-serat balok bagian tepi-bawah, maka perlu diberi baja-tulangan sehingga disebut dengan istilah “beton bertulang”. Pada balok beton bertulang ini, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa, sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat ditahan oleh baja tulangan.





Gambar 2.3 Balok beton bertulang

Karena sifat beton yang tidak kuat terhadap tarik, maka pada gambar tampak bahwa bagian balok yang menahan tarik (di bawah garis netral) akan ditahan oleh tulangan, sedangkan bagian yang menahan tekan (di atas garis netral) tetap ditahan oleh beton.

## 2.8 Balok Beton Tulangan Rangkap

Yang dimaksud dengan balok beton bertulang rangkap ialah balok beton yang diberi tulangan pada penampang beton daerah tarik dan daerah tekan. Dengan dipasangnya tulangan pada daerah tarik dan tekan, maka balok akan lebih kuat dalam hal menerima beban yang berupa momen lentur.

Pada praktik di lapangan, hampir semua balok selalu dipasang tulangan tulangan rangkap. Jadi balok dengan tulangan secara praktis tidak ada (jarang sekali dijumpai). Meskipun penampang beton pada balok dapat dihitung dengan tulangan tunggal (yang memberikan hasil tulangan longitudinal tarik saja), tetapi pada kenyataannya selalu ditambahkan tulangan tekan minimal 2 batang, dan dipasang pada bagian sudut penampang balok beton yang menahan tekan.

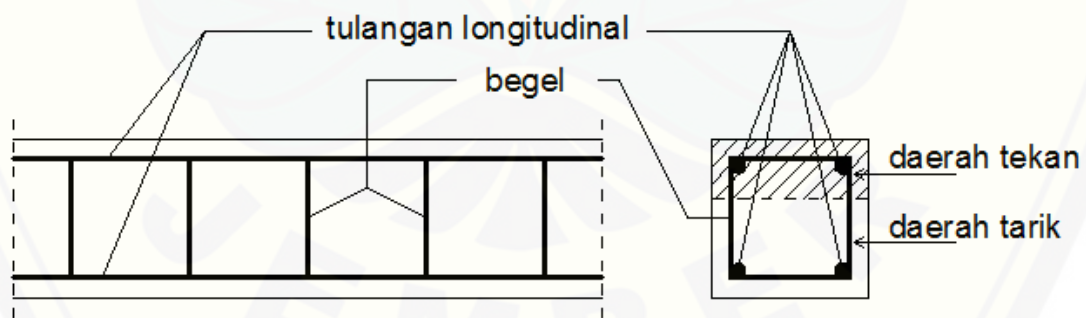
Tambahan tulangan longitudinal tekan ini selain menambah kekuatan balok dalam hal menerima beban lentur, juga berfungsi untuk memperkuat kedudukan begel

balok (antara tulangan longitudinal dan begel diikat dengan kawat lunak yang disebut *binddraad*), serta sebagai tulangan pembentuk balok agar mudah dalam pelaksanaan pekerjaan beton.

## 2.9 Pemasangan Tulangan Balok

Tulangan longitudinal tarik maupun tekan pada balok dipasang dengan arah sejajar sumbu balok. Biasanya tulangan tarik dipasang lebih banyak daripada tulangan tekan, kecuali pada balok yang menahan momen lentur kecil. Untuk balok yang menahan momen lentur kecil (misalnya balok praktis), cukup dipasang tulangan tarik dan tulangan tekan masing-masing 2 batang (sehingga berjumlah 4 batang), dan diletakkan pada 4 sudut penampang balok.

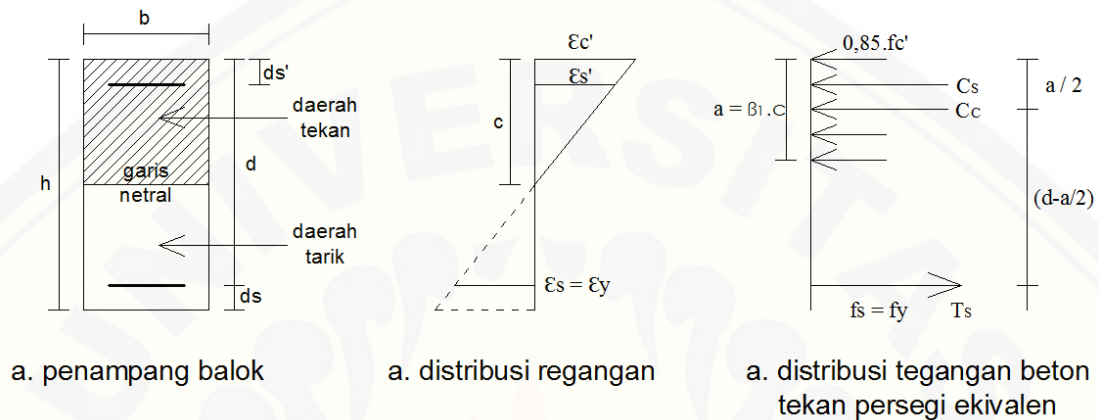
Untuk balok yang menahan momen lentur besar, tulangan tarik dipasang lebih banyak daripada tulangan tekan. Keadaan ini disebabkan oleh kekuatan beton pada daerah tarik yang diabaikan, sehingga praktis semua beban tarik ditahan oleh tulangan longitudinal tarik (jadi jumlahnya banyak). Sedangkan pada daerah beton tekan, beban tekan tersebut sebagian besar ditahan oleh beton, dan sisa beban tekan yang masih ada ditahan oleh tulangan, sehingga jumlah tulangan tekan hanya sedikit.



Gambar 2.4 Letak tulangan pada balok

## 2.10 Distribusi Regangan dan Tegangan

Regangan dan tegangan yang terjadi pada balok dengan penampang beton bertulangan rangkap dilukiskan seperti pada gambar 2.5. pada gambar 2.5 ini dilengkapi dengan beberapa notasi yang akan dipakai untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 2.5 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

Keterangan notasi :

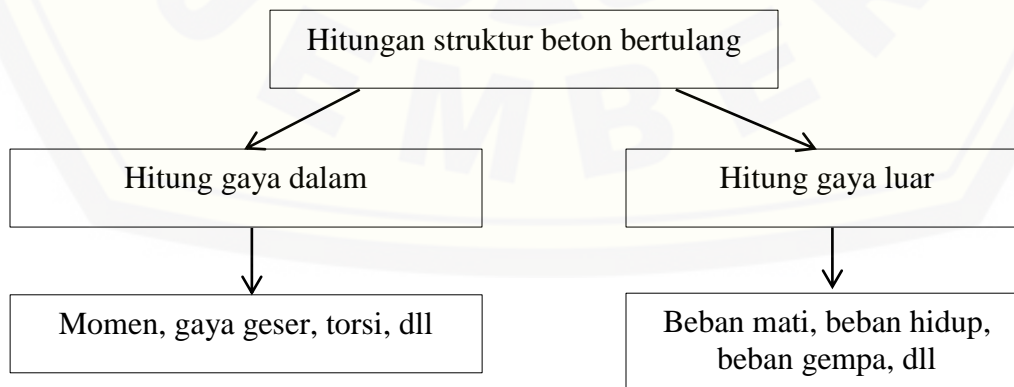
- $a$  = tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekivalen =  $\beta_1 \cdot c$ , dalam mm.
- $A_s$  = luas tulangan tarik,  $\text{mm}^2$
- $A_s'$  = luas tulangan tekan,  $\text{mm}^2$
- $b$  = lebar penampang balok, mm
- $c$  = jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm
- $C_c$  = gaya tekan beton, kN
- $C_s$  = gaya tekan baja tulangan, kN
- $d$  = tinggi efektif penampang balok, mm
- $d_s$  = jarak antara titik berat tulangan tarik dan tepi serat beton tarik, mm
- $d_s'$  = jarak antara titik berat tulangan tekan dan tepi serat beton tekan, mm
- $f_c'$  = tegangan tekan beton yang disyaratkan pada umur 28 hari, MPa
- $f_s$  = tegangan tarik baja tulangan =  $\epsilon_s \cdot E_s$  dalam MPa
- $f_s'$  = tegangan tekan baja tulangan =  $\epsilon_s' \cdot E_s$  dalam MPa

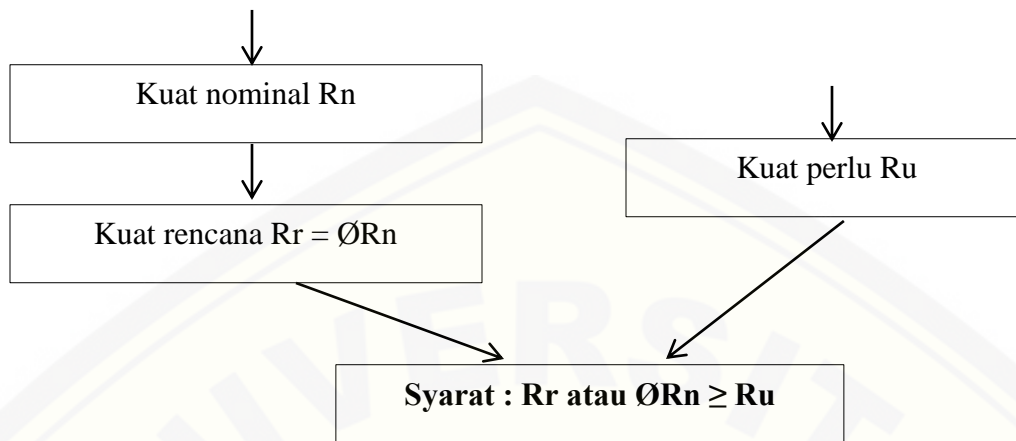
- $f_y$  = tegangan tarik baja tulangan pada saat leleh, MPa  
 $h$  = tinggi penampang balok, mm  
 $M_n$  = Momen nominal, kNm  
 $T_s$  = gaya tarik baja tulangan, kN  
 $\beta_1$  = faktor pembentuk blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang nilainya bergantung pada mutu beton  
 $\epsilon_c'$  = regangan tekan beton, dengan  $\epsilon_c'$  maksimal ( $\epsilon_{cu}'$ ) = 0,003  
 $\epsilon_s$  = regangan tarik baja tulangan =  $f_s/E_s$   
 $\epsilon_s'$  = regangan tekan baja tulangan =  $f_s'/E_s$   
 $\epsilon_y$  = regangan tarik baja tulangan pada saat leleh =  $f_y/E_s = f_y/200000$

### 2.11 Prinsip Hitungan Struktur Balok Beton Bertulang

Hitungan struktur beton bertulang pada dasarnya meliputi 2 buah hitungan, yaitu hitungan yang berkaitan dengan gaya luar dan hitungan yang berkaitan dengan gaya dalam. Pada hitungan dari gaya luar, maka harus disertai dengan faktor keamanan yang disebut faktor beban sehingga diperoleh kuat perlu  $R_u$ . Sedangkan pada hitungan dari gaya dalam, maka disertai dengan faktor aman yang disebut faktor reduksi kekuatan  $\phi$  sehingga diperoleh kuat rencana  $R_r = \phi R_n$  minimal sama dengan kuat perlu  $R_u$ .

Prinsip hitungan struktur beton bertulang yang menyangkut gaya luar dan gaya dalam tersebut secara jelas dapat dilukiskan dalam bentuk skematis, seperti tampak pada gambar 2.6



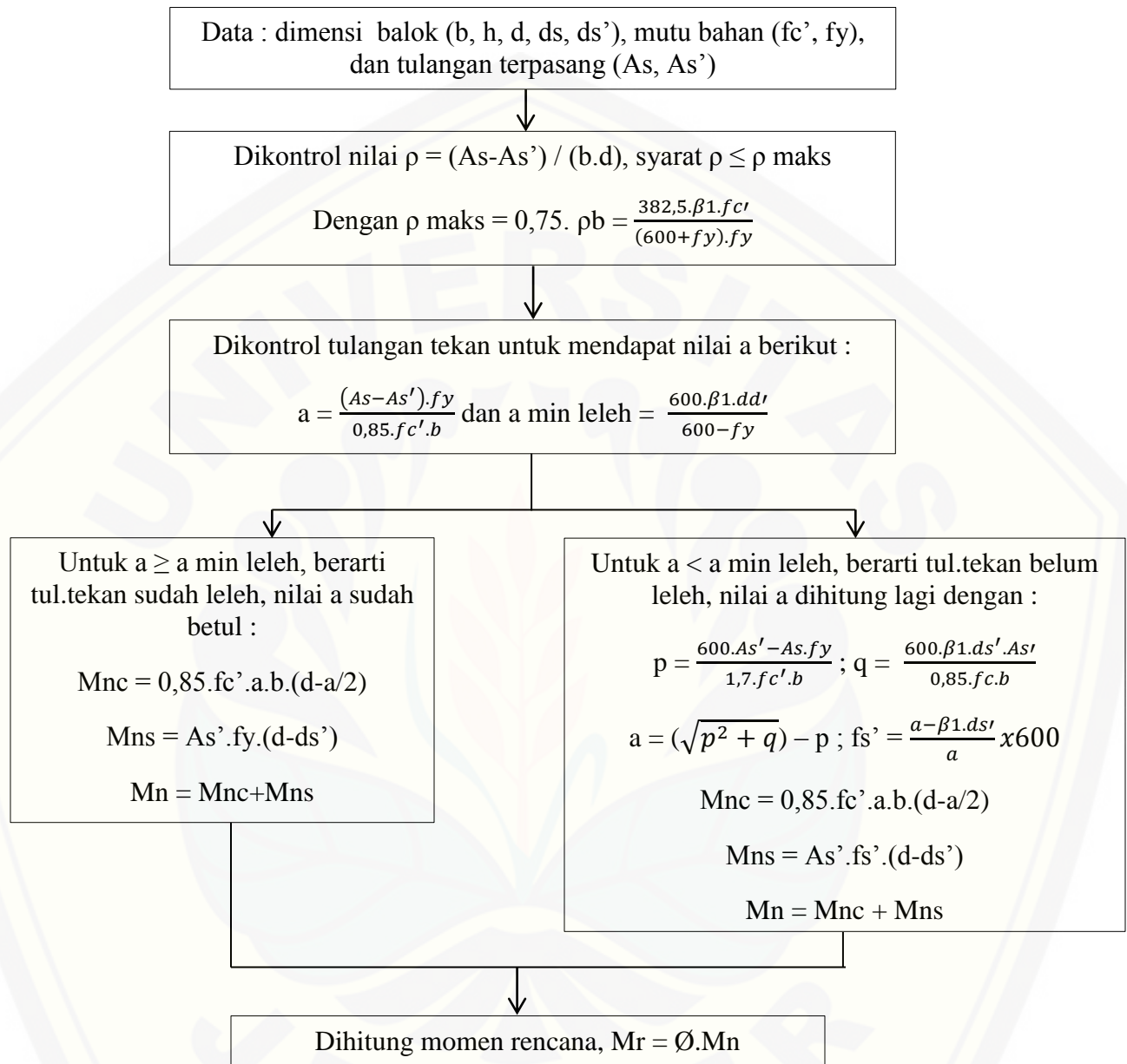


Gambar 2.6 Skema dasar hitungan beton bertulang

### 2.12 Skema Hitungan Balok Beton Bertulang

Balok beton bertulang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu balok beton bertulang dengan tulangan rangkap. Balok beton bertulang yang telah didesain, dihitung momen nominalnya. Untuk menghitung momen nominal ( $M_n$ ) diperlukan data yang berkaitan dengan dimensi ( $b$ ,  $h$ ,  $d$ , dan  $d_s$ ), mutu beton bertulang ( $f_c'$  dan  $f_y$ ), dan tulangan longitudinal yang terpasang pada balok ( $A_s$ ). Skema hitungan momen nominal balok dapat dilihat pada gambar 2.7.





Gambar 2.7 Skema hitungan momen rencana balok (penampang balok dengan tulangan rangkap)



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan merupakan hal yang pertama sebelum melakukan penelitian. Persiapan alat yang digunakan merupakan alat dari Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Jember. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu dengan membeli bahan dan mendatangkan semua bahan yang dibutuhkan ke Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Universitas Jember.

Adapun peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.1.1 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Air digunakan dalam penelitian ini adalah air bersih yang ada di dalam laboratorium struktur.
2. Semen yang dipakai sebagai bahan pengikat beton adalah semen PCC Tiga Roda dalam kemasan 40 kg.
3. Agregat halus (pasir) dalam penelitian ini adalah pasir dari Lumajang.
4. Agregat kasar (kerikil ukuran maksimal 20 mm)
5. Baja tulangan bekas bongkaran diameter 8 yang diperoleh dari 3 lokasi di Jember yaitu Mangli, Gebang, dan Tidar, serta menggunakan baja tulangan baru diameter 8 dari 1 toko di Jember.
6. Tulangan baja untuk sengkang  $\emptyset$  6
7. Kawat bendrat.

#### 3.1.2 Persiapan Alat

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Alat uji tarik baja tulangan (MTS)

Alat uji tarik baja tulangan digunakan untuk mengetahui besarnya kuat tarik baja tulangan yang akan digunakan sebagai tulangan longitudinal benda uji yaitu balok beton bertulang. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja tulangan polos (BJTP) diameter 8.

2. Mesin uji kuat tekan ( compression Test)

alat uji kuat tekan ini dipergunakan untuk mengetahui besarnya tekanan dan beban lentur maksimum yang mampu didukung oleh benda uji sampai dalam keadaan runtuh.

3. Ayakan/Saringan

Ayakan/saringan dipakai untuk menyaring pasir lumajang untuk mendapatkan ukuran sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu susunan saringan yang telah diurutkan ukurannya dipakai untuk pengujian gradasi butiran agregat.

4. Oven

Oven dipakai untuk mengeringkan sampel agregat dalam pengujian kadar air, berat jenis dan uji gradasi. Sampel dikeringkan selama 24 jam pada suhu konstan 110° C.

5. Bekisting

Bekisting yang digunakan berukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm dan panjang 60 cm.

6. Gelas ukur

Gelas ukur kapasitas 1000 mL digunakan untuk mengukur volume air yang akan digunakan sebagai campuran beton.

7. Timbangan

Alat ini digunakan untuk mengetahui berat dari masing-masing bahan penyusun balok beton bertulang.

8. Cetok

Cetok digunakan untuk menuangkan sekaligus meratakan adukan beton ke dalam cetakan beton.

#### 9. Mixer beton

Alat ini digunakan untuk mengaduk campuran semen, agregat halus, dan air agar campuran tersebut menjadi beton.

#### 10. Gergaji besi

Alat ini digunakan untuk memotong tulangan baja sesuai ukuran yang direncanakan.

### 3.2 Pengujian Material Penyusun Beton

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui data-data bahan yang akan digunakan sebagai pembentuk beton bertulang. Pengujian material antara lain:

#### 3.2.1 Pengujian Semen

Semen yang boleh digunakan untuk pembuatan beton adalah semen portland yaitu semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri atas silikat-silikat kalsium yang berifat hidraulis bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan gips (gypsum).

Semen portland untuk pembuatan beton harus jenis-jenis semen yang memenuhi syarat SII 0013-81 "Mutu dan cara semen portland". Dalam penelitian ini menggunakan semen PPC merk tiga roda.

##### 1. Berat jenis semen

Bertujuan untuk mengukur berat jenis semen. Prinsip pengujian adalah masukkan semen kedalam picnometer dan isi dengan minyak tanah lalu ditimbang. Bersihkan picno dari semen dan minyak tersebut. Isikan picno dengan minyak tanah sampai batas dan ditimbang.

$$BjSemen = \frac{0,8xW_1}{(W_1 - W_2 + W_3)}$$

dimana :  $0,8$  = berat jenis minyak tanah

$W_1$  = berat semen (gr)

$W_2$  = berat semen + minyak + picnometer (gr)

$W_3$  = berat minyak + picnometer (gr)

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian berat jenis semen:

- a. Timbangan analitis 2600 gr.
- b. Picnometer 100 cc.
- c. Funnel dan pan.
- d. Semen.
- e. Minyak tanah.

Prosedur pengujian:

- a. Timbang semen sebanyak 250 gr.
- b. Timbang picnometer 100 cc yang telah dibersihkan.
- c. Masukkan semen menggunakan funnel ke dalam picnometer dan beratnya ditimbang.
- d. Isi picnometer yang terisi semen dengan minyak tanah sampai batas picnometer kemudian beratnya ditimbang.
- e. Semen dan minyak dikeluarkan untuk dibersihkan.
- f. Picnometer dalam keadaan kosong diisi minyak tanah hingga batas picnometer kemudian beratnya ditimbang.
- g. Dilakukan tiga percobaan.

## 2. Berat volume

Bertujuan mengukur berat volume / isi semen, yaitu perbandingan berat semen dengan volume cetakan. Prinsip pengujian ada 2 macam :

- a. Tanpa rojokan : benda dimasukkan kedalam cetakan silinder dan ratakan dengan sendok perata lalu hitung beratnya
- b. Dengan rojokan : benda uji dimasukkan kedalam cetakan silinder setiap 1/3 lapis dirojok dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali

$$\text{BeratVolume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

dimana :  $W_1$  = berat silinder (gr)

$W_2$  = berat silinder + semen (gr)

$V$  = volume silinder (cm<sup>3</sup>)

### 3.2.2 Pengujian Agregat Halus

Dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat karakteristik dari agregat halus yang nantinya akan dibutuhkan untuk mix design. Pengujiannya antara lain :

#### 1. Analisis saringan pasir

Analisis saringan pasir bertujuan untuk mengukur distribusi ukuran pasir/gradasi pasir. Menurut SNI 03-2847-2002 kekasaran pasir dapat dibagi menjadi 4 kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar.

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian analisis saringan pasir:

- a. Timbangan analitis 2600 gr.
- b. Oven dan pan.
- c. Agregat dalam keadaan kering oven.
- d. Alat penggetar (shieve shaker).
- e. Satu set saringan ASTM #4, #8, #16, #30, #50, #100, pan.

Prosedur pengujian:

- a. Timbang pasir sebanyak 1000 gr.
- b. Masukkan pasir dalam saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan di atas.
- c. Pasir dalam saringan digetarkan dengan sieve shaker selama 10 menit.
- d. Pasir yang tertinggal dalam saringan ditimbang.
- e. Kontrol berat pasir 1000 gr.



## 2. Kelembaban pasir

Kelembaban pasir bertujuan untuk mengukur kelembaban/ kadar air pasir dengan cara kering. Persamaan untuk menghitung kelembaban:

$$\text{Kelembaban} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

dimana :

$W_1$  = Berat agregat asli (gr)

$W_2$  = Berat agregat oven (gr)

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian kelembaban:

- Timbangan analitis 2600 gr.
- Oven.
- Pan.
- Pasir dalam keadaan asli.

Prosedur pengujian:

- Pasir dalam keadaan asli ditimbang.
- Pasir yang sudah ditimbang dimasukkan dalam oven 24 jam
- Keluarkan pasir dalam oven, setelah dingin ditimbang beratnya.

## 3. Berat jenis pasir

Berat jenis pasir bertujuan untuk mengukur berat jenis pasir dalam kondisi SSD (kering permukaan). Persamaan untuk menghitung berat jenis pasir :

$$B_{j\text{pasir}} = \frac{W_1}{(W_1 - W_2 + W_3)}$$

dimana :

$W_1$  = berat pasir SSD (gr)

$W_2$  = berat picnometer + pasir + air (gr)

$W_3$  = berat picnometer + air (gr)

## 4. Air resapan



Proses penyerapan air dalam beton sangat berpengaruh terhadap waktu untuk beton mengeras. Masing-masing bahan campuran beton mempunyai tingkat resapan berbeda tergantung jumlah rongga udara yang terjadi.

Persamaan untuk menghitung air resapan:

$$\text{Air Resapan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

dimana :  $W_1$  = berat agregat SSD (gr)

$W_2$  = berat agregat oven (gr)

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian air resapan:

- a. Timbangan analitis 2600 gr.
- b. Oven.
- c. Pan.
- d. Agregat dalam kondisi SSD.

Prosedur pengujian:

- a. Agregat dalam kondisi SSD ditimbang.
- b. Agregat yang sudah ditimbang dimasukkan dalam oven 24 jam.
- c. Keluarkan agregat dalam oven, setelah dingin ditimbang beratnya.

#### 5. Berat volume pasir

Pengujian berat volume bertujuan mengukur berat volume/ isi pasir, yaitu perbandingan berat pasir dengan volume cetakan. Cara pengujian berat volume ada dua yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Persamaan untuk menghitung berat volume:

$$\text{BeratVolume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

dimana :  $W_1$  = berat silinder (gr)

$W_2$  = berat silinder + semen (gr)

$V$  = volume silinder (cm<sup>3</sup>)

#### 6. Kebersihan pasir terhadap lumpur

Bertujuan untuk mengukur kadar lumpur pasir

Prinsip pengujian :

- a. Cara kering : pasir dicuci bersih sampai air cucian tampak bening, kemudian di oven dan ditimbang beratnya.
- b. Cara basah : masukkan pasir ke dalam gelas ukur setinggi  $\pm 6$  cm, isikan air hingga penuh dan tutup lalu kocok. Diamkan selama 24 jm dan ukur tinggi masing-masing endapan lumpur dan pasir.

$$\text{Cara kering : kadar lumpur} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\%$$

dimana :  $W_1$  = berat pasir kering oven (gr)

$W_2$  = berat pasir bersih kering oven (gr)

$$\text{Cara basah : kadar lumpur} = \frac{h}{H}$$

Dimana: h = tinggi lumpur

H = tinggi pasir

### 3.2.3 Pengujian Agregat Kasar

Dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat karakteristik dari agregat yang dibutuhkan untuk mix design.

#### 1. Analisis saringan kerikil

Analisis saringan kerikil bertujuan untuk mengukur distribusi ukuran kerikil/gradasi kerikil.

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian analisis saringan kerikil:

- a. Timbangan analitis 2600 gr.
- b. Oven dan pan.
- c. Agregat dalam keadaan kering oven.
- d. Alat penggetar (shieve shaker).

- e. Satu set saringan ASTM #4, #8, #16, #30, #50, #100, pan.

Prosedur pengujian:

- a. Timbang kerikil sebanyak 1000 gr.
- b. Masukkan kerikil dalam saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan di atas.
- c. kerikil dalam saringan digetarkan dengan sieve shaker selama 10 menit.
- d. kerikil yang tertinggal dalam saringan ditimbang.
- e. Kontrol berat kerikil 1000 gr.

## 2. Kelembaban kerikil

Kelembaban kerikil bertujuan untuk mengukur kelembaban/ kadar air kerikil dengan cara kering.

Persamaan untuk menghitung kelembaban:

$$\text{Kelembaban} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

dimana :

$W_1$  = Berat agregat asli (gr)

$W_2$  = Berat agregat oven (gr)

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian kelembaban:

- a. Timbangan analitis 2600 gr.
- b. Oven.
- c. Pan.
- d. Kerikil dalam keadaan asli.

Prosedur pengujian:

- a. Kerikil dalam keadaan asli ditimbang.
- b. Kerikil yang sudah ditimbang dimasukkan dalam oven 24 jam
- c. Keluarkan kerikil dalam oven, setelah dingin ditimbang beratnya.

## 3. Berat jenis kerikil

Berat jenis kerikil bertujuan untuk mengukur berat jenis kerikil dalam kondisi SSD (kering permukaan).

Alat dan bahan yang digunakan :

- a. Timbangan analitis 25 kg.
- b. Kontainer
- c. Mounting table
- d. Keranjang sample
- e. Kerikil dalam kondisi SSD
- f. Air suling

Prosedur pengujian:

- a. Kerikil yang telah direndam selama 24 jam diangkat kemudian dilap satu-persatu
- b. Timbang kerikil kondisi SSD sebanyak 3000 gr
- c. Timbang pula beratnya di dalam air.

Persamaan untuk menghitung berat jenis kerikil :

$$BJ \text{ agregat kasar} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

Dimana :

$W_1$  = berat agregat kasar di udara (gr)

$W_2$  = berat agregat kasar dalam air (gr)

#### 4. Air resapan

Proses penyerapan air dalam beton sangat berpengaruh terhadap waktu untuk beton mengeras. Masing-masing bahan campuran beton mempunyai tingkat resapan berbeda tergantung jumlah rongga udara yang terjadi.

Persamaan untuk menghitung air resapan:

$$\text{Air Resapan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$$

dimana :  $W_1$  = berat agregat SSD (gr)

$$W_2 = \text{berat agregat oven (gr)}$$

Alat dan bahan yang digunakan di dalam pengujian air resapan:

- e. Timbangan analitis 2600 gr.
- f. Oven.
- g. Pan.
- h. Agregat dalam kondisi *SSD*.

Prosedur pengujian:

- d. Agregat dalam kondisi *SSD* ditimbang.
- e. Agregat yang sudah ditimbang dimasukkan dalam oven 24 jam.
- f. Keluarkan agregat dalam oven, setelah dingin ditimbang beratnya.

#### 5. Berat volume kerikil

Pengujian berat volume bertujuan mengukur berat volume/ isi kerikil, yaitu perbandingan berat kerikil dengan volume cetakan. Cara pengujian berat volume ada dua yaitu tanpa rojokan dan dengan rojokan. Persamaan untuk menghitung berat volume:

$$\text{BeratVolume} = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

dimana :  $W_1$  = berat silinder (gr)

$W_2$  = berat silinder + kerikil (gr)

$V$  = volume silinder (cm<sup>3</sup>)

#### 6. Kebersihan kerikil terhadap lumpur

Bertujuan untuk mengukur kadar lumpur kerikil

Prinsip pengujian :

- a. Cara kering : kerikil dicuci bersih sampai air cucian tampak bening, kemudian di oven dan ditimbang beratnya.
- b. Cara basah : masukkan kerikil ke dalam gelas ukur setinggi  $\pm 6$  cm, isikan air hingga penuh dan tutup lalu kocok. Diamkan selama 24 jm dan ukur tinggi masing-masing endapan lumpur dan kerikil.



$$\text{Cara kering : kadar lumpur} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\%$$

dimana :  $W_1$  = berat kerikil kering oven(gr)

$W_2$  = berat kerikil bersih kering oven(gr)

$$\text{Cara basah : kadar lumpur} = \frac{h}{H}$$

dimana :  $h$  = tinggi lumpur

$H$  = tinggi kerikil

### 3.3 Pengujian Material Baja Tulangan

Pengujian ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui kuat tarik baja tulangan di setiap benda uji. Langkah-langkah dalam pengujian uji tarik tulangan baja adalah :

a. Persiapan baja tulangan

Dalam penelitian ini menggunakan 2 macam tulangan yaitu tulangan baru dan tulangan bekas bongkaran. Tulangan baru diperoleh dari salah satu toko di kota Jember dengan label SNI, sedangkan tulangan bekas bongkaran diperoleh dari 3 tempat penjualan baja bekas di kota Jember yaitu Mangli, Gebang, dan Tidar. Tulangan bekas bongkaran yang digunakan yaitu tulangan bekas bongkaran diameter 8 yang masih utuh secara fisik dan tidak ada perubahan diameter serta tingkat korosi yang relatif rendah.

b. Pembersihan

Sebelum digunakan, tulangan baja bekas bongkaran dibersihkan terlebih dulu dari sisa beton yang masih menempel. Tujuan dari pembersihan ini agar permukaan tulangan menjadi bersih dan tidak terkontaminasi dari lapisan beton bekas. Untuk tulangan baru tidak perlu dilakukan pembersihan karena tulangan masih bersih. Tulangan baja bekas yang bengkok, diluruskan terlebih dahulu untuk memudahkan pemasangan dan pengujian nantinya.



c. Pemotongan

Baja tulangan baik baru maupun bekas dipotong terlebih dahulu sesuai ukuran yang direncanakan. Untuk pengujian kuat tarik, tulangan baja dipotong setiap 40 cm, sedangkan untuk tulangan balok, dipotong setiap 60 cm.

d. Uji tarik

Uji tarik baja tulangan dilakukan di lab struktur Universitas Jember dengan menggunakan alat uji tarik (MTS). Baja tulangan bekas yang diuji tarik sebanyak 7 sample dengan rincian 6 batang baja bekas bongkaran yang berasal dari 3 tempat, dan 1 batang baja tulangan baru. Langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Nyalakan mesin uji tarik
2. Pasang baja tulangan pada mesin uji tarik
3. Atur posisi baja tulangan pada penjepit mesin uji tarik
4. Mulai jalankan alat uji tarik
5. Hentikan pengujian saat baja tulangan telah putus
6. Pencatatan uji tarik akan muncul dalam bentuk digital dan grafik.

### 3.4 Desain Beton

Mix design dilakukan untuk mengetahui proporsi kebutuhan material (kerikil, pasir, semen dan air) dalam campuran beton. Metode rancangan adukan beton yang dipakai adalah metode yang biasa dipakai oleh Departemen Pekerjaan Umum yaitu metode DOE (*Departemen of Environment*) yang merupakan pengembangan dari metode rancangan adukan beton cara Inggris (*The British Mix Design Method*).

Adapun langkah-langkah pembuatan *Mix Design* DOE sebagai berikut :

1. Menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur yang direncanakan yaitu menggunakan mutu beton K 175
2. Menetapkan nilai standart deviasi (Sd)
3. Menghitung nilai tambah margin (M)

$$M = K \times Sd$$

dimana :  $M =$  nilai tambah  $M = K \times Sd$

$$K = 1,64$$

$Sd =$  standart deviasi

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

$$f'_{cr} = f'_{c} + M$$

dengan :  $f'_{cr}$  = kuat tekan rata-rata

$f'_{c}$  = kuat tekan yang disyaratkan

$M$  = nilai tambah

5. Menetapkan jenis semen  
 6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)  
 7. Menetapkan faktor air semen (antara 0,4-0,6)  
 8. Menetapkan nilai slump  
 9. Menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum (kerikil)  
 10. Menetapkan kebutuhan air  
 11. Jika agregat halus dan agregat kasar yang dipakai memiliki jenis yang berbeda (alami dan batu pecah), maka jumlah air yang diperkirakan diperbaiki dengan rumus :

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k$$

dimana :  $A$  = jumlah air yang dibutuhkan, liter/  $m^3$

$A_h$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya

$A_k$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. Menetapkan kebutuhan semen  
 13. Menetapkan kebutuhan semen minimum  
 14. Menetapkan kebutuhan semen yang sesuai  
 15. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen  
 16. Menentukan golongan pasir  
 17. Menentukan perbandingan pasir dan kerikil  
 18. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

$$B_j \text{ campuran} = \left(\frac{P}{100} \times BJ P\right) + \left(\frac{K}{100} \times BJ K\right)$$

dimana : K = persentase kerikil terhadap agregat campuran

P = persentase pasir terhadap agregat campuran

19. Menentukan berat jenis beton
20. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil  
berat pasir + berat kerikil = berat beton – kebutuhan air-kebutuhan semen
21. Menentukan kebutuhan pasir  
kebutuhan pasir = kebutuhan pasir dan kerikil x persentase berat pasir = langkah 21 x langkah 18
22. Menentukan kebutuhan kerikil  
kebutuhan kerikil = kebutuhan pasir dan kerikil - kebutuhan pasir = langkah 21 - langkah 22

### 3.5 Penulangan dan Pembetonan

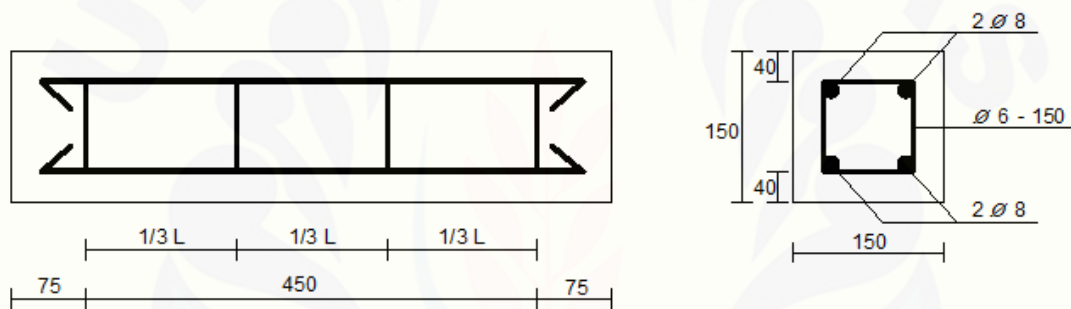
Benda uji yang akan dibuat berupa balok beton bertulang dengan dimensi 15 x 15 x 60 sebanyak 12 benda uji dengan rincian sebagai berikut :

- a. Balok beton bertulang dengan tulangan bekas bongkaran sebanyak 9 benda uji
- b. Balok beton bertulang dengan tulangan baru sebanyak 3 benda uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji meliputi penulangan dan pembetonan dengan urutan sebagai berikut :

- a. Merangkai tulangan dengan jumlah tulangan tekan (atas) sejumlah 2 batang dan tulangan tarik (bawah) sejumlah 2 batang berdiameter 8 serta menggunakan tulangan sengkang 4 buah berdiameter 6.
- b. Menyiapkan bekisting ukuran 15 x 15 x 60
- c. Letakkan baja tulangan yang telah dirangkai di dalam bekisting. Atur selimut beton dengan menggunakan tahu beton.
- d. Menyiapkan peralatan (timbangan analitis 25 kg, molen, kerucut abrains, cetakan kubus, bak wadah material, gerobak dorong, dan alat bantu lainnya)

- e. Menyiapkan dan menimbang material *mix design* beton.
- f. Masukkan material *mix design* ke dalam molen.
- g. Pemutaran molen sampai adukan beton merata secara homogen untuk menghindari terjadinya segregasi.
- h. Melakukan pengujian slump dengan menggunakan kerucut abrams.
- i. Masukkan adonan beton ke dalam bekisting yang telah terpasang baja tulangan.
- j. Lakukan rojokan agar beton memenuhi seluruh rongga dalam bekisting.
- k. Ratakan permukaan beton dalam bekisting
- l. Diamkan  $\pm 24$  jam kemudian lepas bekisting.



Gambar 3.1 Desain rencana benda uji balok beton bertulang

### 3.6 Perawatan

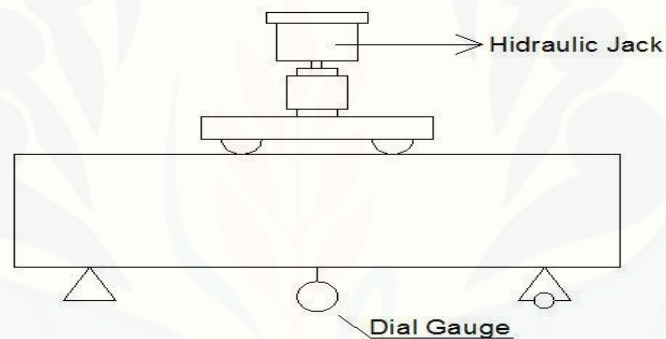
Perawatan benda uji yaitu dengan melakukan perendaman terhadap beton yang baru dikeluarkan dari cetakan dalam jangka waktu sesuai dengan umur beton yang akan diuji yaitu 28 hari. Perendaman ini dilakukan untuk menghindari pengaruh cuaca terhadap proses pengerasan beton yang dapat mempengaruhi kekuatan beton.

### 3.7 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Pengujian ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui kuat lentur baja tulangan dari setiap benda uji. Pengujian kuat lentur dilakukan menggunakan alat

uji tekan yang dimodifikasi dengan menambahkan *loading frame*. Langkah-langkah dalam pengujian benda uji adalah:

- a. Menyiapkan benda uji dan peralatan.
- b. Menempatkan benda uji di alat uji.
- c. Menyalakan mesin uji lentur agar benda uji mendapatkan beban. Pengujian kuat lentur dihentikan setelah balok mengalami keruntuhan dan dial pembacaan pada alat uji lentur berhenti.
- d. Mencatat beban maksimum yang dapat diterima benda uji.
- e. Mengeluarkan benda uji.
- f. Mengulangi proses a sampai e untuk benda uji yang lain.



Gambar 3.2 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

### 3.8 Analisis dan Pembahasan

Untuk menganalisa kuat lentur baja tulangan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan momen nominal balok dan momen aktual balok.

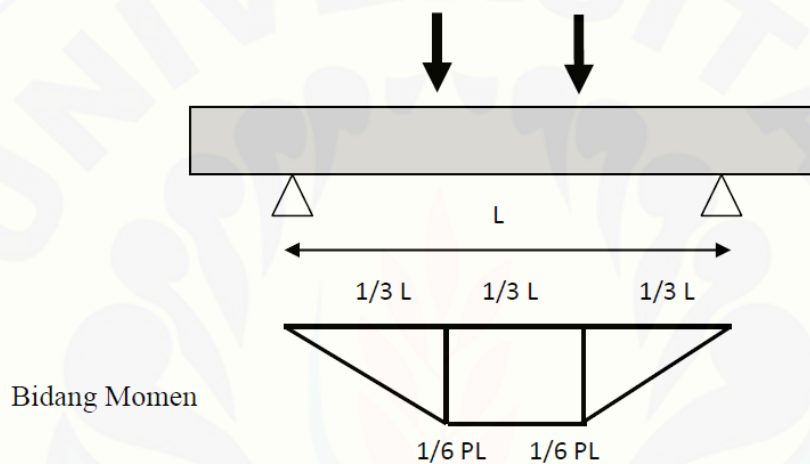
#### 1. Momen nominal balok

Momen nominal balok dihitung dengan mengacu pada hasil kuat tarik baja tulangan ( $f_y$ ) dan kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang telah direncanakan serta dimensi benda uji. Dalam penelitian ini menggunakan benda uji balok beton tulangan rangkap dengan dimensi balok 15 x 15 x 60. Skema perhitungan momen nominal balok beton tulangan rangkap telah dijelaskan pada bab 2.



## 2. Momen aktual / momen *ultimate*

Momen aktual balok didapat dari hasil pengujian kuat lentur. Lentur pada balok maupun pelat diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka struktur akan mengalami deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, akhirnya terjadi keruntuhan pada elemen struktur.



Gambar 3.3 Bidang Momen pada *Third Loading Bending Test*

Pada uji kuat lentur balok maupun pelat digunakan sistem pembebanan *third loading bending test* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3 dimana pembebanan masing-masing diletakan pada sepertiga dari jarak tumpuan. Pengujian lentur menggunakan alat UTM dengan umur beton 28 hari. Rumus perhitungan momen untuk sistem pembebanan *third loading bending test*.

$$M = 1/6 \cdot P \cdot L$$

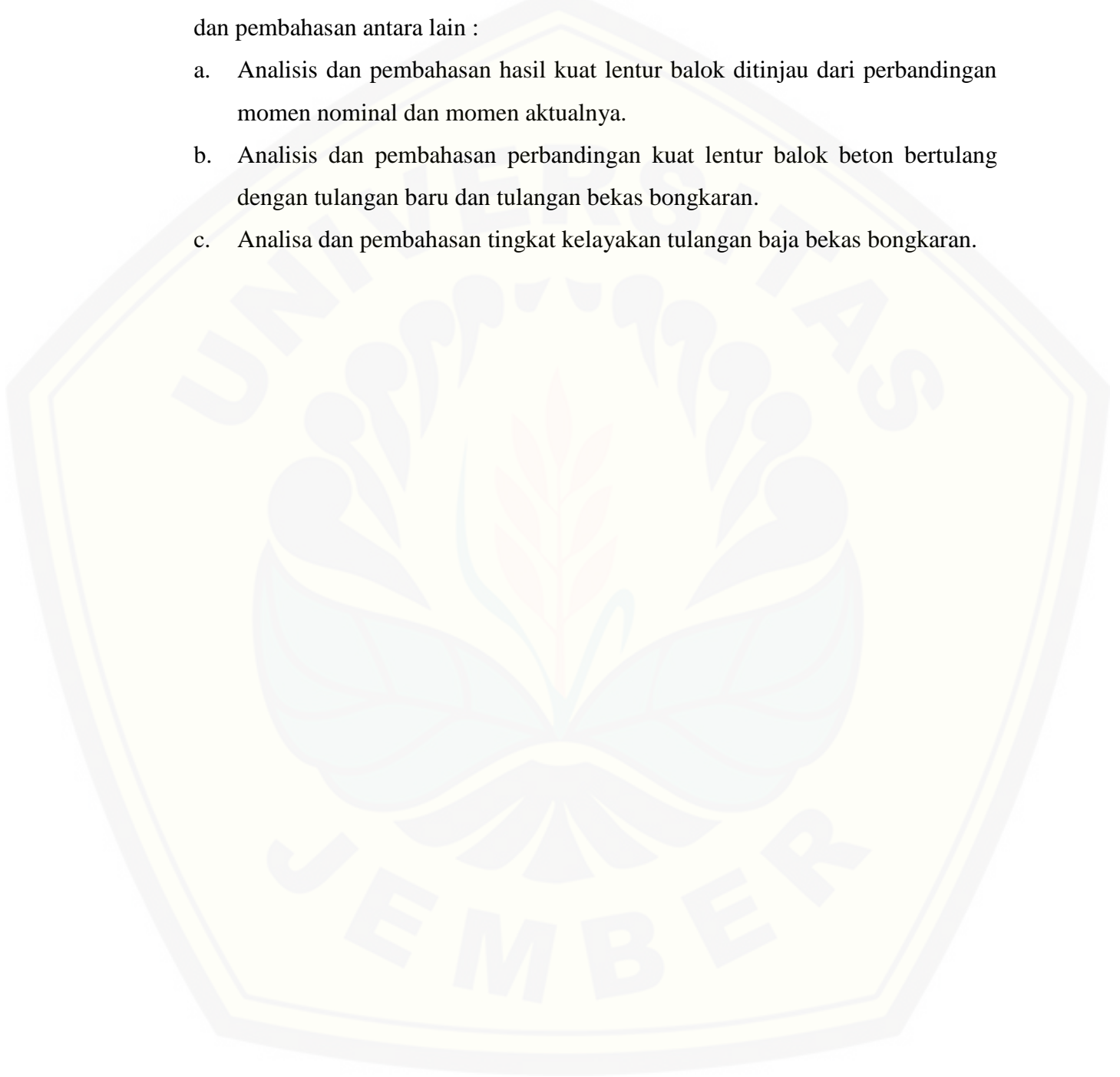
dengan : M = Momen (kNm)

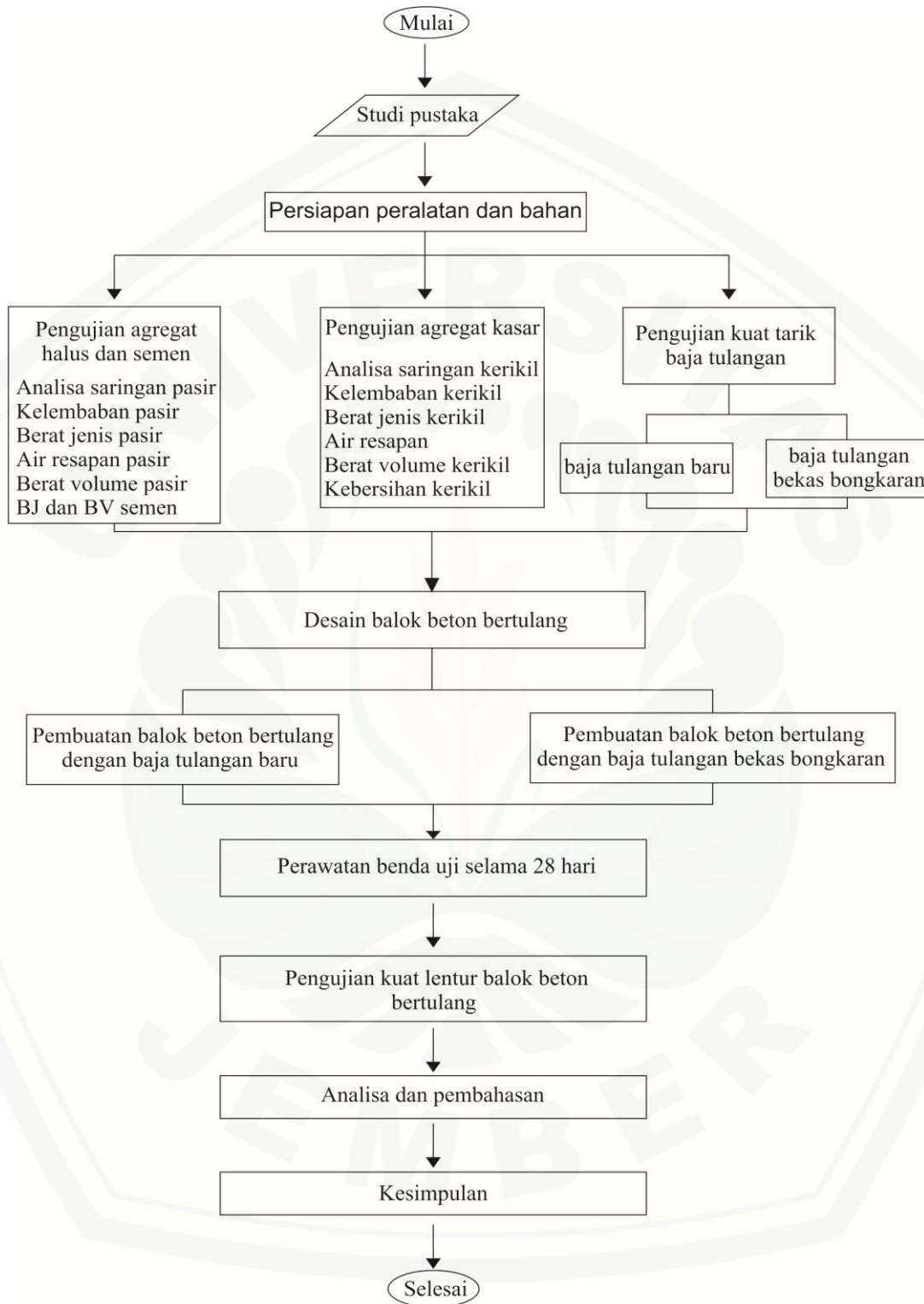
P = Beban (kN)

L = Panjang bentang (m)

Setelah momen nominal dan momen aktual balok diketahui, dilakukan analisa dan pembahasan antara lain :

- a. Analisis dan pembahasan hasil kuat lentur balok ditinjau dari perbandingan momen nominal dan momen aktualnya.
- b. Analisis dan pembahasan perbandingan kuat lentur balok beton bertulang dengan tulangan baru dan tulangan bekas bongkaran.
- c. Analisa dan pembahasan tingkat kelayakan tulangan baja bekas bongkaran.



Gambar 3.4 Diagram *Flowchart* Alur Penelitian

## BAB 4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahasan dilakukan berdasarkan hasil pengujian material yang akan digunakan pada rencana *mix design* beton dan pengujian kuat tarik baja tulangan yang akan digunakan sebagai tulangan pada benda uji balok beton bertulang.

### 4.1 Data Pengujian Material

Setelah dilakukan pengujian material, maka dapat diperoleh data-data spesifikasi material yang diperlukan dalam rancangan balok beton bertulang. Data-data tersebut sebagai berikut:

#### 4.1.1 Semen

Data hasil pengujian semen dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Analisa pengujian semen PPC Tiga Roda

Jenis pengujian	No. Pengujian			Rata-rata
	1	2	3	
a. Berat jenis	2,874	3,472	3,472	3,273
b. Berat Volume				
Kondisi Padat	1,307	1,302		1,304
Kondisi Lepas	1,213	1,197		1,205
BV Rata-rata				1,255

Sumber : Hasil penelitian (2015)

Pembahasan :

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat berat jenis semen adalah 3,273. Berat jenis semen dianggap memenuhi standar SNI karena berat jenis semen berkisar antara 3,1 – 3,4.

#### 4.1.2 Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mendapatkan data-data yang nantinya dipakai untuk campuran beton.

Tabel 4.2 Analisa pengujian agregat halus

Jenis pengujian	No. pengujian			Rata-rata
	1	2	3	
a. Berat jenis	2,618	2,604	2,591	2,604
b. Berat Volume				
Kondisi Padat	1,255	1,330		1,292
Kondisi Lepas	1,126	1,093		1,110
BV Rata-rata				1,201
c. Analisa Saringan				Zona 4
d. Kelembaban	0,725	0,766	1,543	1,012
e. Air Resapan	6,746	8,038	8,015	7,6

Sumber : Hasil Penelitian (2015)

Pembahasan :

##### 1. Berat jenis

Hasil pengujian berat jenis pasir Lumajang didapat sebesar  $2,604 \text{ gr/cm}^3$ . Besarnya berat jenis pasir digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis pasir akan mempengaruhi berat jenis dari beton nantinya sehingga dapat menentukan banyaknya agregat dalam campuran beton.

##### 2. Berat volume

Berat volume pasir Lumajang rata-rata didapat sebesar  $1,201 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil pengujian menunjukkan berat volume pasir tanpa rojokan sebesar  $1,11 \text{ gr/cm}^3$  dan berat volume pasir dengan rojokan sebesar  $1,292 \text{ gr/cm}^3$ .

##### 3. Modulus kehalusan

Modulus kehalusan pasir Lumajang yang didapat sebesar 2,94 dan termasuk dalam gradasi zona 4 (pasir halus).

##### 4. Kelembaban pasir



Hasil pengujian kelembaban pasir Lumajang didapat sebesar 1,012 %. Kelembaban pasir sangat berpengaruh terhadap penentuan air bebas pada campuran beton.

#### 5. Air resapan

Hasil pengujian air resapan pasir Lumajang didapat sebesar 7,6%. Sama halnya dengan kelembaban pasir, air resapan pasir juga sangat berpengaruh terhadap penentuan air bebas pada campuran beton.

#### 4.1.3 Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mendapatkan data-data yang nantinya dipakai untuk campuran beton. Agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil dengan ukuran maksimum 20 mm.

Tabel 4.3 Analisa pengujian agregat kasar

Jenis pengujian	No. pengujian			Rata-rata
	1	2	3	
a. Berat jenis	2,623	2,62	2,591	2,612
b. Berat Volume				
Kondisi Padat	1,459	1,451		1,455
Kondisi Lepas	1,308	1,323		1,315
BV Rata-rata				1,385
c. Modulus Kehalusan				6,533
d. Kelembaban	0,14	0,14	0,908	0,396
e. Air Resapan	0,543	0,705	0,664	0,637

Sumber : Hasil Penelitian (2015)

Pembahasan :

#### 1. Berat jenis

Hasil pengujian berat jenis kerikil didapat sebesar 2,612 gr/cm<sup>3</sup>. Besarnya berat jenis kerikil digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh

agregat. Berat jenis kerikil akan mempengaruhi berat jenis dari beton nantinya sehingga dapat menentukan banyaknya agregat dalam campuran beton.

2. Berat volume

Berat volume kerikil rata-rata didapat sebesar  $1,385 \text{ gr/cm}^3$ . Hasil pengujian menunjukkan berat volume kerikil tanpa rojokan sebesar  $1,315 \text{ gr/cm}^3$  dan berat volume kerikil dengan rojokan sebesar  $1,455 \text{ gr/cm}^3$ .

3. Modulus kehalusan

Modulus kehalusan kerikil yang didapat sebesar 6,533.

4. Kelembaban kerikil

Hasil pengujian kelembaban kerikil didapat sebesar 0,396%. Kelembaban kerikil sangat berpengaruh terhadap penentuan air bebas pada campuran beton.

5. Air resapan

Hasil pengujian air resapan kerikil didapat sebesar 0,637%. Sama halnya dengan kelembaban kerikil, air resapan kerikil juga sangat berpengaruh terhadap penentuan air bebas pada campuran beton.

4.1.4 Kuat Tekan Sampel Beton

Kuat tekan beton yang direncanakan yaitu K 175 dengan pengujian 28 hari. Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 5 sampel. Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui besarnya kuat tekan beton dari perencanaan campuran beton yang sudah direncanakan menggunakan metode SNI-03-2834-2000. Hasil pengujian ini menjadi acuan rencana *mix design* beton pada pengujian kuat lentur benda uji balok beton bertulang. Hasil pengujian kuat tekan beton rata-rata ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian kuat tekan sampel beton

No.	Kuat Tekan ( $\text{kg/cm}^2$ )	Kuat Tekan Rata-Rata ( $\text{kg/cm}^2$ )
1	189,916	189,844

2	195,438
3	181,633
4	192,077
5	190,156

Sumber : Hasil Penelitian (2015)

Mutu beton rata-rata pada umur 28 hari adalah  $189,844 \text{ kg/cm}^2$ . Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa hasil pengecoran beton telah melampaui *mix design* awal yaitu K 175, sehingga rencana *mix design* dapat digunakan untuk pengecoran benda uji balok beton bertulang.

#### 4.1.5 Kuat Tarik Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tulangan bekas bongkaran yang belum terjadi perubahan fisik secara signifikan dan tingkat korosi yang rendah serta menggunakan baja tulangan baru sebagai material pembanding. Berikut gambar tingkat korosi baja tulangan bekas bongkaran dari daerah Gebang, Mangli, dan Tidar.



Gambar 4.1 Tingkat korosi baja tulangan

Bagian baja tulangan yang diberi warna merupakan bagian baja tulangan yang mengalami korosi. Baja tulangan bekas bongkaran yang mengalami korosi paling kecil yaitu baja tulangan dari daerah Gebang sebesar 8,34 %, diikuti Mangli sebesar 14,55 %, dan Tidar sebesar 19,09 %.

Pengujian kuat tarik baja tulangan dilakukan untuk mendapatkan data tegangan tarik baja tulangan ( $f_y$ ). Data ini digunakan sebagai acuan dalam mencari nilai kuat lentur nominal dari balok beton bertulang.



Gambar 4.2 Benda uji kuat tarik baja tulangan

Berikut hasil uji tarik baja tulangan baru (NEW) dan baja tulangan bekas bongkaran yang diambil dari 3 tempat berbeda di daerah Jember, yaitu Mangli (MG), Gebang (GB), dan Tidar (TD).

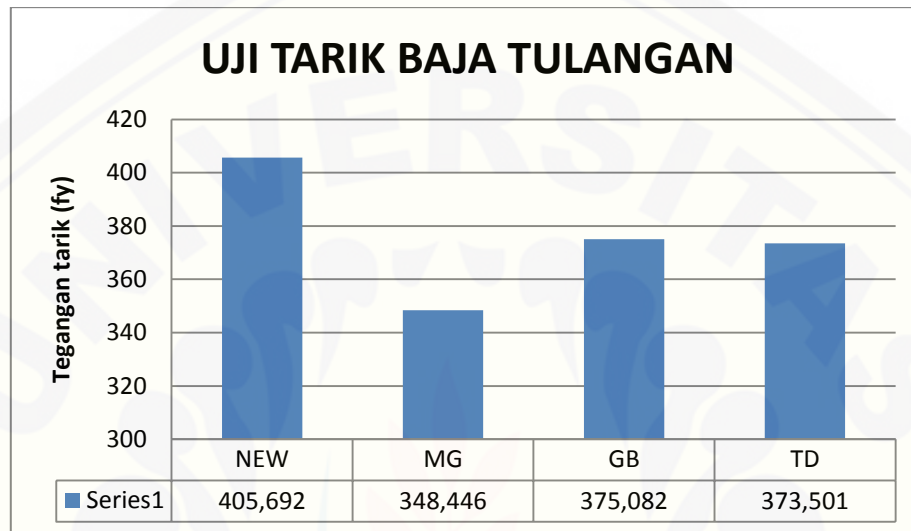
Tabel 4.5 Analisa pengujian kuat tarik baja tulangan

NO	KODE	UJI TARIK	TINGKAT KOROSI	KETERANGAN
1	NEW	405,692	0%	BARU
2	MG	348,446	14,55%	
3	GB	375,082	8,34%	BEKAS
3	TD	373,501	19,09%	

Sumber : Hasil Penelitian (2015)

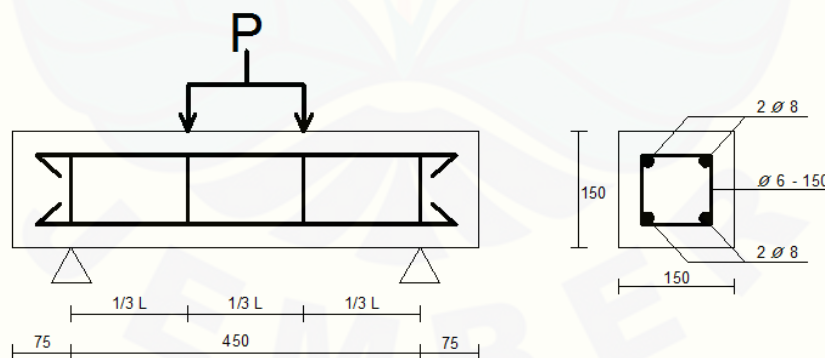
Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan baru diameter 8 yaitu sebesar 405,692 MPa, sedangkan hasil pengujian kuat tarik baja bekas bongkaran diameter 8 dari 3 lokasi di daerah Jember yaitu Mangli (MG) = 348,446 MPa, Gebang (GB) = 375,082

MPa, Tidar (TD) = 373,501 MPa. Dari seluruh hasil pengujian kuat tarik baja tulangan bekas bongkaran menunjukkan nilai kuat tarik yang lebih kecil dibanding baja tulangan baru. Hal ini menunjukkan bahwa baja tulangan bekas bongkaran telah mengalami reduksi kuat tarik. Berikut grafik dari uji tarik baja tulangan.



Gambar 4.3 Grafik uji tarik baja tulangan

#### 4.2 Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{teori}$ )



Gambar 4.4 Dimensi penulangan balok beton

Diketahui :

Baja tulangan baru :

$$As = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$



$$As' = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$ds = 40 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

$$ds' = 40 \text{ mm}$$

$$f_c' = 15,8 \text{ MPa}$$

$$f_y = 405,692 \text{ MPa}$$

Jawab :

Kontrol tulangan tekan :

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{101 \cdot 405,692}{0,85 \cdot 15,8 \cdot 150} = 20,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a \text{ min leleh} &= \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d'}{600 - f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 - 405,692} \\ &= 104,988 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $a < a \text{ min leleh}$ , berarti tulangan tekan belum leleh.

Penetapan nilai a :

$$T = C_c + C_s$$

$$As \cdot f_y = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a + As' \cdot f_s'$$

$$As \cdot f_y = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot a + As' \cdot f_s'$$

$$101 \cdot 405,692 = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot \beta \cdot c + As' \cdot \epsilon_s' \cdot E_s$$

$$40974,892 = 1712,325 c + 101 \cdot \frac{0,003 \cdot (c - ds')}{c} \cdot 200.000$$

$$40974,892 = 1712,325 c + \frac{60600}{c} (c - 40)$$

x c

$$40974,892 c = 1712,325 c^2 + 60600 c - 2424000$$

$$2424000 = 1712,325 c^2 - 40974,892 c$$

$$c = 32,316$$

$$\begin{aligned} a &= c \times \beta \\ &= 32,316 \times 0,85 \\ &= 27,469 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} a \text{ maks leleh} &= \frac{600 \cdot \beta \cdot d'}{600 + f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 + 405,692} \\ &= 55,782 \text{ mm} \end{aligned}$$

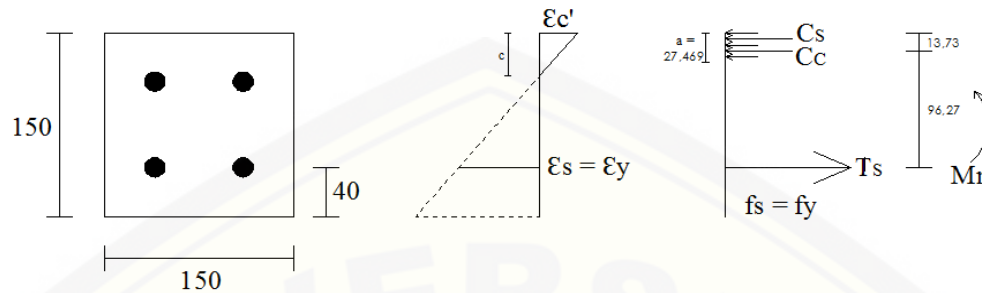
Karena  $a$  (27,469 mm) <  $a$  maks leleh, berarti semua tulangan tarik sudah leleh (OK)

Karena tulangan tekan belum leleh, dihitung tegangan tulangan tekan  $f_s'$

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= \frac{0,003 \cdot (c - d_s')}{c} \cdot 200.000 \\ &= \frac{0,003 \cdot (33,0472 - 40)}{33,0472} \cdot 200.000 \\ &= -126,222 \text{ MPa} < f_y \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Momen penampang (Mn)

$$\begin{aligned} \Sigma M &= 0 \\ M &= C_c (d-/2) + C_s (d-d') \\ &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d-d_s') \\ &= 0,85 \cdot 15,828,091 \cdot 150 \cdot (110 - 28,091/2) \\ &= 5331619 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{5,331619 \text{ kNm}} \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Distribusi regangan tegangan

Dengan cara dan langkah perhitungan yang sama, didapat perhitungan momen lentur teoritis ( $M_{teori}$ ) sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil perhitungan momen lentur teoritis ( $M_{teori}$ )

Baja Tulangan	Teg. Baja Tulangan	Momen Lentur Teoritis ( $M_{teori}$ )
	(MPa)	(kNm)
Baru (NEW)	405,692	5,332
Mangli (MG)	348,446	5,133
Gebang (GB)	375,082	5,224
Tidar (TD)	373,501	5,219

Sumber : Hasil penelitian (2015)

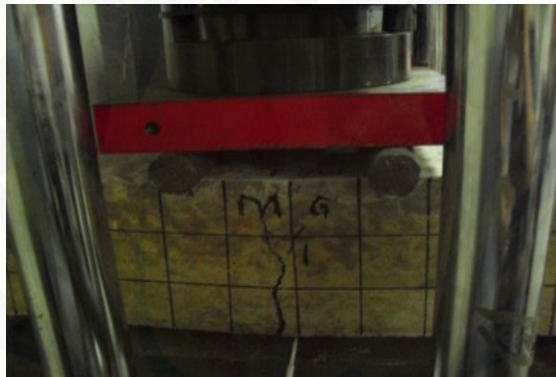
Tabel di atas merupakan hasil dari perhitungan momen lentur teoritis balok beton bertulang. Hasil perhitungan momen teoritis balok beton bertulang dengan baja tulangan baru yaitu sebesar 5,332 kNm, sedangkan hasil perhitungan momen teoritis balok beton bertulang dengan baja tulangan bekas bongkaran dari 3 lokasi di daerah Jember yaitu Mangli (MG) = 5,133 kNm (reduksi 3,73 % terhadap NEW), Gebang (GB) = 5,224 kNm (reduksi 2,03 % terhadap NEW), Tidar (TD) = 5,219 kNm (reduksi 2,12 % terhadap NEW).

Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis diperoleh nilai momen teoritis ( $M_{teori}$ ) terbesar pada balok beton bertulang dengan baja tulangan baru (NEW)

kemudian diikuti oleh GB, TD, dan MG. Hal ini menunjukkan bahwa secara teoritis balok beton bertulang dengan baja tulangan bekas memiliki kuat lentur lebih rendah dibanding balok beton bertulang dengan baja tulangan baru.

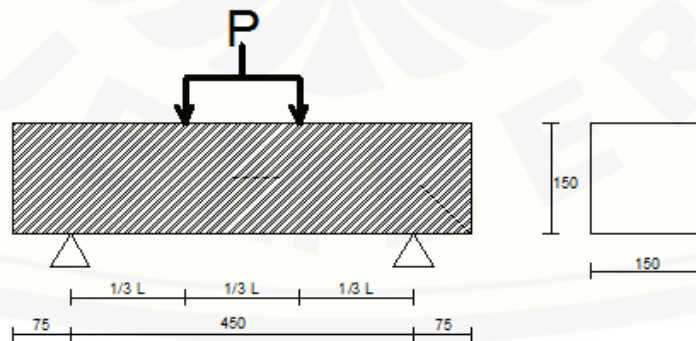
### 4.3 Uji Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Uji kuat lentur balok beton bertulang dilaksanakan di laboratorium struktur, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pengujian ini dilakukan untuk mencari momen lentur uji ( $M_{uji}$ ) balok beton bertulang. Berikut dokumentasi pengujian balok beton bertulang beserta data-data hasil pengujian.



Gambar 4.6 Pengujian kuat lentur balok beton bertulang di laboratorium

Setelah dilakukan pengujian kuat lentur seperti gambar di atas, selanjutnya dilakukan analisa perhitungan momen lentur uji ( $M_{uji}$ ) balok beton bertulang, dengan cara sebagai berikut.



$$\begin{aligned}
 q &= \text{berat jenis beton} \times (0,15 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}) \\
 &= 2,4 \text{ t/m}^3 \times 0,15 \times 0,15 \\
 &= 0,054 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RA &= \frac{1}{2} P + \frac{1}{2} qL \\
 &= \frac{1}{2} P + \frac{1}{2} \cdot 0,054 \cdot 0,60 \\
 &= 0,5 P + 0,0162
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks}} &= (0,5 P + 0,0162) \cdot 0,15 - (0,5 \times 0,054 \times 0,0225) \\
 &= 0,075 P + 1,823 \cdot 10^{-3} \text{ tm}
 \end{aligned}$$

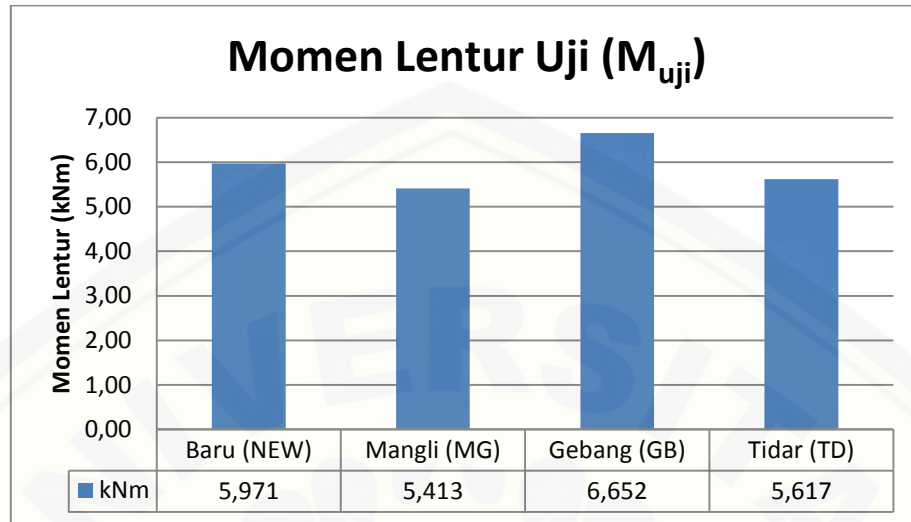
Dengan cara dan langkah perhitungan yang sama, didapat perhitungan momen lentur uji ( $M_{\text{uji}}$ ) sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil pengujian momen lentur uji ( $M_{\text{uji}}$ )

No	Kode	BEBAN	$(M_{\text{uji}})$ (kNm)	$(M_{\text{uji}})$ rata-rata (kNm)	$(M_{\text{teori}})$ (kNm)
		Maks. (N)			
1	NEW 1	79,89	5,994		
2	NEW 2	79,61	5,973	5,971	5,332
3	NEW 3	79,28	5,948		
4	MG 1	64,65	4,851		
5	MG 2	75,56	5,669	5,413	5,133
6	MG 3	76,24	5,720		
7	GB 1	90,71	6,805		
8	GB 2	88,90	6,669	6,652	5,224
9	GB 3	86,40	6,482		
10	TD 1	85,28	6,398		
11	TD 2	70,03	5,254	5,617	5,219
12	TD 3	69,30	5,199		

Sumber : Hasil penelitian (2015)





Gambar 4.7 Grafik hasil pengujian momen lentur uji ( $M_{uji}$ )

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur di laboratorium, diperoleh momen lentur uji ( $M_{uji}$ ) balok beton bertulang dengan baja tulangan baru (NEW) sebesar 5,971 kNm, sedangkan momen lentur uji ( $M_{uji}$ ) balok beton bertulang dengan baja tulangan bekas bongkaran yaitu Mangli (MG) = 5,413 kNm (reduksi 9,35 % terhadap NEW), Gebang (GB) = 6,652 kNm (meningkat 11,4 % terhadap NEW), Tidar (TD) = 5,617 kNm (reduksi 5,93 % terhadap NEW).

Momen lentur uji ( $M_{uji}$ ) tertinggi justru pada benda uji GB, kemudian diikuti NEW, TD, MG. Perbedaan hasil pengujian dengan perhitungan teoritis ini disebabkan kualitas benda uji, khususnya baja tulangan bekas bongkaran yang memiliki karakteristik dan kuat tarik yang berbeda-beda jika dibanding baja tulangan baru yang lebih bersifat homogen. Selain faktor kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton, momen lentur juga dipengaruhi kuat lekat baja tulangan terhadap beton. Untuk balok struktur yang menahan momen lentur, tegangan lekat timbul setara dengan variasi perubahan nilai momen lentur yang ditahan di sepanjang balok. Dengan berubahnya nilai momen lentur mengakibatkan berlangsungnya suatu interaksi longitudinal antara baja dan beton sehingga besar tegangan tarik yang harus ditahan juga menyesuaikan di sepanjang batang tulangan baja tarik (Dipohusodo, 1994).

Dari hasil pengujian kuat lentur di laboratorium diketahui bahwa momen lentur uji balok beton bertulang dengan baja tulangan baru maupun dengan baja tulangan bekas bongkaran memenuhi dari momen teori yang direncanakan, sehingga baja tulangan dapat dikategorikan layak. Pada pekerjaan konstruksi yang menggunakan baja tulangan bekas bongkaran harus dipenuhi syarat-syarat kelayakannya. Baja tulangan bekas bongkaran yang digunakan harus layak secara fisik, dan perlu dilakukan kontrol terhadap pembebanan struktur yang direncanakan serta disarankan dilakukan pengujian kuat tarik sebelum perencanaan untuk mengetahui kemampuan nominal struktur dalam menerima beban.

#### 4.4 Uji Statistik Data Penelitian

Uji statistik digunakan untuk mengetahui tingkat korelasi data penelitian, dalam hal ini yaitu hubungan antara  $M_{uji}$  dengan  $M_{teori}$  balok beton bertulang.

Tabel 4.8 Uji statistik data penelitian

	$X_1 (M_{uji})$	$X_2 (M_{teori})$	D	$D^2$
NEW	5,971	5,332	0,816	0,666
MG	5,413	5,133	0,455	0,207
GB	6,652	5,224	1,603	2,570
TD	5,617	5,219	0,573	0,329
JUMLAH			2,745	2,684

Sumber : Perhitungan (2015)

Hipotesis statistik :

$H_0$  :  $\mu_1 = \mu_2$

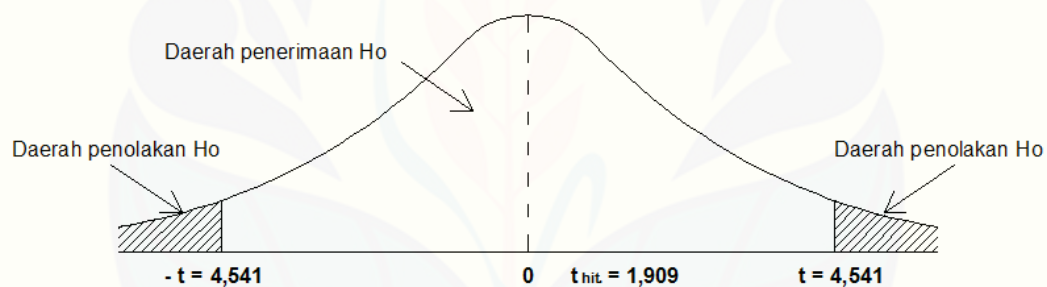
(Terjadi persamaan / hubungan yang signifikan antara  $M_{uji}$  dengan  $M_{teori}$ )

$H_1$  :  $\mu_1 \neq \mu_2$

(Tidak terjadi persamaan / hubungan yang signifikan antara  $M_{uji}$  dengan  $M_{teori}$ )

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{1}{n-1} (\sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n})} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{4-1} (\sum 2,684^2 - \frac{(\sum 2,745)^2}{4})} \\
 &= \mathbf{0,719} \\
 t &= \frac{\sum D/n}{Sd/\sqrt{n}} \\
 &= \frac{2,745/4}{0,719/\sqrt{4}} \\
 &= \mathbf{1,909}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan  $\alpha = 0,02$  maka diperoleh harga t tabel = 4,541. Dengan demikian dapat dilukiskan pada kurva berikut ini :



Gambar 4.8 Kurva hipotesis uji statistik penelitian

Karena harga t hitung lebih kecil dari harga t tabel, atau jatuh pada daerah penerimaan  $H_0$ , maka hipotesis  $H_0$  diterima dan dapat disimpulkan bahwa terdapat persamaan / hubungan yang signifikan antara  $M_{uji}$  dengan  $M_{teori}$  sehingga baja tulangan bekas bongkaran dapat dikategorikan layak.

#### 4.5 Keruntuhan pada Benda Uji Balok

Sebagian besar keruntuhan yang terjadi pada pengujian balok adalah keruntuhan lentur. Hal tersebut dapat dilihat dari bentuk keretakan balok pasca

pengujian. Pada saat balok menerima beban, retak pertama terjadi pada serat paling bawah, kurang lebih di tengah bentang. Keretakan tersebut dapat dikategorikan sebagai retak lentur (*flexural crack*) karena pola retaknya cenderung membentuk garis vertikal, tegak lurus sumbu memanjang balok. Saat balok menerima beban lebih besar lagi hingga mencapai kapasitas maksimum, keretakan akan muncul di samping kiri kanan retak pertama dan mengalami perubahan sudut, yaitu membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu memanjang balok. Pada saat balok mengalami pola keretakan tersebut, pola retak yang terjadi menjadi retak geser lentur. Keretakan yang terjadi pada serat bagian bawah di tengah bentang tersebut menunjukkan bahwa terjadi tegangan tarik yang cukup besar. Berikut gambar pola keretakan dari masing-masing benda uji balok.



Gambar 4.9 pola retak balok NEW 1



Gambar 4.10 pola retak balok NEW 2



Gambar 4.11 pola retak balok NEW 3



Gambar 4.12 pola retak balok MG 1





Gambar 4.13 pola retak balok MG 2



Gambar 4.14 pola retak balok MG 3



Gambar 4.15 pola retak balok GB 1



Gambar 4.16 pola retak balok GB 2



Gambar 4.17 pola retak balok GB 3



Gambar 4.18 pola retak balok TD 1





Gambar 4.19 pola retak balok TD 2



Gambar 4.20 pola retak balok TD 3

#### 4.6 Defleksi Balok Beton Bertulang

Defleksi balok beton bertulang merupakan hubungan beban dengan defleksi / lendutan. Hubungan ini menunjukkan defleksi / lendutan yang terjadi pada balok saat terjadi pembebanan. Hubungan beban dengan defleksi balok beton bertulang ditunjukkan pada kurva di bawah ini.



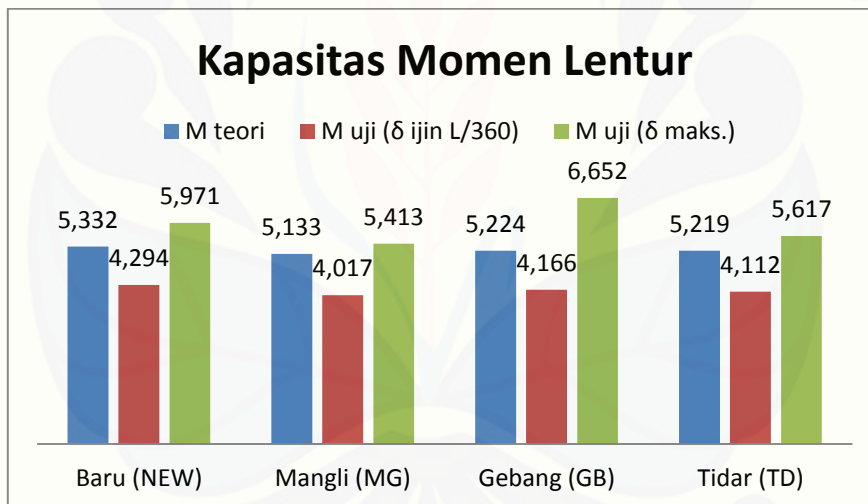
Gambar 4.21 Kurva hubungan beban – defleksi balok beton bertulang

Gambar hubungan beban dengan defleksi di rata-rata semua pengujian memperlihatkan bahwa sebelum terjadi retak pertama pada beton kurva beban – defleksi meningkat secara linier dengan sudut kemiringan kurva yang besar. Setelah terjadi retak, kurva defleksi meningkat tajam dengan sudut kemiringan yang kecil

sampai mencapai beban maksimum. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kekakuan balok karena terjadi retak pada beton. Peningkatan kurva yang terjadi cenderung mendatar tersebut menunjukkan adanya daktilitas pada balok (Haryanto, 2007).

Defleksi maksimum pada batas maksimum defleksi balok beton bertulang yaitu  $L/360 = 1,25$  mm. Perhitungan defleksi secara teori diperlukan sebagai pembandingan defleksi secara pengujian. Dari hasil pengujian, nilai beban saat batas lendutan maksimum ( $L/360 = 125$  mm) benda uji balok yaitu, NEW = 57,23 kN ( $M = 4,294$  kNm), MG = 53,53 kN ( $M = 4,017$  kNm), GB = 55,52 kN ( $M = 4,166$  kNm), TD = 54,8 kN ( $M = 4,112$  kNm).

Berikut grafik kapasitas momen lentur balok beton bertulang berdasarkan lendutan ijin ( $L/360$ ) dan saat terjadi lendutan maksimum.



Gambar 4.22 Kapasitas momen lentur balok

Dari gambar 4.21 diketahui bahwa momen uji saat lendutan ijin maksimum ( $L/360$ ) lebih kecil daripada momen teoritis, namun saat terjadi lendutan maksimum momen yang dihasilkan mampu melampaui momen teoritis balok. Hal ini menunjukkan bahwa balok mengalami lendutan ijin maksimum sebelum beban maksimum secara teori terpenuhi. Lendutan balok akan semakin bertambah besar seiring penambahan beban hingga balok mengalami keruntuhan. Balok yang

mengalami keruntuhan seperti ini biasanya terjadi pada penampang dengan rasio tulangan ( $\rho$ ) yang kecil, dan disebut *under-reinforced* (Ali Asroni, 2010).

Karena kerusakan terjadi pada baja tulangan yang menahan beban tarik lebih dulu dan baja tulangan bersifat liat, maka keruntuhan beton seperti ini disebut keruntuhan tarik atau keruntuhan liat (*ductile failure*). Pada balok yang mengalami keruntuhan liat, pada saat baja tulangan mulai leleh betonnya masih kuat (belum hancur), sehingga ndapat terjadi lendutan pada balok. Jika di atas balok ditambah lagi beban yang besar, maka lendutan balok semakin besar dan akhirnya dapat terjadi keruntuhan. Keadaan demikian ini menguntungkan bagi kepentingan kelangsungan hidup manusia, karena ada peringatan tentang lendutan membesar sebelum runtuh, sehingga sistem perencanaan beton bertulang yang *under-reinforced* ini lebih aman dan diperbolehkan (Ali Asroni, 2010).

## **BAB 5. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa kuat lentur teoritis dengan kuat lentur uji antara balok beton bertulang dengan baja tulangan bekas bongkaran dan balok beton bertulang dengan baja tulangan baru tidak terjadi perbedaan yang signifikan.
2. Berdasarkan hasil penelitian, baja tulangan bekas bongkaran yang berasal dari Mangli, Gebang, dan Tidar layak digunakan kembali sebagai material struktur beton bertulang.

### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang terkait dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah sampel benda uji agar hasil penelitian lebih aktual.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih detail terkait spesifikasi baja tulangan, asal bongkaran baja tulangan, dan umur bangunan bongkaran.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan baja tulangan ulir.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Surakarta: Graha Ilmu
- Badan Standarisasi Nasional. 2010. *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. *SNI 4431:2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*
- G Edward, Nawy. 2013. *Beton Bertulang*. Bandung: Refika Aditama
- Ginting, Arusmalem. (2008). “Perbandingan Kuat Lekat Tulangan Berdasarkan *Direct Tension Pullout Bond Test* dengan Kuat Lekat Tulangan pada Balok”. 1-6
- Gunawan P, Wibowo. (2007). “Pengaruh korosi baja tulangan terhadap kuat geser balok beton bertulang”. 21-29
- Irianti, Laksmi. (2009). “Tinjauan Kuat Geser dan Kuat Lentur Balok Beton Abu Ketel Mutu Tinggi dengan Tambahan Accelerator”. 167-174
- Lelono, Andri. 2009. “Kinerja Kuat Lentur pada Balok Beton dengan Pengekang Jaring-Jaring Nylon dengan Expanded Metal”. Skripsi. Semarang. Fakultas Teknik. Universitas Katolik Soegijapra
- Sagel R, Kole P, & Kusuma Gideon. 2008. *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: Erlangga



Setya Budi G. (2011). “Pengujian kuat tarik dan modulus elastisitas tulangan baja (kajian terhadap tulangan baja dengan sudut bengkok  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ )”.(11), 65-76

Sian, Buen, dkk. 2012. *Uji Eksperimental Kuat Lentur Balok dan Pelat Beton Bertulang dengan Agregat Kasar dan Halus Beton Daur Ulang*. Bandung : LPPM Universitas Katolik Parahyangan

Widanarko, Aris. (2013). “*Tinjauan Momen Lentur Balok Beton Bertulang dengan Penambahan Kawat yang Dipasang Menyilang pada Tulangan Geser*”. Skripsi. Surakarta. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Surakarta



# LAMPIRAN

A. Formulir rencana *Mix Design* beton mutu K175 menurut SNI 03-2834-2002

NO.	URAIAN	Grafik/Tabel/ Perhitungan	NILAI
1	Kuat tekan beton yang diisyaratkan pada umur 28 hari	Ditentukan	15 Mpa
2	Deviasi standar (s)	Tabel	7 Mpa
3	Nilai tambah (m)	Tabel	12 MPa
4	Kuat tekan rata-rata yang diinginkan ( $f'_{cr}=f'_c+m$ )	Perhitungan	27 Mpa
5	Jenis semen	Ditentukan	PC Tipe I
6	Jenis agregat kasar	Ditentukan	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Ditentukan	Alami
7	Faktor air semen	Tabel dan Grafik	0,6
8	Faktor air semen maksimum	Tabel	0,6
9	Nilai slump	Ditetapkan	80-120 mm
10	Ukuran maksimum agrerat kasar	Ditetapkan	20 mm
11	Kebutuhan air bebas	Tabel dan Perhitungan	207,15 liter
12	Kebutuhan semen	Perhitungan	345,25 kg
13	Kebutuhan semen minimum	Tabel	275 kg
14	Faktor Air Semen yang disesuaikan	-	0,6
15	Susunan besar butir agrerat halus	Grafik	Zona 4
16	Persen bahan agrerat halus	Grafik	27 %
17	Berat jenis relatif agrerat	Perhitungan	2,6473
18	Berat jenis beton	Grafik	2375 kg/m <sup>3</sup>
19	Kadar agregat gabungan (18-12-11)	Perhitungan	1822,60000 kg/m <sup>3</sup>
20	Kadar agregat halus (16*19)	Perhitungan	492,1020 kg/m <sup>3</sup>
21	Kadar agregat kasar (19-20)	Perhitungan	1330,4980 kg/m <sup>3</sup>

Bahan	Berat Jenis	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Kelembaban ( % )	Resapan (%)
Semen	3,27	1254,53	-	-
Air	-	1000	-	-
Pasir	2.6	1201,209	1,0115	7.6
Kerikil	2.61	1385,232	0,396	0,6374

Bahan	Jumlah Bahan	Koreksi	Banyaknya Bahan Aktual		Proporsi	
			Berat	Volume	Berat	Volume
Semen	345,25	0	345,25	0.298	1	1
Air	207,15	-29,2102	236,3602	0.164	0,684	0,858
Pasir	492,102	-32,4221	459,6799	0.512	1,331	1,39
Kerikil	1030,498	-3,2119	1327,2861	0.638	3,844	3,481

### Kesimpulan

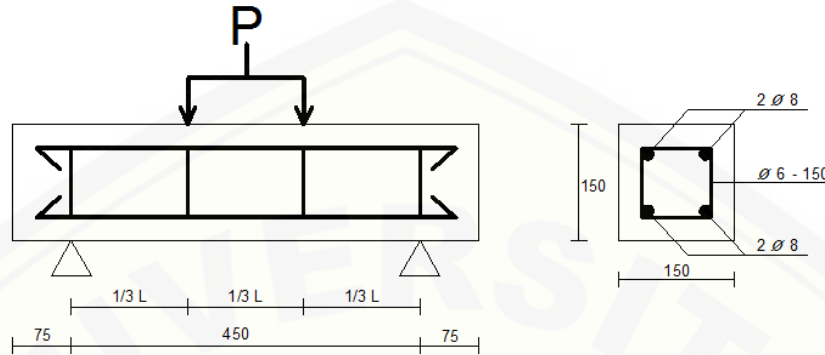
Volume	Berat			
	Air	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar
1 m <sup>3</sup>	236,3602	345,25	459,6799	1327,2861
1 adukan	7,5163	10,979	14,6178	42,2077

B. Hasil pengujian laboratorium balok beton bertulang

JENIS BAJA TULANGAN	BEKAS BONGKARAN									BARU		
	MG			GB			TD			NEW		
Kode Benda Uji	MG 1	MG 2	MG 3	GB 1	GB 2	GB 3	TD 1	TD 2	TD 3	NEW 1	NEW 2	NEW 3
No. Benda Uji	MG 1	MG 2	MG 3	GB 1	GB 2	GB 3	TD 1	TD 2	TD 3	NEW 1	NEW 2	NEW 3
Umur Benda Uji (hari)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Lebar Benda Uji (cm)	15,088	15,085	15,077	15,058	15,097	15,000	15,038	15,287	15,075	15,208	15,040	15,193
Tinggi benda Uji (cm)	15,045	15,205	15,027	15,018	15,000	15,127	15,068	14,998	15,078	15,095	15,227	15,182
Panjang Benda Uji (cm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Berat Benda Uji (kg)	32,75	33,2	32,45	32,77	32,46	32,94	33,1	33	33,1	32,4	32,81	33,08
Beban Max (kN)	64,65	75,56	76,24	90,71	88,9	86,4	85,28	70,03	69,3	79,89	79,61	79,28
Jarak Bentang (mm)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Momen Lentur (kNm)	4,851	5,669	5,720	6,805	6,669	6,482	6,398	5,254	5,199	5,994	5,973	5,948
Momen Lentur Rata-Rata (kNm)	5,413			6,652			5,617			5,971		
SD	0,488			0,162			0,677			0,023		

Sumber : Penelitian 2015



C. Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{teori}$ ) Benda Uji MG

Gambar 4.4 Dimensi penulangan balok beton

Diketahui :

Baja tulangan baru :

$$A_s = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$d_s = 40 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

$$d_{s'} = 40 \text{ mm}$$

$$f_c' = 15,8 \text{ MPa}$$

$$f_y = 348,446 \text{ MPa}$$

Jawab :

Kontrol tulangan tekan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{101 \cdot 348,446}{0,85 \cdot 15,8 \cdot 150} = 17,47 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a_{\text{min leleh}} &= \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d \cdot d'}{600 - f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 - 348,446} \\ &= 81,096 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $a < a_{\text{min leleh}}$ , berarti tulangan tekan belum leleh.

Penetapan nilai a :

$$T = Cc + Cs$$

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

$$As.fy = 0,85.15,8.150.a + As'.fs'$$

$$101.348,446 = 0,85.15,8.150.\beta.c + As'.\epsilon_s'.Es$$

$$35193,046 = 1712,325 c + 101. \frac{0,003.(c-ds')}{c}.200.000$$

$$35193,046 = 1712,325 c + \frac{60600}{c} (c-40)$$

---


$$35193,046 c = 1712,325 c^2 + 60600 c - 2424000$$

$$2424000 = 1712,325 c^2 - 35193,046 c$$

$$c = 30,92$$

$$a = c \times \beta$$

$$= 30,92 \times 0,85$$

$$= 26,28 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$a \text{ maks leleh} = \frac{600.\beta 1.dd'}{600+fy}$$

$$= \frac{600.0,85.40}{600+348,446}$$

$$= 59,15 \text{ mm}$$

Karena a (26,28 mm) < a maks leleh, berarti semua tulangan tarik sudah leleh (OK)

Karena tulangan tekan belum leleh, dihitung tegangan tulangan tekan  $f_s'$

$$f_s' = \epsilon_s'.Es$$

$$= \frac{0,003.(c-ds')}{c}.200.000$$

$$= \frac{0,003.(30,92-40)}{30,92}.200.000$$

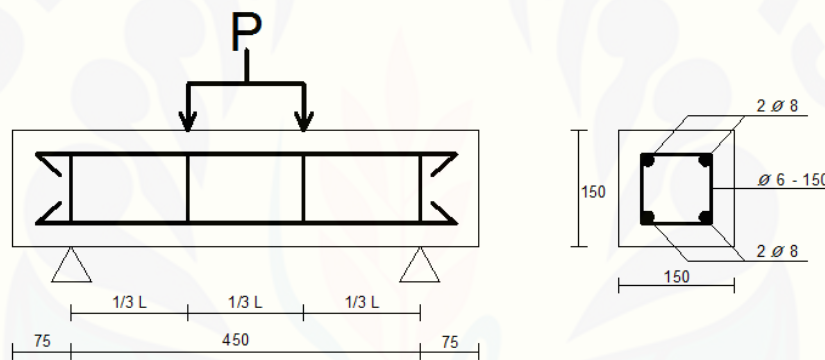
$$= -176,215 \text{ MPa} < f_y \text{ (OK)}$$

Momen penampang (Mn)

$$\Sigma M = 0$$

$$\begin{aligned} M &= C_c (d-/2) + C_s (d-d') \\ &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d-d_s') \\ &= 0,85 \cdot 15,8 \cdot 26,28 \cdot 150 \cdot (110-26,28/2) \\ &= 5132649 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{5,132649 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

D. Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{\text{teori}}$ ) Benda Uji GB



Diketahui :

Baja tulangan baru :

$$A_s = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$d_s = 40 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

$$d_s' = 40 \text{ mm}$$

$$f_c' = 15,8 \text{ MPa}$$

$$f_y = 373,501 \text{ MPa}$$

Jawab :

Kontrol tulangan tekan :

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{101.373,501}{0,85 \cdot 15,8 \cdot 150} = 18,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a \text{ min leleh} &= \frac{600 \cdot \beta 1 \cdot dd'}{600 - fy} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 - 373,501} \\ &= 90,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $a < a \text{ min leleh}$ , berarti tulangan tekan belum leleh.

Penetapan nilai  $a$  :

$$T = Cc + Cs$$

$$As \cdot fy = 0,85 fc' \cdot b \cdot a + As' \cdot fs'$$

$$As \cdot fy = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot a + As' \cdot fs'$$

$$101.373,501 = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot \beta \cdot c + As' \cdot es' \cdot Es$$

$$37723,601 = 1712,325 c + 101 \cdot \frac{0,003 \cdot (c - ds')}{c} \cdot 200.000$$

$$37723,601 = 1712,325 c + \frac{60600}{c} (c - 40)$$

x c

$$37723,601 c = 1712,325 c^2 + 60600 c - 2424000$$

$$2424000 = 1712,325 c^2 - 37723,601 c$$

$$c = 31,52$$

$$a = c \times \beta$$

$$= 31,52 \times 0,85$$

$$= 26,79 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} a \text{ maks leleh} &= \frac{600 \cdot \beta 1 \cdot dd'}{600 + fy} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 + 373,501} \end{aligned}$$

$$= 57,63 \text{ mm}$$

Karena  $a$  (26,79 mm) <  $a$  maks leleh, berarti semua tulangan tarik sudah leleh (OK)

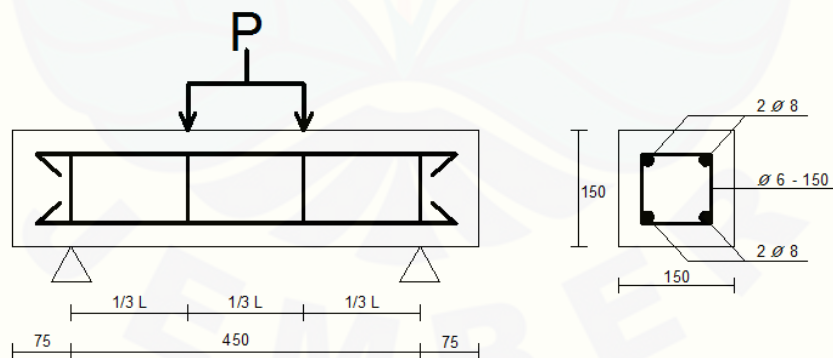
Karena tulangan tekan belum leleh, dihitung tegangan tulangan tekan  $f_s'$

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= \frac{0,003 \cdot (c - d_s')}{c} \cdot 200.000 \\ &= \frac{0,003 \cdot (31,55 - 40)}{31,55} \cdot 200.000 \\ &= -160,453 \text{ MPa} < f_y \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Momen penampang ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} \Sigma M &= 0 \\ M &= C_c (d - a/2) + C_s (d - d_s') \\ &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d_s') \\ &= 0,85 \cdot 15,8 \cdot 26,828 \cdot 150 \cdot (110 - 26,82/2) \\ &= 5224299 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{5,224299 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

E. Perhitungan Momen Lentur Teoritis ( $M_{teori}$ ) Benda Uji TD



Diketahui :

Baja tulangan baru :

$$A_s = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 2 \text{ } \varnothing 8 = 101 \text{ mm}^2$$



$$d_s = 40 \text{ mm}$$

$$d = 110 \text{ mm}$$

$$d_s' = 40 \text{ mm}$$

$$f_c' = 15,8 \text{ MPa}$$

$$f_y = 375,082 \text{ MPa}$$

Jawab :

Kontrol tulangan tekan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{101.375,082}{0,85 \cdot 15,8 \cdot 150} = 18,81 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a \text{ min leleh} &= \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d \cdot d'}{600 - f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 - 375,082} \\ &= 90,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $a < a \text{ min leleh}$ , berarti tulangan tekan belum leleh.

Penetapan nilai  $a$  :

$$T = C_c + C_s$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_s'$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot a + A_s' \cdot f_s'$$

$$101.375,082 = 0,85 \cdot 15,8 \cdot 150 \cdot \beta \cdot c + A_s' \cdot \epsilon_s' \cdot E_s$$

$$37883,282 = 1712,325 c + 101 \cdot \frac{0,003 \cdot (c - d_s')}{c} \cdot 200.000$$

$$37883,282 = 1712,325 c + \frac{60600}{c} (c - 40)$$

x c

$$37883,282 c = 1712,325 c^2 + 60600 c - 2424000$$

$$2424000 = 1712,325 c^2 - 37883,282 c$$

$$c = 31,52$$

$$a = c \times \beta$$

$$= 31,52 \times 0,85$$

$$= 26,79 \text{ mm}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} a \text{ maks leleh} &= \frac{600 \cdot \beta_1 \cdot d d'}{600 + f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 0,85 \cdot 40}{600 + 375,082} \\ &= 57,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $a$  (26,79 mm) <  $a$  maks leleh, berarti semua tulangan tarik sudah leleh (OK)

Karena tulangan tekan belum leleh, dihitung tegangan tulangan tekan  $f_s'$

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \cdot E_s \\ &= \frac{0,003 \cdot (c - d_s')}{c} \cdot 200.000 \\ &= \frac{0,003 \cdot (31,52 - 40)}{31,52} \cdot 200.000 \\ &= -161,382 \text{ MPa} < f_y \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Momen penampang (Mn)

$$\begin{aligned} \Sigma M &= 0 \\ M &= C_c (d/2) + C_s (d - d') \\ &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d_s') \\ &= 0,85 \cdot 15,8 \cdot 26,79 \cdot 150 \cdot (110 - 26,79/2) \\ &= 5218815 \text{ Nmm} \\ &= \mathbf{5,218815 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

F. Dokumentasi Penelitian



