

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN  
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN  
TERHADAP LENDUTAN (DEFLEKSI) BALOK**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ICHWAN SETIAWAN**  
NIM. 0110613021

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2007

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN  
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN  
TERHADAP LENDUTAN (DEFLEKSI) BALOK**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**ICHWAN SETIAWAN**

NIM. 0110613021

**Mengetahui dan menyetujui  
Dosen Pembimbing**

**Ir. M Taufik Hidayat, MT**  
NIP. 131 759 586

**Ir. Ristinah S, MT**  
NIP. 130 531 843

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN  
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN  
TERHADAP LENDUTAN (DEFLEKSI) BALOK**

Disusun Oleh :

**ICHWAN SETIAWAN**  
NIM. 0110613021

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus  
pada tanggal 9 Agustus 2007**

**Dosen Penguji**

**Ir. Arifi Soenaryo**  
NIP. 130 350 755

**Ir. M Taufik Hidayat, MT**  
NIP. 131 759 586

**Ir. Ristinah S, MT**  
NIP. 130 531 843

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Teknik Sipil**

**Ir. As'ad Munawir, MT**  
NIP. 131 574 850





## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap Lendutan (Defleksi) balok" ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bpk. Ir. Ahmad Wicaksono, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bpk. Ir. Wisnumurti, MT., selaku Sekretaris Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bpk. Ir. M. Taufik Hidayat, MT., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membagikan banyak ilmunya.
4. Ibu Ir. Ristinah S, MT., selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Ir. Arifi Soenaryo., selaku dosen penguji.
6. Bapak ibu Ir. M.Yussie dan Ernawati SIP yang selalu mendoakan dan memberikan dorongan.
7. Rekan – rekan angkatan 2001 yang tercinta dan semua pihak yang telah membantu, terima kasih atas segala dorongan, semangat, dan bantuan yang tulus selama ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu, kritik dan saran yang bermanfaat dari pembaca sangat kami harapkan demi kesempurnaannya, terima kasih.

Malang, Agustus 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	ix
RINGKASAN	x
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum	4
2.2. Beton Bertulang	5
2.3. Hubungan Tegangan – Regangan Beton dan Baja	6
2.3.1. Hubungan Tegangan – Regangan Beton	6
2.3.2. Hubungan Tegangan – Regangan Baja	6
2.4. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Lebih, dan Kurang	8
2.4.1. Penampang Balok Bertulangan Seimbang ( <i>Balanced</i> )	8
2.4.2. Penampang Balok Bertulangan Lebih ( <i>Overreinforced</i> )	9
2.4.3. Penampang Balok Bertulangan Kurang ( <i>Underreinforced</i> )	9
2.5. Penampang Balok Bertulangan Rangkap	11
2.5.1. Analisa Balok Bertulangan Rangkap	11
2.5.2. Penyaluran Tulangan	14
2.4.3. Penampang Balok Bertulangan Kurang ( <i>Underreinforced</i> )	9
2.6. Perhitungan Lendutan	16
2.6.1. Persamaan Lendutan	18

2.6.2. Modulus Elastisitas	19
2.6.3. Momen Inersia	20
2.7. Perilaku Defleksi Pada Balok	21
2.7.1. Taraf Praretak	21
2.7.2. Taraf Beban Pasca Retak	14
2.7.3. Taraf Retak Pasca – Service Ability dan Keadaan Limit	23
2.8. Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang Pada Balok	24
2.8.1. Lendutan Seketika Pada Balok	24
2.8.2. Lendutan Jangka Panjang Pada Balok	24
2.9. Hipotesis Penelitian	26

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3. Analisa Bahan yang digunakan	28
3.3.1. Semen	28
3.3.2. Air	28
3.3.3. Pasir dan Kerikil	28
3.3.4. Baja Tulangan	28
3.4. Rancangan Penelitian	28
3.5. Rancangan Balok Uji	29
3.6. Prosedur Penelitian dan Pengujian	30
3.7. Metode Pengumpulan Data	31
3.8. Analisis Lendutan	31
3.9. Variabel Penelitian	32
3.10. Analisis Data	32
3.10.1. Analisis Regresi	33
3.10.2. Analisis Varian Satu Arah	34
3.11. Diagram Alir Penelitian	36

### BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang	37
4.1.1. Semen	37
4.1.2. Air	37



4.1.3. Agregat Halus (Pasir)	37
4.1.4. Agregat Kasar (Batu Pecah)	38
4.1.5. Baja Tulangan	38
4.1.6. Pengujian Beton Segar	39
4.1.7. Pengujian Beton Keras	40
4.2. Pengujian Lendutan (Defleksi) Balok	41
4.2.1. Lendutan Maksimum Pada Balok Uji	42
4.3. Pembahasan	49
4.3.1. Pembahasan Penelitian	49
4.3.2. Pembahasan Lendutan Maksimum Balok	50
4.3.3. Pengujian Hipotesis	53
<b>BAB V. PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	57
<b>LAMPIRAN</b>	58



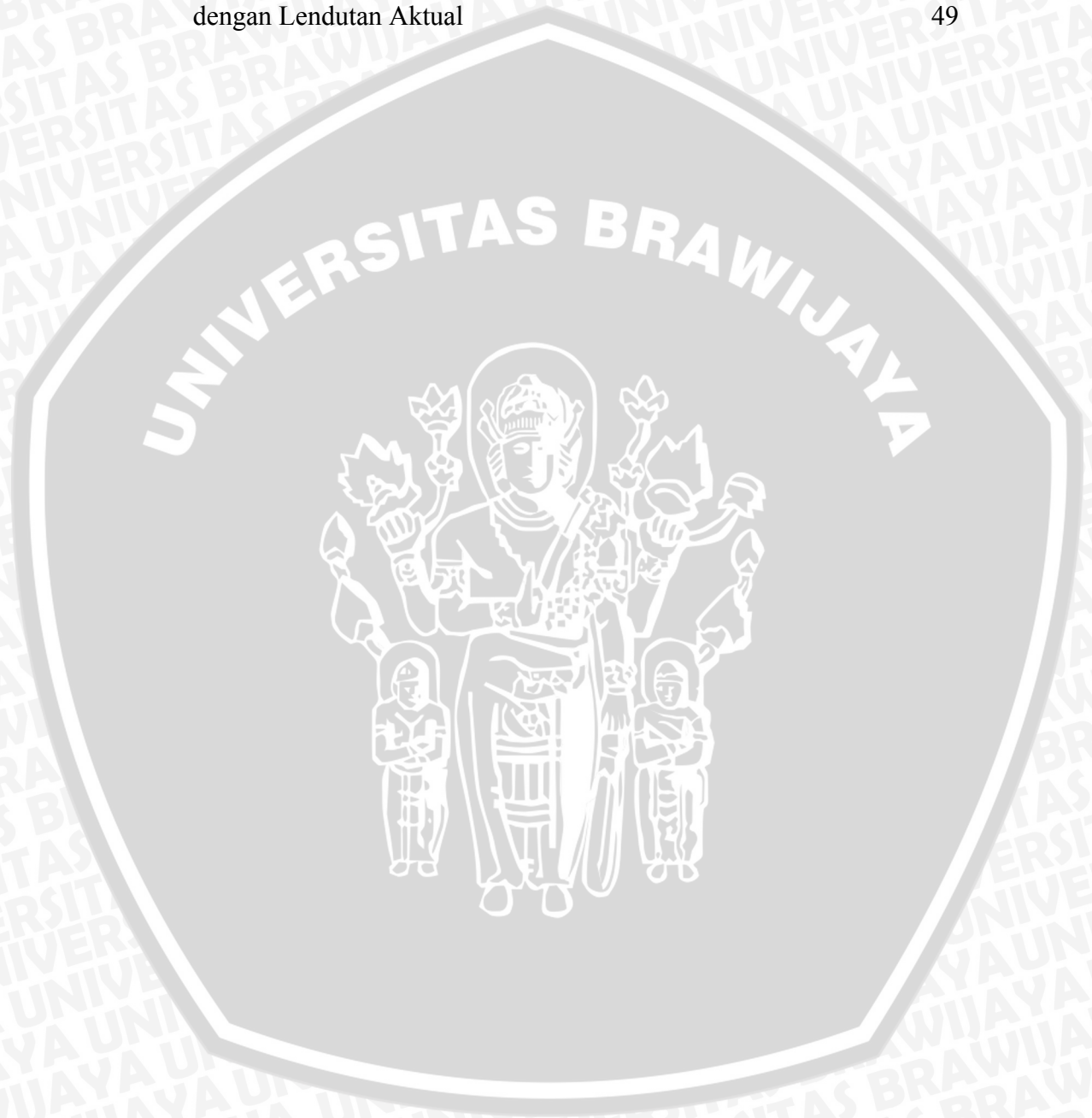
## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Perbandingan sifat Antara Beton dan Baja	7
Tabel 2.2.	Tebal Minimum Balok non Pratekan atau Plat Satu Arah Apabila Lendutan Tidak di hitung	14
Tabel 2.3.	Lendutan Ijin Maksimum	14
Tabel 3.1.	Karakteristik Benda Uji	25
Tabel 3.2.	Pengujian Balok	30
Tabel 3.3.	Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai $r$	33
Tabel 3.4.	Analisis Ragam untuk Klasifikasi Satu Arah	35
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	38
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	38
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Baja Tulangan	39
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	39
Tabel 4.5.	Hasil Uji Tekan Beton Silinder	40
Tabel 4.6.	Variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan pada balok dari perhitungan dan aktual	42
Tabel 4.7.	Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Uji	42
Tabel 4.8.	Lendutan maksimum balok dengan $f_c'$ rata-rata Sebesar 334.0773 kg/cm <sup>2</sup>	43
Tabel 4.10.	Prosentase Peningkatan Lendutan uji	49
Tabel 5.1.	Prosentase Peningkatan Lendutan uji	51

## DAFTAR GAMBAR

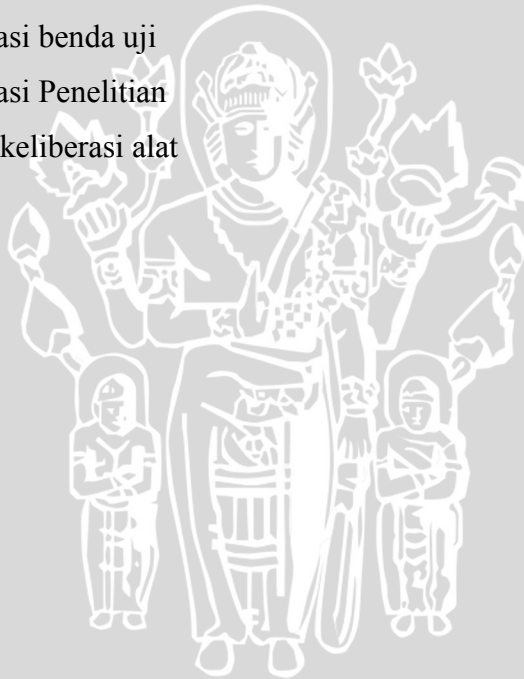
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Diagram Tegangan-Regangan pada Beton	7
Gambar 2.2.	Diagram Tegangan-Regangan pada Baja	7
Gambar 2.3.	Penampang Balok dengan Penulangan Seimbang	8
Gambar 2.4.	Penampang Balok dengan Penulangan Lebih	9
Gambar 2.5.	Penampang Balok dengan Penulangan Kurang	10
Gambar 2.6.	Analisa Balok Bertulang Rangkap	11
Gambar 2.7.	Bidang Momen Dasar untuk Beban Terbagi Rata	15
Gambar 2.8.	Persyaratan-Persyaratan Penyaluran Tulangan	15
Gambar 2.9.	Kondisi Pembebanan Struktur Balok	18
Gambar 2.10.	Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan ( $\delta$ ) Balok Beton Bertulang yang Didapat dari Hasil Pengamatan.	21
Gambar 2.11.	Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Praretak	22
Gambar 2.12.	Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Pasca Retak	22
Gambar 2.13.	Diagram Tegangan dan Regangan Pada Taraf Balok Serviceability	24
Gambar 3.1.	Balok Uji	29
Gambar 3.2.	Skema Pembebanan	30
Gambar 3.3.	Diagram Momen Balok	31
Gambar 3.4.	Diagram Pengerjaan Penelitian	36
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Lendutan Perhitungan	43
Gambar 4.2.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Lendutan Perhitungan dengan $f_c'$ rata-rata = 33,616 MPa	44
Gambar 4.3.	Grafik polynomial orde 3 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual	45
Gambar 4.4.	Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual	45
Gambar 4.5.	Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 1	46
Gambar 4.6.	Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 2	47

Gambar 4.7.	Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 3	47
Gambar 4.8.	Grafik polynomial orde 5 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual	48
Gambar 4.9.	Grafik polynomial orde 6 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual	49



**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Pengujian Agregat Halus	L1-1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	L2-1
Lampiran 3	Hasil Perhitungan Campuran Bahan	L3-1
Lampiran 4	Data Hasil Uji Tarik Baja	L4-1
Lampiran 5	Data Hasil Uji Tekan Beton Silinder	L5-1
Lampiran 6	Analisa perhitungan balok bertulang rangkap	L6-1
Lampiran 7	Data Lendutan Perhitungan dan Lendutan Aktual balok	L7-1
Lampiran 8	Analisa statistik data uji bahan	L8-1
Lampiran 9	Gambar Tulangan Balok Uji	L9-1
Lampiran 10	Dokumentasi benda uji	L10-1
Lampiran 11	Dokumentasi Penelitian	L11-1
Lampiran 12	Sertifikasi keliberasi alat	L12-1



## DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

$A_s$	= Luas tulangan tarik
$A_{s'}$	= Luas tulangan tekan
$a$	= Tinggi blok tekan persegi ekivalen $a = \beta.c$
$b$	= Lebar penampang balok
$c$	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
$d'$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan
$E_c$	= Modulus elastisitas beton
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
$f_c$	= Kuat tekan beton
$f_y$	= Tegangan luluh tarik
$f_y'$	= Tegangan luluh tekan
$f_s$	= Tegangan tulangan baja tarik dalam tulangan pada beban kerja
$h$	= Tinggi penampang balok
$P$	= Beban lentur luar
$z$	= Panjang lengan momen dalam
$\rho$	= Rasio penulangan tarik
$\phi$	= Diameter batang tulangan
$\beta$	= Faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekivalen beton
$\varepsilon$	= Regangan
$\varepsilon_c$	= Regangan beton tarik
$\varepsilon_c'$	= Regangan beton tekan
$\varepsilon_s$	= Regangan baja tarik
$\varepsilon_s'$	= Regangan baja tekan
$\varepsilon_y$	= Regangan baja leleh tarik
$\varepsilon_y'$	= Regangan baja leleh tekan
$\sigma'_{bm}$	= Kekuatan beton rata-rata
$\delta$	= Lendutan

## ABSTRAKSI

YUDI EKO PRASETYO, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2007, *Pengaruh variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap lendutan (defleksi) balok*. Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Ristinah S. MT.

---

---

Pada struktur beton bertulang seringkali dijumpai tulangan tumpuan yang diteruskan masuk ke lapangan. Hal tersebut adalah untuk mengatasi akibat-akibat dari redistribusi tegangan-tegangan setelah terjadinya retak-retak miring di sekitar tumpuan yang ekuivalen dengan pergeseran bidang momen nominal (PBI 1971: 68). Dalam SNI 03-2847-2002 pasal 14.12 ayat (3) mensyaratkan bahwa "Paling sedikit dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan hingga melewati titik belok sejauh tidak kurang dari nilai terbesar antar tinggi efektif komponen struktur  $12d_b$ , atau seperenambelas bentang bersih". Dengan kata lain bahwa pada tulangan momen negatif atau pada tumpuan minimal harus diteruskan sepertiga atau sekitar 30% dari tulangan total di tumpuan.

Syarat yang lain suatu balok harus memiliki kemampuan yang baik yaitu salah satunya lendutan. Lendutan balok-balok struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan, atau kondisi-kondisi ujungnya (seperti tumpuan sederhana atau ada tahanan karena kesinambungan batang), jenis pembebanan (beban terpusat ataukah beban terdistribusi), dan kekakuan lentur  $EI$  dari elemen. Dengan ada adanya penambahan tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan maka momen kapasitas balok berubah dan nilai inersia efektif balok juga berubah.

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil variasi balok uji sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 % dan 50 % dengan menggunakan balok berukuran 12 cm x 20 cm x 140 cm, dengan jarak antar tumpuan 120 cm. Tiap variasi di buat 3 buah sehingga total benda uji sebanyak 15 buah. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai lendutan yang terjadi dengan adanya variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan, dan mengetahui bagaimanakah bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap lendutan pada balok beton bertulang.

Berdasarkan analisis statistik hasil pengujian dengan mengambil resiko kesalahan 5 % di dapat nilai  $f_{hitung} = 4,928263 > f_{tabel} = 3,47805$  sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh yang signifikan dari variasi prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan terhadap lendutan (defleksi) balok. Sedangkan grafik hubungan antara variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan dan lendutan balok beton bertulang menunjukkan bahwa nilai lendutan minimum terjadi pada prosentase 33 % dan terjadi peningkatan nilai lendutan seiring dengan penambahan variasi prosentase tulangan yang digunakan.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton adalah suatu komposit dari bahan batu-batuan yang kuat sekali menerima tekanan tapi sangat lemah apabila menerima gaya tarik. Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar, yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan bahan secukupnya perekat semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Nilai kekuatan serta daya tahan (*durability*) beton merupakan fungsi dari banyak faktor diantaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur dan kondisi pengerasan serta perawatannya.

Dewasa ini perkembangan jasa kontruksi tidak pernah lepas dengan suatu struktur yang dinamakan beton bertulang yang penggunaannya telah banyak digunakan baik pada bangunan tingkat tinggi, gudang, jembatan maupun bangunan sipil lainnya. Struktur beton bertulang merupakan gabungan yang komposit antara beton dengan tulangan yang mempunyai peran masing-masing yaitu beton yang kuat dalam menahan kekuatan tekan sedangkan tulangnya berfungsi untuk menahan kekuatan tarik yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

Pada penggunaannya sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerjasama dan mampu membantu kelemahannya pada bagian yang menahan tarik. Sebuah batang baja tulangan yang tertanam baik dalam beton yang mengeras akan melekat sedemikian rapat sehingga diperlukan gaya yang cukup besar untuk menariknya keluar. Gejala ini disebut adhesi atau ikatan, dan hal ini memungkinkan kedua bahan bekerja sama sebagai suatu elemen. (*W. C. Vis dan R. Sagel*)



Struktur beton bertulang dapat dibedakan menjadi tiga elemen yaitu elemen balok, kolom dan plat. Sedangkan yang digunakan dalam penelitian lebih menitikberatkan pada balok. Balok adalah elemen horisontal pada struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban, baik beban horisontal maupun vertikal, yang berupa beban mati maupun beban hidup ke rangka pendukung vertikal (kolom), pada umumnya elemen balok di cor secara monolit dengan pelat dan secara struktural ditulangi dibagian bawah dan atas.

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 14.11 ayat 3 menyatakan bahwa paling sedikit dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan berdasarkan syarat-syarat yang ditentukan begitu pula pada pasal 14.11 ayat 1 juga menyatakan paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan.

Hal ini tidak menutup kemungkinan penggunaan tulangan rangkap yaitu kebutuhan akan penggunaan tulangan tekan meskipun diketahui bahwa sifat karakteristik beton yang mempunyai nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan nilai kuat tariknya yang berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya (*Istimawan Dipohusodo*). Tulangan rangkap ini biasanya digunakan untuk mengurangi penggunaan dimensi balok yang terlalu besar.

Suatu struktur yang baik dan aman harus mempunyai kemampuan pelayanan (*serviceability*) yang baik pula. Salah satu dari kemampuan pelayanan (*serviceability*) ini adalah kriteria lendutan yang merupakan fungsi akibat dari pembebanan, panjang bentang dan kekakuan dari suatu penampang. Sebagai penelitian akan digunakan variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap tulangan tekan pada balok persegi yang ditumpu secara sederhana untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap besarnya lendutan (*defleksi*) sehingga dapat diketahui persyaratan yang ekonomis, efisien dan hasil yang optimum.

### 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap lendutan (*defleksi*)?

### 1.3. Pembatasan Masalah

Supaya tercapai tujuan dan maksud yang diinginkan, maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yang dibahas meliputi :

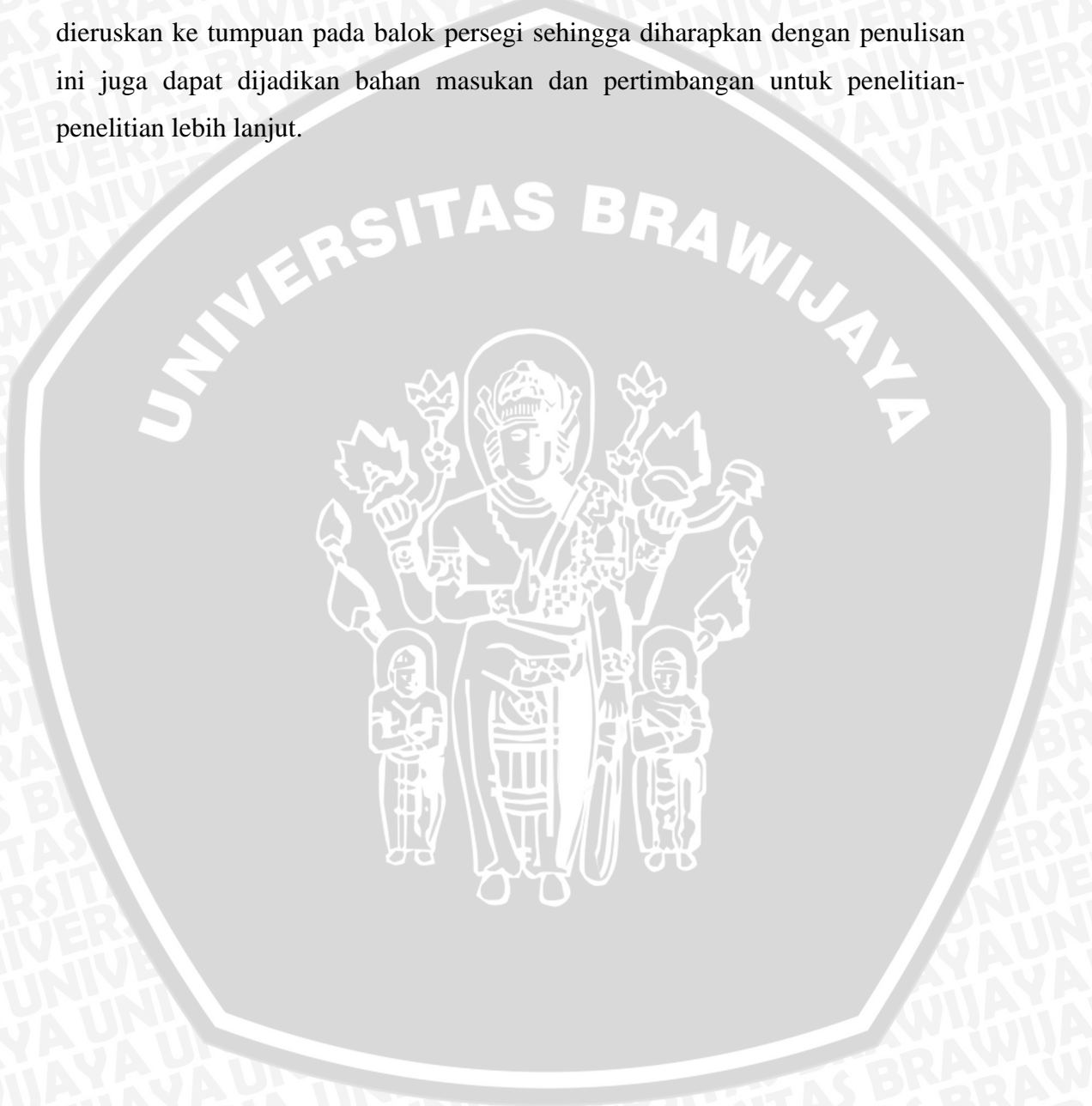
1. Penelitian dan pengujian hanya dilakukan di Laboratorium Bahan dan Kontruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil Universitas Brawijaya dan Universitas Muhammadiyah Malang.
2. Benda uji adalah balok persegi beton bertulang dengan tulangan rangkap dengan dimensi 25 cm x 20 cm x 140 cm.
3. Hanya meninjau lendutan (*defleksi*) yang terjadi..
4. Kondisi tumpuan sendi-roll.
5. Mutu beton yang digunakan adalah  $f'c = 22,5$  Mpa.
6. Tidak memperhitungkan beban horisontal.
7. Pengujian dilakukan dengan 2 beban terpusat.
8. Perbandingan tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %.
9. Kondisi *Underreinforced*.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar nilai lendutan (*defleksi*) akibat dari variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada balok persegi.

### 1.5. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penulisan skripsi ini yaitu untuk mengetahui nilai lendutan yang lebih jelas pada balok akibat variasi dari prosentase tulangan lapangan yang diuruskan ke tumpuan pada balok persegi sehingga diharapkan dengan penulisan ini juga dapat dijadikan bahan masukan dan pertimbangan untuk penelitian-penelitian lebih lanjut.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Suatu elemen balok akan mengalami dua kondisi yaitu kondisi tekan dan kondisi tarik, yang hal ini antara lain karena adanya pengaruh lentur ataupun gaya lateral. Sedangkan balok dalam perencanaannya dapat memakai tulangan tunggal dan tulangan rangkap. Pemakaian tulangan tunggal hanya memakai tulangan tarik saja dan pemakaian tulangan rangkap menggunakan tulangan tarik dan tulangan tekan. Pemakaian tulangan tekan pada balok ini tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan tulangan tariknya karena suatu balok beton mempunyai kekuatan tekan yang relatif tinggi.

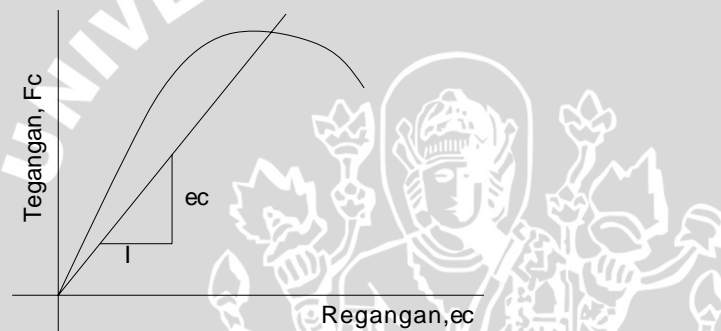
Penggunaan tulangan rangkap pada umumnya berada pada daerah perletakan karena pada daerah ini terjadi kondisi tekan sehingga diperlukan tulangan tekan. Pada tengah bentang boleh tidak digunakan tulangan rangkap karena pada daerah ini terjadi kondisi tarik sehingga diharuskan adanya tulangan tarik. Namun dalam hal ini hampir semua tulangan tarik diteruskan ke perletakan sehingga dapat berfungsi sebagai tulangan tekan. Panjang penyaluran tulangan harus cukup diberikan juga tulangan-tulangan tarik dan tekan yang harus terikat baik dengan sengkang tertutup untuk mencegah terjadinya tekuk tulangan tekan.

Pada SNI 03-2847-2002 pasal 14.11 ayat 3 menyatakan bahwa paling sedikit dari jumlah tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada suatu tumpuan harus ditanamkan berdasarkan syarat-syarat yang ditentukan begitu pula pada pasal 14.11 ayat 1 juga menyatakan paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan ke dalam tumpuan. Hal ini juga yang membuat penggunaan tulangan rangkap sering juga digunakan sebagai pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural yang membatasi dimensi balok. Di dalam balok yang menggunakan tulangan rangkap untuk mengurangi ukuran penampang, lendutan (defleksi) yang terjadi boleh jadi akan berkurang.

Lendutan terjadi karena adanya beban yang bekerja pada balok. Lendutan yang besar akan mengganggu kemampuan layak atau kinerja struktur pada beban kerja. Lendutan yang diijinkan pada sistem struktur sangat tergantung pada besarnya

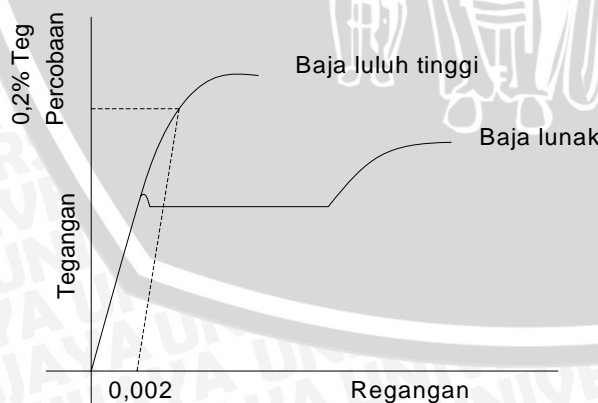
lendutan yang masih bisa ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan estetis dan tanpa kerusakan pada elemen yang mengalami lendutan.

**Beton bertulang** adalah suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, yang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja. Manfaat dan keserbagunaannya dicapai dengan mengkombinasikan segi-segi yang terbaik dari beton dan baja. Baja penguat atau baja tulangan memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya.



**Gambar 2.1.** Diagram tegangan-regangan pada beton

Sumber : Perencanaan Beton Berulang, Mosley & Bungey



**Gambar 2.2.** Diagram tegangan-regangan pada baja

Sumber : Perencanaan Beton Berulang, Mosley & Bungey

Beberapa sifat sangat berbeda dari kedua bahan tersebut adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Perbandingan sifat antara beton dan baja

Kriteria bahan	Beton	Baja
Kekuatan tarik	Jelek	Bagus
Kekuatan tekan	Bagus	Bagus, tetapi batang yang langsing akan menekuk
Kekuatan geser	Cukup	Bagus
Keawetan	Bagus	Berkarat bila tidak terlindung
Ketahanan akan kebakaran	Bagus	Jelek – mengalami kehilangan kekuatan secara cepat pada temperatur tinggi

Sumber : Mosley dan Bungey (1989 : 1)

Dari tabel 2.1 dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dengan demikian, apabila keduanya dikombinasikan, baja akan dapat menyediakan kekuatan tarik dan barangkali sebagian kekuatan geser, sedangkan beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sekaligus melindungi baja supaya awet dan tahan akan kebakaran. Kombinasi beton dan tulang baja akan menghasilkan aksi komposit, yang berarti beton dapat melekat dengan baik mengelilingi tulangan baja. Apabila pelekatan ini tidak mencukupi, tulangan baja akan tergelincir di dalam beton.

Kekuatan tarik beton besarnya kira-kira 10% dari kekuatan tekan. Oleh karena itu hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulangan bajalah yang direncanakan memikul gaya tarik tersebut, yang dipindahkan oleh pelekatan diantara bidang singgung kedua bahan tersebut.

Walaupun dalam perhitungan tidak diperlukan adanya tulangan baja, suatu jumlah minimum dari tulangan ditempatkan pada elemen struktur tekan untuk melindungi terhadap efek dari momen lentur yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat meretakkan bahkan meruntuhkan bagian yang tidak diberi tulangan.

## 2.2 Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang

Perilaku sifat dan karakteristik beton bertulang merupakan sifat mekanis dari beton yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

### 1) Kekuatan Tekan ( $f_c'$ )

Kuat tekan beton diawali oleh tegangan tekan maksimum  $f_c'$  dengan satuan  $N/m^2$  atau MPa. Sebelum diberlakukannya sistem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan  $kg/cm^2$ . Kekuatan tekan beton bergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton ( $f_c'$ ) ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat di bawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara  $\pm 10-65$  MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa. Kekuatan beton pada struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

### 2) Kekuatan Tarik ( $f_{ct}'$ )

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal adalah :

- ☆ 9% - 15%  $f_c'$  (Istimawan Dipohusodo, 1999)
- ☆ 10% - 20%  $f_c'$  (Edward G. Nawy, 1990)
- ☆ 10%  $f_c'$  (W. H. Mosley, 1989)

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui *pengujian split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya.

### 3) Kekuatan Geser

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan-percobaan kuat tekan dan tarik, karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan-tegangan yang lainnya. Banyak variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai literatur, mulai dari 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal sampai sebesar 85% dari kekuatan tekan, pada kombinasi geser langsung dan tekan. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser seringkali diabaikan karena tegangan besar biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah betonnya mengalami kegagalan tarik diagonal.

Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan, balok dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut :

#### 1) Penampang *balanced*

Tulangan tarik mulai meleleh tepat pada saat beton mulai mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serta tepi yang tertekan adalah 0.003 in/in. Sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu  $\epsilon_y = f_y/E_c$ .

#### 2) Penampang *overreinforced*

Pada saat awal keruntuhan, regangan baja  $\epsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya,  $\epsilon_y$ . Dengan demikian tegangan baja ( $f_s$ ) juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya,  $\epsilon_y$ . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Berlebihnya tulangan baja akan mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan secara mendadak tanpa diawali gejala peringatan terlebih dahulu.

#### 3) Penampang *underreinforced*

Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan maka garis netral akan lebih naik sedikit dari keadaan seimbang. Tulangan baja terus bertambah panjang dengan bertambahnya tegangan di atas  $\epsilon_y$ , tetapi gaya tarik pada tulangan baja tidak bertambah besar. Berdasarkan keseimbangan gaya horizontal  $\Sigma H = 0$ , gaya

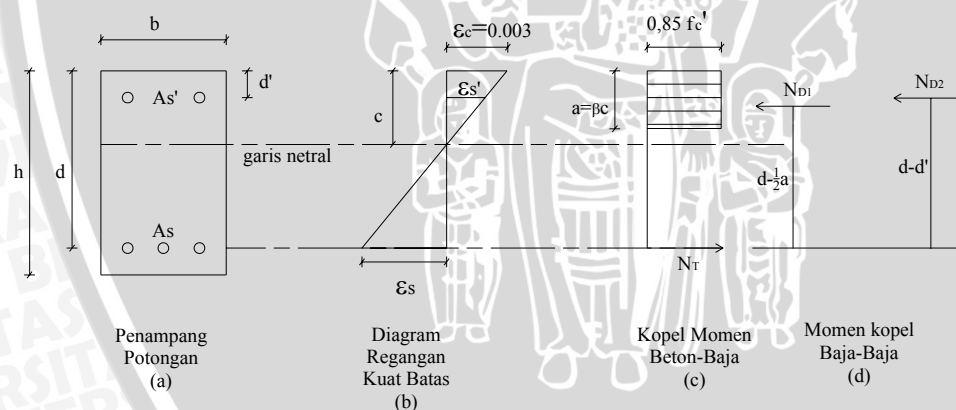


tekan beton tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus meningkat berusaha mengimbangi beban sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang berkurang yang berarti posisi garis netral bergerak naik. Proses tersebut berlanjut terus sampai beton pada daerah tekan tidak mampu lagi menahan gaya tekan. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja dan setelah baja mencapai titik luluh lendutan balok meningkat tajam. Meskipun tulangan baja berperilaku daktil, tidak akan tertarik lepas dari beton sekalipun terjadi kehancuran. (Istimawan, 1994 : 35)

### 2.3. Penampang Balok Bertulangan Rangkap

#### 2.3.1. Analisa Balok Bertulangan Rangkap

Apabila besar penampang suatu gelagar dibatasi, mungkin dapat terjadi keadaan dimana kekuatan tekan beton tidak dapat memikul tekan yang ditimbulkan akibat bekerjanya momen lentur. Dalam keadaan seperti ini dapat ditambah tulangan dalam daerah tekan, yang akan menghasilkan apa yang disebut sebagai gelagar dengan tulangan rangkap, yaitu gelagar yang mempunyai baik tulangan tarik maupun tekan. (Winter, 1993 hal. 120)



**Gambar 2.3.** Analisa Balok Bertulang Rangkap

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk menganalisisnya pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja, hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan ( $f_s'$ ) merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan. Terdapat dua kondisi umum yang dapat digunakan dalam menganalisa keberadaan tulangan rangkap ini, yaitu:

1. Tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat dimana regangannya luluh ( $\epsilon_y$ ). Apabila regangan tekan baja ( $\epsilon_s'$ ) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya ( $\epsilon_y$ ) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja ( $f_s'$ ) diambil sama dengan tegangan luluhnya ( $f_y$ ), sedangkan bila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja  $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$
2. Apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan  $\epsilon_s' < \epsilon_y$  (belum mencapai luluh).

Untuk tercapainya masing-masing kondisi (keadaan) tersebut tergantung dan posisi garis netral penampang yang terjadi. Kuat momen total balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dalam dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan.

Dengan menganggap tulangan baja tarik dan tekan telah meluluh, sehingga :

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-1)$$

Keseimbangan gaya-gaya :  $\Sigma(H) = 0$ , sehingga  $f_s' = f_y$  :

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \quad (2-2)$$

$$A_s f_y = 0,85 f_c' ab + A_s' f_y$$

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 \cdot f_c') b} \quad (2-3)$$

Dengan menggunakan anggapan sama dengan yang dipakai pada balok bertulangan tarik saja tentang hubungan antara tinggi blok tegangan beton tekan dengan garis netral penampang balok terhadap serat tepi tekan ( $a = \beta \cdot c$ ), maka letak garis netral dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk memeriksa regangan-regangan tulangan baja.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-4)$$

Pemeriksaan regangan-regangan untuk mengetahui apakah asumsi yang digunakan benar, yang berarti bahwa kedua penulangan baik tulangan tekan maupun tarik telah meluluh sebelum beton hancur seperti yang terlihat pada gambar 2.6. b.

Regangan yang diperhitungkan terjadi pada saat dicapai momen ultimit, adalah :

$$\varepsilon_s' = \left( \frac{c - d'}{c} \right) 0,003 \quad (2-5)$$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d - c}{c} \right) 0,003 \quad (2-6)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-7)$$

Apabila  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$  dan  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$  untuk mendapatkan nilai  $c$  digunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' f_s' \quad (2-8)$$

$$f_s' = 0,003 \cdot \left( \frac{c - d'}{c} \right) E_s \quad (2-9)$$

$$f_s' = 0,003 \left( 1 - \frac{\beta d'}{a} \right) E_s \quad (2-11)$$

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' \cdot 0,003 \left( 1 - \frac{\beta d'}{a} \right) E_s \quad (2-12)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

$$M_n = N_{D1} \cdot (d - \frac{1}{2} a) + N_{D2} \cdot (d - d') \quad (2-13)$$

Dari uraian diatas pada penampang balok persegi dengan penulangan tarik saja yang bertugas menahan tekanan adalah beton, sedangkan pada balok bertulang rangkap yang bertugas adalah beton bersama-sama dengan baja tekan. Penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 2.6. Pada bagian balok yang mengalami tekan, gaya desak akan diterima oleh beton dan baja tulangan. Berdasarkan rumus 2-21 Nilai  $N_{D2}$  dipengaruhi oleh besarnya luas tulangan. Dimana  $N_{D2} = A_s' f_s'$ , maka semakin besar luas tulangan tekan ( $A_s'$ ) nilai  $M_n$  totalnya akan semakin besar.

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya kurang dari pada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulang lemah. Keadaan batas penampang demikian akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar

regangan batas  $\varepsilon_c = 0,003$  dan regangan tarik baja tulangan  $\varepsilon_s$  yang melampaui regangan pada penulangan titik leleh  $\varepsilon_y$ . Penampang-penampang yang mengalami lentur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tulangnya berupa tulangan lemah karena keadaan ini menjamin kemampuan rotasi yang besar pada penampang-penampang kritis, dimana keruntuhan balok diawali oleh peringatan berupa lendutan yang semakin besar.

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya lebih daripada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan kuat. Keadaan batas penampang demikian juga akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas  $\varepsilon_c = 0,003$ , tetapi dengan regangan tarik baja tulangan  $\varepsilon_s$  yang belum mencapai regangan pada permulaan titik leleh  $\varepsilon_y$ . Penampang-penampang kritis demikian tidak memiliki kemampuan rotasi yang besar, sehingga kemampuan konstruksi untuk mengadakan redistribusi momen dan gaya-gaya pada keadaan batas sangat terbatas, disertai dengan keruntuhan yang mendadak tanpa diawali oleh suatu peringatan.

#### 2.4. Perhitungan Lendutan

Syarat kemampuan layanan yang juga harus diperhatikan adalah masalah lendutan. Lendutan yang perlu diperhatikan adalah yang terjadi pada kondisi pembebanan normal. Dalam keadaan bekerja, suatu struktur memikul beban mati sepenuhnya ditambah dengan beberapa bagian atau seluruh beban hidup perencanaan maksimum. Faktor keamanan yang biasa dipakai memberikan kepastian bahwa pada saat memikul beban kerja, tulangan atau beton tidak akan mengalami tegangan yang besarnya berada diluar batas daerah elastis masing-masing bahan tersebut.

Lendutan balok-balok struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan, atau kondisi-kondisi ujungnya (seperti tumpuan sederhana atau ada tahanan karena kesinambungan batang), jenis pembebanan (beban terpusat ataukah beban terdistribusi), dan kekakuan lentur  $EI$  dari elemen. Dan apabila suatu balok non pratekan tidak memperhitungkan lendutan maka syarat berikut harus terpenuhi :

**Tabel 2.2.** Tebal minimum balok non pratekan atau plat satu arah apabila lendutan tidak dihitung.

TEBAL MINIMUM, h				
Komponen Struktur	Dua Tumpuan	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
	Komponen tidak mendukung atau menyatu dengan partisi atau kontruksi lain yang akan rusak akibat lendutan besar			
Plat Masif Satu Arah	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Balok atau Plat Rusak Satu Arah	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Sumber : Tabel 9.5 (a) SNI 03-2874-2002

Syarat umum adalah bahwa baik ketepatangunaan maupun untuk kerja suatu kontruksi tidak boleh terganggu oleh lendutan yang terjadi sehingga terdapat lendutan ijin maksimum yang harus terjadi berdasarkan pada komponen struktur sehingga dalam SNI 03-2874-2002 diatur sebagai berikut :

**Tabel 2.3.** Lendutan Ijin Maksimum

TIPE KOMPONEN STRUKTUR	LENDUTAN YANG DIPERHITUNGGAN	BATAS LENDUTAN
Atap datar tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan akibat beban hidup L	$\frac{l}{180}$
Lantai tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan akibat beban hidup L	$\frac{l}{360}$
Kontruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural jumlah dari lendutan jangka panjang	$\frac{l}{480}$
Kontruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak rusak akibat lendutan yang besar	akibat semua beban yang bekerja dan lendutan seketika yang terjadi akibat penambahan sembarang beban hidup	$\frac{l}{240}$

Sumber : Tabel 9.5. (b) SNI 03-2847-2002

## 2.5. Persamaan Lendutan

Secara umum persamaan lendutan pada balok elastis dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\delta_{maks} = \beta_a \frac{ML^2}{EI_e} \quad (2-14)$$

Dimana :

$\beta_a$  = suatu koefisien yang tergantung pada tumpuan dan kondisi pembebanan

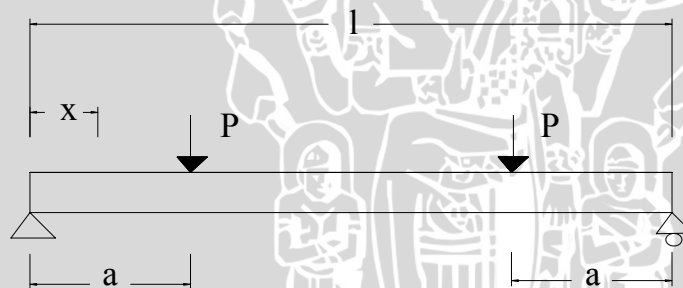
M = momen yang bekerja pada penampang

$E_c$  = modulus elastis beton

$I_e$  = momen inersia efektif

L = panjang bentang

Adapun menurut Nawy, persamaan lendutan didefinisikan sebagai berikut menurut jenis pembebanan dan tumpuan yang mendukung struktur balok beton seperti pada gambar gambar 2.9. :



**Gambar 2.4.** Kondisi pembebanan struktur balok di atas tumpuan sederhana

Sumber : E.G. Nawy,1990 :270

$$\delta x \text{ (jika } x < a) = \frac{0,5 \cdot px}{6E_c I} (3la - 3a^2 - x^2) \quad (2-15)$$

$$\delta x \text{ (jika } x > a \text{ dan } x < (1-a)) = \frac{0,5 \cdot pa}{6E_c I} (3lx - 3x^2 - a^2) \quad (2-16)$$

$$\delta_{maks} \text{ (ditengah bentang)} = \frac{0,5 \cdot pa}{24E_c I} (3l^2 - 4a^2) \quad (2-17)$$

Balok yang mempunyai tulangan tekan dapat diperlakukan seperti pada balok bertulangan tunggal, kecuali dalam hal adanya kontribusi tulangan tekan terhadap kekakuan balok, sebab adanya tulangan tekan ini sangat memperbesar kekakuan balok. Sebagai momen inersia penampang tak retak  $I_g$  dapat digunakan tanpa kehilangan ketelitian. Kontribusi tulangan tekan  $A_s'$  terhadap momen inersia penampang retak  $I_{cr}$  harus diperhitungkan.

$$A_s \cdot f_s = by \frac{f_c}{2} - A_s' f_c \frac{y - d'}{y} + A_s' f_s' \quad (2-18)$$

Persamaan untuk menghitung nilai  $y$  untuk balok dengan tulangan tekan :

$$\frac{by^2}{3} + [n \cdot A_s + (n - 1) A_s'] y - n \cdot A_s \cdot d - (n - 1) A_s' d' = 0 \quad (2-19)$$

Momen inersia  $I_{cr}$  penampang retak dapat ditulis sebagai berikut :

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + n \cdot A_s (d - y)^2 + (n - 1) A_s' (y - d')^2 \quad (2-20)$$

## 2.6. Modulus Elastisitas

Seperti diketahui, beton bertulang terdiri dari bahan beton yang diberi penguat yang terdiri dari tulangan baja. Dengan demikian terdapat dua unsur bahan utama yang berbeda sifatnya, membentuk mekanisme kerjasama struktural di dalam komponen. Susunan bahan yang demikian dinamakan komposit. Teori balok yang umumnya memisalkan modulus yang sama di dalam tarik dan tekan untuk bahan yang homogen.

$$E_c = 0.043 \cdot w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk beton dengan berat isi antara } 1500\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad \text{untuk beton berbobot normal } 2200\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$$

Dimana :  $E_c$  = modulus elastisitas beton tekan (Mpa)

$w_c$  = berat isi beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$f'_c$  = kuat tekan beton (Mpa)

Perbandingan modulus bahan baja terhadap beton disebut juga angka ekuivalen

$$n = \frac{E_s}{E_c}, \quad E_s = 29 \times 10^6 \text{ .psi (} 200.000 \text{ Mpa)}$$

### 2.7. Momen Inersia

Pedoman pengendalian lendutan terdapat pada SNI 03-2847-2002 pasal 9.1.2. Teori yang digunakan yaitu pemeriksaan lendutan didasarkan atas perilaku bahan pada strata beban kerja (layan). Pada strata beban layan pada awalnya komponen struktur beton terlentur masih menampilkan perilaku elastis tetapi kemudian mengalami retak di daerah tarik pada saat momen yang bekerja sedemikian besar sehingga timbulnya regangan tarik yang melampaui kuat tarik beton.

Momen inersia penampang retak merupakan batas ekstrim minimum dari rentang nilai yang digunakan untuk memperhitungkan besarnya lendutan. Sebagai batas lawannya, dimana penampang masih mampu untuk bertahan terhadap lendutan, ialah momen inersia keadaan penampang utuh tanpa retak. Pada kenyataannya  $I_{cr}$  dan  $I_g$  terdapat bersamaan dalam suatu komponen struktur terlentur dimana momen maksimum yang bekerja melampaui batas momen retak.

Hasil penelitian Bronson menunjukkan bahwa nilai momen inersia realistik untuk perhitungan lendutan terletak diantara kedua batas ekstrim tersebut, dimana momen inersia efektif bernilai :

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (2-21)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk :

$$I_e = I_{cr} + \left( \frac{M_{cr}}{M_{maks}} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \quad (2-22)$$

$$I_{cr} < I_e < I_g \quad (2-23)$$

Dengan demikian nilai momen inersia efektif tergantung pada nilai kedua pembatasnya, momen inersia penampang retak dan momen inersia penampang utuh, dimana:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} = \text{momen retak} \quad (2-24)$$

$I_g$  = momen inersia dari penampang brutobeton yang tidak retak, terhadap sumbu pusat, dengan mengabaikan tulangan.

$$I_g = \frac{bh^3}{12} \quad (2-25)$$

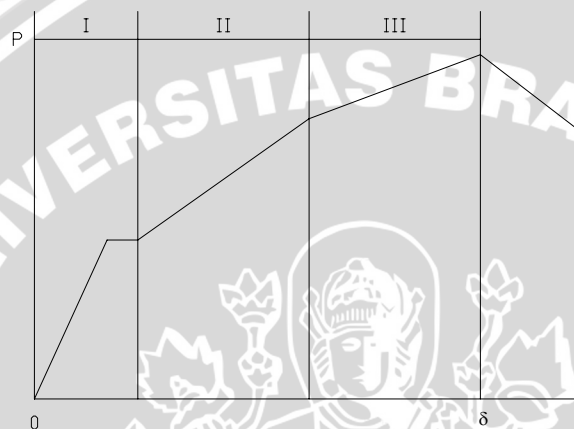
$f_r$  = modulus runtuh beton.  $f_r = 7.5\sqrt{f'_c}$



$y_t$  = jarak dari garis netral terhadap serat tarik ekstrim.  $y_t = \frac{h}{2}$

## 2.8. Perilaku Defleksi pada Balok

Perilaku balok yang dibebani hingga runtuh dinyatakan dengan kurva hubungan antara beban dengan lendutan. Taraf keruntuhan menurut Grafik terbagi atas:

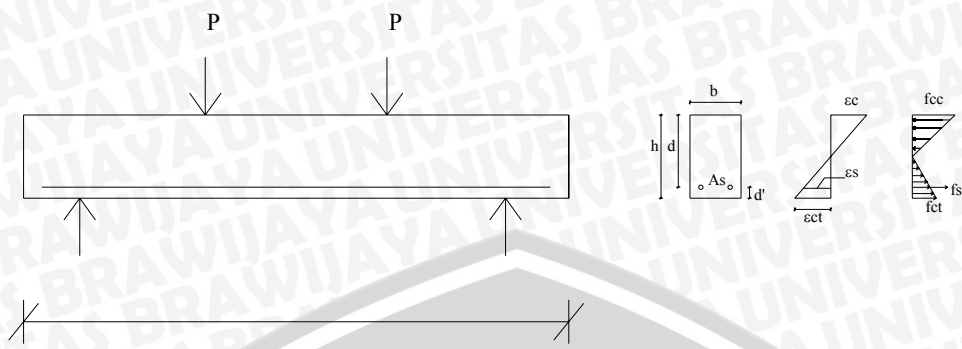


**Gambar 2.5.** Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan ( $\delta$ ) Balok Beton Bertulang yang Didapat dari Hasil Pengamatan.

Sumber : Nawy, E. G, 1990 : 256

### 2.8.1. Taraf Praretak (Daerah I)

Pada daerah ini batang-batang struktural bebas retak. Kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil dari pada kekuatannya akibat lentur dan besarnya berbanding lurus dengan regangan yang terjadi. Pada pembebanan yang terjadi, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran ( $f_r$ ), maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan

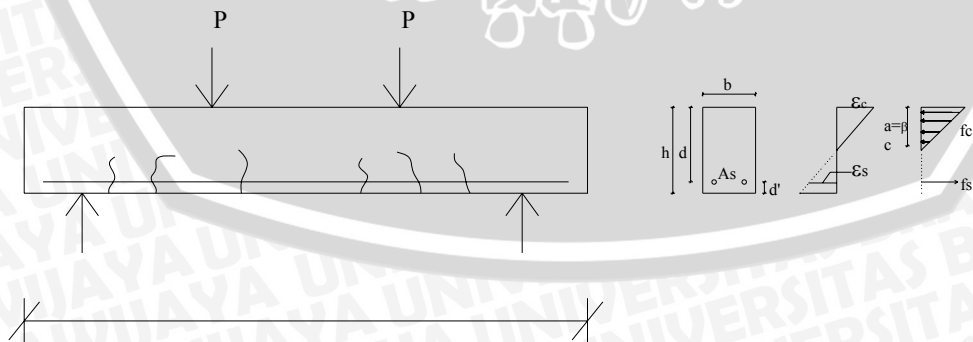


**Gambar 2.6.** Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Praretak.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

**2.8.2. Taraf Beban Pasca retak (Daerah II)**

Apabila beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai dan mulai terjadi retak-retak akibat tarik yang menjalar keatas sampai mendekati garis netral. Garis netral tersebut kemudian bergeser keatas diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton dikatakan sudah tidak ada lagi. Ini berarti kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban-penurunan didaerah ini semakin landai dibandingkan dengan taraf praretak. Pada taraf ini tegangan beton tidak mencapai kurang lebih sebesar  $0.5 f'c$ , maka hubungan antara tegangan dan regangan akan terus berlangsung mendekati hubungan yang berbanding lurus.



**Gambar 2.7.** Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Pasca Retak.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

Karena tegangan baja  $f_s = E_s \cdot \varepsilon_s$  dan tegangan beton  $f_c = E_c \cdot \varepsilon_c$  maka persamaan di atas ditulis sebagai :

$$A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s = \frac{bc}{2} \cdot E_c \cdot \varepsilon_c \quad (2-26)$$

Dan segitiga sebangun di atas :

$$\frac{\varepsilon_c}{y} = \frac{\varepsilon_s}{d-y} \text{ atau } \varepsilon_s = \varepsilon_c \left( \frac{d}{y} - 1 \right) \quad (2-27)$$

Substitusi dari dua persamaan di atas adalah :

$$A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_c \left( \frac{d}{y} - 1 \right) = \frac{b \cdot y}{2} \cdot E_c \cdot \varepsilon_c \text{ atau} \quad (2-28)$$

$$\frac{A_s \cdot E_s}{E_c} \left( \frac{d}{y} - 1 \right) = \frac{b \cdot y}{2},$$

Dimana  $n = \frac{E_s}{E_c}$  maka persamaan menjadi :

$$\frac{by^2}{2} + n \cdot A_s \cdot y - n \cdot A_s \cdot d = 0 \quad (2-29)$$

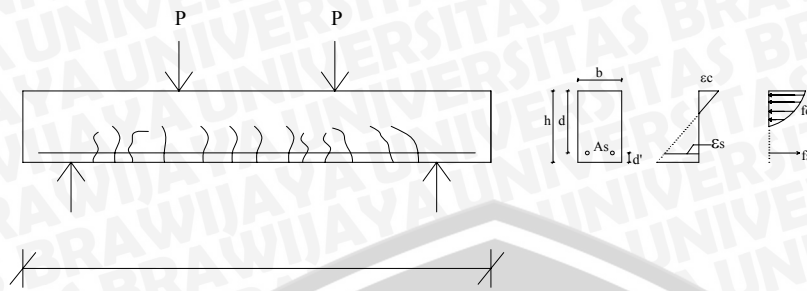
Sehingga besarnya  $y$ -pun dapat diperoleh dari persamaan di atas.

Momen inersia  $I_{cr}$  dapat diperoleh dari :

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2, \text{ (tulangan tunggal)} \quad (2-30)$$

### 2.7.3. Taraf Retak Pasca – Serviceability dan Keadaan Limit (daerah III)

Diagram beban-penurunan pada daerah III jauh lebih datar dari pada daerah I dan II yang diakibatkan oleh hilangnya kekakuan penampang karena retak yang sudah cukup banyak dan lebar disepanjang bentang. Apabila beban terus bertambah tegangan dan regangan juga akan naik dan hubungan antara keduanya tidak lagi berbanding lurus. Regangan tulangan baja  $\varepsilon_s$ , pada sisi yang tertarik akan terus beambah melebihi regangan lelehnya  $\varepsilon_y$ . Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini terus menerus mengalami defleksi, retaknya semakin terbuka sehingga garis netralnya mendekati serat tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan yang dapat mengakibatkan kehancuran total beton pada daerah momen maksimum dan diikuti dengan terjadinya kehancuran.



**Gambar 2.8.** Diagram Tegangan dan Regangan Pada Taraf Balok Serviceability.

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

## 2.9. Lendutan Seketika dan Lendutan Jangka Panjang pada Balok

### 2.9.1 Lendutan Seketika pada Balok

Lendutan seketika pada komponen struktur terjadi apabila segera setelah beban bekerja, seketika itu pula terjadi lendutan. Untuk memperhitungkannya, komponen struktur dianggap berperilaku elastis. Lendutan komponen struktur merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung (bentang sederhana, menerus, atau jepit), jenis beban (terpusat, merata) dan kekakuan lentur komponen ( $EI$ ).

Lendutan maksimum adalah :

$$\delta_{maks} = \beta_a \frac{ML^2}{EI_e} \quad (2-31)$$

dimana,  $\beta_a$  = tetapan yang tergantung kepada pembebanan dan kondisi perletakan.

$M$  = momen yang bekerja pada penampang

$L$  = panjang bentang

$I_e$  = momen inersia efektif

### 2.9.2. Lendutan Jangka Panjang pada Balok

Pada komponen struktur beton bertulang, disamping terjadi lendutan seketika akan mengalami pula lendutan yang timbul secara berangsur-angsur dalam jangka

waktu yang cukup lama. Lendutan tersebut terutama disebabkan oleh sifat dan perilaku rayapan dan susut pada beton, yang mengakibatkan bertambahnya regangan.

Dengan sendirinya bertambahnya regangan yang mengakibatkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan tulangan baja sehingga lendutan juga bertambah untuk beban yang bersifat menetap. Selanjutnya, lendutan tersebut dinamakan lendutan berjangka panjang dan dihitung berdasarkan atas dua hal, yaitu :

1. Besarnya beban mati dan beban hidup yang menetap
2. Rasio perbandingan tulangan tekan dan tarik pada balok.

Nilai lendutan dinyatakan dalam perkalian suatu faktor dengan lendutan seketika yang disebabkan oleh beban menetap :

$$\Delta_{LT} = \Delta_i \lambda \left[ \frac{\xi}{1 + 50\rho'} \right] \quad (2-32)$$

dimana :

$\Delta_{LT}$  = lendutan jangka panjang

$\Delta_i$  = lendutan seketika disebabkan oleh beban yang menetap

$\xi$  = konstanta ketergantungan waktu untuk beban tetap,

ditetapkan sebagai berikut :

untuk 5 tahun atau lebih ( $\infty$ ) = 2,0

12 bulan = 1,4

6 bulan = 1,2

3 bulan = 1,0

$\rho'$  =  $A_s/bd$ , rasio penulangan tekan komponen non pratekan, adalah nilai ditengah bentang untuk balok dua tumpuan dan menerus, pada tumpuan untuk kantilever.

Karena beban hidup tidak selalu bekerja disepanjang waktu, yang diperhitungkan hanya sebagian yang dianggap sebagai beban menetap. Disamping beban mati yang memang bersifat permanen. Sehingga lendutan total jangka panjang diperhitungkan sebagai berikut :

$$\Delta_{LT} = \Delta_{LL} + \lambda(\infty)\Delta_{DL} + \lambda(t)\Delta_{SL} \quad (2-33)$$

dimana,  $\Delta_{LL}$  = lendutan seketika akibat beban hidup

$\Delta_{DL}$  = lendutan seketika akibat beban mati

$\Delta_{SL}$  = lendutan akibat sebagian beban hidup yang menetap, nilainya tergantung pada besar dan lama waktu bekerjanya

$\lambda(\infty)$  = faktor pengali untuk beban menetap selama tak terhingga

$\lambda(t)$  = faktor pengali untuk menetap dalam waktu tertentu

### 2.10. Hipotesis Penelitian

Dari uraian di atas maka dapat diambil hipotesis penelitian bahwa terdapat pengaruh dari perpanjangan tulangan lapangan yang diteruskan ke daerah tumpuan terhadap lendutan balok.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan Universitas Muhammadiyah Malang.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, hal yang perlu diperhatikan adalah persiapan alat dan bahan.

##### a. Persiapan Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- ☆ Timbangan sentisimal kekuatan 150 kg
- ☆ Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*
- ☆ Proving ring (ring dial)
- ☆ Alat uji tekan
- ☆ Alat penguji slump ( *kerucut abrams* )
- ☆ Dial gauge
- ☆ Alat perata
- ☆ Dongkrak hidrolis
- ☆ Microslap Detector
- ☆ Rangka pembebanan

##### b. Bahan yang diperlukan adalah :

- ☆ Semen Gresik type I
- ☆ Tulangan baja diameter 8 mm
- ☆ Tulangan baja diameter 6 mm
- ☆ Agregat kasar (kerikil / batu pecah) dengan ukuran butiran maksimum 1 cm
- ☆ Agregat halus (pasir cor) yang tersedia di pasaran
- ☆ Kayu bekisting
- ☆ Air bersih PDAM

### 3.3 Analisis Bahan Yang Digunakan

#### 3.3.1 Air

Air yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang merupakan air dari PDAM Kota Malang.

#### 3.3.2 Semen

Semen yang digunakan adalah semen portland yaitu Semen Gresik Tipe I, yang banyak terdapat dipasaran dan paling sering digunakan untuk jenis pekerjaan konstruksi biasa.

#### 3.3.3 Pasir

Pasir yang digunakan adalah pasir yang banyak didapat di sekitar lokasi penelitian, yang merupakan pasir tambang. Pasir diusahakan dalam kondisi mendekati keadaan yang sebenarnya di lapangan, sehingga tidak perlu dicuci tetapi dijaga dari kotoran organik, lumpur, dan sampah.

#### 3.3.4 Baja tulangan

Baja digunakan untuk penulangan pada portal beton bertulang. Menggunakan baja tulangan polos  $\phi 10$  mm, untuk sengkang digunakan tulangan  $\phi 6$  mm

#### 3.3.5 Agregat kasar

Agregat kasar berupa kerikil dari batu pecah, dengan ukuran maksimum butiran 1 cm.

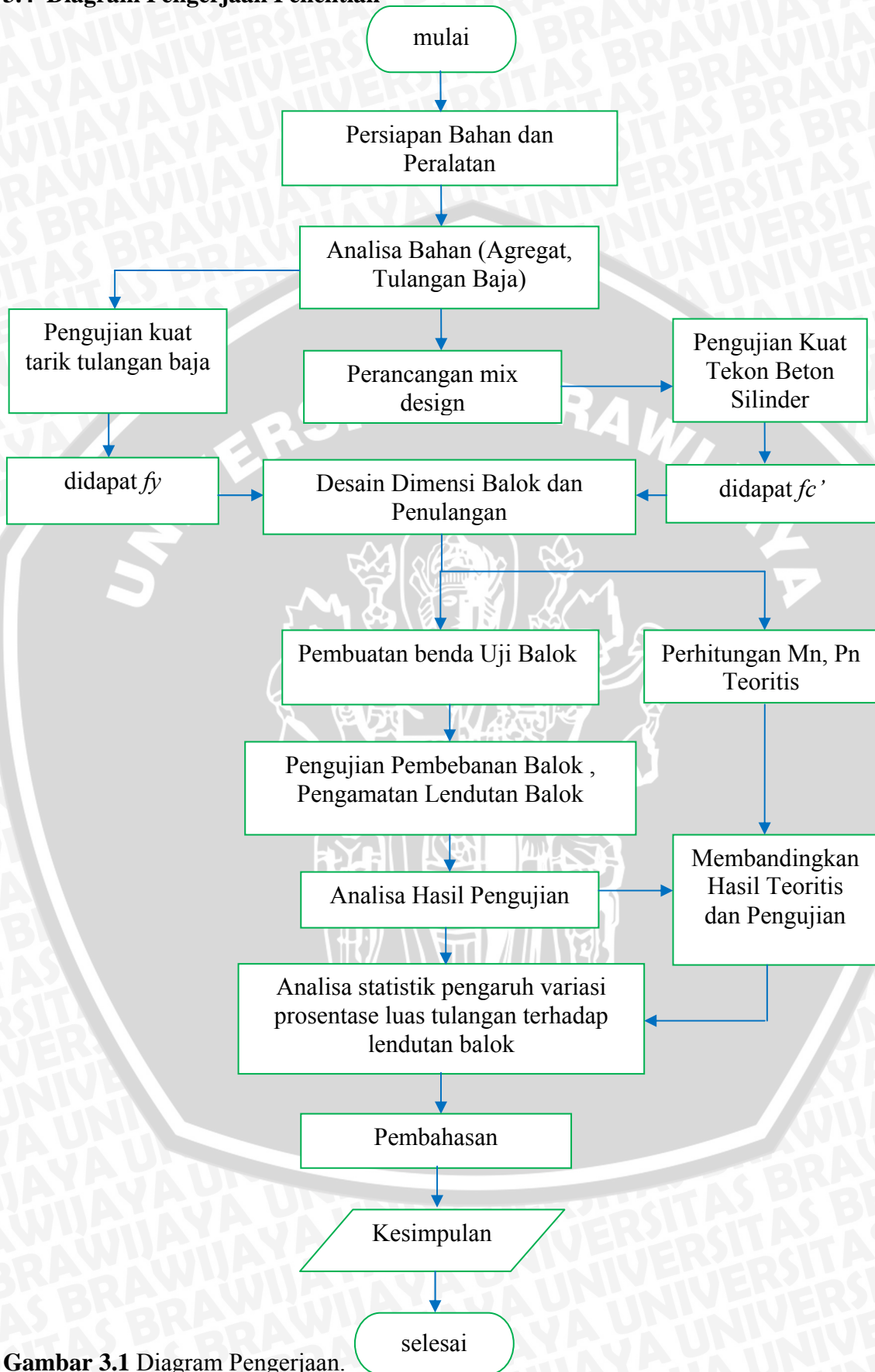
#### 3.3.6 jumlah benda uji

Tabel 3.1 Benda Uji

Benda uji	Balok Ukuran 25 x 20 x 140 cm				
% Luas Tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan	10%	20%	30%	40%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				



### 3.4 Diagram Pengerjaan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Pengerjaan.

### 3.5 Pengujian Bahan Dasar

Langkah pertama sebelum memulai penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap bahan – bahan dasarnya terlebih dahulu.

#### 3.5.1 Agregat halus ( pasir )

Pengujian pasir meliputi uji analisis saringan dan sifat fisisnya. Yang dimaksud dengan analisa saringan agregat adalah penentuan presentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka–angka presentase digambarkan pada grafik pembagian butir ( SNI M-08-1989-F : 1). Yang dimaksud agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 4 ( 4.75 mm ) (SNI M-19-1989-F : 1)

Pengujian sifat fisis pasir meliputi (1) pengujian berat jenis dan (2) penyerapan. Tujuan dari pengujian adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus. Cara pengujian agregat halus mengikuti standar SNI M-19-1989-F.

Dalam metode ini dilakukan perhitungan :

- Berat jenis curah :  $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$
- Berat jenis jenuh kering permukaan :  $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$
- Berat jenis semu :  $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$
- Penyerapan :  $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$

dimana :

$B_k$  = berat benda uji kering oven, gram

$B$  = berat piknometer berisi air, gram

$B_t$  = berat piknometer berisi benda uji dan air, gram

500 = berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, gram

#### 3.5.2 Agregat kasar ( kerikil )

Pengujian yang akan dilakukan pada kerikil adalah uji analisis saringan dan sifat fisisnya. Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui gradasi kerikil

tersebut. Yang tergolong sebagai agregat kasar adalah butiran yang tertinggal diatas ayakan no. 4 ( 4.75 mm ).

Pengujian sifat fisis kerikil meliputi (1) pengujian berat jenis dan (2) penyerapan. Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar menurut SNI-M-09-1989-F adalah sebagai berikut:

- Berat jenis curah ( *bulk specific gravity* )

$$\frac{B_k}{B_j - B_a}$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh ( *saturated surface dry* )

$$\frac{B_j}{B_j - B_a}$$

- Berat jenis semu ( *apparent specific gravity* )

$$\frac{B_k}{B_k - B_a}$$

- Penyerapan

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

dimana :

$B_k$  = berat benda uji kering oven, gr

$B_j$  = berat benda uji kering permukaan jenuh, gr

$B_a$  = berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air, gr

Cara uji atau prosedur pengujian berdasarkan SNI M-09-1989-F

### 3.5.3 Baja tulangan

Uji yang akan dilakukan pada baja adalah uji tarik. Tujuan dari uji tarik adalah untuk mendapatkan nilai kuat tarik baja beton yang nantinya digunakan dalam pengendalian mutu baja. Pada penelitian ini, digunakan baja tulangan dengan tulangan pokok dan  $\phi = 10$  mm.

Penentuan panjang benda uji berdasarkan SNI M-104-1990-03 adalah

$$l_o = k\sqrt{A_{so}}$$

dimana :  $l_o$  = panjang ukur benda uji, mm

$A_{so}$  = luas penampang terkecil semula, mm<sup>2</sup>

$$k \rightarrow dp5 = 5.65$$

$$dp 10 = 11.3$$

Parameter pengujian dihitung dengan rumus – rumus :

$$f_s = \frac{P_{maks}}{A_{so}}$$

$$f_y = \frac{P_y}{A_{so}}$$

$$n_{maks} = \frac{l_u - l_o}{l_o} \times 100\%$$

dimana :  $f_s$  = tegangan tarik putus, MPa

$f_y$  = tegangan tarik leleh, MPa

$P_{maks}$  = kuat tarik putus, N

$A_{so}$  = luas penampang benda uji semula, mm<sup>2</sup>

$P_y$  = kuat tarik leleh, N

$n_{maks}$  = regangan maksimum

$l_u$  = panjang benda uji setelah pengujian, mm

$l_o$  = panjang benda uji semula, mm

Standar pengujian tarik baja beton dilakukan berdasarkan SNI M-104-1990-03

### 3.5.4 Beton

Pengujian pada beton adalah pengujian slump beton dan pengujian kuat tekan. Pengujian slump dimaksudkan untuk memperoleh angka slump beton. Slump beton adalah besaran kekentalan (*viscosity*) / plastisitas dan kohesif dari beton segar. Pengujian menggunakan kerucut Abrams, yaitu kerucut terpancung dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Pengukuran slump dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata – rata benda uji.

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi : tinggi = 16 cm dan diameter = 8 cm. Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Dengan masing – masing jumlah benda uji 4 buah.

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

dimana : P = beban maksimum ( kg )

A = luas penampang benda uji ( cm<sup>2</sup> )

Pembuatan benda uji dan prosedur pengujian kuat tekan beton mengikuti peraturan SNI M-14-1989-F.

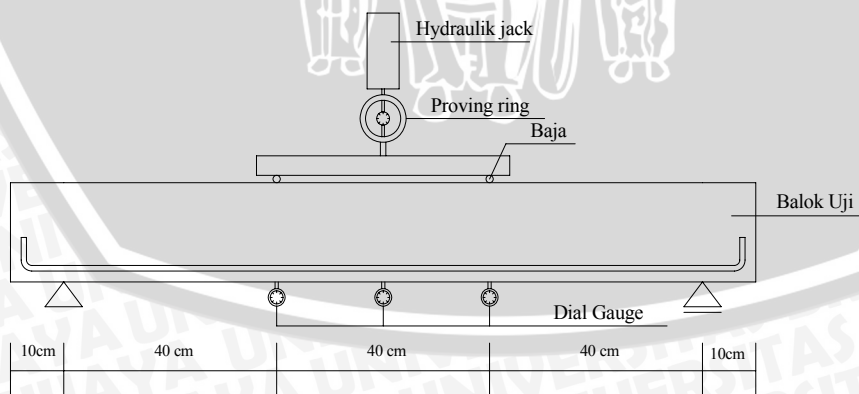
### 3.6 Pengujian Balok

Pembuatan benda uji pada masing-masing perlakuan diperhatikan pada tabel berikut :

**Tabel 3.2** Pengujian Balok

Prosentase ideal	Luas tulangan tarik	Jenis tulangan tarik	Luas yang masuk	Jenis yang masuk	Prosentase
10%	3.71	4 $\phi$ 10+2 $\phi$ 6	0.57	2 $\phi$ 6	15.3%
20%	2.58	4 $\phi$ 8+2 $\phi$ 6	0.57	2 $\phi$ 6	22.0%
30%	3.36	2 $\phi$ 8+3 $\phi$ 10	1.01	2 $\phi$ 8	30.4%
40%	2.7	2 $\phi$ 10+4 $\phi$ 6	1.13	4 $\phi$ 6	41.8%
50%	2.01	4 $\phi$ 8	1.01	2 $\phi$ 8	50%

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok secara sederhana dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 3.2** Pengujian kuat lentur balok

Langkah – langkah pengujiannya adalah :

1. Setelah dilakukan pengecoran dan pembongkaran bekisting, balok dicat warna putih dan diberi garis horizontal dan vertikal dengan ukuran  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  sepanjang bentang balok agar mudah dilakukan pengamatan dan penggambaran pola retak. Pengujian dilakukan sesuai umur beton seperti tabel rancangan penelitian.
2. Benda uji yang telah mencapai umur yang ditentukan ditempatkan pada frame uji struktur kapasitas 15 ton dengan tumpuan sendi – rol pada kedua ujungnya. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan bantuan alat dongkrak berkapasitas 25 ton.
3. Pemasangan dial dengan memasang jarum bacaan di bawah permukaan benda uji.
4. Pemasangan alat proving ring dengan kapasitas 10 ton di atas benda uji dengan posisi di pusat massa benda uji.
5. Penambahan beban dilakukan berangsur-angsur sampai benda uji mengalami perubahan bentuk (runtuh). Penambahan beban dibaca pada strainmeter, lendutan balok dibaca pada alat dial gauge. Pengamatan pola retak dengan menggunakan alat *mikroskop crack detector*, beban saat terjadi retak lentur awal, beban saat terjadi retak miring awal dan beban maksimum yang dapat didukung oleh benda uji.
6. Data yang diperoleh digunakan untuk melihat pola keruntuhan pada balok. Pengambilan data dengan cara mengukur besarnya beban yang mampu ditahan oleh masing-masing benda uji pada saat mulai mengalami retak awal (Pcr) sampai benda uji mengalami keruntuhan (Pu).

### 3.7 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

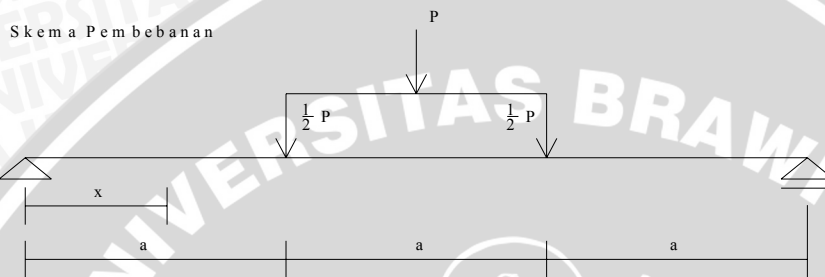
1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang berubahnya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besarnya lendutan.

### 3.8 Analisis Lendutan

Pada penelitian ini dicoba dibandingkan hasil antara lendutan teoritis dengan hasil penelitian. Beban P secara teoritis didapat dari perhitungan analitis penampang.

$$Mn = \frac{P.l}{6} \quad (3-1)$$

$$P = \frac{Mn.6}{l} \quad (3-2)$$



dan analisis defleksi secara teoritis

$$I_g = \frac{bh^3}{12} \quad (3-3)$$

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + n.As.(d - y)^2, \text{ (tulangan tunggal)} \quad (3-4)$$

$$I_{cr} = \frac{by^3}{3} + n.As(d - y)^2 + (n - 1)As'(y - d')^2, \text{ (tulangan rangkap)} \quad (3-5)$$

Persamaan lendutan ditengah bentang

$$\delta_{maks} = \frac{0,5.pa}{24E_c I} (3l^2 - 4a^2), \quad (3-6)$$

Dan besarnya lendutan yang berjarak x :

$$\delta x \text{ (jika } x < a) = \frac{0,5.px}{6E_c I} (3la - 3a^2 - x^2) \quad (3-7)$$

$$\delta x \text{ (jika } x > a \text{ dan } x < (1-a)) = \frac{0,5.pa}{6E_c I} (3lx - 3x^2 - a^2) \quad (3-8)$$

### 3.9. Analisis Data

Untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat, digunakan analisis korelasi *Pearson Product Moment* ( $r$ ). Dan untuk mengetahui pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat, digunakan analisis regresi.

Pernyataan ada tidaknya pengaruh variasi tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap lendutan pada balok dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$$

Dengan :

$H_0$  = hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tak bebas

$H_1$  = hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tidak bebas

#### 1. Analisis Korelasi

Persamaan korelasi dirumuskan : 
$$r_{xy} = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2\} \{n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}}$$

Korelasi PPM dilambangkan ( $r$ ) dengan ketentuan nilai  $r$  tidak lebih dari harga ( $-1 \leq r \leq +1$ ). Apabila nilai  $r = -1$  artinya korelasi negatif sempurna;  $r = 0$  artinya tidak ada korelasi; dan  $r = 1$  berarti korelasinya sangat kuat. Sedangkan arti harga  $r$  akan dikonsultasikan dengan tabel interpretasi nilai  $r$  sebagai berikut :

**Tabel 3.3.** Interpretasi Koefisien Korelasi Nilai  $r$

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.80-1.000	Sangat Kuat
0.60-0.799	Kuat
0.40-0.599	Cukup Kuat
0.20-0.399	Rendah
0.00-0.199	Sangat Rendah

Sumber : Ridwan (2005:138)



Penentuan kesimpulan

t hitung yang di dapat dari analisis perhitungan dibanding dengan t tabel sesuai derajat bebas dengan signifikan ( $\alpha = 0,05$ ) dimana bila :

t hitung < t tabel maka terima Ho dan tolak H1

t hitung > t tabel maka terima H1 dan tolak Ho

## 2. Analisis Regresi

Persamaan regresi dirumuskan :  $\hat{Y} = a + bX$

Dimana :

$\hat{Y}$  = Subyek variabel terikat yang diproyeksikan

X = Variabel bebas yang mempunyai nilai tertentu untuk diproyeksikan

a = Nilai konstanta harga Y jika X = 0

b = Nilai arah sebagai penentu ramalan (prediksi) yang menunjukkan nilai peningkatan (+) atau nilai penurunan (-) variabel Y

Penentuan kesimpulan

F hitung yang didapat dari analisis perhitungan dibanding dengan F tabel sesuai derajat bebas dengan signifikan ( $\alpha = 0.05$ ) dimana bila :

F hitung < F tabel maka terima Ho dan tolak H1

F hitung > F tabel maka terima H1 dan tolak Ho

## 3. Analisis Varian satu arah

Untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan, maka diperlukan pengolahan data dan analisis menurut prosedur analisis statistik. Karena perlakuan pada masing – masing benda uji tidak saling mempengaruhi satu dengan lainnya, maka dilakukan analisis varian satu arah

Pernyataan ada tidaknya pengaruh, akan dinyatakan secara statistik sebagai berikut :

a. Menentukan hipotesis

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$$

$H_0$  = hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tak bebas

$H_1$  = hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tidak bebas

- b. Menentukan *level of significant*  $\alpha$
- c. Menghitung nilai uji  $F_{hitung}$

$$F_{hitung} = \frac{\sigma_m}{\sigma_g} = \frac{\text{Varian between mean}}{\text{Varian within group}}$$

- d. Menentukan kriteria pengujian

- Menghitung faktor koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[ \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{pn}$$

dimana :  $i = 1, 2, 3, \dots, p$   
 $j = 1, 2, 3, \dots, n$

- Menghitung  $JK_{total}$ ,  $JK_{antargrup}$ ,  $JK_{dalam grup}$

$$JK_{total} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n Y_{ij}^2 - FK$$

$$JK_{perlakuan} = \frac{\sum_{i=1}^p \left[ \sum_{j=1}^n Y_{ij} \right]^2}{n} - FK$$

$$JK_{galatperco baan} = JK_{total} - JK_{perlakuan}$$

**Tabel 3.4.** Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah

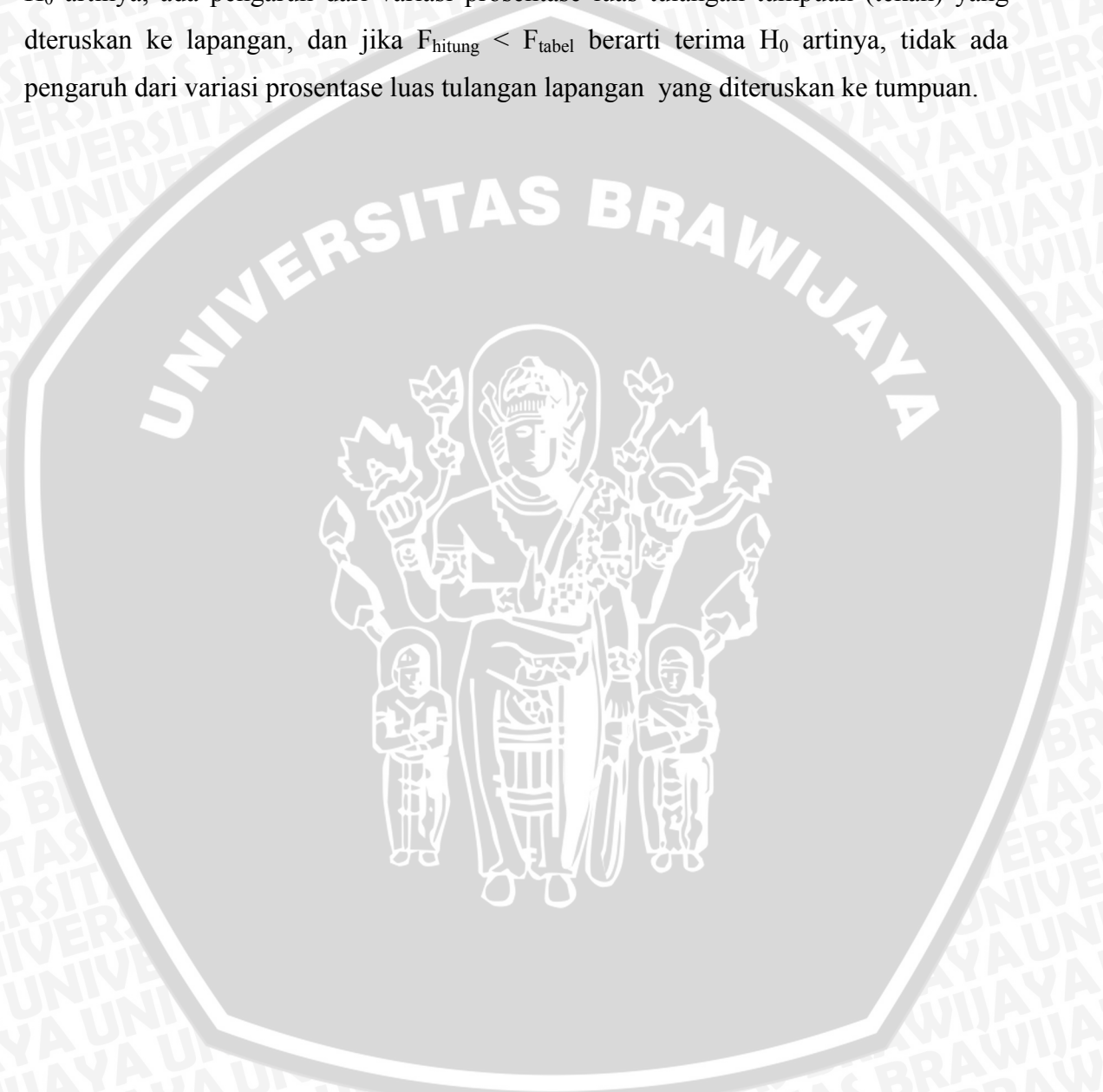
SK	Db	JK	KT	$F_{hitung}$
Perlakuan	$p-1$	$JK_p$	$KT_p = \frac{JK_p}{(p-1)}$	$\frac{KT_{Perlakuan}}{KT_{G.Percobaan}}$
Galat Percobaan	$\sum_i (n_i - 1)$	$JK_G$	$KT_G = \frac{JK_G}{(p(n-1))}$	
Total		$JK_T$		

Sumber : Ridwan (2005:138)

e. Menentukan  $F_{\text{tabel}}$

$$F_{\text{tabel}} = F^{\alpha}_{\left\{ (p-1), \left[ \sum_i (n_i-1) \right] \right\}}$$

Dari hasil analisis akan didapat nilai  $F_{\text{hitung}}$  yang akan dibandingkan dengan  $F_{\text{tabel}}$  dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai  $\alpha$  tertentu. Jika  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$  berarti tolak  $H_0$  artinya, ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan (tekan) yang diteruskan ke lapangan, dan jika  $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$  berarti terima  $H_0$  artinya, tidak ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Sifat – Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang

Pengujian utama penelitian ini adalah pengujian pembebanan balok dengan 2 beban terpusat yang simetris untuk masing-masing balok. Beberapa pengujian lain diperlukan untuk melengkapi data yang digunakan untuk menunjang data yang utama diantaranya adalah meliputi pengujian agregat halus dan agregat kasar, uji tarik baja tulangan, pengujian beton segar dengan slump, pengujian kuat tekan beton keras dengan benda uji selinder dan pengujian kuat lentur beton itu sendiri terutama terhadap lendutannya.

##### 4.1.1. Semen

Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah *Portland cement type I* produksi PT. Semen Gresik yang sudah umum digunakan sehingga tidak dilakukan pengujian khusus terhadap semen.

##### 4.1.2. Air

Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM kota Malang yang sudah tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan pengujian terhadap air.

##### 4.1.3. Agregat Halus (Pasir)

Agregat Halus berupa pasir alami yang berasal dari kota Malang. Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah uji analisis saringan dan uji sifat fisis. Dari hasil analisis saringan didapatkan bahwa pasir tersebut termasuk daerah gradasi nomor 2 berdasarkan ASTM. Setelah dilakukan uji analisis saringan dan uji sifat fisis didapat hasil pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Hasil Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Hasil pengujian
Modulus kehalusan pasir	2,2531
Berat jenis curah	2,606
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,618
Berat jenis semu	2,637
Penyerapan (%)	0,452 %

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Catatan :Standart ASTM C35-37, modulus kehalusan agregat halus = 2,3 – 3,1

#### 4.1.4. Agregat Kasar (Batu Pecah)

Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran 10 mm yang berasal dari kota Malang. Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar adalah uji analisis saringan dan uji sifat fisis. Dari hasil analisis saringan didapatkan bahwa batu pecah tersebut termasuk daerah bergradasi maksimum 20 mm. Setelah dilakukan uji analisis saringan dan uji sifat fisis didapat hasil pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Hasil Pengujian Agregat Kasar

Keterangan	Hasil pengujian
Modulus kehalusan kasar	8.4487
Berat jenis curah	2,634
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,710
Berat jenis semu	2,851
Penyerapan (%)	2,896 %

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Catatan :Standart ASTM C35-37, modulus kehalusan agregat kasar = 7,49 – 9,55

#### 4.1.5. Baja Tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh rata-rata baja tulangan dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian

yang dilakukan pada baja tulangan adalah Uji Tarik baja. Setelah dilakukan Uji Tarik didapat hasil pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Hasil Pengujian Baja Tulangan

Diameter (mm)	No	Tegangan leleh ( $f_y$ ) (MPa)	$f_y$ rata – rata (MPa)
(besi ukuran $\varnothing 6$ )	1	329.722	306.17
	2	306.17	
	3	282.62	
(besi ukuran $\varnothing 8$ )	1	311.04	316.22
	2	342.14	
	3	295.489	
(besi ukuran $\varnothing 10$ )	1	318.471	325.10
	2	338.37	
	3	318.471	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Dari uji statistik Keragaman Varians data Tegangan baja termasuk homogen maka tegangan baja tulangan rata-rata ( $f_y$ ) adalah 315.8311 MPa

#### 4.1.6. Pengujian Beton Segar / slump.

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian *Slump*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan pengerjaan campuran adukan beton. Setelah dilakukan pengujian didapat hasil pada tabel 4.4

**Tabel 4.4.** Hasil Pengujian *Slump*

Balok uji	Nilai slump
15,3%	15
15.3%	14
15.3%	15
22%	13
22%	12
22%	14

30,4%	13
30,4%	13
30,4%	15
41.8 %	14
41.8%	14
41.8%	14
50%	14
50%	13
50%	12

Sumber : Hasil penelitian

Pada pengujian slump ini dihasilkan nilai slump yang besar dan bervariasi pada rentang antara 12-15 ini bisa disebabkan karena adanya hujan pada saat pengecoran maupun pada malam harinya sebelum pengecoran dimulai yang dapat menambah kadar air pada pasir dan kerikil. Pada pengecoran dilakukan pengurangan sedikit air dari perhitungan *mix design* dikarenakan kondisi dari agregat kasar maupun agregat halus yang sangat basah.

#### 4.1.7. Pengujian Beton keras

Pengujian yang dilakukan pada beton keras adalah pengujian kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari dengan benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada tabel 4.5

**Tabel 4.5.** Hasil Uji tekan beton silinder

Prosentase Benda uji	Luas penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat (Kg)	Umur (Hari)	Kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata – rata $f^c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
15,3% (1)	176,6	12,9	28	325.32	322.04
15,3% (2)	176,6	13	28	316.51	
15,3% (3)	176,6	12,9	28	324.29	

22% (1)	176,6	12.9	28	326.81	
22% (2)	176,6	12.9	28	332.15	333.63
22% (3)	176,6	12.8	28	341.93	
30,4% (1)	176,6	13	28	380.45	
30,4% (2)	176,6	12.8	28	324.15	372.58
30,4% (3)	176,6	12.8	28	413.15	
41,8% (1)	176,6	12.9	28	284.50	
41,8% (2)	176,6	12.9	28	337.24	312.64
41,8% (3)	176,6	12.9	28	316.18	
50% (1)	176,6	13	28	332.74	
50% (2)	176,6	12.9	28	335.62	329.49
50% (3)	176,6	13	28	320.12	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Dari uji statistik Keragaman Varians data Uji tekan beton silinder termasuk homogen maka Kuat tekan ( $f_c$ ) rata-rata adalah 334.0773 kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.2. Pengujian Lendutan (Defleksi) Balok

Pengujian kuat lentur beton adalah pengujian pembebanan balok dengan 2 beban terpusat yang simetris untuk masing-masing balok dengan jarak 40 cm dan 80 cm dari ujung balok. Uji pembebanan dibangkitkan oleh dongkrak hidrolis, balok berdimensi sama yaitu 20 x 25 x 140 cm diuji dengan jarak antar tumpuan 120 cm, Balok dikelompokkan dalam 5 golongan dengan variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.6.

Pengujian dilakukan setelah balok beton berumur 28 hari, pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan besarnya nilai lendutan yang terjadi pada balok dengan melakukan penambahan beban secara bertahap. Penambahan beban secara bertahap dapat di baca dengan alat proving ring sedangkan besarnya lendutan dapat dibaca dengan alat dial gauge Sehingga dapat diketahui beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji dan besarnya lendutan yang terjadi. Hasil pengujian balok berdasarkan lendutan maksimum yang terjadi dapat dilihat pada



tabel 4.7, sedangkan untuk hasil pengujian yang selengkapnya dapat dilihat pada bagian Lampiran.

**Tabel 4.6.** Variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada Balok teoritis dan aktual

Benda uji	Balok ukuran 20 x 25 x 140 cm				
Rencana	10%	20%	30%	40%	50%
Aktual	15.3%	22%	30.4%	41.8%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Sumber : Hasil perhitungan

#### 4.2.1. Lendutan Maksimum Pada Balok Uji

Pada perhitungan teoritis dipakai data mutu beton bervariasi berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder, Perhitungan yang dipakai adalah dari kuat tekan beton rata-rata dari setiap prosentase yang diambil dari Uji statistik sesuai dengan tabel 4.5., karena Balok harus mendapat perlakuan sama yaitu yang diharapkan adalah nilai kuat tekan betonnya merata sehingga nilai lendutan maksimum balok secara teoritis dengan perlakuan sama menggunakan  $f_c'$  rata-rata total yang sama dapat dilihat pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7.** Lendutan maksimum balok dengan  $f_c'$  rata-rata sebesar  $334.0773 \text{ kg/cm}^2$

No	Benda uji	Mn Teoritis (KgcM)	Lendutan Teoritis (mm)
1	15.3%	251584,76	3,444
2	22%	178225,8	2,448
3	30.4%	229337,14	3,146
4	41.8%	177689,56	2,5575
5	50%	141768,43	2,359

Sumber : Hasil perhitungan

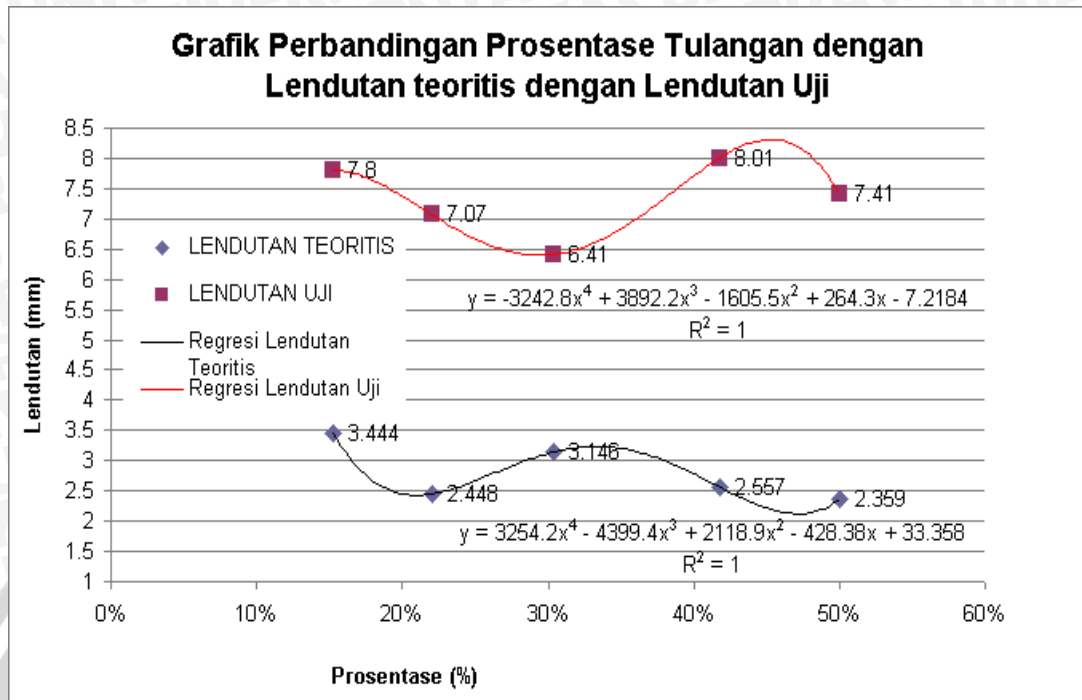
Perbandingan antara lendutan teoritis dengan lendutan pengujian di laboratorium di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya dan di Universitas Muhammadiyah Malang yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik dapat diperlihatkan pada tabel 4.8.

**Tabel 4.8.** Perbandingan Lendutan Teoritis dan Lendutan Uji

No Benda Uji	Mn Teoritis (Kgcm)	Pn Teoritis (Kg)	Lendutan Teoritis (mm)	Pn Uji (Kg)	Lendutan Uji (mm)	Lendutan rata rata (mm)
15.3 % (1)	251584,76	12579,23	3,444	6996	7,94	7,80
15.3 % (2)				7128	7,21	
15.3 % (3)				6864	8,25	
22 % (1)	178225,8	8911,3	2,448	7100	7,83	7,07
22 % (2)				7300	6,89	
22 % (3)				7000	6,49	
30.4 % (1)	229337,14	11466,86	3,146	7400	6,22	6,41
30.4 % (2)				8000	6,1	
30.4 % (3)				7800	6,9	
41.8 % (1)	177689,56	8884,48	2,5575	7000	8,18	8,01
41.8 % (2)				6900	8,24	
41.8 % (3)				6900	7,6	
50 % (1)	141768,43	7088,42	2,359	7000	7,4	7,41
50 % (2)				6900	7,81	
50 % (3)				7100	7,03	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Maka grafik perbandingan antara lendutan perhitungan dan lendutan pengujian dengan prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan dapat diperlihatkan pada gambar 4.1.

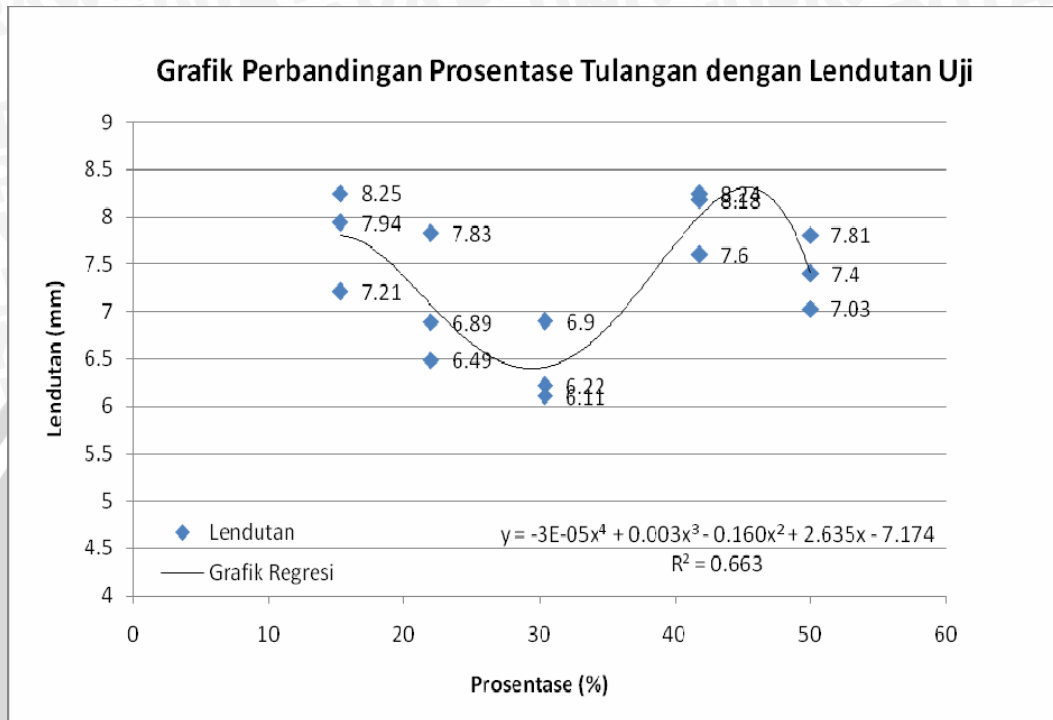


Sumber Grafik : Hasil perhitungandan penelitian

**Gambar 4.1.** Grafik Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Teoritis dan Lendutan Pengujian.

Grafik Perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara teoritis dengan lendutan yang terjadi diambil dari data perhitungan balok dengan tulangan rangkap, sedangkan nilai lendutan maksimum secara aktual diambil dari hasil pengujian

Grafik Perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara aktual diambil dari data pengujian sehingga dapat dilihat pada gambar 4.2.

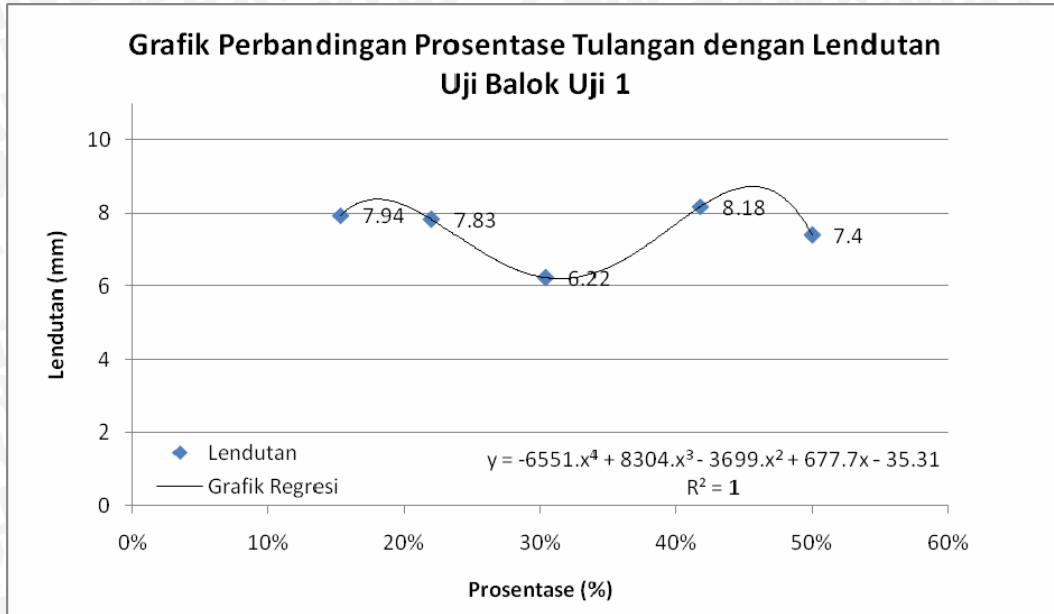


Sumber Grafik : Hasil penelitian

**Gambar 4.2.** Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual

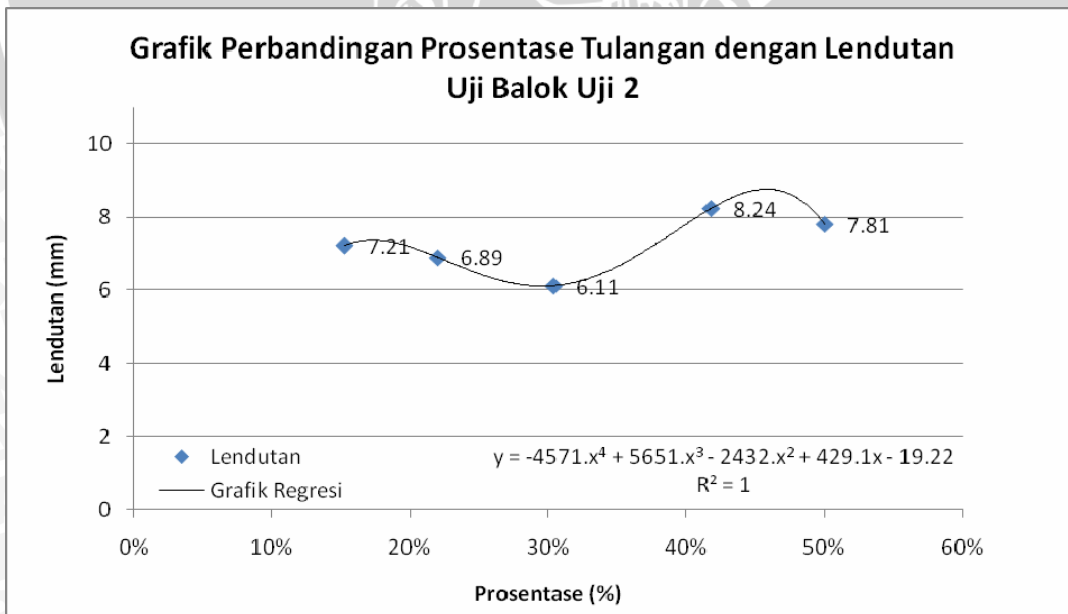
Grafik Perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan seperti pada gambar diatas didapat dari analisis regresi (selengkapnya dapat dilihat dilampiran). Analisis regresi yang dipakai yaitu dengan polynomial orde 4 dikarenakan hanya ada 5 perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan. Dari dua grafik tersebut didapat harga  $R^2$  yang terbesar pada orde 4 yaitu  $R^2 = 0.6634$ . Semakin harga  $R^2$  mendekati satu maka grafik tersebut memiliki keakuratan data.

Dari grafik orde 4 di dapat grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada masing-masing balok uji .



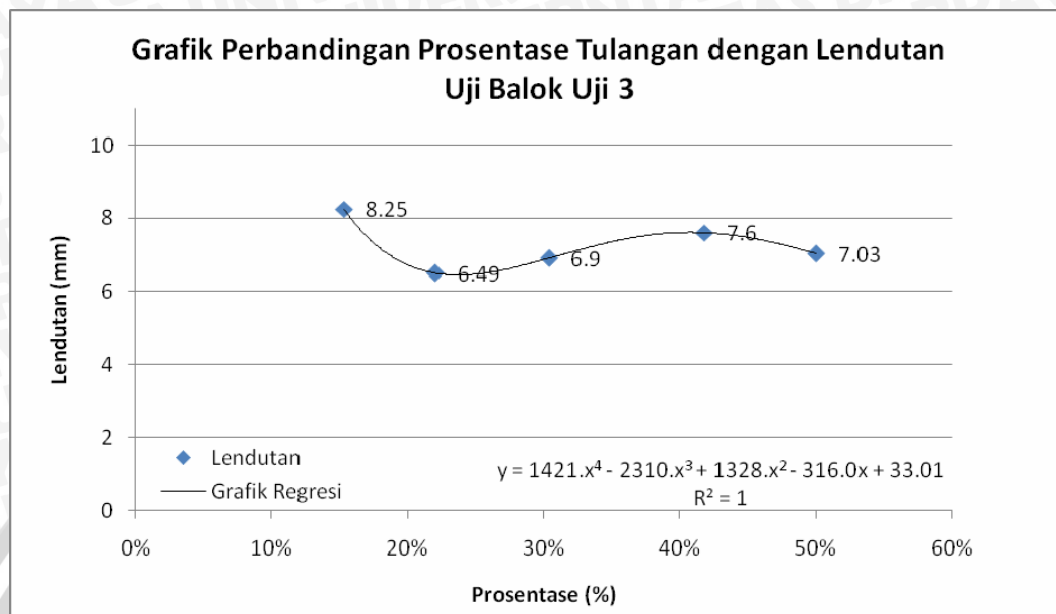
Sumber Grafik : Hasil penelitian

**Gambar 4.3.** Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 1



Sumber Grafik : Hasil penelitian

**Gambar 4.4.** Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 2



Sumber Grafik : Hasil penelitian

**Gambar 4.5.** Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Aktual Balok Uji 3

### 4.3. Pembahasan

Dari data yang didapatkan dari hasil pengamatan dan perhitungan maka untuk tiap-tiap perilaku akan dibahas sesuai dengan tujuan.

#### 4.3.1 Pembahasan Penelitian

Secara visual batas runtuh balok dapat digambarkan tentang perilaku balok pada saat mencapai kekuatan batasnya dimana gaya-gaya dalam tidak bisa mengimbangi gaya-gaya luar yang terjadi pada balok. Pada saat ini timbul banyak retak-retak pada balok dan menyebar. Lebar retak melebihi lebar retak izin yaitu 0,3 mm, lendutan yang terjadi sangat besar, panjang balok sudah tidak bisa lagi kembali kepanjang semula, pada keadaan inilah yang disebut batas runtuh, dimana komponen mencapai batas runtuhnya..

Pada pengamatan lendutan maksimum pada balok uji ternyata lendutan maksimum yang terjadi tidak hanya terjadi di tengah bentang balok tetapi terjadi juga di sisi kanan dan kiri balok. Hal ini bisa dikarenakan pemasangan balok pada loading frame yang kurang tepat karena kurang meratanya dasar kolom, dan balok

uji juga diletakkan menumpu pada *loading frame* dan kemungkinan terjadi lendutan pada profil baja *loading frame* itu sendiri. Setelah di coba di baca lendutan yang terjadi pada profil baja *loading frame* dengan dial gauge ternyata profil baja dari *loading frame* terjadi lendutan juga namun hanya kecil sekali sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap lendutan dari balok uji.

Lendutan maksimum yang terjadipun berbanding lurus dengan lebar retak yang terjadi yaitu apabila lendutan maksimum yang terjadi di sisi kanan dan kiri balok maka lebar retak yang maksimum terjadi di sisi tersebut juga. Setelah di analisis lendutan maksimum yang terjadi lebih dominan terjadi di sisi kanan hal ini dikarenakan kolom pada balok sebelah kiri ditahan oleh portal *loading frame*.

#### 4.3.2 Pembahasan Lendutan maksimum balok

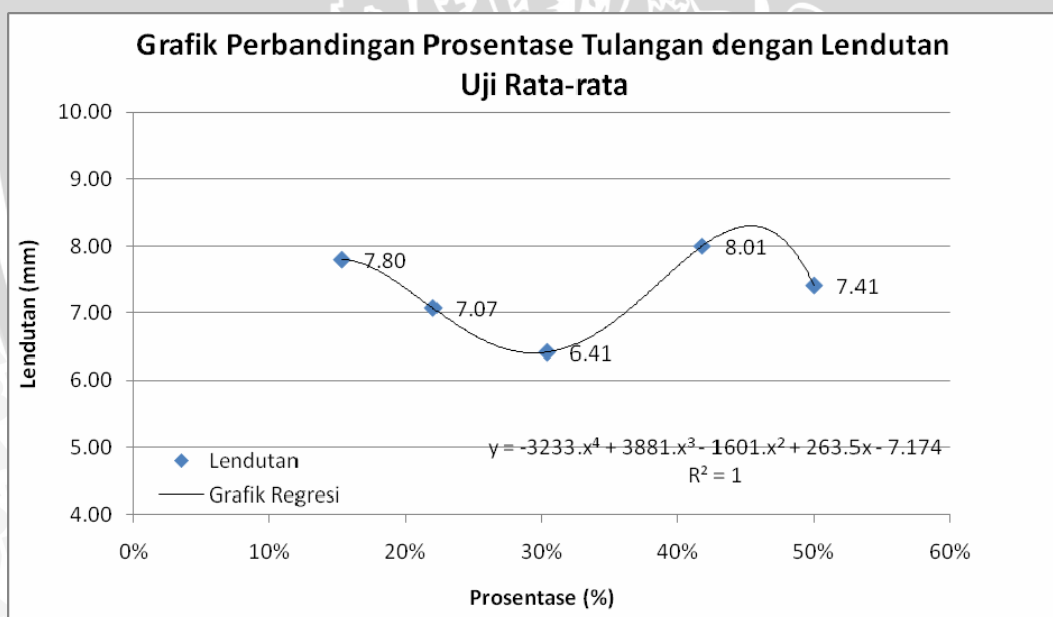
Dalam perhitungan lendutan teoritis diasumsikan bahwa beban- beban yang bekerja pada balok adalah beban di bawah beban retak (taraf pra retak), dimana dalam hal ini balok masih menampilkan perilaku elastis. Dalam kondisi ini nilai momen inersia dipakai luasan bruto ( $I_g$ ) untuk kondisi belum retak dan digunakan momen inersia efektif ( $I_e$ ) untuk penampang yang retak. Dimana besarnya momen inersia efektif ( $I_e$ ) sebesar  $I_g > I_e > I_{cr}$ . Untuk perhitungan momen inersia selengkapnya dapat di lihat pada lampiran.

Dari pembacaan *proving ring* saat balok dalam keadaan batas runtuh didapatkan nilai lendutan yang terjadi tiap-tiap prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan yang bervariasi mulai prosentase 15,3%, 22%, 41,8%, 50% dan menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan nilai lendutan. Hasil uji lendutan pada balok ini pada tiap-tiap prosentase dibandingkan dengan prosentase luas tulangan 30.4% sesuai dengan tujuan awal. Peningkatan dan lendutan dibandingkan terhadap tulangan 30.4% dapat dilihat di tabel 4.10.

**Tabel 4.10.** Prosentase Peningkatan Lendutan uji.

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Lendutan Rata-rata aktual (mm)	Peningkatan Lendutan terhadap balok 30.4% (%)
1	15.3%	7,80	17,821
2	22%	7,07	9,335
3	30.4%	6,41	0
4	41.8%	8,01	19,975
5	50%	7,41	13,495

Sumber : Hasil perhitungan



**Gambar 4.6.** Grafik polynomial orde 4 Perbandingan prosentase Tulangan dengan Lendutan Uji Rata-rata

Pada tabel 4.10. merupakan nilai lendutan berdasarkan pada nilai prosentase tulangan yang sesuai dengan kondisi aktual pada saat pengujian.



### 4.3.3. Pengujian Hipotesis

Dari data pengujian yang diperoleh, selanjutnya untuk nilai lendutan pada saat balok runtuh dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap lendutan balok. Pengujian hipotesis ini menggunakan analisis varian satu arah. Pernyataan ada tidaknya pengaruh tersebut secara statistik dinyatakan dengan

$$H_0 : \mu_0 = \mu_1 = \dots = \mu_k$$

$$H_1 : \mu_0 \neq \mu_1 \neq \dots \neq \mu_k$$

dengan :

$H_0$  : hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari Variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.

$H_1$  : hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari Variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.

Berdasarkan analisa statistik diatas didapatkan bahwa  $F_{hitung} > F_{Tabel}$ , ini menunjukkan bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh yang signifikan dari variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap lendutan balok.

Dari dasar teori dan perhitungan analisa statistik yang telah digunakan, prosedur perhitungan dan contoh perhitungan yang telah dikerjakan, kemampulayanan (*serviceability*) dari balok dengan menggunakan tulangan rangkap menghasilkan hal-hal yang dapat dipelajari. Pada grafik Perbandingan prosentase Tulangan dengan lendutan perhitungan (gambar 4.1) dan grafik Perbandingan prosentase Tulangan dengan lendutan Uji (gambar 4.4) dapat dilihat kemiripan bahwa pada saat variasi 30.4% terjadi penurunan lendutan. Mengingat fungsi tulangan tekan adalah untuk memperbesar kekuatan struktur, sehingga hal ini menunjukkan bahwa penggunaan tulangan tekan sedikit banyak berpengaruh pada kemampulayanan struktur.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lendutan yang terjadi pada balok dengan prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan yaitu sebagai berikut :

**Tabel 5.1.** Prosentase Peningkatan Lendutan uji.

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Lendutan Rata-rata aktual (mm)	Peningkatan Lendutan terhadap balok 30.4% (%)
1	15.3%	7,80	17,821
2	20%	7,07	9,335
3	30.4%	6,41	0
4	41.8%	8,01	19,975
5	50%	7,41	13,495

Sumber : Hasil perhitungan

Lendutan minimum terjadi pada prosentase luasan tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan sebesar 30.4 % dan terjadi kenaikan pada prosentase yang lainnya

2. Pada saat mencapai beban batas, balok uji menunjukkan penambahan lendutan dengan sendirinya tanpa adanya penambahan beban.
3. Lendutan hasil perhitungan teoritis ternyata lebih kecil dibandingkan dengan lendutan yang terjadi pada saat penelitian. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya adalah :
  - a. Penurunan mutu dan kekuatan bahan akibat pemadatan benda uji pada saat pengecoran yang kurang sempurna.
  - b. Kurangnya pengawasan ketika pembuatan benda uji mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

4. Hasil pengujian tentang adanya pengaruh variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan dengan mengambil resiko kesalahan di dalam menarik kesimpulan sebesar 5 % didapatkan nilai  $t_{hitung} = 4,928263 > t_{tabel} = 3,47805$  sehingga didapatkan kesimpulan bahwa terdapat pengaruh yang nyata dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap lendutan balok.

## 5.2 Saran

Berikut ini beberapa saran setelah melaksanakan penelitian tentang variasi prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan kelapangan terhadap lendutan balok, dengan harapan dapat melengkapi penelitian ini.

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dipasang *strain gauge* untuk mengetahui secara pasti pada saat beton runtuh apakah keruntuhan karena leleh pada tulangan baja (*under reinforced*) atau beton hancur terlebih dahulu diikuti leleh tulangan baja (*over reinforced*).
2. Perlu adanya kalibrasi yang terbaru dan tes kelayakan terhadap alat- alat pengujian di labotarium sehingga bisa didapatkan hasil yang lebih akurat.
3. *Maintenance* ( perawatan dan perbaikan) peralatan di laboratorium mutlak diperlukan untuk menghindari kesalahan pembacaan yang berakibat fatal dalam proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

Anonim. 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 Cetakan Ke 7*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.

Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Faqih, Moh. Isnaini. 2006. *Pengaruh Variasi Prosentase Luas Tulangan Tekan Terhadap Luas Tulangan Tarik Ditinjau Pada Lendutan (Defleksi) Balok*. Tidak Diterbitkan. Malang : Jurusan Sipil FT Unibraw, 2006.

Mosley, W. H. Dan Bungey J. H. 1987. *Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta : Erlangga.

Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan dasar*. Bandung: PT ERESCO.

Riduwan, Drs.M.B.A. dan Akdon, Dr.M.Pd. 2005, *Rumus dan Data dalam Aplikasi Statistika*. Alfabeta.

Vis, W.C and Kusuma, Gideon. 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (Berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03) Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Wang, Chu Kia And Charles G. Salmon. 1994. *Disain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.

Winter, Geoge And Nilson, Arthur H.1993. Perencanaan Struktur Beton Bertulang. Jakarta : PT Pradnya Paramita.

