

**PENGARUH VARIASI LUAS TULANGAN LAPANGAN  
YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN TERHADAP POLA  
KERUNTUHAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :  
NANANG SETYO UTOMO  
NIM.0110610068**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2007**

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil Analisa Agregat Halus
Lampiran 2	Hasil Analisa Agregat Kasar
Lampiran 3	Hasil Analisa Mix Design
Lampiran 4	Grafik dan Analisa Uji Tarik Baja
Lampiran 5	Data Hasil Uji Tekan Beton Silinder
Lampiran 6	Analisa Perhitungan Tulangan
Lampiran 7	Gambar Tulangan Balok Uji
Lampiran 8	Data Hasil Pengujian Balok
Lampiran 9	Perhitungan Momen Retak Awal dan Beban Retak Awal
Lampiran 10	Analisa Statistik
Lampiran 11	Dokumentasi Balok Uji
Lampiran 12	Gambar Retak Balok Uji
Lampiran 13	Dokumentasi Penelitian

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney	6
Gambar 2.2.	Perilaku Lentur Pada Beban Kecil	9
Gambar 2.3.	Perilaku Lentur Pada Beban Sedang	9
Gambar 2.4.	Perilaku Lentur Dekat Beban Ultimit	10
Gambar 2.5.	Keruntuhan Tarik Diagonal	13
Gambar 2.6.	Jenis Keruntuhan Geser Pada Balok Pendek	14
Gambar 2.7.	Balok Menahan Beban Ultimit	15
Gambar 2.8.	Analisa Balok Bertulang Rangkap	18
Gambar 3.3.	Pengujian Kuat Lentur Balok	27
Gambar 4.1.	Grafik Polynomial Orde 2 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal	35
Gambar 4.2.	Grafik Polynomial Orde 3 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal	35
Gambar 4.3.	Grafik Polynomial Orde 6 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal	35
Gambar 4.4.	Grafik Polynomial Orde 2 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir	37
Gambar 4.5.	Grafik Polynomial Orde 3 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir	37
Gambar 4.6.	Grafik Polynomial Orde 6 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir	38
Gambar 4.7.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal	40
Gambar 4.8.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal	41
Gambar 4.9.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir	45

Gambar 4.10. Variasi di dalam kekuatan Geser Sesuai Dengan a/d Untuk  
Balok Persegi

40

Gambar 4.7. Grafik Polynomial Perbandingan Prosentase Tulangan dengan  
Pn Uji

47



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Lebar Retak Yang Diijinkan	11
Tabel 2.2.	Pengaruh Kelangsingan Balok Terhadap Ragam Keruntuhan	12
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	30
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	30
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Slump	31
Tabel 4.4.	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder	32
Tabel 4.5.	Hasil Uji Kuat Tarik Baja	33
Tabel 4.6.	Jumlah Varisi Prosentase Luas Tulangan Lapangan Yang Diteruskan Ke Tumpuan Pada Balok Teoritis dan Aktual	33
Tabel 4.7.	Hasil Beban Retak Awal	34
Tabel 4.8.	Hasil Beban Retak Awal Aktual	36
Tabel 4.9.	Beban Retak Awal Perhitungan Regresi	40
Tabel 4.10.	Kondisi Balok Uji Pada Saat Beban yang Sama Sebesar $P=3461.96812$ kg	40
Tabel 4.11.	Kondisi Balok Uji Pada Saat Beban yang Sama Sebesar $P= 1056$ kg	41
Tabel 4.12.	Beban Retak Awal dan Momen Retak Awal Perhitungan	43
Tabel 4.13.	Beban Retak Awal Perhitungan Regresi	44
Tabel 4.14.	Kondisi Balok Uji Pada Saat Beban yang Sama Sebesar $P =7774.84$ kg	45
Tabel 4.15.	Jenis Keruntuhan Berdasarkan nilai $a/d$	46
Tabel 4.16.	Perbandingan $P_n$ Perhitungan dan $P_n$ Uji	48
Tabel 4.17.	Anova Satu Arah Untuk Retak Awal	49
Tabel 4.17.	Anova Satu Arah Untuk Retak Akhir	50

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
ABSTRAKSI	x
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Pembatasan Masalah	2
1.3. Perumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Balok Terlentur	5
2.3. Analisa Kekuatan Batas	8
2.4. Lebar Retak Ijin	11
2.5. Penggolongan Kruntuhan Balok Tanpa Tulangan Diagonal	12
2.5.1 Keruntuhan Lentur	12
2.5.2 Keruntuhan Tarik Diagonal	13
2.5.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik	14
2.6. Keseimbangan Gaya – Gaya Dalam	15
2.7. Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok	16
2.8. Hipotesis Penelitian	20



**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3.	Analisa Bahan yang Digunakan	
3.3.1.	Air	21
3.3.2.	Semen	22
3.3.3.	Pasir	22
3.3.4.	Baja Tulangan	22
3.3.5.	Agregat Kasar	22
3.3.6.	Jumlah Benda Uji	22
3.4.	Diagram Pengerjaan Penelitian	23
3.5.	Pengujian Bahan Dasar	24
3.5.1.	Agregat Halus	24
3.5.2.	Agregat Kasar	24
3.5.3.	Baja Tulangan	25
3.5.4.	Beton	26
3.6.	Pengujian Balok	27
3.7.	Variabel Penelitian	28
3.8.	Hipotesa Penelitian	29

**BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1.	Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar	30
4.1.1.	Agregat Halus	30
4.1.2.	Agregat Kasar	30
4.1.3.	Campuran Beton	31
4.1.4.	Pengujian Beton Segar/Slump	31
4.2.	Pengujian Kuat Tekan Beton	32
4.3.	Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Baja Tulangan	32
4.4.	Pengujian Kuat Lentur Balok	33



4.5. Sifat – Sifat Umum Hasil Pengujian model	34
4.6. Beban Retak Awal Benda Uji	34
4.7. Beban Retak Akhir Benda Uji	36
4.8. Hasil Pengamatan	38
4.9. Pembahasan	38
4.9.1. Pembahasan Penelitian	38
4.9.2. Pembahasan Beban Retak Awal Balok	39
4.9.2.1. Pembahasan Beban Retak Awal Balok Aktual	39
4.9.2.2. Pembahasan Beban Retak Awal (Pcr) Aktual	42
4.9.3. Pembahasan Beban Retak Akhir Balok Uji	44
4.9.4. Pembahasan Pola Keruntuhan Balok Uji	46
4.9.4.1. Pembahasan Pola Keruntuhan Berdasarkan nilai a/d	46
4.9.4.2. Pembahasan Pola Keruntuhan Berdasarkan Kani	47
4.10 Pengujian Hipotesis	48
4.10.1 Pengaruh Variasi Prosentase Tulangan Lapangan Yang diteruskan ke Tumpuan Terhadap Beban Retak Awal Balok Uji	48
4.10.2 Pengaruh Variasi Prosentase Tulangan Lapangan Yang Diteruskan ke Tumpuan Terhadap Beban Retak Akhir Balok Uji	49
<b>BAB V. PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	52
<b>LAMPIRAN</b>	

## ABSTRAKSI

NANANG SETYO UTOMO, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, *Pengaruh Variasi Luas Tulangan lapangan yang Masuk ke Tumpuan Terhadap Pola Keruntuhan*.

Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Arifi Soenaryo.

---

Dalam SK SNI T-15-2002-03 pasal 3.5.11 ayat 1 disebutkan bahwa Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan". Dengan kata lain bahwa pada tulangan lapangan harus diteruskan ke tumpuan sebesar sepertiga atau 30% dari luas tulangan total di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase yang menghasilkan retak minimum pada benda uji, serta mengetahui pola keruntuhan balok akibat adanya variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan balok uji berukuran 20 x 25 x 140 cm dengan luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan divariasikan sebesar 15.3%, 22%, 30.4%, 41.8% dan 50% dimana pengujian dilakukan dengan memberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar pada balok uji. Analisa yang dilakukan adalah dengan membandingkan beban tiap prosentase terhadap prosentase 30.4%, dimana prosentase 30.4% adalah prosentase kontrol dalam penelitian ini, sehingga dapat diketahui perbandingan kemampuan menahan beban tiap variasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser. Sedangkan prosentase yang menghasilkan retak minimum pada beban yang sama (sebesar beban retak pada prosentase 30.4%) terdapat pada prosentase 30.4%. Hal ini menunjukkan, bahwa tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan sebesar 30.4%, memiliki kapasitas dukung dalam menahan beban lebih besar dibandingkan kapasitas dukung beban pada prosentase 15.3%, 22%, 41.8% dan 50%.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya memperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama itu disebut sebagai beton bertulang.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan nilai kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya (*Istimawan Dipohusodo*). Melihat sifat beton diatas, bila suatu beton tersebut tidak mampu lagi menerima gaya tarik maka akan terjadi retak-retak yang makin lama makin dalam, sampai pada suatu ketika elemen beton tersebut akan pecah atau runtuh (*collapse*).

Pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat yang berupa shear interlock pada permukaan singgung antara batang tulangan dan 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 antara baja dan beton sehingga besar tegangan tarik yang harus ditahan juga menyesuaikan di sepanjang batang tulangan baja tarik. Oleh karena itu tegangan tersebut disebut sebagai tegangan lekat lenturan. Oleh karena itu diperlukan persyaratan tertentu untuk mengantisipasi tegangan lekat lentur pada tempat-tempat rawan di sepanjang bentang terhadap perubahan gaya tarik dalam tulangan.

Untuk menjamin tercapainya lekatan kuat adalah dengan memperhitungkan efek penambatan atau penjangkaran ujung-ujung batang tulangan baja dalam beton. Apabila penambatan ujung-ujung batang tulangan tersebut dijamin berfungsi dan berlangsung dengan baik, maka lekatan antara beton dan baja pada keseluruhan akan tetap kokoh pula, dan dengan demikian kapasitas daya dukung balok tidak akan terganggu. Penambatan ujung batang tulangan baja akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tersebut tertanam kokoh di dalam beton pada jarak kedalaman tertentu. "Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan

seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit 150 mm” (SK SNI T-15-2002-03 pasal 3.5.11 ayat 1) atau dengan kata lain bahwa pada tulangan lapangan harus diteruskan ke tumpuan sebesar sepertiga atau 30% dari luas tulangan total di lapangan.

Sebagai penelitian akan diambil variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan balok untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kapasitas lentur, lendutan, batas runtuh, lebar retak dan pola runtuh sebagai sifat umum beton, sehingga perkuatan struktur balok yang ekonomis dan efisien dapat dicapai.

## 1.2. Pembatasan Masalah

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

1. Balok tulangan diberi beban sampai runtuh.
2. Tidak mempertimbangkan daya lekat beton terhadap tulangan
3. Tidak menganalisa kekompositannya.
4. Tidak memperhitungkan berat sendiri balok
5. Tidak memperhitungkan susut dan rangkak.
6. Perbandingan luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan yang dipakai adalah 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%.
7. Pengujian dilakukan dengan dua beban terpusat yang simetris.
8. Tidak membahas adanya pengaruh torsi
9. Kondisi balok benda uji *underreinforced*
10. Mutu balok benda uji digunakan  $f'c = 22.5$  Mpa

### 1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pola keruntuhan dari masing – masing benda uji akibat variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan
2. Dengan berat pembebanan yang sama, benda uji dengan prosentase manakah yang menghasilkan pola retak minimum.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Dalam penulisan skripsi ini, tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. mengetahui pola keruntuhan balok akibat adanya variasi prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan.
2. mengetahui prosentase yang menghasilkan pola retak minumum pada benda uji.

### 1.5. Kegunaan Penelitian

1. Memberikan gambaran mengenai pengaruh variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan pada penerapan di lapangan.
2. Memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai jenis keruntuhan pada balok akibat variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan.
3. Memberikan alternatif yang ekonomis dalam proses perencanaan luas penulangan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Umum

Dua filsafat perencanaan selama ini telah tampil, yaitu Metode Tegangan Kerja (*Working Stress Method*) yang terpusat pada keadaan beban layan yaitu pada pemakaian struktur, dipakai sejak awal tahun 1900 sampai awal 1960. Kemudian terjadi peralihan pada Metode Rencana Kekuatan (*Strength Design Method*) yang terpusat pada keadaan pembebanan yang melampaui beban kerja pada saat struktur terancam keruntuhan.

Pembahasan kedua metode tersebut perlu didasari dengan pengetahuan perbedaan arti kekuatan dan kegunaan sebagai kriteria perencanaan. Istilah kekuatan berarti kapasitas pada saat menjelang terjadinya kehancuran akibat suatu beban, sedangkan kegunaan berarti kinerja yang memuaskan pada kondisi beban guna atau beban kerja (tegangan kerja).

Pada perencanaan suatu konstruksi harus menjamin bahwa dibawah pembebanan terburuk konstruksi adalah aman dan selama kondisi kerja normal, deformasi dan bagian-bagian konstruksi tidak mengurangi bentuk, keawetan dan penampilan dan konstruksi. Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampang sewaktu mendukung beban kerja dan masih mempunyai cukup kemanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh, serta untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur beton terlentur. Sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan.

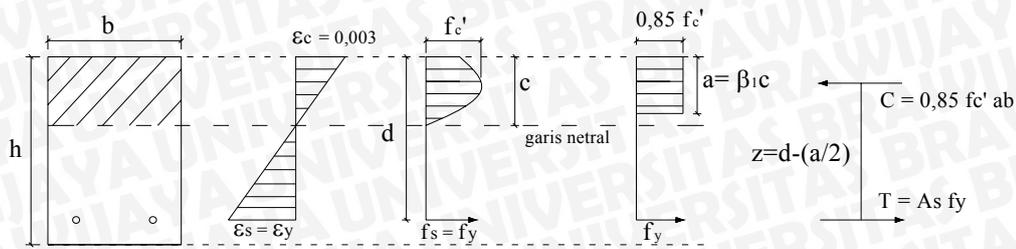
## 2.2 Balok Terlentur

Beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti angin, atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul akibat beban luar.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai kapasitas elemen. Taraf pembebanan demikian disebut *keadaan limit dari keruntuhan pada lentur*.

Tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar (momen batas). Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Pada suatu komposisi tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton maksimum ( $\epsilon'_{b \text{ maks}}$ ) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh  $f_y$ . Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan, atau disebut penampang bertulang seimbang. Ini berarti bahwa untuk suatu komposisi beton dengan jumlah tulangan tertentu akan memberikan keadaan hancur tertentu pula.

Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya-gaya dalam



**Gambar 2.1** Blok Tegangan Ekuivalen Whitney

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

Seperti tampak pada Gambar 2.1,  $C$  adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan  $T$  adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam di mana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Momen tahanan dalam tersebut akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa hingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban. Untuk menentukan momen tahanan dalam yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan  $C$ , dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak  $z$  dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung diganti dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

Untuk tujuan penyederhanaan Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekivalen. Standar SNI 03-2847-2002 pasal 10.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun ada ayat 6 tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk yang lain sepanjang hal itu merupakan hasil pengujian. Dengan menggunakan distribusi tegangan untuk persegi empat ekivalen serta anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal  $M_n$  dari balok beton bertulang empat persegi bertulangan tarik saja.

Berdasarkan bentuk empat persegi empat, seperti tampak pada Gambar 2.1 intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar  $0.85 f_c'$  dan dianggap bekerja pada daerah tekan dan penampang balok selebar  $b$  dan sedalam  $a$ , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus:

$$a = \beta_1 \cdot c \quad (2-1)$$

dimana:

$c$  = jarak serat tekan terluar ke garis netral

$\beta_1$  = Konstanta yang merupakan fungsi dan kelas kuat tekan beton.

Standart SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai  $\beta_1$  diambil 0.85 untuk  $f_c' < 30$  MPa, Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 MPa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.

Dengan menggunakan anggapan bahwa baja tarik telah mencapai tegangan luluh ( $f_y$ ), kemudian harus diperiksa sebagai berikut:

$$C = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \quad (2-2)$$

$$T = A_s f_y \quad (2-3)$$

$$\Sigma H = 0 \quad (2-4)$$

$$C = T \quad (2-5)$$

$$0,85 f_c' \cdot a \cdot b = A_s f_y \quad (2-6)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad (2-7)$$

$$M_n = T \cdot (d - a/2) \quad (2-8)$$

### 2.3 Analisa Kekuatan Batas

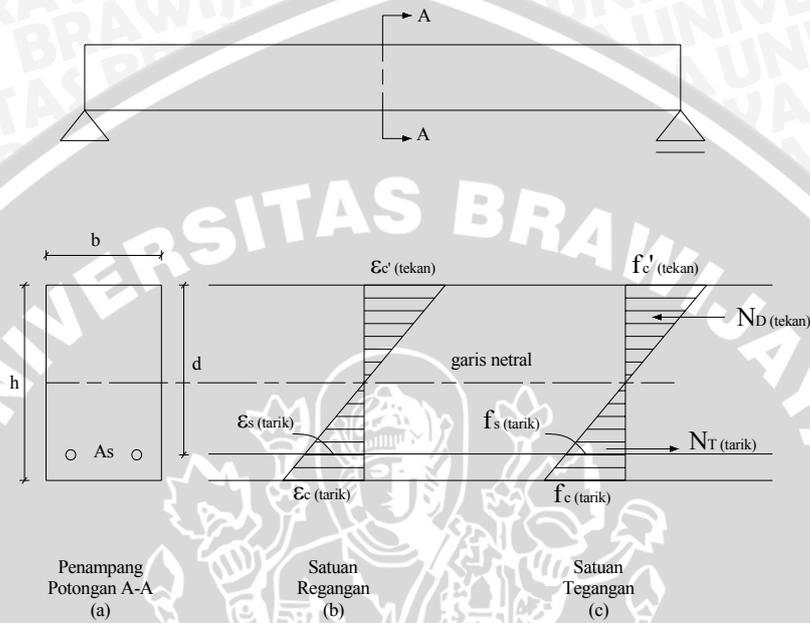
Pada metode kekuatan batas (*Ultimit*), beban kerja (*Service Loads*) diperbesar, dikalikan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat keruntuhan telah diambang pintu, kemudian dengan menggunakan beban kerja yang sudah diperbesar (beban terfaktor) tersebut, struktur direncanakan sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saat runtuh yang besarnya kira-kira lebih kecil sedikit dari kuat batas runtuh sesungguhnya. Kekuatan pada saat runtuh tersebut dinamakan kuat ultimit dan beban yang bekerja pada atau saat runtuh dinamakan beban ultimit.

Untuk membahas metode kekuatan lebih lanjut, berikut ini diberikan tinjauan ulang perilaku balok beton bertulang bentang sederhana untuk memikul beban yang berangsur meningkat dan mula-mula kecil sampai pada suatu tingkat pembebanan yang menyebabkan hancurnya struktur.

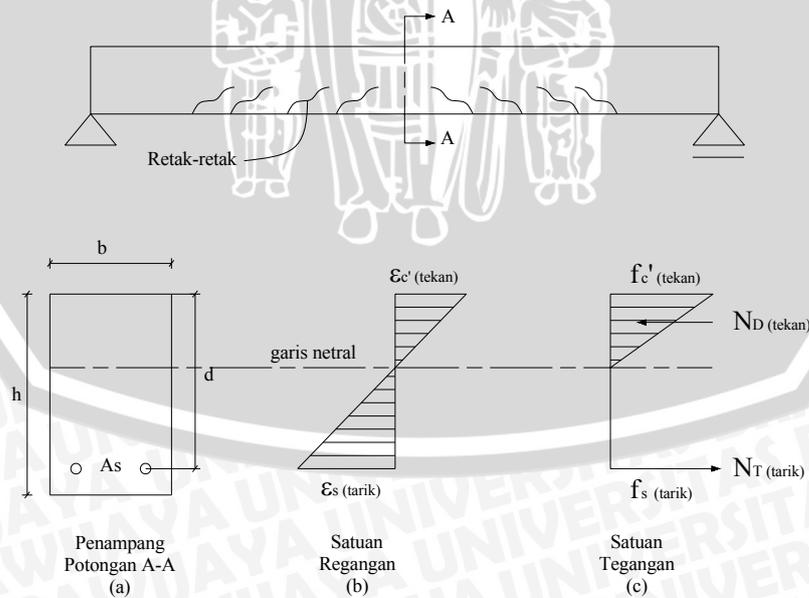
Pada beban kecil, dengan menganggap belum terjadi retak beton, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton saja. Distribusi tegangan akan tampak pada Gambar 2.2 dimana distribusi tegangannya linier, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Kasus demikian ditemui bila tegangan maksimum yang timbul pada serat tarik masih cukup rendah, nilainya masih dibawah *Modulus of Rupture*.

Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut seperti tampak pada Gambar 2.3, karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak, karena terputus-putus, baja tulangan akan mengambil alih

memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada atau dekat bagian yang retak tampak seperti pada Gambar 2.3, dan hal yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan  $\frac{1}{2} f'_c$ . Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya.

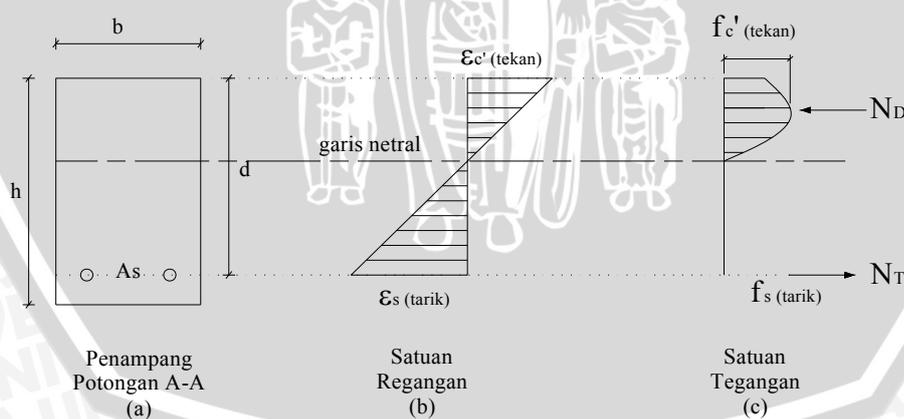


**Gambar 2.2** Prilaku Lentur pada beban Kecil  
**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan



**Gambar 2.3** Perilaku Lentur pada Beban Sedang  
**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antara keduanya, dimana tegangan beton tekan akan membentuk kurva non Linier. Kurva tegangan diatas garis netral (daerah tekan) berbentuk sama dengan kurva tegangan-regangan beton seperti yang tergambar pada Gambar 2.4. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada atau dekat keadaan pembebanan ultimit, dimana apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, balok mengalami hancur. Sampai dengan tahap ini, tampak bahwa tercapainya kapasitas ultimit mencapai proses yang tidak dapat berulang. Komponen struktur telah retak dan tulangan baja meluluh, mulur, terjadi lendutan besar dan tidak akan dapat kembali ke panjang semula. Bila komponen lain dan sistem mengalami hal yang sama, mencapai kapasitas ultimitnya, struktur secara keseluruhan akan remuk dalam strata runtuh atau setengah runtuh meskipun belum hancur secara keseluruhan. Walaupun tidak dapat dijamin sepenuhnya, namun dengan menggunakan beberapa faktor aman maka tercapainya keadaan ultimit dapat diperhitungkan serta dikendalikan.



**Gambar 2.4** Perilaku Lentur Dekat Beban Ultimit

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

## 2.4. Lebar Retak Ijin

Lebar retak yang sesungguhnya di dalam struktur beton bertulang akan bervariasi dan tidak dapat ditaksir secara tepat, jadi syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah bahwa kemungkinan lebar maksimum melampaui suatu harga yang memuaskan adalah kecil. Harga maksimum yang dapat diterima dianjurkan sebesar 0,3 mm pada setiap posisi pada permukaan beton dalam keadaan keliling yang normal dan dianjurkan harga yang lebih rendah untuk bagian konstruksi yang penting seperti pada konstruksi penahan air

Lebar retak maksimum yang diizinkan pada suatu elemen struktur bergantung pada fungsi khusus elemen tersebut dan kondisi lingkungan elemen struktur tersebut. *ACI Commitee 224* memberikan petunjuk mengenai lebar retak maksimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi lingkungan.

**Tabel 2.1** Lebar Retak Yang Diizinkan

No	Kondisi lingkungan	Lebar retak	
		Inch	mm
1	Udara kering/membran terlindung	0,016	0,41
2	Udara lembab tanah	0,012	0,3
3	Senyawa kimia	0,007	0,18
4	Air laut basah/kering	0,006	0,15
5	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0,004	0,10

Sumber : Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Nawy, E.G

## 2.5 Penggolongan Keruntuhan Balok Tanpa Tulangan Diagonal

Jenis keruntuhan balok beton bertulang tergantung pada kelangsingan suatu blok dengan ketinggian  $d$ , biasanya dinyatakan sebagai  $a/d$  yaitu rasio antara bentang geser dengan tinggi efektif balok untuk beban terpusat atau  $L/d$  untuk beban terbagi rata.

Menurut Nawy, E.G (1990) keruntuhan suatu belok dapat terjadi menurut salah satu atau kombinasi dari 3 ragam keruntuhan berikut :

1. Keruntuhan lentur (*flexure failure*)
2. Keruntuhan tarik diagonal (*diagonal tension failure*)
3. Keruntuhan geser tekan dan geser tarik (*shear compression failure and shear tension failure*)

**Tabel 2.2** Pengaruh Kelangsingan Balok Terhadap Ragam Keruntuhan

Jenis Balok	Ragam Keruntuhan	Kelangsingan Balok	
		Beban terpusat $a/d$	Beban merata $L/d$
Langsing	Lentur	$> 6$	$> 16$
Sedang / Normal	Tarik diagonal	2,5 - 6	11 - 16
Pendek	Geser tekan / tarik	1 - 2,5	1 - 5

Sumber : Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Nawy, E.G

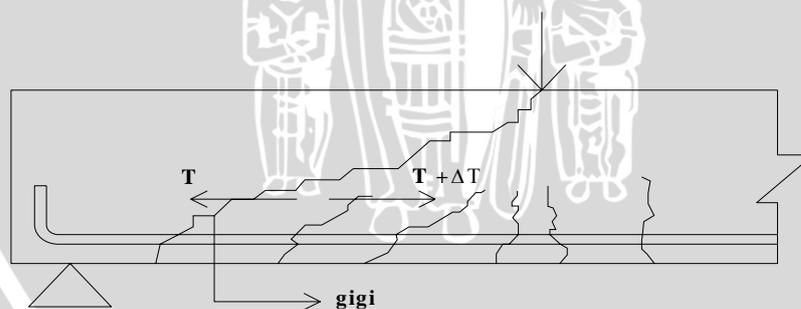
### 2.5.1 Keruntuhan Lentur

Keruntuhan ini biasanya terjadi pada balok dengan harga  $a/d > 6$  untuk beban terpusat dan  $L/d > 16$  untuk beban merata. Pada keruntuhan jenis ini, terjadi retak dengan arah vertikal di daerah tengah bentang dengan panjang retak diperkirakan  $1/3$  bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk ditengah bentang pada tingkat beban kira-kira 50% dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban luar, retak mulai menyebar di daerah tengah bentang dan retak awal mulai melebar dan merambat ke

garis netral serta ditandai dengan meningkatnya lendutan. Bila penulangan balok under reinforced, keruntuhan secara daktail dengan diawali lelehnya tulangan lentur. Keruntuhan ini akan menjadi peringatan yang cukup sebelum balok runtuh. Kekuatan balok sepenuhnya tergantung pada besarnya momen maksimum dan tidak berpengaruh pada gaya geser.

### 2.5.2 Keruntuhan Tarik Diagonal

Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan panjang sedang yaitu dengan  $2,5 \leq a/d \leq 6$ , retak lentur vertikal adalah retak pertama yang terbentuk, disusul dengan retak geser lentur miring. Pada mulanya beberapa retak lentur cenderung untuk melengkung dan membentuk segmen balok diantara retak, yang berupa gigi seperti terlihat pada gambar 2.5 Apabila pangkal dari gigi ini menciut sebagai akibat dari bertambahnya retak lentur, maka ukurannya akan sedemikian rupa sehingga tidak akan sanggup untuk memikul momen akibat  $\Delta T$ , akar gigi akan pecah dan membentuk retak lentur yang miring, dan terjadinya retak miring tersebut secara tiba-tiba.



**Gambar 2.5** Keruntuhan tarik diagonal / retak gigi

Sumber : Wang, C.K, 1994 : 129

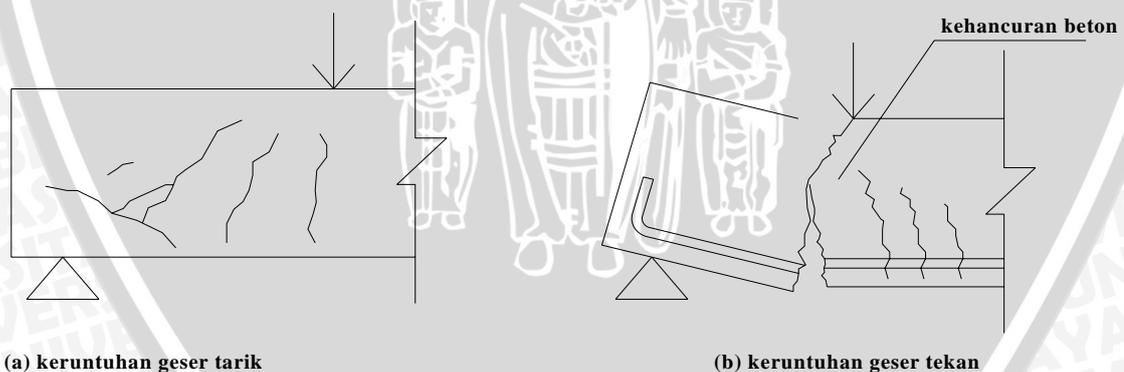
Setelah terbentuk retak miring balok tidak sanggup lagi untuk mendistribusikan beban seperti pada keadaan  $a/d$  yang lebih kecil. Jadi pembentukan retak miring

mencerminkan kekuatan geser balok, yang kemudian dinamakan keruntuhan tarik diagonal yang digunakan sebagai kategori umum dalam perencanaan balok.

### 2.5.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik

Keruntuhan ini terjadi untuk harga  $1 \leq a/d \leq 2,5$  atau  $1 \leq L/d \leq 5$ . Seperti pada balok tinggi, balok pendek memiliki kekuatan geser yang melebihi kekuatan retak miring.

Setelah terjadi retak geser lentur, retak merambat lebih jauh ke dalam daerah tekan dengan bertambahnya beban. Retak ini juga merambat sebagai suatu retak sekunder menuju tulangan tarik dan kemudian menerus secara horisontal sepanjang penulangan tersebut. Keruntuhan akhirnya terjadi sebagai akibat dari (1) keruntuhan anker pada tulangan tarik, yang disebut sebagai suatu keruntuhan geser tarik (*shear tension*) pada gambar 2.6a, atau (2) keruntuhan akibat hancurnya beton disekitar daerah tekan yang dinamakan geser tekan (*shear compression*) pada gambar 2.6b

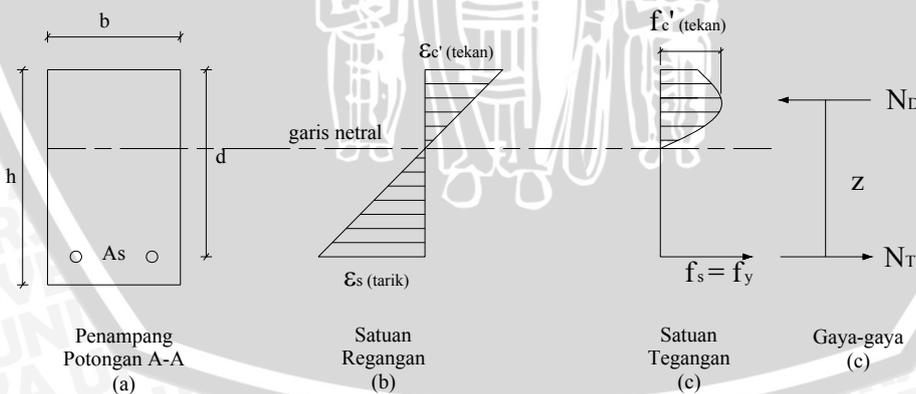


**Gambar 2.6** Jenis keruntuhan geser pada balok pendek

**Sumber :** Wang, C.K, 1994 : 128

## 2.6 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

Berdasarkan pada anggapan-anggapan seperti yang telah dikemukakan diatas, dapat melakukan pengujian regangan, tegangan dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang bekerja menahan momen batas yaitu momen akibat beban luar yang timbul tepat pada saat terjadi hancur. Momen ini mencerminkan kekuatan dan dimasa lalu disebut sebagai kuat lentur ultimit balok. Kuat lentur suatu balok tersedia karena berlangsungnya mekanisme *tegangan-tegangan dalam* yang timbul didalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh *gaya-gaya dalam*. Seperti tampak pada Gambar 2.5,  $N_D$  adalah suatu resultante *gaya tekan dalam*, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah diatas garis netral. Sedangkan  $N_T$  adalah resultante *gaya tarik dalam*, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah dibawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel *momen tahanan dalam* dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.



**Gambar 2.7** Balok Menahan Beban Ultimit

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

*Momen Tahanan Dalam* tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan

balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan *momen tahanan dalam* paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

Untuk menentukan *momen tahanan dalam*, yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan  $N_D$  dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak  $z$  dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

## 2.7 Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap untuk Balok.

Suatu balok, apapun bentuknya dalam perencanaannya dapat memakai tulangan tunggal maupun tulangan rangkap. Pada tulangan tunggal, suatu balok hanya memakai tulangan tarik saja, sedangkan pada tulangan rangkap suatu balok memakai tulangan tarik dan tulangan tekan. Oleh karena kekuatan beton relatif tinggi, maka kebutuhan akan penulangan tekan untuk mendapatkan kekuatan yang cukup tidak terlalu besar.

Tidak semua balok membutuhkan tulangan tekan didalam perencanaannya, oleh karena itu digunakan beberapa analisa yang dapat digunakan sehingga kita dapat mengetahui kapan tulangan tekan tersebut dibutuhkan, beberapa analisa tersebut adalah:

1. Pada saat perencanaan suatu balok, apabila suatu penampang dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan dilain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi

balok, maka apabila terjadi kuat momen tahanan ( $M_R$ ) lebih kecil daripada momen rencana ( $M_U$ ), balok direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap.

2. Apabila pada saat perencanaan suatu balok didapat nilai rasio penulangan ( $\rho$ ) penampang balok lebih besar dari pada batas nilai rasio penulangan *maksimum* ( $\rho_{maks}$ ) maka jika hal demikian yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan penampang tulangan baja tarik lebih dari batas nilai  $\rho_{maksimum}$  bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan dipasang didaerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

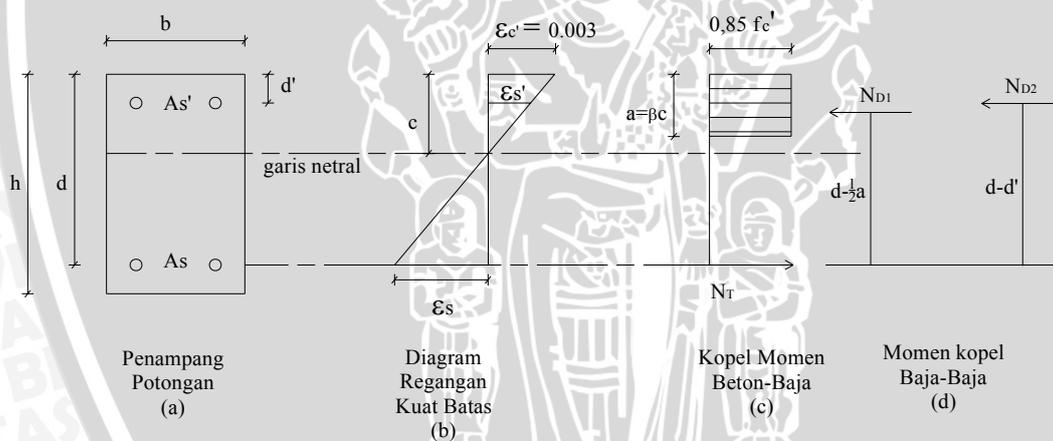
3. Apabila tulangan rangkap dibutuhkan untuk mengurangi lendutan.

Didalam balok yang menggunakan penulangan tekan untuk mengurangi ukuran penampang, lendutan boleh jadi akan berlebihan, dan barangkali akan timbul kesulitan didalam menempatkan semua tulangan tarik diarah lebar balok, sekalipun tulangan diatur didalam lebih dari dua lapis. Penggunaan dan penulangan tekan untuk mengendalikan lendutan adalah merupakan alasan yang umum dari penggunaan tulangan tekan bila digunakan metode kekuatan batas ini.

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 dari 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.



**Gambar 2.8** Analisa balok bertulang rangkap

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan

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

$$f_s = f_s' = f_y \tag{2-10}$$

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

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \tag{2-11}$$

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

Nilai  $a$  didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s')f_y}{(0,85 \cdot f_c')b} \quad (2-12)$$

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.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-13)$$

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.

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

$$\varepsilon_s' = \left( \frac{c - d'}{c} \right) 0,003 \quad (2-14)$$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d - c}{c} \right) 0,003 \quad (2-15)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-16)$$

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

$$A_s f_y = (0,85 f_c')ab + A_s' f_s' \quad (2-17)$$

$$f_s' = 0,003 \left( \frac{c - d'}{c} \right) E_s \quad (2-18)$$

$$f_s' = 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) \cdot E_s \quad (2-19)$$

$$A_s \cdot f_y = (0,85 f_c') ab + A_s' \cdot 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) \cdot E_s \quad (2-20)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

$$M_n = N_{D1} \cdot (d - \frac{1}{2} a) + N_{D2} \cdot (d - d') \quad (2-21)$$

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 bertulangan lemah. Keadaan batas penampang demikian akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas  $\epsilon'_{cu} = 0,003$  dan regangan tarik baja tulangan  $\epsilon_s$  yang melampaui regangan pada penulangan titik leleh  $\epsilon_y$ . Penampang-penampang yang mengalami lentur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tulangannya 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.

## 2.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

- Adanya pengaruh dari prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap pola retak balok beton bertulang.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan dilanjutkan di Laboratorium Teknik Sipil 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
- Ayakan
- Proving ring (ring dial)
- Alat uji tekan
- Dial gauge
- Alat perata
- Dongkrak hidrolis
- Microslap Detector

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

- Semen Gresik type I
- Tulangan baja diameter 6 mm, 8 mm, 10 mm
- Agregat kasar (kerikil/ batu pecah)
- Agregat halus (pasir cor)
- Kayu bekisting
- Air bersih

#### 3.3 Analisis Bahan Yang Digunakan

##### 3.3.1 Air

Air yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dimana dilakukan pengujian 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 balok beton bertulang. Menggunakan baja tulangan polos  $\phi 10$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 6$

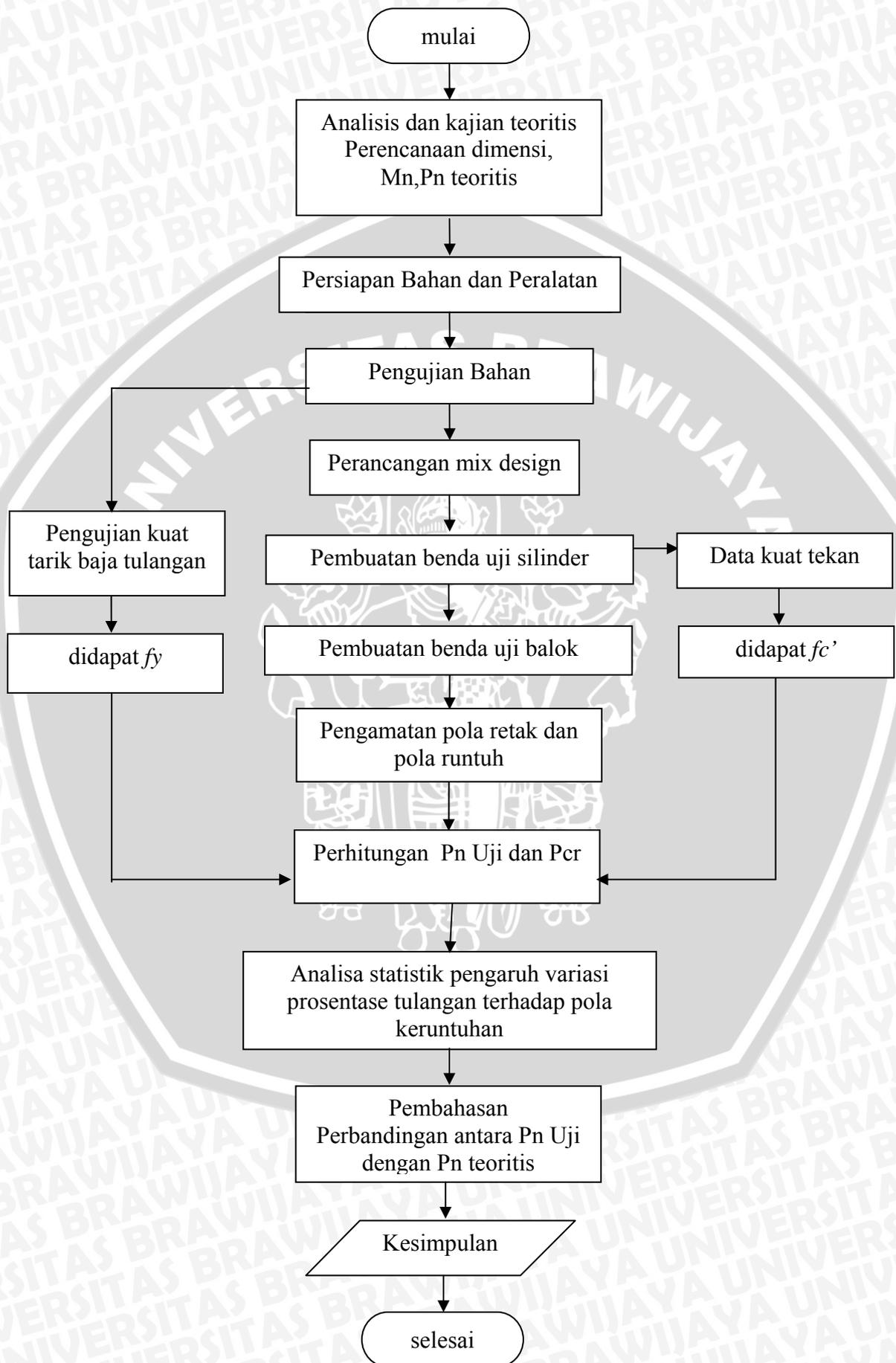
### 3.3.5 Agregat kasar

Agregat kasar berupa kerikil dari batu pecah, yang mana biasa didapatkan di pasaran.

### 3.3.6 jumlah benda uji

Benda uji	Balok Ukuran 20 x 25 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



### 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 beberapa macam ukuran yaitu  $\phi 6$ ,  $\phi 8$ ,  $\phi 10$

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,  $mm^2$

$k \rightarrow dp5 = 5.65$

$dp 10 = 11.3$

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 = 30 cm dan diameter = 15 cm. Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan pada umur benda uji 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 3 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> )

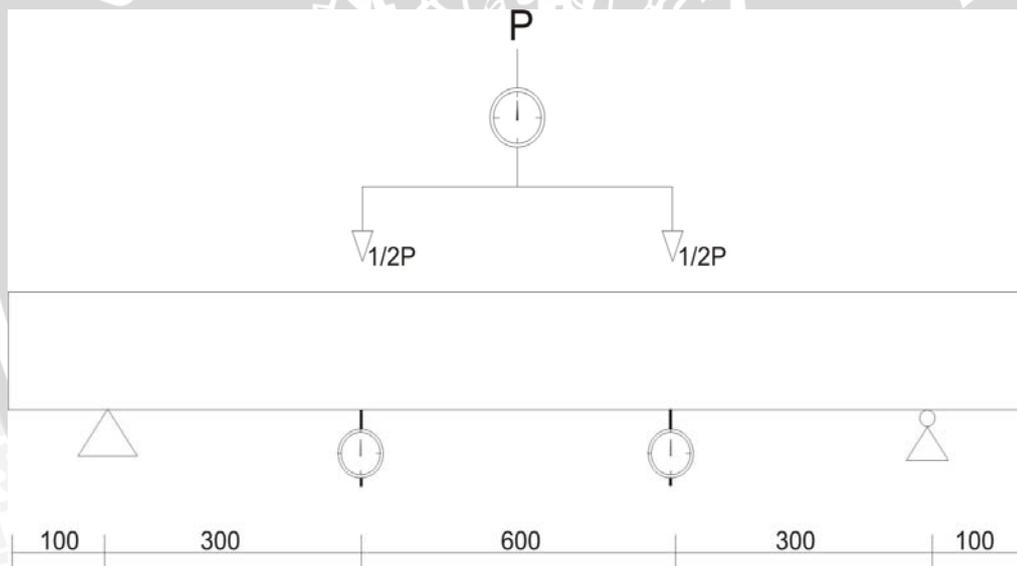
Pembuatan benda uji dan prosedur pengujian kuat tekan beton mengikuti peraturan SNI M-14-1989-F.

### 3.6 Pengujian Balok

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

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 3.3** 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 28 hari

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. Dial 1 dan 3 diletakkan tepat di bawah  $\frac{1}{2}$  P dan dial 2 diletakkan di tengah balok
4. Pemasangan alat proving ring di atas benda uji dengan posisi di tengah 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 *mikroslap crack detector* dilakukan setelah penambahan beban saat terjadi retak lentur awal, 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 sampai benda uji mengalami keruntuhan.

### 3.7 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- a. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebasnya adalah prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.
- b. Variabel terikat, adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah P ultimit dan jenis keruntuhan.

### 3.8. Hipotesa Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan, maka dilakukan pengolahan data melalui uji dengan prosedur sebagai berikut :

a. Menentukan hipotesis

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

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

Dengan :

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

$H_1$  : hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tak bebas.

b. Menentukan *level of significant a*

c. Melakukan pengambilan keputusan :

- Jika F hitung > F tabel, maka  $H_0$  ditolak
- Jika F hitung < F tabel, maka  $H_0$  diterima  
atau
- Jika probabilitas (*sig*) > 0.05, maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas (*sig*) < 0.05, maka  $H_0$  ditolak.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar

##### 4.1.1. Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah uji analisa saring dan uji sifat fisis. Uji analisa saring digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus. Sedangkan uji sifat fisis dilakukan untuk mengetahui berat jenis dan penyerapannya. Dari hasil pengujian, didapat :

**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 percobaan dan perhitungan

Dari grafik, masuk pada zona gradasi : 2

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1

##### 4.1.2. Agregat Kasar

Ukuran butiran maksimum yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 cm. Dasar dari penentuan ini adalah jarak selimut beton yang ditetapkan. Uji yang dilakukan pada agregat kasar adalah uji analisa saring dan uji berat jenis dan penyerapan. Dari hasil pengujian, didapat :

**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 percobaan dan perhitungan

Dari grafik, termasuk agregat campuran, ukuran butiran maksimum 2 cm, data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 2

#### 4.1.3. Campuran beton

Campuran beton yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 : 1.92 : 2.60 dengan faktor air semen (FAS) 0,52. Dasar dari pemilihan campuran ini adalah *mix design* yang telah dilakukan dan campuran didesain dengan target kuat tekan  $f_c' = 22,5$  MPa. Pada campuran ini menggunakan semen Gresik tipe I dan menggunakan air yang berasal dari PDAM Kota Malang yang berada di Lab Struktur tempat pengujian. Analisa *mix design* selengkapnya bisa dilihat pada bagian lampiran 3

#### 4.1.4 Pengujian Beton Segar/Slump

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Tujuan dari pengujian beton segar ini adalah untuk mengetahui tingkat workability atau kemudahan pengerjaan campuran adukan beton serta mengetahui kekentalannya. Setelah dilakukan pengujian hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Hasil pengujian Slump

Balok uji	Nilai slump
15,3%	15
15.3%	14
15.3%	15
22%	13
22%	12
22%	14
30.4%	17
30.4%	16
30.4%	16
41.8 %	14
41.8%	14
41.8%	14
50%	14
50%	13
50%	12

Sumber :hasil pengujian di laboratorium

#### 4.2. Pengujian kuat tekan beton

Pengujian beton adalah uji tekan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dalam setiap variasi prosentase diambil 3 buah benda uji. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.4.** Hasil uji kuat 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	333.63
22% (2)	176,6	12.9	28	332.15	
22% (3)	176,6	12.8	28	341.93	
30,4% (1)	176,6	13	28	380.45	372.58
30,4% (2)	176,6	12.8	28	324.15	
30,4% (3)	176,6	12.8	28	413.15	
41,8% (1)	176,6	12.9	28	284.50	312.64
41,8% (2)	176,6	12.9	28	337.24	
41,8% (3)	176,6	12.9	28	316.18	
50% (1)	176,6	13	28	332.74	329.49
50% (2)	176,6	12.9	28	335.62	
50% (3)	176,6	13	28	320.12	

Sumber : hasil penelitian di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang

#### 4.3. Pengujian kuat tarik dan modulus elastisitas baja tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh dan tarik baja tulangan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Teknik Sipil Unibraw. Uji tarik ini digunakan untuk mengetahui tegangan leleh ( $f_y$ ) yang diperoleh dengan pembacaan dan perhitungan grafik uji tarik. Adapun grafik dan perhitungan uji tarik dapat dilihat pada lampiran 4. Prosedur pengujian berdasarkan pada SNI M-104-1990-03.

**Tabel 4.5.** Hasil pengujian kuat tarik baja

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

Sumber : hasil pengujian di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang

Tegangan leleh ( $f_y$ ) yang digunakan adalah rata-rata tegangan baja tulangan ( $f_y$ ) dari ketiga jenis diameter tulangan di atas, yaitu sebesar 315.83 MPa

#### 4.4. Pengujian kuat lentur balok

Benda uji berupa balok dengan dimensi 20x25x140 yang berjumlah 15 benda uji. Pengamatan pola retak dilakukan pada saat pengujian pada setiap interval pembebanan. Penentuan pola keruntuhan berdasarkan pola retak yang terjadi dari awal sampai akhir pembebanan. Penambahan beban dihentikan sampai pembacaan dial pada proving ring menunjukkan angka yang turun dengan drastis dan mengamati apakah retak telah menjalar ke permukaan balok. Benda uji dapat dikelompokkan berdasar prosentase tulangan yang berbeda sebagaimana yang ditunjukkan tabel 4.6.

**Tabel 4.6.** Jumlah variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada balok teoritis dan actual

Benda Uji ukuran 20x25x140					
Rencana	10%	20%	30%	40%	50%
Actual	15.3%	22%	30.4%	41.8%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Sumber :Hasil perhitungan

#### 4.5. Sifat-sifat Umum Hasil Pengujian Model

Dari lima belas benda uji yang dibedakan berdasarkan prosentase tulangan lapangan yang masuk ketumpuan, menunjukkan bahwa retak awal yang terjadi adalah retak lentur vertikal dengan lebar retak awal yang teramati sekitar 0.01 mm sampai 0.02 mm. Retak ini terjadi pada bagian bawah balok. Pada pembebanan yang lebih besar lagi, retak lentur vertikal tersebut berkembang menjadi retak lanjutan yang sebagian mengarah ke arah sumbu netral, sebagian lagi menjadi retak miring yang mengarah pada titik beban yang bekerja., terkadang pada beberapa balok, muncul retak lentur vertikal pada tengah bentang.

Pola retak yang terjadi pada sebagian besar balok memperlihatkan pada badan balok terdapat daerah yang bersih dari retak, yaitu sekitar 15 cm - 30 cm dari as tumpuan dan daerah retak berkisar 20 cm-100 cm dari as tumpuan.

#### 4.6. Beban Retak Awal Benda Uji

Tabel 4.7 di bawah ini memperlihatkan besar beban yang menyebabkan retak pertama kali pada masing-masing variasi persentase balok uji.

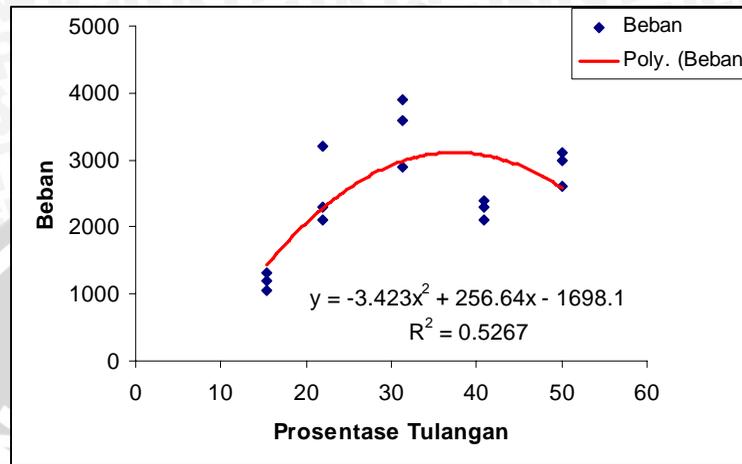
**Tabel 4.7.** Beban Retak Awal

No	Balok Uji	Beban Retak Awal	
		Proving Ring	P (Kg)
1	15.3%	8	1056
2		10	1320
3		9	1188
1	22%	23	2300
2		32	3200
3		21	2100
1	30.40%	29	2900
2		39	3900
3		36	3600
1	41.80%	23	2300
2		24	2400
3		21	2100
1	50%	30	3000
2		31	3100
3		26	2600

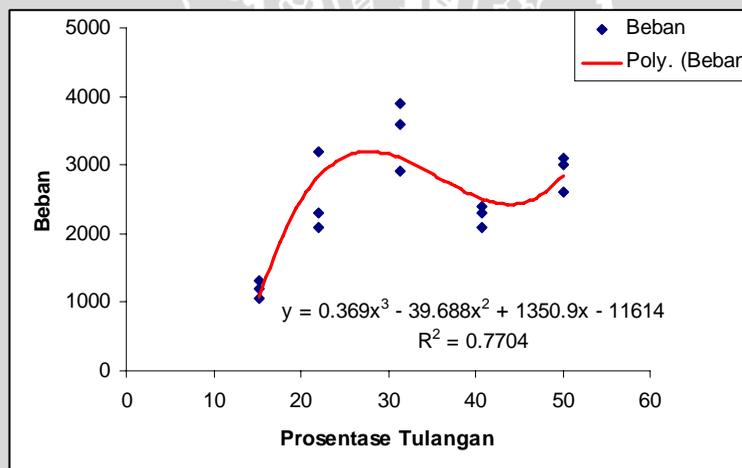
Sumber: Hasil pengujian dan perhitungan

Grafik perbandingan antara beban yang menyebabkan terjadinya retak awal dengan variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara aktual, didapatkan dari hasil pengujian. Grafik tersebut dapat dilihat pada grafik 4.1,4.2,4.3,di bawah ini.

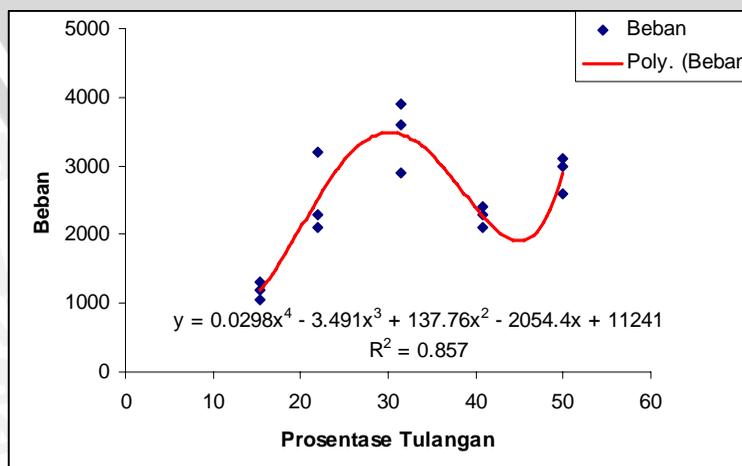
**Gambar 4.1.** Grafik polynomial orde 2 perbandingan prosentase tulangan dengan beban retak awal



**Gambar 4.2.** Grafik polynomial orde 3 perbandingan prosentase tulangan dengan beban retak awal



**Gambar 4.3.** Grafik polynomial orde 6 perbandingan prosentase tulangan dengan beban retak awal



Grafik perbandingan variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan didapatkan dengan melakukan analisis regresi tipe polynomial dengan tingkat orde yang berbeda, yaitu orde dua, orde tiga, dan orde enam. Orde empat, lima, tidak dimasukkan mengingat hasil nilai  $R^2$  untuk orde tersebut memiliki nilai yang sama dengan orde enam. Perbandingan hasil R untuk orde yang berbeda tersebut kemudian dipilih yang mendekati nilai satu. Berdasar hal tersebut, maka dipilih gambar 4.3 dengan nilai  $R^2 = 0.857$

#### 4.7. Beban Retak Akhir Benda Uji

Beban retak akhir yang dimaksudkan di sini adalah besar beban pada saat balok uji tidak mengalami retak lagi yaitu pada saat beban yang ditunjukkan oleh proving ring tidak bertambah. Tabel 4.8 di bawah ini memperlihatkan besar beban retak akhir pada masing-masing variasi prosentase balok uji.

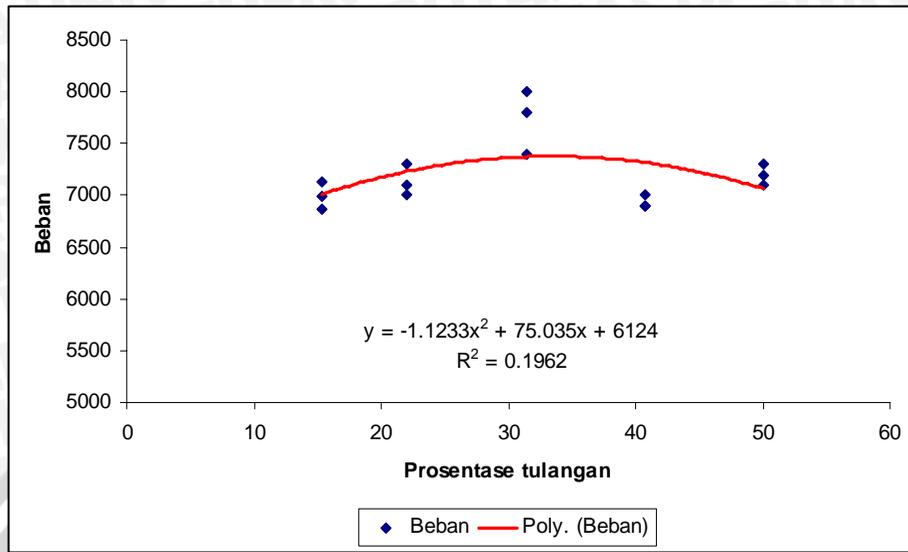
**Tabel 4.8.** Hasil beban retak akhir actual

Persentase benda uji	Beban retak akhir
15.30%	6996
	7128
	6864
22%	7100
	7300
	7000
30.40%	7400
	8000
	7800
41.80%	7000
	6900
	6900
50%	7300
	7200
	7100

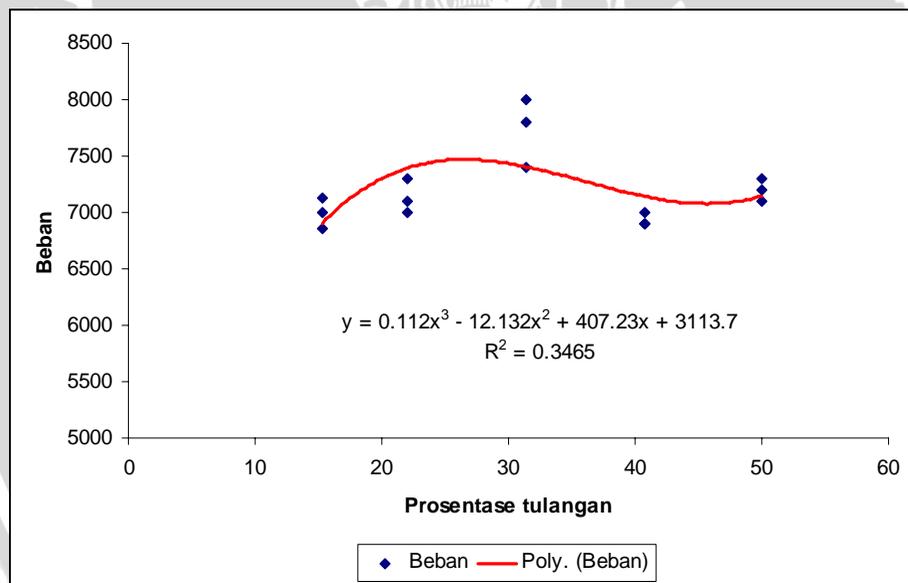
Sumber : hasil pengujian

Grafik perbandingan antara beban pada saat retak akhir dengan variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara actual, didapatkan dari hasil pengujian. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

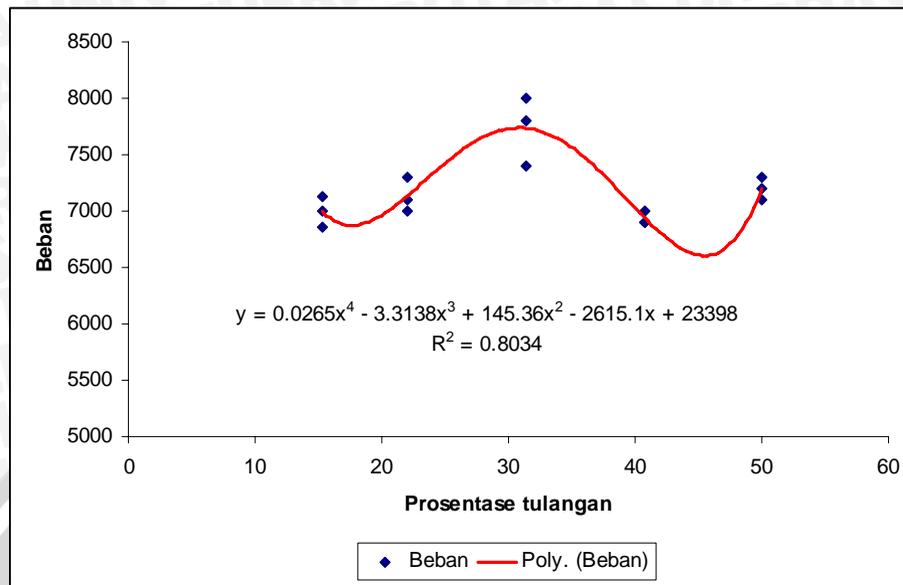
**Gambar 4.4.** Grafik Polynomial Orde 2 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir



**Gambar 4.5.** Grafik Polynomial Orde 3 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir



**Gambar 4.6.** Grafik Polynomial Orde 6 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Akhir



Berdasar ketiga grafik perbandingan antara beban pada saat retak akhir dengan variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara aktual, maka dipilih yang memiliki nilai  $R^2$  mendekati satu, yaitu pada gambar 4.6 dengan nilai  $R^2=0.8034$

#### 4.8. Hasil Pengamatan

Pengamatan pola retak dilakukan pada setiap retak yang terjadi akibat pembebanan, hingga benda uji mengalami keruntuhan yang ditandai dengan jarum pada proving ring tidak dapat bertambah atau jarum bergerak mundur. Hasil retak yang terjadi akibat pembebanan, diberi penomoran yang berbeda serta diukur lebar yang terjadi. Hasil Pengamatan dapat dilihat pada lampiran 8.

#### 4.9 Pembahasan

##### 4.9.1. Pembahasan Penelitian

Pada saat awal pembebanan, balok uji masih dalam kondisi bebas retak. Baru setelah beban mencapai nilai tertentu, muncul retak awal berupa retak lentur vertikal dengan lebar retak awal yang teramati sekitar 0.01 mm sampai 0.02 mm. Adanya peningkatan beban menimbulkan retak lanjutan ataupun retak baru yang sebagian mengarah pada sumbu netral, sebagian menuju titik tumpuan menjadi retak geser. Pada perencanaan sudah dikondisikan supaya keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lentur,

baik dari sisi dimensi benda ujinya, penulangannya, maupun pemasangan loading framenya, dan dari sisi pemasangan loading frame, diberi perkuatan pada daerah tumpuan balok uji berupa besi yang di las maupun dibaut serta pemasangan pengaku frame tengah untuk mencegah adanya pergeseran pada balok uji. Namun, pengondisian tersebut ternyata masih menimbulkan adanya retak geser, hal ini karena diabaikannya panjang bentang dalam pengujian ini serta dalam pelaksanaannya masih kurang sesuai dengan prosedur akibat human error seperti pemasangan sengkang yang tidak selalu tepat.

#### **4.9.2. Pembahasan Beban Retak Awal Balok**

##### **4.9.2.1. Pembahasan Beban Retak Awal Balok Aktual**

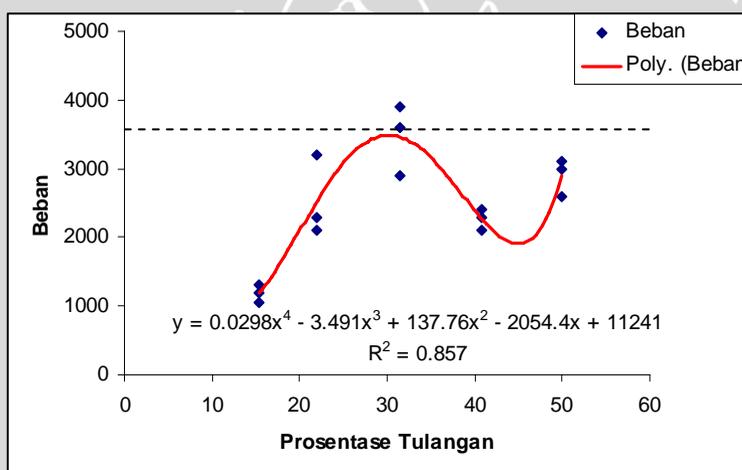
Beban retak awal yang dimaksudkan di sini adalah besarnya beban yang menimbulkan terjadinya retak pertama kali pada balok uji. Perbandingan variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan dengan besarnya beban yang menimbulkan retak awal muka benda uji dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. Sumber grafik tidak sepenuhnya menggunakan data hasil pengujian yang tercantum pada tabel 4.7, mengingat nilai dari hasil pengujian yang relative jauh dengan benda uji lain dalam persentase yang sama, selain itu penggunaan seluruh data pada tabel 4.7 memperendah nilai  $R^2$  yang mana hal ini berpengaruh terhadap tingkat kevalidan data. Nilai yang tidak dipakai adalah prosentase 22%(3) dan nilai pada 30.4%(1). Berdasar gambar 4.3, persamaan regresi yang diperoleh adalah  $y = 0.0298x^4 - 3.491x^3 + 137.76x^2 - 2054x + 11241$ . Nampak bahwa pada prosentase 15.3% hingga sekitar 30.4%, besar beban retak awal mengalami kenaikan. Kemudian pada prosentase berkisar di atas 30.4% mengalami penurunan, tetapi setelah melewati prosentase berkisar di atas 50%, besar beban retak awal mengalami kenaikan kembali. Besarnya nilai beban retak awal regresi untuk masing-masing prosentase, didapat dengan memasukkan variabel prosentase pada nilai persamaan

**Tabel 4.9.** Beban retak awal perhitungan regresi

Persentase tulangan	Beban retak awal regresi (kg) $y = 0.0298x^4 - 3.491x^3 + 137.76x^2 - 2054x + 11241$
15.30%	1192.73731
22%	2537.5008
30.40%	3461.96812
41.80%	2235.85483
50%	2816

Sumber : hasil perhitungan

Hasil dari masing-masing beban retak awal regresi ini akan dibandingkan pada beban yang sama, yaitu pada luas prosentase 31.4%. Kondisi masing-masing variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada saat beban yang sama yaitu pada saat beban retak awal prosentase 31.4% dapat dilihat pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7.** Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Retak Awal

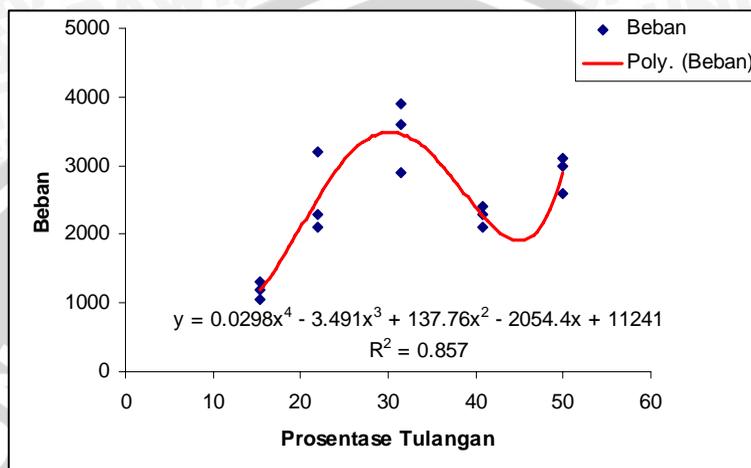
**Tabel 4.10.** Kondisi Balok Uji Pada Saat Beban Yang Sama Sebesar P=3461.96812 kg

Persentase tulangan	Kondisi pada saat beban retak awal 31.4%
15.3%	Sudah retak
22%	Sudah retak
30.4%	Baru retak
41.8%	Sudah retak
50%	Sudah retak

Sumber : hasil pengamatan dan perhitungan

Dari tabel 4.10 dapat diamati bahwa pada beban yang sama, yaitu sebesar P=3461.968 kg, prosentase 30.4% baru mengalami retak awal. Sedangkan prosentase

15.3%,22%,41.8% dan 50% telah mengalami retak awal sebelum beban mencapai P=3461.968 kg. Sehingga dapat diketahui bahwa yang menghasilkan jumlah retak minimum pada beban P=3461.968 kg, adalah tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada prosentase 30,4%. Apabila beban yang dijadikan acuan adalah nilai beban regresi minimum balok uji yaitu sebesar P=1056.029 kg, dapat dilihat pada gambar 4.8 di bawah ini



**Gambar 4.8.** Grafik perbandingan prosentase tulangan dengan beban retak awal

**Tabel 4.11.** Kondisi balok uji pada saat beban yang sama sebesar 1056 kg

Persentase tulangan	Kondisi pada saat beban = 1056 kg
15.3%	Baru retak
22%	Belum retak
30.4%	Belum retak
41.8%	Belum retak
50%	Belum retak

Sumber : Hasil pengamatan

Diantara lima jenis variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan, balok uji yang mengalami retak awal lebih cepat yaitu pada prosentase 15.3% dengan beban yang menimbulkan retak awal sebesar P = 1056 kg. Pada beban ini, prosentase lainnya belum mengalami retak awal pada balok uji. Sehingga dapat dikatakan, kapasitas dukung beban retak awal pada prosentase 15.3% lebih rendah dibandingkan prosentase 22%,30.4%, 41.8% dan 50%.

#### 4.9.2.2. Pembahasan Beban Retak Awal (Pcr) Aktual

Besarnya beban yang menimbulkan retak awal pada balok uji (Pcr) maupun besarnya momen retak balok uji, dapat diperkirakan dengan penggunaan rumus. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat pada pengerjaan di bawah ini.

Contoh untuk prosentase 15.3%

Data yang diketahui sebagai berikut :

$$f_c = 32.732 \text{ MPa}$$

$$f_y = 317.35 \text{ MPa}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

- Nilai modulus keruntuhan lentur beton normal ( $f_r$ ),

$$\begin{aligned} F_r &= 0.7 \sqrt{f'_c} \\ &= 0.7 \sqrt{32.732} \\ &= 4.005 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Menghitung Momen retak dengan rumus :

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (\text{C.McCormac, Jack, 2002:43})$$

Dengan :

$f_r$  = Modulus retak beton

$y_t$  = Jarak dari garis netral penampang utuh (mengabaikan tulangan baja) ke serat tepi tertarik

$I_g$  = Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh batang tulangan diabaikan.

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\ &= \frac{40.05 \times \left( \frac{1}{12} \times 12 \times 20^3 \right)}{10} \\ &= 32040 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- Menghitung beban saat terjadi retak awal

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}P_{cr} &= \frac{M_{cr} \times 9}{L} \\ &= \frac{32040 \text{ kgcm} \times 9}{120 \text{ cm}} \\ &= 2403 \text{ kg} \\ P_{cr} &= 2 \times 2403 \\ &= 4806 \text{ kg}\end{aligned}$$

**Tabel 4.12.** Beban retak awal dan momen retak awal perhitungan

Persentase	Pcr Perhitungan (Kg)	Mcr Perhitungan (Kg)	Pcr Perhitungan rata-rata (Kg)	Mcr Perhitungan rata-rata (Kg)
15.3%	1559.6 1538.34 4924.08	10397.34 10255.59 32827.18	2674.01	17826.7
22%	4943.17 4983.39 5056.23	32954.48 33222.62 33708.19	4994.26	33295.10
30.4%	5333.43 4923.01 5557.92	35556.22 32820.09 37052.77	5271.45	35143.03
41.8%	4612.11 5021.43 4862.12	30747.37 33476.22 32414.10	4931.88	32212.56
50%	4987.82 5009.36 4892.32	33252.12 33395.71 32615.44	4963.16	33087.76

Sumber : hasil perhitungan

Dari tabel 4.12 di atas, secara perhitungan dapat diketahui bahwa beban yang mengakibatkan retak pertama kali (Pcr) secara berurutan dari terkecil yaitu pada prosentase tulangan 15.3% dengan P=2674.01 kg, diikuti prosentase 41.8% dengan P=4931.88 Kg, prosentase 50% dengan P=4963.16 kg dilanjutkan prosentase 22% dengan P=4994.26 Kg dan Pcr terbesar pada prosentase 30.4% dengan P=5271.45 kg. Dapat

diamati bahwa secara perhitungan, kapasitas dukung beban retak awal pada prosentase tulangan 30.4% memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas dukung beban retak awal pada prosentase 15.3%, 22%, 41.8% dan 50%. Dalam mencari momen retak pada perhitungan rumus di atas, inersia yang digunakan adalah inersia gross bukan inersia retak dimana dalam perhitungan inersia gross, adanya tulangan tidak diperhitungkan. Perhitungan besarnya Pcr dan Mcr pada tabel 4.17, hanyalah sebagai koridor bagi pelaksanaan pengujian di laboratorium, sehingga tidak dilakukan perbandingan antara besarnya nilai Pcr perhitungan, dengan Pcr hasil uji laboratorium.

#### 4.9.3. Pembahasan Beban Retak Akhir Balok Uji

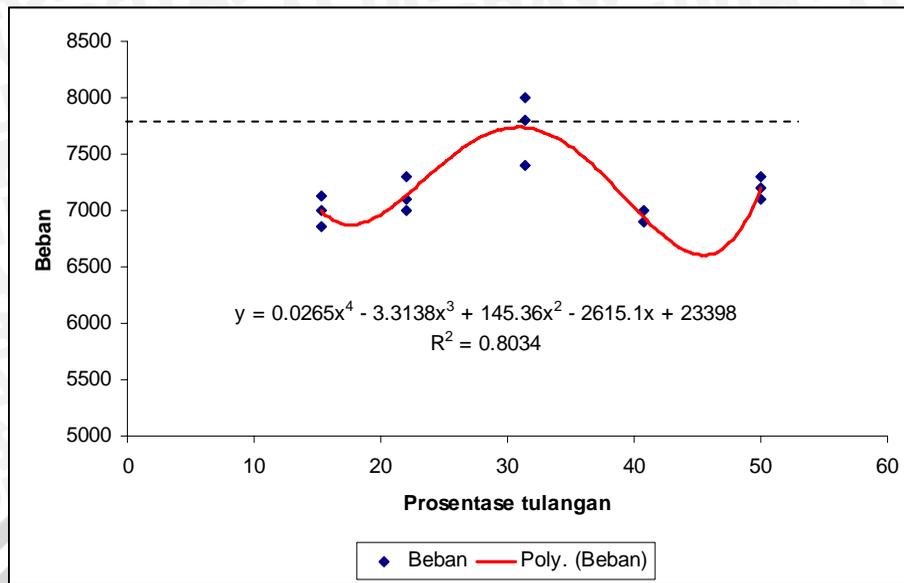
Grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan (gambar 4.9), menggunakan keseluruhan data tidak sebagaimana beban retak awal di atas. Persamaan yang diperoleh dari regresi pada gambar 4.9 ini adalah  $y = 0.0265x^4 - 3.31387x^3 - 145.36x^2 + 2615.1x + 23398$ . Beban retak akhir rata-rata regresi untuk masing-masing prosentase balok uji dapat dilihat pada tabel 4.13.

**Tabel 4.13.** Beban retak akhir perhitungan regresi

Persentase tulangan	Beban retak akhir regresi (kg) $y = 0.0265x^4 - 3.31387x^3 - 145.36x^2 + 2615.1x + 23398$
15.30%	6999.34
22%	7144.68
30.40%	7774.84
41.80%	7045.88
50%	7448

Sumber : hasil perhitungan

Berdasar tabel 4.13 diatas dapat diamati bahwa nilai beban retak akhir dari yang terendah adalah 6999.34 Kg pada prosentase 15.3%, kemudian 7045.88 Kg pada prosentase 41.8%, dilanjutkan 7144.68 Kg pada prosentase 22%, kemudian 7448 Kg pada prosentase 50%, dan diikuti 7774.84 kg pada prosentase 30.4%. Sehingga kapasitas dukung beban retak akhir yang paling tinggi dimiliki oleh prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan sebesar 30.4%. Apabila kondisi pada prosentase tulangan balok uji di atas dibandingkan dengan kondisi prosentase 30.4% pada pembebanan yang sama sebesar  $P=7774.84$  Kg, maka hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.9 dan tabel 4.14.



Gambar 4.9. Grafik perbandingan persentase tulangan dengan beban retak akhir

Tabel 4.14. Kondisi balok pada saat beban yang sama 7774.84 Kg

Persentase tulangan	Kondisi pada saat beban = 7774.84 kg
15.3%	Sudah retak/sudah runtuh
22%	Sudah retak akhir/sudah runtuh
30.4%	Baru retak akhir/baru runtuh
41.8%	Sudah retak akhir/sudah runtuh
50%	Sudah retak akhir/sudah runtuh

Sumber : Hasil pengamatan

Pada pembebanan  $P=7774.84$  Kg, kondisi dari balok uji dengan tulangan 30.4% baru mengalami retak akhir atau baru mengalami keruntuhan, sedangkan pada prosentase 15.3%,22%,41.8% dan 50% sudah mengalami retak akhir atau sudah mengalami keruntuhan sebelum pembebanan mencapai nilai tersebut. Sehingga pada beban yang sama sebesar  $P=7774.84$  kg, prosentase yang mengalami retak minimum adalah pada prosentase tulangan 30.4%.

#### 4.9.4. Pembahasan Pola Keruntuhan Balok Uji

##### 4.9.4.1. Pembahasan Pola Keruntuhan Berdasarkan nilai $a/d$

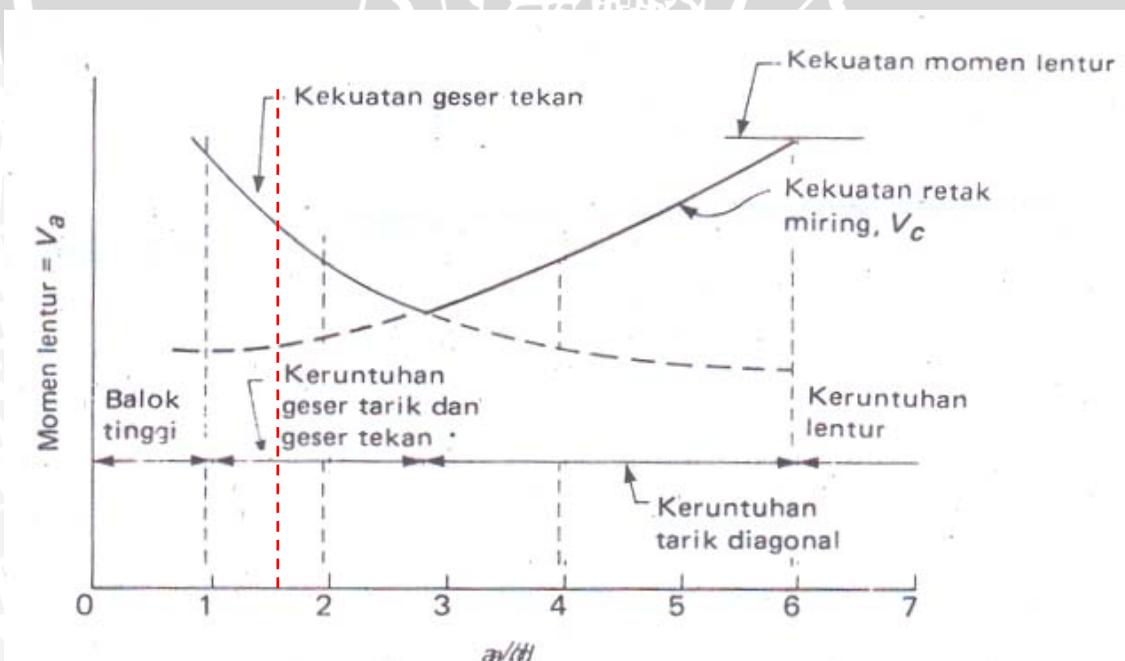
Bentang geser ( $a$ ) merupakan jarak dari perletakan ke pusat beban ( $1/2 P$ ), sedangkan tinggi efektif balok ( $d$ ) merupakan jarak dari as tulangan tarik ke serat terluar tulangan tekan. Perbandingan bentang geser dengan tinggi efektif untuk masing-masing variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4.15. Jenis keruntuhan berdasar nilai  $a/d$

Prosentase tulangan	a (cm)	d (cm)	a/d	Jenis keruntuhan
15.3%	40	22.5	1.78	Geser
22%	40	22.5	1.78	Geser
30.4%	40	22.5	1.78	Geser
41.8%	40	22.5	1.78	Geser
50%	40	22.5	1.78	Geser

Sumber : hasil perhitungan

Gambar 4.10. Variasi di dalam kekuatan geser sesuai dengan  $a/d$  untuk balok-balok persegi



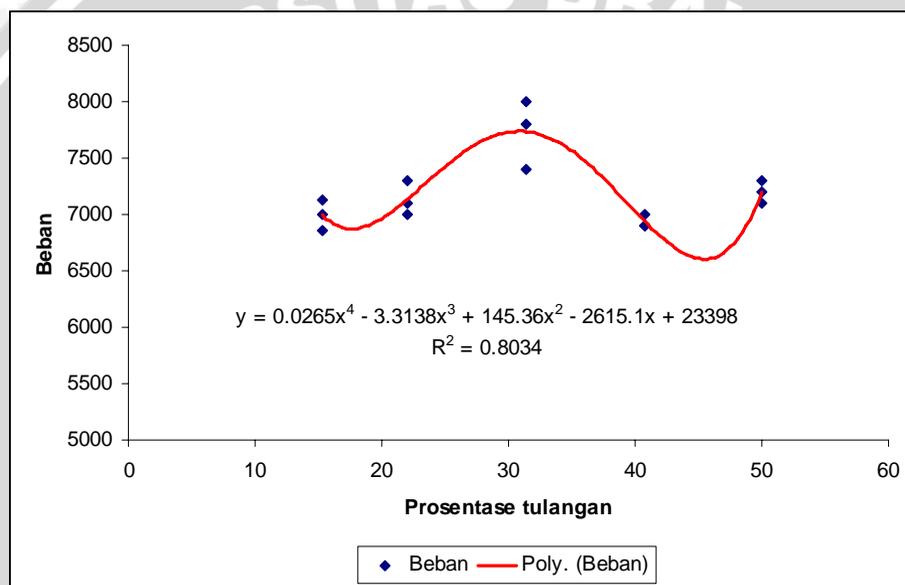
Sumber : Wang dan Salmon (1994:127)

Pada awal perencanaan, balok uji diharapkan mengalami runtuh lentur melalui perencanaan tulangan yang underreinforced serta melakukan perkuatan pada geser dengan pemberian sengkang sebesar 20 cm. Ketidaksesuaian hasil pengujian dimana keruntuhan yang terjadi adalah geser, disebabkan oleh human error.

#### 4.9.4.2. Pembahasan Pola Keruntuhan Berdasarkan Kani

Grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban runtuh dapat dilihat pada gambar 4.11.

**Gambar 4.11.** Grafik polinomial perbandingan persentase tulangan dengan Pn uji



Hasil Pn uji rata-rata regresi pada grafik 4.11 digunakan untuk mengetahui jenis keruntuhan yang terjadi pada balok uji, yaitu dengan membandingkan Pn uji rata-rata regresi dengan Pn perhitungan.

Tabel 4.16. Perbandingan Pn perhitungan dan Pn Uji

No benda uji	Pn Perhitungan (Kg)	Pn Uji (Kg)	Pn Uji rata-rata (hasil regresi) (Kg)	Pn Uji / Pn Perhitungan	Jenis keruntuhan
15.3% - 1 15.3% - 2 15.3% - 3	12579.23	6996 7128 6864	6999.34	0.556	Geser
22% - 1 22% - 2 22% - 3	8911.3	7100 7300 7000	7144.68	0.801	Geser
30.4% - 1 30.4% - 2 30.4% - 3	11466.86	7400 8000 7800	7774.84	0.678	Geser
41.8% - 1 41.8% - 2 41.8% - 3	8884.48	7000 6900 6900	7045.88	0.793	Geser
50% - 1 50% - 2 50% - 3	7488.42	7300 7200 7100	7448	0.994	Geser

Sumber : Hasil pengamatan dan perhitungan

Berdasar kriteria Kani (1964), balok akan mengalami keruntuhan geser apabila rasio antara Pn uji dengan Pn teoritis  $< 1$ . Dari tabel 4.16 nampak bahwa dilihat dari perbandingan Pn uji dengan Pn perhitungan, keruntuhan yang terjadi untuk keseluruhan variasi prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan adalah keruntuhan geser. Hal ini berbeda dengan perencanaan awal yang mengkondisikan supaya terjadi keruntuhan lentur, tetapi karena faktor bentang diabaikan, sehingga keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser. Sehingga dapat dikatakan, faktor bentang merupakan salah satu yang berperan penting dalam penentuan jenis keruntuhan yang terjadi.

#### 4.10. Pengujian Hipotesis

##### 4.10.1. Pengaruh Variasi Prosentase Tulangan lapangan yang Diteruskan Ke Tumpuan Terhadap Beban Retak Awal Muka Balok Uji

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap beban retak awal, dilakukan pengujian hipotesa analisa varian. Dimana prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan sebagai variabel bebas, sedang nilai beban yang mampu ditahan beton hingga terjadi retak awal sebagai variabel tak bebas.

Hipotesis yang diambil adalah :

$H_0$  = Hipotesis awal yang menyatakan tidak ada pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak awal muka benda uji

$H_1$  = Hipotesis alternatif yang menyatakan ada pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak awal muka benda uji

dari perhitungan analisa varian dengan menggunakan software SPSS 15 didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.17.** Anova satu arah retak awal

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8601358.933	4	2150339.733	14.987	.001
Within Groups	1434848.000	10	143484.800		
Total	10036206.933	14			

Sumber : Hasil perhitungan

Terlihat pada tabel Anova 4.17, nilai Sig. sebesar 0.001. Hal ini berarti probabilitas terdapat di bawah 0.05 ( $0.000 < 0.05$ ), yang berarti  $H_0$  ditolak. Atau apabila keputusan berdasar nilai  $F^{0,05}$ , diperoleh  $F_{hitung}^{0,05} = 14.987$ ,  $F_{tabel} = 3.077$ , maka  $F_{hitung} > F_{tabel}$  sehingga  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan ada pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak awal muka benda uji.

#### 4.10.2. Pengaruh Variasi Prosentase Tulangan Tumpuan yang Diteruskan Ke Lapangan Terhadap Beban Retak Akhir Balok Uji

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap beban retak akhir, dilakukan pengujian hipotesa analisa varian, dimana prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan sebagai variabel bebas, sedang nilai beban yang mampu ditahan beton hingga terjadi retak akhir sebagai variabel tak bebas.

Hipotesis yang diambil adalah :

$H_0$  = Hipotesis awal yang menyatakan tidak ada pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak akhir benda uji

$H_1$  = Hipotesis alternatif yang menyatakan ada pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak akhir benda uji

Dari perhitungan analisa varian menggunakan SPSS 15, didapatkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.18.** Anova satu arah retak akhir

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1204838.400	4	301209.600	10.216	.001
Within Groups	294848.000	10	29484.800		
Total	1499686.400	14			

Sumber : hasil perhitungan

Berdasar analisa statistik di atas, diperoleh nilai Sig. sebesar 0.001. Hal ini berarti probabilitas terdapat di bawah 0.05 ( $0.001 < 0.05$ ), yang berarti  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Atau apabila berdasarkan nilai  $F^{0,05}$ , diperoleh  $F_{hitung}^{0,05} = 10.083$ ,  $F_{tabel} = 3.48$  sehingga karena  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan ada pengaruh antara variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap beban retak akhir benda uji.

Dari penjelasan pada bab IV, dapat diketahui bahwa memang terdapat perbedaan antara prosentase tulangan 15.3% dengan tulangan 30.4%, dimana kapasitas dukung tulangan 15.3% terhadap beban retak awal dan akhir adalah rendah, sedang kapasitas dukung tulangan 30.4% terhadap beban retak awal dan akhir tinggi, serta memang terdapat pengaruh mengenai prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap nilai retak balok beton.

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

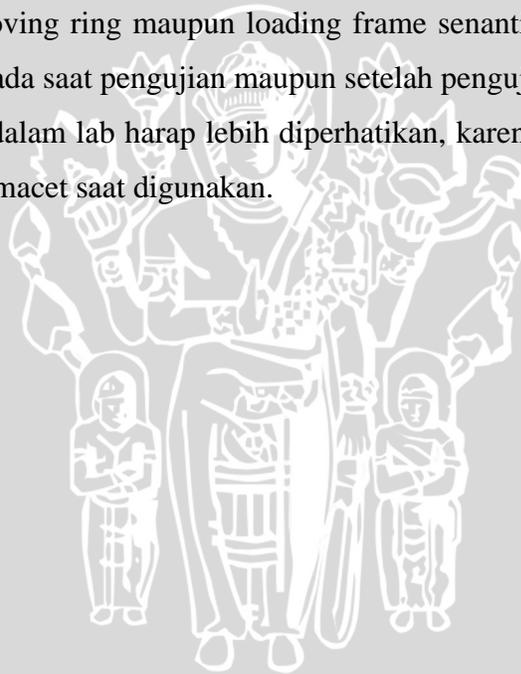
Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Retak yang terjadi pada kebanyakan benda uji tiap prosentase terdapat pada daerah sepertiga bentang balok, hal ini disebabkan daerah ini menahan momen sekaligus geser dari pembebanan yang terjadi dan juga di daerah ini pemasangan sengkang lebih renggang daripada di daerah tumpuan, sehingga geser yang terjadi hanya ditahan oleh beton.
2. Tulangan geser yang dipakai pada semua prosentase benda uji berukuran sama, namun pola retak yang terjadi adalah berbeda tiap benda uji, hal ini bisa saja diakibatkan oleh pengaruh luas tulangan tarik pada tiap benda uji, sehingga mengakibatkan beban yang berbeda, dimana dari beban yang berbeda tersebut memungkinkan bahwa beban yang lebih besar dapat mengakibatkan retak yang lebih panjang ataupun timbulnya retak baru.
3. Pada pemberian beban yang sama (sebesar beban retak 30.4%), prosentase yang menghasilkan retak minimum terdapat pada tulangan 30.4%.
4. Berdasarkan analisa statistik mengenai variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan, diperoleh hasil bahwa terdapat pengaruh antara prosentase penerusan tulangan lapangan ke tumpuan dengan kapasitas balok dalam menahan beban sebelum terjadinya retak, dan dalam menahan beban hingga balok mencapai batas runtuh. Dan sesuai dengan perhitungan dari bab sebelumnya diketahui bahwa prosentase 30.4% memiliki kapasitas yang terbesar, yang mana hal ini sesuai dengan teori yang ada.

## 5.2. Saran

Beberapa saran setelah melaksanakan penelitian tentang variasi prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan kelapangan terhadap pola keruntuhan balok , yaitu :

1. Untuk penelitian selanjutnya, diharapkan dilakukan percobaan dengan balok uji tanpa sengkang, sehingga didapatkan pola keretakan balok yang benar – benar retak geser
2. Proses curing/perawatan balok uji yang merupakan salah satu hal yang berperan terhadap pencapaian mutu beton yang seragam, hendaknya diperhatikan.
3. Aspek pencahayaan guna mengamati keretakan yang terjadi sebaiknya juga diperhatikan.
4. Hendaknya posisi proving ring maupun loading frame senantiasa diperiksa, baik sebelum pengujian, pada saat pengujian maupun setelah pengujian.
5. Perawatan peralatan dalam lab harap lebih diperhatikan, karena banyak alat yang sudah terlalu tua dan macet saat digunakan.



## DAFTAR PUSTAKA

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

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

Gideon,Kusuma dan W.C.Vis, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*,1993. Jakarta: Erlangga.

G.Macgregor,James.1997. *Reinforced Concrete Mechanics and Design Third edition*. New Jersey: Prentice-Hall inc.

G. Nawy, Edward, 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.

McCormac,Jack C.*Design of Reinforced Concrete Fifth Edition*. 2001.John Wiley &sons Inc.

Mosley,W.H and J.H.Bungey,.*Reinforced Concrete Design,2nd edition*.1982.London: The Macmillan Press Ltd.

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

Winter,George and Arthur H.Nilson. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang..* Jakarta: PT.Pradnya Paramitha.