

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perencanaan suatu konstruksi bangunan dituntut untuk mampu menahan beban kerja yang direncanakan akan bekerja padanya. Sebagian besar dari konstruksi suatu bangunan terdiri atas komponen struktur beton yang direncanakan sedemikian rupa memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja. Timbulnya tegangan-tegangan lentur akibat terjadinya momen karena beban luar merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang struktur beton.

Pemakaian beton sebagai bahan konstruksi telah memacu peningkatan standar kualitas pembuatan beton konstruksi. Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar, dengan menambahkan semen sebagai bahan perekat dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Keuntungan dari struktur beton adalah bahan penyusunnya mudah didapat. Selain itu juga mudah dalam pelaksanaan dan lebih murah dibandingkan dengan bahan lain.

Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja. Hal ini dikarenakan salah satu sifat beton yaitu kekuatan tarik beton yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya yang berkisar 9% - 15% saja (Istimawan Dipohusodo, 1999: 1). Oleh karena itu, dipasang tulangan baja yang mampu membantu kelemahannya untuk menahan gaya tarik yang terjadi padanya. Dengan demikian setiap bagian mempunyai tugas masing-masing, yaitu batang tulangan baja menahan gaya tarik, sedangkan beton menahan gaya tekan. Komponen struktur beton seperti itu disebut sebagai beton bertulang.

Suatu kemungkinan yang dapat terjadi adalah bahwa beban yang dipikul oleh balok berukuran tertentu dengan persentase tulangan maksimum terlalu besar, sedangkan ukuran balok tidak dapat diperbesar. Jika baja tulangan di tambah, balok akan mendapat tulangan tambahan dengan risiko bahwa baja tidak akan mencapai batas leleh. Hal ini berarti, bila beban pada balok ditingkatkan dapat terjadi keruntuhan tiba-tiba karena hancurnya beton pada daerah tekan. Risiko ini dapat diatasi dengan memasang tulangan rangkap dimana dipasang tulangan baik pada daerah tekan maupun daerah tarik.

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) disebutkan 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.

Suatu ide atau gagasan yang akan diteliti adalah mengetahui seberapa besar pengaruh variasi prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok. Sehingga akan didapatkan dan diketahui prosentase yang paling optimum dari tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan terhadap kekuatan kapasitas lentur balok.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas yaitu:

1. Berapa kapasitas lentur balok yang terjadi ?
2. Bagaimana pengaruh variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok ?

### 1.3. Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan dianggap sama untuk setiap perlakuan.
2. Ukuran kerikil yang dipakai  $\varnothing 10 - 20$  mm.
3. Benda uji balok yang digunakan adalah balok persegi dengan ukuran 12cm x 20 cm x 120 cm.
4. Dalam perencanaan perbandingan luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap luas total tulangan tumpuan dipakai 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.
5. Pengujian dilakukan dengan dua beban terpusat.

6. Hanya menguji kapasitas lentur yang terjadi.
7. Tidak memperhitungkan pengaruh akibat susut dan rangkak.
8. Balok dalam kondisi *Underreinforced* (penulangan lemah).
9. Mutu beton yang dipakai adalah  $f'c = 25$  MPa.
10. Tidak memperhitungkan kekuatan daya lekat beton.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kapasitas lentur yang terjadi akibat dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan masuk ke lapangan pada balok beton bertulang.

#### 1.5. Kegunaan Penelitian

Kegunaan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan gambaran mengenai prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan pada penerapan dan prakteknya di lapangan.
2. Memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kapasitas lentur pada balok akibat dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. 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). Balok pada struktur dibedakan menjadi dua, yaitu balok induk dan anak. Balok induk yaitu balok yang konstruksinya langsung ditopang oleh kolom, sedangkan balok anak konstruksinya menumpu pada balok induk. Beban yang diterima oleh balok anak akan diteruskan oleh balok induk menuju kolom. Dengan demikian dimensi balok induk lebih besar dari balok anak.

Pada umumnya elemen balok dicor secara monolit dengan pelat lantai. Karena balok dicor secara monolit dengan pelat lantai, maka elemen tersebut membentuk penampang balok T untuk tumpuan dan balok L untuk tumpuan tepi (Edward G. Nawy, 1990: 61). Analisis dan perencanaan balok yang dicetak menjadi satu kesatuan monolit dengan pelat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa antara pelat dengan balok-balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Sehingga pelat akan berlaku sebagai lapis sayap (*flens*) tekan dan balok-balok sebagai badan. Dalam hal ini, pelat yang berfungsi sebagai *flens* dari balok T harus direncanakan dan diperhitungkan tersendiri terhadap lenturan pada arah melintang terhadap balok-balok pendukungnya.

### 2.2. Beton Bertulang

Beton bertulang adalah suatu komponen struktural bangunan dimana terjadi kerjasama antara beton dengan tulangan baja. Tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Dalam perkembangannya, didasarkan pada tujuan peningkatan kemampuan kekuatan komponen, sering juga dijumpai beton dan tulangan baja bersama-sama ditempatkan pada bagian struktur dimana keduanya menahan gaya tekan. Untuk mengatur kerjasama antara dua macam bahan yang berbeda sifat dan perilakunya dalam rangka membentuk satu kesatuan perilaku struktural untuk mendukung beban, diperlukan cara hitungan berbeda dengan apabila hanya digunakan satu macam bahan saja (Istimawan Dipohusodo, 1999).

Kerjasama antara bahan beton dan baja tulangan hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan-keadaan sebagai berikut (Istimawan Dipohusodo, 1999) :

- Lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran diantara keduanya.
- Beton yang mengelilingi tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja.
- Angka muai kedua bahan hampir sama, dimana untuk setiap kenaikan suhu satu derajat Celcius angka muai beton 0,000010 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012, sehingga tegangan yang timbul karena perbedaan nilai dapat diabaikan.

### 2.3. Karakteristik Beton dan Baja Tulangan

#### 2.3.1. Karakteristik Beton

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

##### a. Kekuatan Tekan Beton ( $f'_c$ )

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air, dan berbagai jenis campuran. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/m^2$  atau Mpa. Kekuatan tekan beton ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat dibawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara nilai 10–65 Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 Mpa. Kekuatan beton pada struktur aktual bisa saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pamadatan dan kondisi perawatan.

##### b. Kekuatan Tarik Beton ( $f'_{ct}$ )

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% - 15%  $f'_c$  (Chu Kia Wang & Charles G. Salmon, 1994)

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu pendekatan 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 cilinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya.

c. Kuat Geser

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan percobaan kuat tekan dan tarik, karena sulitnya mengisolasi geser dan 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. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser seringkali diabaikan karena tegangan geser biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah betonnya mengalami kegagalan tarik diagonal.

d. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas sekan atau modulus elastisitas statik adalah kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar  $0,4 f_c'$ ). Harga ini pada perhitungan desain disebut *modulus elastisitas*, modulus ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis. Terdapat sejumlah pilihan definisi, tetapi yang paling umum dipakai adalah  $E = E_c$ ,  $E_c$  dikenal sebagai *modulus elastisitas sekan* atau *modulus statik*.

Modulus elastisitas beton berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji.

**Tabel 2.1.** Harga Modulus Elastisitas untuk mutu beton berbeda

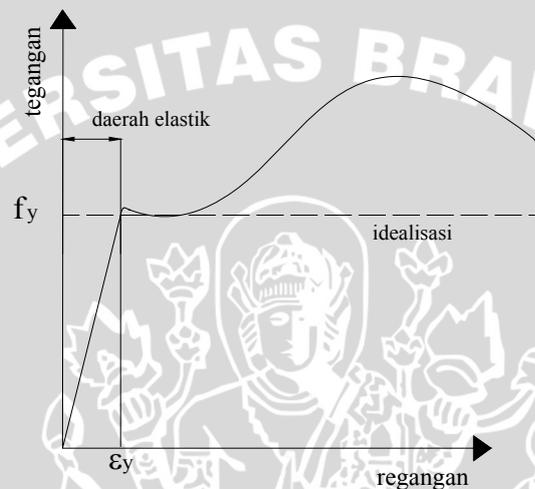
UNIT SI	
$f_c'$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
21	22900
24	24500
28	26500
31	27800
35	29600

**Sumber :** Desain Beton Bertulang, Salmon

Modulus elastisitas akan semakin besar dengan bertambahnya mutu beton, dengan Modulus elastisitas yang besar maka beton akan mempunyai kapasitas momen lentur yang besar. Harga modulus elastisitas diperlukan untuk peninjauan kapasitas lentur dan retak dari suatu konstruksi.

### 2.3.2. Karakteristik dan Sifat Baja Tulangan

Sifat fisik tulangan baja yang penting digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang ialah tegangan luluh ( $f_y$ ) dan modulus elastisitas ( $E_s$ ).



**Gambar 2.1.** Diagram Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

Diagram hubungan tegangan-regangan tipikal untuk batang baja tulangan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Tegangan luluh adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan luluh baja tulangan telah ditentukan pada awal perhitungan.

**Tabel 2.2.** Sifat Mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, fu (MPa)	Tegangan leleh minimum, fy (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

**Sumber :** SNI 03-1729-2002 hal 11

Modulus elastisitas baja tulangan ditentukan berdasarkan kemiringan awal kurva tegangan-regangan di daerah elastik dimana antara mutu baja yang satu dengan lainnya tidak banyak bervariasi. Nilai modulus elastisitas baja menurut SNI 03-1729-2002 adalah 200.000 Mpa.

#### 2.4. Kapasitas Lentur Balok

Beban-beban yang bekerja atau ditahan oleh suatu gelagar balok akan mengakibatkan timbulnya momen lentur, sehingga akan terjadi deformasi(regangan) lentur di dalam balok tersebut. Beban-beban yang bekerja atau ditahan dapat berupa beban gravitasi maupun beban lain, seperti beban angin dan juga beban karena susut dan perubahan suhu atau temperatur. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik terjadi di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di bagian atas dan tegangan tarik di bagian bawah.

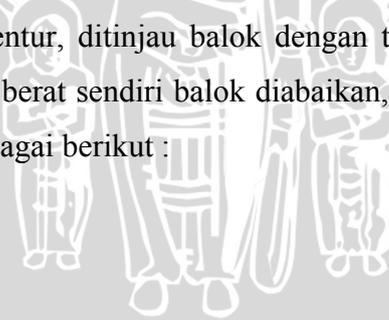
Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan beton bertulang. Teori lentur untuk beton bertulang beranggapan bahwa beton akan retak di daerah tegangan tarik, dan setelah retakan terjadi seluruh tarikan ditahan oleh tulangan. Teori ini juga menganggap bahwa tampang bagian konstruksi struktural yang datar akan tetap datar setelah terjadi regangan. Beton lemah terhadap tarik, sehingga beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik diabaikan.

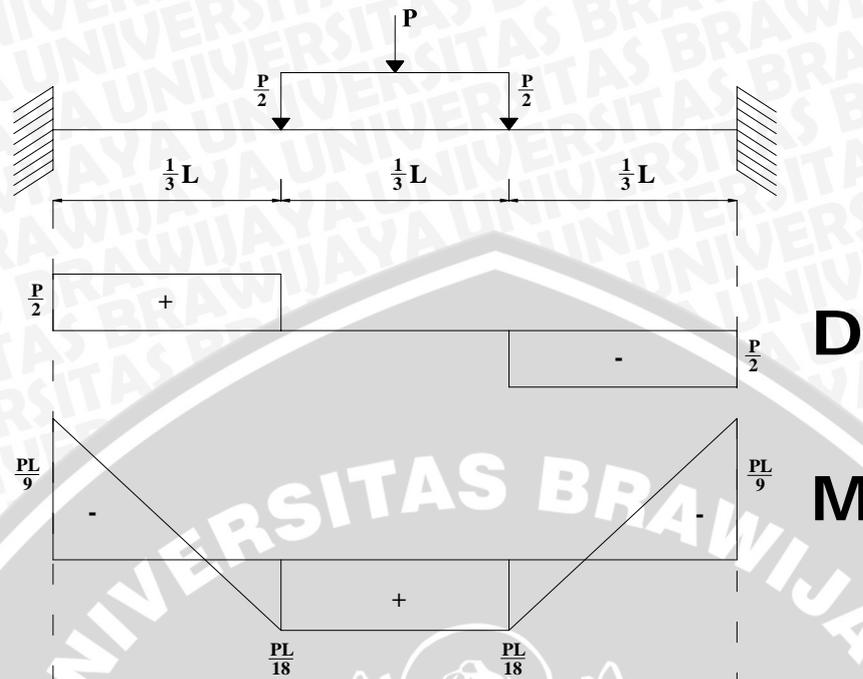
Apabila beban yang bekerja pada balok bertambah, maka tegangan dan regangan akan bertambah sebanding dengan kemampuan bahan berubah bentuk dan modulus elastisitas bahan sehingga melampaui kapasitasnya yang mengakibatkan timbulnya atau bertambahnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan balok, yaitu pada saat kekakuan batas balok sedemikian rupa sehingga tidak mempunyai kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur, kecuali untuk komponen struktur yang khusus seperti pondasi. Setelah itu faktor-faktor lain seperti kapasitas geser, defleksi, retak dan panjang penyaluran tulangan dianalisis sampai memenuhi persyaratan.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linier, isotropis dan homogen maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur balok, yaitu :  $f = Mc/I$  (Nawy, 1990: 80). Pada keadaan batas balok beton bertulang bukanlah material yang homogen, dan juga tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya. Tetapi prinsip-prinsip dasar mengenai teori lentur dapat digunakan pada analisis penampang.

Pada pengujian kuat lentur, ditinjau balok dengan tumpuan jepit-jepit dengan beban terpusat sebesar  $P$ . Bila berat sendiri balok diabaikan, maka diagram lintang dan momen dapat digambarkan sebagai berikut :





**Gambar 2.2.** Diagram Lintang dan Momen Balok

Momen maksimum yang terjadi pada balok tersebut adalah :

$$M_{maks \text{ Tumpuan}} = \frac{PL}{9} \tag{2-1}$$

$$M_{maks \text{ Lapangan}} = \frac{PL}{18} \tag{2-2}$$

### 2.5. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Lebih, dan Kurang

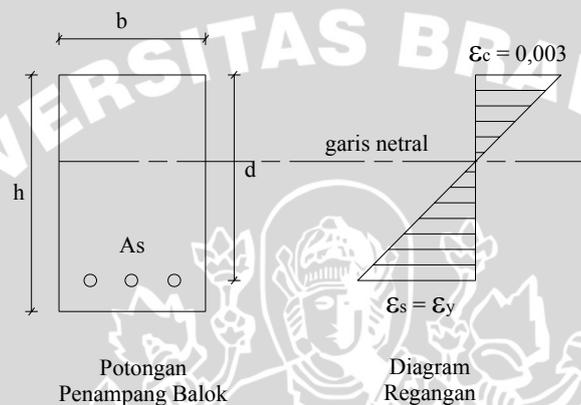
Prinsip-prinsip dasar teori lentur dapat digunakan pada analisis penampang. Untuk letak garis netral tertentu, perbandingan antara regangan baja dengan regangan beton maksimum dapat ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linier. Sedangkan letak garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang dalam suatu penampang sedemikian sehingga blok tegangan tekan beton mempunyai kedalaman cukup agar dapat tercapai keseimbangan gaya-gaya, dimana resultante tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik ( $\Sigma H = 0$ ).

#### 2.5.1. Penampang Balok Bertulangan Seimbang (*Balanced*)

Apabila pada penampang balok beton bertulang tersebut luas tulangan baja tariknya ditambah, kedalaman blok tegangan beton tekan akan bertambah pula, dan oleh



karenanya letak garis netral akan bergeser ke bawah lagi. Apabila jumlah tulangan tarik sedemikian sehingga letak garis netral pada posisi dimana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh pada baja tarik dan regangan beton tekan maksimum 0,003 maka penampang disebut bertulangan seimbang. Keruntuhan penampang dengan kondisi seperti ini disebut keruntuhan imbang (*balance failure*). Namun keruntuhan seperti ini mungkin bukan merupakan keruntuhan dari suatu struktur. Kondisi keseimbangan regangan menempati posisi penting karena merupakan pembatas antara dua keadaan penampang balok beton bertulang yang berbeda cara hancurnya.



**Gambar 2.3** Penampang Balok dengan Penulangan Seimbang

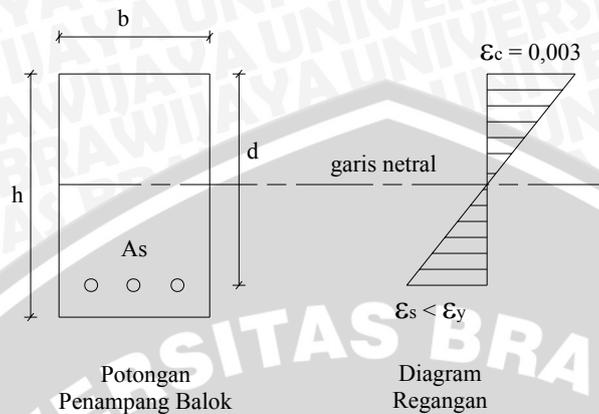
**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

### 2.5.2. Penampang Balok Bertulangan Lebih (*Overreinforced*)

Penampang balok beton bertulang yang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan disebut penampang bertulangan lebih (*overreinforced*). Berlebihnya tulangan baja tarik mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah. Hal yang demikian pada gilirannya akan berakibat beton mendahului mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya luluh.

Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi, yang berarti regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan berlangsung keruntuhan dengan beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Keruntuhan dengan kondisi seperti ini disebut keruntuhan tekan (*compression failure*). Keruntuhan semacam ini terjadi secara tiba-tiba, bahkan sering disertai bunyi ledakan beton hancur, dan sebelumnya tidak ada tanda-tanda berupa defleksi yang besar. Pada perencanaan suatu

penampang struktur balok umumnya dihindari perencanaan penampang dengan kondisi tulangan seperti ini karena akan sangat berbahaya dengan tipe keruntuhan yang akan terjadi.



**Gambar 2.4** Penampang Balok dengan Penulangan Lebih

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

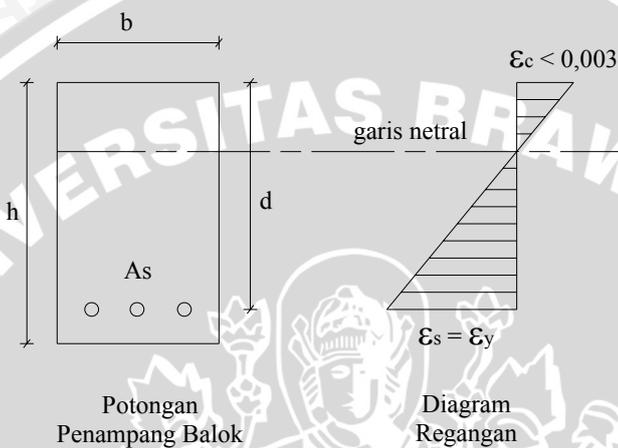
### 2.5.3. Penampang Balok Bertulangan Kurang (*Underreinforced*)

Penampang balok beton bertulang yang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan disebut penampang bertulangan kurang (*underreinforced*). Letak garis netral akan lebih naik sedikit daripada keadaan seimbang, dan tulangan baja tarik akan mendahului mencapai regangan luluhnya (tegangan luluhnya) sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.

Pada tingkat keadaan ini, bertambahnya beban akan mengakibatkan tulangan baja mulur (memanjang) cukup banyak sesuai dengan perilaku bahan baja, dan berarti bahwa baik regangan beton maupun baja terus bertambah tetapi gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja tidak bertambah besar. Dengan demikian berdasarkan keseimbangan gaya-gaya horizontal  $\Sigma H = 0$ , gaya beton tekan tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus meningkat berusaha mengimbangi beban, sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang menyusut atau berkurang yang berarti posisi garis netral akan berubah bergerak naik.

Proses tersebut di atas terus berlanjut sampai suatu saat daerah tekan beton yang terus berkurang tidak mampu lagi menahan gaya tekan dan hancur sebagai efek sekunder. Cara hancur demikian, yang sangat dipengaruhi oleh peristiwa meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung meningkat secara bertahap. Segera setelah baja tarik

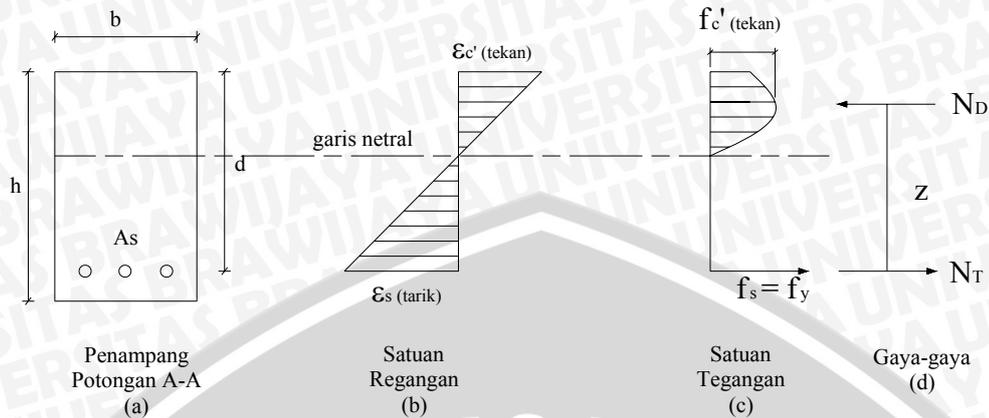
mencapai titik luluh, lendutan balok meningkat tajam sehingga dapat merupakan tanda awal dari kehancuran. Penampang akan mengalami deformasi plastis yang cukup besar sehingga menimbulkan retak-retak pada daerah tarik yang merupakan tanda bahwa balok tersebut hancur. Keruntuhan semacam ini disebut keruntuhan tarik (*tension failure*). Pada perencanaan penampang struktur balok umumnya digunakan perencanaan penampang dengan kondisi seperti ini, karena tipe keruntuhan yang terjadi dapat diketahui dengan tanda-tanda yang ada.



**Gambar 2.5.** Penampang Balok dengan Penulangan Kurang  
**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

## 2.6. Kuat Lentur Balok Persegi

Berdasarkan pada anggapan-anggapan seperti yang telah dikemukakan diatas, 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 beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu diwakili oleh gaya-gaya dalam.



**Gambar 2.6.** Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Balok

**Sumber :** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

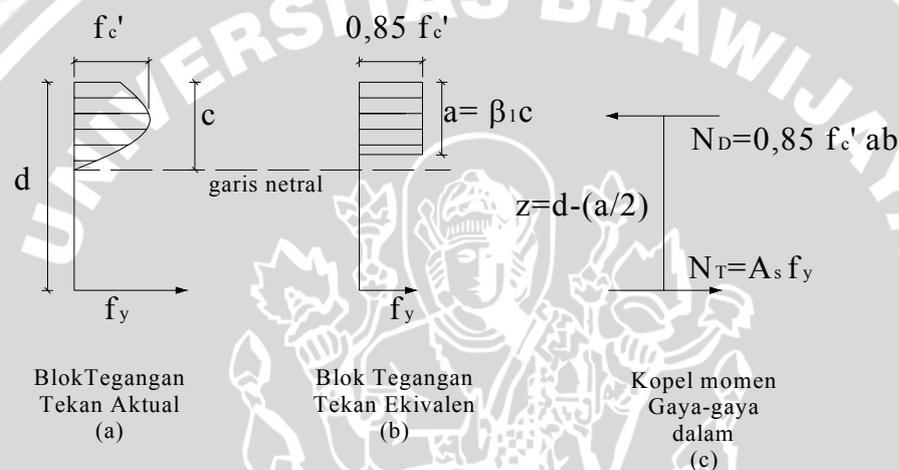
Seperti Tampak pada gambar 2.6  $N_D$  adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan  $N_T$  adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Momen tahanan dalam tersebut yang akan 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 tekan  $N_D$  dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tekan terluar, sehingga jarak  $z$  dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

## 2.7. Distribusi Tegangan Persegi Whitney

Untuk tujuan penyederhanaan Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan tekan beton ekuivalen. Standar SNI 03-2847-2002 pasal 12.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun pada ayat 6 tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk lain sepanjang hal tersebut merupakan pengujian. Dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk persegi empat ekuivalen serta anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal  $M_n$  dari balok beton bertulang empat persegi bertulangan tarik.



**Gambar 2.7.** Blok Tegangan Ekuivalen Whitney

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, seperti tampak pada Gambar 2.7 intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar 0,85 dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar  $b$  dan sedalam  $a$ , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus :

$$a = \beta c \quad (2-3)$$

Dimana :  $c$  = Jarak serat tekan terluar ke garis netral

$\beta$  = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat tekan beton.

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai  $\beta$  diambil 0,85 untuk  $f'_c < 30$  MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan di atas 30 MPa, harus direduksi 0,005 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 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 :

$$N_D = 0,85 f_c' ab \quad (2-4)$$

$$N_T = A_s f_y \quad (2-5)$$

$$\Sigma H = 0 \quad (2-6)$$

$$N_D = N_T \quad (2-7)$$

$$0,85 f_c' ab = A_s f_y \quad (2-8)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{(0,85 f_c' )b} \quad (2-9)$$

$$M_n = N_T (d - a/2) \quad (2-10)$$

Dengan :

$N_D$  = resultante gaya tekan

$N_T$  = resultante gaya tarik

$f_c'$  = tegangan tekan beton

$f_y$  = tegangan luluh baja

$M_n$  = momen nominal

## 2.8. Penampang Tulangan Rangkap

Dalam praktek, sistem tulangan tunggal hampir tidak pernah dimanfaatkan untuk balok, karena pemasangan batang tulangan tambahan di daerah tekan, misalnya di tepi atas penampang tengah lapangan, akan mempermudah pengaitan sengkang (*stirrup*). Secara struktur, tulangan tekan ini diperlukan antara lain untuk (Laurentius Wahyudi & Syahril A. Rahim, 1999) :

- Meningkatkan momen ketahanan penampang karena dimensi penampang yang terbatas.
- Meningkatkan kapasitas rotasi penampang yang berkaitan dengan peningkatan daktilitas penampang.
- Meningkatkan kekakuan penampang, sehingga dapat mengurangi defleksi struktur.

- d) Dapat mencakup kemungkinan adanya momen yang berubah tanda. Gaya luar yang bekerja pada struktur tidaklah selalu tetap, misalnya beban horizontal akibat gempa dapat menyebabkan momen-momen internal berubah tanda.

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. Sebagai tambahan, tegangan geser menjadi sangat tinggi sehingga barangkali dibutuhkan banyak penulangan geser. Penggunaan dari penulangan tekan untuk mengendalikan lendutan adalah merupakan alasan yang umum dari penggunaan tulangan tekan bila digunakan metode kekuatan batas.

Untuk balok dari suatu struktur bentang menerus, penambahan dan pemasangan tulangan pokok di daerah tekan pada mulanya didasarkan pada pertimbangan teknis pelaksanaan sebagai alasan utamanya. Apabila untuk suatu penampang balok tertentu momen negatif tumpuan sedemikian besar, pemasangan tulangan tarik daerah tumpuan harus memperhatikan selimut momen negatif dengan memberi panjang penyaluran secukupnya. Untuk itu, pemasangan umumnya diatur dengan meneruskan sebagian tulangan tarik tersebut ke sepanjang bentang balok menerobos melewati daerah tekan penampang bagian tengah bentang. Dengan teknik pemasangan seperti itu balok menjadi bertulangan rangkap. Kecuali memperhatikan panjang penyaluran yang diperlukan, tulangan-tulangan pokok memanjang tersebut harus terikat baik dengan sengkang tertutup untuk mencegah terjadinya tekuk tulangan tekan.

### **2.9. Analisis Kuat Lentur Penampang Bertulangan Rangkap**

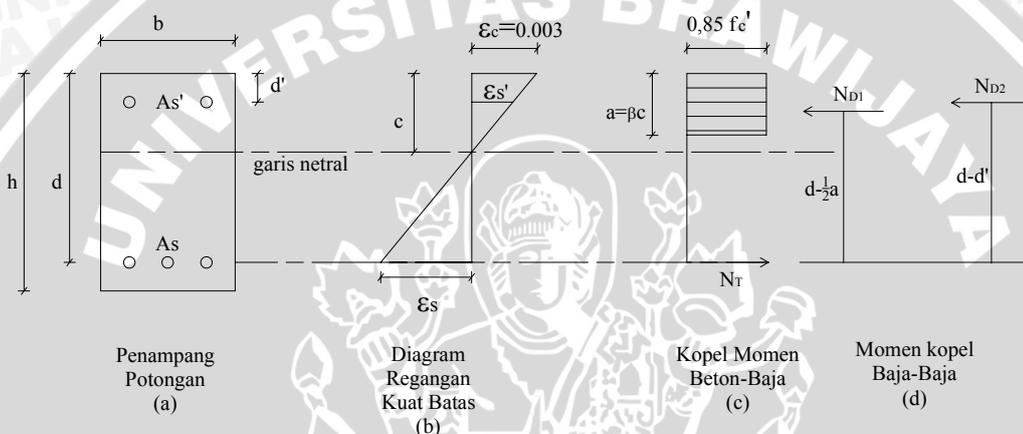
Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk menganalisisnya pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja, hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan ( $f_s'$ ) merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat 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 dan regangan luluhnya maka tegangan tekan baja  $f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$

2. Apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$  (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.



**Gambar 2.8.** Analisis Balok Bertulang Rangkap

**Sumber:** Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

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

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-11)$$

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

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \quad (2-12)$$

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

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

$$a = \frac{(A_s - A_s') f_y}{(0,85 \cdot f_c' b)} \quad (2-13)$$

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.

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (2-14)$$

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 2.8 b.

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

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

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d - c}{c} \right) 0,003 \quad (2-16)$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (2-17)$$

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

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' f_s' \quad (2-18)$$

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

$$f_s' = 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) E_s \quad (2-20)$$

$$A_s f_y = (0,85 f'_c) ab + A_s' 0,003 \left( 1 - \frac{\beta \cdot d'}{a} \right) E_s \quad (2-21)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

$$M_n = N_{D1} \cdot (d - \frac{1}{2} a) + N_{D2} \cdot (d - d') \quad (2-22)$$

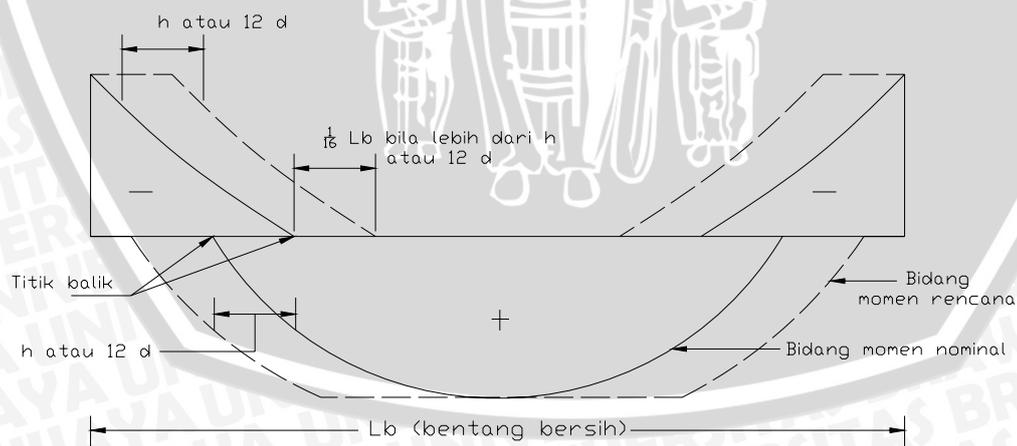
Dari uraian diatas pada penampang balok persegi dengan penulangan tarik saja yang bertugas menahan tekanan adalah beton, sedangkan pada balok bertulangan rangkap yang bertugas adalah beton bersama-sama dengan baja tekan. Penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar

2.8. Pada bagian balok yang mengalami tekan, gaya desak akan diterima oleh beton dan baja tulangan. Berdasarkan rumus (2-22) 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.

Dapat dikatakan bahwa dengan pemakaian tulangan rangkap, dimana adanya penambahan tulangan tekan akan membuat nilai  $M_n$  semakin besar, sehingga nilai  $P_n$  yang dapat ditahan akan semakin besar pula. Sehingga akan berpengaruh pada nilai kapasitas lentur balok yang terjadi, yang dihitung dengan menggunakan rumus 2.1 dan 2.2.

### 2.10. Penyaluran Tulangan

Tulangan lentur yang diperlukan pada suatu penampang harus diperpanjang melalui penampang tersebut, sejauh tinggi manfaat bagian konstruksi atau 12 kali diameter batang tulangan, dimana nilai yang terbesar adalah yang dipakai. Ketentuan-ketentuan diatas tidak berlaku untuk tumpuan-tumpuan bebas dan untuk ujung bebas dari kantilever-kantilever. Penentuan syarat-syarat diatas adalah untuk mengatasi akibat-akibat dari redistribusi tegangan-tegangan setelah terjadinya retak-retak miring di sekitar tumpuan yang ekuivalen dengan pergeseran bidang momen nominal. Dijelaskan dalam Gambar 2.9 sebagai berikut :



**Gambar 2.9.** Bidang momen dasar untuk beban terbagi rata

**Sumber:** Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, 70

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa garis penuh adalah menunjukkan bidang momen nominal, sedangkan garis terputus-putus menunjukkan bidang momen rencana. Dimana dapat dilihat bahwa dapat terjadi pergeseran momen nominal sehingga perlunya perpanjangan tulangan untuk mengatasi akibat dari redistribusi tegangan-tegangan yang terjadi.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 14.11 ayat (1) bahwa untuk penyaluran tulangan momen positif paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif tersebut pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif tersebut pada komponen struktur menerus harus diteruskan hingga ke dalam tumpuan. Ditentukan juga bahwa pada balok, tulangan tersebut harus diteruskan ke dalam tumpuan paling sedikit sejauh 150 mm. Ketentuan lain yang disyaratkan adalah pada tumpuan dalam dari komponen struktur lentur tinggi, tulangan tarik momen positif harus menerus dan disambung lewatkan dengan tulangan tarik dari bentang disebelahnya.

Sedangkan untuk penyaluran tulangan momen negatif ditentukan dalam pasal 14.12 ayat (3) 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 antara tinggi efektif komponen struktur,  $12 d_b$ , atau seperenambelas bentang bersih (Gambar 2.8). Ketentuan lain juga yang disyaratkan pada komponen struktur lentur tinggi pada tumpuan dalamnya adalah tulangan tarik momen negatif harus menerus dengan tulangan tarik pada bentang sebelahnya.

### **2.11. Hipotesis Penelitian**

Dari uraian di atas maka dapat diambil hipotesis penelitian bahwa :

1. Kapasitas lentur balok yang terjadi dapat berbeda dengan penambahan variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan masuk ke lapangan.
2. Terdapat pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai pada Bulan Oktober 2006.

### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*.
2. Timbangan sentisimal kekuatan 150 kg.
3. Sendok semen.
4. Cetakan balok dengan lebar 12 cm, tinggi 20 cm, panjang 120 cm.
5. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
6. Alat penguji slump (*kerucut Abrams*).
7. Mesin uji tekan beton.
8. Rangka pembebanan (*loading frame*).
9. Dongkrak hidrolik (*Hydraulic Jack*).
10. Proving ring pembaca beban.

Bahan-bahan yang digunakan adalah :

1. Semen Gresik type I (satu).
2. Agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) yang didapat di pasaran.
3. Air bersih dari PDAM Kota Malang.
4. Tulangan baja  $\varnothing$  6 mm, 8 mm, 10 mm, dan 12 mm ( $f_y$  didapat dari uji tarik baja)



### 3.3. Analisis Bahan Yang Digunakan

#### 3.3.1 Semen

Semen yang digunakan semen Gresik Type I (satu) dan tidak dilakukan pengujian khusus pada bahan ini. Apabila semen belum mengeras berarti kondisi semen masih bagus.

#### 3.3.2 Air

Air yang digunakan tidak diuji secara khusus (berasal dari air bersih PDAM Kota Malang yang tersedia di laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya).

#### 3.3.3 Pasir dan Kerikil

Agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya dilapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun sampah. Pengujian terhadap pasir meliputi analisis ayakan (gradasi), berat jenis dan absorpsi (penyerapan).

#### 3.3.4 Baja Tulangan

Baja tulangan yang digunakan adalah baja yang ada dipasaran yang diuji tarik terlebih dahulu.

### 3.4. Rancangan Penelitian

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

**Tabel 3.1.** Karakteristik Benda Uji

Benda uji	Balok ukuran 12 x 20 x 120 cm				
% luas tulangan tumpuan masuk ke daerah lapangan balok	10%	20%	30%	40%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Tahapan-tahapan dalam pembuatan benda uji adalah :

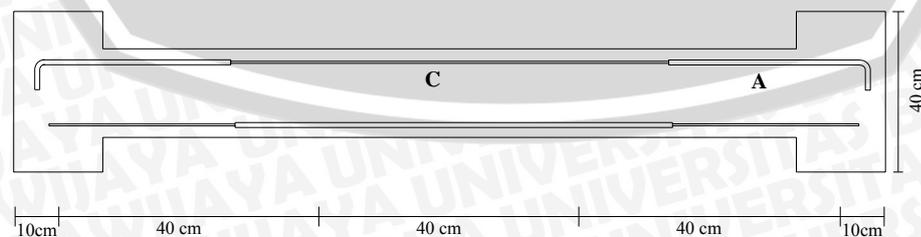
1. Persiapan material dan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
2. Analisis bahan meliputi agregat halus dan kasar.
3. Pembuatan cetakan beton (bekisting).
4. Pemasangan tulangan.
5. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur beton (*Concreting Mixer*).
6. Memasukkan campuran adukan beton ke dalam bekisting.
7. Perawatan (*curing*).
8. Pelepasan bekisting.

### 3.5. Rancangan Balok Uji

**Tabel 3.2.** Variasi Prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan

Prosentase Ideal	Luas Tulangan Tarik (A)	Jenis Tulangan Tarik	Luas Tulangan yang masuk (C)	Jenis Tulangan yang masuk	Prosentase Aktual
10%	297,5 mm <sup>2</sup>	2Ø6 + 3Ø12	42,5 mm <sup>2</sup>	2Ø6	14,3 %
20%	318,75 mm <sup>2</sup>	3Ø6 + 3Ø12	63,75 mm <sup>2</sup>	3Ø6	20 %
30%	300 mm <sup>2</sup>	2Ø10 + 4Ø10	100 mm <sup>2</sup>	2Ø10	33,3 %
40%	291,25 mm <sup>2</sup>	1Ø6 + 2Ø10 + 2Ø12	121,25 mm <sup>2</sup>	1Ø6 + 2Ø10	41,6 %
50%	271,25 mm <sup>2</sup>	3Ø10 + 1Ø6 + 2Ø10	150 mm <sup>2</sup>	3Ø10	55 %

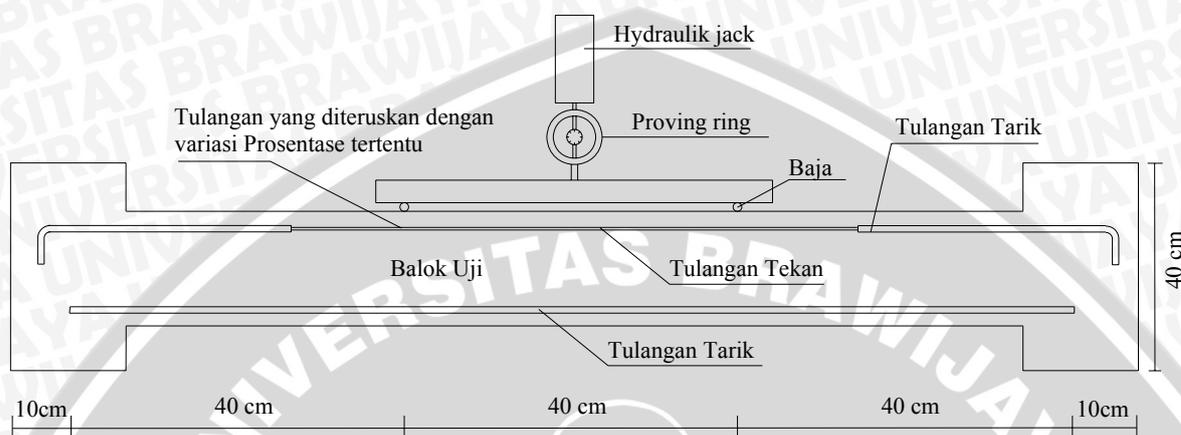
Balok Uji



**Gambar 3.1.** Balok Uji

### 3.6. Cara Penelitian dan Pengujian

Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari sejak pengecoran. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan ditumpu jepit-jepit pada kedua ujungnya. Balok uji diberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar.



**Gambar 3.2.** Skema Pembebanan

Beban terpusat vertikal yang dikerjakan pada balok dikerjakan oleh pompa hidraulik. Penambahan beban dibaca pada alat *strain meter*. Setelah peralatan benda uji siap pada rangka pengujian, pembebanan segera dilakukan secara berangsur-angsur dari beban nol sampai dengan mencapai beban maksimum, saat balok uji mengalami keruntuhan. (tulangan tarik sudah mencapai leleh) dan retak menjalar sampai pada daerah beton tertekan.

Langkah-langkah pengujian :

1. Balok uji ditempatkan pada rangka pembebanan (*loading frame*) dengan ditumpu jepit-jepit pada kedua ujungnya. Balok uji diberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar.
2. Benda uji I (jumlah = 3) dibebani secara bertahap sampai benda uji tersebut hancur, didapat  $P_{maks}$ .
3. Benda uji II, III, IV, dan V (masing-masing jumlah = 3) dengan variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke daerah lapangan dibebani sampai benda uji tersebut hancur, didapat  $P_{maks}$ .
4. Pembacaan beban pada alat *strain meter*.

### 3.7. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data benda uji dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 15 balok dengan luas tulangan tumpuan yang masuk bervariasi. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan penambahan beban secara bertahap. Adapun dalam pengujian ini pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati dan mencatat hasil pengukuran  $P_{maks}$  akibat variasi luas tulangan tumpuan yang masuk sampai beton mengalami keruntuhan.

### 3.8. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang berubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke daerah lapangan.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kapasitas lentur balok.

### 3.9. Analisis Data

Dari  $P_{maks}$  yang didapatkan dari pengujian dapat ditentukan  $M_{maks}$  dengan rumus:

$$M_{maks} \text{ Tumpuan} = 1/9 \cdot P_{maks} \cdot L \quad (3-1)$$

$$M_{maks} \text{ Lapangan} = 1/18 \cdot P_{maks} \cdot L \quad (3-2)$$

Dari hasil perhitungan didapatkan besar peningkatan beban dan kapasitas lentur yang diterima masing – masing benda uji.

#### 3.9.1. Analisis Varian Satu Arah

Dari data yang diperoleh melalui pengamatan saat pengujian pada saat balok akan mengalami keruntuhan digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan pada balok terhadap kapasitas lentur balok dan seberapa besar penambahan kapasitas lentur yang mampu diterima balok akibat variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan.

Untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh variasi tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok, 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

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

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

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*  $\alpha$

- 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 3.3.** Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah

SK	Db	JK	KT	F <sub>hitung</sub>
Perlakuan	p-1	JK <sub>p</sub>	$KT_p = \frac{JK_p}{(p-1)}$	$\frac{KT_{Perlakuan}}{KT_{G.Percobaan}}$
Galat Percobaan	$\sum_i^p (n_i - 1)$	JK <sub>G</sub>	$KT_G = \frac{JK_G}{(p(n-1))}$	
Total		JK <sub>T</sub>		

e. Menentukan F<sub>tabel</sub>

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

Dari hasil analisis akan didapat nilai F<sub>hitung</sub> yang akan dibandingkan dengan F<sub>tabel</sub> dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai  $\alpha$  tertentu. Jika F<sub>hitung</sub> > F<sub>tabel</sub> berarti tolak H<sub>0</sub> artinya, ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan (tekan) yang diteruskan ke lapangan, dan jika F<sub>hitung</sub> < F<sub>tabel</sub> berarti terima H<sub>0</sub> artinya, tidak ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan.

### 3.9.2. Analisis Regresi

Untuk mendapatkan suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi tulangan dengan kapasitas lentur, maka dilakukan dengan pemodelan sederhana dengan menggunakan analisis regresi. Analisis regresi menjelaskan hubungan antara satu variabel terikat atau variabel respon yang tergantung pada satu variabel bebas.

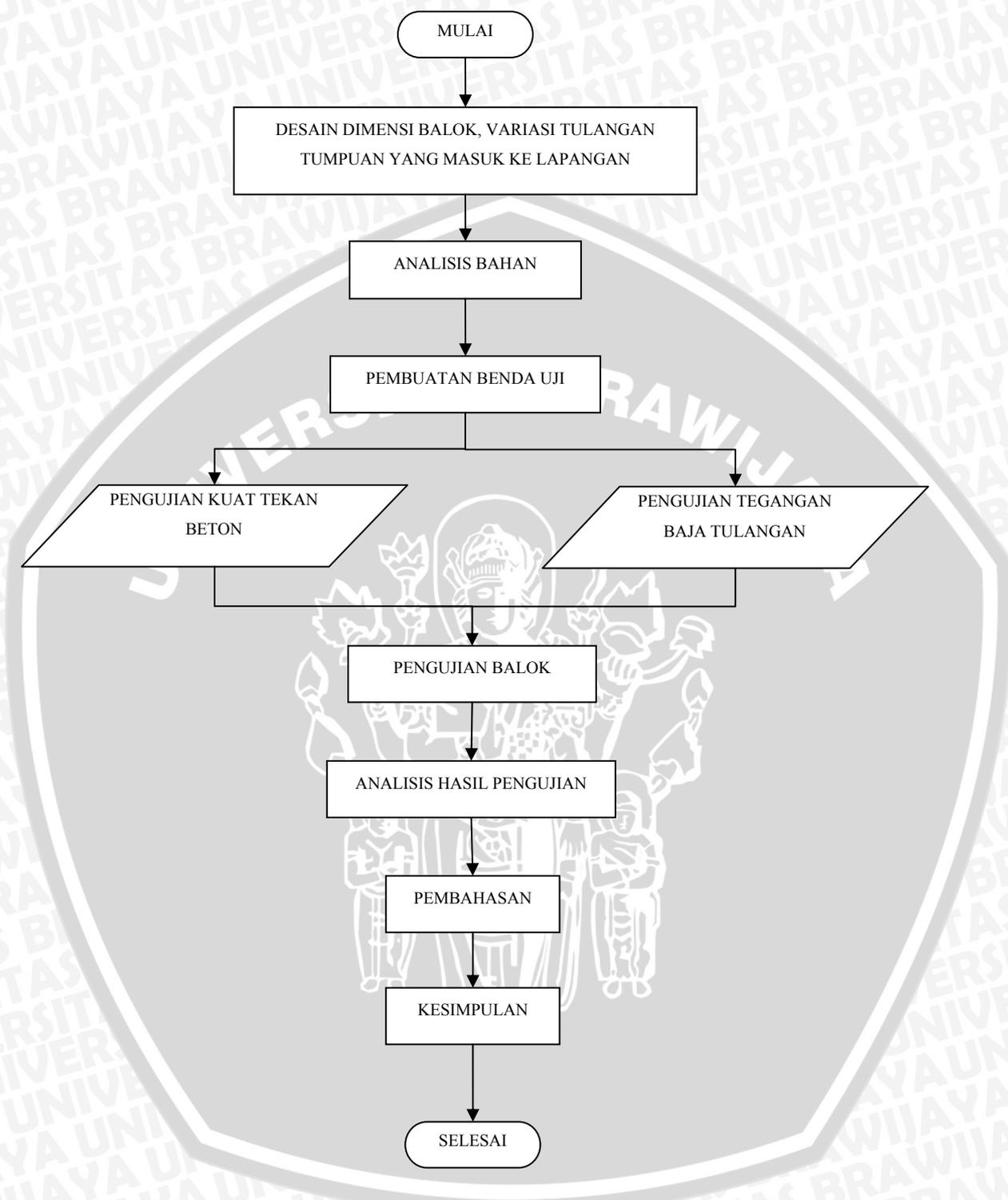
Dalam mempelajari respon sebenarnya kita ingin mengetahui apakah responnya masih bersifat linear, artinya dengan perlakuan perlakuan terendah sampai tertinggi masih memberikan kenaikan atau penurunan secara proporsional, atau dalam tingkatan kuadratik, yang artinya dalam kisaran perlakuan yang diberikan sudah dicapai respon optimal, atau mungkin derajat yang lebih tinggi dari kuadratik.

Pencapaian tujuan di atas dengan menguraikan perlakuan – perlakuan ke dalam tingkat respon linear, kuadratik, kubik, atau tingkat respon yang lebih tinggi lagi, dan komponen – komponen pembanding kita namakan sesuai dengan tingkat responnya, yaitu komponen linear, kuadratik, dan seterusnya.

Analisis regresi yang dipilih untuk menggambarkan hubungan antara variasi tulangan dan kapasitas lentur balok pada penelitian ini tidak didasarkan pada pertimbangan- pertimbangan statistik murni, melainkan pada bentuk mana yang paling mewakili bentuk hubungan antara keduanya berdasarkan hasil pengujian dan tinjauan pustaka yang telah dilakukan.



**3.10. Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 3.3.** Diagram Pengerjaan Penelitian



## 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 uji. Dari pengujian tersebut didapatkan nilai beban runtuh balok, sehingga dapat dihitung nilai dari kapasitas lentur balok. Pengujian lain untuk melengkapi data dalam analisis meliputi pengujian agregat halus dan agregat kasar, pengujian baja tulangan, pengujian beton segar, dan pengujian beton keras.

##### 4.1.1. Agregat Halus (pasir)

Agregat halus berupa pasir yang berasal dari kota Malang. Agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya dilapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun sampah. 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. Setelah dilakukan uji analisis saringan dan uji sifat fisis didapatkan hasil seperti pada tabel 4.1 sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Hasil Pengujian Agregat Halus**

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Halus	2,453
Berat Jenis SSD	2,822
Berat Isi (gr/ml)	1,642
Absorpsi	1,626

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

##### 4.1.2. Agregat Kasar (batu pecah)

Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran 10 mm yang berasal dari kota Malang. Agar kondisinya mendekati keadaan yang sebenarnya dilapangan, maka diusahakan tidak dicuci akan tetapi dijaga dari adanya kotoran organik, lumpur, maupun

sampah. 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 didapatkan hasil seperti pada tabel 4.2 sebagai berikut :

**Tabel 4.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar**

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus Halus	6,853
Berat Jenis SSD	2,703
Berat Isi (gr/ml)	1,602
Absorpsi	1,523

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

#### 4.1.3. Baja Tulangan

Pemeriksaan tegangan leleh baja tulangan dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pengujian yang dilakukan pada baja tulangan adalah uji tarik baja untuk mengetahui tegangan leleh baja tersebut. Setelah dilakukan uji tarik didapatkan hasil seperti pada tabel 4.3 sebagai berikut :

**Tabel 4.3. Hasil Pengujian Baja Tulangan**

Diameter (mm)	No	Tegangan Leleh (fy) (MPa)	fy rata-rata
5.2 (Φ6)	1	329.722	306.17
	2	306.17	
	3	282.62	
6.4 (Φ8)	1	311.04	316.223
	2	342.14	
	3	295.489	
8 (Φ10)	1	318.471	325.104
	2	338.37	
	3	318.471	
10.4 (Φ12)	1	317.98	321.555
	2	317.98	
	3	329.76	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Dari uji statistik keragaman varians data tegangan baja tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan baja yang diperoleh dari uji tarik baja termasuk homogen atau nilainya tidak terlalu berbeda secara signifikan. Sehingga didapatkan tegangan leleh baja tulangan rata-rata ( $f_y$ ) adalah 317,263 MPa yang akan digunakan pada perhitungan kapasitas lentur secara perhitungan.

#### 4.1.4. Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian *Slump*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan pengerjaan campuran adukan beton (*workabilitas*). Setelah dilakukan pengujian *Slump* didapatkan hasil seperti pada tabel 4.4 sebagai berikut :

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

No Benda Uji	Slump (cm)
14.3 % (1)	16
14.3 % (2)	9
14.3 % (3)	9
20 % (1)	10.5
20 % (2)	10.5
20 % (3)	10
33 % (1)	9.5
33 % (2)	9
33 % (3)	10.5
41.6 % (1)	10.5
41.6 % (2)	10.25
41.6 % (3)	10
55 % (1)	10
55 % (2)	11
55 % (3)	12

Sumber : Hasil penelitian

Dari tabel 4.4 didapatkan nilai *slump* yang bervariasi, ini disebabkan karena faktor manusia sendiri (*human error*) dan kurangnya pengalaman dalam melakukan *mix design* dan pengecoran, selain itu juga karena faktor alam yang ikut mempengaruhi. Pada saat pengecoran pasir dan kerikil ditempatkan diluar ruangan dan terlalu sering terkena terik matahari dalam waktu lama yang mengakibatkan kadar air pada masing-masing bahan menjadi berkurang. Karena kurangnya pengalaman, kebutuhan air yang didapat dari perhitungan *mix design* untuk tiap-tiap pengecoran dijadikan patokan dan ini sangat berpengaruh pada nilai *slump* yang didapatkan.

#### 4.1.5. 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 seperti pada tabel 4.5 sebagai berikut :

**Tabel 4.5. Hasil Uji Tekan Beton Silinder**

No Benda Uji	Kuat Tekan (f'c) (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
14.3%-1	327,32	324.04
14.3%-2	319,51	
14.3%-3	325,29	
20%-1	327,81	337,248
20%-2	338,00	
20%-3	345,93	
33%-1	381,45	374.494
33%-2	327,15	
33%-3	412,15	
41.6%-1	283,65	313.093
41.6%-2	340,27	
41.6%-3	315,36	
55%-1	334,78	332.680
55%-2	337,52	
55%-3	325,74	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan

Dari uji statistik keragaman varians data kuat tekan beton tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton yang diperoleh dari uji tekan beton termasuk homogen atau nilainya tidak terlalu berbeda secara signifikan. Sehingga didapatkan kuat tekan ( $f_c$ ) rata-rata adalah 336,311 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2. Pengujian Kuat Lentur Balok Uji

Pengujian kuat lentur balok adalah pengujian pembebanan balok dengan 2 beban terpusat yang simetris untuk masing-masing balok dengan jarak 40 cm dan 80 cm dari as balok. Uji pembebanan dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik, balok berdimensi sama yaitu 12x20x140 cm diuji dengan jarak antar as balok adalah 120 cm. Dimana tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jepit-jepit pada kedua ujung balok. Balok uji dikelompokkan dalam 5 golongan dengan variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.6 sebagai berikut :

**Tabel 4.6. Variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan pada balok dari perhitungan dan aktual**

Benda uji	Balok ukuran 12 x 20 x 140 cm				
Rencana	10%	20%	30%	40%	50%
Aktual	14,3%	20%	33%	41,6%	55%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Sumber : Hasil perhitungan

Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari untuk mendapatkan kekuatan beton yang optimal. Pengujian ini untuk mendapatkan besarnya kapasitas beban nominal ( $P_n$ ) pada balok dengan melakukan penambahan beban secara bertahap. Sehingga dapat diketahui beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok uji. Selanjutnya nilai dari beban nominal ( $P_n$ ) akan digunakan untuk memperhitungkan nilai kapasitas lentur yang terjadi pada balok uji. Sehingga dapat diketahui juga kapasitas lentur maksimum yang terjadi pada balok uji. Hasil pengujian balok uji dapat dilihat pada tabel 4.7, untuk hasil pengujian yang selengkapnya dapat dilihat pada bagian Lampiran.

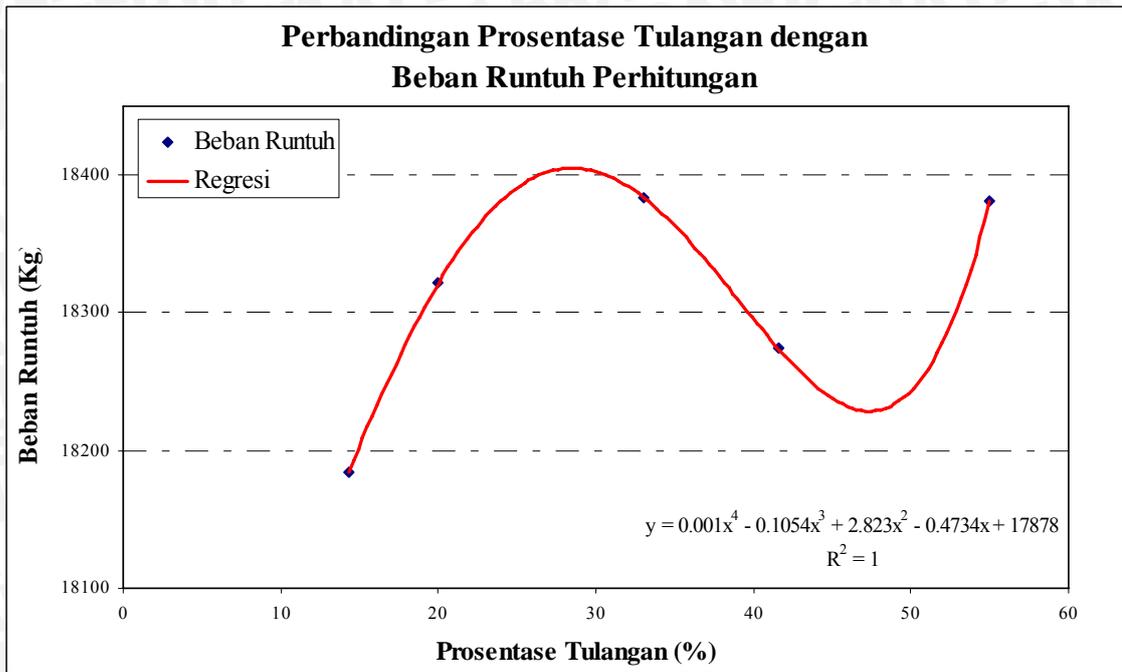
#### 4.2.1. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji

Perbandingan antara momen nominal pada perhitungan ( $M_n$  Perhitungan) dan beban saat runtuh pada perhitungan ( $P_n$  perhitungan) dengan beban pengujian saat runtuh ( $P_n$  Uji) yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik dapat diperlihatkan pada tabel 4.7. sebagai berikut :

**Tabel 4.7. Perbandingan  $M_n$  dan  $P_n$  Perhitungan dengan  $P_n$  Uji**

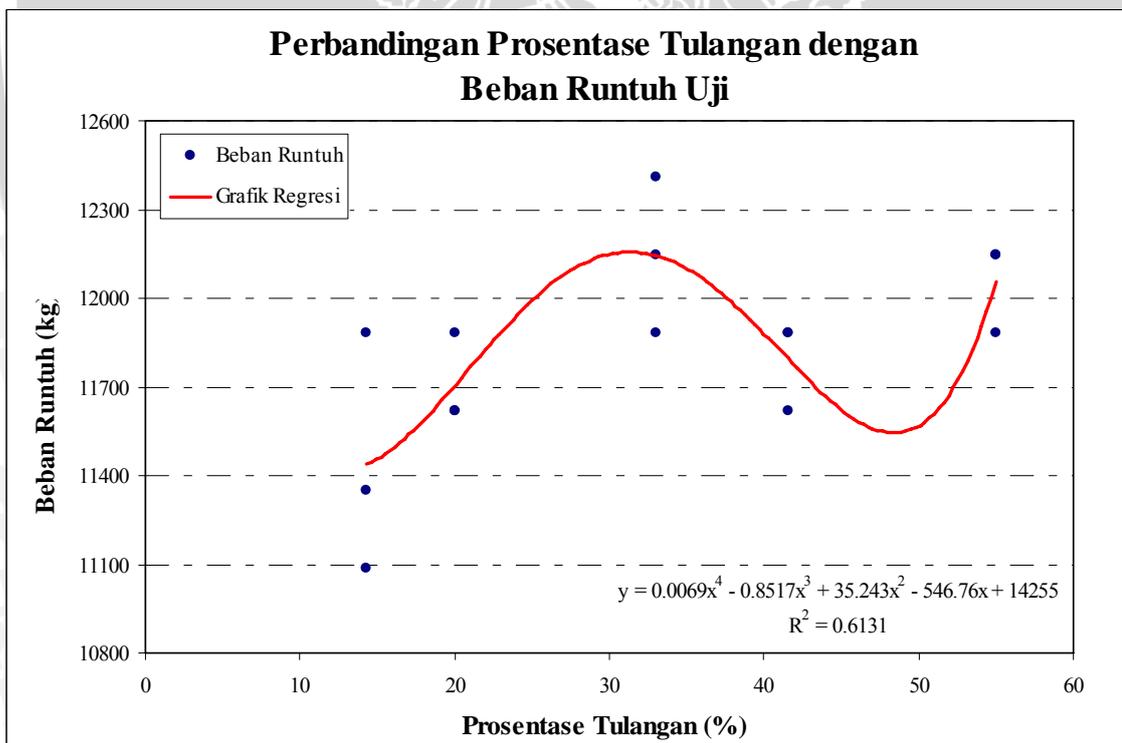
No Benda Uji	$M_n$ Perhitungan (Kgc <sub>m</sub> )	$P_n$ Perhitungan (Kg)	$P_n$ Uji (Kg)	$P_n$ Uji rata-rata (hasil Regresi) (Kg)
14.3 % (1)	121228.59	18184.28851	11880	11441.157
14.3 % (2)			11088	
14.3 % (3)			11352	
20 % (1)	122143.965	18321.59476	11616	11707.4
20 % (2)			11616	
20 % (3)			11880	
33 % (1)	122559.849	18383.9773	12408	12166.859
33 % (2)			11880	
33 % (3)			12144	
41.6 % (1)	121825.808	18273.87118	11616	11849.3
41.6 % (2)			11880	
41.6 % (3)			11880	
55 % (1)	122539.627	18380.94399	12144	12231
55 % (2)			11880	
55 % (3)			12144	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan**



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji**

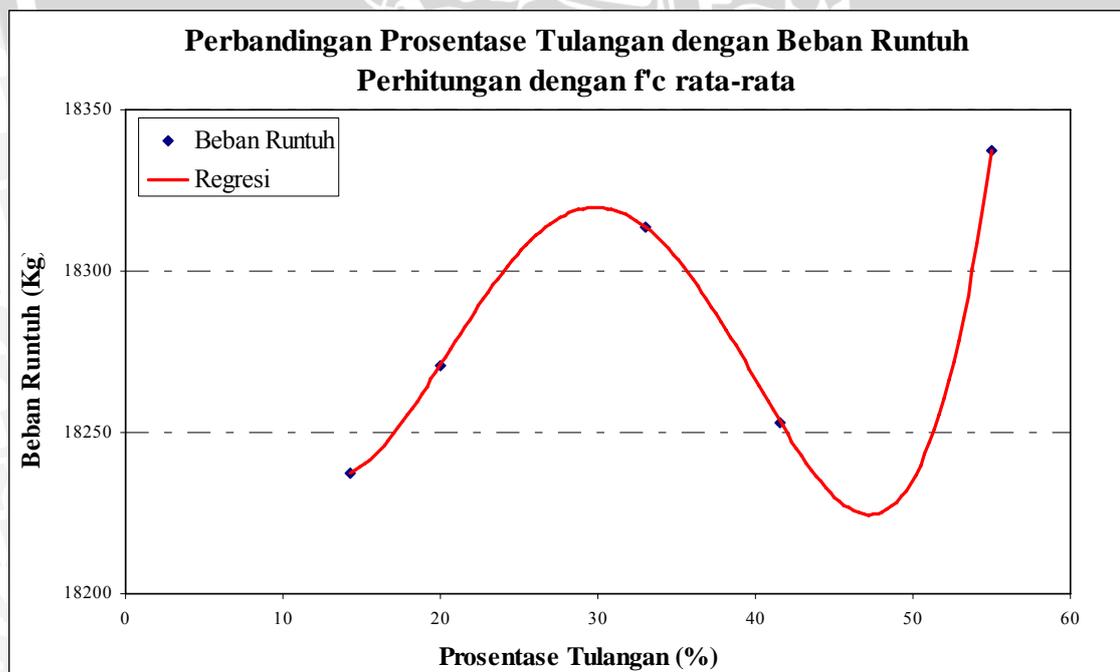
Grafik perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan secara perhitungan diambil dari data perhitungan penampang balok pada bagian

lapangan dengan tulangan rangkap, sedangkan grafik perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan secara aktual diambil dari data pengujian yang dilakukan. Pada perhitungan dipakai data mutu beton bervariasi berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder, perhitungan yang dipakai adalah dari kuat tekan beton rata-rata yang diambil dari uji statistik, karena balok uji harus mendapat perlakuan sama. Kapasitas dukung beban maksimum balok secara perhitungan dengan perlakuan sama menggunakan  $f_c'$  rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.8 sebagai berikut :

**Tabel 4.8. Kapasitas dukung beban maksimum balok dengan  $f_c'$  rata-rata sebesar 33,631 MPa**

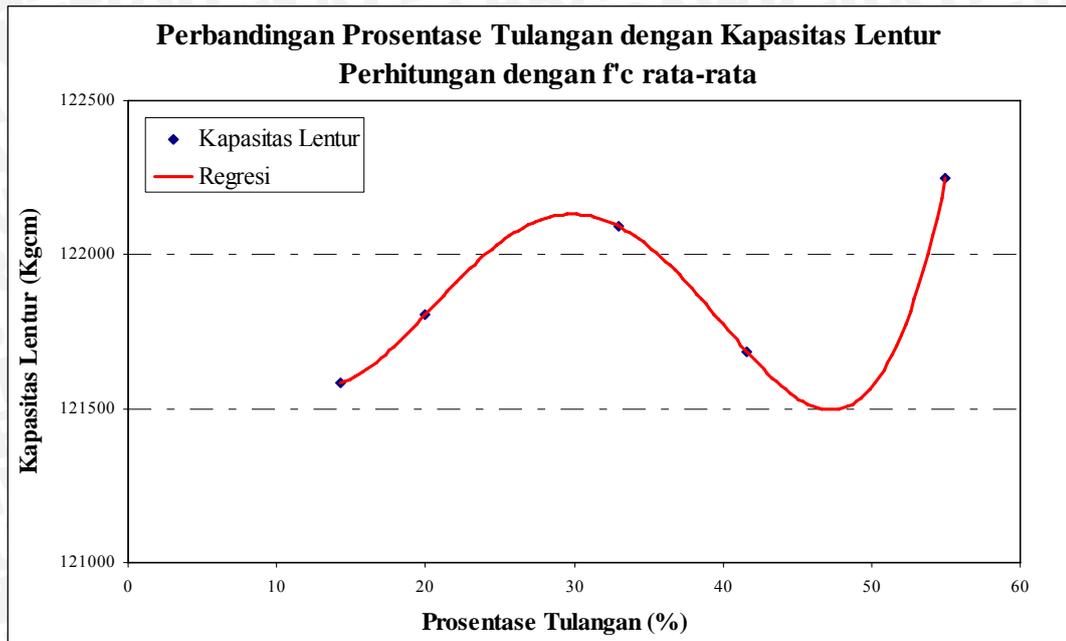
No	Benda uji	Mn Perhitungan (KgcM)	Pn Perhitungan (Kg)
1	14.3%	121583,71	18237,55
2	20%	121806,10	18270,91
3	33%	122091,41	18313,71
4	41.6%	121686,86	18253,02
5	55%	122249,36	18337,40

Sumber : Hasil perhitungan



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan dengan  $f_c'$  rata-rata = 33,631 MPa**



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan  $M_n$  Perhitungan dengan  $f'_c$  rata-rata = 33,631 Mpa**

#### 4.2.2. Kapasitas Lentur Balok Uji

Kapasitas Lentur Balok didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$M_{maks} \text{ Tumpuan} = \frac{PL}{9} \quad (4-1)$$

$$M_{maks} \text{ Lapangan} = \frac{PL}{18} \quad (4-2)$$

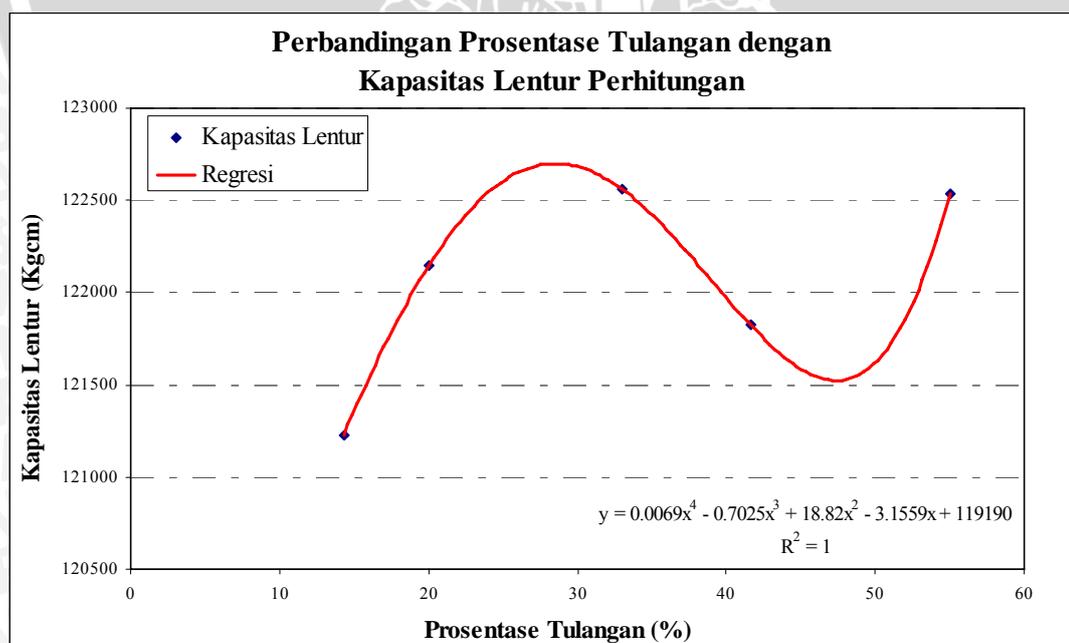
Dimana P adalah P yang didapatkan dari pengujian yaitu  $P_n$  Uji, Sedangkan L adalah panjang dari Balok Uji yaitu 120 cm. Pada pengujian ini yang akan digunakan baik pada  $M_n$  perhitungan maupun  $M_n$  uji adalah  $M_n$  yang terjadi di lapangan, sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung  $M_n$  adalah rumus 4.2. Hal ini dikarenakan variasi luas tulangan tumpuan yang diteruskan adalah ke bagian lapangan, sehingga akan dilihat pengaruh dari Kapasitas Lentur yang terjadi di lapangan.

$M_n$  perhitungan didapatkan melalui perhitungan melalui potongan penampang dari balok uji di bagian lapangan. Perhitungan yang dilakukan dengan nilai tegangan leleh baja ( $f_y$ ) dan nilai kuat tekan beton ( $f'_c$ ) yang didapatkan melalui uji tarik dan uji tekan beton di laboratorium. Hasil perhitungan kapasitas lentur dari potongan penampang dan perhitungan kapasitas lentur uji dari data beban runtuh uji dengan rumus 4.2 dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.9. Perbandingan Mn Perhitungan dan Mn Uji

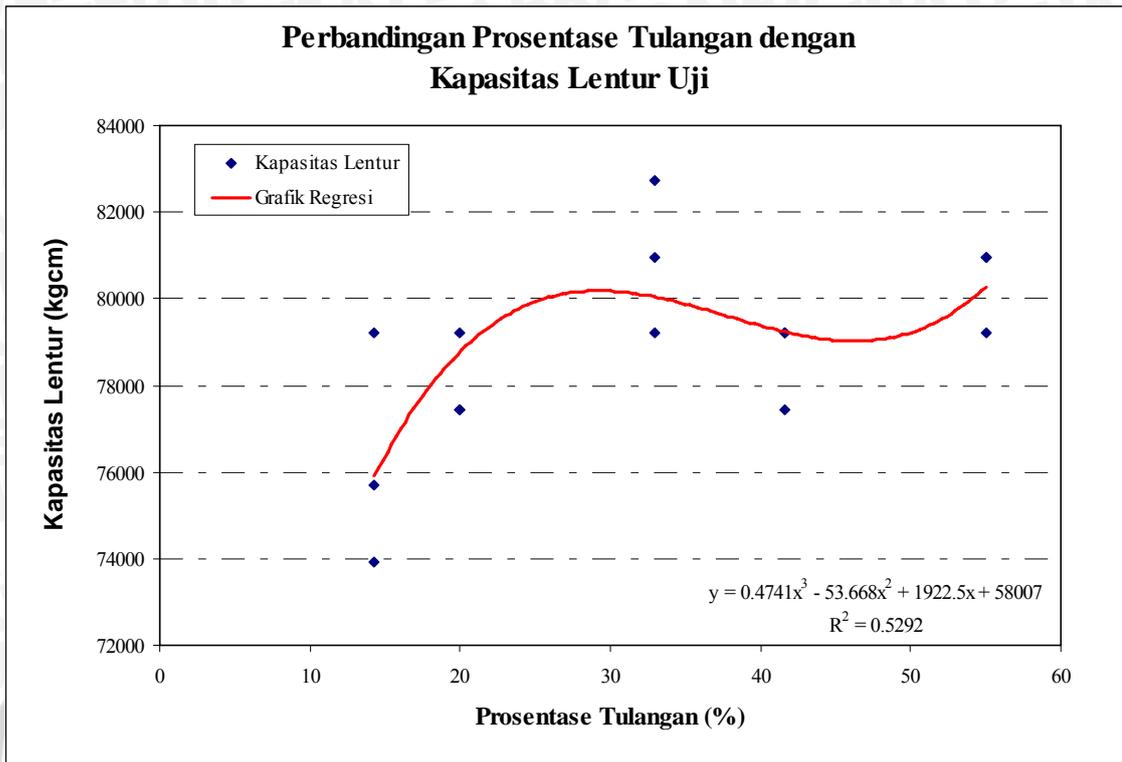
No Benda Uji	Mn Perhitungan (Kgcm)	Pn Uji (Kg)	Mn Uji (Kgcm)	Mn Uji rata-rata (hasil Regresi) (Kg)
14.3 % (1)	121228.59	11880	79200	76267.295
14.3 % (2)		11088	73920	
14.3 % (3)		11352	75680	
20 % (1)	122143.965	11616	77440	78030.6
20 % (2)		11616	77440	
20 % (3)		11880	79200	
33 % (1)	122559.849	12408	82720	80993.925
33 % (2)		11880	79200	
33 % (3)		12144	80960	
41.6 % (1)	121825.808	11616	77440	78700.792
41.6 % (2)		11880	79200	
41.6 % (3)		11880	79200	
55 % (1)	122539.627	12144	80960	80643.963
55 % (2)		11880	79200	
55 % (3)		12144	80960	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan



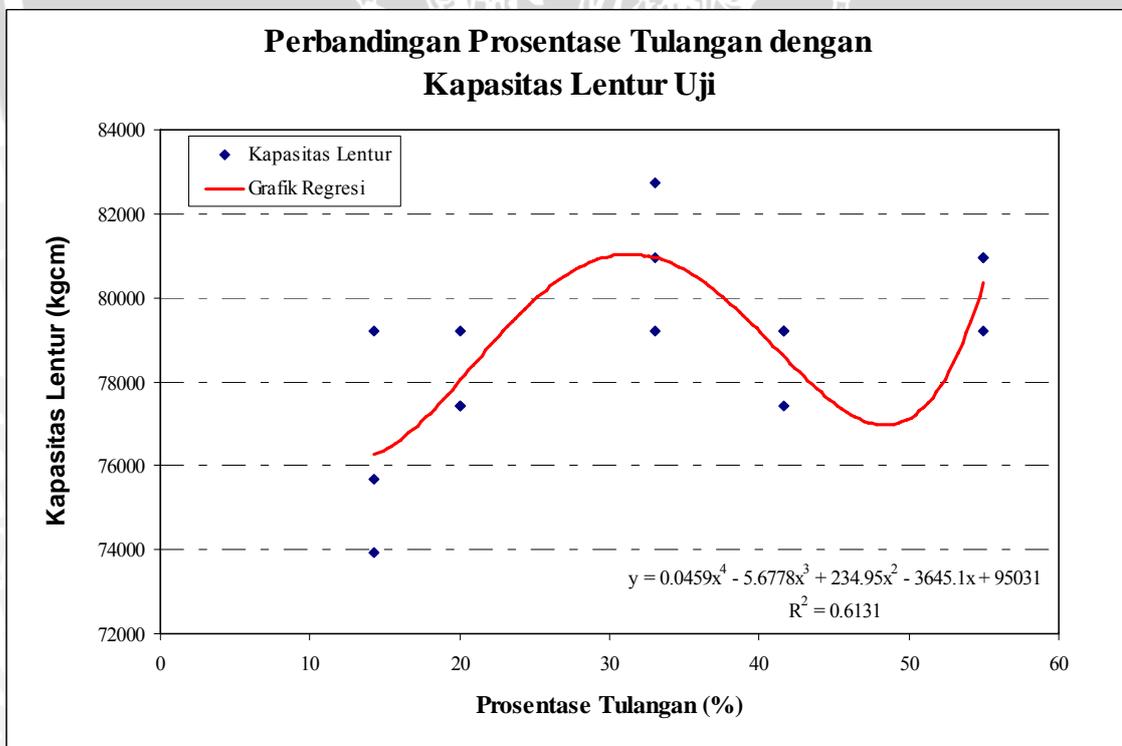
Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan**



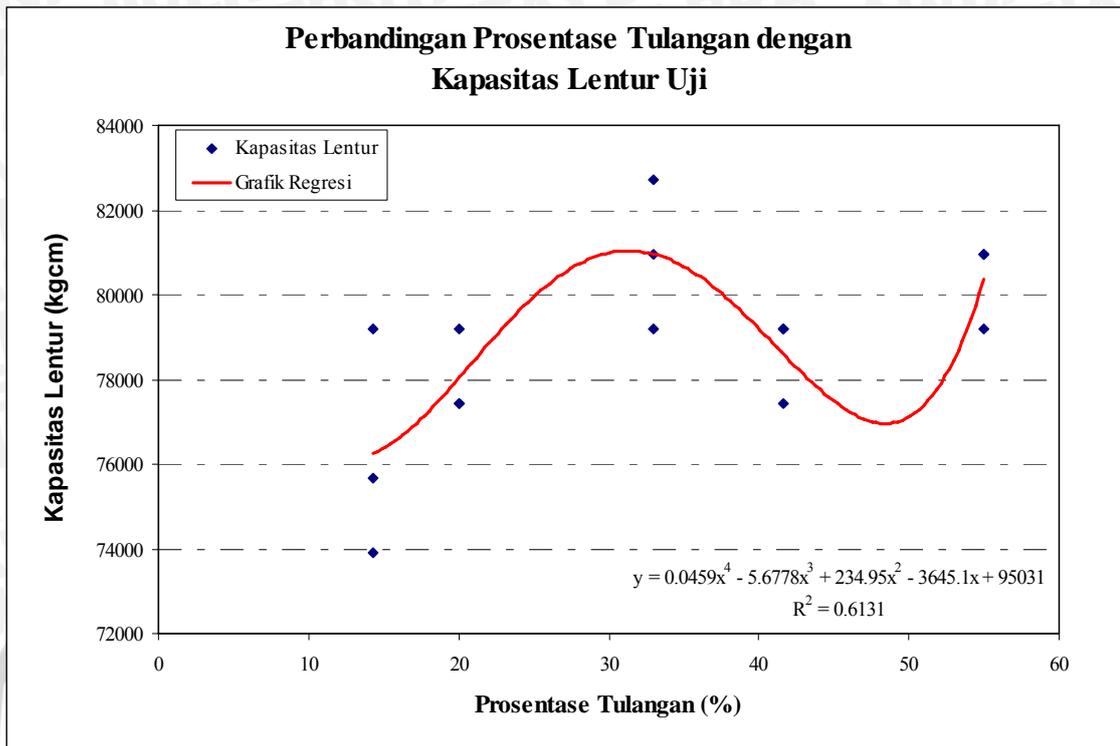
Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (Orde 3)**



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (Orde 4)**



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.8. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (Orde 6)**

Dari grafik perbandingan prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan seperti pada gambar diatas dapat dilihat hasil regresi dari data-data kapasitas lentur uji yang terjadi. Analisis regresi yang dipakai yaitu dengan polynomial orde yang berbeda yaitu orde 3, orde 4 dan orde 6. Hal ini dimaksudkan untuk mencari nilai  $R^2$  yang mendekati 1. Nilai  $R^2$  menunjukkan keakuratan dari grafik tersebut, artinya nilai  $R^2$  yang mendekati 1 berarti grafik tersebut semakin akurat sesuai dengan penyebaran data-data yang didapatkan. Dari hasil perhitungan didapatkan untuk orde 3 nilai  $R^2 = 0,5292$  sedangkan hasil regresi untuk orde 4, 5, dan 6 didapatkan nilai  $R^2$  yang sama yaitu sebesar 0,6131. Sehingga grafik yang digunakan sebagai hasil regresi dari data-data kapasitas lentur tersebut adalah grafik regresi orde 6 yang mempunyai keakuratan grafik lebih baik.

Dari grafik hasil regresi dapat dilihat bahwa besar prosentase tulangan yang menghasilkan nilai kapasitas lentur yang paling besar adalah variasi prosentase pada kisaran 30 % - 33 %. Nilai tersebut sesuai dengan yang disyaratkan yaitu bahwa luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan paling sedikit sepertiga dari luas tulangan total di tumpuan atau 30 %.

### 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. Pengujian Hipotesis

Dari data pengujian yang diperoleh, selanjutnya untuk nilai kapasitas lentur pada saat balok runtuh ( $M_n$ ) dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan terhadap kapasitas lentur 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 luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan.

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

Dari analisis data kapasitas lentur didapat hasil sebagai berikut:

**Tabel 4.10. Analisis Statistik Anova Satu Arah**

Source	SS	df	MS	F hitung	F tabel	P-value
Between Groups	42540373	4	10635093	<b>3,96153846</b>	<b>3,47805</b>	0,03524778
Within Groups	26845867	10	2684587			
Total	69386240	14				

Sumber : Hasil perhitungan

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

Untuk mendukung pernyataan diatas juga telah dilakukan 3 uji yaitu, Dunnet's Test, Tukey's Test, dan Fisher's Test. Dari ketiga uji tersebut menunjukkan bahwa ada

pengaruh yang cukup signifikan antar level faktor dan level kontrol (prosentase tulangan 33 %). Dari dasar teori dan perhitungan analisa statistik yang telah digunakan, prosedur perhitungan dan contoh perhitungan yang telah dikerjakan, kemampuan (*serviceability*) dari balok dengan menggunakan tulangan rangkap menghasilkan hal-hal yang dapat dipelajari dan diketahui lebih lanjut. Pada Grafik perbandingan prosentase tulangan dengan Mn perhitungan (gambar 4.5) dan Grafik perbandingan prosentase tulangan dengan Mn Uji (gambar 4.8) dapat dilihat kemiripan bahwa pada saat variasi 33 % terjadi kenaikan nilai dari kapasitas lentur. Telah diketahui bahwa fungsi tulangan tekan adalah untuk memperbesar nilai kapasitas dan kekakuan dari suatu struktur, sehingga hal ini menunjukkan bahwa penggunaan tulangan tekan sedikit banyak berpengaruh pada kemampuan struktur.

#### 4.3.2. Pembahasan Penelitian

Pada saat penelitian yaitu ketika balok uji diberi beban yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik, terjadi rotasi pada tumpuan balok. Tetapi rotasi yang terjadi sangat kecil sekali bila dihubungkan dengan dimensi dari balok itu sendiri dan juga parameter lain yang digunakan untuk mengkondisikan balok tersebut dalam keadaan tumpuan jepit-jepit. Pada perencanaan untuk pengujian balok uji tumpuannya adalah jepit-jepit, dimana semua perencanaan baik dalam hal dimensi balok uji, tulangan kolom dan pemasangan *loading frame* sudah mengacu dan dikondisikan supaya terjadi tumpuan jepit sempurna. Pada dimensi balok yaitu pada kolom (tumpuan) dimensinya sama dengan dimensi badan balok, pemasangan tulangan balok sudah dibengkokkan ke daerah tumpuan dan pada kolom (tumpuan) juga dipasang tulangan vertikal.

Pemasangan balok uji pada *loading frame* juga mengacu dan dikondisikan pada tumpuan jepit sempurna, dimana dipakai 4 pengaku horisontal di badan balok dan di *frame* tengah dan pemasangan 4 pengaku pada kolom yang telah dihitung kekuatannya sehingga tidak akan membuat balok berotasi. Hal ini diperkirakan karena adanya *human error* dan pemasangan yang tidak benar-benar sesuai dengan prosedur. Selain itu juga dimungkinkan karena faktor dari *loading frame* yang menerima beban yang sangat besar sehingga terjadi deformasi pada *loading frame*. Walaupun mungkin sangat kecil sekali tetapi diperkirakan akan ikut mempengaruhi kondisi balok uji yang diletakkan di *loading frame* tersebut.

Retak yang terjadi pada saat penelitian umumnya adalah retak lentur geser, sedangkan perencanaan yang dilakukan adalah nantinya pada balok akan terjadi runtuh

lentur, padahal pada perencanaan juga melakukan perkuatan untuk mengurangi geser dengan pemasangan sengkang dengan jarak 4 cm pada daerah yang terjadi gaya geser. Hal ini juga diperkirakan kembali disebabkan oleh *human error* dimana unsur bentang pada dimensi balok kurang diperhitungkan dan hanya mengacu pada keruntuhan balok dari kondisi *underreinforced* (penulangan lemah) yang akan berakibat keruntuhan lentur pada balok.

#### 4.3.3. Pembahasan Kapasitas Lentur Balok

Metode pada perencanaan balok uji adalah metode kekuatan batas, dimana balok dalam keadaan batas runtuh. Dari pembacaan *proving ring* saat balok dalam keadaan batas runtuh didapatkan nilai  $P_n$  uji rata-rata tiap-tiap prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan yang bervariasi mulai prosentase 14,3 %; 20 %; 41,6 %; dan 55 % yang menunjukkan adanya peningkatan ataupun penurunan beban runtuh ( $P_n$ ). Sehingga hal yang sama pun akan terjadi pada besar kapasitas lentur yang juga menunjukkan peningkatan ataupun penurunan. Hasil perhitungan kapasitas lentur pada balok dalam tiap-tiap prosentase dibandingkan dengan prosentase luas tulangan 33 % sesuai dengan persyaratan dan tujuan awal dari penelitian ini. Peningkatan ataupun penurunan kapasitas lentur ( $M_n$ ) dibanding terhadap prosentase luas tulangan 33 % dapat dilihat di tabel 4.11 sebagai berikut :

**Tabel 4.11. Prosentase Peningkatan atau Penurunan  $M_n$  Uji**

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Peningkatan atau penurunann $M_n$ terhadap balok 33 % (%)
1	14,3%	-5,836
2	20%	-3,658
3	33%	0
4	41,6%	-2,831
5	55%	-0,432

Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel 4.11 dapat dilihat bahwa dengan penambahan maupun pengurangan luas tulangan tekan terhadap tulangan tumpuan tidak terjadi peningkatan terhadap nilai kapasitas lentur balok. Pada prosentase 14,3 % terjadi penurunan nilai kapasitas lentur sebesar 5,836 % terhadap prosentase 33 %, sedangkan untuk prosentase 20 %; 41,6 %; dan 55 % terjadi penurunan masing-masing sebesar 3,658 %; 2,831 %; dan 0,432 %. Hal ini selain karena memang disebabkan luas tulangan tekan yang berbeda-beda sehingga akan menghasilkan kapasitas yang berbeda, juga karena bahan campuran beton yang kurang mendapat perawatan dan tidak dilakukan penelitian ulang untuk analisis bahan campuran beton serta mutu beton ada yang lebih rendah dimasing-masing balok. Namun telah dilakukan uji statistik keseragaman dan hasilnya homogen sehingga tiap-tiap balok uji dapat perlakuan sama dari mutu beton tersebut.

Pada prosentase luas tulangan 55 % penurunan nilai kapasitas lentur terhadap luas tulangan 33 % yang terjadi sangat kecil sekali. Dapat dikatakan bahwa luas tulangan 33 % dan 55 % mempunyai sifat atau kekuatan struktur yang hampir sama dimana nilai dari kapasitas lentur yang terjadi tidak terlalu berbeda jauh. Sehingga dalam perencanaan, variasi prosentase luas tulangan yang masuk dapat dipakai 33 % ataupun 55 % dengan kapasitas lentur nominal yang sama. Namun berdasarkan teori bahwa luas tulangan tekan 50 % terhadap tulangan tarik adalah untuk perencanaan dimana diperhitungkan adanya beban gempa. Sehingga dalam perencanaan tanpa memperhitungkan adanya beban gempa disyaratkan untuk digunakan prosentase 33 % sesuai dengan peraturan yang ada. Dimana dengan prosentase 33 % akan dihasilkan kekuatan nominal yang sama dan juga akan lebih efektif dan lebih menghemat biaya karena prosentase luas tulangan yang digunakan lebih sedikit.

Dari grafik hasil regresi sebelumnya didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$y = 0,0459x^4 - 5,6778 x^3 + 234,95 x^2 - 3645,1 + 95031 \quad (4-3)$$

dengan :

y = kapasitas lentur (Kgcm)

x = prosentase tulangan (%)

Dengan Persamaan (4-3) akan dihitung besar variasi prosentase tulangan yang benar-benar paling optimum agar didapatkan nilai kapasitas lentur yang paling besar. Perhitungan didasarkan pada nilai kapasitas lentur yang paling besar yaitu pada prosentase 33%, dimana akan diambil nilai prosentase yang sedikit lebih kecil dan sedikit lebih besar dari prosentase 33 % dengan interval prosentase 1 %. Hasil perhitungan nilai kapasitas lentur dengan persamaan (4-3) dapat dilihat pada tabel 4.10.

**Tabel 4.12. Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn**

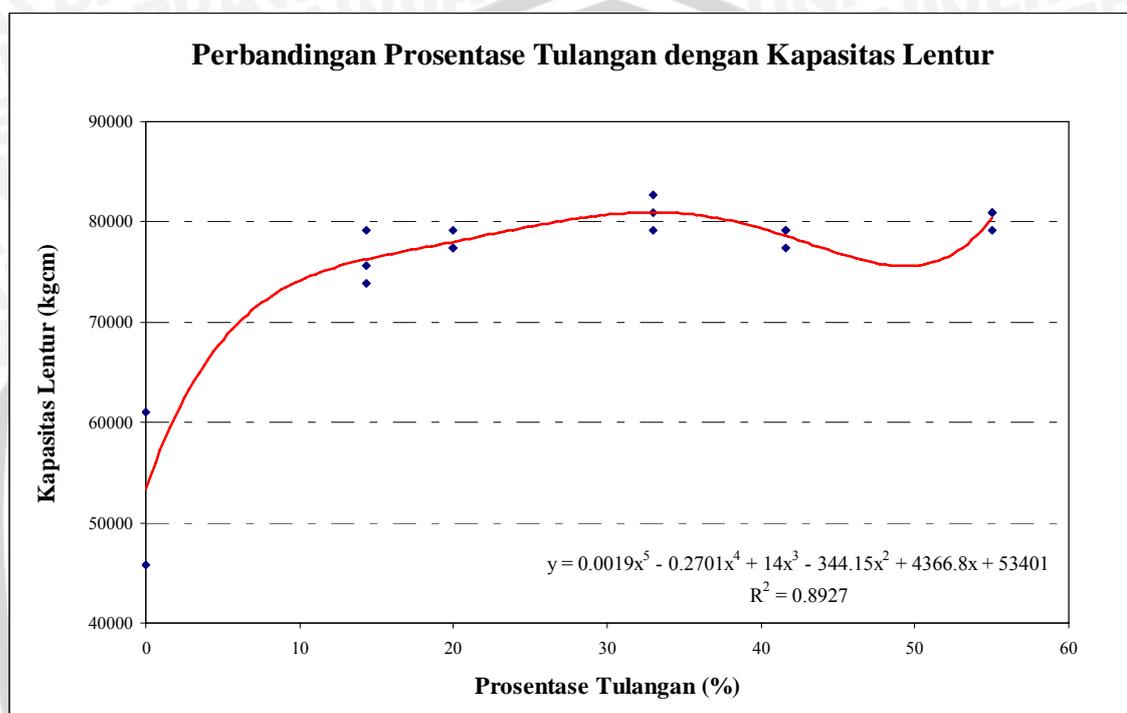
<b>Prosentase Tulangan (%)</b>	<b>Mn (Kgcem)</b>
29	80904.3837
30	81011.4
31	81062.1241
32	81056.088
33	80993.9253
34	80877.3712
35	80709.2625

**Tabel 4.13. Prosentase Peningkatan atau Penurunan Mn terhadap 33 %**

<b>Prosentase Tulangan (%)</b>	<b>Peningkatan atau Penurunan Mn terhadap 33 % (%)</b>
29	-0.1105
30	0.0216
31	0.0842
32	0.0767
33	0
34	-0.1439
35	-0.3515

Dari Tabel 4.13 didapatkan bahwa untuk mendapatkan nilai kapasitas lentur yang paling besar adalah dengan variasi prosentase tulangan yang masuk ke lapangan adalah sebesar 31 %. Dimana pada prosentase 31 % ada kenaikan nilai kapasitas lentur sebesar 0,0842 %. Sedangkan untuk prosentase yang lain terjadi kenaikan yang lebih kecil daripada prosentase 31 %, bahkan ada yang terjadi penurunan yaitu pada prosentase 29 %, 34 %, dan 35 %. Diketahui bahwa prosentase 31 % tersebut mendekati nilai yang disyaratkan yaitu prosentase minimal 30 %. Hal ini pun tentu saja harus disesuaikan dengan kondisi di lapangan, dimana harus menyesuaikan dengan diameter tulangan yang tersedia di pasaran.

Dari data-data pengujian yang telah dilakukan dapat juga dibuat grafik regresi untuk mendapatkan nilai kapasitas lentur pada prosentase 0% atau tidak adanya prosentase tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan. Sehingga pada daerah lapangan hanya dipakai tulangan tunggal karena tidak adanya tulangan tekan. Hasil regresi dapat dilihat pada grafik 4.9 sebagai berikut :



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

**Gambar 4.9. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Kapasitas Lentur**

Dari grafik 4.9 dapat dilihat bahwa dengan tidak adanya tulangan tekan akan berpengaruh terhadap nilai kapasitas lentur yaitu terjadi penurunan yang sangat signifikan. Atau dapat juga dibuat tabel prosentase kenaikan nilai kapasitas lentur dengan adanya variasi prosentase tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan dibandingkan dengan prosentase 0% atau tidak ada tulangan yang diteruskan. Hasil perhitungannya ditabelkan pada Tabel 4.14 sebagai berikut :

**Tabel 4.14. Prosentase Peningkatan Mn terhadap 0 %**

Prosentase Tulangan (%)	Peningkatan Mn terhadap 0 % (%)
0	0
14.3	29.967
20	31.485
33	34.040
41.6	31.973
55	33.828

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan yang sangat signifikan dengan adanya penambahan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan. Prosentase kenaikan nilai kapasitas lentur yang terjadi pada prosentase 14,3% adalah 29,967 %; pada 20% adalah 31,485 %; pada 33% adalah 34,040 %; pada 41,6% adalah 31,973 %; dan pada 55% adalah 33,828 %. Kenaikan paling tinggi terjadi pada prosentase 33% dimana sesuai dengan hasil pengujian dan analisis sebelumnya. Jadi dengan adanya penambahan tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan akan meningkatkan nilai kapasitas lentur balok.

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

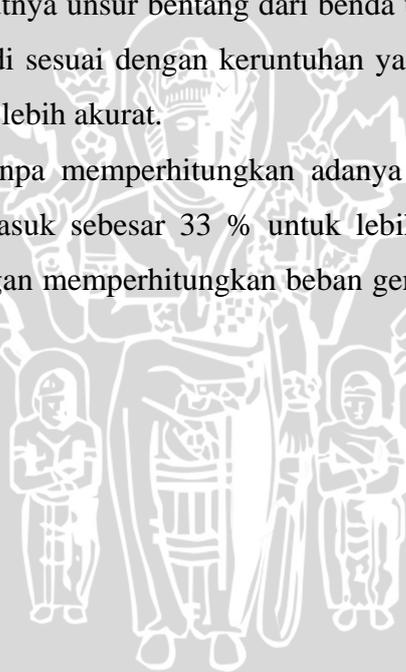
Dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dengan adanya prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan sebagai tulangan tekan akan meningkatkan nilai kapasitas lentur dari suatu balok.
2. Kapasitas lentur maksimum yang paling besar terjadi pada balok dengan prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan sebesar 33 %.
3. Terjadi penurunan nilai kapasitas lentur baik dengan penambahan maupun pengurangan prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan terhadap prosentase luas tulangan 33 %.
4. Terdapat pengaruh yang nyata dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok, sehingga dapat dikatakan dengan variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan yang berbeda akan dihasilkan nilai kapasitas lentur yang berbeda pula.
5. Kapasitas lentur untuk variasi prosentase 33 % dan 55 % tidak terlalu berbeda jauh, sehingga variasi prosentase yang digunakan tergantung dari perencanaan yang memperhitungkan adanya beban gempa atau tidak.

## 5.2. Saran

Dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terdapat beberapa hal yang disarankan dengan tujuan lebih menyempurnakan penelitian ini maupun untuk penerapan di lapangan, yaitu sebagai berikut :

1. Pada 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 pengendalian mutu beton mulai dari perawatan bahan-bahan campuran beton sampai proses *curing* yang sesuai prosedur sehingga bisa didapatkan mutu beton yang seragam dari masing – masing benda uji yang akan digunakan.
3. Pada penelitian selanjutnya unsur bentang dari benda uji lebih diperhatikan agar keruntuhan yang terjadi sesuai dengan keruntuhan yang direncanakan sehingga data-data yang didapat lebih akurat.
4. Untuk perencanaan tanpa memperhitungkan adanya beban gempa digunakan luas tulangan yang masuk sebesar 33 % untuk lebih efisien dan menghemat biaya, Sedangkan dengan memperhitungkan beban gempa digunakan prosentase 50 % sesuai peraturan.



**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN TUMPUAN  
YANG MASUK KE LAPANGAN TERHADAP  
KAPASITAS LENTUR BALOK**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**DENI ANDHIKA**  
NIM. 0210610020

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

**2007**

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN TUMPUAN  
YANG MASUK KE LAPANGAN TERHADAP  
KAPASITAS LENTUR BALOK**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**DENI ANDHIKA**  
NIM. 0210610020

**DOSEN PEMBIMBING**

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

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

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN TUMPUAN  
YANG MASUK KE LAPANGAN TERHADAP  
KAPASITAS LENTUR BALOK**

Disusun Oleh :

**DENI ANDHIKA**  
NIM. 0210610020

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus  
pada tanggal 9 April 2007

**DOSEN PENGUJI**

**Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MT**  
NIP. 131 176 254

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

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

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Ir. A. Wicaksono, M.Eng, Ph.D**  
NIP. 132 007 111



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145  
Fax.(0341) 551430 - Telp (0341) 551611 – 551615 Pes. 131 & 150

**PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah di ajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber, kutipan dan daftar pustaka

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, Saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (Sarjana Teknik) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 tahun 2003 Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70)

**Malang, 1 Mei 2007**  
**Mahasiswa**

**Deni Andhika**  
**0210610020-61**  
**Teknik sipil**



## 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.
- Ewin Adityawarman. 2006. *Pengaruh Variasi Prosentase Luas Tulangan Tekan Terhadap Luas Tulangan Tarik Ditinjau Pada Kapasitas Lentur Balok*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Sipil FT Unibraw, 2006.
- Nawy, Edward G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan dasar*. Bandung: PT ERESCO.
- Vis, W.C and Kusuma, Gideon. 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (Berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03) Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Wahyudi, Laurentius And Syahril A. Rahim. 1999. *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Wang, Chu Kia And Charles G. Salmon. 1994. *Disain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap Kapasitas Lentur 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. Bpk Ir. Arifi Soenaryo, selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Dr, Ir Agoes Soehardjono, MT., selaku dosen penguji.
6. Orangtua dan keluarga, terimakasih atas segala dukungan dan doanya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan – rekan dan sahabat angkatan 2002 yang tercinta, terima kasih atas segala dorongan, semangat, dan bantuan yang tulus selama ini.

Penyusun 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, April 2007

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Balok	4
2.2. Beton Bertulang	4
2.3. Karakteristik Beton dan Baja Tulangan	5
2.2.1. Karakteristik Beton	5
2.2.2. Karakteristik dan Sifat Baja Tulangan	7
2.4. Kapasitas Lentur Balok	8
2.5. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Lebih, dan Kurang	10
2.5.1. Penampang Balok Bertulangan Seimbang ( <i>Balanced</i> )	10
2.5.2. Penampang Balok Bertulangan Lebih ( <i>Overreinforced</i> )	11
2.5.3. Penampang Balok Bertulangan Kurang ( <i>Underreinforced</i> )	12
2.6. Kuat Lentur Balok Persegi	13
2.7. Distribusi Tegangan Persegi Whitney	15
2.8. Penampang Tulangan Rangkap	16
2.9. Analisis Kuat Lentur Penampang Bertulangan Rangkap	17
2.10. Penyaluran Tulangan	20
2.11. Hipotesis Penelitian	21

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3. Analisa Bahan yang digunakan	23
3.3.1. Semen	23
3.3.2. Air	23
3.3.3. Pasir dan Kerikil	23
3.3.4. Baja Tulangan	23
3.4. Rancangan Penelitian	23
3.5. Rancangan Balok Uji	24
3.6. Cara Penelitian dan Pengujian	25
3.7. Metode Pengumpulan Data	26
3.8. Variabel Penelitian	26
3.9. Analisis Data	26
3.9.1. Analisis Varian Satu Arah	26
3.9.2. Analisis Regresi	29
3.10. Diagram Alir Penelitian	30

**BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1. Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang	31
4.1.1. Agregat Halus (pasir)	31
4.1.2. Agregat Kasar (batu pecah)	31
4.1.3. Baja tulangan	32
4.1.4. Pengujian Beton Segar	33
4.1.5. Pengujian Beton Keras	34
4.2. Pengujian Kuat Lentur Balok Uji	35
4.2.1. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji	36
4.2.2. Kapasitas Lentur Balok Uji	39
4.3. Pembahasan	43
4.3.1. Pengujian Hipotesis	43
4.3.2. Pembahasan Penelitian	44
4.3.3. Pembahasan Kapasitas Lentur Balok	45

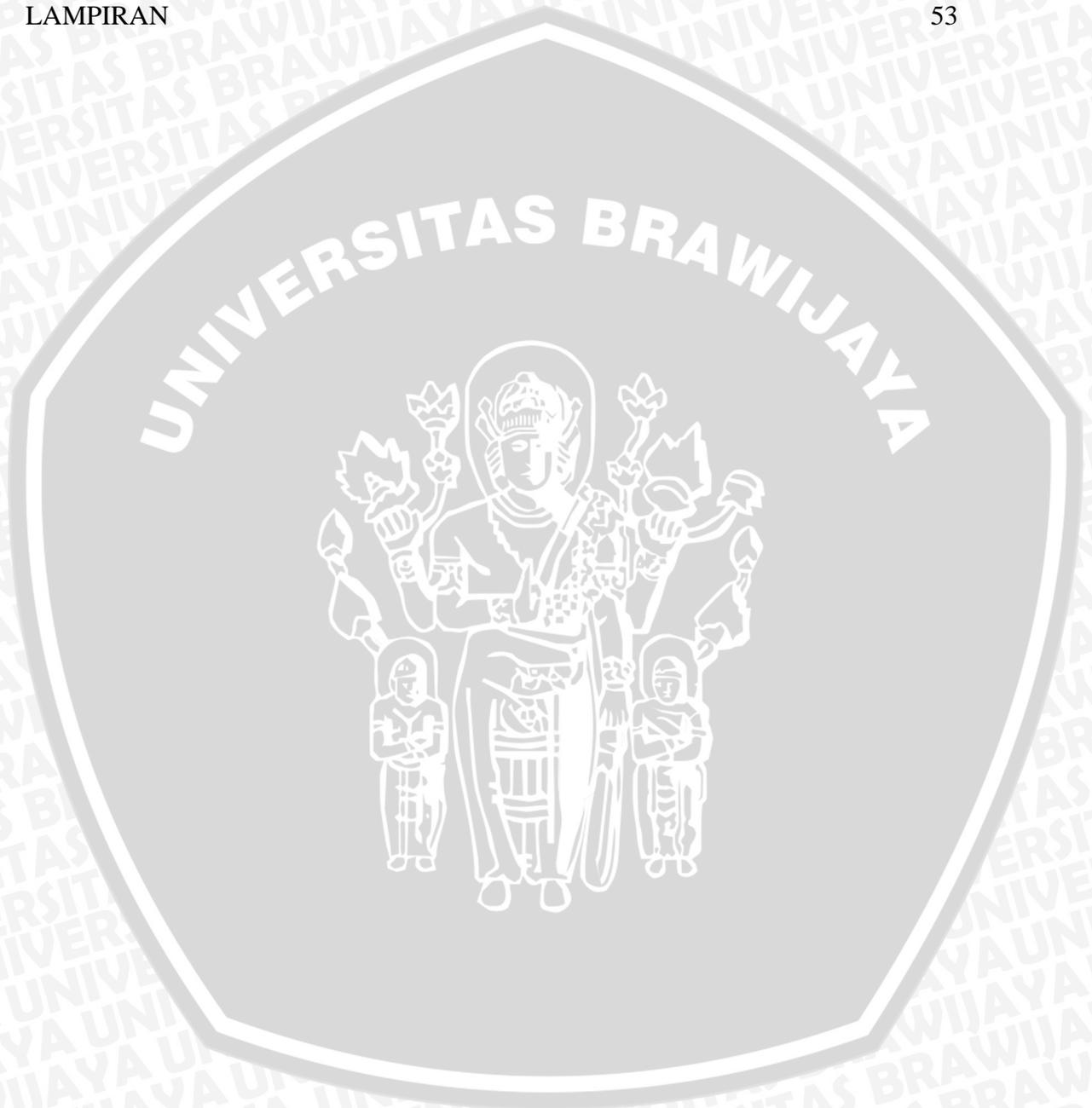
BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan 50

5.2. Saran 51

DAFTAR PUSTAKA 52

LAMPIRAN 53



## DAFTAR TABEL

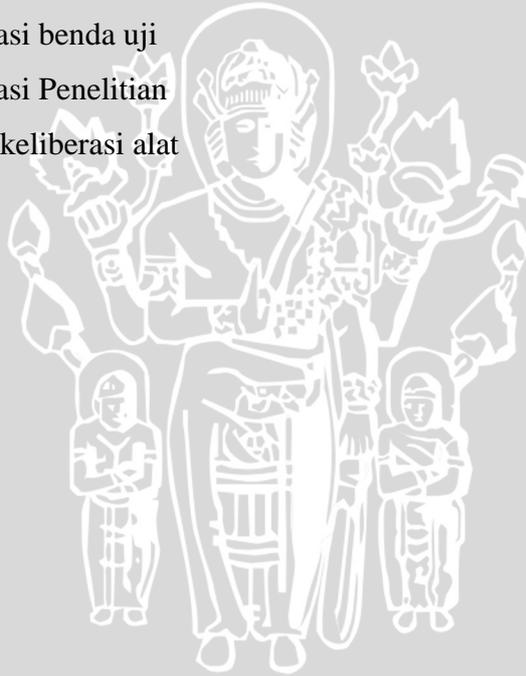
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Harga Modulus Elastisitas untuk mutu beton berbeda	6
Tabel 2.2.	Sifat Mekanis baja struktural	8
Tabel 3.1.	Karakteristik Benda Uji	23
Tabel 3.2.	Variasi Prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan	24
Tabel 3.3.	Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah	28
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	31
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	32
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Baja Tulangan	32
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	33
Tabel 4.5.	Hasil Uji Tekan Beton Silinder	34
Tabel 4.6.	Variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan pada balok dari perhitungan dan aktual	35
Tabel 4.7.	Perbandingan $M_n$ dan $P_n$ Perhitungan dengan $P_n$ uji	36
Tabel 4.8.	Kapasitas dukung beban maksimum balok dengan $f_c'$ rata-rata sebesar 33,631 MPa	38
Tabel 4.9.	Perbandingan $M_n$ Perhitungan dan $M_n$ Uji	40
Tabel 4.10.	Analisi Statistik <i>Anova</i> Satu Arah	43
Tabel 4.11.	Prosentase peningkatan atau penurunan $M_n$ uji	45
Tabel 4.12.	Perbandingan Prosentase Tulangan dengan $M_n$	47
Tabel 4.13.	Prosentase Peningkatan atau Penurunan $M_n$ terhadap 33 %	47
Tabel 4.14.	Prosentase Peningkatan $M_n$ terhadap 0 %	49

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Diagram Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja	7
Gambar 2.2.	Diagram Lintang dan Momen Balok	10
Gambar 2.3.	Penampang Balok dengan Penulangan Seimbang	11
Gambar 2.4.	Penampang Balok dengan Penulangan Lebih	12
Gambar 2.5.	Penampang Balok dengan Penulangan Kurang	13
Gambar 2.6.	Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Balok	14
Gambar 2.7.	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney	15
Gambar 2.8.	Analisis Balok Bertulang Rangkap	18
Gambar 2.9.	Bidang momen dasar untuk beban terbagi rata	20
Gambar 3.1.	Balok Uji	24
Gambar 3.2.	Skema Pembebanan	25
Gambar 3.3.	Diagram Pengerjaan Penelitian	30
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn perhitungan	37
Gambar 4.2.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji	37
Gambar 4.3.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan dengan $f_c'$ rata-rata = 33,616 MPa	38
Gambar 4.4.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan dengan $f_c'$ rata-rata = 33,616 MPa	39
Gambar 4.5.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan	40
Gambar 4.6.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 3)	41
Gambar 4.7.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 4)	41
Gambar 4.8.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 6)	42
Gambar 4.9.	Perbandingan prosentase tulangan dengan Kapasitas Lentur	48

**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 beban dan lebar retak 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



## ABSTRAKSI

DENI ANDHIKA, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2007, *Pengaruh variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok*. Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Arifi Soenaryo

---

---

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.

Kapasitas lentur pada balok beton bertulang lebih banyak dipengaruhi oleh kekuatan beton dan kekuatan tulangan yang digunakan. Tetapi ada kalanya dengan penambahan tulangan yang semakin banyak tidak lagi memberikan peningkatan terhadap nilai kapasitas lentur balok beton bertulang.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai kapasitas lentur 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 kapasitas lentur pada balok beton bertulang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan sebagai tulangan tekan akan meningkatkan nilai kapasitas lentur dari suatu balok. Dan juga didapatkan bahwa nilai kapasitas lentur yang paling maksimum terjadi pada variasi prosentase sebesar 33%, dimana nilainya tidak berbeda jauh dengan variasi prosentase 55%. Sedangkan grafik hubungan antara variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan dan kapasitas lentur balok beton bertulang menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan peningkatan nilai kapasitas lentur seiring dengan penambahan variasi prosentase tulangan yang digunakan.

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap Kapasitas Lentur 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. Bpk Ir. Arifi Soenaryo, selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Dr, Ir Agoes Soehardjono, MT., selaku dosen penguji.
6. Orangtua dan keluarga, terimakasih atas segala dukungan dan doanya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan – rekan dan sahabat angkatan 2002 yang tercinta, terima kasih atas segala dorongan, semangat, dan bantuan yang tulus selama ini.

Penyusun 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, April 2007

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1. Balok	4
2.2. Beton Bertulang	4
2.3. Karakteristik Beton dan Baja Tulangan	5
2.2.1. Karakteristik Beton	5
2.2.2. Karakteristik dan Sifat Baja Tulangan	7
2.4. Kapasitas Lentur Balok	8
2.5. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Lebih, dan Kurang	10
2.5.1. Penampang Balok Bertulangan Seimbang ( <i>Balanced</i> )	10
2.5.2. Penampang Balok Bertulangan Lebih ( <i>Overreinforced</i> )	11
2.5.3. Penampang Balok Bertulangan Kurang ( <i>Underreinforced</i> )	12
2.6. Kuat Lentur Balok Persegi	13
2.7. Distribusi Tegangan Persegi Whitney	15
2.8. Penampang Tulangan Rangkap	16
2.9. Analisis Kuat Lentur Penampang Bertulangan Rangkap	17
2.10. Penyaluran Tulangan	20
2.11. Hipotesis Penelitian	21

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3. Analisa Bahan yang digunakan	23
3.3.1. Semen	23
3.3.2. Air	23
3.3.3. Pasir dan Kerikil	23
3.3.4. Baja Tulangan	23
3.4. Rancangan Penelitian	23
3.5. Rancangan Balok Uji	24
3.6. Cara Penelitian dan Pengujian	25
3.7. Metode Pengumpulan Data	26
3.8. Variabel Penelitian	26
3.9. Analisis Data	26
3.9.1. Analisis Varian Satu Arah	26
3.9.2. Analisis Regresi	29
3.10. Diagram Alir Penelitian	30

**BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1. Sifat-Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang	31
4.1.1. Agregat Halus (pasir)	31
4.1.2. Agregat Kasar (batu pecah)	31
4.1.3. Baja tulangan	32
4.1.4. Pengujian Beton Segar	33
4.1.5. Pengujian Beton Keras	34
4.2. Pengujian Kuat Lentur Balok Uji	35
4.2.1. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji	36
4.2.2. Kapasitas Lentur Balok Uji	39
4.3. Pembahasan	43
4.3.1. Pengujian Hipotesis	43
4.3.2. Pembahasan Penelitian	44
4.3.3. Pembahasan Kapasitas Lentur Balok	45

BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan 50

5.2. Saran 51

DAFTAR PUSTAKA 52

LAMPIRAN 53



## DAFTAR TABEL

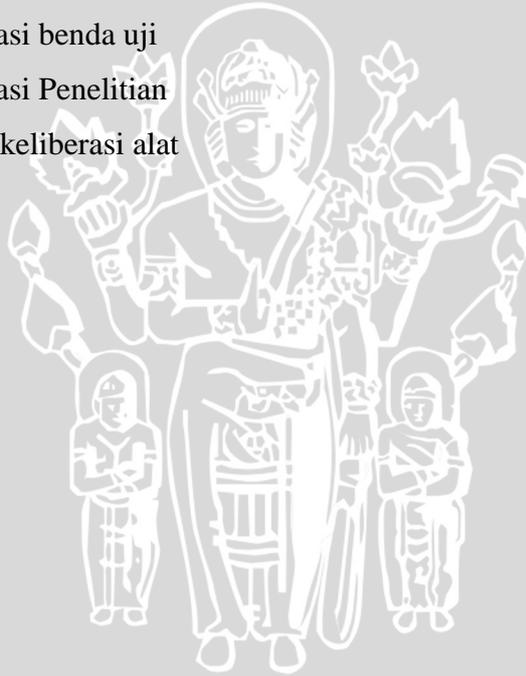
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Harga Modulus Elastisitas untuk mutu beton berbeda	6
Tabel 2.2.	Sifat Mekanis baja struktural	8
Tabel 3.1.	Karakteristik Benda Uji	23
Tabel 3.2.	Variasi Prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan	24
Tabel 3.3.	Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah	28
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	31
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	32
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Baja Tulangan	32
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	33
Tabel 4.5.	Hasil Uji Tekan Beton Silinder	34
Tabel 4.6.	Variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan pada balok dari perhitungan dan aktual	35
Tabel 4.7.	Perbandingan $M_n$ dan $P_n$ Perhitungan dengan $P_n$ uji	36
Tabel 4.8.	Kapasitas dukung beban maksimum balok dengan $f_c'$ rata-rata sebesar 33,631 MPa	38
Tabel 4.9.	Perbandingan $M_n$ Perhitungan dan $M_n$ Uji	40
Tabel 4.10.	Analisi Statistik <i>Anova</i> Satu Arah	43
Tabel 4.11.	Prosentase peningkatan atau penurunan $M_n$ uji	45
Tabel 4.12.	Perbandingan Prosentase Tulangan dengan $M_n$	47
Tabel 4.13.	Prosentase Peningkatan atau Penurunan $M_n$ terhadap 33 %	47
Tabel 4.14.	Prosentase Peningkatan $M_n$ terhadap 0 %	49

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Diagram Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja	7
Gambar 2.2.	Diagram Lintang dan Momen Balok	10
Gambar 2.3.	Penampang Balok dengan Penulangan Seimbang	11
Gambar 2.4.	Penampang Balok dengan Penulangan Lebih	12
Gambar 2.5.	Penampang Balok dengan Penulangan Kurang	13
Gambar 2.6.	Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Balok	14
Gambar 2.7.	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney	15
Gambar 2.8.	Analisis Balok Bertulang Rangkap	18
Gambar 2.9.	Bidang momen dasar untuk beban terbagi rata	20
Gambar 3.1.	Balok Uji	24
Gambar 3.2.	Skema Pembebanan	25
Gambar 3.3.	Diagram Pengerjaan Penelitian	30
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn perhitungan	37
Gambar 4.2.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji	37
Gambar 4.3.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan dengan $f_c'$ rata-rata = 33,616 MPa	38
Gambar 4.4.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan dengan $f_c'$ rata-rata = 33,616 MPa	39
Gambar 4.5.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan	40
Gambar 4.6.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 3)	41
Gambar 4.7.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 4)	41
Gambar 4.8.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 6)	42
Gambar 4.9.	Perbandingan prosentase tulangan dengan Kapasitas Lentur	48

**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 beban dan lebar retak 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



## ABSTRAKSI

DENI ANDHIKA, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2007, *Pengaruh variasi luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan terhadap kapasitas lentur balok*. Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Arifi Soenaryo

---

---

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.

Kapasitas lentur pada balok beton bertulang lebih banyak dipengaruhi oleh kekuatan beton dan kekuatan tulangan yang digunakan. Tetapi ada kalanya dengan penambahan tulangan yang semakin banyak tidak lagi memberikan peningkatan terhadap nilai kapasitas lentur balok beton bertulang.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai kapasitas lentur 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 kapasitas lentur pada balok beton bertulang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan sebagai tulangan tekan akan meningkatkan nilai kapasitas lentur dari suatu balok. Dan juga didapatkan bahwa nilai kapasitas lentur yang paling maksimum terjadi pada variasi prosentase sebesar 33%, dimana nilainya tidak berbeda jauh dengan variasi prosentase 55%. Sedangkan grafik hubungan antara variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan dan kapasitas lentur balok beton bertulang menunjukkan bahwa terjadi penurunan dan peningkatan nilai kapasitas lentur seiring dengan penambahan variasi prosentase tulangan yang digunakan.