

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN TERHADAP
BATAS RUNTUH BALOK BETON BERTULANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

M. ANDY SAIFUL RAHMAN
NIM. 0110610066 - 61

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

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN TERHADAP
BATAS RUNTUH BALOK BETON BERTULANG**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

M. ANDY SAIFUL RAHMAN
NIM. 0110610066 - 61

Mengetahui dan menyetujui
Dosen Pembimbing

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

Ir. Ristinah Svamsuddin, MT
NIP. 130 531 843

**PENGARUH VARIASI PROSENTASE LUAS TULANGAN
LAPANGAN YANG DITERUSKAN KE TUMPUAN TERHADAP
BATAS RUNTUH BALOK BETON BERTULANG**

Disusun Oleh :

**M. ANDY SAIFUL RAHMAN
NIM. 0110610066 - 61**

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 23 Juli 2007**

Dosen Penguji

Ir. Edhi Wahyuni S, MT

NIP. 131 574 844

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

Ir. Ristinah Syamsuddin, MT
NIP. 130 531 843

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil**

Ir. As'ad Munawir, MT

NIP. 131 574 850





KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulisan skripsi dengan judul "Pengaruh Variasi Luas Tulangan Lapangan Yang Masuk Ke Tumpuan Terhadap Batas Runtuh Balok Beton Bertulang" 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. Almarhum bapakku tercinta H.M Chozin Djamil dan ibuku Hj Maria Ulfa yang selalu setia memberi dorongan material dan spiritual,serta ketulusan doanya.
2. Bpk. Ir. As'ad Munawir, MT selaku Ketua Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bpk. Hendi Bowoputro,ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
4. Bpk. Ir.M. Taufik Hidayat, MT selaku dosen pembimbing pertama yang sangat sabar dalam membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ibu. Ir. Ristinah Syamsuddin,MT, selaku dosen pembimbing kedua yang tulus membantu dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ibu. Ir. Edhi Wahyuni S, MT, selaku ketua majelis penguji
7. Kakak – kakakku serta rekan – rekan angkatan 2001 yang tercinta, terima kasih atas segala dorongan, semangat, dan bantuan yang tulus selama ini.

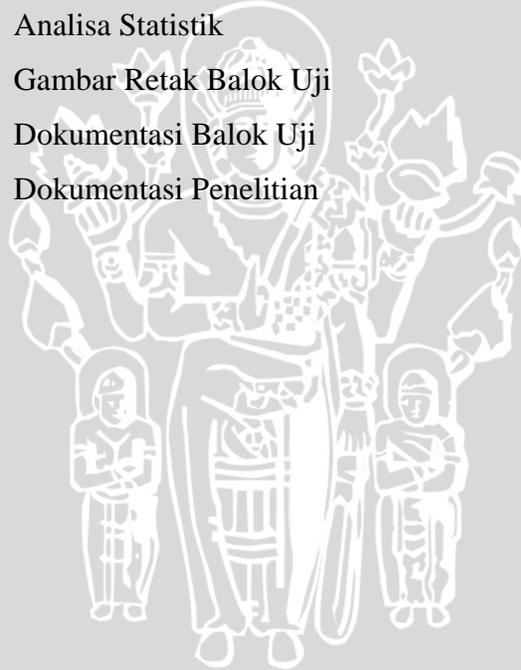
Penyusun menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu, kritik dan saran yang bermanfaat dari pembaca sangat kami harapkan demi kesempurnaannya

Malang, Juli 2007

Penulis

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Hasil Pengujian Agregat
Lampiran 2	Hasil Analisa Mix Design
Lampiran 3	Hasil Analisa Uji Tarik Baja
Lampiran 4	Data Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder
Lampiran 5	Analisa Perhitungan Balok Beton Bertulang Rangkap
Lampiran 6	Gambar Tulangan Balok Uji
Lampiran 7	Data Hasil Pengujian Balok
Lampiran 8	Analisa Statistik
Lampiran 9	Gambar Retak Balok Uji
Lampiran 10	Dokumentasi Balok Uji
Lampiran 11	Dokumentasi Penelitian



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney	5
Gambar 2.2.	Perilaku Lentur Pada Beban Kecil	8
Gambar 2.3.	Perilaku Lentur Pada Beban Sedang	9
Gambar 2.4.	Perilaku Lentur Dekat Beban Ultimate	10
Gambar 2.5.	Keruntuhan Tarik Diagonal	12
Gambar 2.6.	Jenis Keruntuhan Geser Pada Balok Pendek	13
Gambar 2.7.	Balok Menahan Beban Ultimate	15
Gambar 2.8.	Analisa Balok Bertulang Rangkap	17
Gambar 3.3.	Skema Penelitian di laboratorium	26
Gambar 4.1.	Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Runtuh Teoritis	37
Gambar 4.2.	Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Runtuh Teoritis	37
Gambar 4.3.	Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Runtuh Teoritis dengan $f'c$ rata – rata 334,0733 MPa	38
Gambar 4.4.	Grafik Polynomial Orde 3 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Runtuh Aktual	39
Gambar 4.5.	Grafik Polynomial Orde 6 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Beban Runtuh Aktual	39

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Lebar Retak Yang Diiijinkan	11
Tabel 2.2.	Pengaruh Kelangsingan Balok Terhadap Ragam Keruntuhan	11
Tabel 3.1.	Karakteristik Benda Uji	21
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	31
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	31
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Slump	32
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	33
Tabel 4.5.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	34
Tabel 4.6.	Jumlah Variasi Prosentase Luas Tulangan Lapangan Yang Diteruskan Ke Tumpuan Pada Balok Teoritis dan Aktual	35
Tabel 4.7.	Perbandingan Pn Teoritis dan Pn Uji	36
Tabel 4.8.	Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Dengan f_c' Rata-Rata Sebesar 334,0773 Mpa	38
Tabel 4.9.	Prosentase Penurunan Pn Uji	41
Tabel 4.10.	Anova Satu Arah	42

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Pembatasan Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Balok Terlentur	5
2.3. Analisa Kekuatan Batas	7
2.4. Lebar Retak Ijin	10
2.5. Penggolongan Keruntuhan Balok Tanpa Tulangan Diagonal	11
2.5.1 Keruntuhan Lentur	12
2.5.2 Keruntuhan Tarik Diagonal	12
2.5.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik	13
2.6. Keseimbangan Gaya – Gaya Dalam	14
2.7. Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok	15
2.8. Hipotesis Penelitian	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3.	Analisa Bahan yang Digunakan	
3.3.1.	Air	20
3.3.2.	Semen	21
3.3.3.	Pasir	21
3.3.4.	Baja Tulangan	21
3.3.5.	Agregat Kasar	21
3.3.6.	Jumlah Benda Uji	21
3.4.	Diagram Pengerjaan Penelitian	22
3.5.	Pengujian Bahan Dasar	23
3.5.1.	Agregat Halus	23
3.5.2.	Agregat Kasar	23
3.5.3.	Baja Tulangan	24
3.5.4.	Beton	25
3.6.	Pengujian Balok	26
3.7.	Variabel Penelitian	27
3.8.	Analisis Batas Runtuh	28
3.9.	Analisis Data	28

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.	Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar	31
4.1.1.	Agregat Halus	31
4.1.2.	Agregat Kasar	31
4.1.3.	Campuran Beton	32
4.1.4.	Pengujian Beton Segar/Slump	32
4.2.	Pengujian Kuat Tekan Beton	33



4.3.	Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Baja Tulangan	34
4.4.	Pengujian Kuat Lentur Balok	35
4.5.	Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji	35
4.6.	Pembahasan	40
	4.6.1. Pembahasan Penelitian	40
	4.6.2. Pembahasan kapasitas dukung beban maksimum balok	40
4.7	Pengujian Hipotesis	42
BAB V. PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan	43
5.2.	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		



ABSTRAKSI

MOCHAMMAD ANDY SAIFUL RAHMAN, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, *Pengaruh variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap batas runtuh balok beton bertulang*. Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Ristinah S. MT.

Pada pekerjaan struktur beton bertulang, terkadang dijumpai tulangan lapangan yang diteruskan masuk ke tumpuan. Dalam SK SNI 03-2847-2002 pasal 14.12 ayat (3) disebutkan bahwa pada tulangan momen negatif "Paling sedikit sepertiga 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, $12d_b$, atau $1/16$ dari bentang bersih", atau dengan kata lain bahwa pada tulangan lapangan harus diteruskan ke tumpuan sebesar sepertiga atau 30% dari luas tulangan total di lapangan.

Hal di atas dimaksudkan untuk mengatasi hal – hal yang terjadi pada *teori Kani* diantaranya Interlock Agregat (antara agregat saling mengunci), Aksi Pasak (tulangan beton dianggap sebagai pasak yang terjadi saling aksi dan reaksi dengan beton), menghindari runtuh geser pada tumpuan yang memang dominan akan geser. Di samping itu mengatasi terjadinya momen tak terduga pada tumpuan yang seharusnya tidak terjadi momen ($M = 0$).

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan yang dapat diterima balok saat mencapai batas runtuh pada balok bertulang rangkap akibat dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan menuju tumpuan dan untuk mengetahui peningkatan kekuatan balok dan memberikan gambaran tentang perilaku balok saat balok mencapai keadaan batas runtuh akibat penambahan tulangan dengan variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan menuju tumpuan.

Penelitian dilakukan menggunakan balok uji berukuran $20 \times 25 \times 140$ cm dengan tumpuan sendi-roll dan dengan memberikan dua beban terpusat vertikal yang sama besar pada balok uji. Luas tulangan tumpuan yang masuk ke lapangan divariasikan sebesar 15.3%, 22%, 30.4%, 41.8% dan 50%. Tiap variasi di buat 3 buah sehingga total benda uji sebanyak 15 buah. Balok uji direncanakan mengalami keruntuhan lentur.

Kapasitas dukung maksimum yang besar terjadi pada balok dengan prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan sebesar 30,4%.

Jenis keruntuhan yang terjadi pada seluruh balok uji adalah keruntuhan geser. Hal ini karena faktor panjang bentang balok yang juga berperan terhadap penentuan jenis keruntuhan diabaikan, sehingga keruntuhan lentur yang diharapkan tidak terjadi.

Berdasar analisa statistik di atas, diperoleh nilai Sig. sebesar 0,001. Hal ini berarti probabilitas terdapat di bawah 0,05 ($0,001 < 0,05$), yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Atau apabila berdasarkan nilai $F^{0,05}$, diperoleh $F_{hitung}^{0,05} = 11,022$, $F_{tabel} = 3,48$ sehingga karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan ada pengaruh antara variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap batas runtuh balok.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton adalah bahan-bahan yang sangat luas digunakan untuk sistem-sistem konstruksi, seperti gedung-gedung bertingkat tinggi, jembatan dan pondasi. Hal ini dikarenakan sifatnya yang kuat dan tahan lama, sehingga menyebabkan pemakaian beton sebagai salah satu material konstruksi yaitu dari segi mutu beton itu sendiri dituntut peningkatannya.

Pada perencanaannya komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampang sewaktu mendukung beban kerja, dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh. Timbulnya tegangan-tegangan lentur akibat terjadinya momen karena beban luar, dan tegangan tersebut merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur. Proses perencanaan dan analisis umumnya dimulai dengan memenuhi persyaratan terhadap lentur, kemudian baru dari segi – segi lainnya, seperti kapasitas geser, defleksi, retak dan panjang penyaluran, dianalisis sehingga keseluruhannya memenuhi syarat.

Untuk menjamin tercapainya lekatan kuat adalah dengan memperhitungkan efek penambatan atau penjangkaran ujung-ujung batang tulang baja dalam beton. Apabila penambatan ujung-ujung batang tulangan tersebut dijamin berfungsi dan berlangsung dengan baik, maka lekatan antara beton dan baja pada keseluruhan akan tetap kokoh pula, dan dengan demikian kapasitas daya dukung balok tidak akan terganggu.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan nilai kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya (*Istimawan Dipohusodo*). Pada penggunaan sebagai komponen struktur bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya pada bagian yang menahan gaya tarik. Dengan demikian tersusun pembagian tugas, dimana batang tulangan baja bertugas menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya memperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Komponen struktur beton dengan kerjasama itu disebut sebagai beton bertulang.

Penambatan ujung batang tulangan baja akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tersebut tertanam kokoh di dalam beton pada jarak kedalaman tertentu. "Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit 150 mm" (SK SNI 03-2847-2002 pasal 14.11 ayat 1) atau dengan kata lain bahwa pada tulangan lapangan harus diteruskan ke tumpuan sebesar sepertiga atau 30% dari luas tulangan total di lapangan. Bila suatu beton tersebut tidak mampu lagi menerima gaya tarik maka akan terjadi retak-retak yang makin lama makin dalam, sampai pada suatu ketika elemen beton tersebut akan pecah atau runtuh (*collapse*).

Hal di atas dimaksudkan untuk mengatasi hal – hal yang terjadi pada *teori Kani* diantaranya Interlock Agregat (antara agregat saling mengunci), Aksi Pasak (tulangan beton dianggap sebagai pasak yang terjadi saling aksi dan reaksi dengan beton), menghindari runtuh geser pada tumpuan yang memang dominan akan geser. Di samping itu mengatasi terjadinya momen tak terduga pada tumpuan yang seharusnya tidak terjadi momen ($M = 0$).

Perhitungan perencanaan dan analisis bertujuan untuk meyakinkan bahwa konstruksi cukup kuat untuk melaksanakan fungsinya. Dengan demikian perhitungan ini merupakan suatu 'analisa kekuatan'. Dalam hubungannya dengan perencanaan konstruksi beton, perhitungan ini dilakukan pada keadaan dimana gaya-gaya dalam yang timbul didalam balok hampir tidak bisa mengimbangi gaya-gaya luar yang bekerja padanya. Disini konstruksi berada pada ambang runtuh, yaitu konstruksi berada pada 'keadaan bebas runtuh'.

Dari uraian di atas, peneliti ingin mengetahui pengaruh penambahan tulangan dengan prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan saat konstruksi berada pada keadaan batas runtuh, baik dilihat dari kapasitas dukung beban ,lebar retak dan jenis keruntuhannya.

1.2. Pembatasan Masalah

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

1. Balok tulangan diberi beban sampai runtuh.
2. Tidak memperhitungkan berat sendiri balok

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

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut: “Bagaimanakah pengaruh variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap batas runtuh balok ?”

1.4. Tujuan Penelitian

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan yang dapat diterima balok saat mencapai batas runtuh pada balok bertulang rangkap akibat dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan menuju tumpuan.

1.5. Kegunaan Penelitian

Manfaat yang kiranya dapat diambil dari skripsi ini yaitu untuk mengetahui peningkatan kekuatan balok dan memberikan gambaran tentang perilaku balok saat balok mencapai keadaan batas runtuh akibat penambahan tulangan dengan variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan menuju tumpuan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Bilamana dua jenis bahan yang berbeda seperti baja dan beton bekerja sama, dapat dimengerti bahwa analisa kekuatan dan suatu unsur beton bertulang secara sebagian harus bersifat empiris, sekalipun kebanyakan rasional. Prinsip-prinsip dan metode-metode semi rasional ini secara terus-menerus diubah dan disempurnakan dengan meningkatnya hasil-hasil penelitian teoritis dan eksperimen.

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

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

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

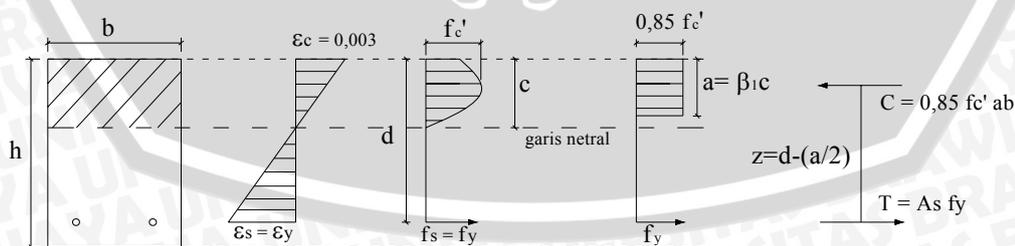
2.2 Balok Terlentur

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

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

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

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



Gambar 2.1 Blok Tegangan Ekuivalen Whitney

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan

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

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

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

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

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

dimana:

c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = Konstanta yang merupakan fungsi dan kelas kuat tekan beton.

Standart SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β_1 diambil 0.85 untuk $f_c' < 30$ MPa, Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 30 MPa, tetapi tidak boleh kurang dari 0,65.

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

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

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

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

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

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

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

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

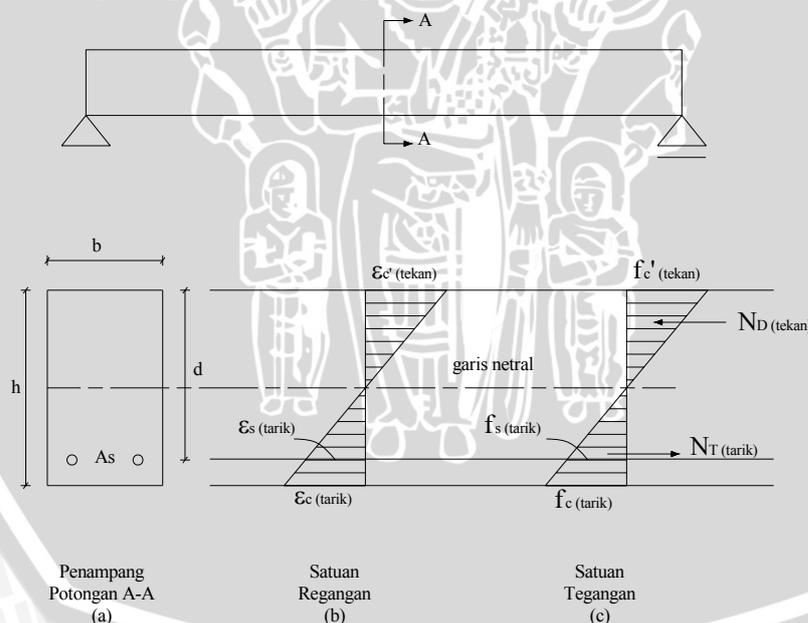
2.3 Analisa Kekuatan Batas

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

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

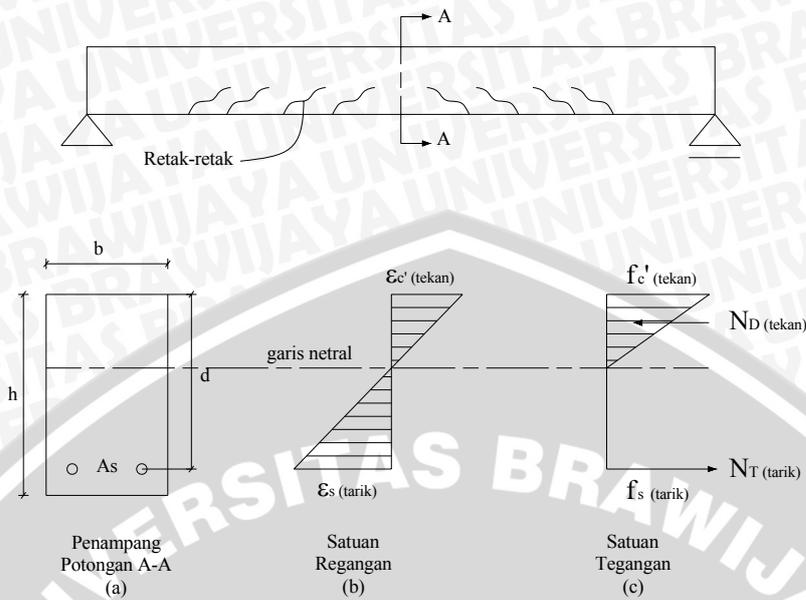
Pada beban kecil, dengan menganggap belum terjadi retak beton, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton saja. Distribusi tegangan akan tampak pada Gambar 2.2 dimana distribusi tegangannya linier, bernilai nol pada garis netral dan sebanding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

Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut seperti tampak pada Gambar 2.3, karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak, karena terputus-putus, baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada atau dekat bagian yang retak tampak seperti pada Gambar 2.3, dan hal yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan $\frac{1}{2} f_c'$. Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya.



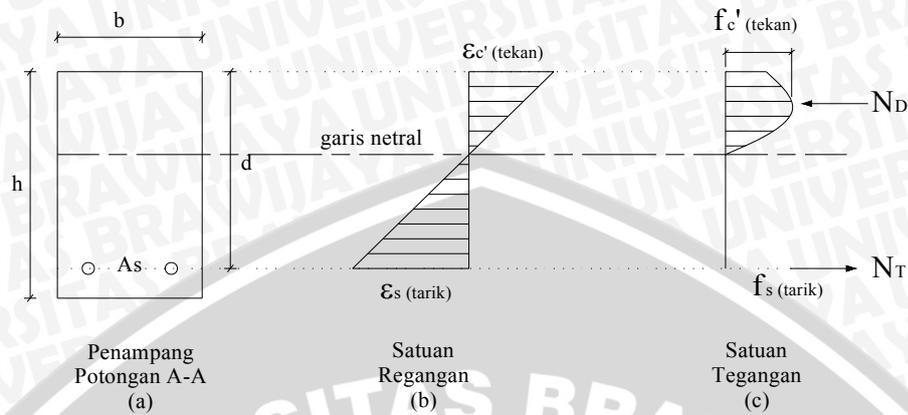
Gambar 2.2 Perilaku Lentur Pada Beban Kecil

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan



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

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



Gambar 2.4 Perilaku Lentur Dekat Beban Ultimate

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan

2.4. Lebar Retak Ijin

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

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

Tabel 2.1 Lebar Retak Yang Diizinkan

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

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

2.5 Penggolongan Keruntuhan Balok Tanpa Tulangan Diagonal

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

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

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

Tabel 2.2 Pengaruh Kelangsingan Balok Terhadap Ragam Keruntuhan

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

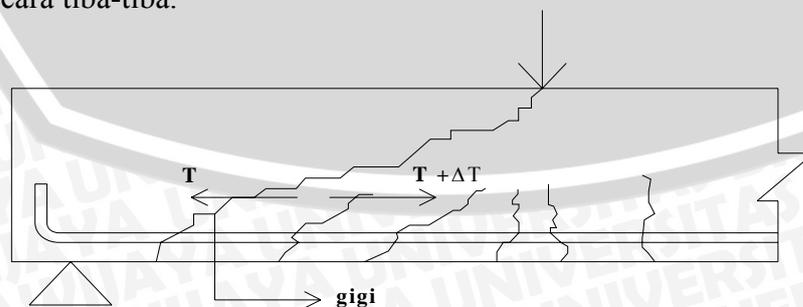
Sumber : Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Nawy, E.G

2.5.1 Keruntuhan Lentur

Keruntuhan ini biasanya terjadi pada balok dengan harga $a/d > 6$ untuk beban terpusat dan $L/d > 16$ untuk beban merata. Pada keruntuhan jenis ini, terjadi retak dengan arah vertikal di daerah tengah bentang dengan panjang retak diperkirakan $1/3$ bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk ditengah bentang pada tingkat beban kira-kira 50% dari beban keruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban luar, retak mulai menyebar di daerah tengah bentang dan retak awal mulai melebar dan merambat ke garis netral serta ditandai dengan meningkatnya lendutan. Bila penulangan balok under reinforced, keruntuhan secara daktail dengan diawali lelehnya tulangan lentur. Keruntuhan ini akan menjadi peringatan yang cukup sebelum balok runtuh. Kekuatan balok sepenuhnya tergantung pada besarnya momen maksimum dan tidak berpengaruh pada gaya geser.

2.5.2 Keruntuhan Tarik Diagonal

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



Gambar 2.5 Keruntuhan Tarik Diagonal / Retak Gigi

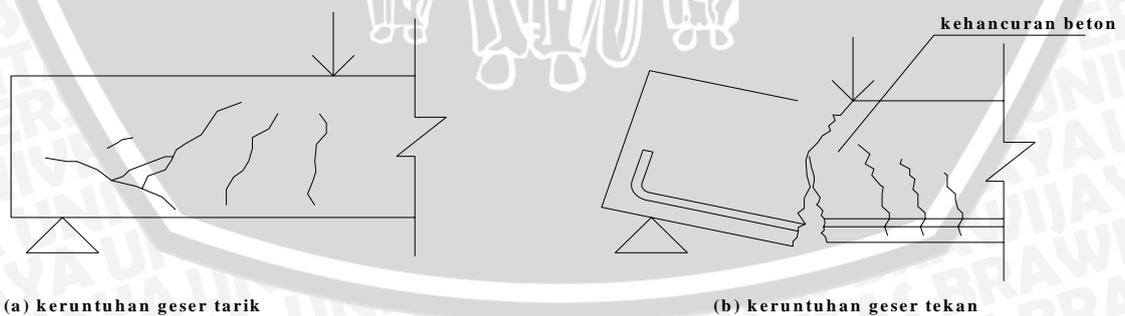
Sumber : Wang, C.K, 1994 : 129

Setelah terbentuk retak miring balok tidak sanggup lagi untuk mendistribusikan beban seperti pada keadaan a/d yang lebih kecil. Jadi pembentukan retak miring mencerminkan kekuatan geser balok, yang kemudian dinamakan keruntuhan tarik diagonal yang digunakan sebagai kategori umum dalam perencanaan balok.

2.5.3 Keruntuhan Geser Tekan dan Tarik

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

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

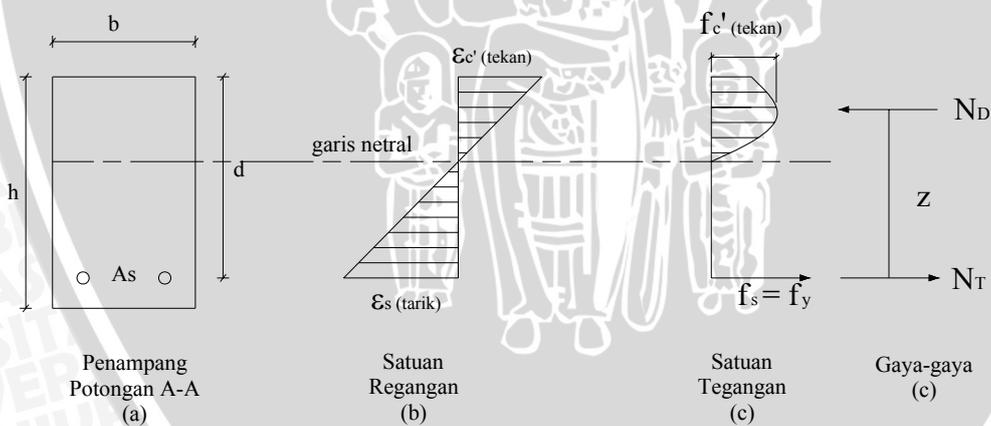


Gambar 2.6 Jenis Keruntuhan Geser Pada Balok Pendek

Sumber : Wang, C.K, 1994 : 128

2.6 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

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



Gambar 2.7 Balok Menahan Beban Ultimate

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan

Momen Tahanan Dalam tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian

rupa sehingga dapat menimbulkan *momen tahanan dalam* paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

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

2.7 Analisa Kebutuhan Tulangan Rangkap untuk Balok.

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

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

1. Pada saat perencanaan suatu balok, apabila suatu penampang dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya, sedangkan dilain pihak seringkali pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi balok, maka apabila terjadi kuat momen tahanan (M_R) lebih kecil daripada momen rencana (M_U), balok direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap.
2. Apabila pada saat perencanaan suatu balok didapat nilai rasio penulangan (ρ) penampang balok lebih besar dari pada batas nilai rasio penulangan *maksimum* (ρ_{maks}) maka jika hal demikian yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan penampang tulangan baja tarik lebih

dari batas nilai ρ maksimum bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Hasilnya adalah balok dengan penulangan rangkap dimana tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan dipasang didaerah tekan. Pada keadaan demikian berarti tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok.

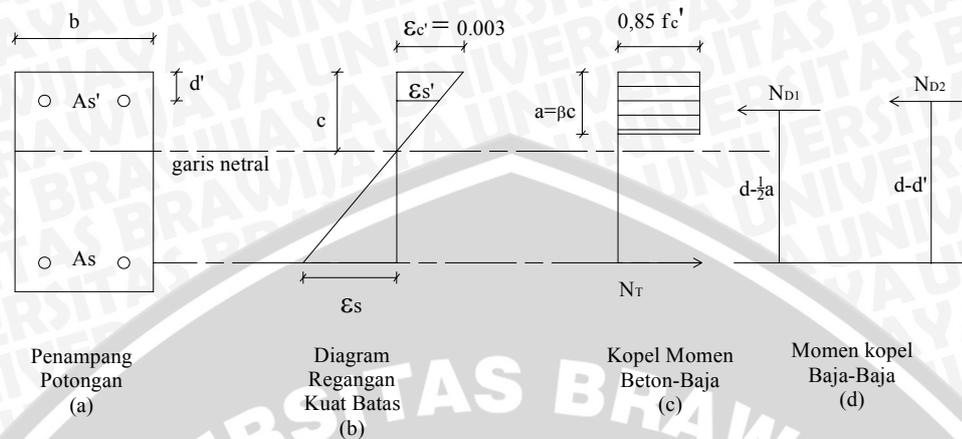
3. Apabila tulangan rangkap dibutuhkan untuk mengurangi lendutan.

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

Pada analisis tulangan rangkap, anggapan-anggapan dasar yang digunakan untuk menganalisanya 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 (ϵ_y). Apabila regangan tekan baja (ϵ_s') sama atau lebih besar dari regangan luluhnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan luluhnya (f_y), sedangkan bila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$
2. Apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan $\epsilon_s' < \epsilon_y$ (belum mencapai luluh).

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



Gambar 2.8 Analisa Balok Bertulang Rangkap

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan

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

$$f_s = f_s' = f_y \quad (2-10)$$

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

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \quad (2-11)$$

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

Nilai a didapatkan dari persamaan berikut :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

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

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya kurang dari pada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan lemah. Keadaan batas penampang demikian akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas $\varepsilon'_{cu} = 0,003$ dan regangan tarik baja tulangan ε_s yang melampaui regangan pada penulangan titik leleh ε_y . Penampang-penampang yang mengalami lentur harus direncanakan sedemikian rupa hingga tulangannya berupa tulangan lemah karena keadaan ini menjamin kemampuan rotasi yang besar pada penampang-penampang kritis, dimana keruntuhan balok diawali oleh peringatan berupa lendutan yang semakin besar.

2.8 Pengaruh Nilai Slump terhadap Balok

Pada hukum perbandingan air semen dari Abrams diterangkan : “Pada bahan – bahan beton dan keadaan pengujian tertentu, jumlah air campuran yang dipakai menentukan kekuatan beton, selama campuran cukup plastis dan dapat dikerjakan”, hukum tersebut mempunyai arti bahwa beton yang dipadatkan sempurna dengan agregat yang baik dan pada kadar semen tertentu, kekuatannya tergantung pada faktor air semen. Sedangkan faktor air semen mempunyai hubungan sangat erat dan berbanding lurus dengan nilai slump.

Pengujian slump menghasilkan cara yang praktis dan sederhana untuk mempertahankan uniformitas yang dapat diterima terhadap konsistensi beton yang dihasilkan di lapangan.

Dalam usaha memelihara faktor air/ semen yang tetap pengujian slump berguna untuk dua segi :

1. Menunjukkan variasi faktor air/semen pada gradasi agregat ; proporsi ; dan temperatur bahan yang cukup seragam.
2. Bilamana jumlah air yang ditambahkan ke dalam alat pencampur adalah tetap, dan kadar air agregat cukup seragam, maka slump yang diperoleh merupakan perubahan gradasi agregat atau kesalahan dalam menakar bahan.

Masing – masing struktur mempunyai rentang slump yang berbeda. Nilai slump (dari tabel) ditetapkan antara 60-180 mm, untuk pekerjaan balok beton digunakan nilai slump pada rentang 75-150 mm (*Konstruksi Beton Bertulang , Triono Budi A. Hal.41*):

Pemakaian Beton	Max	Min
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5 9	5 2,5
Pondasi telapak tidak bertulang kaison, dan struktur bawah tanah	15	7,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	7,5	5
Pengerasan jalan	7,5	2,5
Pembetonan masal		

Nilai Slump merupakan indikator dari suatu mutu beton, semakin tinggi nilai slump maka berpengaruh terhadap mutu beton yang semakin jelek, namun dalam segi workabilitynya (pengerjaannya) bagus. Sedangkan semakin rendah nilai slump maka mutu beton bagus, namun dari segi workability kurang dan riskan terjadinya *bleeding* (terdapat rongga yang kosong /tidak terisi agregat) dan *segregasi* (tidak meratanya agregat).

Selain itu nilai slump harus diawasi dan dikendalikan dengan cara memeriksanya pada setiap adukan beton baru. Pada beton nilai slump digunakan sebagai petunjuk ketepatan dalam jumlah pemakaian air dalam hubungannya dengan faktor air semen yang ingin dicapai. Semakin tinggi faktor air semen yang dicapai maka semakin rendah mutu beton yang didapatkan, dan hal tersebut menyebabkan pengurangan terhadap kuat tekan beton begitu pula sebaliknya.

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah terdapat pengaruh positif dengan semakin bertambahnya variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap batas runtuh balok.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

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

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

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

a. Persiapan Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- ☆ Timbangan sentisimal kekuatan 150 kg
- ☆ Ayakan
- ☆ Proving ring (ring dial)
- ☆ Alat uji tekan
- ☆ Dial gauge
- ☆ Alat perata
- ☆ Dongkrak hidrolis
- ☆ Microslap Detector

b. Bahan yang diperlukan adalah :

- ☆ Semen Gresik type I
- ☆ Tulangan baja diameter 10 mm
- ☆ Agregat kasar (kerikil/ batu pecah) dengan ukuran butiran maksimum 1 cm
- ☆ Agregat halus (pasir cor) yang tersedia di pasaran
- ☆ Kayu bekisting
- ☆ Air bersih PDAM

3.3 Analisis Bahan Yang Digunakan

3.3.1 Air

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

3.3.2 Semen

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

3.3.3 Pasir

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

3.3.4 Baja tulangan

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

3.3.5 Agregat kasar

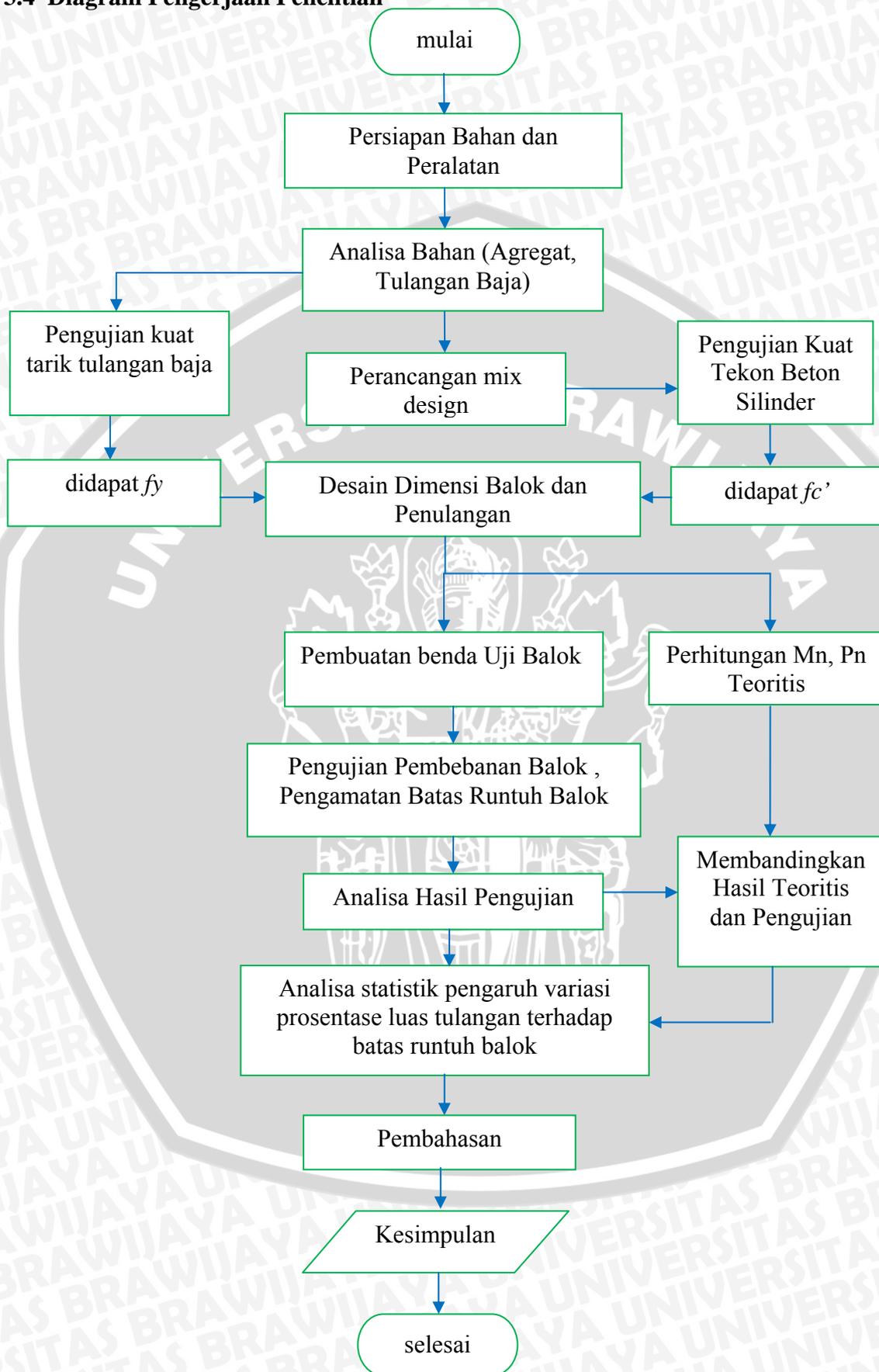
Agregat kasar berupa kerikil dari batu pecah, dengan ukuran maksimum butiran 1 cm.

3.3.6 Jumlah benda uji

Tabel 3.1. Karakteristik Benda Uji

Benda uji	Balok ukuran 20 x 25 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				

3.4 Diagram Pengerjaan Penelitian



3.5 Pengujian Bahan Dasar

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

3.5.1 Agregat halus (pasir)

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

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

Dalam metode ini dilakukan perhitungan :

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

dimana :

B_k = berat benda uji kering oven, gram

B = berat piknometer berisi air, gram

B_t = berat piknometer berisi benda uji dan air, gram

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

3.5.2 Agregat kasar (kerikil)

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

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

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

- Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

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

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

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

- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

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

- Penyerapan

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

dimana :

B_k = berat benda uji kering oven, gr

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh, gr

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

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

3.5.3 Baja tulangan

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

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

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

dimana : l_o = panjang ukur benda uji, mm

A_{so} = luas penampang terkecil semula, mm²

$$k \rightarrow dp5 = 5.65$$

$$dp 10 = 11.3$$

Parameter pengujian dihitung dengan rumus – rumus :

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

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

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

dimana : f_s = tegangan tarik putus, MPa

f_y = tegangan tarik leleh, MPa

P_{maks} = kuat tarik putus, N

A_{so} = luas penampang benda uji semula, mm²

P_y = kuat tarik leleh, N

n_{maks} = regangan maksimum

l_u = panjang benda uji setelah pengujian, mm

l_o = panjang benda uji semula, mm

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

3.5.4 Beton

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

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi : tinggi = 30 cm dan diameter = 15 cm. Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 17 hari, 21 hari dan 28 hari. Dengan masing – masing jumlah benda uji 4 buah.

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

dimana : P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm^2)

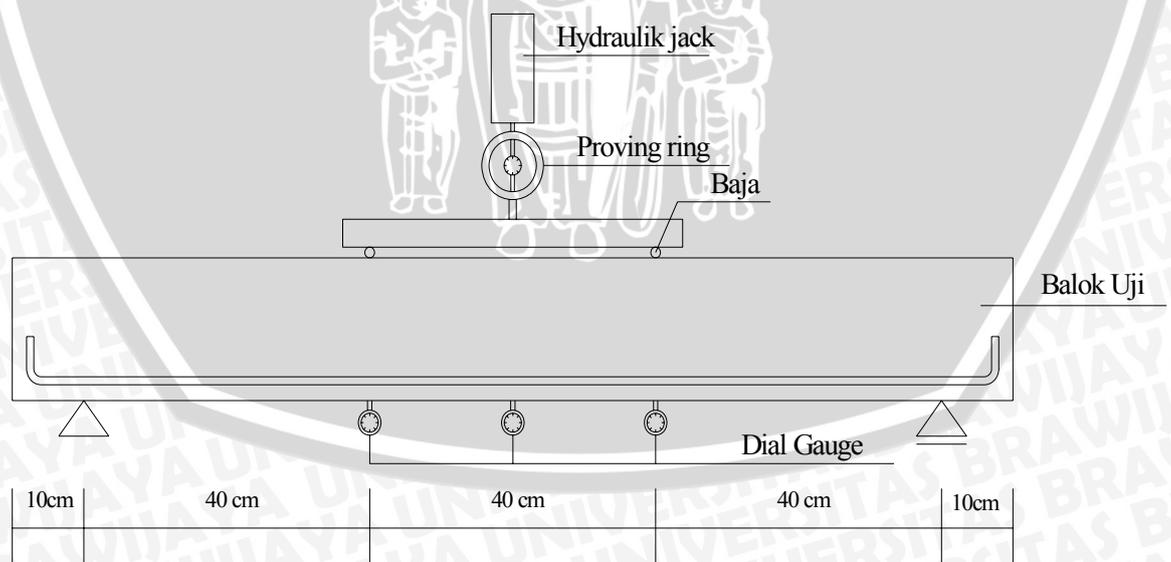
Pembuatan benda uji dan prosedur pengujian kuat tekan beton mengikuti peraturan SNI M-14-1989-F.

3.6 Pengujian Balok

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

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

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



Gambar 3.3 Skema Penelitian di Laboratorium

Langkah – langkah pengujiannya adalah :

1. Setelah dilakukan pengecoran dan pembongkaran bekisting, balok dicat warna putih dan diberi garis horizontal dan vertikal dengan ukuran $5 \times 5 \text{ cm}^2$ sepanjang bentang balok agar mudah dilakukan pengamatan dan penggambaran pola retak. Pengujian dilakukan sesuai umur beton 28 hari
2. Benda uji yang telah mencapai umur yang ditentukan ditempatkan pada frame uji struktur kapasitas 15 ton dengan tumpuan sendi – rol pada kedua ujungnya. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan bantuan alat dongkrak berkapasitas 25 ton.
3. Pemasangan dial dengan memasang jarum bacaan di bawah permukaan benda uji. Dial 1 dan 3 diletakkan tepat di bawah $\frac{1}{2} P$ dan dial 2 diletakkan di tengah balok
4. Pemasangan alat proving ring di atas benda uji dengan posisi di tengah benda uji.
5. Penambahan beban dilakukan berangsur-angsur sampai benda uji mengalami perubahan bentuk (runtuh). Penambahan beban dibaca pada *strainmeter*, lendutan balok dibaca pada alat *dial gauge*. Pengamatan pola retak dengan menggunakan alat *mikroslap crack detector* dilakukan setelah penambahan beban saat terjadi retak lentur awal, retak miring awal dan beban maksimum yang dapat didukung oleh benda uji.
6. Data yang diperoleh digunakan untuk melihat pola keruntuhan pada balok. Pengambilan data dengan cara mengukur besarnya beban yang mampu ditahan oleh masing-masing benda uji pada saat mulai mengalami retak awal sampai benda uji mengalami keruntuhan.

3.7 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut :

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

3.8 Analisis Batas Runtuh

Pada penelitian dibandingkan antara beban yang mengakibatkan beban ultimate (P_n) secara teoritis dengan hasil penelitian. Nilai P ultimate dibandingkan sehingga diketahui perbedaan pengaruh lama waktu pengecoran terhadap keruntuhan. P akibat momen dan P akibat geser dibandingkan, dan ditentukan P akibat mana yang menyebabkan keruntuhan.

3.9 Analisis Data

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian balok uji dianalisis menurut prosedur analisis statistik Pengujian hipotesis untuk mengetahui pengaruh lama waktu pengecoran balok komposit beton bertulang terhadap pola keruntuhan menggunakan uji non-parametrik. Uji non-parametrik ini digunakan untuk data kualitatif dengan metode analisis uji pangkat (*rank-sum test*) varian satu arah.

Langkah statistiknya adalah sebagai berikut :

- Menentukan hipotesis

$$H_0 : U_0 = U_1$$

$$H_1 : U_0 \neq U_1$$

Dimana :

H_0 = hipotesis awal (tidak ada pengaruh lama waktu pengecoran balok komposit beton bertulang terhadap batas runtuh)

H_1 = hipotesis alternatif (ada pengaruh lama waktu pengecoran balok komposit beton bertulang terhadap batas runtuh)

- Menentukan *level of significant* (α)
- Menghitung kriteria pengujian dengan uji pangkat (Kruskal-Wallis)
 1. Data/nilai pengamatan diberi pangkat terkecil sebesar 1 dan terbesar berpangkat n (jika banyaknya pengamatan sama dengan n). Dalam hal ini, gugus data dipandang sebagai suatu keseluruhan sehingga letak pengamatan tidak dipermasalahkan.
 2. Jumlahkan pangkat-pangkat tersebut untuk tiap-tiap perlakuan.
 3. Hitung kriteria uji dengan rumus

$$H = \frac{12}{n(n-1)} \sum_{i=1}^p T_i^2 / n_i - 3(n-1)$$

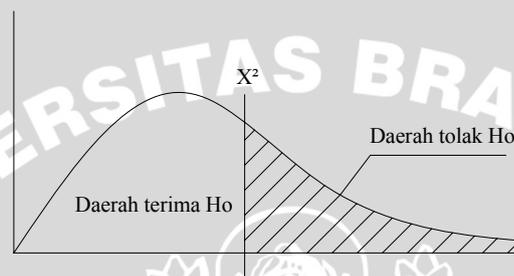
dimana :

n_i = banyaknya pengamatan perlakuan ke-i

T_i = jumlah pangkat perlakuan ke-i

n = banyaknya seluruh pengamatan

4. Bandingkan H dengan titik kritis sebaran χ^2 pada taraf nyata α yang ditetapkan dan dengan db = p - 1 (p adalah banyaknya grup / perlakuan)



- Menentukan kesimpulan
 - H_0 akan diterima bila $H \leq \chi^2$ dengan kesimpulan tidak ada pengaruh lama waktu pengecoran balok komposit beton bertulang terhadap pola keruntuhan
 - H_1 akan diterima bila $H > \chi^2$ dengan kesimpulan ada pengaruh lama waktu pengecoran balok komposit beton bertulang terhadap pola keruntuhan

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji, kemudian diolah dan dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Untuk mengetahui pengaruh umur beton terhadap batas runtuh, digunakan analisa varian 1 arah.

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

A. Menentukan hipotesis

H_0 : $U_0 = U_1 = U_2$

H_1 : $U_0 \neq U_1 \neq U_2$

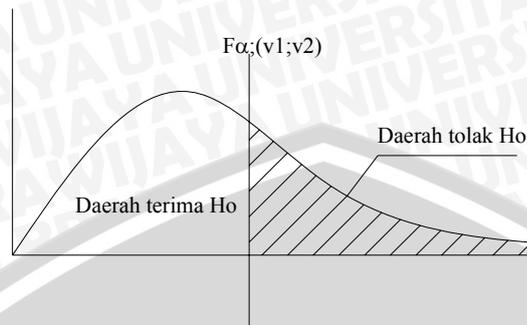
H_0 : hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat.

H_1 : hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel terikat

B. Menentukan *level of significant* (α)

C. Menghitung kriteria pengujian dengan langkah sebagai berikut :

$$F_{uji} \leq F_{\alpha; (k-1); k(n-1)}$$



Menghitung nilai F (F_{uji})
$$F_{uji} = \frac{\text{Varian between mean}}{\text{Varian within group}} = \frac{\sigma_m}{\sigma_g}$$

D. Kesimpulan

Ho akan diterima bila $F_{uji} \leq F_{batas}$ atau $F_{uji} \leq F_{\alpha; (k-1); k(n-1)}$

Ho akan ditolak bila $F_{uji} > F_{batas}$ atau $F_{uji} > F_{\alpha; (k-1); k(n-1)}$

Dari analisis data secara statistik didapat harga F_{uji} yang akan dibandingkan dengan F_{tabel} . Apabila $F_{uji} > F_{tabel}$ berarti Ho ditolak dan H_1 diterima. Hal ini dapat dikatakan bahwa ada pengaruh dari umur pengecoran beton terhadap batas runtuh pada balok komposit beton–beton. Dan begitu pula sebaliknya.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Bahan – Bahan Dasar

4.1.1. Agregat Halus

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

Tabel 4.1. Hasil pengujian agregat halus

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

Sumber : Hasil percobaan dan perhitungan

Dari grafik, masuk pada zona gradasi : 2

Data dan perhitungan dapat dilihat pada lampiran 1

4.1.2. Agregat Kasar

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

Tabel 4.2. Hasil pengujian agregat kasar

Keterangan	Hasil pengujian
Modulus kehalusan kasar	8,4487
Berat jenis curah	2,634
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,710
Berat jenis semu	2,851
Penyerapan (%)	2,896 %

Sumber : Hasil percobaan dan perhitungan

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

4.1.3. Campuran beton

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

4.1.4 Pengujian Beton Segar/Slump

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Tujuan dari pengujian beton segar ini adalah untuk mengetahui tingkat *workability* atau kemudahan pengerjaan campuran adukan beton serta mengetahui kekentalannya, disamping itu pengujian slump mempunyai tujuan utama untuk mengetahui mutu beton yang sangat berpengaruh terhadap kuat tekan balok. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3.

Balok uji	Nilai slump
15,3%	15
15.3%	14
15.3%	15
22%	13
22%	12
22%	14
30,4%	17
30,4%	16
30,4%	16
41.8 %	14
41.8%	14
41.8%	14
50%	14
50%	13
50%	12

Tabel 4.3. Hasil pengujian Slump, sumber :hasil pengujian di laboratorium,

Dari tabel 4.3 didapatkan nilai *slump* yang bervariasi, hal tersebut merupakan indikator dari suatu mutu beton. Oleh karena itu pada penelitian ini kita pakai batasan

slump normal untuk mendapatkan hasil beton dengan kekuatan optimal sehingga momen runtuh yang kita rencanakan dapat tercapai.

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

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.

4.2. Pengujian kuat tekan beton

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

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Prosentase Benda uji	Luas penampang (cm ²)	Berat (Kg)	Umur (Hari)	Kuat tekan (kg/cm ²)	Rata – rata $f'c$ (kg/cm ²)
15,3% (1)	176,6	12.9	28	325.32	322.04
15,3% (2)	176,6	13	28	316.51	
15,3% (3)	176,6	12.9	28	324.29	
22% (1)	176,6	12.9	28	326.81	333.63
22% (2)	176,6	12.9	28	332.15	
22% (3)	176,6	12.8	28	341.93	
30,4% (1)	176,6	13	28	380.45	372.58
30,4% (2)	176,6	12.8	28	324.15	
30,4% (3)	176,6	12.8	28	413.15	
41,8% (1)	176,6	12.9	28	284.50	312.64
41,8% (2)	176,6	12.9	28	337.24	
41,8% (3)	176,6	12.9	28	316.18	
50% (1)	176,6	13	28	332.74	329.49
50% (2)	176,6	12.9	28	335.62	
50% (3)	176,6	13	28	320.12	

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 334,0773 kg/cm²

4.3. Pengujian kuat tarik dan modulus elastisitas baja tulangan

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

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Diameter (mm)	No	Tegangan leleh (f_y) (MPa)	f_y rata – rata (MPa)
5.2 (besi ukuran Ø6)	1	329.722	306.17
	2	306.17	
	3	282.62	
6.4 (besi ukuran Ø8)	1	311.04	316.22
	2	342.14	
	3	295.489	
8 (besi ukuran Ø10)	1	318.471	325.10
	2	338.37	
	3	318.471	

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

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 315,8311 MPa yang akan digunakan pada perhitungan kapasitas lentur secara perhitungan

4.4. Pengujian kuat lentur balok

Benda uji berupa balok dengan dimensi 20x25x120 yang berjumlah 15 benda uji. Pengamatan pola retak dilakukan pada saat pengujian pada setiap interval pembebanan. Penentuan pola keruntuhan berdasarkan pola retak yang terjadi dari awal sampai akhir pembebanan. Penambahan beban dihentikan sampai pembacaan dial pada proving ring menunjukkan angka yang turun dengan drastis dan mengamati apakah retak telah menjalar ke permukaan balok. Benda uji dapat dikelompokkan berdasar prosentase tulangan yang berbeda sebagaimana yang ditunjukkan tabel 4.6.

Tabel 4.6. Jumlah Variasi Prosentase Luas Tulangan Lapangan Yang Diteruskan Ke Tumpuan Pada Balok Teoritis dan Actual

Benda Uji ukuran 20x25x120					
Rencana	10%	20%	30%	40%	50%
Actual	15.3%	22%	30.4%	41.8%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Sumber :Hasil perhitungan

4.5. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji

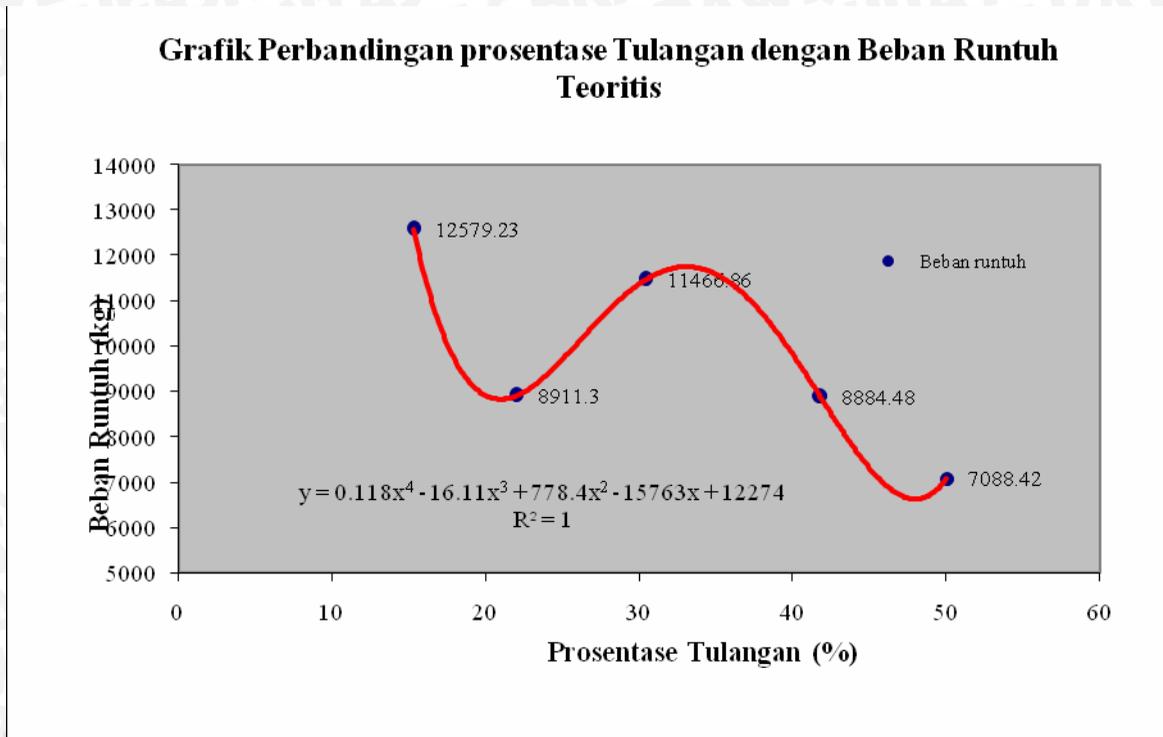
Uji pembebanan balok beton bertulang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik pada usia 28 hari yang dilakukan pada frame uji lentur (*loading frame*) dengan 2 beban terpusat yang simetris untuk masing-masing balok dengan jarak 40 cm dan 80 cm dari tumpuan, dimana tumpuan yang digunakan adalah tumpuan sendi-roll pada kedua ujung balok. 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 benda uji. Hasil pengujian balok dapat dilihat pada tabel 4.6, untuk hasil pengujian yang selengkapnya dapat dilihat pada bagian Lampiran.

Perbandingan antara beban saat runtuh teoritis (P_n teoritis) dengan beban pengujian saat runtuh (P_n uji) yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik dapat diperlihatkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perbandingan Pn Teoritis dan Pn Uji

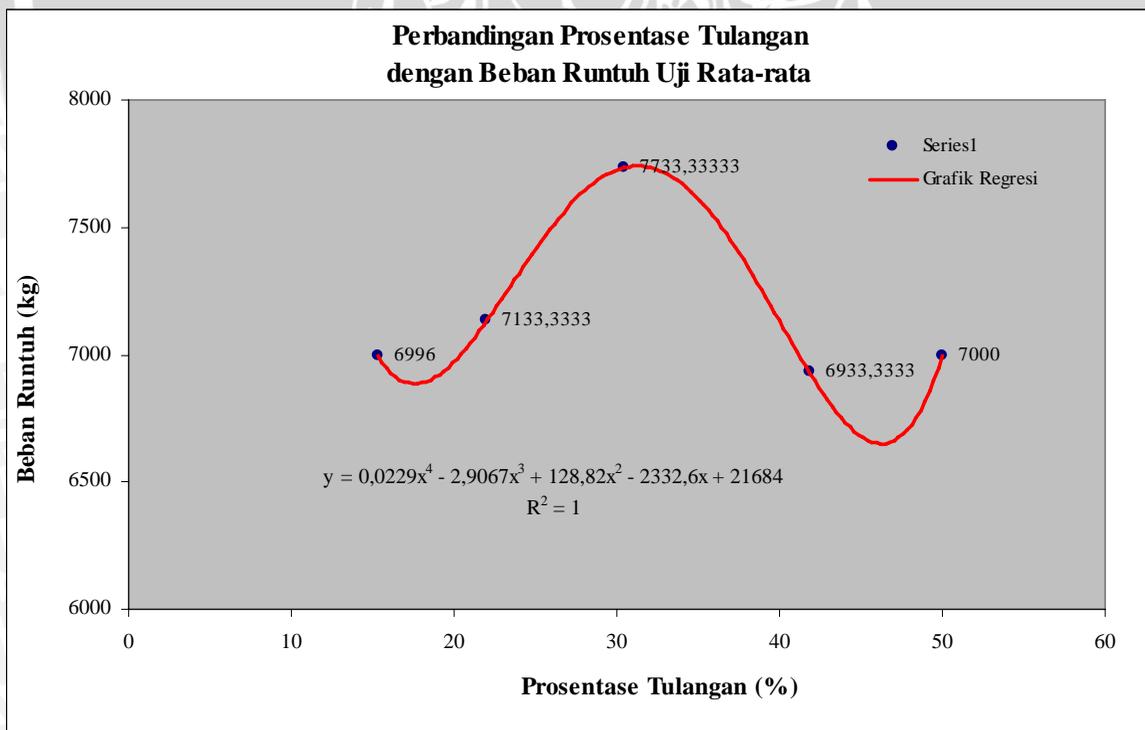
No Benda Uji	Mn Teoritis (Kgcm)	Pn Teoritis (Kg)	Pn Uji (Kg)	Pn Uji Rata-rata (hasil Regresi) (Kg)
B-1 : 15.3 %	251584,76	12579,23	6996	6996
B-2 : 15.3 %			7128	
B-3 : 15.3 %			6864	
B-1 : 22 %	178225,8	8911,3	7100	7133,3333
B-2 : 22 %			7300	
B-3 : 22 %			7000	
B-1 : 30,4 %	229337,14	11466,86	7400	7733,3333
B-2 : 30,4 %			8000	
B-3 : 30,4 %			7800	
B-1 : 41.8 %	177689,56	8884,48	7000	6933,3333
B-2 : 41.8 %			6900	
B-3 : 41.8 %			6900	
B-1 : 50 %	141768,43	7088,42	7000	7000
B-2 : 50 %			6900	
B-3 : 50 %			7100	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.1. Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.2. Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji Rata – Rata

Grafik Perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan secara teoritis diambil dari data perhitungan balok dengan tulangan rangkap, sedangkan

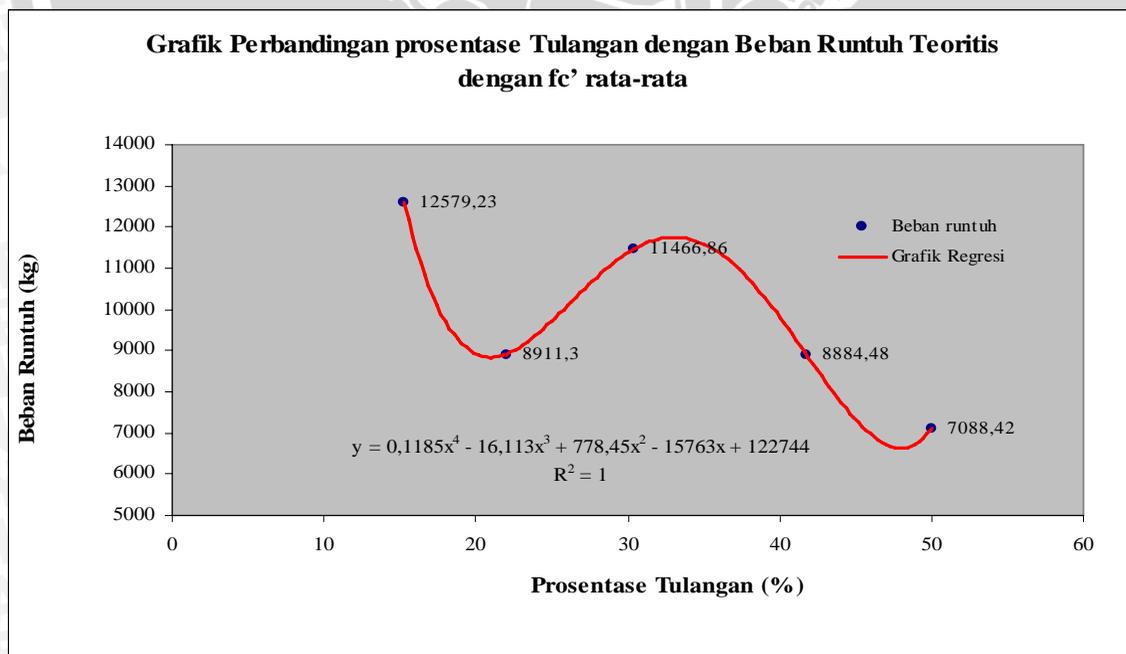
Grafik Perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan secara aktual diambil dari data pengujian. Pada perhitungan teoritis dipakai data mutu beton bervariasi berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder, Perhitungan yang dipakai adalah dari kuat tekan beton rata-rata yang diambil dari Uji statistik, karena Balok harus mendapat perlakuan sama. Kapasitas dukung beban maksimum balok secara teoritis dengan perlakuan sama menggunakan f_c' rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Dengan f_c' Rata-Rata Sebesar 334,0773 Mpa.

No	Benda uji	Mn Teoritis (Kgc)	Pn Teoritis (Kg)
1	15,3%	251584,76	12579,23
2	22%	178225,8	8911,3
3	30,4%	229337,14	11466,86
4	41,8%	177689,56	8884,48
5	50%	141768,43	7088,42

Sumber : Hasil perhitungan

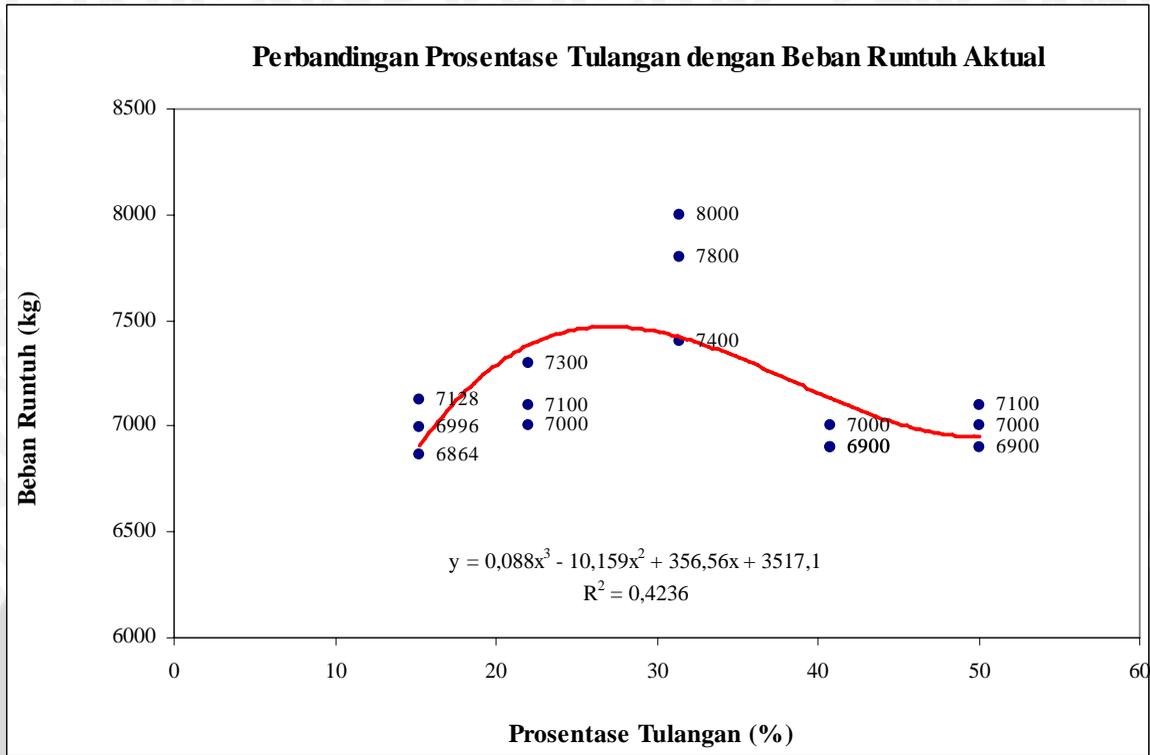
Maka grafik perbandingan antara beban saat runtuh perhitungan (Pn perhitungan) dengan beban pengujian saat runtuh (Pn uji) yang dibangkitkan oleh dongkrak hidrolik dapat diperlihatkan pada gambar 4.2.



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

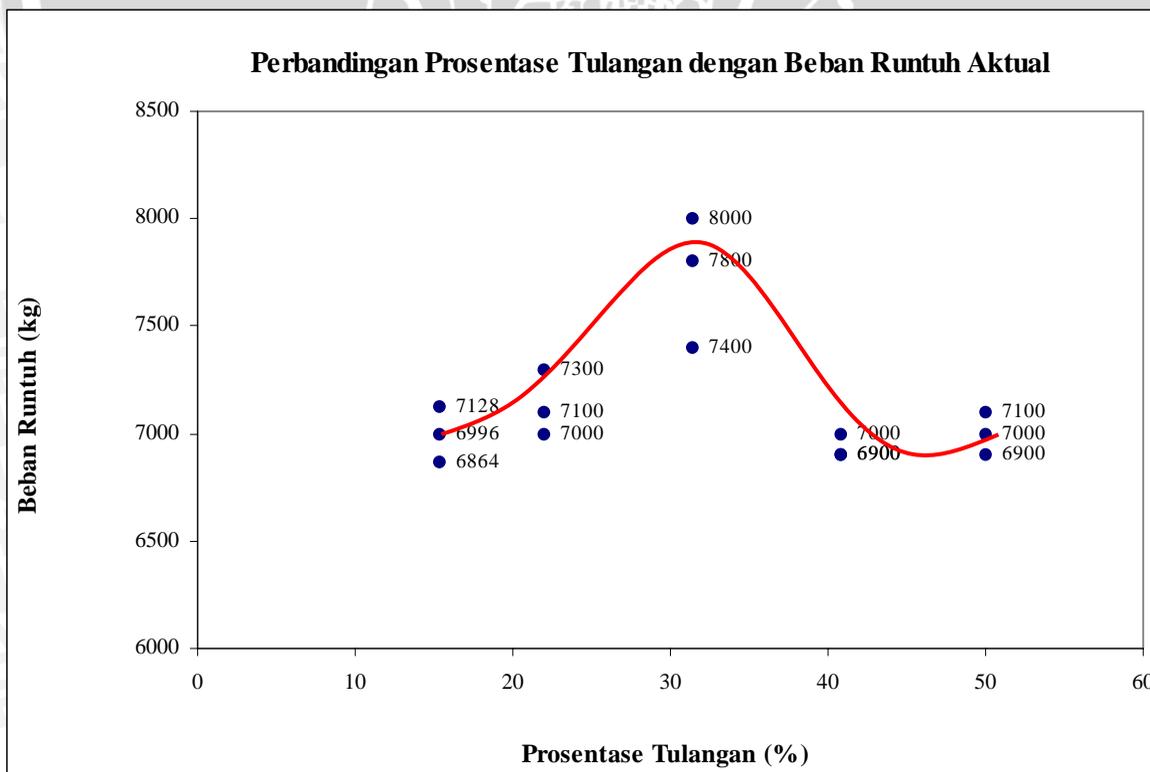
Gambar 4.3. Grafik Polynomial Orde 4 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Teoritis dengan f_c' rata-rata = 334,0773 Mpa

Grafik Perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan secara aktual diambil dari data pengujian sehingga dapat dilihat pada gambar 4.3, dan 4.4.



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.4. Grafik Polynomial Orde 3 Perbandingan Prosentase Tulangan Dengan Pn Uji



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.5. Grafik Polynomial Orde 6 Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji

Grafik Perbandingan prosentase tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan seperti pada gambar diatas didapat dari analisis regresi (selengkapnya dapat dilihat dilampiran). Analisis regresi yang dipakai yaitu dengan polynomial orde yang berbeda yaitu orde 3 dan orde 6 ini dimaksudkan untuk mencari nilai R^2 yang mendekati 1. Dari hasil perhitungan didapatkan $R^2 = 0,4236$ dari regresi orde 3 sedangkan hasil regresi orde 4, 5, dan 6 didapatkan nilai R^2 yang sama yaitu sebesar 0,8151. Sehingga Grafik yang dipakai adalah hasil regresi orde 6 yang mempunyai keakuratan kebenaran grafik.

4.6. Pembahasan

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

4.6.1 Pembahasan Penelitian

Pada saat awal pembebanan, balok uji masih dalam kondisi bebas retak. Baru setelah beban mencapai nilai tertentu, muncul retak awal berupa retak lentur vertikal dengan lebar retak awal yang teramati sekitar 0,01 mm sampai 0,02 mm. Adanya peningkatan beban menimbulkan retak lanjutan ataupun retak baru yang sebagian mengarah pada sumbu netral, sebagian menuju titik tumpuan menjadi retak geser.

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

4.6.2 Pembahasan kapasitas dukung beban maksimum balok

Balok uji direncanakan menggunakan metode kekuatan batas, dimana balok dalam keadaan batas runtuh. Untuk balok tunggal $NT = As \cdot Fy$ dan momen dalamnya adalah $Mn = NT \cdot z$ sedangkan pada balok tulangan rangkap momen dalam adalah $Mn = (ND_1 + ND_2)$ dimana $ND_1 = 0,85 fc' a b (d - \frac{1}{2} a)$ dan $ND_2 = As fy (d - d')$. Dari pembacaan *proving ring* saat balok dalam keadaan batas runtuh didapatkan nilai Pn uji rata-rata tiap-

tiap prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan yang bervariasi mulai prosentase 15,30%; 22%; 41,80%; 50% dan menunjukkan penurunan beban runtuh (P_n). Hasil uji beban runtuh pada balok ini tiap-tiap prosentase dibandingkan dengan prosentase luas tulangan 30,40% sesuai dengan tujuan awal. Penurunan beban runtuh (P_n) dibanding terhadap tulangan 30,40% dapat dilihat di tabel 4.9.

Tabel 4.9. Prosentase Penurunan P_n Uji.

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Penurunan P_n terhadap balok 30,40% (%)
1	15,30%	-7,3733333
2	22%	-6
3	30,40%	0
4	41,80%	-8
5	50%	-7,3333333

Sumber : Hasil perhitungan

Dari tabel 4.9 dapat dilihat penurunan beban runtuh pada prosentase luas tulangan 15.30%, 22%, 41,8% dan 50% masing - masing sebesar -7,3733333%, -6%,-8%, dan -7,3333333% dari beban runtuh prosentase luas tulangan 30,4%. Hal ini disebabkan karena bahan campuran beton yang kurang mendapat perawatan dan tidak dilakukan penelitian ulang untuk analisa bahan campuran beton serta mutu beton ada yang lebih rendah dimasing-masing balok, namun telah dilakukan uji statistik dan hasilnya homogen sehingga tiap-tiap balok dapat perlakuan sama dari mutu beton.

Pada grafik Perbandingan prosentase Tulangan dengan P_n perhitungan (gambar 4.2) dan grafik Perbandingan prosentase Tulangan dengan P_n Uji (gambar 4.5) dapat dilihat kemiripan bahwa pada saat variasi 30,4% terjadi penurunan beban. Menurut teori yang ada bahwa mensyaratkan pada tulangan momen negatif (tulangan tekan) paling sedikit sepertiga (30,4%) dari tulangan total yang diperlukan di atas tumpuan harus diteruskan melalui titik balik nominal (lapangan), kemudian perubahan beban akan mengalami penurunan di variasi 41,8% dan akan mengalami kenaikan sampai batas variasi 50%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa prosentase tulangan tumpuan yang

diteruskan ke tumpuan yang paling maksimum adalah sebesar 30,4 % dan tidak berbeda jauh dengan teori yang sudah ada.

4.7 Pengujian Hipotesis

Dari data pengujian yang diperoleh, selanjutnya untuk nilai beban pada saat balok runtuh (P_n) dilakukan pengujian hipotesis untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ketumpuan terhadap batas runtuh balok. Pengujian hipotesis ini menggunakan analisis varian satu arah.

Pernyataan ada tidaknya pengaruh tersebut secara statistik dinyatakan dengan :

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

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

dengan :

H_0 : Hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh dari Variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ketumpuan terhadap batas runtuh balok

H_1 : Hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh dari Variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ketumpuan terhadap batas runtuh balok

Dari analisis didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10. Anova Satu Arah

Oneway

ANOVA

BEBAN

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1299878	4	324969,600	11,022	,001
Within Groups	294848,0	10	29484,800		
Total	1594726	14			

Sumber : Hasil perhitungan dengan SPSS 11

Berdasar analisa statistik di atas, diperoleh nilai Sig. sebesar 0,001. Hal ini berarti probabilitas terdapat di bawah 0,05 ($0,001 < 0,05$), yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Atau apabila berdasarkan nilai $F^{0,05}$, diperoleh $F_{hitung}^{0,05} = 11,022$, $F_{tabel} = 3,48$ sehingga karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak. Dengan demikian dapat disimpulkan ada pengaruh antara variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap batas runtuh balok.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Kapasitas dukung maksimum yang besar terjadi pada balok dengan prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan sebesar 30,4%
2. Jenis keruntuhan yang terjadi pada seluruh balok uji adalah keruntuhan geser. Hal ini karena faktor panjang bentang balok yang juga berperan terhadap penentuan jenis keruntuhan diabaikan, sehingga keruntuhan lentur yang diharapkan tidak terjadi.

Penurunan beban runtuh (P_n) dibanding terhadap tulangan 30,40%

Tabel Prosentase Penurunan P_n Uji.

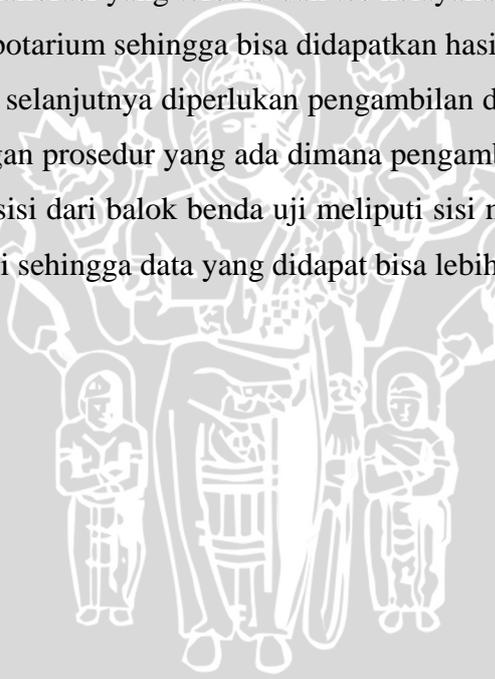
No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Penurunan P_n terhadap balok 30,40% (%)
1	15,30%	-7,3733333
2	22%	-6
3	30,40%	0
4	41,80%	-8
5	50%	-7,3333333

Dari tabel 4.7 dapat dilihat penurunan beban runtuh pada prosentase luas tulangan 15.30%, 22%, 41,8% dan 50% masing - masing sebesar -7,3733333%, -6%,-8%, dan -7,3333333% dari beban runtuh prosentase luas tulangan 30,4%. Hal ini disebabkan karena bahan campuran beton yang kurang mendapat perawatan dan tidak dilakukan penelitian ulang untuk analisa bahan campuran beton serta mutu beton ada yang lebih rendah dimasing-masing balok, namun telah dilakukan uji statistik dan hasilnya homogen sehingga tiap-tiap balok dapat perlakuan sama dari mutu beton.

5.2 Saran

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

1. Di dalam melakukan 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. *Maintenance* (perawatan dan perbaikan) peralatan di laboratorium mutlak diperlukan untuk menghindari kesalahan pembacaan yang berakibat fatal dalam proses penelitian.
3. Perlu adanya kalibrasi yang terbaru dan tes kelayakan terhadap alat- alat pengujian di labotarium sehingga bisa didapatkan hasil yang lebih akurat.
4. Pada penelitian selanjutnya diperlukan pengambilan data yang lebih valid dan sesuai dengan prosedur yang ada dimana pengambilan data dilakukan pada beberapa sisi dari balok benda uji meliputi sisi muka, belakang, dan bawah benda uji sehingga data yang didapat bisa lebih akurat





DAFTAR PUSTAKA

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

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

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

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

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

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

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

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

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