

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. As'ad Munawir, MT selaku Ketua Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bpk. Ir. Hendi Bowoputro, 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. Prastumi, MT selaku dosen pembimbing yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Ir Ristinah Syamsudin, MT., selaku dosen penguji.
6. Ibu, yogi dan keluarga, terimakasih atas segala dukungan dan doanya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan – rekan dan sahabat 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, terima kasih.

Malang, Agustus 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Kegunaan Penelitian	3
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum	4
2.2. Beton	5
2.2.1. Semen	6
2.2.2. Air	6
2.2.2. Agregat	7
2.3. Beton Bertulang	8
2.4. Perilaku, Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang	10
2.5. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Kurang dan Lebih	11
2.6. Kapaditas Lentur Balok	14
2.7. Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam	17
2.8. Blok Segiempat Ekvivalen	18
2.9. Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok	19
2.10. Analisis Kuat Lentur Balok Bertulangan Rangkap	20
2.11. Tulangan yang Diteruskan	24
2.11. Hipotesis Penelitian	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian	26
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3. Analisa Bahan yang digunakan	27
3.3.1. Air	27
3.3.2. Semen	27
3.3.3. Pasir	27
3.3.4. Baja Tulangan	27
3.3.5. Agregat Kasar	27
3.4. Rancangan Penelitian	27
3.5. Pengujian Bahan Dasar	28
3.5.1. Agregat Halus (pasir)	28
3.3.2. Agregat Kasar (kerikil)	29
3.3.3. Baja Tulangan	30
3.3.4. Beton	30
3.6. Balok Uji	31
3.7. Pengujian Balok	31
3.8. Analisa Data	33
3.9. Diagram Alir Penelitian	35
3.10. Variabel Penelitian	36

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang	37
4.1.1. Agregat Halus	37
4.1.2. Agregat Kasar	37
4.1.3. Semen	38
4.1.4. Air	38
4.1.5. Baja Tulangan	38
4.2. Pengujian Beton Segar	39
4.3. Pengujian Kuat Tekan Beton	40
4.4. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton	41
4.5. Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji	42
4.6. Kapasitas Lentur Balok Uji	45
4.7. Pembahasan	49
4.7.1. Pengujian Hipotesis	49

4.7.2. Pembahasan Penelitian	50
4.7.3. Pembahasan Kapasitas Lentur Balok	50
BAB V. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Perbandingan sifat antara Baja dan Beton	9
Tabel 3.1.	Karakteristik Benda Uji	27
Tabel 3.2.	Variasi Prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan	31
Tabel 3.3.	Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah	34
Tabel 4.1.	Hasil Pengujian Agregat Halus	37
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Agregat Kasar	37
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	38
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	39
Tabel 4.5.	Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder	40
Tabel 4.6.	Variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan pada balok dari perhitungan dan aktual	41
Tabel 4.7.	Perbandingan M_n dan P_n Perhitungan dengan P_n uji	42
Tabel 4.8.	Kapasitas dukung beban maksimum balok dengan f_c' hasil pengujian di Lab	44
Tabel 4.9.	Perbandingan M_n Perhitungan (f_c' dan f_y hasil pengujian Lab) dan M_n Uji	46
Tabel 4.10.	Analisi Statistik <i>Anova</i> Satu Arah	49
Tabel 4.11.	Prosentase penurunan M_n uji	51
Tabel 4.12.	Perbandingan Prosentae Tulangan dengan M_n	52
Tabel 4.13.	Prosentase Peningkatan atau Penurunan M_n terhadap 30,4 %	52

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Diagram kuat tekan beton versus umur beton	6
Gambar 2.2.	Kurva Tegangan-Regangan antara Baja Tulangan dan Beton	9
Gambar 2.3.	Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan lentur	13
Gambar 2.4.	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok	15
Gambar 2.5.	Gambar Bidang Momen dan Lintang	16
Gambar 2.6.	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Balok	17
Gambar 2.7.	Blok Tegangan Ekuivalen Whitney	18
Gambar 2.8.	Analisis Balok Bertulang Rangkap	21
Gambar 2.9.	Bidang momen dasar untuk beban terbagi rata	24
Gambar 3.1.	Pengujian Kuat Lentur Balok	32
Gambar 3.2.	Diagram Pengerjaan Penelitian	35
Gambar 4.1.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji	43
Gambar 4.2.	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan dengan f_c' rata-rata = 33,408 MPa	44
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan dengan f_c' rata-rata = 33,408 MPa	45
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (orde 4)	47
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan antara Beban Runtuh Hitung (Pn Hitung) dengan Beban Runtuh Uji (Pn Uji)	47
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan antara Kapaitas Lentur Hitung (Mn Hitung) dengan Kapasitas Lentur Uji (Mn Uji)	48

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Pemeriksaan Dan Analisa Bahan Campuran Beton	1-1
Lampiran 2	Perhitungan Campuran Dan Kebutuhan Bahan	2-1
Lampiran 3	Uji Kuat Tekan Beton Silinder	3-1
Lampiran 4	Uji Slump	4-1
Lampiran 5	Uji Tarik Baja	5-1
Lampiran 6	Data Pengujian Balok Beton Bertulang	6-1
Lampiran 7	Menghitung Momen Nominal (Mn)	7-1
Lampiran 8	Uji Statistik	8-1
Lampiran 9	Balok Uji	9-1
Lampiran 10	Foto Hasil Pengujian Balok Bertulang	10-1



RINGKASAN

HERU FISANTO, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, *Pengaruh variasi luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap kapasitas lentur balok*. Dosen pembimbing : Ir. M Taufik Hidayat, MT. dan Ir. Prastumi, MT

Dalam SNI 03-2847-2002 pasal 14.11 ayat (1) bahwa untuk penyaluran tulangan momen positif minimal sepertiga dari luas tulangan 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". Dengan kata lain bahwa pada tulangan momen positif atau pada lapangan, minimal harus diteruskan sepertiganya atau sekitar 30% dari tulangan total di lapangan ke tumpuan. Syarat-syarat batas diatas untuk mengatasi akibat-akibat dari redistribusi tegangan-tegangan setelah terjadinya retak-retak miring disekitar tumpuan yang ekuivalen dengan pergeseran bidang momen nominal.

Kapasitas lentur pada balok beton bertulang lebih banyak dipengaruhi oleh kekuatan beton dan kekuatan tulangan yang digunakan. Tetapi penambahan tulangan yang berlebihan juga tidak membuat struktur tersebut sepenuhnya aman.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai kapasitas lentur yang terjadi dengan adanya variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan. Untuk mengetahui bagaimanakah pengaruh antara variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap kapasitas lentur pada balok beton bertulang.

Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan adanya prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan sebagai tulangan tarik sebesar 30,4% sampai 31%, akan meningkatkan nilai kapasitas lentur dari suatu balok. Pada prosentase 15,3 % terjadi penurunan nilai kapasitas lentur sebesar 10,539 % terhadap prosentase 30,4 % , sedangkan untuk prosentase 22%; 41,8 %; dan 50 % terjadi penurunan masing-masing sebesar 8,41 %; 11,538 %; dan 10,476 %..Sedangkan grafik hubungan antara variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan dengan kapasitas lentur balok beton bertulang menunjukkan, bahwa terjadi penurunan nilai kapasitas lentur seiring dengan penambahan variasi prosentase tulangan yang digunakan.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, semen, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Suatu perencanaan konstruksi diharapkan dapat menahan beban yang bekerja pada struktur baik yang berupa beban gravitasi maupun beban gempa.

Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak pada penampang sewaktu mendukung beban kerja, dan masih mempunyai cukup keamanan untuk menahan beban. Timbulnya tegangan lentur akibat terjadinya momen akibat beban luar karena tegangan tersebut merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur. SNI 03-2847-2002 pasal 9.1 mensyaratkan bahwa setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja padanya

Nilai kuat tekan beton relative tinggi dibandingkan dengan kuat tarikannya. Nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekannya. Pada penggunaannya sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahan beton terutama dalam menahan gaya tarik. Dengan demikian batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan. Kerjasama antara bahan beton dan baja tulangan yang dinamakan komposit hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan-keadaan : 1) lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran diantara keduanya 2) beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja.

. Untuk balok struktur yang menahan momen lentur, tegangan lekat timbul setara dengan variasi perubahan nilai momen lentur yang ditahan di sepanjang balok. Dengan berubahnya nilai momen lentur mengakibatkan berlangsungnya suatu interaksi antara baja dan beton sehingga besar tegangan tarik yang harus ditahan juga

menyesuaikan di sepanjang batang. Oleh karena itu tegangan tersebut disebut sebagai tegangan lekat lenturan.

Untuk menjamin tercapainya lekatan kuat adalah dengan memperhitungkan efek penambatan atau penjangkaran ujung-ujung batang tulang baja dalam beton. Apabila penambatan ujung-ujung batng tulangan tersebut dijamin berfungsi dan berlangsung dengan baik, maka lekatan antara beton dan baja pada keseluruhan akan tetap kokoh sehingga kapasitas daya dukung balok tidak akan terganggu. Penambatan ujung batang tulangan baja akan berlangsung dengan baik apabila batang tulangan tersebut tertanam kokoh ke dalam beton pada jarak kedalaman tertentu.”Paling sedikit sepertiga dari tulangan momen positif pada komponen struktur sederhana dan seperempat dari tulangan momen positif komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka yang sama dari komponen struktur hingga ke dalam tumpuan. Pada balok, tulangan tersebut harus menerus ke dalam tumpuan paling sedikit 150 mm” (SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.5.11 ayat 1) atau dengan kata lain bahwa pada tulangan lapangan harus diteruskan ke tumpuan sebesar sepertiga atau 30% dari luas tulangan total di lapangan.

Berdasarkan kutipan diatas maka memunculkan suatu pertanyaan berapakah prosentase yang ideal dari luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan untuk mendapatkan kapasitas lentur balok yang optimum, serta seberapa besar pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap 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 lapangan yang masuk ke tumpuan 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. Benda uji balok yang digunakan adalah balok persegi dengan ukuran 20 cm x 25 cm x 120 cm.
3. Dalam perencanaan perbandingan luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap luas total tulangan lapangan dipakai 10%,20%,30%,40%, dan 50%.
4. Pengujian dilakukan dengan 2 beban terpusat.
5. Hanya menguji kapasitas lentur yang terjadi.
6. Tidak memperhitungkan pengaruh akibat susut dan rangkak.
7. Balok dalam kondisi Underreinforced.
8. Mutu beton yang dipakai adalah $f'c = 22,5$ Mpa.
9. Tidak memperhitungkan tegangan lekat antara beton dan baja tulangan.
10. Berat sendiri balok diabaikan.
11. Tidak membahas mengenai momen balik.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1.5 Kegunaan Penelitian

Kegunaan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :
Memberikan informasi mengenai mengenai kapasitas lentur pada balok akibat dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Setiap struktur merupakan perpaduan antara arsitektur dan teknik (rekayasa), sehingga memenuhi fungsi tertentu. Bentuk dan fungsi sangat erat kaitannya, dan system struktur yang terbaik adalah salah satu yang dapat memenuhi kebutuhan di samping serviceable, menarik, dan menghemat biaya .

Balok adalah satu elemen struktural pada konstruksi bangunan yang menyalurkan beban, baik beban horizontal maupun vertikal yang berupa beban mati maupun beban hidup ke 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).

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok. Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukungan komponen struktur beton terlentur, sifat utama bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik. Dengan memperkuat menggunakan batang tulangan baja pada daerah tegangan tarik bekerja akan didapat yang dinamakan beton bertulang. Apabila dirancang dan dilaksanakan dengan cara yang seksama struktur beton bertulang dengan susunan bahan seperti tersebut diatas akan memberikan kemampuan yang dapat diandalkan untuk melawan lenturan.

2.2 Beton

Beton merupakan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Dalam adukan beton, campuran air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini berfungsi mengisi pori-pori diantara pasir dan kerikil dan berfungsi sebagai pengikat dalam proses pengerasan sehingga butiran-butiran agregat saling terikat kuat dan terbentuklah massa yang padat. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya.

Faktor yang membuat beton sebagai material bangunan yang banyak digunakan adalah :

- Mudah dalam pengolahannya
- Dapat dicetak sesuai dengan dimensi struktur
- Daya tahan tinggi terhadap api dan cuaca
- Material pembentuknya mudah didapatkan
- Mempunyai kekuatan tekan tinggi

Sebaliknya seperti batu alam, beton mempunyai beberapa kelemahan antara lain :

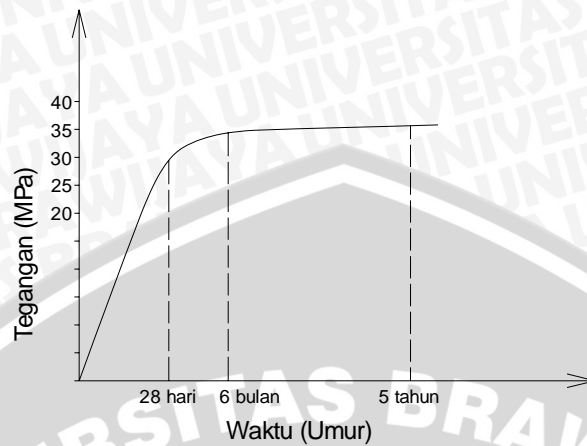
- Beton merupakan material yang mudah retak
- Tegangan tarik kecil dibanding tegangan tekannya
- Volume beton tidak stabil seiring proses pengerasan beton

Secara singkat dapat disebutkan parameter- parameter yang mempengaruhi kualitas beton :

- Kualitas semen
- Proporsi semen terhadap air dalam campurannya
- Kekuatan dan kebersihan agregat
- Perbandingan yang sesuai dari bahan - bahan pembentuk beton
- Susunan agregat halus dan kasar
- Umur beton (setelah 28 hari kekuatan beton relative tetap)
- Proses pembuatannya (*quality control*)

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Bentuk kurva kuat tekan beton versus waktu untuk umur beton tertentu tampak seperti pada gambar 2.1. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan

beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% - 90% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 2.1 Diagram kuat tekan beton versus umur beton

2.2.1 Semen

Semen merupakan jenis pengikat hidrolis yang artinya dapat mengeras bila beraksi dengan air. Fungsi utamanya adalah sebagai perekat bahan penyusun mortar. Senyawa-senyawa utama semen yaitu Trikalsium Silikat (C3S), Dikalsium Silikat (C2S), Trikalsium Aluminat (C3A), dan Tetrakalsium Aluminoferrat (C4AF). Dari senyawa tersebut, (C3 S) dan (C2S) yang bersifat sebagai perekat dan memberi kekuatan pada semen bila bereaksi dengan air (Edward G. Nawy, 1990:11).

Penambahan air pada semen akan menghasilkan pasta dan jika mengeras akan mempunyai kekuatan seperti batu. Dari keempat senyawa di atas, yang mula-mula mengering adalah C3A, kemudian C3S, sedangkan C2S mengalami hidrasi secara perlahan-lahan. C2S menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dan mempengaruhi kekuatan tekan hancur pada umur yang lebih lanjut. C3A mempengaruhi proses pengikatan awal mortar.

2.2.2 Air

Air diperlukan pada pembuatan mortar agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya. Pada umumnya air minum dapat digunakan untuk campuran mortar. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain bila digunakan untuk campuran

repository.ub.ac.id

mortar akan menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat-sifat semen (Edward G.Nawy, 1990:13).

Pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + pasir) material yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak sempurna. Sebagai akibatnya, campuran mortar yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

2.2.3 Agregat

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60 % sampai 80% volume agregat. Agregat harus mempunyai gradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen menghasilkan susunan beton yang padat.

Faktor- faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pemilihan agregat adalah :

- Agregat harus mempunyai kekuatan yang baik
- Tahan lama
- Tahan terhadap cuaca
- Permukaan harus bebas dari kotoran seperti tanah liat, Lumpur dan zat organik

Secara lengkap fungsi agregat beton adalah :

- Menghemat pemakaian semen untuk mendapatkan beton yang murah
- Menghasilkan kekuatan beton yang besar
- Mengurangi penyusutan pada beton
- Gradasi agregat yang baik menghasilkan beton yang padat

Ada 2 jenis agregat :

1. Agregat kasar

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya melebihi $\frac{1}{4}$ in (6mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton. Keras dan daya tahannya disintegrasi beton. Agregat kasar

meliputi kerikil, batu pecah, atau pecahan - pecahan dari *blast - furnace*. Menurut PBI 1989 pasal 3.3.3, ukuran besar agregat kasar harus tidak melebihi :

- $1/5$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan
- $1/3$ dari tebal plat
- $3/4$ jarak minimum antara tulangan atau tendon pratekan atau selongsongan

2. Agregat halus

Agregat halus merupakan material pengisi yang berupa pasir sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan- batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Modulus kehalusan dari agregat halus berkisar antara 1,5 sampai 3,8.

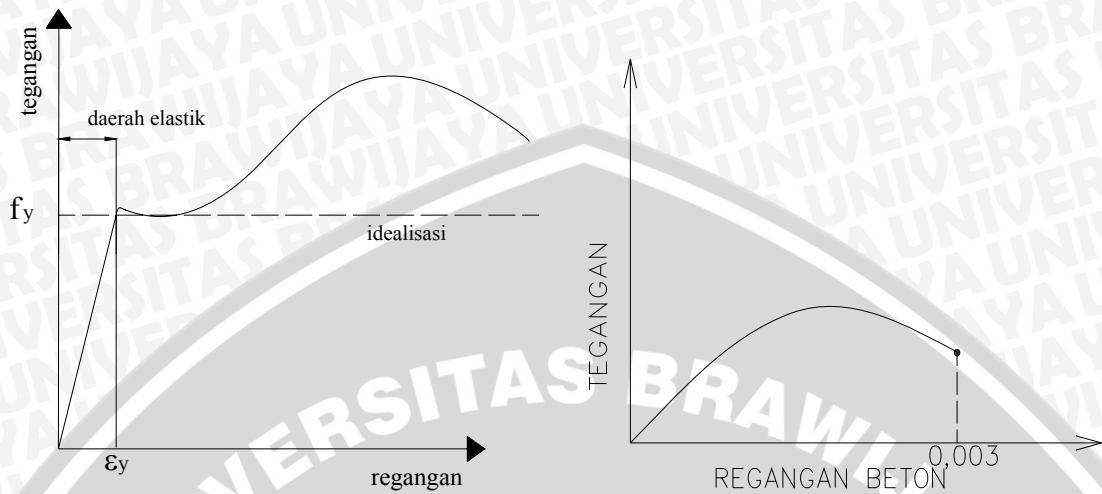
Secara garis besar pemilihan agregat yang baik digunakan sebagai material penyusun beton perlu memperhatikan hal - hal sebagai berikut :

- Mutu dan kualitasnya
- Ukuran dan gradasinya
- Kebersihannya
- Kekerasannya
- Kekasarannya
- Bentuk butirnya
- Bentuk permukaannya

2.3 Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan kombinasi bahan beton yang memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi tetapi memiliki kuat tarik rendah, oleh karena itu hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik sehingga pada beton ditanamkan tulangan baja yang berguna untuk memberikan kekuatan tarik yang diperlukan untuk menutupi kelemahannya. Kombinasi antara beton dan baja menghasilkan suatu aksi komposit yang menjadikan beton bertulang sebagai suatu

bahan bangunan yang kuat, tahan lama dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran.



Gambar 2.2 Kurva Tegangan – Regangan Antara Baja Tulangan dan Beton

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

Tabel 2.1 Perbandingan sifat antara beton dan baja

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

Dari table 2.1 dapat dilihat bahwa tiap- tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dengan demikian, apabila keduanya dikombinasikan, baja akan dapat menyediakan kekuatan tarik dan barangkali sebagian kekutan geser, sedangkan beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sekaligus melindungi baja supaya awet dan tahan akan kebakaran.

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

2.4 Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang

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

1) Kekuatan Tekan (f_c')

Kuat tekan beton diawali oleh tegangan tekan maksimum f_c' dengan satuan N/mm^2 atau MPa. Sebelum diberlakukannya sistem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan kg/cm^2 . Kekuatan tekan beton bergantung pada pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kekuatan beton. Kekuatan tekan beton (f_c') ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat di bawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara $\pm 10-65$ MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa. Kekuatan beton pada struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

2) Kekuatan Tarik (f_y)

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya.

Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal adalah :

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

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, adalah

tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui *pengujian split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Pada struktur beton bertulang, tulangan diletakkan pada daerah tarik. Adanya penambahan tulangan akan menambah kapasitas dukung dari struktur beton bertulang (M_n), atau dengan kata lain dengan penambahan tulangan akan semakin memperkuat beton tersebut.

3) 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 praktik 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 elastisitas 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. Penting untuk menentukan secara tepat besarnya harga yang akan diambil sebagai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\text{Tegangan.}(\sigma)}{\text{Regangan.}(\epsilon)}$$

Modulus elastisitas selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh faktor- faktor lain seperti kelembaban, faktor air semen, umur beton dan temperatur. Harga modulus elastisitas diperlukan untuk peninjauan lentur dan retak dari konstruksi. Harga ini dipengaruhi kekuatan dan mutu beton.

2.5 Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Kurang dan Lebih

Untuk bahan yang bersifat serba sama dan elastis distribusi regangan maupun tegangannya linier berupa garis lurus dari garis netral ke nilai maksimum di serat tepi terluar. Dengan demikian nilai tegangannya berbanding lurus dengan nilai regangan dan hal tersebut berlaku sampai dengan dicapainya batas

sebanding..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 beton mempunyai kedalaman yang cukup agar dapat tercapai keseimbangan gaya-gaya, dimana resultante tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik ($\Sigma H = 0$).Apabila jumlah tulangan baja tarik ditambah maka kedalaman blok tegangan beton tekan akan bertambah pula, dan oleh karenanya letak garis netral akan bergeser ke bawah lagi. Berdasarkan jenis keruntuhan yang dialami, apakah akan terjadi leleh tulangan tarik ataukah hancurnya beton yang tertekan, balok dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok sebagai berikut :

1) Penampang *balanced*

Apabila jumlah tulangan tarik menyebabkan letak garis netral pada posisi dimana terjadi secara bersamaan regangan luluh pada baja tarik dan regangan beton tekan maksimum 0,003 maka penampang disebut bertulangan seimbang.Keruntuhan penampang dengan kondisi penampang seperti ini disebut keruntuhan imbang. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan adalah 0.003. Sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu $\epsilon_y = f_y/E_c$

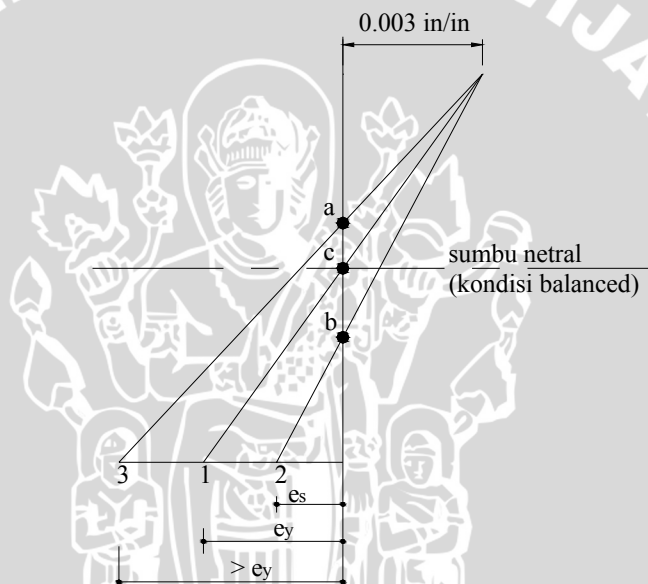
2) Penampang *overreinforced*

Pada saat awal keruntuhan, regangan baja ϵ_s yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya, ϵ_y . Dengan demikian tegangan baja (f_y) juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya, f_y . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan. Berlebihnya tulangan baja akan 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 Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan secara mendadak tanpa diawali gejala peringatan terlebih dahulu.

3) Penampang *underreinforced*

Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan

maka garis netral akan lebih naik sedikit dari keadaan seimbang. Berdasarkan keseimbangan gaya horizontal $\Sigma H = 0$, gaya tekan beton tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus meningkat untuk mengimbangi beban sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang berkurang yang berarti posisi garis netral bergerak naik. Proses tersebut berlanjut terus sampai beton pada daerah tekan tidak mampu lagi menahan gaya tekan. Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja dan setelah baja mencapai titik luluh lendutan balok meningkat tajam. Meskipun tulangan baja berperilaku daktail, tidak akan tertarik lepas dari beton sekalipun terjadi kehancuran. (Istimawan, 1994 : 35)



Gambar 2.3 Distribusi regangan untuk berbagai ragam keruntuhan lentur

Sumber : Edward G. Nawy (1990 : 85)

Posisi garis netral c, b, a akan bergeser ke arah tepi yang tertekan untuk penampang balok yang *undereinforced* pada saat terjadinya keruntuhan. Perilaku ini sesuai percobaan bahwa retak lentur menjalar terus ke arah serat yang tertekan sampai beton hancur. Jarak vertikal antara titik-titik c, b, a ke tepi yang tertekan sangat bergantung pada angka tulangan $\rho = A_s/bd$ dan tidak terlalu berbeda karena regangannya kecil. (Edward G. Nawy, 1990 : 88)

Ada 2 macam cara hancur yang bisa terjadi pada struktur beton bertulang, yang pertama kehancuran diawali meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung secara perlahan dan bertahap sehingga sempat memberikan tanda-tanda keruntuhan, sedangkan bentuk kehancuran dengan diawali hancurnya beton tekan terjadi secara mendadak tanpa sempat memberikan peringatan. Untuk itu peraturan merekomendasikan perencanaan balok dengan tulangan yang bersifat *undereinforced* untuk memberikan peringatan sehingga risikonya dapat diminimalisir. SNI 03-2847-2002 pasal 12.3.3 menetapkan pembatasan tulangan baja tarik tidak boleh melebihi 0.75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan

$$A_s \leq 0.75 A_{sb} \dots\dots\dots(2-1)$$

Rasio penulangan sebesar

$$\rho = \frac{A_s}{b d} \dots\dots\dots(2-2)$$

Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{maks} \leq 0.75 \rho_b \dots\dots\dots(2-3)$$

2.6 Kapasitas Lentur Balok

Apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, maka akan terjadi deformasi(regangan) lentur di dalam balok tersebut. Pada kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi di bagian atas dan regangan tarik di bagian bawah dari penampang. Regangan-regangan tersebut mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik di sebelah bawah. Agar stabilitasnya terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat untuk menahan tegangan tekan dan tarik tersebut.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linier, isotropis, dan homogen, maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur balok yang ada, yakni : $f = M.c/I$ (Nawy,Edward,Beton Bertulang,1990,hal 80). Pada keadaan beban batas, balok beton bertulang bukanlah material yang homogen, juga tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat

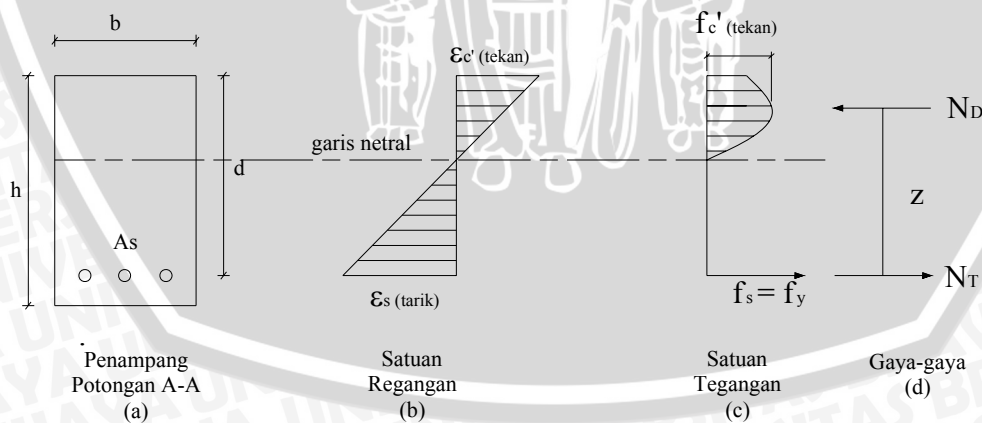


digunakan untuk menghitung tegangannya. Akan tetapi prinsip-prinsip dasar mengenai teori lentur masih dapat digunakan pada analisis penampang melintang balok beton bertulang. Jika balok ini direncanakan sedemikian rupa sehingga semua materialnya baik itu baja maupun beton mencapai kapasitasnya sebelum runtuh, ini berarti bahwa beton dan baja tersebut akan runtuh secara simultan pada kekuatan batas balok tercapai.

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 dan terjadi dimana distribusi tegangannya linier, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Ini terjadi jika tegangan maksimum yang timbul pada serat tarik masih cukup rendah, nilainya masih dibawah modulus rupture (modulus runtuh).

Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut, karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak, karena terputus-putus maka baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya.

Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antara keduanya, dimana tegangan beton akan membentuk kurva nonlinier.



Gambar 2.4 Distribusi Tegangan dan Regangan Pada Balok

Sumber : Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

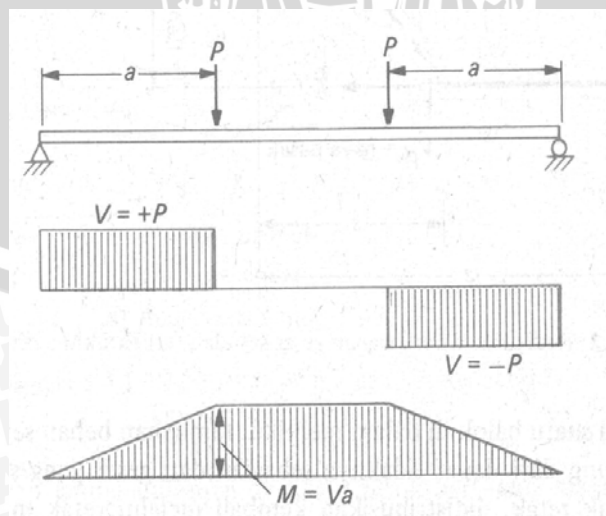
Pada gambar dapat dilihat bahwa distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada atau dekat keadaan pembebanan ultimit, dimana apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, balok mengalami hancur. Sampai dengan tahap ini, tampak bahwa tercapainya kapasitas ultimit merupakan proses yang tidak dapat berulang. Komponen struktur telah retak dan tulangan baja meluluh, mulur, terjadi lendutan besar, dan tidak dapat kembali ke panjang semula. Bila komponen lain dari system 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 untuk dapat terhindar dari keadaan tersebut, namun dengan menggunakan beberapa faktor aman maka tercapainya keadaan ultimit dapat diperhitungkan dan dikendalikan.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur.

Struktur balok yang dibebani dengan dua beban terpusat seperti pada gambar 2.5.a akan menghasilkan momen maksimum seperti yang ditunjukkan gambar 2.5 c.

Besarnya momen adalah

$$M = P \times a \dots\dots\dots(2-4)$$



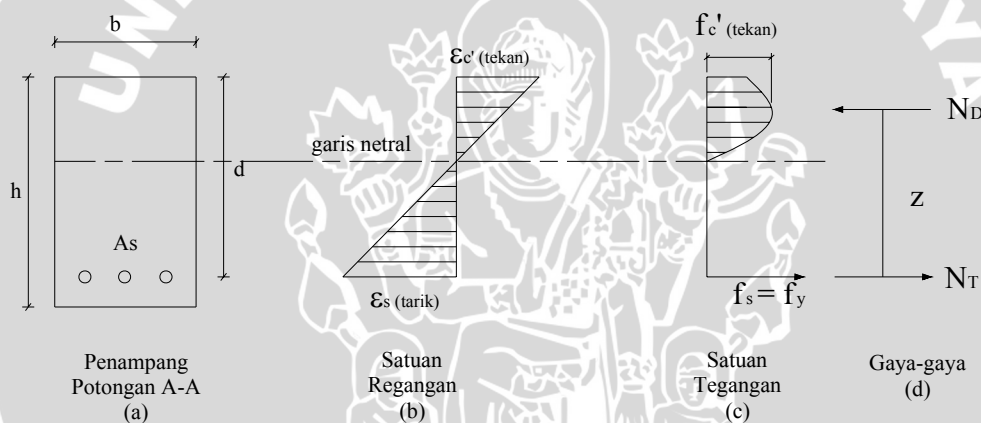
Gambar 2.5

- (a) Balok yang kedua ujungnya ditumpu sendi-rol dan dibebani dua beban terpusat serta
- (b) Diagram gaya lintang dan
- (c) Momen lentur

Sumber : Vis dan Gideon K. (1993 : 120)

2.7 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

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 actual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok

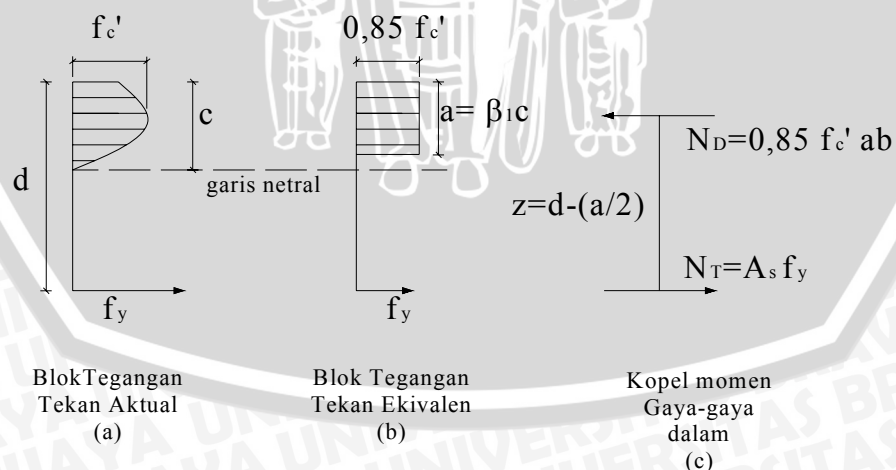


pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam paling tidak sama dengan momen lentur maksimum yang ditimbulkan oleh beban.

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 ekivalen yang sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

2.8 Blok Segiempat Ekivalen

Untuk tujuan penyederhanaan Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan tekan beton ekivalen. Standar SNI 03-2847-2002 pasal 10.2 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 ekivalen serta anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal M_n dari balok beton bertulang empat persegi bertulang tarik.



Gambar 2.7 Blok Tegangan Ekivalen 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 :

$$a = \beta c \quad (2-1)$$

Dimana, c = Jarak serat tekan terluar ke garis netral

β = Konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat tekan beton.

Standar SNI 03-2847-2002 menetapkan nilai β diambil 0,85 untuk $f_c' < 30$ MPa.

Untuk beton dengan nilai kuat tekan diatas 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 :

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

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

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

$$N_D = N_T \quad (2-5)$$

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

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

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

Dengan :

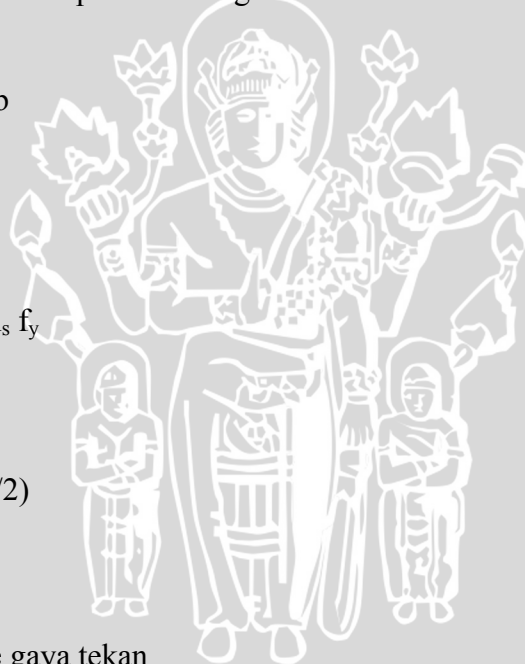
N_D = resultante gaya tekan

N_T = resultante gaya tarik

f_c' = tegangan tekan beton

f_y = tegangan luluh baja

M_n = momen nominal



2.9 Kebutuhan Tulangan Rangkap Untuk Balok

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 momen tahanan (M_R) lebih kecil daripada momen rencana (M_U), balok direncanakan dengan menggunakan tulangan rangkap.
2. Apabila dalam perencanaan suatu balok didapat nilai rasio penulangan (ρ) lebih besar dari batas nilai rasio penulangan maksimum (ρ_{maks}) maka jika hal ini yang dihadapi, SNI 03-2847-2002 pasal 10.3 ayat 4 memperbolehkan penampang tulangan tarik lebih dari batas nilai $\rho_{maksimum}$ bersamaan dengan penambahan tulangan baja didaerah tekan penampang balok disertai penambahan tulangan tarik secara bersamaan. Atau tulangan baja tarik dipasang didaerah tarik dan tulangan tekan dipasang didaerah tekan pada balok bertulangan rangkap.
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 dari penulangan tekan untuk mengendalikan lendutan adalah merupakan alasan yang umum dari penggunaan tulangan tekan bila digunakan metode kekuatan batas.

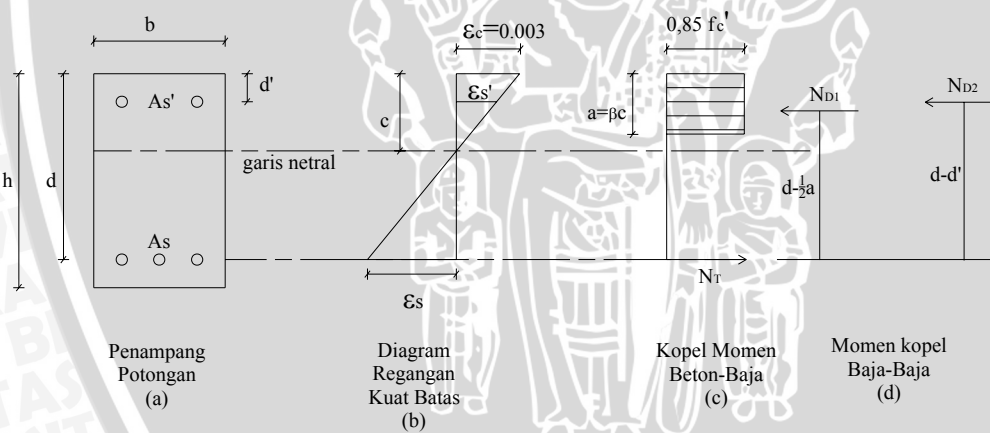
2.10 Analisis Kuat Lentur Balok Bertulang Rangkap

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 lelehnya (f_y), sedangkan bila regangan tekan baja yang terjadi kurang dari regangan luluhnya maka tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$
2. Apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi, ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi, regangan $\epsilon_s' < \epsilon_y$ (belum mencapai luluh).

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



Gambar 2.8 Analisa Balok Bertulang Rangkap

Sumber: Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo

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

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

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 seperti yang terlihat pada gambar 2.3. b.

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:

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

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

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

$$A_s f_y = (0,85 f'_c)ab + A_s' \cdot 0.003 \left(1 - \frac{\beta \cdot d'}{a}\right) E_s \quad (2-20)$$

Menghitung kuat momen tahanan ideal untuk masing-masing kopel :

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

Dari uraian diatas pada penampang balok persegi dengan penulangan tarik saja yang bertugas menahan tekanan adalah beton, sedangkan pada balok bertulang rangkap yang bertugas adalah beton bersama-sama dengan baja tekan. Penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 2.3. Pada bagian balok yang mengalami tekan, gaya desak akan diterima oleh beton dan baja tulangan. Berdasarkan rumus 2-21 Nilai N_{D2} dipengaruhi oleh besarnya luas tulangan. Dimana $N_{D2} = A_s' f_s'$, maka semakin besar luas tulangan tekan (A_s') nilai M_n totalnya akan semakin besar.

Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya kurang dari pada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan lemah. Keadaan batas penampang demikian akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas $\epsilon_c = 0,003$ 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 tulangnya berupa tulangan lemah karena keadaan ini menjamin kemampuan rotasi yang besar pada penampang-penampang kritis, dimana keruntuhan balok diawali oleh peringatan berupa lendutan yang semakin besar.

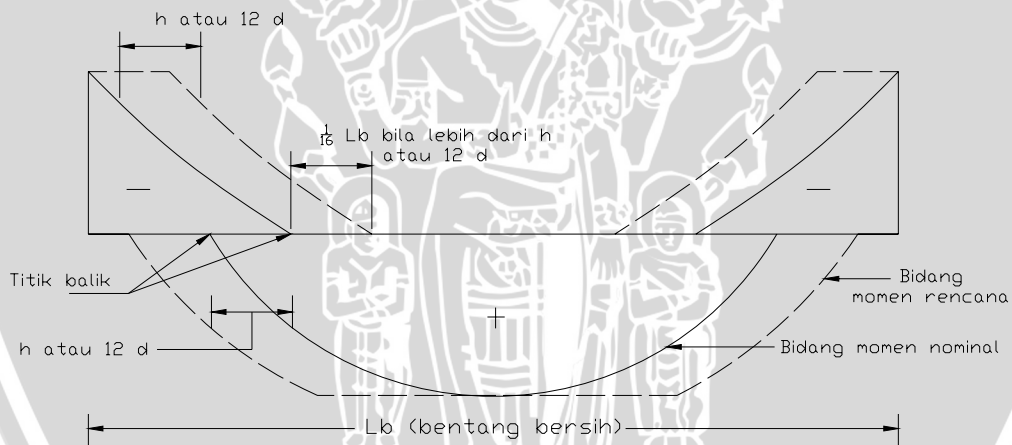
Suatu penampang balok yang mengalami lentur dan yang mempunyai tulangan yang jumlahnya lebih daripada yang diperlukan untuk mencapai keadaan seimbang batas, disebut penampang yang bertulangan kuat. Keadaan batas penampang demikian juga akan tercapai pada regangan tekan beton maksimum sebesar regangan batas $\epsilon_c = 0,003$, tetapi dengan regangan tarik baja tulangan ϵ_s yang belum mencapai regangan pada permulaan titik leleh ϵ_y . Penampang-penampang kritis demikian tidak memiliki kemampuan rotasi yang besar, sehingga kemampuan konstruksi untuk mengadakan redistribusi momen

dan gaya-gaya pada keadaan batas sangat terbatas, disertai dengan keruntuhan yang mendadak tanpa diawali oleh suatu peringatan.

2.11 Tulangan yang Diteruskan

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 batas diatas adalah untuk mengatasi akibat-akibat dari redistribusi tegangan-tegangan setelah terjadinya retak-retak miring disekitar tumpuan yang ekivalen 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. 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.

2.12 Hipotesis Penelitian

Dari uraian di atas maka dapat diambil hipotesis penelitian bahwa :

1. Kapasitas lentur balok yang terjadi akan bertambah dengan penambahan variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan masuk ke tumpuan.
2. Terdapat pengaruh yang semakin bertambah dari variasi prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan masuk ke tumpuan terhadap kapasitas lentur 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
- Satu set ayakan dengan *motorized dynamic sieve shaker*
- Proving ring (ring dial)
- Alat uji tekan
- Alat penguji slump (*kerucut abrams*)
- Dial gauge
- Alat perata
- Dongkrak hidrolis
- Microslap Detector
- Rangka pembebanan

b. Bahan yang diperlukan adalah :

- Semen Gresik type I
- Tulangan baja diameter 10 mm
- Tulangan baja diameter 8 mm
- Tulangan baja diameter 6 mm
- Agregat kasar (kerikil / batu pecah) dengan ukuran butiran maksimum 2 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 $\phi 6$ mm, $\phi 8$ mm, $\phi 10$ mm, untuk sengkang digunakan tulangan $\phi 6$ mm.

3.3.5 Agragat kasar

Agregat kasar berupa kerikil dari batu pecah, dengan ukuran maksimum butiran 2 cm.

3.4 Rancangan Penelitian

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

Benda uji	Balok Ukuran 20 x 25 x 120 cm				
	10%	20%	30%	40%	50%
% Luas Tulangan Lapangan yang masuk ke tumpuan	10%	20%	30%	40%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Tabel 3.1. Karakteristik Benda Uji

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. Perhitungan mix design.
4. Pembuatan cetakan beton (bekisting).
5. Pemasangan tulangan.
6. Pencampuran bahan beton dengan menggunakan mesin pencampur beton (*Concreting mixer*)
7. Memasukkan campuran adukan beton dalam bekisting.
8. Perawatan (curing).
9. Pelepasan bekisting.

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 :

$$\text{- Berat jenis curah} \quad : \quad \frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$$

$$\text{- Berat jenis jenuh kering permukaan} \quad : \quad \frac{500}{(B + 500 - B_t)}$$

$$\text{- Berat jenis semu} \quad : \quad \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$$

- 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 $\phi = 8$ mm, $\phi = 10$ mm untuk tulangan pokok dan $\phi = 6$ mm untuk sengkang.

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

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

dimana : l_o = panjang ukur benda uji, mm

A_{so} = luas penampang terkecil semula, mm^2

$k \rightarrow dp5 = 5.65$

$dp 10 = 11.3$

Parameter pengujian dihitung dengan rumus – rumus :

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

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

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

dimana: f_s = tegangan tarik putus, MPa

f_y = tegangan tarik leleh, MPa

P_{maks} = kuat tarik putus, N

A_{so} = luas penampang benda uji semula, mm^2

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 terpancing dengan ukuran

diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm. Pengukuran slump dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata – rata benda uji.

Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi : tinggi = 16 cm dan diameter = 8 cm.. Dengan masing – masing jumlah benda uji 3 buah.

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

dimana : P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm^2)

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

3.6 Balok Uji

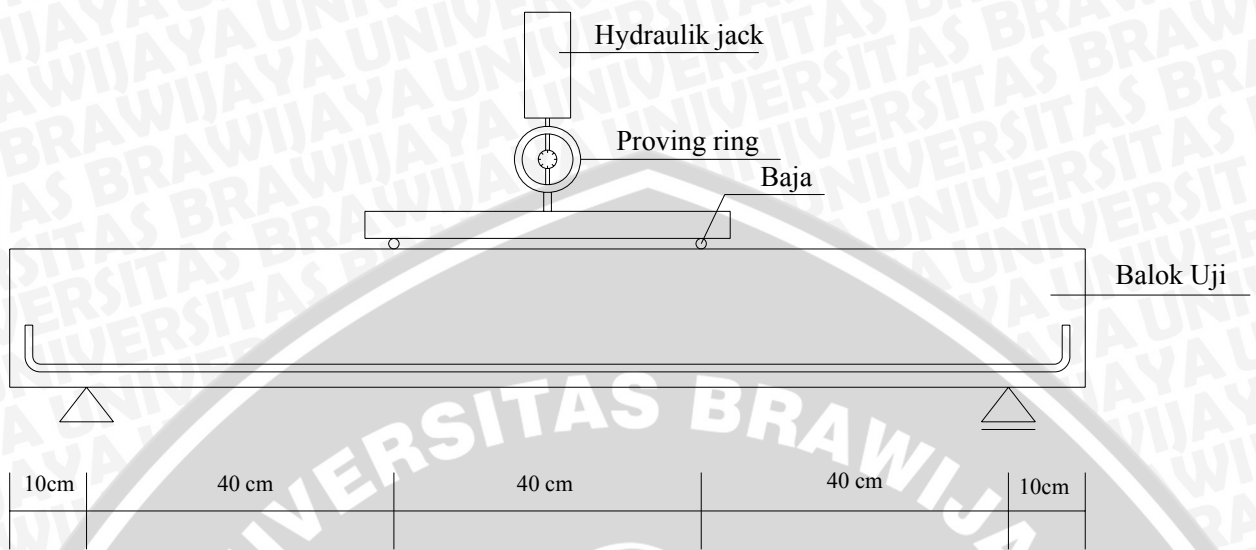
Prosentase	Luas tulangan tarik	Jenis Tulangan tarik	Luas tulangan yang masuk	Jenis tulangan yang masuk	Prosentase
10%	3,71	4Ø10 + 2Ø6	0,57	2Ø6	15,3%
20%	2,58	4Ø8 + 2Ø6	0,57	2Ø6	22%
30%	3,36	2Ø8 + 3Ø10	1,01	2Ø8	30,4%
40%	2,7	2Ø10 + 4Ø6	1,13	4Ø6	41,8%
50%	2,01	4Ø8	1,01	2Ø8	50%

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

3.7 Pengujian Balok

Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari sejak pengecoran. Balok kontrol adalah balok dengan prosentase tulangan 30%. Beban terpusat vertikal yang dikerjakan pada balok dikerjakan oleh pompa hidraulik. 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.

Pelaksanaan pengujian balok secara sederhana dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Pengujian kuat lentur balok

Langkah – langkah pengujiannya adalah :

1. Setelah dilakukan pengecoran dan pembongkaran bekisting, balok dicat warna putih dan diberi garis horizontal dan vertikal dengan ukuran $5 \times 5 \text{ cm}^2$ sepanjang bentang balok agar mudah dilakukan pengamatan dan penggambaran pola retak. Benda uji yang telah mencapai umur 28 hari yang ditentukan ditempatkan pada frame uji struktur kapasitas 25 ton dengan tumpuan sendi – rol pada kedua ujungnya. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan bantuan alat pompa hidrolik berkapasitas 25 ton.
2. Pemasangan dial dengan memasang jarum bacaan di bawah permukaan benda uji.
3. Pemasangan alat proving ring dengan kapasitas 25 ton di atas benda uji dengan posisi di pusat massa benda uji.
4. Penambahan beban dilakukan berangsur-angsur sampai benda uji mengalami perubahan bentuk (runtuh). Penambahan beban dibaca pada proving ring, lendutan balok dibaca pada alat dial gauge. Pengamatan pola retak dengan menggunakan alat *mikroslap crack detector*, beban saat terjadi retak lentur awal, beban saat terjadi retak miring awal dan beban maksimum yang dapat didukung oleh benda uji.

5. 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 (P_{cr}) sampai benda uji mengalami keruntuhan (P_{runtuh}).

3.8 Analisis Data

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

$$M_{maks} \text{ Lapangan} = 1/6 \cdot P_{maks} \cdot L \quad (3-1)$$

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

Pengujian hipotesis merupakan salah satu bagian yang terpenting dari teknik pengambilan keputusan untuk mengetahui apakah suatu pernyataan benar atau salah. Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian benda uji, kemudian diolah dan dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Dari hasil penelitian yang diperoleh dari pengujian balok uji dianalisis menurut prosedur analisis statistik. Perhitungan dilakukan dengan bantuan program computer *SPSS 12* : analisa anova *single factor*.

Untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh variasi tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan 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* α

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} , $JK_{antargrup}$, $JK_{dalam grup}$

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

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

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

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

Tabel 3.3. Analisis ragam untuk klasifikasi satu arah

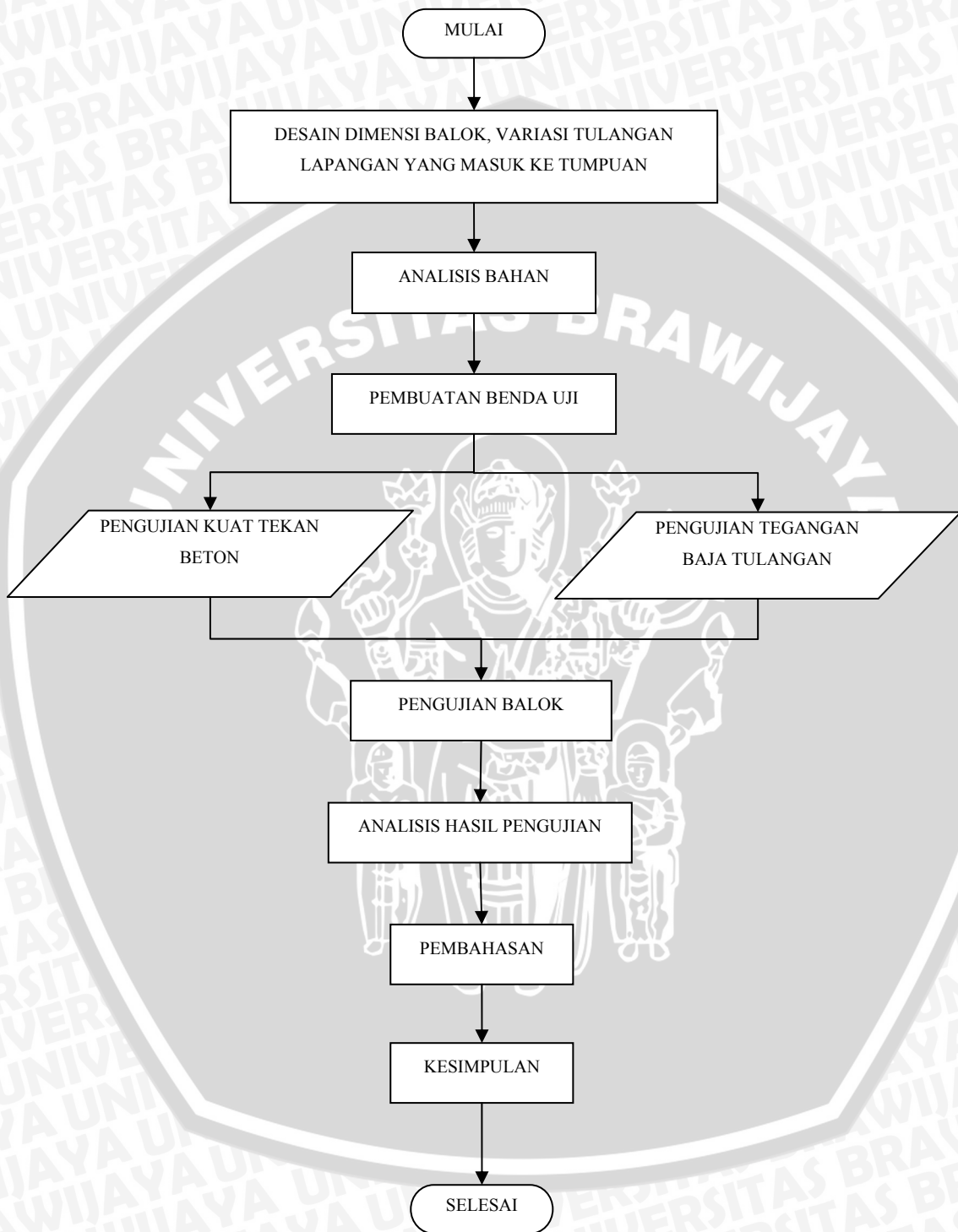
e. Menentukan F_{tabel}

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

Dari hasil analisis akan didapat nilai F_{hitung} yang akan dibandingkan dengan F_{tabel} dengan derajat bebas yang sesuai dengan nilai α tertentu. Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti tolak H_0 artinya, ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan (tekan) yang

diteruskan ke lapangan, dan jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ berarti terima H_0 artinya, tidak ada pengaruh dari variasi prosentase luas tulangan tumpuan yang diteruskan ke lapangan.

3.9 Diagram Alir Penelitian

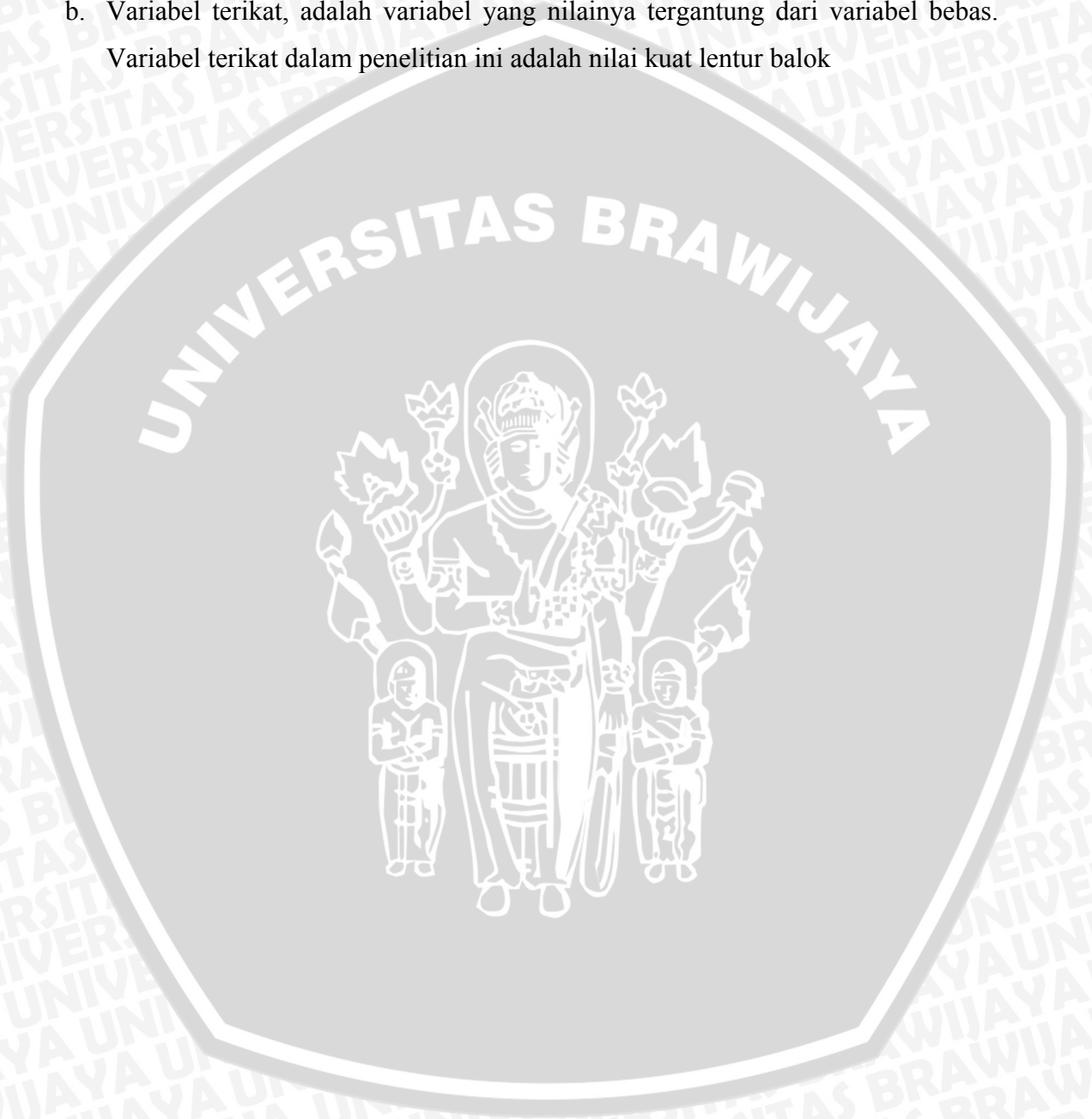


Gambar 3.2. Diagram Pengerjaan Penelitian

3.10 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 masuk ke tumpuan.
- b. Variabel terikat, adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat lentur balok





BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang

4.1.1 Agregat Halus :

Agregat Halus yang digunakan adalah pasir sungai dari wilayah Malang. Pada pengujian agregat halus ini meliputi analisa ayakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan analisa berat jenis untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus. Syarat agregat halus yang baik

- a. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat kering. Lumpur artinya bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur melampaui 5%, maka agregat halus harus dicuci.
- b. Gradasi agregat :
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80% dan 95% berat.
- c. Modulus kehalusan (fineness modulus) = 2,3-3,1 (ASTM C 35-37)

Dari hasil pengujian ini dihasilkan :

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%

Dari grafik, masuk ke dalam zona : 2

Data dan perhitungan terperinci dapat dilihat pada lampiran

4.1.2 Agregat Kasar :

Pada pengujian agregat kasar ini digunakan kerikil alam yang ditambang dari daerah sekitar Malang. Ukuran butiran maksimum yang digunakan adalah 20 mm. Pada pengujian agregat kasar ini meliputi analisa ayakan untuk mengetahui pembagian

butiran dan ukuran maksimum butiran agregat kasar serta analisa berat jenis untuk mengetahui berat dan absorpsi (penyerapan) dari agregat kasar. Syarat agregat kasar yang baik :

- a. Tidak mengandung Lumpur lebih dari 1% terhadap berat kering. Lumpur artinya bagian-bagian yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila kadar Lumpur melampaui 1%, maka agregat halus harus dicuci.
- b. Gradasi agregat :
 - Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus minimum 0% berat.
 - Sisa di atas ayakan 4mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
 - Selisih antara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.
- c. Modulus kehalusan (fineness modulus) = 7,49-9,55 (ASTM C 35-37)

Dari hasil pengujian ini dihasilkan :

Tabel 4.2. Hasil pengujian agregat kasar

Keterangan	Hasil Pengujian
Modulus Kehalusan Kerikil	8.4487
Berat Jenis Curah	2.634
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2.71
Berat Jenis Semu	2.851
Penyerapan (%)	2.90%

Data, grafik dan perhitungan terperinci dapat dilihat pada lampiran

4.1.3 Semen :

Dalam penelitian ini semen yang digunakan adalah PC type 1 produksi PT. Semen Gresik yang umum digunakan pada lapangan sehingga tidak diperlukan pengujian lebih lanjut mengenai semen.

4.1.4 Air :

Air yang digunakan adalah air PDAM yang tersedia di laboratorium sehingga tidak diperlukan pengujian lebih lanjut mengenai kualitas air.

4.1.5 Baja Tulangan :

Pemeriksaan tegangan leleh tarik baja dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Unibraw. Nilai tegangan leleh (f_y) diperoleh melalui perhitungan dan

pembacaan grafik uji tarik. Adapun grafik dan perhitungan uji tarik dapat dilihat pada lampiran 4. Prosedur pengujian berdasarkan pada SNI M-104-1990-03.

Tabel 4.3. Hasil pengujian kuat tarik baja

Diameter (mm)	No	Tegangan leleh (f_y) (MPa)	f_y rata – rata (MPa)
6	1	329.72	306.17
	2	306.17	
	3	282.62	
8	1	311.04	316.22
	2	342.14	
	3	295.48	
10	1	318.47	325.10
	2	338.37	
	3	318.47	

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

Setelah dilakukan uji homogenitas atau kergaman varians tegangan leleh baja menunjukkan bahwa tegangan leleh baja mempunyai nilai yang seragam atau homogen atau tidak terdapat perbedaan yang terlalu mencolok. Tegangan leleh (f_y) yang digunakan adalah rata-rata tegangan baja tulangan (f_y) dari ketiga jenis diameter tulangan di atas, yaitu sebesar 315.83 MPa yang nantinya akan digunakan pada saat menghitung kapasitas lentur .

4.2 Pengujian Beton Segar :

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Pengujian slump menggunakan alat ukur kerucut abrams, yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan dan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan beton (workability). Setelah dilakukan pengujian hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil pengujian Slump

Balok uji	Nilai slump (cm)
15,3%	15
15,3%	14
15,3%	15
22 %	13
22 %	12
22 %	14
30,4%	13
30,4%	13
30,4%	15
41,8 %	14
41,8 %	14
41,8 %	14
50%	14
50%	13
50%	12

Sumber :hasil pengujian di laboratorium

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

4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton :

Pengujian kuat tekan beton adalah dengan uji tekan beton setelah beton berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30cm. Dalam setiap variasi prosentase penulangan diambil sample silinder masing-masing 3 buah.

Hasil Pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder

Prosentase Benda uji	Luas penampang (cm ²)	Berat (Kg)	Umur (Hari)	Kuat tekan (kg/cm ²)	f'c Rata – rata (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	

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

Setelah dilakukan uji statistik tentang homogenitas atau keragaman varians menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian adalah seragam atau tidak terdapat perbedaan yang terlalu mencolok. Dari uji statistik didapatkan kuat tekan beton (f'c) rata-rata adalah 334.0773 kg/cm²

4.4 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton :

Pengujian dilakukan pada rangka pembebanan (loading frame) dengan kondisi tumpuan adalah sendi-roll. Pembebanan dilakukan dengan 2 beban terpusat masing-masing pada jarak 40 cm dan 80 cm dari as balok, sedangkan jarak dari as ke as balok sebesar 120 cm. Benda uji balok mempunyai dimensi yang sama untuk setiap prosentase yaitu 20x25x140 cm yang dibagi ke dalam 5 golongan yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.6 sebagai berikut :

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

Benda uji	Balok ukuran 20 x 25 x 140 cm				
	10%	20%	30%	40%	50%
Rencana	10%	20%	30%	40%	50%
Aktual	15,3%	22%	30,4%	41,8%	50%
Jumlah benda uji	3	3	3	3	3
Total benda uji	15				

Sumber : Hasil perhitungan

Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari untuk mendapatkan kekuatan beton yang optimal. Pengujian balok ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas nominal beban (P_n) pada balok dengan melakukan pembebanan secara bertahap sampai balok itu mengalami keruntuhan. Dari pengujian ini akan didapatkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh balok sehingga nantinya dapat diperhitungkan kapasitas lentur yang terjadi. Balok uji dengan prosentase 30% adalah balok control. Hasil pengujian balok uji dapat dilihat pada tabel 4.7, untuk hasil pengujian yang selengkapny dapat dilihat pada bagian Lampiran.

4.5 Kapasitas Dukung Beban Maksimum Balok Uji :

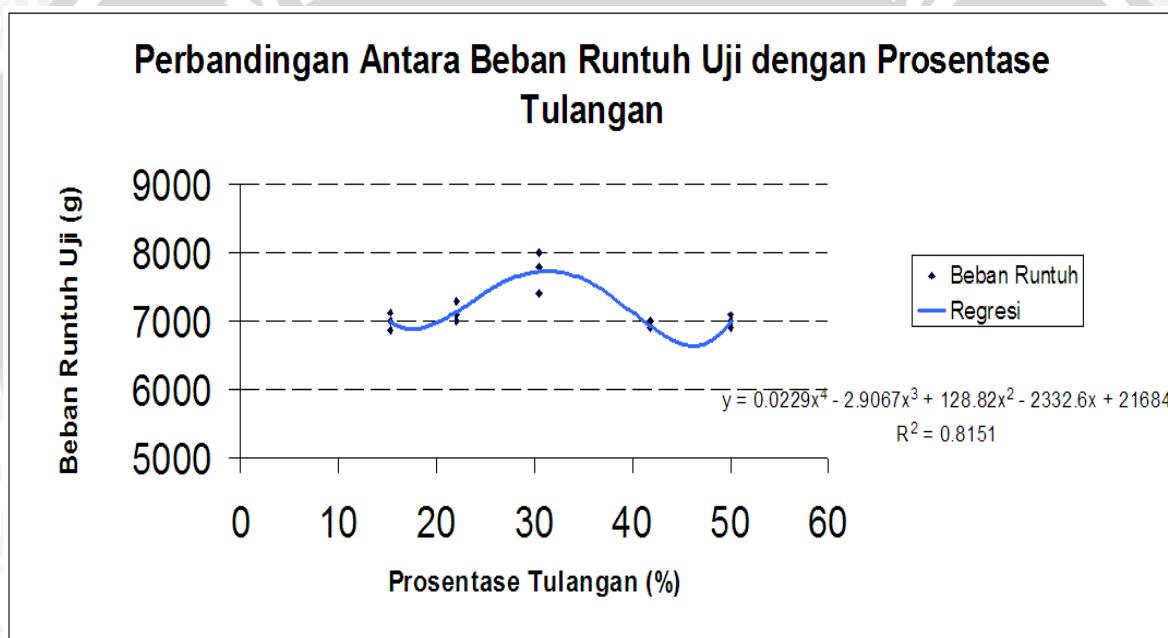
Nilai beban runtuh hasil dari pengujian balok pada prosentase 15,3%, 22%, 30,4%, 41,8% dan 50% dapat diperlihatkan pada tabel 4.7. sebagai berikut :

Tabel 4.7. Nilai P_n hasil pengujian

No Benda Uji	P_n Uji (Kg)	P_n Uji rata-rata (Kg)
15,3 % (1)	6996	6996
15,3 % (2)	7128	
15,3 % (3)	6864	
22 % (1)	7100	7133,33
22 % (2)	7300	
22 % (3)	7000	

30,4 % (1)	7400	7733,33
30,4 % (2)	8000	
30,4 % (3)	7800	
41,8 % (1)	7000	6933,33
41,8 % (2)	6900	
41,8 % (3)	6900	
50 % (1)	7000	7000
50 % (2)	6900	
50 % (3)	7100	

Sumber : Hasil penelitian



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Uji

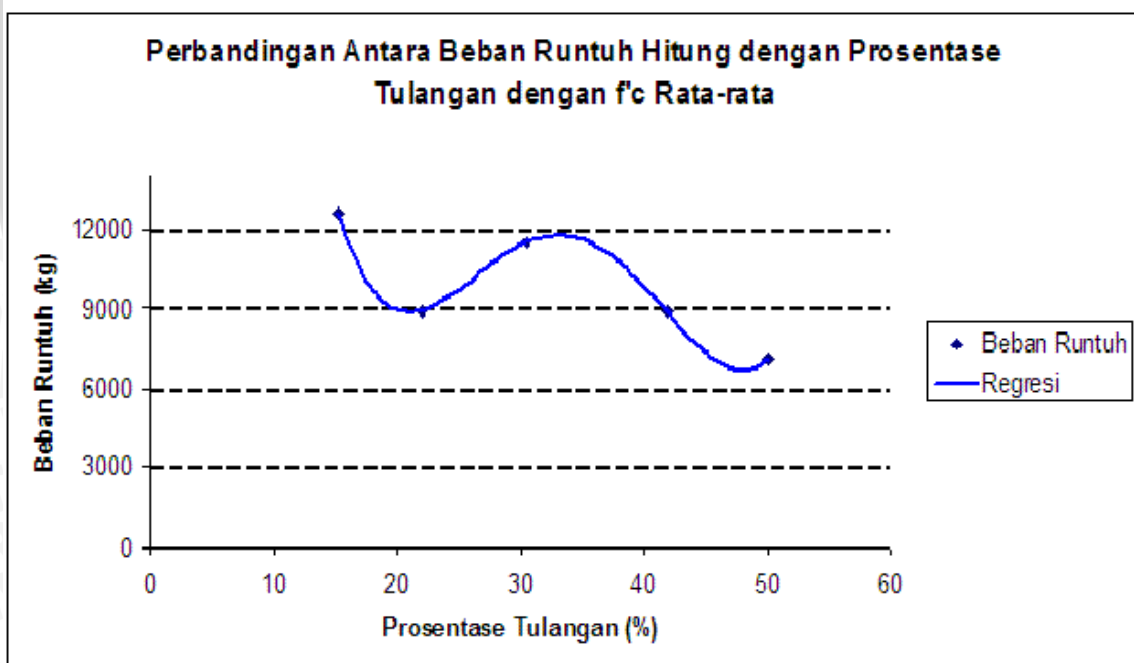
Grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara perhitungan diambil dari data perhitungan analisa penampang balok dengan tulangan rangkap, sedangkan grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan secara aktual diambil dari data pengujian yang telah dilakukan. Pada perhitungan dipakai data mutu beton bervariasi berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton silinder, dan data tegangan leleh yang didapatkan dari

pengujian. Perhitungan yang dipakai adalah dari kuat tekan beton rata-rata. 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' hasil pengujian di Lab.

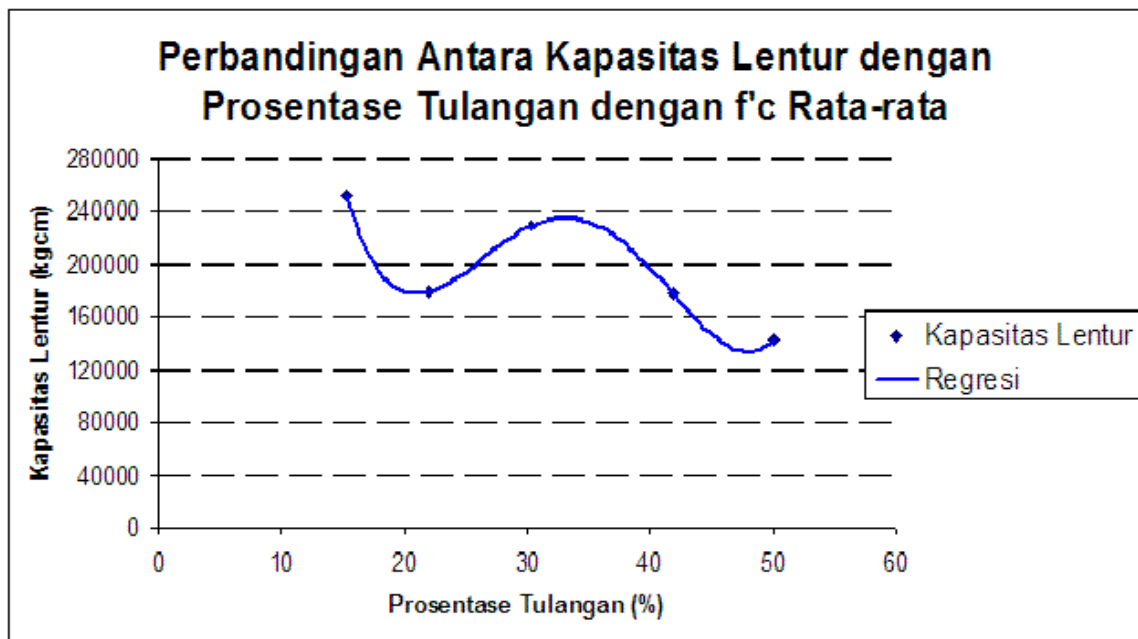
No	Benda uji	Mn Perhitungan (KgcM)	Pn Perhitungan (Kg)
1	15,3%	251584,76	12579,23
2	22%	178225,8	8911,3
3	30,4%	229337,14	11466,86
4	41,8%	177689,56	8884,48
5	50%	141768,43	7088,42

Sumber : Hasil perhitungan



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Pn Perhitungan dengan f_c' rata-rata = 33,408 Mpa



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.3. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Perhitungan dengan f_c' rata-rata = 33,048MPa

4.6 Kapasitas Lentur Balok Uji :

Kapasitas lentur balok pada gelagar sederhana dengan kondisi tumpuan sendi-roll dan 2 beban terpusat dapat dicari dengan rumus :

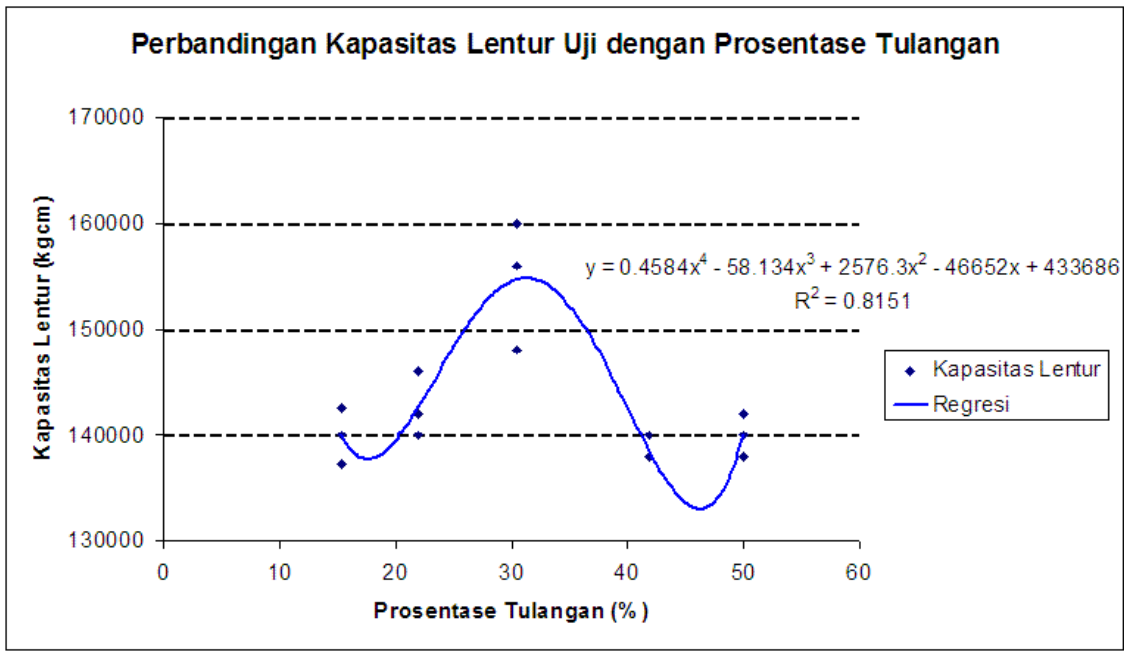
$$M_{maks} = \frac{PL}{6} \quad (4-1)$$

P yang digunakan adalah P yang didapat dari hasil pengujian, yakni P_n Uji, sedangkan L adalah panjang bentang/panjang dari balok yakni 120 cm. Pada pengujian ini yang akan digunakan baik pada M_n perhitungan maupun M_n uji adalah M_n yang terjadi di lapangan. M_n perhitungan didapatkan melalui perhitungan analisa penampang dari balok uji. Perhitungan 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 4-1 dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9. Perbandingan Mn Perhitungan (f^c dan f_y hasil pengujian Lab) dan Mn Uji

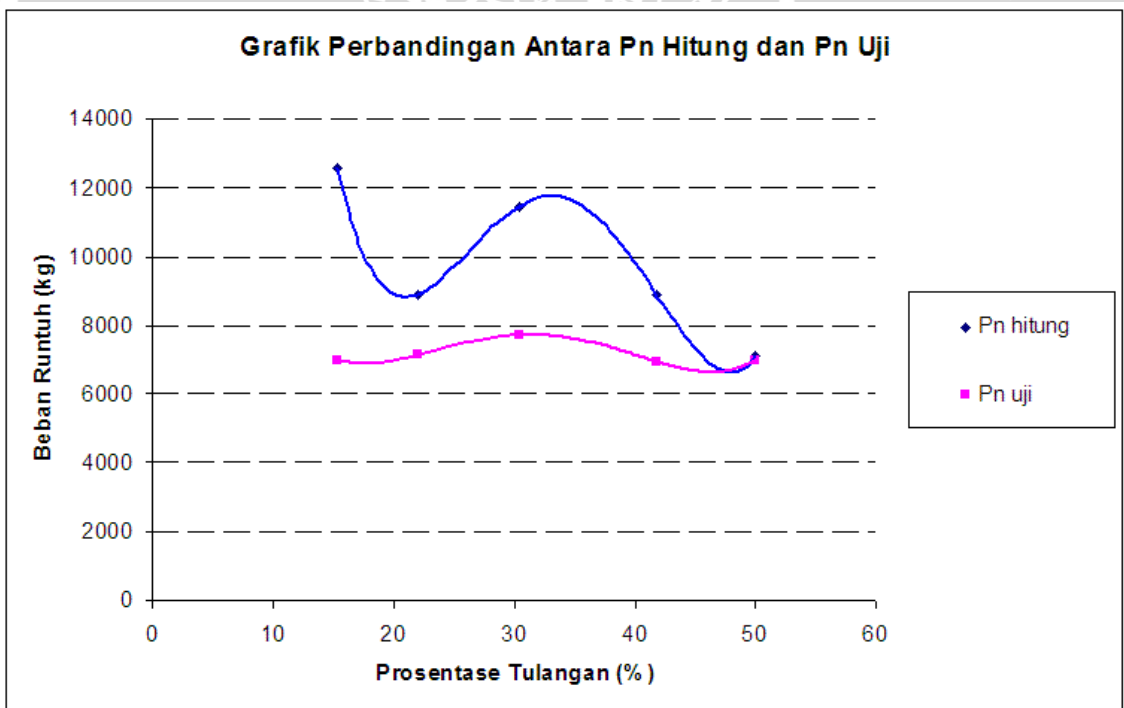
No Benda Uji	Mn Perhitungan (Kgcm)	Pn Uji (Kg)	Mn Uji (Kgcm)	Mn Uji rata-rata (Kgcm)
15,3 % (1)	251584,76	6996	139920	139920
15,3 % (2)		7128	142560	
15,3 % (3)		6864	137280	
22 % (1)	178225,8	7100	142000	142666,667
22 % (2)		7300	146000	
22 % (3)		7000	140000	
30,4 % (1)	229337,14	7400	148000	154666,667
30,4 % (2)		8000	160000	
30,4 % (3)		7800	156000	
41,8 % (1)	177689,56	7000	140000	138666,667
41,8 % (2)		6900	138000	
41,8 % (3)		6900	138000	
50 % (1)	141768,43	7000	140000	140000
50 % (2)		6900	138000	
55 % (3)		7100	142000	

Sumber : Hasil penelitian dan perhitungan



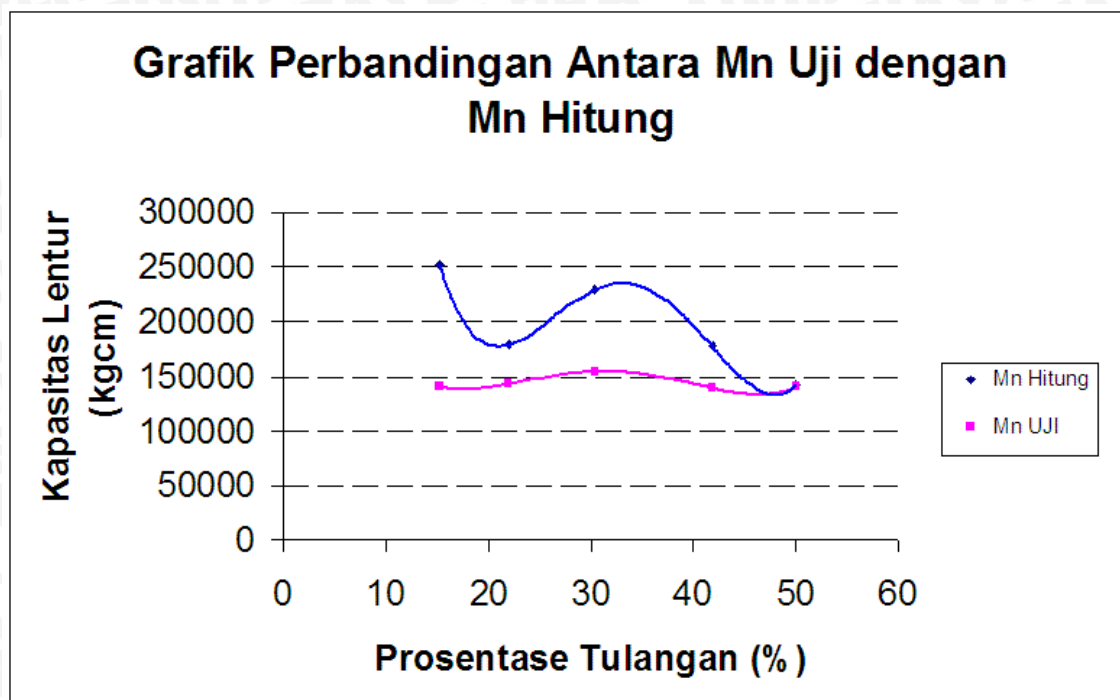
Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn Uji (Orde 4)



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.5. Grafik Perbandingan Antara Beban Runtuh Hitung (Pn Hitung) dengan Beban Runtuh Uji (Pn Uji)



Sumber Grafik : Hasil perhitungan

Gambar 4.6. Grafik Perbandingan Antara Kapasitas Lentur Hitung (Mn Hitung) dengan Kapasitas Lentur Uji (Mn Uji)

Grafik perbandingan prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan diatas menunjukkan hasil regresi dari data-data kapasitas lentur yang terjadi. Analisa regresi yang digunakan adalah analisa regresi linear, kuadratic, dan polynomial orde 3, orde 4. Alasan digunakannya analisa regresi yang berbeda-beda ini adalah untuk mencari nilai R^2 yang paling mendekati 1, dimana nilai R^2 menunjukkan keakuratan dari grafik tersebut yang artinya nilai R^2 yang paling mendekati 1 berarti grafik tersebut semakin akurat dengan penyebaran data yang ada. Dari hasil perhitungan didapatkan untuk orde 3 nilai $R^2 = 0,4677$ sedangkan hasil regresi untuk orde 4 didapatkan nilai R^2 sebesar 0,8151 sedangkan untuk regresi linier didapatkan nilai $R^2 = 0,0213$ serta untuk regresi kuadratic sebesar 0,3707. Sehingga grafik yang digunakan sebagai hasil regresi dari data-data kapasitas lentur tersebut adalah grafik regresi polynomial orde 4 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 rentang 30 % - 31 %. Nilai tersebut sesuai dengan yang disyaratkan yaitu bahwa luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan paling sedikit sepertiga dari luas tulangan total di lapangan atau 30 %.

4.7. Pembahasan

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

4.7.1. 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 lapangan yang diteruskan ke tumpuan 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 lapangan yang diteruskan ke tumpuan.

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

Dari analisis data kapasitas lentur didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.10. Analisis Statistik Anova Satu Arah

	Sum of Squares	df	Mean Square	Fhitung	Ftabel	Sig.
Between Groups	519951360.000	4	129987840.000	11.022	3.48	.001
Within Groups	117939200.000	10	11793920.000			
Total	637890560.000	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 dari variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap kapasitas lentur balok. Pada Grafik perbandingan prosentase tulangan dengan M_n perhitungan dan M_n Uji (gambar 4.7) dapat dilihat kemiripan bahwa pada saat variasi 30,4 % terjadi kenaikan nilai dari kapasitas lentur. Tetapi pada prosentse 15,3 % terjadi perbedaan nilai kapaitas lentur

yang signifikan antara Mn perhitungan dengan Mn Uji, ini bisa disebabkan karena kesalahan manusia baik itu dalam pengerjaan benda uji, perawatan maupun pada kesalahan pada saat pengujian benda uji

4.7.2. Pembahasan Penelitian

Pemasangan balok uji pada loading frame dikondisikan sebagai gelagar sederhana dengan kondisi tumpuan sendi-roll. Penggunaan 2 beban terpusat ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kapasitas lentur murni di lapangan. Pengujian dilakukan pada 2 tempat yang berbeda menghasilkan skala beban pada proving ring yang berbeda pula. Retak yang terjadi pada saat penelitian umumnya adalah retak lentur geser, sedangkan perencanaan yang dilakukan adalah nantinya pada balok akan terjadi runtuh adalah retak lentur, padahal pada perencanaan juga melakukan perkuatan untuk mengurangi geser dengan pemasangan sengkang dengan jarak 10 cm pada daerah yang terjadi gaya geser paling besar. (pada daerah $1/3 L$ dari ujung-ujung tumpuan). Hal ini bisa disebabkan karena adanya kesalahan manusia baik itu dalam proses perencanaan benda uji maupun pengujian benda uji.

4.7.3. Pembahasan Kapasitas Lentur Balok

Pada perencanaan balok uji ini digunakan metode ultimit yaitu kondisi balok dalam keadaan batas runtuh. Pada pengujian ini didapatkan nilai P_n Uji rata-rata masing-masing prosentase baik itu 15,3%, 22%, 41,8% dan 50% yang bervariasi dan menunjukkan adanya peningkatan maupun penurunan nilai beban runtuh (P_n). Dikarenakan adanya variasi nilai beban runtuh (P_n) pada masing-masing prosentase maka hal yang sama juga berlaku pada nilai kapasitas lentur (M_n). Hasil perhitungan kapasitas lentur pada balok dalam tiap-tiap prosentase dibandingkan dengan prosentase luas tulangan 30,4 % sesuai dengan persyaratan dan tujuan awal dari penelitian ini. Peningkatan ataupun penurunan kapasitas lentur (M_n) dibanding terhadap prosentase luas tulangan 30,4 % dapat dilihat di tabel 4.11 sebagai berikut :

Tabel 4.11. Prosentase Penurunan Mn Uji

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Penurunann Mn terhadap balok 30,4 % (%)
1	15,3%	-10.53935582
2	22%	-8.411214953
3	30,4%	0
4	41,8%	-11.53846154
5	50%	-10.47619048

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan melihat hasil dai **Tabel 4.11** dapat diketahui bahwa tidak terdapat peningkatan kapasitas lentur walaupun sudah ada peningkatan maupun penurunan luas tulangan tarik terhadap tulangan lapangan. Pada prosentase 15,3 % terjadi penurunan nilai kapasitas lentur sebesar 10,539 % terhadap prosentase 30,4 %, sedangkan untuk prosentase 22%; 41,8 %; dan 50 % terjadi penurunan masing-masing sebesar 8,41 %; 11,538 %; dan 10,476 %.Adanya penurunan kapasitas lentur selain disebabkan oleh jumlah luas tulangan tarik yang berbeda-beda 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.

Dari grafik hasil regresi didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$y = 0,458x^4 - 58,134 x^3 + 2576,3 x^2 - 46652x + 433686 \quad (4-2)$$

dengan :

y = kapasitas lentur (Kgcm)

x = prosentase tulangan (%)

Dengan Persamaan (4-3) akan dihitung besar variasi prosentase tulangan yang benar-benar paling efisien agar didapatkan nilai kapasitas lentur yang paling besar. Perhitungan didasarkan pada nilai kapasitas lentur yang paling besar yaitu pada prosentase 30,4%, dimana akan diambil nilai prosentase yang sedikit lebih kecil dan sedikit lebih besar dari prosentase 30,4 % dengan interval prosentase 1 %. Hasil perhitungan nilai kapasitas lentur dengan persamaan (4-2) dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.12. Perbandingan Prosentase Tulangan dengan Mn

Prosentase Tulangan (%)	Mn (Kgcm)
28	152604.08
29	153550.872
30.4	154299.879
31	154400.924
32	154266.096
33	153750.96

Tabel 4.13. Prosentase Peningkatan atau Penurunan Mn terhadap 30.4 %

Prosentase Tulangan (%)	Peningkatan atau Penurunan Mn terhadap 30.4% (%)
28	-1.111240924
29	-0.487790775
30.4	0
31	0.065443268
32	-0.021899166
33	-0.357018251

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 0,0654 %. Sedangkan untuk prosentase yang lain terjadi penurunan yaitu pada prosentase 28 %, 29 %, 32 % dan 33 %. 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. Jadi dengan adanya penambahan tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan akan meningkatkan nilai kapasitas lentur balok, dimana prosentase optimum terjadi pada rentang 30% sampai dengan 31%, sehingga ini sesuai dengan hipotesis yang ada bahwa terdapat pengaruh dari variasi prosentase tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap kapasitas lentur yang terjadi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Kapasitas lentur maksimum yang paling besar terjadi pada balok dengan prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan sebesar 30,4 %. Terjadi penurunan nilai kapasitas lentur baik itu dengan penambahan maupun pengurangan prosentase luas tulangan lapangan yang diteruskan ke tumpuan terhadap prosentase luas tulangan 30,4 %.

No	Benda uji dengan prosentase tulangan	Kapasitas Lentur (Mnuji) Kgcm	Penurunann Mn terhadap balok 30,4 % (%)
1	15,3%	139920	-10.53935582
2	22%	142666,667	-8.411214953
3	30,4%	154666,667	0
4	41,8%	138666,667	-11.53846154
5	50%	140000	-10.47619048

2. Dari hasil perhitungan didapatkan kapasitas lentur paling maksimum adalah pada prosentase tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan sebesar 30,4% - 31%.Sedagkan dari hasil pengujian statistik didapatkan adanya pengaruh variasi prosentase luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan terhadap kapasitas lentur balok, sehingga dapat dikatakan dengan variasi luas tulangan lapangan yang masuk ke tumpuan yang berbeda akan dihasilkan nilai kapasitas lentur yang berbeda pula.

5.2. Saran

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

1. Perlu adanya perawatan dan pengendalian kualitas terhadap kondisi dari alat-alat percobaan yang ada di laboratorium baik itu mengenai alat untuk perawatan beton maupun alat untuk pengujian beton, sehingga alat tetap berada dalam kondisi yang baik.
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 sebaiknya dipasang *strain gauge* untuk mengetahui secara pasti pada saat beton runtuh apakah keruntuhan karena leleh pada tulangan baja (*under reinforced*) yang diikuti oleh hancurnya beton atau beton hancur terlebih dahulu yang diikuti lelehnya tulangan baja (*over reinforced*).



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.

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.