

TUGAS AKHIR
PERBAIKAN BALOK DENGAN METODE
PERBESARAN DIMENSI DAN PENAMBAHAN
TULANGAN LENTUR

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Srata Satu (S1) Teknik Sipil**

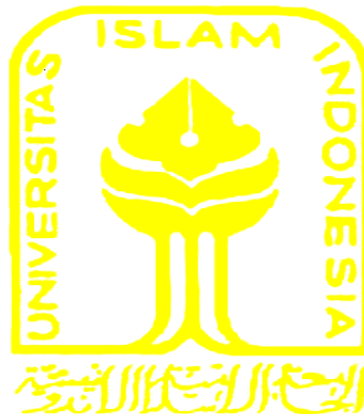


DODY SURYONO
03 511 084

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2009

TUGAS AKHIR
PERBAIKAN BALOK DENGAN METODE
PERBESARAN DIMENSI DAN PENAMBAHAN
TULANGAN LENTUR

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Srata Satu (S1) Teknik Sipil



Disusun Oleh:

DODY SURYONO
03 511 084

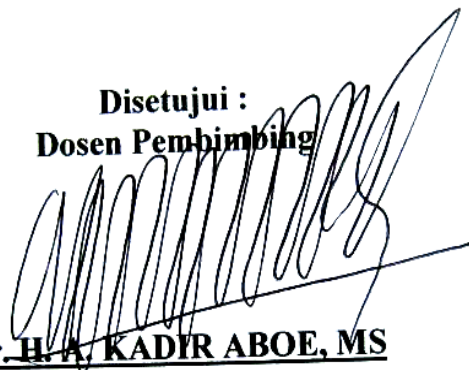
Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. FAISOL AM, MS

Tanggal : 15.4.2010

Disetujui :
Dosen Pembimbing



Ir. H. A. KADIR ABOE, MS

Tanggal : 14/ - 2010
04

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya
kupersembahkan Laporan Tugas Akhir ini kepada:*

- ~ Orang Tuaku yang senantiasa mendoakanku*
- ~ Calon Istri dan Anak-Anakku yang kelak
akan mengisi hari-hariku*
- ~ Para pembaca yang haus akan ilmu*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **PERBAIKAN BALOK DENGAN METODE PERBESARAN DIMENSI DAN PENAMBAHAN TULANGAN LENTUR** ini dengan baik, shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan besar kita Rasulullah SAW dan semoga kebaikan selalu dilimpahkan kepada umatnya hingga akhir jaman.

Tugas akhir ini dilakukan guna melengkapi salah satu syarat untuk mencapai derajat kesarjanaan (S1) di jurusan Teknik Sipil, FTSP Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian laporan ini penyusun telah banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, atas anugerah-Nya yang telah melapangkan hati dan pikiran serta memberi kemudahan bagi penulis hingga terselesaikanya laporan tugas akhir ini.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menunjukkan jalan yang lurus kepada seluruh umat manusia.
3. Bapak Dr. Ir. Ruzardi, MS selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Ir. Faisol, AM. MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. A. Kadir Aboe, MT, selaku dosen pembimbing yang penuh kesabaran dan keikhlasan dalam menuangkan waktunya untuk membimbing penulis, serta telah memberikan banyak sekali ide-ide dasar dan ilmu pengetahuan yang bermanfaat hingga selesainya tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT dan Ir. Muchamad Samsudin, MT selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk menghadiri presentasi skripsi penulis.
8. Bapak dan Ibu tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat dan dukungan baik moril maupun materil.
9. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (Pak Warno), Laboratorium Struktur (Mas Aris) dan seluruh lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
10. Rekan-rekan seperjuangan: Moko, Ade, Rangga, Hendra, Herbanu, Pipit, dan Dafi ('06) serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberikan bantuan ide-ide, dukungan dan tenaganya.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran dari pembaca. Namun penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagai tambahan pustaka serta menjadi sumber ide-ide bagi peneliti yang akan datang. Amin.

Wabillahi taufik walhidayah

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 30 Januari 2010

Penulis

ABSTRAKSI

Sebagai salah satu elemen struktur utama dari bangunan gedung, balok mempunyai fungsi menahan momen lentur akibat beban vertikal. Beban vertikal yang didukung meliputi beban plat, berat tembok dan berat balok itu sendiri. Pada saat tertentu element struktur utama dapat mengalami kerusakan atau pengurangan daya dukungnya. Saat-saat tersebut dapat diakibatkan oleh gempa bumi atau penambahan beban yang melebihi kapasitas daya dukung,

Pada saat balok mengalami kerusakan, kapasitas daya dukung balok mengalami penurunan. Karena itu untuk mengembalikan kekuatan balok seperti semula atau bahkan lebih, suatu langkah-langkah perbaikan balok dibutuhkan. Perbesaran dimensi balok dengan penambahan tulangan lentur baja merupakan salah satu bentuk usaha perbaikan balok.

Pada penelitian ini dibuat benda uji balok beton bertulang sebanyak 3 buah dengan tipe tulangan sebelah. Percobaan pertama dibuat 3 buah balok dengan penampang balok memiliki ukuran lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 200 mm dan panjang balok (L) = 1600 mm. Setelah balok di uji dan mengalami kerusakan, dibuatlah perbaikan dengan menambah tinggi balok 80 mm sehingga dimensinya kini menjadi lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 280 mm dan panjang balok (L) = 1600 mm. Direncanakan balok awal mempunyai mutu beton 20 MPa, sedangkan balok perbaikan mempunyai mutu beton 25 MPa.

Data dari pengujian yang diperoleh adalah beban retak awal, lendutan tegangan lentur dan momen lentur. Dan setelah dianalisis diperoleh hasil balok mengalami penambahan kekuatan dalam menahan retak awal akibat pembebanan sebesar 85,71%, kekuatan dalam menahan lendutan meningkat sebesar 46,6%, tegangan lenturnya naik menjadi 39,71% dan terakhir kapasitas penampang balok meningkat sebesar 172%.

Kata kunci : Kerusakan balok, tulangan sebelah, perbaikan balok.

ABSTRACTION

As one of structure elemental of building, beam have function like to hold back torque by consequence vertical load. Meanwhile, structure elemental sometimes can damage or decrease it strength. It can be done by earthquake or overload.

If sometimes beam of structure damage, we need something to construct it's condition to recover it strength. One method we can use is to enlarge beam dimension and add a flexural steel.

In this research, we make 3 concrete beam using single steel beam method. First, we make 3 beam using dimension width 150 mm, height 200 mm and long 1600 mm. After the beam was test using experiment tool like "*loading frame*", we reconstruct it and enlarge it's height about 8 mm, so the total dimension now is width 150 mm, height 280 mm and long 1600 mm. For the first beam we using $f'_c = 20$ MPa, and the second one we using $f'_c = 25$ MPa.

From the test we obtained data such as first crack, curve, flexural strain and flexural moment. For the final result we obtained data, that is beam increase it's strength to hold first crack about 85,71%, for curve it's can hold 46,6%, for flexural strain it strength is increase about 39,71%, and last it moment capacity is increase about 172%

Key Word : beam damage, one half steel, beam reconstruction.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Persembahan	iii
Kata Pengantar	iv
Abstraksi Indonesia	vi
Abstraksi Inggris	vii
Lembar Motto	v
Daftar Isi	viii
Daftar Notasi	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Lampiran	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	2
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1 Umum	4
2.2 Macam Perbaikan Kerusakan Struktur	5
2.3 Keaslian Penelitian	6

BAB III	LANDASAN TEORI.....	7
3.1	Umum.....	7
3.2	Bahan Susun.....	7
3.2.1	Air	7
3.2.2	Agregat.....	8
3.2.3	Semen.....	9
3.2.4	Faktor Air Semen	9
3.2.5	Kemudahan Pengerjaan (workability).....	10
3.3	Tegangan Lentur	11
3.4	Kapasitas Tampang Balok	15
3.4.1	Balok Pra Perbaikan.....	15
3.4.2	Balok Pasca Perbaikan.....	16
3.5	Momen Retak	17
3.6	Lendutan Balok	18
3.6.1	Lendutan Balok beban Titik.....	18
3.7	Metode Perancangan Adukan Beton	18
 BAB IV	 METODE PENELITIAN	 26
4.1	Bahan - Bahan	26
4.2	Peralatan Penelitian	29
4.3	Pemeriksaan Material.....	35
4.3.1	Pemeriksaan Kadar Lumpur.....	35
4.3.2	Pemeriksaan Berat Volume.....	35
4.3.3	Pemeriksaan Berat Jenis.....	35
4.3.4	Analisis Saringan	35
4.4	Benda Uji	35
4.4.1	Benda Uji Awal.....	35
4.4.2	Benda Uji Perbaikan	36

4.5	Pembuatan Benda Uji.....	36
4.5.1	Benda Uji Awal.....	36
4.5.2	Benda Uji Perbaikan	37
4.6	Perawatan Benda Uji.....	37
4.7	Perhitungan Campuran Beton (mix disain).....	38
4.8	Bagan Alir Penelitian (<i>flow chart</i>).....	39
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	40
5.1	Pendahuluan	40
5.2	Agregat.....	40
5.3	Tegangan Tarik Baja	41
5.4	Kuat Desak Beton	42
5.5	Balok Beton Bertulang.....	43
5.5.1	Hubungan Beban - Lendutan	43
5.5.2	Tegangan Lentur Balok.....	48
5.5.3	Kapasitas Tampang Momen.....	49
5.6	Pembahasan.....	50
5.6.1	Hubungan Beban - Lendutan	50
5.6.2	Tegangan Lentur Balok.....	52
5.6.3	Kapasitas Tampang Momen.....	53
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	55
6.1	Kesimpulan	55
6.2	Saran-saran.....	56
	Daftar Pustaka	57
	Lampiran	

DAFTAR NOTASI

b	= lebar balok
h	= tinggi balok
M	= momen
P	= beban maksimum
L	= panjang bentang
d	= tinggi efektif balok
c	= tebal beton desak
a	= tebal beton desak whitney
C_c	= gaya desak beton (<i>compress of concrete</i>)
T_s	= gaya tarik baja (<i>tension of steel</i>)
z	= lengan momen
ds	= jarak tepi balok terhadap titik berat tulangan
A	= Luas benda uji
A_s	= Luas tulangan tarik
D	= Diameter baja tulangan
E_c	= Modulus elastis beton
E_s	= Modulus elastis baja
f'_c	= Kuat tekan beton
f_s	= Tegangan baja tarik
f_r	= Modulus keruntuhan beton
f_y	= Tegangan leleh baja
I	= Inersia penampang
M_{cr}	= Momen retak dari beton
M_n	= Momen nominal
V	= Gaya geser
V_c	= Gaya geser beton
V_n	= Gaya geser nominal
V_s	= Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
Δ	= Lendutan, defleksi

β_1	= Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
ϵ_c	= Regangan beton
ϵ_s	= Regangan baja tarik
ϵ_y	= Regangan leleh baja
ρ	= Rasio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok
ρ_b	= Rasio tulangan seimbang

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Hubungan standar deviasi dan mutu pekerjaan.....	19
Tabel 3.2	Persyaratan fas maksimum untuk berbagai lingkungan.....	21
Tabel 3.3	Air-Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat	21
Tabel 3.4	Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton Bertulang dalam Air	22
Tabel 3.5	Penetapan Nilai <i>Slump</i> (cm).....	22
Tabel 3.6	Perkiraan kebutuhan air.....	22
Tabel 3.7	Kebutuhan semen minimum untuk lingkungan khusus	23
Tabel 3.8	Kebutuhan minimum beton dalam air	24
Tabel 3.9	Kandungan Semen Minimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat	24
Tabel 5.1	Hasil pengujian meterial awal.....	41
Tabel 5.2	Hasil pengujian material perbaikan.....	41
Tabel 5.3	Hasil pengujian tarik baja.....	42
Tabel 5.4	Hasil pengujian kuat desak beton.....	42
Tabel 5.5	Hasil pengamatan retak awal	47
Tabel 5.6	Hasil pengamatan lendutan	47
Tabel 5.7	Hasil perhitungan tegangan lentur	48
Tabel 5.8	Hasil perhitungan momen benda uji	49
Tabel 5.9	Hasil perhitungan retak awal.....	50
Tabel 5.10	Hasil perhitungan beban-lendutan.....	51
Tabel 5.11	Hasil perhitungan tegangan lentur	52
Tabel 5.12	Hasil perhitungan momen	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Balok awal penampang persegi.....	2
Gambar 1.2	Balok perbaikan	3
Gambar 3.1	Diagram momen & geser balok	12
Gambar 3.2	Penampang balok	13
Gambar 3.3	Diagram tegangan regangan balok.....	13
Gambar 3.4	Ilustrasi pengujian lentur balok.....	15
Gambar 3.5	Blok tegangan whitney tulangan sebelah.....	15
Gambar 3.6	Blok tegangan whitney tulangan sebelah.....	16
Gambar 3.7	Grafik hubungan fas dan kuat tekan rata-rata selinder	20
Gambar 3.8	Grafik mencari faktor air-semen (fas).....	20
Gambar 3.9	Grafik Persentase Agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20mm.....	25
Gambar 3.10	Grafik hubungan kandungan air,aggregat & beton	25
Gambar 4.1	Semen.....	26
Gambar 4.2	Kerikil diameter maksimal 20 mm.....	27
Gambar 4.3	Kerikil diameter maksimal 10 mm.....	27
Gambar 4.4	Pasir.....	27
Gambar 4.5	Tulangan baja	28
Gambar 4.6	Bekisting balok	28
Gambar 4.7	Mesin ELE tipe ADR-3000.....	29
Gambar 4.8	Universal testing machine	29
Gambar 4.9	Loading frame	30

Gambar 4.10	Molen	30
Gambar 4.11	Dial Gauge	31
Gambar 4.12	Cetakan Silinder	31
Gambar 4.13	Timbangan merk “fagani”	32
Gambar 4.14	Timbangan merk “ohaus”	32
Gambar 4.15	Cetok	32
Gambar 4.16	Ember	32
Gambar 4.17	Kerucut Abram.....	33
Gambar 4.18	Crane	33
Gambar 4.19	Palu.....	34
Gambar 4.20	Bar Cutter	34
Gambar 4.21	Bak perendam	34
Gambar 4.22	Benda uji balok sebelum perbaikan	36
Gambar 4.23	Benda uji balok setelah perbaikan.....	36
Gambar 4.24	Pembuatan benda uji balok sebelum perbaikan	37
Gambar 4.25	Pembuatan benda uji balok setelah perbaikan	37
Gambar 4.26	Flowchart penelitian.....	39
Gambar 5.1	Benda uji silinder	41
Gambar 5.2	Sketsa pengujian balok.....	44
Gambar 5.3	Grafik hubungan beban-lendutan balok B1 dan B1.P	44
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban-lendutan balok B2 dan B2.P	45
Gambar 5.5	Grafik hubungan beban-lendutan balok B3 dan B3.P	46
Gambar 5.6	Momen pada tampang memanjang balok	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Kartu peserta Tugas Akhir
Lampiran A	Daftar Uji Bahan
Lampiran B	Perencanaan Adukan Beton (mix disain)
Lampiran C	Uji Desak Silinder
Lampiran D	Kapasitas Tampang & Hitungan Struktur Balok
Lampiran E	Grafik Beban Lendutan Balok

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi struktur bangunan selalu berkembang dari zaman ke zaman. Mulai dari zaman pra sejarah (zaman dimana manusia belum mengenal tulisan), manusia menggunakan gua sebagai bangunan tempat tinggal, lalu mulai mengenal kayu dan batu sebagai bahan untuk membuat tempat tinggal yang lebih nyaman. Mulai masuk zaman sejarah (zaman dimana manusia mengenal tulisan), manusia menemukan lebih banyak bahan-bahan struktur bangunan seperti batu bata, batu, pasir, kapur, batako, semen, baja profil, baja tulangan dan masih banyak yang lainnya untuk membuat bangunan yang lebih nyaman mewah dan megah. Kombinasi antara beton (campuran semen, pasir, dan kerikil dengan proporsi tertentu) dengan baja tulangan sebagai bahan bangunan yang dewasa ini banyak digunakan sebagai elemen struktur utama seperti balok, kolom, pelat lantai, fondasi dan sloof. Kombinasi tersebut banyak digunakan karena mempunyai nilai ekonomis dibandingkan dengan penggunaan baja profil.

Sebagai salah satu elemen struktur utama dari bangunan gedung, balok mempunyai fungsi menahan momen lentur akibat beban vertikal. Beban vertikal yang didukung meliputi beban plat, berat tembok dan berat balok itu sendiri. Pada saat tertentu element struktur utama dapat mengalami kerusakan atau pengurangan daya dukungnya. Saat-saat tersebut dapat diakibatkan oleh gempa bumi atau penambahan beban yang melebihi kapasitas daya dukung,

Pada saat balok mengalami kerusakan, kapasitas daya dukung balok mengalami penurunan. Karena itu untuk mengembalikan kekuatan balok seperti semula atau bahkan lebih, suatu langkah-langkah perbaikan balok dibutuhkan. Perbesaran dimensi balok dengan penambahan tulangan lentur baja merupakan salah satu bentuk usaha perbaikan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa kapasitas balok setelah mengalami perbaikan?
2. Berapa perbandingan kekuatan balok semula dengan hasil perbaikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kapasitas kekuatan balok yang telah diperbaiki.
2. Mengetahui perbandingan kekuatan balok semula dengan balok yang sudah diperbaiki

1.4 Manfaat Penelitian

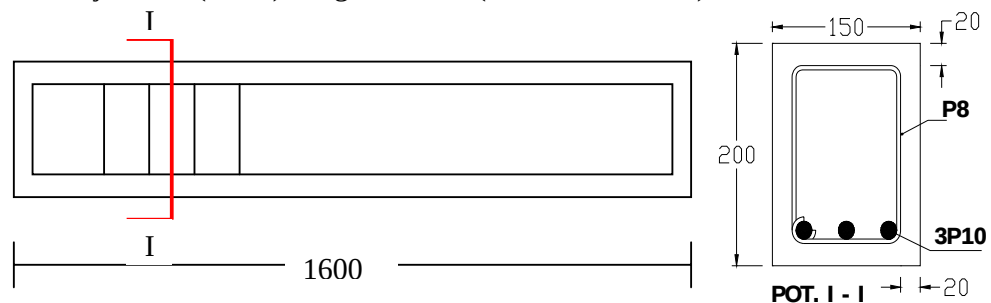
Beberapa hal yang diharapkan dapat memberi manfaat setelah diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan suatu cara penanganan kerusakan pada balok
2. Memberikan suatu cara penambahan kekuatan balok

1.5 Batasan Masalah

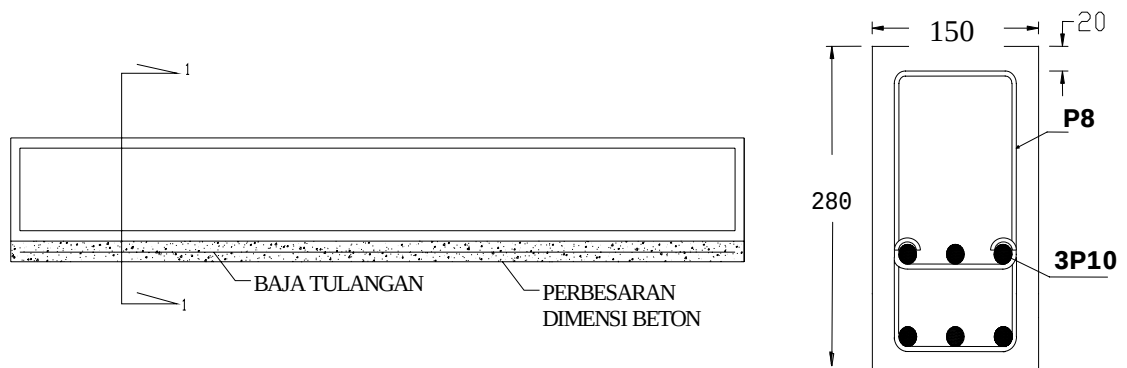
Agar penelitian ini tidak terlalu luas dan lebih terarah, maka kami berikan beberapa lingkup batasan masalah sebagai berikut :

1. Digunakan beton normal dengan kuat desak (f'_c) = 20 MPa
2. Untuk perbaikan, beton yang digunakan adalah beton normal dengan kuat desak (f'_c) = 25 MPa
3. Dalam penelitian ini digunakan baja dengan diameter tulangan 10 mm untuk tulangan lentur dan 8 mm sebagai tulangan sengkang dengan f_y = 240 MPa.
4. Benda uji lentur (balok) dengan ukuran (150 x 200 x 1600) mm



Gambar 1.1 Balok Awal Penampang Persegi

5. Metode campuran (*mix design*) yang digunakan menggunakan standart *Department of Environment (DOE)*
6. Bahan ikat semen digunakan semen pc merk Holcim
7. Pengujian hanya pada kuat lentur balok dengan pembebanan statis secara bertahap.
8. Geser balok dianggap tidak mengalami kerusakan
9. Perbaikan balok dilakukan dengan metode perbesaran dimensi dan penambahan tulangan lentur
10. Pengujian dilakukan di laboratorium BKT jurusan teknik sipil FTSP UII
11. Balok yang telah mengalami kerusakan diasumsikan hanya memiliki kekuatan 50% dari kekuatan awal.
12. Perbesaran balok menggunakan beton dengan agregat jagung (ukuran diameter maksimum butir 10mm)
13. Perbesaran balok dengan penambahan tinggi balok (h) setebal 8 cm



Gambar 1.2 Perbaikan Balok

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Menurut Nawy (1990), air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk *melumas* campuran agar mudah pengerjaannya, pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat semen. Selain itu, air yang berlebihan pada adukan beton akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak sepenuhnya selesai. Hal ini berakibat berkurangnya kekuatan beton.

Menurut Nawy (1990), agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam besarnya. Pada beton biasanya terdapat 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan rapat. Dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar.

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus, material berwarna abu-abu yang terutama terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Bahan mentah utama untuk membuat semen Portland adalah batu kapur yang mengandung CaO , dan tanah liat atau endapan batuan yang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 (Winter dan Nilson, 1993).

Fungsi semen adalah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen hanya mengisi kira-kira 10% dari volume beton, karena semen merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (Tjokrodimulyo, 1992).

2.2 Macam Perbaikan Kerusakan Struktur

Dalam pemilihan metode perbaikan, harus diperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan. (Hatono, Handi, Ricard, 2008)

Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah :

- *Memperpendek bentang dari struktur dengan konstruksi beton ataupun dengan konstruksi baja.*

Tujuannya adalah memperkecil gaya-gaya dalam yang terjadi, tetapi harus dianalisa ulang akibat dari perpendekan bentang ini yang menyebabkan perubahan dari gaya-gaya dalam tersebut.

- *Memperbesar dimensi daripada konstruksi beton.*

Umumnya digunakan beton sebagai material untuk memperbesar dimensi struktur; dengan adanya admixture beton generasi baru, dimungkinkan untuk menghasilkan beton yang dapat memadat sendiri (self compacting concrete).

Akibat dari penambahan dimensi tersebut, maka harus diperhatikan bahwa secara keseluruhan beban dari Bangunan tersebut bertambah, sehingga harus dilakukan analisa secara menyeluruh dari struktur atas sampai pondasi.

- *Menambah plat baja.*

Tujuan dari penambahan ini adalah untuk menambah kekuatan pada bagian tarik dari struktur Bangunan.

Didalam penambahan plat baja tersebut, harus dijamin bahwa plat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur yang ada, umumnya untuk menjamin lekatan antara plat baja dengan struktur beton digunakan epoxy adhesive.

- *Melakukan external prestressing.*

Dengan metode ini, kapasitas struktur ditingkatkan dengan melakukan prestress di luar struktur, bukan didalam seperti pada struktur baru.

Yang perlu diperhatikan adalah penempatan anchor head, sehingga tidak menyebabkan perlemahan pada struktur yang ada.

Material yang umumnya digunakan adalah baja prestress, tetapi pada saat ini sudah mulai digunakan bahan dari FRP (Fibre Reinforced Polymer).

- *Menggunakan FRP (Fibre Reinforced Polymer)*

Prinsip daripada penambahan FRP sama seperti penambahan plat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur.

Tipe FRP yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan carbon, aramid dan glass. Bentuk FRP yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah Plate / Composite dan Fabric / Wrap

Bentuk plate lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun plat serta pada dinding; sedang bentuk wrap lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta untuk meningkatkan kapasitas beban axial dan geser pada kolom.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui seberapa besar kenaikan kekuatan balok hasil perbaikan bila dibandingkan dengan kekuatan awal balok. Sejauh ini kami belum menemukan ada penelitian yang sejenis dengan penelitian ini khususnya diwilayah Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (berdasarkan *data base* tugas akhir di perpustakaan Universitas Islam Indonesia). Dengan demikian keaslian penelitian ini dapat dijaga.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Salah satu material yang banyak digunakan untuk struktur teknik sipil adalah beton. Beton didapat dari campuran semen *Portland*, agregat dan air pada perbandingan tertentu. Sifat-sifat beton tergantung pada sifat-sifat bahan penyusunnya, cara pengadukan, penuangan, pemadatan dan perawatan beton selama proses pengerasannya. Pada penelitian ini akan dicoba pengujian terhadap balok struktur dengan bentang tertentu.

3.2 Bahan susun

3.2.1 Air

Di dalam campuran beton, air mempunyai dua fungsi, yang pertama untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan yang kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir, dan semen agar memudahkan pencetakan (Murdock dan Brook, 1981). Adapun air yang memenuhi syarat antara lain (Tjokrodimuljo, 1992) :

1. kejernihan warna,
2. tidak mengandung klorida (cl) lebih dari 0,5 gr/lt,
3. tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lt,
4. tidak mengandung lumpur dan benda-benda terapung lainnya yang dapat terlihat secara visual,
5. tidak mengandung bahan perusak seperti fosfat, minyak, asam, alkali dan bahan-bahan organis atau garam, dan
6. khusus untuk pementan beton, air untuk perawatan tingkat keasamannya tidak boleh $\text{pH} > 6$, dan tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur.

3.2.2 Agregat

Umumnya pasir yang digali di dasar sungai cocok digunakan untuk pembuatan beton. Pasir ini terbentuk ketika batu-batu dibawa arus sungai dari sumber air ke muara sungai dan karena terjadi pelapukan akhirnya membentuk butir-butir halus. Produksi penggalian pasir dan kerikil akan dipisah-pisahkan dengan ayakan dalam 3 kelompok, yaitu:

1. kerikil batu (lebih besar dari 40 mm),
2. kerikil batu (antara 5 mm sampai 40 mm), dan
3. pasir (lebih kecil dari 5 mm).

Disamping bahan agregat diperoleh galian alami (hampir langsung dapat digunakan untuk beton) dapat juga diperoleh dengan pemecahan formasi batuan tertentu dengan mesin pemecah batu (*stone Crusher*). Ada dua jenis agregat :

1. agregat kasar (kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari *blast-furnace*)
2. agregat halus (pasir alami dan buatan).

Meskipun demikian bila dikehendaki kekuatan beton yang tinggi, diperlukan juga agregat yang kuat. Sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran butir maksimum.

Permukaan yang halus pada kerikil dan kasar pada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Oleh karena itu kekasaran permukaan ini berpengaruh terhadap bentuk kurva tegangan –regangan tekan beton, dan terhadap kekuatan betonnya.

Adapun Neville (1975) mengatakan, bahwa sekitar tiga per empat beton ditempati agregat, agregat yang lemah tidak dapat menghasilkan beton yang kuat karena kekuatan agregat sangat menentukan kekuatan beton. Selain itu sifat-sifat agregat juga mempengaruhi kaewetan dan penampilan struktur beton.

3.2.3 Semen

Semen Portland merupakan bahan bubuk halus yang mengandung kapur (CaO), silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3). Komponen terbesar penyusun semen adalah kapur (60%-65%). Semen Portland dibuat dengan membakar bahan dasar semen dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Kemudian klinker tersebut digiling halus menjadi semen dan ditambahkan *gypsum*. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen bila dicampur dengan air membentuk adonan pasta, dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen. (PUBI, 1982).

Material semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesive dan kohesif yang diperlukan untuk mengikat agregat-agregat menjadi suatu massa yang padat yang mempunyai kekuatan yang cukup. Semen Portland merupakan bubuk yang sangat halus, material berwarna abu-abu yang terutama terdiri dari kalsium dan aluminium silikat. Bahan mentah utama untuk membuat semen Portland adalah batu kapur yang mengandung CaO_3 , dan tanah liat atau endapan batuan yang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 (Winter dan Nilson, 1993).

Menurut Salmon (1994), semen adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesive dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Dalam The Oxford Word Encyclopedia (2003), dijelaskan bahwa semen bubuk yang terdiri dari campuran *calcium silicates* dan *aluminates* yang dibuat dalam keadaan halus pada permukaan bentuknya, agar melekat satu sama lain.

3.2.4 Faktor Air-Semen (fas)

Faktor air-semen merupakan rasio perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin rendah perbandingan air terhadap semen, semakin tinggi kuat tekan beton. Kenaikan fas mempunyai pengaruh terhadap sifat-sifat beton seperti permaabilitas, ketahanan terhadap gaya dan cuaca, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan kuat desak.

Hubungan antara faktor air-semen (fas) dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams pada tahun 1919 sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{A}{B^{1,5X}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan :

f_c' = kuat tekan beton

X = fas (yang semula dalam proporsi volume)

A,B = konstanta.

Dengan demikian, hubungan antara air-semen (fas) adalah semakin besar faktor air-semennya maka akan semakin rendah kuat tekan betonnya. Jika dilihat dari persamaan diatas semakin kecil faktor air-semen maka semakin tinggi kuat desak beton, tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan pemadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat (Tjokrodimulyo, 1995).

3.2.5 Kemudahan Pengerjaan (*workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan-bahan itu secara bersama-sama mempengaruhi sifat pengerjaan beton segar. Menurut Tjokrodimuljo (1992), Unsur-unsur yang mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan antara lain :

1. jumlah air yang dipakai dalam campuran adukan beton. Makin banyak air yang dipakai makin mudah beton segar itu dikerjakan,
2. penambahan semen ke dalam campuran juga memudahkan cara pengerjaan adukan betonnya, karena pasti dengan bertambahnya air campuran untuk memperoleh nilai fas tetap.

3. gradasi campuran pasir dan kerikil. Bila campuran pasir dan kerikil mengikuti gradasi yang telah disarankan oleh peraturan maka adukan beton akan mudah dikerjakan.

Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton makin mudah cara pengerjaannya. Workabilitas terdiri dari tiga hal yang terpisah, (Murdock & Brook, 1991) :

1. kompaktibilitas atau kemudahan dimana beton dapat dipadatkan,
2. mobilitas atau kemudahan beton dapat mengalir kedalam cetakan,
3. stabilitas atau kemampuan beton untuk tetap sebagai massa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan butiran dari bahan lainnya.

Peningkatan kekuatan beton terjadi seiring dengan waktu. Pada proses pembuatan beton terjadi reaksi hidrasi antara semen dan air. Reaksi ini membutuhkan waktu sampai tercapai kekuatan tertinggi yang bisa dicapai. Reaksi hidrasi akan terhenti bila tidak ada lagi tersedia semen dan air yang memungkinkan terjadinya reaksi.

Perhitungan struktur mensyaratkan kekuatan beton berdasarkan pada kekuatan yang dicapai beton pada umur 28 hari. Karena kekuatan beton yang meningkat seiring dengan waktu maka dapat diperhitungkan berdasarkan kekuatan beton pada umur yang lebih awal.

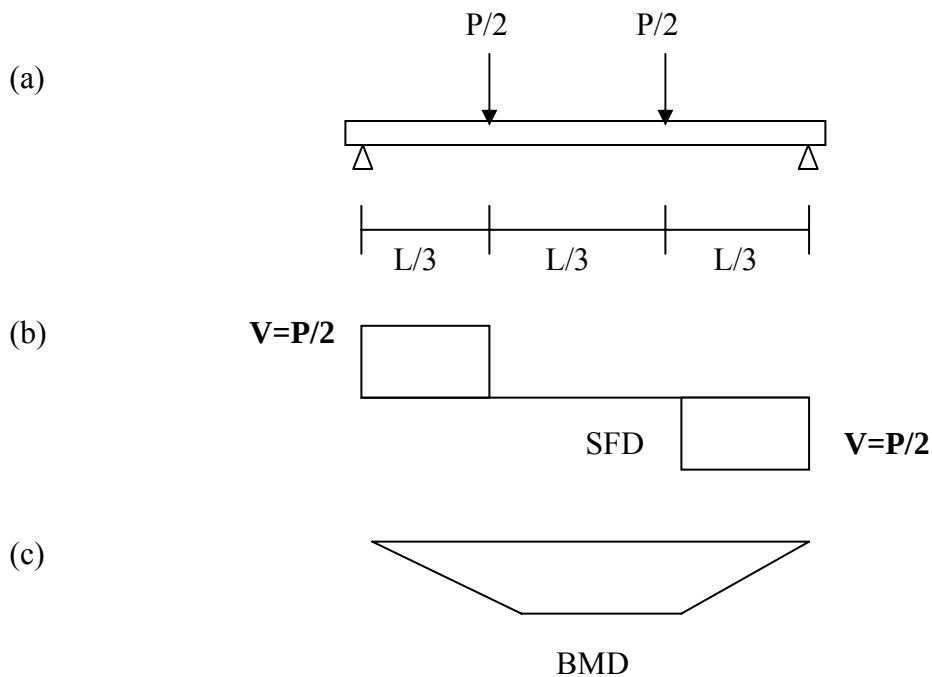
3.3 Tegangan Lentur

Menurut Edward G. Nawy (1990) lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya

terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur.

Apabila suatu elemen struktur memikul beban eksternal yang bekerja secara transversal terhadap sumbu memanjang elemen tersebut, maka akan terjadi lenturan. Apabila elemen struktur melentur karena terbebani, maka akan terjadi perubahan bentuk (deformasi) dengan ciri adanya sebagian serat yang mengalami perpanjangan dan bagian lain mengalami perpendekan (Daniel L. Schodek)

Definisi dari lentur dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 3.1. Diagram dari gaya lintang dan momen pada balok

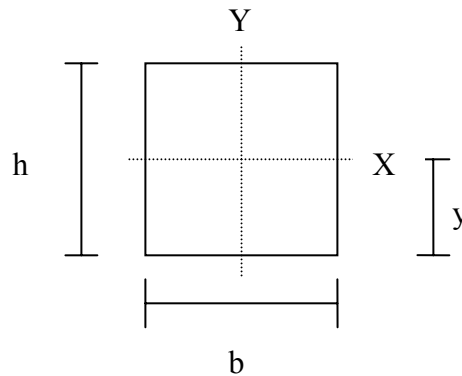
Dimana :

- a. balok dengan dua beban simetris
- b. diagram gaya lintang
- c. diagram momen

Daerah diantara beban-beban $P/2$ yang berada ditengah bentang struktur tidak memiliki gaya lintang dan hanya bekerja suatu momen lentur konstan yang besarnya :

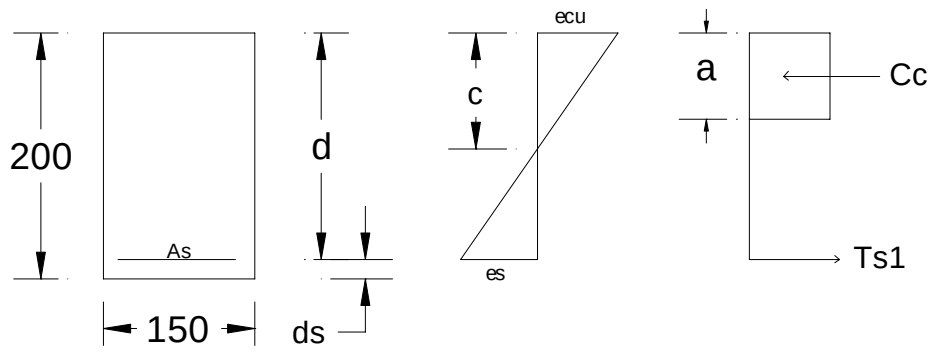
$$M = \frac{P}{2} \frac{L}{3} \dots\dots\dots(3.2)$$

Tegangan lentur dalam balok berhubungan dengan momen lentur (M) dan momen inersia (I) dari tampang balok.



Gambar 3.2. Bentuk penampang balok

Nilai y dapat dicari dengan mengetahui besarnya tebal beton desak c dari keseimbangan gaya-gaya dalam.



Gambar 3.3. Diagram tegangan-regangan balok

Dan nilai tegangan lentur dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_{lt} = M.y/I \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

dimana : $I = (1/12).b.h^3 \quad \dots\dots\dots(3.4)$

$$y = d - c \quad \dots\dots\dots(3.5)$$

$$M = \frac{P}{2} \frac{L}{3} \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

dengan substitusi persamaan (3.4), (3.5) dan (3.6) kedalam persamaan (3.3) maka didapatkan rumus untuk mencari tegangan lentur pada daerah momen terbesar, yaitu :

$$\sigma_{lt} = \frac{(P/2)(L/3)(d-c)}{(1/12).b.h^3} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

persamaan (3.7) dapat disederhanakan menjadi :

$$\sigma_{lt} = \frac{2PL}{b.h^3} (d-c) \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

dengan : σ_{lt} = Tegangan Lentur benda uji (MPa)

P = beban maksimum (gaya)

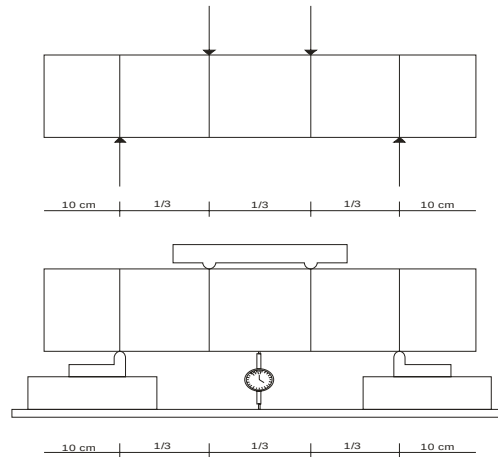
L = jarak antar tumpuan

d = tinggi efektif balok

c = tebal beton desak

b = lebar tampang balok

h = tinggi tampang balok

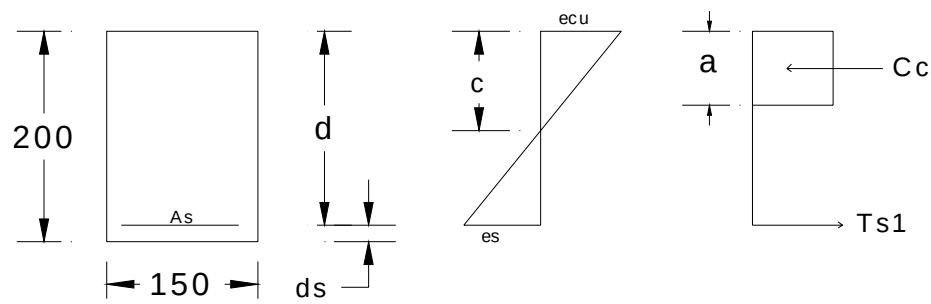


Gambar 3.4 Pengujian kuat lentur balok beton

3.4 Kapasitas Tampang Balok

3.4.1 Balok Pra Perbaikan

Pengujian balok dilakukan dengan menggunakan balok tulangan sebelah dengan langkah perhitungan sebagai berikut :



Gambar 3.5 Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan sebelah

Menganggap semua tulangan tarik telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari Gambar 3.5 dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c = T_s \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

$$0,85 f'_c a.b = A_s.f_y \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

Sehingga dari persamaan 3.12 didapat nilai a

$$a = \frac{A_s.f_y}{0,85.f'_c.b} \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

Dari nilai a dapat dicari besarnya tebal beton desak c

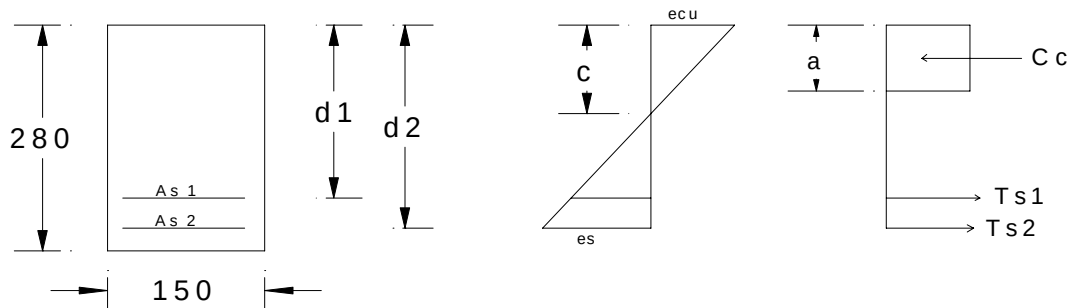
$$c = a / \beta \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

Sehingga momen nominal untuk tulangan sebelah dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = C_c (d - a/2) \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

3.4.2 Balok Pasca Perbaikan

Pengujian balok dilakukan dengan menggunakan balok tulangan sebelah dengan langkah perhitungan sebagai berikut :



Gambar 3.6 Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan sebelah

Menganggap semua tulangan tarik dalam kondisi telah leleh dan tulangan lama masih memberikan kontribusi sebesar 50%, sehingga gaya-gaya dalam dari Gambar 3.6 dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85.f'_c.a.b \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

$$T_{s1} = A_{s1}.f_y.0,5 \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$$T_{s2} = A_{s2}.f_y \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c = T_{s1} + T_{s2} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$$0,85 f'_c.a.b = A_{s1}.f_y.0,5 + A_{s2}.f_y \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

Sehingga dari persamaan 3.20 didapat nilai a

$$a = \frac{(A_{s1}.f_y.0,5) + (A_{s2}.f_y)}{0,85.f'_c.b} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

Dari nilai a dapat dicari besarnya tebal beton desak c

$$c = a / \beta \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

Dimana nilai β tergantung dari mutu beton, SK SNI mengisyaratkan:

- untuk $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$, $\beta_1 = 0,85$
- untuk $f'_c \geq 30 \text{ MPa}$, $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \geq 0,65$

Sehingga momen nominal untuk tulangan sebelah dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = \{T_{s1} . (d_1 - a/2)\} + \{T_{s2} . (d_2 - a/2)\} \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

3.5 Momen Retak

Jika baja tulangan yang dipakai untuk menahan lentur terlalu sedikit, kemungkinan balok akan berperilaku sebagaimana halnya balok tanpa tulangan ($\rho_{pakai} < \rho_{min}$). Karena metode yang digunakan untuk menghitung kuat lentur didasarkan anggapan beton tarik telah dalam kondisi retak, maka disyaratkan pemakaian tulangan minimum sehingga kekuatan balok bertulang tidak lebih rendah dari beton tanpa tulangan (beton polos) (Kadir Aboe, 2000).

Momen retak balok dihitung dengan rumus :

$$M_{cr} = \frac{f_r . I_g}{Y_t} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

$$\text{dimana : } f_r = 0,7 \sqrt{f'c} \text{ (MPa) (3.25)}$$

$$I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3 \text{ (3.26)}$$

$$Y_t = 1/2 \cdot h \text{ (3.27)}$$

3.6 Lendutan Balok

Pada suatu struktur beton seperti balok disyaratkan mempunyai kekakuan yang cukup agar dapat menahan deformasi akibat lendutan tanpa menimbulkan kerusakan.

3.6.1 Lendutan Pada Beban Titik

Nilai besarnya lendutan dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\Delta = \frac{23}{648} \frac{Pl^3}{E_c I} \text{ (3.28)}$$

$$\text{dimana : } I = (1/12) \cdot b \cdot h^3$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \text{ (MPa)}$$

3.7 Metode Perancangan Campuran Beton

Dalam penelitian ini metode perancangan campuran beton menggunakan metode DOE (*Department Of Environment*). Perencanaan dengan cara DOE ini dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia, dan dimuat dalam buku SK SNI T-15-1990-03. Dalam perencanaan cara ini digunakan tabel-tabel dan grafik. Langkah-langkah perancangan campuran adukan beton cara DOE adalah sebagai berikut :

1. menetapkan kuat tekan beton yang disyaratkan (f_c') pada umur 28 hari
2. menetapkan nilai deviasi standar (sd)

Tabel 3. 1 Hubungan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dengan sd

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	Standar deviasi, sd (Mpa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

3. menghitung nilai tambah margin (M)

$$M = K.sd \dots\dots\dots(3.29)$$

dimana, M = Nilai tambah margin

 K = 1,64

 Sd = Standar deviasi

4. menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr}')

$$f_{cr}' = f_c' + M \dots\dots\dots(3.30)$$

dimana, f_{cr}' = kuat tekan beton rencana

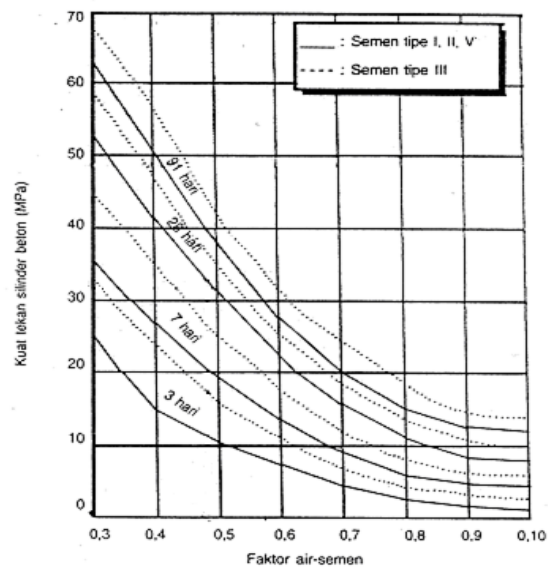
f_c' = kuat tekan beton yang diisyaratkan umur 28 hari

 M = Nilai tambah margin

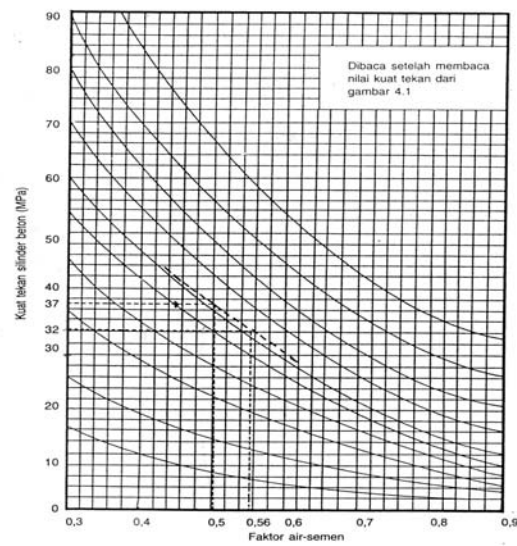
5. menetapkan jenis semen

6. menetapkan jenis agregat

7. menetapkan faktor air semen (f_{as})



Gambar 3.7. Grafik hubungan fas dan kuat tekan rata-rata selinder pada beton.



Gambar 4.2. Grafik mencari faktor air semen.

Grafik 3.8 . Grafik mencari faktor air-semen (fas)

**Tabel 3. 2 Persyaratan Faktor Air-Semen Maksimum untuk Berbagai
Pembetonan dan Lingkungan Khusus**

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non-korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52
Beton di luar ruang bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	Lihat tabel 3.3
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.4

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

**Tabel 3. 3 Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton yang Berhubungan
dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat**

Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis semen	Fas maksim um
Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (g/l)			
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	0,50
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II atau V	0,55
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	0,45
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V	0,45
			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	0,45

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 4 Faktor Air-Semen Maksimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Faktor air semen
Air tawar	Semua tipe I – V	0,50
Air payau	Tipe I + Pozolan (15 - 40%) atau S.P. Pozolan	
	Tipe II atau V	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut		0,45

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

8. menetapkan faktor air-semen (*fas*) maksimum

9. menetapkan nilai *slump*

Tabel 3. 5 Penetapan Nilai *Slump* (cm)

Pemakaian Beton	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat fondasi, dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaisan, dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

10. menetapkan ukuran besar butir agregat maksimum

11. menetapkan kebutuhan air

Tabel 3. 6 Perkiraan Kebutuhan Air per meter kubik Beton (liter)

Besar ukuran maks kerikil (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

$$A = 0,67A_h + 0,33A_k \dots\dots\dots(3.31)$$

dimana, A = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halusnya

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasarnya

12. menetapkan kebutuhan semen

$$\text{kebutuhan semen} = \frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan (langkah 11)}}{\text{Faktor air - semen maksimum (langkah 8)}} \dots\dots\dots(3.32)$$

13. menetapkan kebutuhan semen minimum

Tabel 3. 7 Kebutuhan Semen Minimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Kebutuhan semen minimum(kg/m ³ beton)
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non-korosif	275
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	
Beton di luar ruang bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	Lihat tabel 3.9
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.8

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 8 Kebutuhan Semen Minimum untuk Beton Bertulang dalam Air

Berhubungan dengan	Tipe semen	Kandungan semen minimum	
		Ukuran maksimum agregat (mm)	
		40	20
Air tawar	Semua tipe I – V	280	300
Air payau	Tipe I + Pozolan (15 -40%) atau S.P. Pozolan	340	380
Air laut	Tipe II atau V	290	330
	Tipe II atau V	330	370

Sumber : Tjokrodimulyo, 1992

Tabel 3. 9 Kandungan Semen Minimum untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

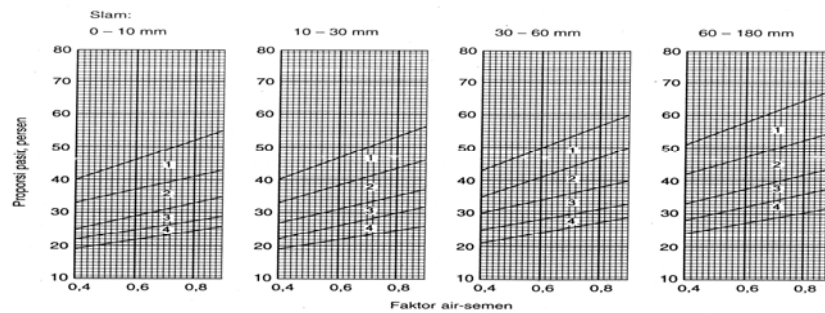
Konsentrasi sulfat (SO ₃)			Jenis Semen	Kand. Semen min. (kg/m ³)		
Dalam tanah		SO ₃ dlm air tnh (g/l)		Ukuran maks. Agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dlm camp air : tanah = 2 : 1 (g/l)			40	20	10
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)			
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa Pozolan	280	300	350
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	290	330	380
			Tipe II atau V	270	310	360
			Tipe I dengan Pozolan (15-40%) atau semen portland pozolan (PPC)	250	290	340
			Tipe II atau V	340	380	430
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	290	330	380
			Tipe II atau V dan lapisan pelindung	330	370	420
				330	370	420
> 2,0						

Sumber :Tjokrodimulyo, 1992

14. menetapkan kebutuhan semen yang sesuai
15. penyesuaian jumlah air atau faktor air semen (*f_{as}*)

$$\text{Faktor air semen} = \frac{\text{jumlah air yang dibutuhkan}}{\text{kebutuhan semen}} \dots\dots\dots(3.33)$$

16. menentukan daerah gradasi agregat halus (pasir)

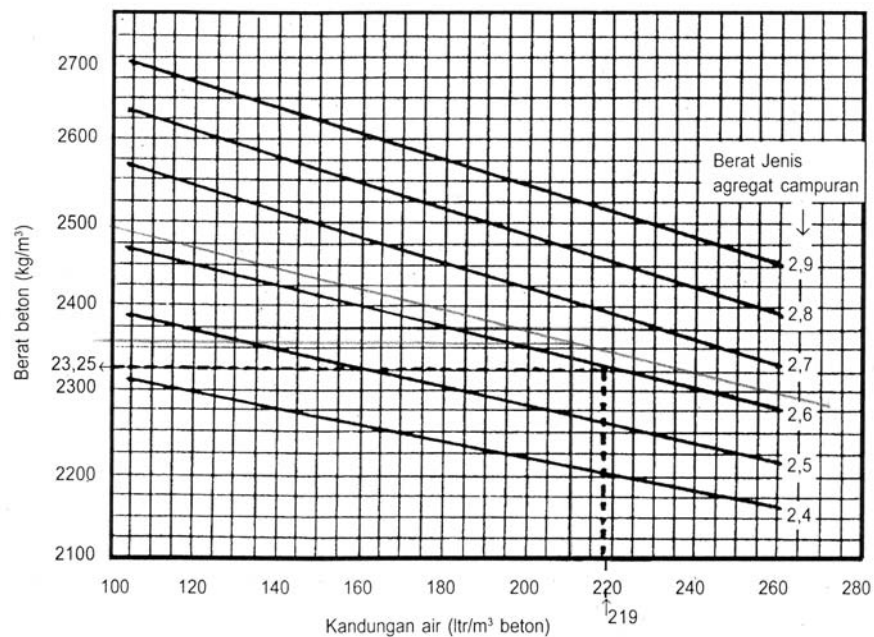


Gambar 3.9. Grafik Persentase Agregat halus terhadap agregat keseluruhan untuk ukuran butir maksimum 20mm

17. menentukan perbandingan pasir dan kerikil
18. menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil

$$B_j \text{ campuran} = \frac{P}{100} \times B_j \text{ pasir} + \frac{K}{100} \times B_j \text{ kerikil} \dots\dots\dots(3.34)$$

19. menentukan berat jenis beton



Gambar 3.10. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran, dan berat beton.

20. menentukan kebutuhan pasir dan kerikil

$$\text{brt pasir} + \text{brt kerikil} = \text{brt beton} - \text{kebutuhan air} - \text{kebutuhan semen} \dots (3.35)$$

21. menentukan kebutuhan pasir

$$\text{kebutuhan pasir} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} \times \text{persentase brt pasir} \dots (3.36)$$

22. menentukan kebutuhan kerikil

$$\text{kebutuhan kerikil} = \text{kebutuhan pasir dan kerikil} - \text{kebutuhan pasir} \dots (3.37)$$

BAB IV

METODELOGI PENELITIAN

Metodologi yang kami lakukan adalah dengan cara membuat benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia, kemudian kami uji lentur dengan umur beton : 28 hari.

4.1 Bahan – bahan

Bahan yang digunakan dalam proses pencampuran adalah :

a. Semen

Semen PC (*Portland Cement*) yang digunakan dalam pembuatan benda uji ini adalah merk Semen Holchim serba guna. Semen jenis ini dipilih karena sudah umum digunakan dan tidak memerlukan persyaratan khusus, sedangkan dalam penelitian ini penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap bentuk kemasan kemasan dan kehalusan butirnya.



Gambar 4.1 Semen

b. Agregat Kasar (Split)

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah batuan pecah dari daerah Kali Gendol, Sleman, Yogyakarta. Dengan memperhatikan ukuran penampang model dipilih batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm untuk balok awal dan ukuran maksimum 10 mm untuk perbaikan baloknya. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang

berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Batu pecah sebelum digunakan dicuci dahulu dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menggunakan ayakan.



Gambar 4.2 Kerikil diameter maksimal 20 mm



Gambar 4.3 Kerikil diameter maksimal 10 mm

c. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang diambil dari lereng Gunung Merapi, Sleman, Yogyakarta yang berdiameter lolos saringan 4,8 mm (#4). Pasir sebelum digunakan terlebih dahulu harus dicuci. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran berupa lumpur yang terkandung didalam butiran-butiran pasir tersebut. Selain itu dilakukan pula penyelidikan pasir yang bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (gradasi) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD).



Gambar 4.4 pasir

d. Baja Tulangan

Diameter baja tulangan yang dipakai untuk tulangan lentur adalah P10 mm, dan diameter tulangan geser yang digunakan P8 mm dengan masing-

masing tegangan leleh sebesar 240 MPa. Baja tulangan diperoleh dari baja tulangan yang ada dipasaran Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 4.5 Tulangan Baja

e. Air

Air yang digunakan berdasarkan pengamatan visual tampak jernih, tidak berbau, dan tidak berwarna. Air dalam pengujian ini adalah air bersih dari instalasi air di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

f. Kawat Bendrat

Kawat bendrat berdiameter 0,8 mm digunakan untuk merangkai tulangan – tulangan baja, yaitu tulangan pokok dan sengkang.

g. Bekisting

Dalam pembuatan sampel agar didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan menggunakan cetakan dari kayu sengan dengan ketebalan 10 mm.



Gambar 4.6 Bekisting

4.2 Peralatan Penelitian

Untuk kelancaran penelitian diperlukan beberapa peralatan yang akan digunakan sebagai sarana mencapai tujuan penelitian. Peralatan-peralatan yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mesin Uji Desak

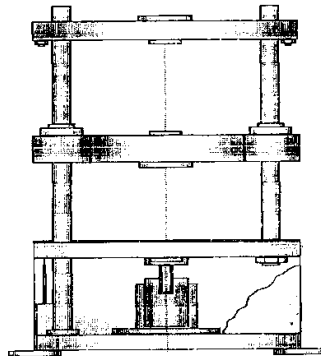
Mesin uji desak digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder – silinder beton yang telah dibuat agar diketahui kuat desak karakteristik silinder beton (f'_c). Dalam penelitian ini digunakan mesin uji desak merk *ELE* tipe *ADR 3000* dengan kapasitas 3000 kN



Gambar 4.7 Mesin ELE tipe ADR-3000

2. Mesin Uji Tarik

Mesin uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan. Dalam penelitian ini digunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk *SIMATZU* type *UHM 30* dengan kapasitas 30 ton.



Gambar 4.8 Universal Testing Machine Shimatzu UHM 30

Alat Uji Lentur (*Loading Frame*)

Alat ini digunakan sebagai tempat untuk meletakkan balok dimana bagian atas dari alat ini dipakai sebagai tempat untuk memposisikan beban.



Gambar 4.9 Alat Uji Lentur

3. Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan benda uji, sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur diameter tulangan.

4. Mesin aduk beton (molen)

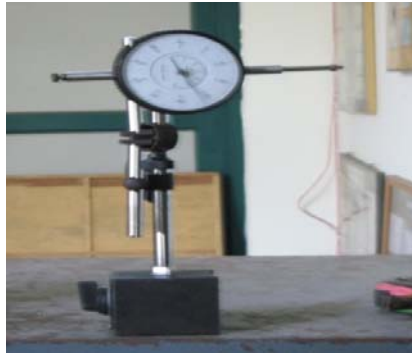
Mesin aduk beton digunakan untuk mengaduk campuran beton yang akan dibuat



Gambar 4.10 Molen

5. Dial Gauge

Alat yang digunakan untuk mengetahui besarnya gaya dan regangan yang terjadi pada saat pembebanan. Tingkat ketelitian alat ini yang dapat terbaca adalah 0,01 mm.



Gambar 4.11 Dial Gauge

6. Cetakan silinder beton

Cetakan silinder beton digunakan untuk membuat benda uji silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 4.12 Cetakan Silinder

7. Timbangan

Timbangan dipakai untuk mengukur berat bahan penyusun beton yaitu semen, kerikil, pasir, air dan benda uji. Timbangan yang digunakan :

- a. Timbangan merk "OHAUS" dengan kapasitas 20 kg,
- b. Timbangan merk "FAGANI" dengan kapasitas 100 kg.



Gambar 4.13 Fagani



Gambar 4.14 Ohaus

8. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk menakar jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan adukan beton atau pasta semen. Kapasitas gelas ukur yang dipakai adalah 1000 ml.

9. Cetok, talam baja dan ember

Cetok digunakan sebagai alat untuk memasukkan benda uji kedalam kerucut abrams dan cetakan benda uji. Talam digunakan sebagai alas pengujian *slump* dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk (molen). Ember digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.



Gambar 4.15 Cetok



Gambar 4.16 Ember

10. Saringan

Saringan ini digunakan untuk menyaring pasir dan kerikil agar diperoleh diameter yang dibutuhkan.

11. Kerucut abrams

Kerucut ini digunakan untuk kelecakakan pada percobaan *slump*. Kerucut ini mempunyai dua lubang pada ujungnya, dengan diameter atas 100 mm, dan diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm, yang ujungnya berbentuk bulat.



Gambar 4.17 Kerucut *Abrams*

12. Crane

Alat ini digunakan untuk memindahkan dan mengangkat benda uji karena dengan berat sendirinya yang cukup besar akan sangat sulit untuk dimobilisasikan dengan tenaga manusia



Gambar 4.18 Crane

13. Sekop besar.

14. Tongkat penumbuk.

15. Palu karet.



Gambar 4.19 Palu

16. Pemotong baja tulangan (*Bar Cutter*)

Alat ini digunakan untuk memotong tulangan sesuai kebutuhan dan ukuran tulangan balok terpasang



Gambar 4.20 Bar Cutter

17. Bak Perendam

Digunakan untuk merendam silinder beton agar pengerasan beton tidak terjadi seketika sehingga kualitas silinder beton dapat terjaga



Gambar 4.21 Bak Perendam

18. Palu martil.
19. Seperangkat peralatan kunci.

4.3 Pemeriksaan Material yang digunakan

4.3.1 Pemeriksaan kadar lumpur

Tujuannya adalah untuk mengetahui kadar lumpur yang dikandung dalam agregat yang akan digunakan sebagai bahan adukan beton. Pada agregat ini kandungan lumpurnya tidak boleh lebih dari 5 %.

4.3.2 Pemeriksaan berat volume

Pemeriksaan ini untuk mengetahui berat volume dalam kondisi “ SSD ” (*Saturated Surface Dry*).

4.3.3 Pemeriksaan berat jenis

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis agregat yang akan digunakan.

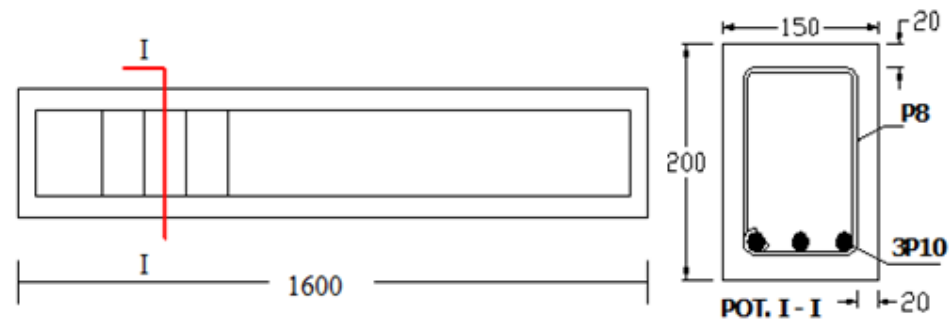
4.3.4 Analisis saringan dan modulus butiran halus

Analisis saringan bertujuan untuk mengetahui distribusi butiran (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan. Dari analisis saringan yang dilakukan diperoleh modulus halus butiran agregat halus.

4.4 Benda Uji

4.4.1 Benda Uji Awal

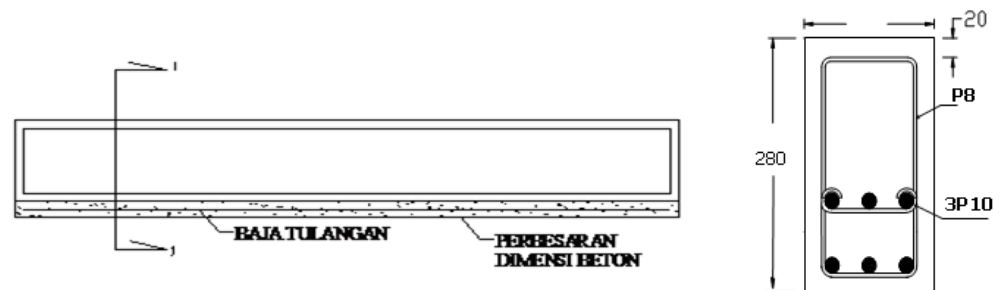
Benda uji awal berupa 3 buah balok beton bertulang dengan ukuran 15 x 20 x 160 cm. Untuk benda uji awal dipakai tul lentur dengan komposisi tulangan 3P10 dan tulangan geser P8-200 dengan tegangan leleh $f_y = 240$ Mpa.. Mutu beton rencana yang digunakan $f'_c = 20$ MPa.



Gambar 4.22 Benda Uji Balok Sebelum Perbaikan

4.4.2 Benda Uji Perbaikan

Benda uji perbaikan balok berupa 3 buah balok beton bertulang awal yang mengalami pertambahan tinggi 8 cm dengan ukuran keseluruhan 15 x 28 x 160 cm. Untuk benda uji ini dipakai tambahan tul lentur dengan komposisi tulangan 3P10 dan tulangan geser P8-200 dengan tegangan leleh $f_y = 240$ MPa



Gambar 4.23 Benda Uji Balok Setelah Perbaikan

4.5 Pembuatan Benda Uji

4.5.1 Benda Uji Awal

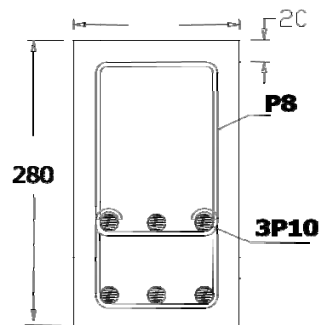
Balok awal dibuat secara konvensional dengan merakit tulangan dan meletakkannya kedalam bekisting yang berbentuk kotak dengan bagian atasnya terbuka. Beton tahu (*decking*) diletakan pada bagian sisi luar tulangan dan tulangan dibendrat pada bekisting guna memperkaku posisi tulangan.



Gambar 4.24 Pembuatan Benda Uji Balok Sebelum Perbaikan

4.5.2 Benda Uji Perbaikan

Balok perbaikan dibuat dengan memperbesar dimensi dengan menambah tinggi balok setebal 8 cm pada bagian tarik. Dan menambah 3 buah tulangan pada daerah tersebut. Sebelum tulangan baru dipasang, terlebih dahulu balok lama dibongkar (*dibobok*) pada daerah tarik kira-kira setebal 2 cm sampai tulangan lentur kelihatan dan tulangan (lentur) baru dikaitkan pada tulangan lentur lama seperti tergambar dibawah ini.



Gambar 4.25 Pembuatan Benda Uji Balok Setelah Perbaikan

4.6 Perawatan Benda Uji

Untuk perawatan benda uji dilakukan dengan cara menyelimuti balok dengan karung goni yang dibasahi terus-menerus hingga umur rencana untuk pengujian tercapai. Hal ini dilakukan dikarenakan perawatan dengan cara perendaman dirasa agak menyulitkan disebabkan balok yang sulit

dipindahkan akibat berat sendirinya dan belum tersedianya fasilitas yang memadai di laboratorium BKT Teknik Sipil, UII

4.7 Perhitungan campuran beton (*Mix Design*)

Metode yang digunakan dalam perencanaan campuran ini menggunakan metode DOE (*Department of Environment*), yaitu :

f'_c	= 20 Mpa
Jenis semen	= Semen portland merk Holchim
Jenis Kerikil	= Batu pecah
Ukuran maksimum kerikil	= 20 mm
Nilai <i>slump</i>	= Minimal 100 mm (10 cm)
Jenis Pasir	= Agak kasar (golongan 2)
Berat jenis kerikil	= 2,82 t/m ³
Berat jenis pasir	= 2,66 t/m ³

Dari mix disain dengan cara ini didapatkan :

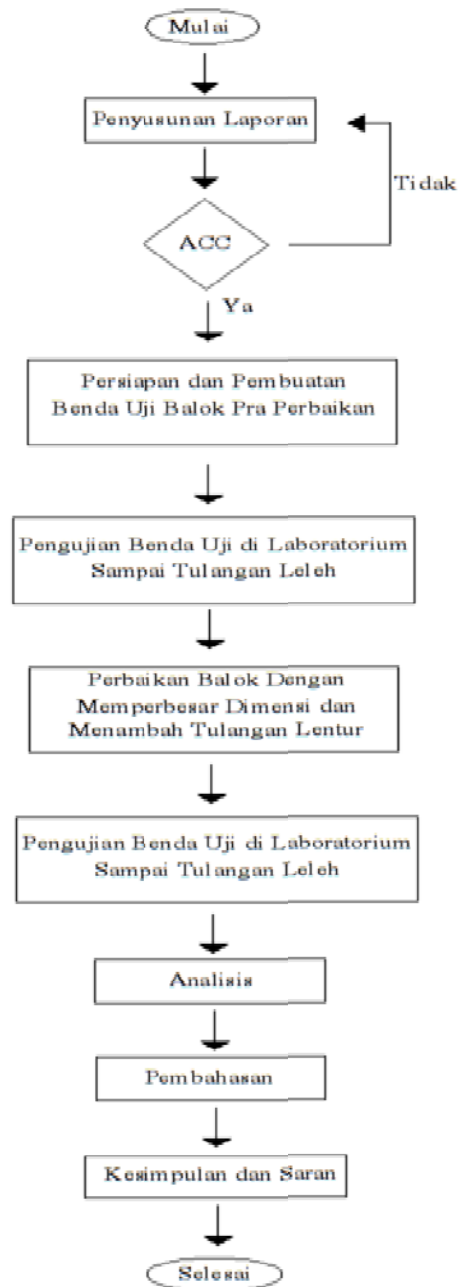
Untuk 1m³ beton dibutuhkan

- | | |
|------------|-------------|
| a. Air | = 205 liter |
| b. Semen | = 394,5 kg. |
| c. Pasir | = 629,2 kg |
| d. Kerikil | = 1221,3 kg |

Untuk 1 balok dibutuhkan (V = 0,048 m³)

- | | |
|------------|--------------|
| a. Air | = 9,84 liter |
| b. Semen | = 18,94 kg. |
| c. Pasir | = 30,21 kg |
| d. Kerikil | = 58,63 kg |

4.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4.26 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Hasil penelitian disajikan berupa data yang telah dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Penelitian dimulai dari mencari data-data bahan yang mencakup pengujian agregat dan baja tulangan. Data yang dihasilkan dari pengujian adalah karakteristik bahan seperti berat jenis, kandungan lumpur, tegangan tarik baja tulangan, kuat desak beton dan lain sebagainya. Pengujian yang paling utama dari penelitian ini adalah pengujian tegangan lentur balok baik sebelum maupun setelah perbaikan. Benda uji balok sendiri berupa struktur beton bertulang biasa yang terdiri dari 3 buah benda uji yang dianggap mempunyai karakteristik yang sama. Data yang diperoleh dari pengujian adalah beban dan lendutan. Sehingga dari data tersebut dianalisa untuk mendapatkan grafik beban-lendutan ($P-\Delta$), perbandingan kapasitas tampang (M_n), dan tegangan lentur (σ). Pelaksanaan pengujian dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembuatan benda uji awal berupa 3 buah balok. Pada tahap ini dibuatlah benda uji dengan spesifikasi yang sama baik itu mutu bahan maupun dimensi. Setelah balok dicetak, diberi tulangan dan dirawat selama 28 hari, barulah balok diuji dengan menggunakan *loading frame*. Setelah tulangan berada dalam kondisi leleh pengujian dihentikan. Tahap kedua adalah perbaikan 3 buah balok yang telah mengalami kerusakan akibat pembebanan. Pada tahap ini dilakukan perbaikan balok dengan memperbesar dimensi, yaitu dengan penambahan tinggi balok dan penambahan tulangan. Setelah itu dilakukan pengujian seperti yang dilakukan pada tahap 1.

5.2 Agregat

Pengujian agregat ini meliputi pasir sebagai agregat halus dan kerikil sebagai agregat kasar. Menurut peraturan SK-SNI –T-15-1990-03, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak

halus, agak kasar dan kasar. Ayakan yang digunakan untuk mengelompokkan pasir ini terdiri dari 6 ayakan. Ayakan ini disusun secara urut dari lubang 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3 dan 0.15 mm. Hasil pengujian mendapatkan bahwa pasir yang digunakan masuk daerah gradasi II yaitu pasir agak kasar. Kerikil yang digunakan untuk benda uji awal lolos saringan 20 mm dan tertahan saringan 4,8 mm. Sedangkan kerikil yang digunakan untuk perbaikan lolos saringan 10 mm dan tertahan saringan 4,8 mm. Rangkuman data yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Sedangkan hasil selengkapnya bisa dilihat pada Lampiran A

Tabel 5.1 Hasil pengujian material awal

Penelitian	Pasir	Kerikil
Berat jenis SSD	2,66	2,82
Penyerapan air (%)	6,5	5,48
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	20

Tabel 5.2 Hasil pengujian material perbaikan

Penelitian	Pasir	Kerikil
Berat jenis SSD	2,66	2,55
Penyerapan air (%)	6,5	2,35
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	10

5.3 Tegangan Tarik Baja Tulangan

Baja yang digunakan pada pengujian ini adalah baja tulangan polos dengan menggunakan diameter 10 mm untuk tulangan lentur dan 8 mm untuk tulangan geser. Pengujian ini menggunakan baja tulangan dengan panjang 50 cm. Hasil rangkuman dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A5

Tabel 5.3 Hasil pengujian tegangan tarik baja

Kode Baja	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	
		(kg/cm ²)	(MPa)
A	9,1	2543,41	249,354
B	9,4	2728,59	267,508
C	9,3	2661,58	260,939
RATA - RATA			259,27

5.4 Kuat Desak Beton

Beton mempunyai nilai tegangan tarik yang rendah bila dibandingkan dengan tegangan desaknya. Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata-cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertahap dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai benda uji tersebut hancur. Hasil rangkuman dari pengujian kuat desak beton dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 5.4 Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Kode Silinder Beton	Kuat Tekan (f'c)	
		(Kg/cm ²)	(MPa)
1	S1	243,72	23,9
2	S2	221,54	21,72
3	S3	238,51	23,38
	Rata-rata	234,59	23
1	S1.P	514,71	50,46
2	S2.P	379,997	37,25
3	S3.P	444,26	43,55
	Rata-rata	446,32	43,76



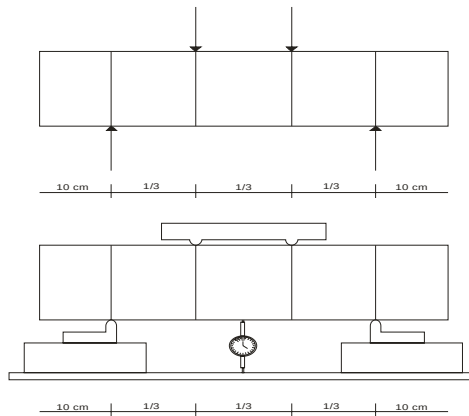
Gambar 5.1 Benda uji kuat tekan beton

5.5 Balok Beton Bertulang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan balok sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan dengan pengujian lentur yang dimiliki oleh tiap model balok. Pengujian ini membahas antara lain : hubungan beban dan lendutan ($P-\Delta$), perbandingan kapasitas tampang (M_n), dan tegangan lentur

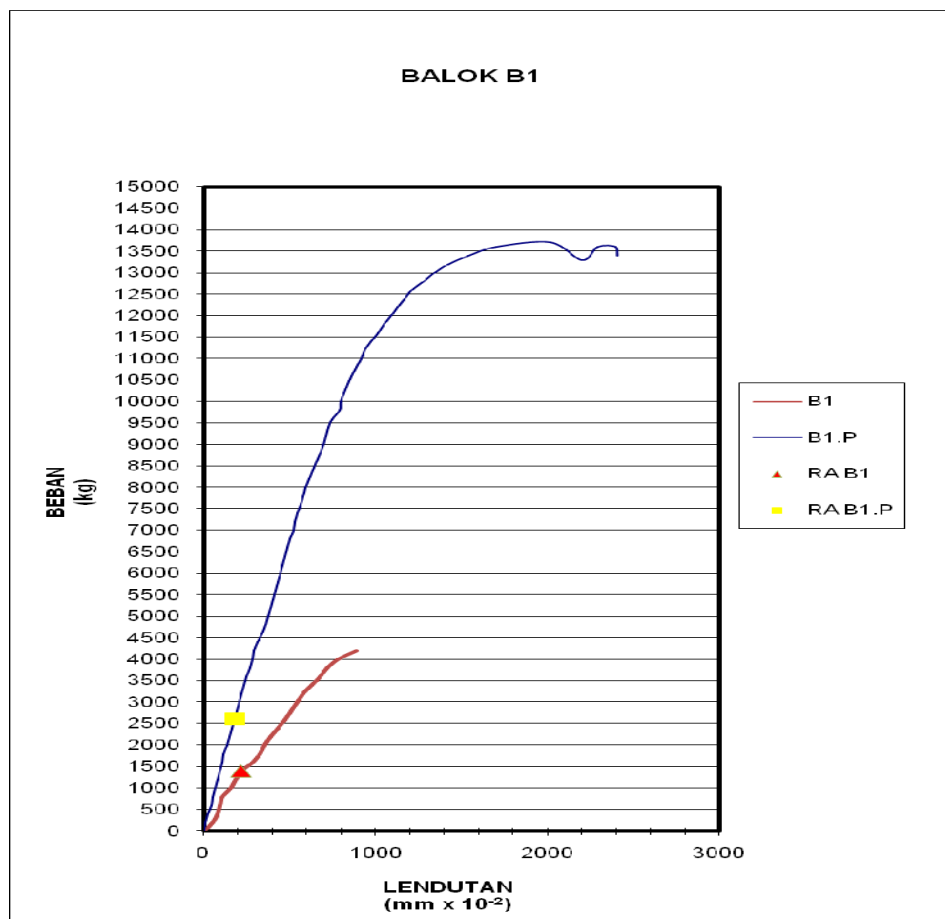
5.5.1 Hubungan beban dan lendutan

Pelaksanaan uji lentur dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pada setiap balok diberi 2 titik pembebanan, dimana beban diberikan secara bertahap dengan jarak antara titik, baik antar pembebanan maupun dengan tumpuan selebar 50 cm, dan interval pembebanan 200 kg pada setiap tahap pembebanan. Untuk mencatat lendutan yang terjadi pada balok dipasang dial pada bagian bawah balok. Lendutan yang terjadi dicatat, dan hasil selengkapnya disajikan dalam Lampiran E.



Gambar 5.2 Sketsa pengujian balok

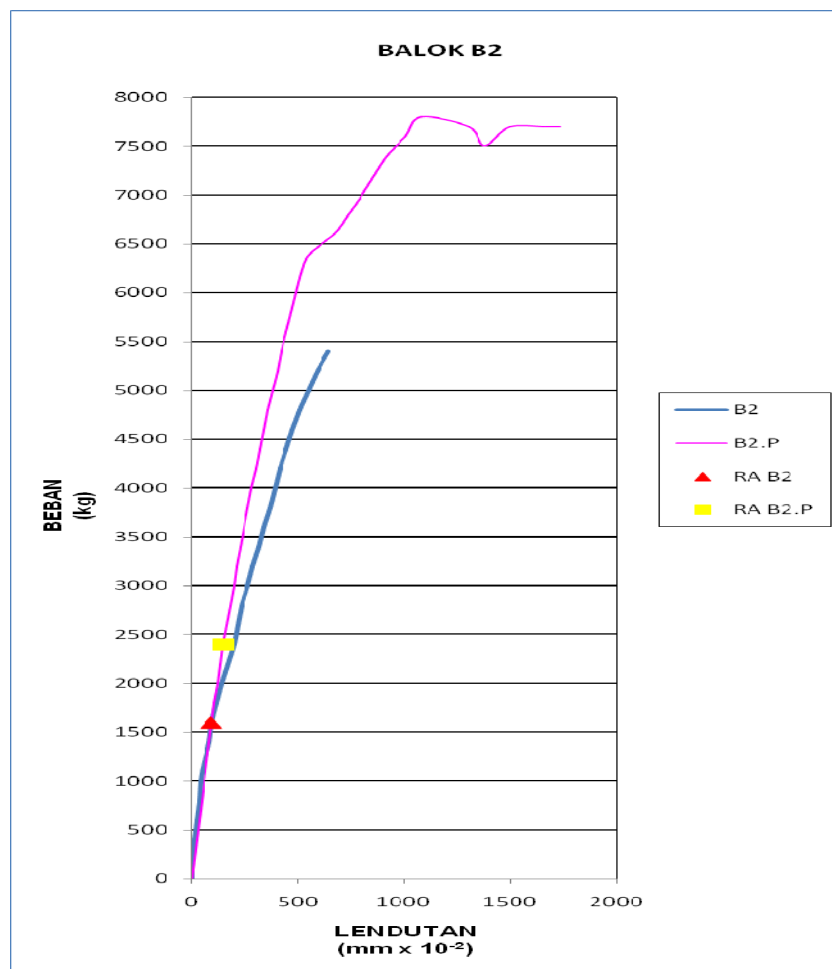
1. Balok B1 dan B1.P



Gambar 5.3 Hubungan beban-lendutan balok sebelum perbaikan (B1) dengan balok setelah perbaikan (B1.P)

Dari Gambar 5.3 diatas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan beban-lendutan pada balok sebelum dilakukan perbaikan (B1) dan setelah dilakukan perbaikan (B1.P). Balok B1 mengalami retak awal pada pembebanan 1400 kg dengan lendutan sebesar 2,18 mm, sedangkan balok B1.P mengalami retak awal pada pembebanan 2600 kg dan lendutan sebesar 1,79 mm. Balok B1 mampu menahan beban maksimum sebesar 4200 kg dengan lendutan sebesar 8,85 mm, sedangkan balok B1.P mampu menahan beban maksimum sebesar 13700 kg dengan lendutan sebesar 20,20 mm.

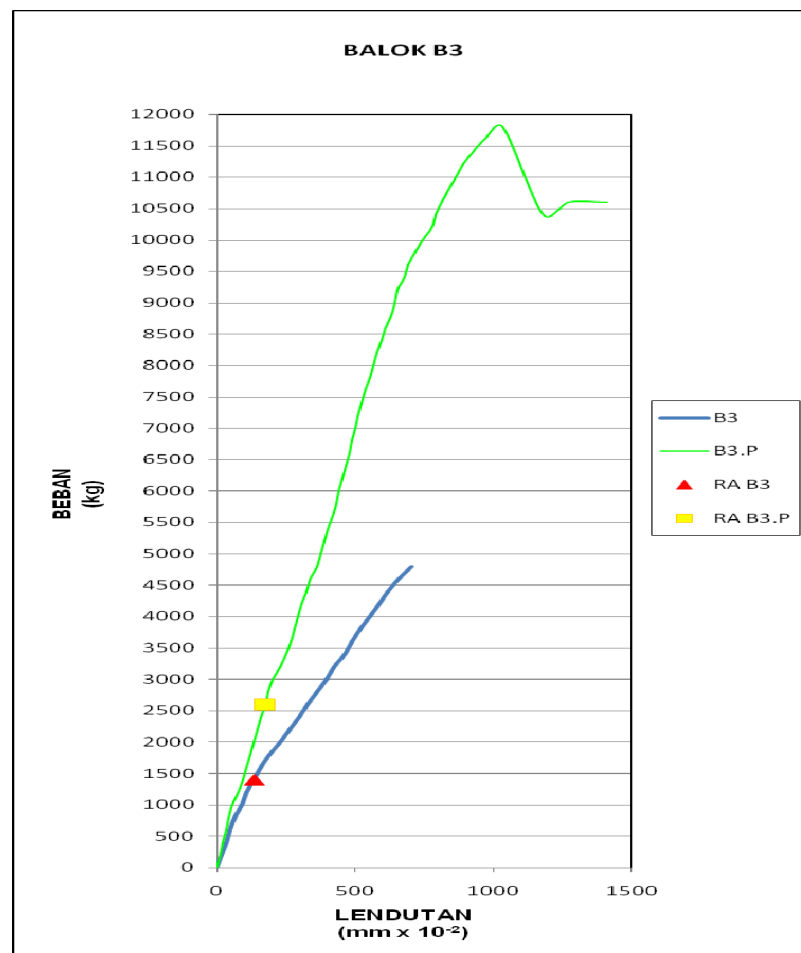
2. Balok B2 dan B2.P



Gambar 5.4 Hubungan beban-lendutan balok sebelum perbaikan (B2) dengan balok setelah perbaikan (B2.P)

Dari Gambar 5.4 diatas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan beban-lendutan pada balok sebelum dilakukan perbaikan (B2) dan setelah dilakukan perbaikan (B2.P). Balok B2 mengalami retak awal pada pembebanan 1600 kg dengan lendutan sebesar 0,93 mm, sedangkan balok B2.P mengalami retak awal pada pembebanan 2400 kg dan lendutan sebesar 1,48 mm. Balok B2 mampu menahan beban maksimum sebesar 5400 kg dengan lendutan sebesar 6,43 mm, sedangkan balok B2.P mampu menahan beban maksimum sebesar 7800 kg dan lendutan sebesar 10,78 mm

3. Balok B3 dan B3.P



Gambar 5.5 Hubungan beban-lendutan balok sebelum perbaikan (B3) dengan balok setelah perbaikan (B3.P)

Dari Gambar 5.5 diatas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan beban-lendutan dan retak awal pada balok sebelum dilakukan perbaikan (B3) dan setelah dilakukan perbaikan (B3.P). Balok B3 mengalami retak awal pada pembebanan 1400 kg dengan lendutan sebesar 1,34 mm, sedangkan balok B3.P mengalami retak awal pada pembebanan 2600 kg dan lendutan sebesar 1,74 mm. Balok B3 mampu menahan beban maksimum sebesar 4800 kg dengan lendutan sebesar 7,05 mm, sedangkan balok B3.P mampu menahan beban maksimum sebesar 10800 kg dan lendutan sebesar 10,35 mm

Tabel 5.5 Hasil pengamatan retak awal

N0	Jenis	Pengujian		Teori
		Beban Retak Awal (kg)	Beban Maks (kg)	Beban Retak Awal (kg)
1	B1	1400	4200	1344
2	B1.P	2600	13700	2635
3	B2	1600	5400	1344
4	B2.P	2400	7800	2635
5	B3	1400	4800	1344
6	B3.P	2600	10800	2635

Tabel 5.6 Hasil pengamatan lendutan

N0	Jenis	Pengamatan		Teori
		Pembebanan (kg)	Lendutan (mm)	Lendutan (mm)
1	B1	1400	2,18	0,730
2	B1.P	1400	0,97	0,266
3	B2	1400	0,82	0,730
4	B2.P	1400	0,84	0,266
5	B3	1400	1,34	0,730
6	B3.P	1400	0,92	0,266

5.5.2 Tegangan lentur benda uji

Data yang digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan lentur berasal dari pengujian balok. Tegangan lentur dihitung setelah didapatkan nilai beban maksimum pada balok. Dan nilai tegangan lentur pada daerah momen maksimum dapat dinyatakan dalam rumus :

$$\sigma_{lt} = \frac{(P/2)(L/3)(d-c)}{(1/12).b.h^3}$$

$$\sigma_{lt} = \frac{2PL}{b.h^3}(d-c)$$

dengan : σ_{lt} = Tegangan Lentur benda uji (MPa)

P = beban maksimum (gaya)

L = jarak antar tumpuan

d = tinggi efektif balok

c = tebal beton desak

b = lebar tampang balok

h = tinggi tampang balok

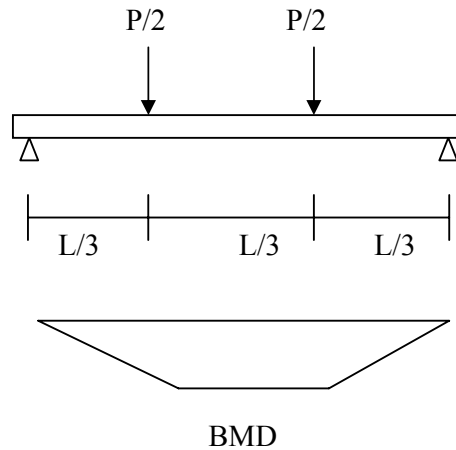
Hasil perhitungan masing-masing balok akan ditampilkan didalam lampiran D, sedangkan hasil dari hitungan dapat dilihat pada tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Hasil perhitungan tegangan lentur benda uji

N0	Jenis	b (cm)	h (cm)	h ² (cm ²)	d (cm)	c (cm)	P maks (kg)	L (cm)	σ_{lt} (kg/cm ²)	σ_{lt} (MPa)
1	B1	15	20	8000	16,7	1,98	4200	150	154,5600	15,1529
2	B1.P	15	28	21952	24,7	3,67	13700	150	262,4918	25,7345
3	B2	15	20	8000	16,7	1,98	5400	150	198,7200	19,4824
4	B2.P	15	28	21952	24,7	3,67	7800	150	149,4479	14,6518
5	B3	15	20	8000	16,7	1,98	4800	150	176,6400	17,3176
6	B3.P	15	28	21952	24,7	3,67	10800	150	206,9278	20,2870

5.5.3 Kapasitas Penampang Momen

Dari beban maksimal balok yang terjadi akibat pembebanan dapat dicari besarnya momen pada balok tersebut dengan menggunakan rumus dibawah ini.



Gambar 5.6 Momen pada tampang memanjang balok

$$M = \frac{1}{6} PL$$

dimana :

M = Momen (kNm)

P = Beban maksimal (kN)

L = Panjang bentang (m)

Dari perhitungan benda uji berupa 3 buah balok baik sebelum maupun sesudah dilakukan perbaikan didapatkan hasil seperti tersebut didalam tabel dibawah ini.

Tabel 5.8 Hasil perhitungan momen benda uji

N0	Pengamatan								Teori
	Jenis	b (cm)	h (cm)	h ² (cm ²)	P maks (kg)	L (cm)	M (kgcm)	M (kNm)	M (kNm)
1	B1	15	20	400	4200	150	105000	10,2900	7,6520
2	B1.P	15	28	784	13700	150	342500	33,5650	15,0100
3	B2	15	20	400	5400	150	135000	13,2300	7,6520
4	B2.P	15	28	784	7800	150	195000	19,1100	15,0100
5	B3	15	20	400	4800	150	120000	11,7600	7,6520
6	B3.P	15	28	784	10800	150	270000	26,4600	15,0100

5.6 Pembahasan

Didalam pembuatan benda uji di laboratorium, ternyata hasil dari perbaikan balok tipe 2, yaitu B2.P tidak seperti yang dikehendaki. Hal ini dapat dilihat dari beban maksimum setelah dilakukan perbaikan yang tidak sebesar kedua balok lainnya. Apabila dilihat secara visual, terdapat banyak rongga pada balok yang menyebabkan balok keropos dan kekuatannya menurun. Sehingga dengan demikian untuk pembahasan pada bab ini balok tipe 2 tidak akan diikutsertakan.

5.6.1 Hubungan beban dan lendutan

Dengan melakukan simulasi percobaan pada benda uji menggunakan 2 beban titik dengan jarak bentang yang sama dari tumpuan dimana pembebanan dilakukan secara bertahap pada interval 200 kilogram, maka didapatkan data beban retak awal pada balok. Hasil dari pengujian di laboratorium terhadap 3 balok baik sebelum maupun sesudah dilakukan perbaikan didapatkan hasil berupa retak awal dan beban maksimum yang selbihnya dapat dilihat didalam tabel dibawah ini.

Tabel 5.9 Hasil pengamatan retak awal dan beban maksimum

N0	Jenis	Pengujian		Teori
		Beban Retak Awal (kg)	Beban Maks (kg)	Beban Retak Awal (kg)
1	B1	1400	4200	1344
2	B1.P	2600	13700	2635
3	B2	1600	5400	1344
4	B2.P	2400	7800	2635
5	B3	1400	4800	1344
6	B3.P	2600	10800	2635

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa mayoritas balok sebelum diperbaiki mengalami retak awal pada tingkat pembebanan sebesar 1400 kg, sedangkan pada balok hasil perbaikan mengalami retak awal pada tingkat pembebanan 2600 kg. Hal ini disebabkan karena akibat penambahan dimensi,

mengakibatkan inersia beton bertambah dan pada akhirnya menyebabkan momen retak yang semakin besar. Dalam hal ini balok mengalami penambahan kekuatan dalam menahan retak awal akibat pembebanan sebesar 85,71% dari kekuatan awal. Bila dibandingkan dengan data secara teoritis, besarnya beban pada waktu terjadi retak awal pada balok sebelum maupun setelah diperbaiki tidak mengalami perbedaan yang signifikan, sehingga penelitian ini dapat terjaga validitasnya.

Tabel 5.10 Hasil pengamatan beban dan lendutan

N0	Jenis	Pengamatan		Teori
		Pembebanan (kg)	Lendutan (mm)	Lendutan (mm)
1	B1	1400	2,18	0,730
2	B1.P	1400	0,97	0,266
3	B2	1400	0,82	0,730
4	B2.P	1400	0,84	0,266
5	B3	1400	1,34	0,730
6	B3.P	1400	0,92	0,266

Dari tabel diatas terlihat bahwa lendutan pada balok hasil perbaikan lebih kecil daripada lendutan pada balok sebelum dilakukan perbaikan. Hal ini disebabkan kekakuan struktur meningkat akibat adanya penambahan dimensi. Rata-rata lendutan balok sebelum perbaikan adalah 1,76 mm, sedangkan rata-rata lendutan balok setelah perbaikan adalah 0,94 cm. Dalam hal ini balok mengalami peningkatan kekuatan dalam menahan lendutan sebesar 46,6%. Bila ditinjau secara teoritis, data lendutan yang didapatkan lebih kecil daripada hasil pengujian. Hal ini disebabkan balok sebelum perbaikan sudah dalam kondisi melendut ketika diperbaiki, sehingga nilai lendutanya melebihi perhitungan secara teoritis

5.6.2 Tegangan lentur balok

Setelah dilakukan pengujian dilaboratorium, selain didapatkan data berupa lendutan balok yang terjadi, didapatkan pula data percobaan berupa beban maksimum yang dapat ditahan oleh balok. Dari sinilah data di olah sehingga dapat diketahui besarnya tegangan lentur yang terjadi. Untuk mengetahui besarnya tegangan lentur digunakan rumus

$$\sigma_{lt} = \frac{2PL}{b.h^3} (d - c)$$

dengan : σ_{lt} = Tegangan Lentur benda uji (MPa)

P = beban maksimum (gaya)

L = jarak antar tumpuan

d = tinggi efektif balok

c = tebal beton desak

b = lebar tampang balok

h = tinggi tampang balok

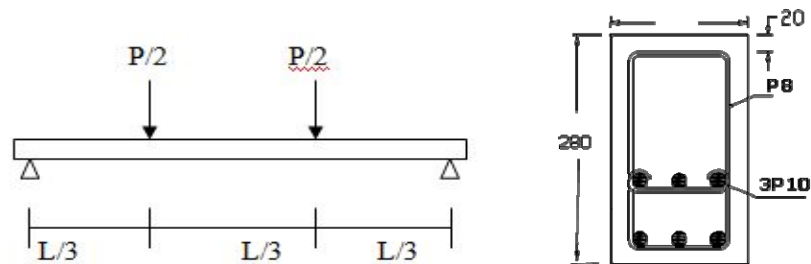
Rekapitulasi hasil dari perhitungan tegangan lentur terhadap 3 buah balok baik sebelum maupun setelah perbaikan dapat dilihat dari tabel 5.11 dibawah ini

Tabel 5.11 Hasil perhitungan tegangan lentur benda uji

N0	Jenis	b (cm)	h (cm)	h ² (cm ²)	d (cm)	c (cm)	P maks (kg)	L (cm)	σ_{lt} (kg/cm ²)	σ_{lt} (MPa)
1	B1	15	20	8000	16,7	1,98	4200	150	154,5600	15,1529
2	B1.P	15	28	21952	24,7	3,67	13700	150	262,4918	25,7345
3	B2	15	20	8000	16,7	1,98	5400	150	198,7200	19,4824
4	B2.P	15	28	21952	24,7	3,67	7800	150	149,4479	14,6518
5	B3	15	20	8000	16,7	1,98	4800	150	176,6400	17,3176
6	B3.P	15	28	21952	24,7	3,67	10800	150	206,9278	20,2870

Dari data tersebut dapat diketahui bahwa sebelum dilakukan perbaikan rata-rata tegangan lentur balok adalah 16,47 MPa, sedangkan setelah dilakukan perbaikan kekuatan lenturnya rata-rata menjadi 23,01 MPa. Ini disebabkan karena akibat adanya penambahan dimensi balok, momen inersia balok meningkat sehingga mampu menahan beban yang lebih besar. Akibatnya tegangan lentur balok pun akan ikut meningkat pula. Dengan begitu dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan lenturnya bertambah 39,71%.

5.6.3 Kapasitas tampang momen



Gambar 5.7. Gambar penampang balok

Dari perhitungan secara teoritis, akibat beban 2 titik seperti gambar yang tersebut diatas, dapat dicari besarnya momen maksimum yang terjadi. Dengan metode keseimbangan momen didapat nilai besarnya momen maksimal balok dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$M = \frac{1}{6} PL$$

dimana :

M = Momen (kNm)

P = Beban maksimal (kN)

L = Panjang bentang (m)

Rekapitulasi dari hasil perhitungan momen yang bekerja pada balok baik sebelum maupun sesudah dilakukan perbaikan dapat dilihat pada tabel 5.12 yang tersebut dibawah ini

Tabel 5.12 Hasil perhitungan momen benda uji

N0	Pengamatan								Teori
	Jenis	b (cm)	h (cm)	h ² (cm ²)	P maks (kg)	L (cm)	M (kgcm)	M (kNm)	M (kNm)
1	B1	15	20	400	4200	150	105000	10,2900	7,6520
2	B1.P	15	28	784	13700	150	342500	33,5650	15,0100
3	B2	15	20	400	5400	150	135000	13,2300	7,6520
4	B2.P	15	28	784	7800	150	195000	19,1100	15,0100
5	B3	15	20	400	4800	150	120000	11,7600	7,6520
6	B3.P	15	28	784	10800	150	270000	26,4600	15,0100

Dari data yang terdapat dalam tabel diatas dapat diambil kesimpulan bahwa rata-rata momen yang terjadi pada tampang balok sebelum dilakukan perbaikan adalah sebesar 11,03 kNm, sedangkan setelah dilakukan perbaikan balok dapat menahan momen rata-rata sebesar 30,01 kNm. Ini disebabkan karena akibat adanya penambahan dimensi balok momen inersia balok meningkat sehingga mampu menahan beban yang lebih besar. Akibat lebih lanjut, balok mampu menahan momen yang bekerja lebih besar pula. Maka setelah dilakukan perbaikan balok mengalami kenaikan kekuatan sebesar 172%. Bila dibandingkan secara teoritis, nilai momen pada balok sebelum perbaikan mendekati sama. Akan tetapi pada balok hasil perbaikan secara teori didapatkan perbedaan yang cukup signifikan, yaitu hampir 2x lipat dari hasil pengujian. Hal ini disebabkan karena secara teoritis tulangan balok yang akan diperbaiki diasumsikan masih memberi kontribusi kekuatan sebesar 50%. Maka dari data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa sebenarnya pada balok yang akan diperbaiki, tulangan lentur balok masih memberi kontribusi kekuatan > 50%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian dilaboratorium mengenai perbaikan balok dengan metode perbesaran dimensi dan penambahan tulangan baja adalah sebagai berikut :

1. Balok sebelum diperbaiki (dimensi 15/20 dengan 3 tulangan tarik) rata-rata mengalami retak awal pada tingkat pembebanan sebesar 1400 kg, sedangkan pada balok hasil perbaikan, dimana balok yang semula berdimensi lebar 15 cm dan tinggi 20 cm, kini mengalami penambahan tinggi balok 8 cm atau sekitar 40% sehingga berdimensi akhir lebar 15 cm dan tinggi 28 cm (dimensi 15/28 dengan 3 tulangan tarik awal ditambah 3 tulangan tarik hasil perbaikan) rata-rata mengalami retak awal pada tingkat pembebanan 2600 kg. Dalam hal ini balok mengalami penambahan kekuatan dalam menahan retak awal akibat pembebanan sebesar 85,71% dari kekuatan awal.
2. Rata-rata lendutan balok sebelum perbaikan adalah 1,76 mm, sedangkan rata-rata lendutan balok setelah perbaikan dengan penambahan tinggi balok 8 cm atau sekitar 40% sehingga tinggi balok menjadi 28 cm adalah 0,94 cm. Dalam hal ini balok mengalami peningkatan kekuatan dalam menahan lendutan sebesar 46,6%
3. Dari penelitian didapatkan hasil bahwa sebelum dilakukan perbaikan rata-rata tegangan lentur balok adalah 16,47 MPa, sedangkan setelah dilakukan perbaikan dengan penambahan tinggi balok 8 cm atau sekitar 40% sehingga tinggi balok menjadi 28 cm kekuatan lenturnya rata-rata menjadi 23,01 MPa. Dengan begitu dapat diambil kesimpulan bahwa balok mengalami penambahan kekuatan dalam menahan lentur sebesar 39,71%.

4. Dapat di ambil kesimpulan bahwa rata-rata momen yang terjadi pada tampang balok sebelum dilakukan perbaikan adalah sebesar 11,03 kNm, sedangkan setelah dilakukan perbaikan dengan penambahan tinggi balok 8 cm atau sekitar 40% sehingga tinggi balok menjadi 28 cm, balok dapat menahan momen rata-rata sebesar 30,01 kNm. Maka balok mengalami peningkatan kekuatan sebesar 172%
5. Dari hasil pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan tinggi balok menyebabkan inersia meningkat sehingga balok mengalami penambahan kekuatan dalam menahan beban retak awal, tegangan lentur dan momen serta menyebabkan pengurangan lendutan.

6.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik dalam melakukan penelitian balok, dikemukakan saran sebagai berikut :

1. Dalam pelaksanaan penelitian hendaknya menggunakan dial yang sejenis agar diperoleh data yang seragam.
2. Dalam pembuatan sampel hendaknya menggunakan beton yang berasal dari satu adukan agar mutu beton antara masing-masing balok saling berdekatan.
3. Percobaan ini dilakukan masih dalam skala laboratorium, untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati kenyataan perlu diadakan percobaan dengan ukuran yang mendekati kenyataan.
4. Tahapan dalam pengecoran balok agar lebih diperhatikan agar didapat hasil pengecoran balok yang maksimal.
5. Percobaan yang dilakukan adalah berdasarkan kajian secara teoritis, yakni balok dengan tulangan sebelah yang dalam kenyataannya tulangan dengan rangkap, maka untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi maka perlu dilakukan percobaan selanjutnya dengan menggunakan tulangan rangkap.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 1991, SK SNI T-15-1990-03, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- _____, 2005, BUKU PEDOMAN TUGAS AKHIR DAN PRAKTEK KERJA, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- _____, Mei 2008, PANDUAN PERBAIKAN KERUSAKAN PADA BALOK ATAU KOLOM, 8 Mei 2008, www.kompas.com.
- _____, 2002, SK SNI 03 – 2847 – 2002, TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- _____, 2003, ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, Section 4 Construction, Volume 04.01, Philadelphia, USA.
- _____, 2003, ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, Section 4 Construction, Volume 04.05, Philadelphia, USA.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1991, TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, Cetakan Pertama, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982, PERSYARATAN UMUM BAHAN BANGUNAN DI INDONESIA, Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung
- Gideon Hadi Kusuma, 1993, PEDOMAN Pengerjaan Beton Berdasar SK-SNI T-15-1991-03, Erlangga, Jakarta.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG, Gramedia, Jakarta.
- Kadir Aboe, 2000, STRUKTUR BETON 1, Universitas Islam Indonesia, Jurusan teknik Sipil, Yogyakarta

- Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992, TEKNOLOGI BETON, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- McCormac, Jack.C, 2000, DISAIN BETON BERTULANG, Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L.J and Brook, K.M, 1991, BAHAN DAN PRAKTEK BETON, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.G, 1990, BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR, Eresco, Bandung.
- Nugraha P dan Antoni, 2007, TEKNOLOGI BETON, Andi, Surabaya
- Park, R And Paulay, T, 1975, REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, Jhon Wiley and Sons, Inc. New York
- Schodek, Daniel. L, 1992, STRUKTUR, Eresco, Jakarta.
- Smith, M. J, 1985, BAHAN KONSTRUKSI DAN STRUKTUR TEKNIK, Erlangga, Jakarta
- Vis W.C and Gideon Hadi Kusuma, 1990, DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON BERTULANG,Erlangga, Jakarta.
- Wang, C. K, dan Salmon C.G, 1986, PERENCANAAN BETON BERTULANG JILID 2, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Widodo, 2005, STRUKTUR BETON 1, Universitas Islam Indonesia, Jurusan teknik Sipil, Yogyakarta
- Winter,G and Nilson, A.H, 1993, PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG, Pradnya Paramita, Jakarta.