

TUGAS AKHIR
PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG
DENGAN PERKUATAN PLAT BAJA +
“SHEAR CONNECTOR”



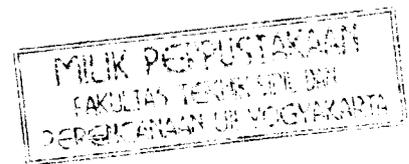
Disusun Oleh :

SETIA PRAYITNO

No. Mhs. : 92 310 344

AMRIZAL

No. Mhs. : 89 310 130



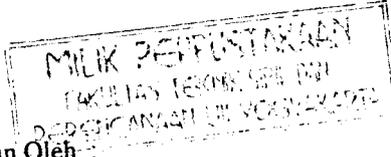
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN PLAT BAJA + "SHEAR CONNECTOR"

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh derajat Sarjana

Disusun Oleh :



SETIA PRAYITNO

No. Mhs. : 92 310 344

AMRIZAL

No. Mhs. : 89 310 130

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG
DENGAN PERKUATAN PLAT BAJA + "SHEAR CONNECTOR"**

SETIA PRAYITNO

No. Mhs. : 92 310 344

AMRIZAL

No. Mhs. : 89 310 130

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

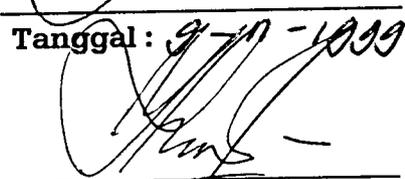
Ir. Susastrawan, MS

Dosen Pembimbing I

Ir. Ilman Noor, MSCE

Dosen Pembimbing II


Tanggal : 9-11-1999


Tanggal : 9-11-1999

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim

Assalaamu'alaikum Wr. Wb.

Semoga keberkahan, rahmat dan hidayah Allah SWT pada kita semua. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah pada junjungan Nabi Muhammad SAW. Beserta keluarganya, sahabatnya dan kaum muslim yang selalu menegakkan Ad-Din di muka bumi ini.

Tugas akhir yang kami buat ini adalah suatu studi laboratorium yang berjudul **“Pengujian Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Plat baja + Shear Connector”**. Penelitian ini kami laksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, baik dalam pembuatan benda uji dan pelaksanaan pengujian.

Atas terselesaikannya tak lupa kami mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS. Selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberi saran dan pengarahan dalam Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Ilman Noor, MsCE. Selaku Dosen Pembimbing II dan selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberi izin pemakaian laboratorium dan telah banyak memberikan masukan dan bimbingannya hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. H. Tadjuddin BM Aris, MS. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Segenap Karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5. Ayahanda, Ibunda, serta Adinda tercinta yang selalu memberikan dorongan, baik moril maupun materil dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Oom Rofiq yang dengan ikhlas menyediakan fasilitas demi lancarnya penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Teman-teman mahasiswa dan semua pihak yang tidak sempat kami sebutkan satu-persatu , yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Meskipun kami telah berusaha untuk sebaik mungkin, tetapi kami menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan ilmu yang kami miliki. Oleh karena itu kami selalu dengan tangan terbuka untuk menerima kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata kami mohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kesalahan dan kekurangannya baik dalam melaksanakan penelitian, bimbingan, maupun daalam penyelesaian laporan hasil penelitian Tugas Akhir ini. Semoga Allah SWT selalu membalas amal baik dan keikhlasan bagi mereka yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini dengan pahala sebagai amalan sholihah disisi Allah SWT.

Amin

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Oktober 1999
Penyusun

(Setiya Prayitno / Amrizal)

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI	xii
FAKTOR KONVERSI	xv
INTISARI	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LatarBelakang	2
1.2. Tujuan dan anfaat Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metodologi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum	6
2.2. Balok dengan Tumpuan Sederhana	7
2.3. Luas Netto	8
2.4. Beton Bertulang	8
2.4.1 Balok Lentur	9

2.2.	Aksi Komposit	12
2.2.1.	Alat Penyambung Geser	13
2.2.2.	Kuat Geser	13
2.2.3.	Balok Menerus	17
BAB III	PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN	20
3.1.	Persiapan Bahan dan Alat	21
3.2.	Pengujian Geser Baut	22
3.3.	Pengujian tarik Tulangan dan Plat Baja	23
3.4.	Pemeriksaan Agregat Halus	24
3.4.1.	Modulus Halus Butiran	25
3.4.2.	Berat Jenis Pasir	26
3.5.	Pemeriksaan Agregat Kasar	27
3.5.1.	Berat Jenis Split	27
3.5.2.	Berat Jenis Kering Tusuk (SSD)	28
3.6.	Pembuatan Benda Uji	29
3.6.1.	Pembuatan Cetakan Bekisting	29
3.6.2.	Perancangan Adukan Beton	29
3.6.3.	Campuran Adukan Beton	30
3.6.4.	Pengujian Nilai Siump	31
3.6.5.	Pencetakan Beton	32
3.6.6.	Perawatan Beton	32
3.6.7.	Pemasangan Plat Baja	32
3.7.	Pelaksanaan Pengujian	33
3.7.1.	Pengujian Desak Beton	33
3.7.2.	Pengujian Lentur	34
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	39
4.1.	Analisa Beban Terpusat	39

4.1.1.	Berdasarkan Hasil Pengujian Lentur ...	39
4.1.2.	Berdasarkan Teori Kapasitas Batas	41
	1. Benda Uji I	41
	2. Benda Uji II	43
	3. Benda Uji III	45
4.2.	Pembahasan	47
4.2.1.	Perbandingan KapasitasBeban P luluh Berdasarkan Teori dengan Hasil Pengujian	47
4.2.2.	Pengamatan Benda Uji	50
	1. Pengamatan Lendutan pada Balok ..	50
	2. Pola Retak pada Balok	53
	3. Pengamatan Geser pada Baut	58
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1.	Kesimpulan	60
5.6.	Saran-saran	62

DAFTAR TABEL

		Halaman
1.	Tabel 3.1. Hasil pengujian geser baut	23
2.	Tabel 3.2. Hasil pengujian tarik baja tulangan	24
3.	Tabel 3.3. Hasil pengujian tarik baja plat	24
4.	Tabel 3.4. Distribusi ukuran butiran pasir	25
5.	Tabel 3.5. Data pengujian berat jenis pasir	26
6.	Tabel 3.6. Data pengujian berat jenis split	27
7.	Tabel 3.7. Data pengujian berat jenis kering tusuk (SSD)	28
8.	Tabel 3.8. Hasil uji desak silinder beton	35
9.	Tabel 3.9. Hasil pengujian lentur balok	35
10.	Tabel 3.10. Hasil lendutan benda uji I	36
11.	Tabel 3.11. Hasil lendutan benda uji II	37
12.	Tabel 3.12. Hasil lendutan benda uji III	38
13.	Tabel 4.1. Beban luluh rata-rata hasil pengujian lentur	41
14.	tabel 4.2. Perbandingan kapasitas beban cara teoritis dengan hasil pengujian	49
12.	Tabel 4.3. Lendutan rata-rata masing-masing benda uji.....	52

DAFAR GAMBAR

		Halaman
1.	Gambar 1.1. Balok dengan Tumpuan sederhana	5
2.	Gambar 1.2. Bentuk-bentuk penampang benda uji	5
3.	Gambar 2.1. Contoh Pembebanan pada Balok Sederhana	7
4.	Gambar 2.2. Distribusi tegangan regangan penampang balok beton bertulang	10
5.	Gambar 2.3. Distribusi tegangan regangan penampang balok beton bertulang - plat baja	10
6.	Gambar 2.4. Perbandingan balok yang mengalami lendutan	12
7.	Gambar 2.5. Bentuk alat penyambung geser umum	13
8.	Gambar 2.6. Tegangan-tegangan geser dalam sebuah balok penampang persegi	14
9.	Gambar 2.7. Penampang komposit untuk lentur negatif	17
10.	Gambar 2.8. Penampang komposit beton bertulang plat untuk lentur positif	17
11.	Gambar 3.1. Bentuk geser tunggal baut.....	23
12.	Gambar 3.2. Penempatan tulangan pada balok	39
13.	Gambar 3.3. Penentuan nilai slump	31
14.	Gambar 3.4. Penempatan plat dan baut pada balok	33
15.	Gambar 4.1. Pembebanan pada pengujian lentur	40
16.	Gambar 4.2. Diagram penampang benda uji I	41
17.	Gambar 4.3. Diagram penampang benda uji II	43
18.	Gambar 4.4. Diagram penampang benda uji III	45
19.	Gambar 4.5. Grafik peningkatan beban P luluh berdasarkan teori dan hasil pengujian.....	48

20.	Gambar 4.6. Grafik hubungan beban dengan lendutan masing-masing benda uji	52
21.	Gambar 4.7. Diagram momen akibat beban dua titik.....	53
22.	Gambar 4.8. retak pada benda Uji I.....	55
23.	Gambar 4.9. Pola retak pada benda uji II	56
24.	Gambar 4.10. Pola retak pada benda uji III	57
25.	Gambar 4.11. Pembebanan bentuk kantilever	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran
1. Perencanaan benda uji balok	A
2. Perancangan adukan beton (metoda ACI)	B
4. Dokumentasi penelitian	C

FAKTOR KONVERSI

Besaran	Simbol	Ke	Kalikan dengan
Gaya	lb	N	4,448
	KN	Kg	101,971
Tegangan	psi	Mpa	$6,895 \times 10^{-3}$
	Mpa	psi	145,037
	psi	Kg/cm ²	0,070307
Berat jenis	gr/cc	Kg/cm ²	1
Panjang	inc	cm	2,54
	cm	mm	10
	cm ²	mm ²	100

DAFTAR NOTASI

Kapasitas batas

L	=	Jarak tumpuan balok (mm)
h	=	Tinggi balok (mm)
b	=	Lebar balok (mm)
a	=	Tinggi distribusi tegangan beton yang tertekan (mm)
C	=	Jarak garis netral keserat tekan terluar (mm)
d	=	Jarak dari serat tekan terluar kepusat tulangan tarik (mm)
d ₁	=	Jarak dari pusat tarik tulangan kepusat beton yang tertekan (mm)
d ₂	=	Jarak dari pusat tarik plat kepusat beton yang tertekan (mm)
Ab	=	Luas total penampang tulangan tarik (mm ²)
Ap	=	Luas penampang plat tarik (mm ²)
Cc	=	Gaya tekan batas pada beton yang tertekan (N)
Tb	=	Gaya tarik tulangan (N)
Tp	=	Gaya tarik plat (N)
f _c	=	Kuat tekan beton (Mpa)
f _{yb}	=	Tegangan leleh baja tulangan (Mpa)
f _{yp}	=	Tegangan leleh plat (Mpa)
ε _c	=	Regangan beton tekan (0,003)
ε _{yb}	=	Regangan leleh baja tulangan

- ϵ_{yp} = Regangan leleh plat baja
 M_{ext} = Momen akibat beban luar (Nmm)
 M_n = Momen nominal suatu penampang (Nmm)
 ϕ = Faktor reduksi kekuatan (0,80)
 P = Beban terpusat

Penulangan geser

- V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton (Mpa)
 V_s = Gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan geser (Mpa)
 ϕ_s = Diameter tulangan geser (mm)
 A_v = Luas total tulangan geser (mm²)
 S = Jarak tulangan geser (mm)

“Shear connector”

- Q_{ult} = Kuat geser baut (KN)
 n = Jumlah alat penyambung geser
 T_{sr} = gaya geser horisontal yang harus ditahan antara titik momen negatif maksimum dan titik momen nol (N)
 A'_{pr} = Luas total plat longitudinal (mm²)
 f_{ypr} = Tegangan leleh minimum plat baja longitudinal (Mpa)
 V_h = Gaya geser horisontal (KN)

Jarak “shear connector”

- n = Rasio modulus (ES/EC)
 p = Jarak “shear connector” (mm)

- I_{comp} = Momen inertia penampang komposit (mm^4)
- Q = Momen inertia penampang dari bidang geser yang ditinjau (mm^3)
- E_s = Modulus elastis baja (Mpa)
- E_c = Modulus elastis beton (Mpa)

INTISARI

Para peneliti telah melakukan beberapa penelitian mengenai balok beton bertulang dengan perkuatan eksternal plat. Hasil penelitian yang telah mereka lakukan ternyata belum optimalnya penggunaan eksternal plat tersebut.

Aksi komposit beton bertulang dengan perkuatan plat baja pada penelitian ini, sepenuhnya ditahan oleh konektor geser ("shear connector"). Sehingga gaya tarik yang dihasilkan oleh plat baja harus mampu ditransfer oleh konektor geser.

Berdasarkan hasil pengujian lentur yang telah dilakukan, ternyata plat belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Dibandingkan terhadap benda uji I (balok tanpa plat), benda uji II ternyata hanya mampu memberikan kapasitas beban rata-rata pada balok sebesar 550 kg atau meningkat sebesar 8,8820 % untuk plat dengan lebar 5, dan 1775 kg atau meningkat sebesar 28,6651 % untuk benda uji III dengan lebar plat 10 cm. Kurang optimalnya penggunaan plat baja ini diantaranya dapat disebabkan sika grout yang digunakan tidak bekerja dengan baik sehingga baut tertarik, plat terlalu tipis sehingga antara plat dan baut tidak kaku, dan selimut beton tidak mampu menahan desakan baut akibat gaya tarik plat. Baut yang terletak pada daerah momen maksimum dapat menambah lendutan pada balok, yaitu dengan diperlihatkannya retak-retak terbesar terletak pada baut tersebut, dengan demikian baut hanya perlu diletakkan pada daerah momen yang lebih kecil.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Suatu fasilitas struktur, termasuk bangunan gedung, dibangun dengan tujuan antara lain untuk berfungsi sebagai tempat yang aman dan nyaman bagi kegiatan manusia. Jika fungsi suatu bangunan tidak lagi dapat memenuhi tujuan tersebut, maka dikatakan bangunan tersebut telah rusak atau tidak berfungsi atau gagal ("fail"). Kegagalan struktur bukan sekedar keruntuhan dari suatu bangunan, akan tetapi dapat juga diartikan sebagai ketidaksesuaian dari apa yang telah dirancang sebelumnya.

Kegagalan suatu struktur dapat disebabkan antara lain :

1. Ketidak cukupan gambaran tentang pembagian gaya.
2. Kesalahan hitungan atau perencanaan.
3. Pembebanan yang berlebih pada struktur, misalnya suatu bagian dari kantor yang digunakan untuk arsip-arsip.
4. Perubahan dari tujuan semula, misalnya tempat tinggal digunakan sebagai pertokoan atau tempat kerja.

Berbagai macam jenis kegagalan struktur, misalnya pada balok beton bertulang, masalah perbaikan merupakan salah satu pilihan. Metode perbaikan pada balok beton bertulang dapat menggunakan plat baja sebagai perkuatan struktur.

2. Menggunakan balok beton bertulang sesuai dengan butir 1 di atas, tetapi diperkuat dengan plat baja pada sisi bawah balok beton dengan lebar plat 5 cm dan tebal 2.5 mm
3. Sama dengan butir 2 di atas, tetapi menggunakan plat dengan lebar 10 cm.
4. Untuk menghindari slip antara permukaan plat baja dan beton, digunakan baut sebagai fungsi “shear connector”.

Adapun karakteristik bahan yang dipakai dalam perencanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mutu beton dengan $f_c = 20$ MPa
- b. Baja tulangan dengan $f_y = 240$ MPa
- c. Diameter tulangan: 12 mm, 8 mm polos
- d. Plat baja dengan $f_y = 240$ Mpa, tebal (t_p) = 2,5 mm, lebar 5 cm dan 10 cm, panjang 1.85 m.
- e. Baut dengan diameter 10 mm ulir. Pada penelitian pendahuluan didapat kuat geser (q_{ult}) rata-rata = 32,3333 KN

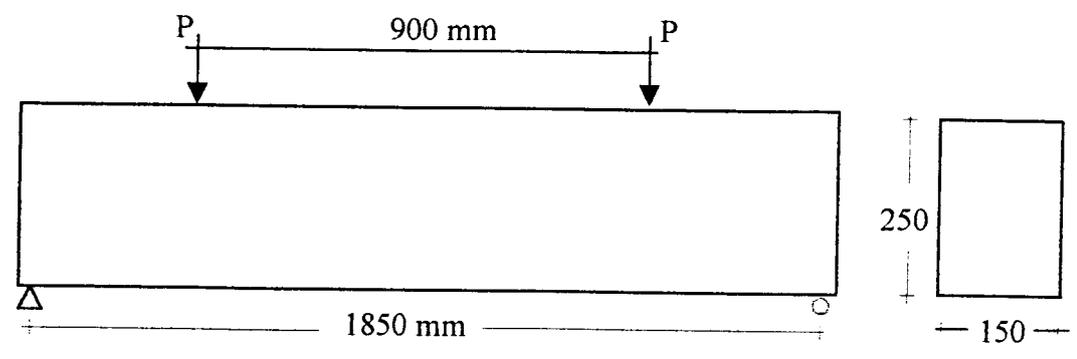
1.4. Metodologi Penelitian

Penelitian merupakan suatu pembuktian teori dengan pengujian di laboratorium. Untuk memperoleh suatu kesimpulan, peneliti harus menggunakan metodologi yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Maka untuk tujuan tersebut, metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dan urutan pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

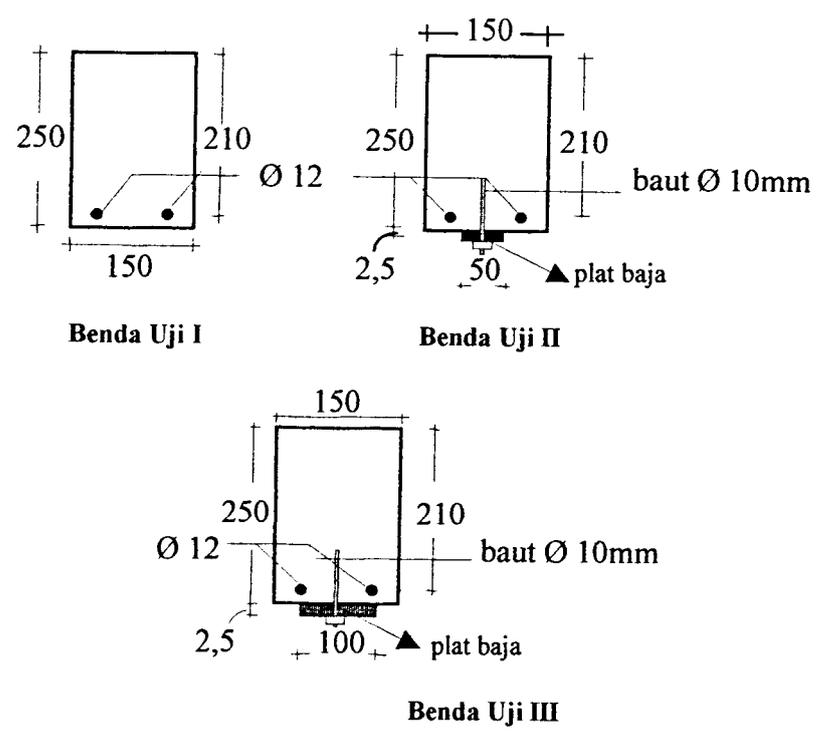
1. Benda uji yang digunakan untuk tiap tinjauan seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 1.3 butir 1, 2, dan 3, masing-masing 2 (dua) buah sampel. Balok-balok tersebut akan diletakkan pada tumpuan sederhana untuk diuji terhadap lentur.
2. Campuran adukan beton dirancang dengan metode ACI (*"American Concrete Institute"*).
3. Untuk mengetahui mutu beton sesungguhnya diambil sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 5 buah dan diuji desak setelah beton mencapai umur 28 hari.
4. Pemasangan plat baja diletakkan sejajar sisi bawah balok.
5. Pemasangan baut sebagai fungsi "shear connector" dilakukan setelah pengeboran pada balok beton dengan mesin bor. Kemudian pada lubang-lubang yang telah dibor dimasukkan baut dan selanjutnya digrouting agar terjadi lekatan pada baut dan beton.
6. Setelah hasil grouting berumur 3 hari, maka selanjutnya diadakan pengikatan dengan mur melalui baut.
7. Pengujian kuat lentur dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari, yaitu dengan cara meletakkan sampel (benda uji) di atas dua tumpuan yang berjarak 190 cm. Kemudian dibebani pada dua buah titik dengan jarak antar beban titik 90 cm dan diamati lendutan, maupun pergeseran antara balok beton dan plat baja pada saat balok melentur.
8. Untuk menarik kesimpulan, disamping hasil masing-masing sampel benda uji, juga menggunakan hasil teoritis, seperti oleh **Istimawan**

Dipohusodo dalam bukunya yang berjudul **Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SKSNI-SNI T-15-1991-03.**

Model pembebanan pada balok yang akan di uji seperti pada gambar 1.1 dan bentuk-bentuk penampang benda uji diperlihatkan pada gambar 1.2.



Gambar 1.1 Balok dengan Tumpuan Sederhana



Gambar 1.2 Bentuk-bentuk Penampang Benda Uji

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Penataan dan perkuatan yang jelek dan secara struktur tidak mampu menahan beban tumpuan, dengan menempatkan eksternal plat, sekarang telah dikenal luas sebagai perkuatan struktur dengan biaya yang efektif (Swamy,1996). Plat baja tentu saja menjadi pilihan pertama untuk digunakan sebagai penguat eksternal pada beton bertulang, disamping adanya kesesuaian antara baja dan beton , dan juga diterima dan telah dikenal oleh insinyur-insinyur baja sebagai material konstruksi. (Swamy,1995).

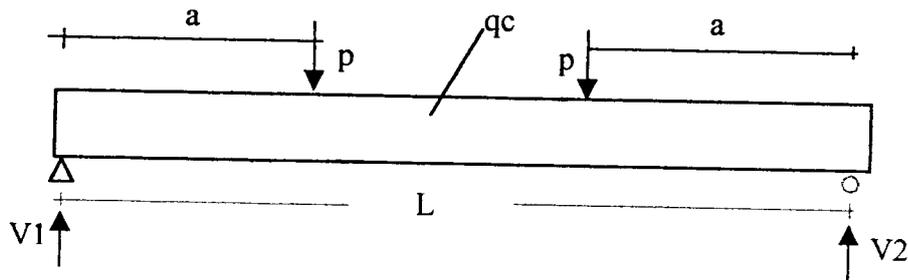
Belakangan ini telah dilakukan Pengujian lentur balok (Mukhopadhyaya dan Swamy, 1998) dengan menggunakan eksternal plat baja yang ditempatkan di sisi bawah balok beton bertulang. Prosedur yang dilakukan diantaranya adalah menggunakan baut sebagai fungsi “shear connector” dan lekatan antara plat dan permukaan beton. Model pembebanan terletak pada tumpuan sederhana dan balok dibebani beban titik (sentris) yang semetrisn. Hasil yang telah dilakukan memperlihatkan adanya peningkatan kapasitas beban ultimit jika dibandingkan balok tanpa plat. Peningkatan kapasitas beban ultimit yang dihasilkan sebesar 6,371 %. Disamping adanya penambahan kapasitas beban ultimit juga menambah kekakuan balok.

Atas dasar uraian di atas penulis ingin mencoba untuk menguji balok beton bertulang dengan perkuatan eksternal plat yang direncanakan berdasarkan teori-teori yang didapat selama perkuliahan.

2.2. Balok dengan Tumpuan Sederhana

Balok didefinisikan sebagai suatu batang struktural yang utama menjadi subjek dari momen lenturan. Balok sederhana hanya mendapatkan pembebanan transversal dan pembebanan momen. Balok semacam itu akan menjadi sasaran dari pelenturan dan geseran di dalam bidang pembebanan tanpa peregangan aksial dan puntiran.¹

Suatu balok yang dibebani beban titik lebih dari satu dan beban merata seperti pada gambar 2.1 secara analitis adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Contoh Pembebanan pada Balok dengan Tumpuan Sederhana

Akibat beban sentris :

$$V1 = V2 = P \quad (2.2.1)$$

$$M_{max} = P \times a \quad (2.2.2)$$

Momen maksimum yang terjadi akibat pembebanan ini terletak diantara beban P.

Akibat beban merata :

$$V = \frac{1}{2} \times q \times L \quad (2.2.3)$$

$$M_{\max} = 1/8 \times q \times L^2 \quad (2.2.4)$$

Momen maksimum akibat beban merata terletak di tengah bentang

2.3. Luas Netto

Bila batang tarik disambung dengan baut atau paku, lubang-lubang harus disediakan pada sambungan. Akibatnya, luas penampang lintang batang disambungan mengecil dan beban tarik yang diijinkan pada batang juga berkurang, sesuai dengan ukuran dan letak lubang.² Pembuatan lubang dapat dilakukan dengan beberapa metode. Cara yang paling umum dan murah adalah proses pons lubang standar yang 1/16 in (1,6 mm) lebih besar dari pada diameter paku keling atau baut.

2.4. Beton Bertulang

Beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar, yaitu pasir, batu pecah, atau bahan sejenis lainnya. Dengan menambah secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung.

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kuat tariknya. Sebagai komponen struktural, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang mengalami tarik, sedangkan betonnya diperhitungkan untuk menahan gaya tekan.³

¹ Yuan – Yu Hsieh, 1985, TEORI DASAR STRUKTUR

² Charles G. Salmon & John E. Johnson, 1990, STRUKTUR BAJA, Jilid 1

2.4.1 Balok Lentur

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linier dan homogen, maka tegangan lentur maksimum dapat diperoleh dengan rumus lentur balok yang terkenal, yaitu $f = Mc/I$. Pada keadaan batas beban, balok beton bukanlah material yang homogen, juga tidak elastis sehingga rumus lentur 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.³

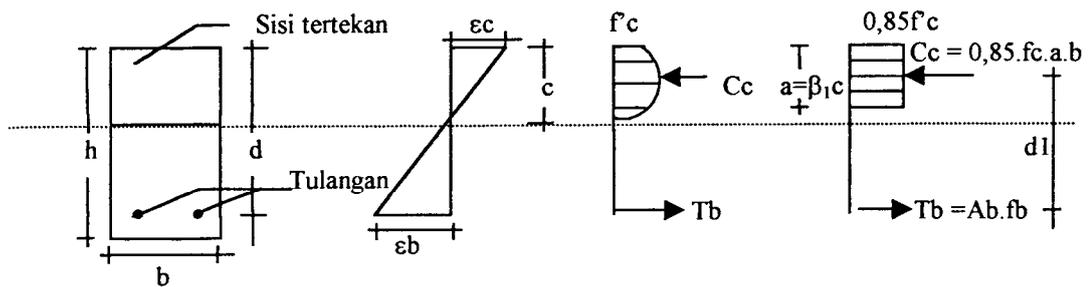
Hingga saat ini telah dikenal suatu metode yang dikenal dengan nama *metode perencanaan kuat ultimit* ("*ultimit strength design method*"). Anggapan-anggapan yang dipakai sebagai dasar metode kekuatan ultimit adalah:

1. Batang penampang rata sebelum terjadi lenturan, tetap rata setelah terjadi lenturan. Oleh karena itu, nilai regangan dalam penampang komponen terdistribusi linear sebanding lurus terhadap garis netral.
2. Tegangan-tegangan sebanding hanya terjadi pada beban sedang, dengan tegangan beton tekan tidak melampaui $\pm \frac{1}{2} f_c$. Apabila beban meningkat sampai beban ultimit, tegangan yang timbul tidak sebanding lagi dengan regangannya, berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linear.
3. Dalam menghitung kapasitas momen ultimit komponen struktur gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja

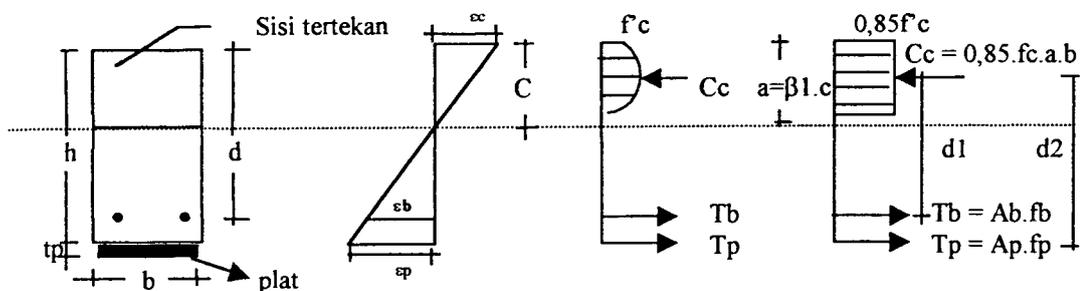
³ Istimawan Dipohusodo, 1994, STRUKTUR BETON BERTULANG

Untuk memperhitungkan letak resultante gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja, baja dianggap teregang sesuai dengan nilai regangan linier pada pusat beratnya. Umumnya regangan lentur beton hancur berada diantara 0.003 – 0.004. Untuk semua keadaan bahwa lekatan antara baja tulangan dengan beton berlangsung sempurna atau tanpa gelinciran.

Distribusi tegangan retangan penampang lentur balok beton bertulang dan beton bertulang-plat dapat dilihat pada gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2.2 Distribusi Tegangan Regangan Penampang Balok Beton Bertulang



Gambar 2.3 Distribusi Tegangan Regangan Penampang Komposit Balok Beton Bertulang - Plat

Kuat lentur suatu balok beton tersedia kerana berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada dalam keadaan

tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti tampak dalam gambar 2.2, C_c adalah resultan gaya tekan dalam, sedangkan T_b adalah resultante gaya tarik dalam. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak d , sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Analog kapasitas momen tahanan dalam untuk balok komposit beton bertulang-plat seperti diperlihatkan pada gambar 2.3 adalah :

$$\Sigma F = 0$$

$$C_c - T_b - T_p = 0$$

$$C_c = T_b + p \quad (2.4.1)$$

$$C_c = 0.85 f'c.b.a \quad (2.4.2)$$

$$T_b = A_b.f_b \quad (2.4.3)$$

$$T_p = A_p.f_p \quad (2.4.4)$$

$$0.85 f'c.b.a = A_b.f_b + A_p.f_p$$

$$a = \frac{A_b.f_b + A_p.f_p}{0.85.f'c.b} \quad (2.4.5)$$

$$M_n = T_b.d_1 + T_p.d_2 \quad (2.4.6)$$

keterangan notasi ,

A_b = luas penampang tulangan

A_p = luas penampang plat

b = lebar badan balok beton

$f'c$ = tegangan ijin tekan beton

f_b = tegangan tarik tulangan

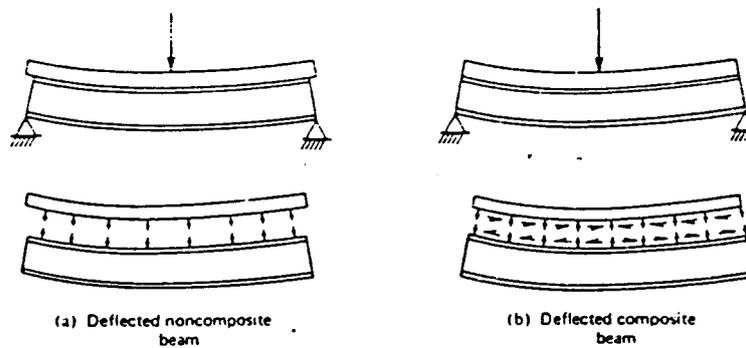
f_p = tegangan tarik plat

M_n = momen nominal suatu penampang

2.5. Aksi Komposit

Kekuatan penampang komposit sangat tergantung kepada keserasian (“*compatibility*”) antara dua atau lebih jenis bahan struktural untuk dapat bekerja sama memikul beban.⁴ Aksi komposit ini seperti plat beton dan balok baja disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan.⁵

Suatu sistem bekerja secara komposit, apabila antara plat dan balok baja tidak terjadi gelincir relatif satu dengan yang lainnya. Gaya horisontal timbul dan bekerja pada permukaan bawah plat, sehingga plat tertekan dan memendek dan pada saat yang sama gaya horisontal juga bekerja pada permukaan atas balok baja sehingga balok memanjang. Aksi balok-balok yang mengalami defleksi dengan dan tanpa aksi komposit dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perbandingan Balok yang Mengalami Defleksi

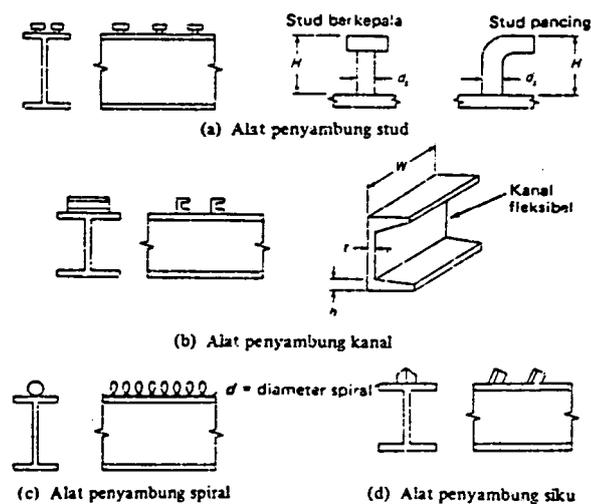
⁴ Joseph E. Bowles, 1985, DISAIN BAJA KONSTRUKSI

⁵ Charles G. Salmon & John E. Johnson, 1986, STRUKTUR BAJA DISAIN Dan PERILAKU, Jilid 2

2.5.1. Alat Penyambung Geser

Dalam tinjauan balok lentur hendaknya dipertimbangkan pula, bahwa pada saat yang sama balok juga mengalami gaya horisontal yang timbul akibat lenturan. Gaya horisontal yang timbul antara plat beton dan balok baja selama pembebanan harus ditahan agar aksi komposit bekerja secara monolit. Meskipun ada lekatan antara beton dan bajanya namun tidak cukup diperkirakan dengan pasti kekuatan geser bidang tersebut. Demikian juga gesekan antara beton dan bajanya tidak menghasilkan kekuatan sedemikian.⁵

Dalam keadaan terbebani, elemen penguat yaitu baja yang diberi "*shear connector*" sebagai alat penyambung geser, harus mengalami regangan dan deformasi yang sama dengan beton yang mendukungnya. Jenis-jenis alat penyambung geser seperti diperlihatkan pada gambar 2.5.



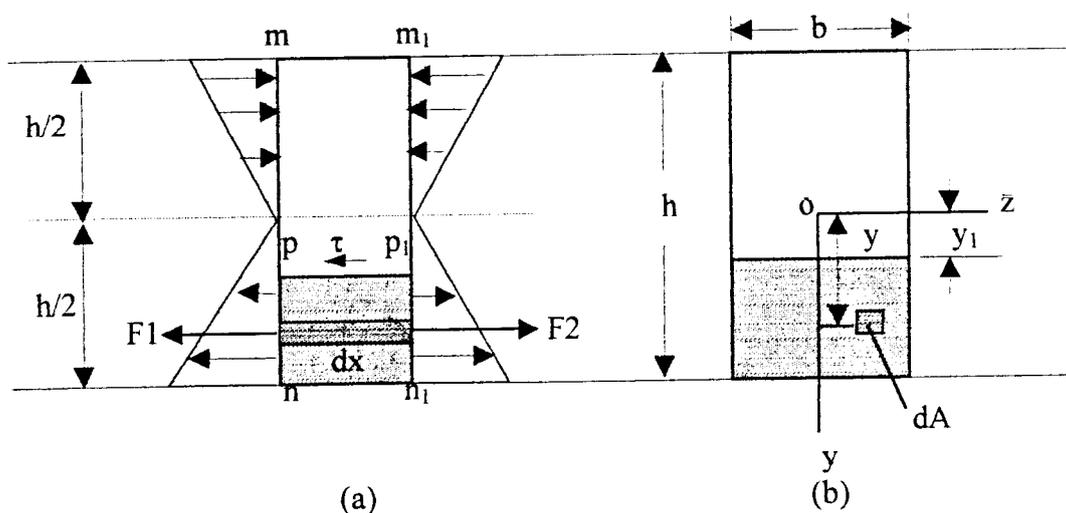
Gambar 2.5 Alat Penyambung Geser Umum

2.5.2. Kuat Geser

Kondisi kritis akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-tegangan tarik tambahan ditempat-tempat tertentu pada komponen struktur

terlentur. Tegangan geser dan lentur akan timbul disepanjang komponen struktur mengalami tegangan-tegangan tersebut pada tempat-tempat selain digaris netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan-tegangan tersebut disuatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok.³

Untuk tegangan-tegangan geser tinjaulah keseimbangan dari elemen pp_1 nn_1 pada gambar 2.6 yang dipotong dari sebuah balok antara dua buah penampang berdekatan mn dan m_1n_1 yang terpisah oleh jarak dx . Permukaan atas pada bagian yang diarsir bekerja tegangan-tegangan geser horisontal (τ) pada permukaan-permukaan ujung elemen bekerja tegangan-tegangan lentur normal σ_x yang dihasilkan momen-momen lentur.⁶



Gambar 2.6 Tegangan-tegangan Geser dalam Sebuah Balok Penampang Persegi

⁶ Gare & Timoshenko, 1987, MEKANIKA BAHAN

Tinjaulah sebuah balok elemen seluas dA pada jarak y dari sumbu netral pada gambar 2.5 b.

Gaya normal,

$$\sigma_x \cdot dA \quad (2.5.1)$$

Tegangan lentur,

$$\sigma_x = \frac{My}{I} \quad (2.5.2)$$

$$\sigma_x \cdot dA = \frac{My}{I} \cdot dA \quad (2.5.3)$$

Gaya-gaya elemental melalui luas permukaan p_n ,

$$F_1 = \int My/I \cdot dA \quad (2.5.4)$$

Dengan cara yang sama p_{n1} ,

$$F_2 = \int \frac{(M+dM)y}{I} \cdot dA \quad (2.5.5)$$

Gaya horisontal F_3 yang bekerja pada permukaan pp_1 adalah ,

$$F_3 = \tau b \cdot dx \quad (2.5.6)$$

Gaya-gaya F_1 , F_2 , F_3 harus berada dalam keseimbangan statis dalam arah sumbu x maka,

$$F_3 = F_2 - F_1 \quad (2.5.7)$$

Atau,

$$\tau b dx = \int \frac{(M + dM) y}{I} \cdot dA - \int \frac{My}{I} \cdot dA \quad (2.5.8)$$

$$\tau = \frac{dM}{dx} \left[\frac{1}{I \cdot b} \right] \cdot \int y \cdot dA \quad (2.5.9)$$

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad (2.5.10)$$

Aliran geser,

$$\tau_v = \frac{V \cdot Q}{I} \quad (2.5.11)$$

Jika suatu alat penyambung memiliki kapasitas izin geser sebesar q_{ult} , maka jarak alat penyambung untuk menghasilkan kapasitas yang diperlukan adalah :

$$P = \frac{q_{ult}}{VQ/I} \quad (2.5.12)$$

Keterangan notasi,

p = jarak “shear connector”

q_{ult} = kapasitas ijin “shear connector”

V = gaya geser balok

Q = momen statis dari bidang geser yang ditinjau terhadap garis netral

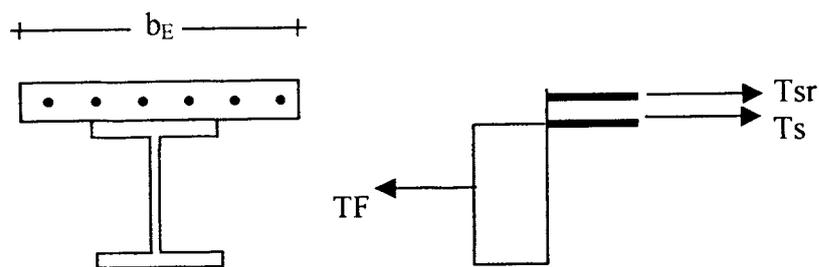
I = momen inertia penampang komposit

Perencanaan komposit sampai beberapa tahun belakangan ini masih menggunakan persamaan 2.5.12 untuk menentukan jarak antara alat-alat penyambung.

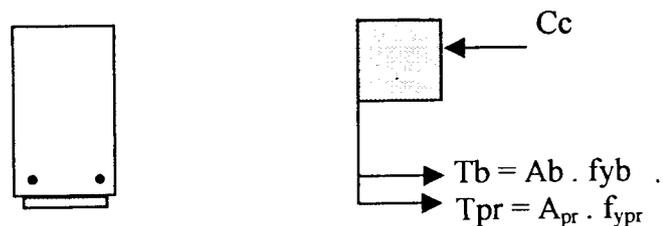
2.5.3. Balok Menerus

Secara tradisional balok menerus pada daerah momen positif didesain sebagai penampang komposit dan didaerah momen negatif dimana plat beton berada dalam tarik sebagai penampang tak komposit. Menurut LRFD dan ASD, penulangan yang membentang paralel terhadap balok baja dan terletak dalam bentang efektif plat beton b_E dapat dipakai sebagai bagian dari penampang komposit. Jika batang tulangan baja dalam plat beton dimanfaatkan aksi komposit, Gaya yang dihasilkan oleh batang ini harus ditransfer oleh konektor geser.⁵

Gaya-gaya geser horisontal yang diterima dan yang ditransfer oleh konektor geser diperlihatkan pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Penampang Komposit untuk Lentur Negatif



Gambar 2.8 Penampang Komposit Beton Bertulang – Plat untuk Lentur Positif

Analog gaya geser baut untuk beton bertulang-plat pada lentur positif seperti pada gambar 2.8, maka gaya yang dihasilkan oleh plat harus mampu ditransfer oleh konektor geser. Kekuatan nominal yang dihasilkan oleh plat ini adalah :

$$T_{pr} = A'_{pr} \cdot f_{ypr} \quad (2.5.13)$$

Keterangan notasi,

T_{pr} = Gaya geser horisontal yang harus ditahan antara titik momen maksimum dan titik momen nol.

A'_{pr} = Luas plat baja longitudinal.

f_{ypr} = Tegangan leleh minimum baja plat longitudinal

AISC-1.11 memakai konsep kekuatan batas tetapi mengubah gaya yang harus direncanakan dan kapasitas alat penyambung geser ke daerah beban kerja dengan membaginya terhadap suatu faktor. Beban yang harus dipikul dibagi dengan faktor nominal sebesar 2 (dua). Jadi perencanaan untuk beban kerja adalah :

$$V_h = \frac{T_{pr}}{2} \quad (2.5.14)$$

keterangan notasi,

V_h = gaya geser horisontal pada daerah beban kerja

Jadi, jika suatu alat penyambung geser memiliki kapasitas batas q_{ult} , jumlah total alat penyambung n yang diperlukan antara titik momen lentur maksimum sampai dengan nol adalah :

$$n = \frac{V_h}{q_{ult}}$$

(2.5.15)

BAB III

PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN

Penelitian untuk tugas akhir ini mencoba membuktikan besarnya pengaruh perkuatan plat baja terhadap balok beton bertulang pada saat balok menahan lentur. Untuk menghasilkan aksi komposit, maka digunakan baut sebagai fungsi “shear connector”.

Pembuatan dan pengujian sampel benda uji dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Sebelum pengujian lentur balok dilaksanakan, dilakukan juga uji pendahuluan untuk mengetahui mutu beton, tulangan, plat baja, dan baut. Adapun urutan pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan bahan dan alat,
2. Pengujian geser baja,
3. Pengujian tarik baja tulangan,
4. Pengujian tarik baja plat,
5. Pemeriksaan agregat halus,
6. Pemeriksaan agregat kasar,
7. Pembuatan sampel benda uji,
8. Pelaksanaan pengujian.

3.1. Persiapan Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat sampel benda uji dalam penelitian ini adalah :

1. Semen Portland tipe I, Tiga Roda.
2. Agregat halus (pasir) berasal dari kali Boyong, Sleman, DIY, Yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Agregat kasar (split), berasal dari kali progo, DIY., Yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Baja tulangan polos $\varnothing 12$ mm, $\varnothing 8$ mm, yang diperoleh dari toko bahan bangunan terdekat.
5. Plat baja strip dengan tebal 2.8 mm
6. Baut dengan diameter $\varnothing 10$ mm, tinggi 10 cm
7. Kayu dan triplek sebagai bahan untuk membuat cetakan beton.
8. Air dari laboratorium Bahan konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
9. Sika Grout 512

Adapun peralatan yang digunakan sebagai pendukung demi lancarnya proses dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Oven
2. Saringan
3. Timbangan

4. Ayakan
5. Tabung ukur 1000 ml
6. Kerucut Abrams
7. Skop kecil
8. Skop besar
9. Talam agregat
10. Mesin desak beton
11. Mesin tarik baja
12. Dial gauge
13. Shear tools
14. Cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm
15. Mesin bor beton
16. Kapiler, spidol, mistar, tang, dan lain-lain.

3.2. Pengujian Geser Baut

Pengujian geser baut ini bertujuan untuk mengetahui berapa kuat geser ultimitnya, karena baut ini akan digunakan sebagai “Shear Connector”, maka pengujian geser yang dilakukan adalah geser tunggal.

Baut yang digunakan adalah \varnothing 10 mm dan tinggi 10 cm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat “shear tool”. Dari pengujian ini, didapat kapasitas geser rata-rata sebesar 32,3333 KN. Dengan diketahuinya kuat geser dari baut ini, akan dapat dihitung berapa jumlah “shear connector” yang diperlukan. Data pengujian geser tunggal pada baut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan bidang geser yang terjadi pada baut diperlihatkan pada gambar 3.1.

Tabel 3.1 Data Pengujian Geser Baut

No.	Diameter(mm) / Luas (mm ²)	Q _{ult} (KN)
1	10 / 78.5	35
2	10 / 78.5	32
3	10 / 78.5	30
Rata-rata		32.3333



Gambar 3.1 Bidang Geser Hasil Pengujian Geser Tunggal Pada Baut

3.3. Pengujian Tarik Tulangan dan Plat Baja

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan luluhnya (f_y). Alat yang digunakan adalah mesin tarik baja. Pengujian tarik baja tulangan ini masing-masing menggunakan 2 buah sampel, sedangkan baja plat menggunakan 3 buah sampel. Hasil pengujian tarik baja dan plat baja dapat dilihat pada tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

No.	Tulangan	Luas (mm)/ Panjang (cm)	Beban Tarik (P) (Kg)	Tegangan Luluh (fy) (Mpa)	Tegangan Luluh Rata-rata (Mpa)
I	Diameter 10 mm	1	2540	317,1518	316,21535
		2	2525	315,2789	
II	Diameter 6,5 mm	1	1075	323,9600	326,9582
		2	1065	320,9465	

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Tarik Plat Baja

Panjang x Lebar x Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Beban Tarik Luluh (Kg)	Tegangan Luluh (fy) (Mpa)
500 x 25 x 2.8	70	1700	242,8571
500 x 25 x 2.8	70	1950	278,5714
500 x 25 x 2.8	70	1900	271,4285
RATA-RATA			264,2857

3.4. Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus (pasir) dalam penelitian ini adalah analisa saringan untuk mengetahui Modulus Butir Pasir (MHB) dan pemeriksaan berat jenis pasir.

3.4.1. Modulus Halus Butiran

Modulus halus butiran pasir adalah angka yang menunjukkan tinggi rendahnya kehalusan butiran dalam suatu agregat. Dengan mengetahui modulus halus butiran pasir, maka kita dapat merencanakan kebutuhan agregat dalam suatu adukan.

Pelaksanaan pemeriksaan :

- Pasir dikeringkan dalam oven selama 24 jam
- Timbangan pasir seberat 1000 gram
- Masukan pasir ke dalam ayakan yang sudah disusun mulai dari yang terbesar hingga yang terkecil.
- Pasir diayak dengan mesin ayak selama 15 menit.
- Berat yang tertinggal disaring ditimbang satu-persatu.

Hasil ayakan dari pemeriksaan ini disusun dalam tabel 3.4

Tabel 3.4 Distribusi Ukuran Butiran Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat tertinggal (%)		Berat Tertinggal Kumulatif (%)	
	I	II	I	II	I	II
4,80	0	0	0	0	0	0
2,40	50	49	3,3	3,7	3,3	3,7
1,20	180	185	12,0	12,33	15,30	16,03
0,60	455	499,5	30,33	33,30	45,63	49,33
0,30	341	381	22,73	25,40	68,36	74,73
0,15	275	1895	18,37	12,63	86,73	88,36
Sisa	298	196	19,87	13,07	-	-
Σ	1500	2500	106,56	100,43	218,96	232,15
Rata-rata	300		103,50		225,56	

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{ Berat Tertinggal Kumulatif}}{100 \%} \\ &= \frac{225,56}{100} = 2,26 \end{aligned}$$

3.4.2. Berat Jenis Pasir

Pemeriksaan berat jenis pasir ini untuk mengetahui berat jenis agregat dalam keadaan jenuh kering (SSD). Berat jenis pasir akan mengetahui kebutuhan pasir dalam adukan beton.

Pelaksanaan pemeriksaan :

- a. Pasir ditimbang sebanyak 400 gram
- b. Masukkan air ke dalam tabung sebanyak 500 cc
- c. Pasir dimasukkan ke dalam tabung secara perlahan-lahan sehingga volume air naik.

Hasil pengujian berat jenis pasir dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data Pengujian Berat Jenis Pasir

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	400 Gram	400 Gram
Gelas Ukur + Air (V1)	500 cc	500 cc
Gelas Ukur + Air + Agregat (V2)	655 cc	660 cc
$\frac{\text{Berat Jenis (Bj)} \quad W}{V2 - V1}$	2.58	2.50
Berat Jenis (Bj) Rata-rata	2.54	

3.5. Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (split). Pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui berat jenis split dan berat jenis kering tusuk (SSD).

3.5.1. Berat Jenis Split

Berat jenis split adalah rasio antara berat split volume air dalam suhu yang sama. Berat jenis split dapat dikatakan berat jenis mutlak, karena split diusahakan dalam keadaan padat tanpa rongga/pori.

Pelaksanaan pemeriksaan :

- a. Timbang split sebanyak 400 gram
- b. Masukkan air ke dalam tabung sebanyak 500 cc
- d. Pasir dimasukkan ke dalam tabung secara perlahan-lahan sehingga volume air naik.

Hasil pengujian berat jenis split dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data Pengujian Berat Jenis Split

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Agregat (W)	400 Gram	400 Gram
Gelas Ukur + Air (V1)	500 cc	500 cc
Gelas Ukur + Air + Agregat (V2)	655 cc	660 cc
Berat Jenis (Bj) $\frac{W}{V2 - V1}$	2.58	2.50
Berat Jenis (Bj) Rata-rata	2.54	

3.5.2. Berat Jenis Kering Tusuk (SSD)

Berat jenis split kering tusuk (SSD) adalah ratio antara masa split volumenya, dimana split dalam keadaan kering permukaan. Split direndam terlebih dahulu ke dalam air selama 24 jam, kemudian airnya dibuang, split diamparkan pada suatu tempat/dianginkan, sehingga kering pada permukaannya saja. Kemudian split diambil dan dimasukkan ke dalam silinder Ø 150 mm dan tinggi 300 mm, selanjutnya ditusuk-tusuk sampai penuh dan padat, kemudian ditimbang.

Pelaksanaan pemeriksaan :

- a. Timbang berat silinder kosong
- b. Hitung volume silinder
- c. Isi silinder dengan split secara tiga tahap, setiap tahap ditusuk-tusuk
- d. Setelah penuh, timbang berat silinder + split

Hasil pengujian berat jenis kering tusuk (SSD) dapat dilihat pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Data Pengujian Berat Jenis Kering Tusuk (SSD)

	BENDA UJI I	BENDA UJI II
Berat Cetakan Silinder (W1)	6,137 kg	6,137 kg
Berat Cetakan Silinder + Agregat (W2)	13.677 kg	13,703 kg
Volume Silinder (V) $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$	0,0053 m ³	0,0053 m ³
Berat Volume Agregat $\frac{W2 - W1}{V}$	1422,6915 kg	1427,5972 kg
Berat Volume Rata-rata	1425,1193 kg/m³	

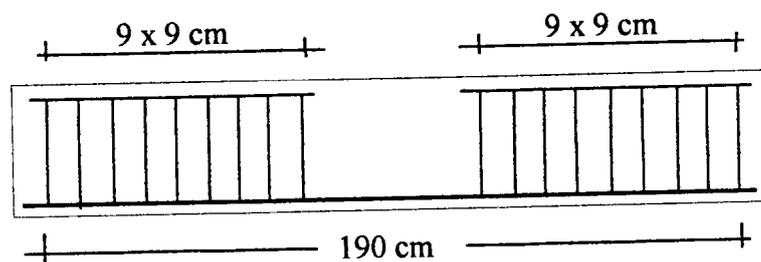
3.6. Pembuatan Benda Uji

3.6.1. Pembuatan Cetakan (Bekisting) dan Anyaman Tulangan

Bekisting terbuat dari kayu dan triplek. Cetakan ini dibuat sebanyak 3 (tiga) buah dengan ukuran disesuaikan dimensi balok beton yang digunakan sebagai benda uji, yaitu 2 m x 25 cm x 15 cm. Bekisting dibuat dalam bentuk panel yang dapat dibongkar dan dipasang kembali. Bersamaan pembuatan bekisting juga dilakukan pembuatan anyaman tulangan.

Penulangan utama terdiri dari tulangan bawah dan sengkang. Tulangan bawah berjumlah dua buah, sedangkan untuk tulangan atas hanya diperlukan sebatas untuk mengikat sengkang-sengkang, yaitu berjumlah 2 (dua) buah. Tulangan sengkang disatukan dengan tulangan bawah dan tulangan atas kemudian diikat dengan kawat bendrat dengan jarak 9 cm.

Penulangan balok dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penempatan Tulangan pada Balok

3.6.2. Perancangan Adukan Beton

Beton yang baik dibentuk dari butir-butir beraneka ragam yang dicampur dalam perbandingan tertentu, sehingga hampir seluruh ruang kosong terisi padat. Perancangan adukan beton dimaksudkan untuk mendapatkan beton yang sebaik-baiknya, antara lain :

1. Kuat tekannya tinggi,
2. Mudah dikerjakan,
3. Tahan lama,
4. Murah.

Pada penelitian ini, perhitungan proporsi bahan campuran adukan beton dipakai metode ACI (“American Concrete Institute”). Untuk dapat menghitung komposisi bahan yang dibutuhkan dalam campuran adukan beton, maka terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap bahan-bahan yang akan digunakan sesuai data-data yang diperlukan untuk perancangan metode ACI ini. Data-data hasil pemeriksaan tersebut adalah :

1. Berat jenis semen = 3,15 gr/cc
2. Modulus halus butiran = 2,26
3. Berat jenis pasir = 2,54 gr/cc
4. Ukuran maksimum pasir = 4,8 mm
5. Berat jenis split = 2,54 gr/cc
6. Berat jenis split (SSD) = 1425,1193 kg/mm³

Berdasarkan data tersebut di atas, dapat dihitung proporsi masing-masing bahan-bahan yang akan digunakan dalam campuran adukan beton (lihat lampiran B).

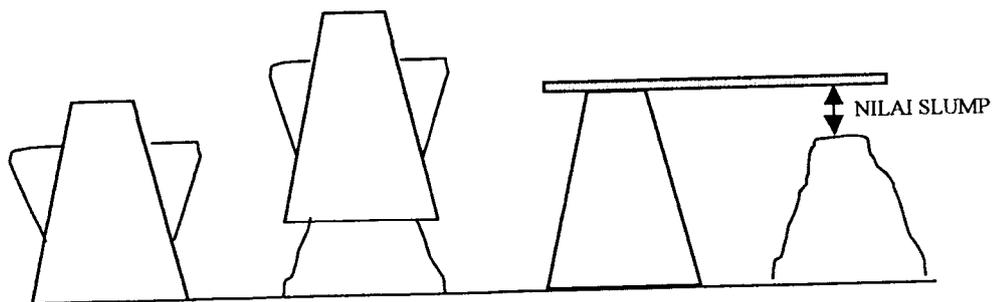
3.6.3. Campuran Adukan Beton

Sebelum diadakan pencampuran, terlebih dahulu semen, pasir, split, dan air ditimbang dalam perbandingan berat. Proporsi bahan untuk 1 m³ beton berturut-turut adalah 1 : 2,2 : 3 : 0.5.

Mula-mula pasir, split, dan semen dicampur dengan cangkul yang dilakukan dengan tenaga manusia, selanjutnya air dimasukkan dan diaduk kembali hingga merata. Dalam pekerjaan ini tempat pengadukan menggunakan plat besi agar air tidak meresap.

3.6.4. Pengujian Slump

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur kelecakkan adukan beton yang berguna dalam “workability” (kemudahan pengerjaan) beton. Pengujian dilakukan dengan menggunakan corong Abrams yang berbentuk kerucut terpancung yang diisi 3 (tiga) tahap/lapis beton. Setiap lapis ditusuk dengan tongkat baja kurang lebih 25 kali. Setelah penuh, muka atas diratakan dan didiamkan selama 60 detik, kemudian tarik corong ke atas dengan perlahan-lahan. Setelah itu diukur penurunan permukaan atas adukan beton. Besar penurunan adukan beton tersebut disebut dengan nilai slump. pengujian slump dilakukan sebanyak tiga kali, nilai slump masing-masing 9cm, 11cm, 14cm. Penentuan nilai slump seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penentuan Nilai Slump

3.6.5. Pencetakan Beton

Sebelum diadakan pengecoran, diadakan pengolesan pelumas pada cetakan agar mudah dilepas setelah beton mengeras. Siapkan cetakkan bekisting pada tempat yang datar dan terlindung dari getaran maupun gangguan lainnya. Setelah proses pengadukan selesai, beton segar yang dihasilkan dimasukkan ke dalam cetakan. Dengan menggunakan sendok semen, padatkan dan ratakan adukan beton setinggi penutup betonnya. Anyaman tulangan diletakkan di atasnya, kemudian cetakan diisi lagi sampai penuh, kemudian dipadatkan dengan tongkat besi dan ratakan.

3.6.6. Perawatan Beton

Untuk mencapai mutu beton yang diharapkan, maka setelah beton dikeluarkan dari cetakan, harus segera dilakukan perawatan dengan membasahi dengan air dan menyelimuti dengan karung basah selama 28 hari.

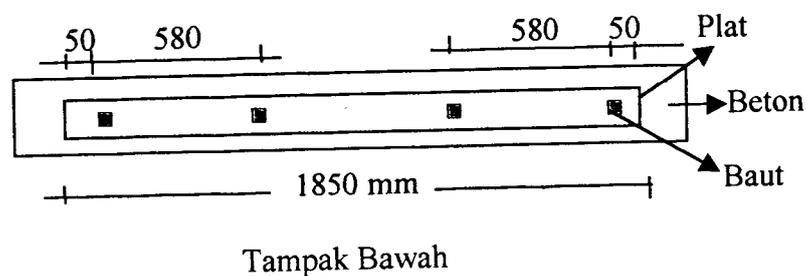
3.6.7. Pemasangan Plat Baja

Pemasangan plat baja dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari. Sebelumnya dilakukan persiapan, seperti mesin bor, baut, bahan perekat. Langkah-langkah pemasangan plat baja adalah sebagai berikut :

1. Pada salah satu sisi plat baja diberi tanda dengan spidol atau pensil pada tempat-tempat baut yang sebelumnya telah direncanakan (lihat gambar 3.4). Posisi baut disesuaikan, agar pada saat pengeboran tidak menyentuh baja tulangan yang terletak dalam beton. Pada plat yang sudah diberi tanda tadi dilakukan pengeboran.

2. Plat baja disatukan memanjang sejajar sisi bawah balok beton, kemudian diadakan pengeboran pada beton melalui lobang-lobang plat baja se dalam tinggi baut yang akan dimasukkan, yaitu 8 cm.
3. Pada lubang-lubang hasil pengeboran dilakukan pembersihan terhadap kotoran dan debu yang disemprot dengan air.
4. Pada lubang-lubang dimasukkan SikaGrout 512 yang sebelumnya telah diaduk dengan air dengan perbandingan terhadap air 1 : 5. Masukkan baut-baut ke dalam lubang dan biarkan sampai bahan perekat mengeras. Setelah bahan perekat mencapai umur 3 hari, maka dilakukan pengikatan dengan mur.

Penempatan plat dan baut-baut yang berfungsi sebagai “shear connector”, diperlihatkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Penempatan Plat dan Baut pada Balok

3.7. Pelaksanaan Pengujian

3.7.1. Pengujian Desak Beton

Tujuan dilakukan uji desak silinder beton adalah untuk mengetahui mutu beton yang sesungguhnya dari sampel benda uji. Benda uji ini berjumlah 5 buah.

Sebelum silinder beton diuji desak, terlebih dahulu dicatat volume dan beratnya. Dari pembagian berat dengan volume silinder didapat berat jenis beton. Berat jenis beton rata-rata adalah 2296.6992 Kg/m^3 . Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.8 Hasil Uji Desak Silinder Beton

Benda Uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm²)	Beban P (KN)	F`c (Mpa)
1	15,12	30,09	12,377	179,5533	450	25,0622
2	15,10	30,12	12,450	179,0786	395	22,0573
3	15,21	30,56	12,873	181,6972	440	24,2161
4	15,14	30,11	12,345	180,0286	560	31,1062
5	15,11	30,17	12,41	179,3159	420	23,4223
RATA-RATA						25,1728

3.7.2. Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan setelah beton dari benda uji telah mencapai umur 28 hari. Benda uji yang berupa balok diletakkan di atas dua tumpuan yang berjarak 190 cm. Kemudian tepat ditengah-tengah bentang dibuat pengantar beban menjadi dua titik dengan jarak 90 cm. Pengantar beban terbuat dari profil baja sebagai pengaku dan tepat antara jarak 90cm diletakkan baja tulangan polos dengan dilaskan pada profil baja. Keseluruhan berat dari pengantar beban ini 42,2

kg. Jadi setiap angka yang terbaca pada jarum penunjuk beban harus ditambah 42,2 kg.

Pengamatan lendutan pada saat dilakukan pengujian lentur dilakukan dengan alat “dial guage” dengan ketelitian 10^{-2} mm yang dipasang tepat ditengah-tengah bentang balok benda uji. Angka yang ditunjukkan pada jarum “dial guage” dibaca dan dicatat setiap penambahan beban 250 kg.

Pada pelaksanaan pengujian ini harus diperhatikan persiapan alat-alat dan operator yang akan mengoperasikan alat-alat tersebut agar pelaksanaan pengujian dapat berjalan dengan lancar sesuai dengan rencana. Jumlah personil yang terlibat berjumlah 8 orang yang masing-masing mempunyai tugas sendiri-sendiri, yaitu satu orang sebagai pengatur kerja mesin penunjuk beban, satu orang pembaca jarum penunjuk beban, dua orang pembaca dan mencatat jarum dial gauge, dan 4 orang sebagai pencatat beban pada retak balok pada saat balok beton retak. Hasil pengujian lentur balok beton bertulang biasa dan komposit beton bertulang - plat baja dapat dilihat pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Hasil Pengujian Lentur Balok

No.	BENDA UJI	LULUH		MAKSIMUM	
		Beban (kg)	Lendutan 10^{-2} mm	Beban (kg)	Lendutan 10^{-2} mm
1	I.1	6050	632	6600	681
2	I.2	6250	740	7020	-
3	II.1	6650	-	8950	-
4	II.2	6750	1033	9850	-
5	III.1	7750	1014	10400	-
6	III.2	8100	1198	10075	-

Hasil lendutan yang terbaca pada alat Dial Gauge pada saat pengujian lentur dapat dilihat pada tabel 3.10 untuk benda uji I, tabel 3.11 untuk benda uji II, dan tabel 3.12 untuk benda uji III.

**Tabel 3.10 Hasil Lendutan Benda Uji I
(Balok Tanpa Plat)**

Benda Uji I.1

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	14	
500	26	12
750	43	17
1000	58	15
1250	73	15
1500	93	20
1750	109	16
2000	125	16
2250	144	19
2500	166	22
2750	188	22
3000	213	25
3250	245	32
3500	272	27
3750	301	29
4000	339	38
4250	375	36
4500	413	38
4750	454	41
5000	494	40
5250	530	36
5500	562	32
5750	595	33
6000	627	32
6250	651	24
6500	655	4
6750	675	20

Benda Uji I.2

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	0	
500	0	0
750	13	13
1000	33	20
1250	52	19
1500	76	24
1750	94	18
2000	144	50
2250	135	-9
2500	160	25
2750	185	25
3000	210	25
3250	231	21
3500	261	30
3750	300	39
4000	326	26
4250	360	34
4500	410	50
4750	443	33
5000	490	47
5250	525	35
5500	575	50
5750	609	34
6000	740	131
6250	793	53
6500	870	77
6750		

**Tabel 3.11 Hasil Lendutan Benda Uji II
(Balok dengan Plat Lebar 5 cm, Tebal 2,8 mm)**

Benda Uji II.1

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	7	
500	13	6
750	21	8
1000	32	11
1250	45	13
1500	63	18
1750	76	13
2000	91	15
2250	108	17
2500	130	22
2750	155	25
3000	180	25
3250	200	20
3500	260	60
3750	290	30
4000	339	49
4250	376	37
4500	415	39
4750	419	4
5000	480	61
5250	515	35
5500	550	35
5750	610	60
6000	610	0
6250	665	55
6500	678	13
6750	925	247

Benda Uji II.2

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	9	
500	21	12
750	32	11
1000	45	13
1250	60	15
1500	78	18
1750	91	13
2000	107	16
2250	128	21
2500	145	17
2750	167	22
3000	190	23
3250	206	16
3500	250	44
3750	278	28
4000	308	30
4250	340	32
4500	370	30
4750	405	35
5000	431	26
5250	460	29
5500	495	35
5750	525	30
6000	558	33
6250	591	33
6500	623	32
6750	785	162
7000	1095	310
7250	1246	151
7500	1335	89
7750	1440	105
8000	1535	95
8250	1739	204
8500	1868	129
8750	1940	72
9000	2172	232
9250	2320	148
9500	2545	225
9750	2800	255

**Tabel 3.12 Hasil Lendutan Benda Uji III
(Balok dengan Plat Lebar 5 cm, Tebal 2,8 mm)**

Benda Uji III.1

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	15	
500	29	14
750	40	11
1000	50	10
1250	61	11
1500	79	18
1750	89	10
2000	105	16
2250	127	22
2500	146	19
2750	170	24
3000	192	22
3250	205	13
3500	240	35
3750	275	35
4000	310	35
4250	344	34
4500	380	36
4750	405	25
5000	436	31
5250	465	29
5500	497	32
5750	526	29
6000	555	29
6250	585	30
6500	620	35
6750	655	35
7000	690	35
7250	815	125
7500	895	80
7750	1014	119
8000	1160	146
8250	1225	65
8500	1411	186
8750	1548	137
9000	1652	104
9250	2181	529
9500	2486	305
9750	2802	316

Benda Uji III.2

Beban P (Kg)	Lendutan (0,01 mm)	Interval (0,01 mm)
250	1	
500	11	10
750	22	11
1000	33	11
1250	45	12
1500	60	15
1750	73	13
2000	85	12
2250	98	13
2500	113	15
2750	125	12
3000	157	32
3250	180	23
3500	199	19
3750	220	21
4000	246	26
4250	275	29
4500	301	26
4750	329	28
5000	355	26
5250	382	27
5500	412	30
5750	440	28
6000	470	30
6250	498	28
6500	519	21
6750	545	26
7000	573	28
7250	597	24
7500	629	32
7750	648	19
8000	679	31
8250	879	200
8500	960	81
8750	1025	65
9000	1230	205
9250	1776	546
9500	1965	189
9750	2151	186
10000	2305	154
10250	2520	215

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium didapat data-data yang diperlukan untuk menganalisis balok lentur non komposit dan balok komposit beton bertulang + plat baja.

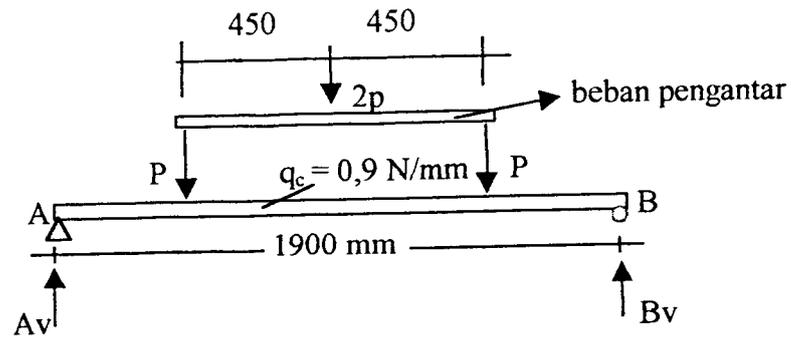
Data-data hasil pengujian yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- Kuat desak beton rata-rata ($f'c$) = 25,1728 Mpa
- Berat jenis beton rata-rata (B_j) = 2296,6992 kg/m³
- Perkiraan berat jenis beton bertulang = 2400 kg/m³
- Tegangan luluh baja tulangan rata-rata (f_{y_b}) = 316,0796 Mpa
- Tegangan luluh plat baja rata-rata (f_{y_p}) = 264,2857 Mpa
- Diameter tulangan pokok rata-rata = 10 mm

4.1. Analisis Beban Terpusat (P)

4.1.1. Berdasarkan Hasil Pengujian Lentur

Beban yang terjadi pada pengujian selain berat sendiri balok terdiri dari beban alat dari pengujian lentur dan beban pengantar. Beban P adalah beban akibat alat ditambah beban pengantar dibagi 2.



Gambar 4.1 Pembebanan pada Pengujian Lentur

Tabel 4.1 Beban P Luluh Rata-rata Hasil Pengujian Lentur

Benda Uji	Beban Alat (Kg)	Beban Pengantar (Kg)	Beban Puncak (2P) (Kg)	Beban P (Kg)
	A	B	A+B	(A+B) / 2
I	6150	42,22	6192,2	3096,1
II	6700	42,2	6742,2	3371,1
III	7925	42,2	7967,2	3983,6

Keterangan tabel 4.1,

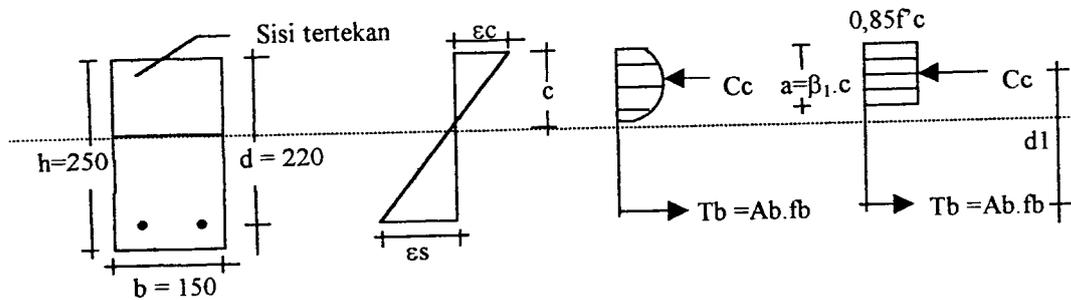
Benda uji I : Balok beton tanpa plat

Benda uji II : Balok beton dengan plat, lebar 5 cm

Benda uji III : Balok beton dengan plat, lebar 10 cm

4.1.2. Berdasarkan Teori Kapasitas Batas

1. Benda Uji I



Gambar 4.2 Diagram Penampang Benda Uji I

- Bj beton bertulang = 2400 kg/m^3
- Berat balok $q_c = 2400 \times 0,25 \times 0,15 = 90 \text{ kg/m} = 0,9 \text{ N/mm}$

$$\begin{aligned} A_v &= P + \frac{1}{2} \times q_c \times 1900 = P + \frac{1}{2} \times 0,9 \times 1900 \\ &= P + 855 \text{ (N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{ext}} &= A_v \times \frac{1}{2} \times L - \frac{1}{8} \times q_c \times L^2 - P \times 450 \\ &= (P + 855) \times \frac{1}{2} \times 1900 - \frac{1}{8} \times 0,9 \times 1900^2 - 450P \\ &= 500P + 406125 \text{ (Nmm)} \end{aligned}$$

Kapasitas penampang ultimit

$$\sum H = 0$$

$$C_c = T_b$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a = A_b \times f_b$$

$$A_b = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,0796 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_b \times f_b}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{157,0796 \times 316,2154}{0,85 \cdot 25,7128 \times 150} = 15,4761 \text{ mm}$$

$$C = a / \beta_1$$

Dimana $\beta_1 = 0,85$ untuk $f_c > 30 \text{ Mpa}$ (SKSNI T-15-03 Pasal 3.3.2. butir 7.3)

$$C = 15,4761 / 0,85 = 18,2072 \text{ mm}$$

Kontrol perilaku keruntuhan :

$$\epsilon_{yb} = F_{yb} / E_s$$

$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$ (SKSNI T-15-03 pasal 3.1.5 butir 2)

$$\epsilon_{yb} = 316,2153 / 200.000 = 0,00158$$

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_c \times d}{c} - \epsilon_c$$

$\epsilon_c = 0,003$ (SKSNI T-15-03 pasal 3.3.2 butir 3)

$$\epsilon_b = \frac{0,003 \times 220}{18,2072} - 0,003 = 0,03325 > \epsilon_y = 0,001408 \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$f_s = f_{yb}$$

$$M_n = T_b \times d_1$$

$$= A_b \times f_{yb} \times (d - a/2)$$

$$= 157,0792 \times 316,2135 \times (220 - 15,4761/2) = 10543200,55 \text{ Nmm}$$

$$M_{ext} = \phi M_n$$

$\phi = 0,8$ (SKSNI T-15-03 pasal 3.2.3 butir 2.1)

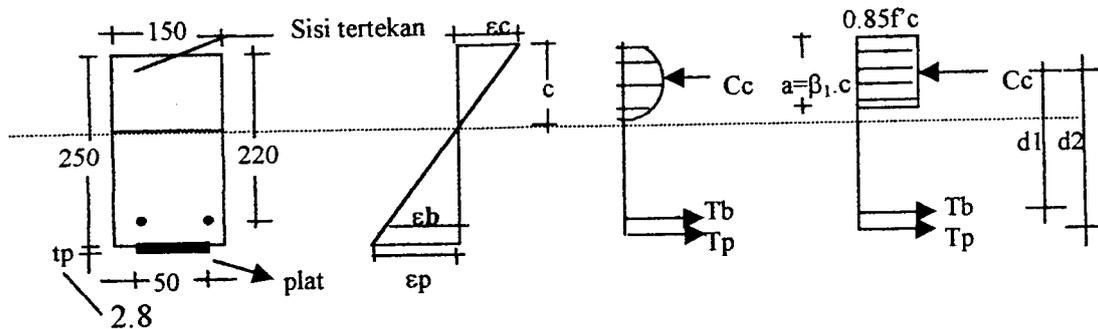
$$500 P + 406125 = 0,8 \times 10543200,55$$

$$P = 16056,8708 \text{ N}$$

$$= 1637,3352 \text{ Kg}$$

$$2P = 3274,6704 \text{ kg} < 6192,2 \text{ kg}$$

2. Benda Uji II



Gambar 4.3 Diagram Penampang Benda Uji II

$$A_p = A_g - [(\text{diameter baut} + \text{reduksi untuk lubang}) \cdot \text{tebal plat}]$$

$$\begin{aligned} A_p &= 50 \times 2,8 - [(10 + 1,6) \times 2,8] \\ &= 107,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas penampang ultimit

$$\sum H = 0$$

$$C_c = T_b + T_p$$

$$0,85 \times f'_c \times b \cdot a = A_b \times f_b + A_p \times f_p$$

$$a = \frac{A_b \times f_b + A_p \times f_p}{0,85 \times f'_c \cdot b}$$

$$= \frac{157,0796 \times 316,2154 + 107,52 \times 264,2857}{0,85 \times 25,7128 \times 150} = 23,8413 \text{ mm}$$

$$C = a / \beta_1$$

$$C = 23,8413 / 0,85 = 28,0486 \text{ mm}$$

Kontrol perilaku keruntuhan :

$$\varepsilon_{yp} = F_{yp} / E_s = 264,2857 / 200.000 = 0,00132$$

$$\varepsilon_b = \frac{\varepsilon_c \times d}{c} - \varepsilon_c$$

$$\varepsilon_b = \frac{0,003 \times 220}{28,0486} - 0,003 = 0,0205 > \varepsilon_y = 0,0015 \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\varepsilon_c \cdot (h + t_p/2)}{c} - \varepsilon_c$$

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 \times (150 + 2,8/2)}{28,0486} - 0,003 = 0,0238 > \varepsilon_{yp} = 0,00132 \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$f_b = f_{yb}$$

$$f_p = f_{yp}$$

$$M_n = T_b \cdot d_1 + T_p \cdot d_2$$

$$d_1 = (d - a/2) = 220 - 23,8413/2 = 196,1587 \text{ mm}$$

$$d_2 = (h + t_p/2 - a/2) = 250 + 2,8/2 - 23,8413/2 = 239,4793 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_b \cdot f_{yb} \cdot d_1 + A_p \cdot f_{yp} \cdot d_2 \\ &= 157,0792 \times 316,2135 \cdot + 247,8 \times 264,2857 \times 239,4793 \\ &= 1656078,07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{ext} = \phi M_n$$

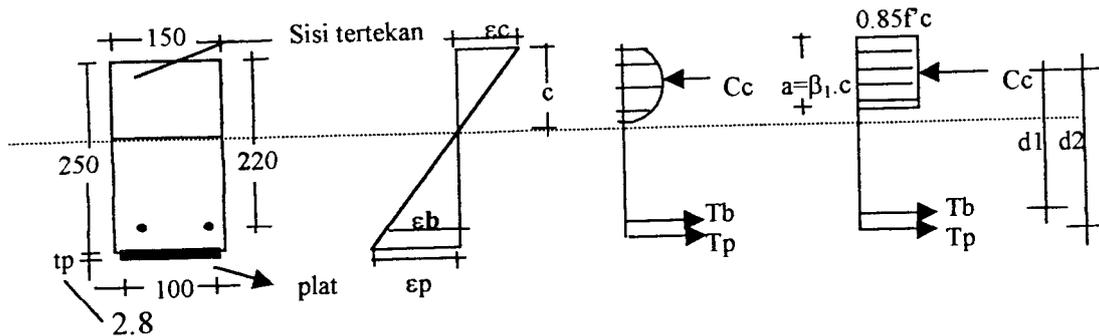
$$500 P + 406125 = 0,8 \times 16566078,67$$

$$P = 25693,4749 \text{ N}$$

$$= 2619,9893 \text{ Kg} < 3483,6 \text{ Kg}$$

$$2P = 5239,9786 \text{ Kg} < 6742,2 \text{ Kg}$$

3. Benda Uji III



Gambar 4.4 Diagram Penampang Benda Uji III

$$A_p = 100 \cdot 2,8 - [(10 + 1,6) \cdot 2,8] = 247,52 \text{ mm}$$

Kapasitas penampang ultimit

$$\sum H = 0$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a = A_b \times f_b + A_p \times f_p$$

$$a = \frac{A_b \times f_b + A_p \times f_p}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{157,0796 \times 316,2154 + 247,52 \times 264,2857}{0,85 \times 25,7128 \times 150} = 35,8809 \text{ mm}$$

$$C = a / \beta_1$$

$$C = 35,8809 / 0,85 = 42,2128 \text{ mm}$$

Kontrol perilaku keruntuhan :

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_c \cdot d}{c} - \epsilon_c$$



$$\varepsilon_b = \frac{0,003 \times 220}{42,2128} - 0,003 = 0,0126 > \varepsilon_y = 0,0015 \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\varepsilon_c \times (h + tp/2)}{c} - \varepsilon_c$$

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 \times (150 + 2,8/2)}{42,2128} - 0,003 = 0,0148 > \varepsilon_{yp} = 0,00132 \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$f_b = f_{yb}$$

$$f_p = f_{yp}$$

$$M_n = T_b \times d_1 + T_p \times d_2$$

$$d_1 = (d - a/2) = 220 - 35,8809/2 = 202,0595 \text{ mm}$$

$$d_2 = (d + tp/2 - a/2) = 220 + 2,8/2 - 35,8809/2 = 233,4585 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_b \times f_{yb} \times d_1 + A_p \times f_{yp} \times d_2 \\ &= 157,0792 \times 316,2135 \times 202,0595 + 247,8 \times 264,2857 \times 233,4595 \\ &= 25325756,9400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{ext} = \phi M_n$$

$$500 P + 406125 = 0,8 \times 25325756,94$$

$$P = 39708,9611 \text{ N}$$

$$= 4049,1625 \text{ Kg}$$

$$2P = 8098,3250 \text{ Kg} > 7967,2 \text{ Kg}$$

4.2. Pembahasan

4.2.1. Perbandingan Kapasitas Beban P Luluh Berdasarkan Teori dengan Hasil Pengujian

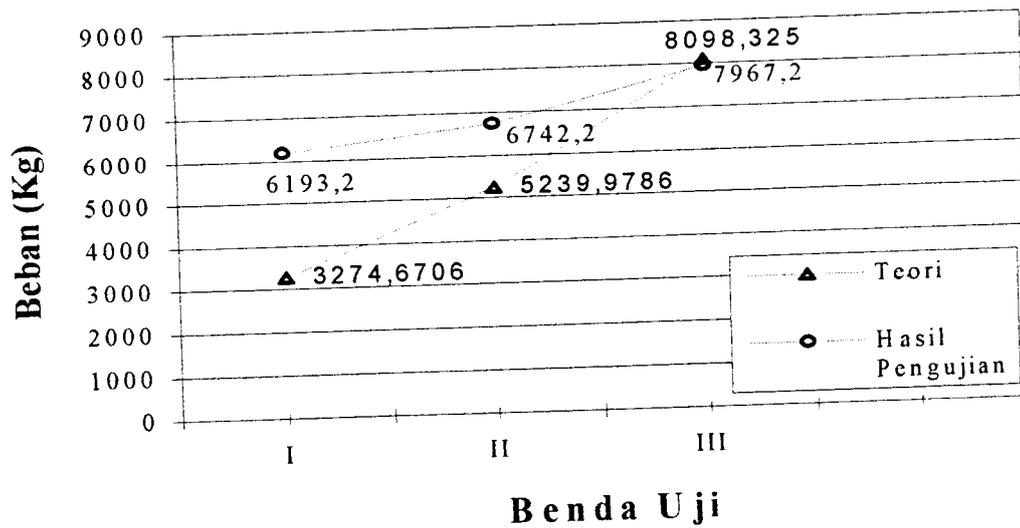
Balok beton bertulang dan beton bertulang ditambah eksternal plat didesain untuk balok lentur, dimana direncanakan sedemikian rupa, sehingga pada saat tercapai kapasitas batas terjadi luluhnya pada tulangan dan plat, yaitu sebelum beton tekan mencapai regangan batasnya (ϵ_b) yaitu sebesar 0,003.

Berdasarkan pengujian lentur pada balok, penambahan plat yang terletak pada sisi bawah balok beton dapat meningkatkan kapasitas beban P luluh pada balok. Dari benda uji I yang tidak menggunakan plat, dapat menerima beban P luluh rata-rata sebesar 6193,2 kg. Nilai ini sebagai acuan untuk benda uji II dan III. Hasil pengujian lentur benda uji II yang menggunakan plat lebar 5 cm dengan tebal 2,8 mm memberikan sumbangan sebesar 550 kg atau meningkat sebesar 8,882 % dari benda uji I tersebut. Demikian pula untuk benda uji III yang mempunyai luas plat dua kali lebih besar dari benda uji II, yaitu dengan lebar plat 10 cm dan tebal 2,8 mm memberikan penambahan beban sebesar 1775 kg atau meningkat sebesar 28,6651 % dari benda uji I. Jika dibandingkan antara benda uji II terhadap benda uji III, ternyata akan terlihat sekali adanya korelasi, bahwa penggunaan plat dengan luas penampang yang lebih besar akan semakin besar pula kapasitas beban yang dihasilkan.

Agar lebih jelasnya kapasitas beban berdasarkan teori dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Kapasitas Beban P luluh antara Hasil Teoritis dengan Pengujian

Benda Uji	Berdasarkan Teori (Kg)	Berdasarkan Hasil pengujian (Kg)	Selisih Pembebanan Benda Uji II dan III terhadap Benda Uji I			
			Teori		Pengujian	
			(Kg)	%	(Kg)	%
I	3274,6706	6193,2	-	-	-	-
II	5239,9786	6742,2	1965,3082	60,0154	550	8,8820
III	8098,3250	7967,2	4823,6546	147,3019	1775	28,6651



Gambar 4.5 Grafik Peningkatan Beban P Luluh Berdasarkan Teori dan Hasil Pengujian

Dari gambar 4.5 di atas dapat dilihat dengan jelas, bahwa peningkatan beban baik itu berdasarkan teori maupun hasil pengujian memperlihatkan pola yang sama, yaitu Peningkatan beban dari benda uji II ke benda uji III lebih tinggi dari pada benda uji I ke benda uji II dan dapat diketahui juga, bahwa peningkatan beban berdasarkan teori lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian, hingga pada garis yang menunjukkan peningkatan benda uji II ke benda uji III terjadi perpotongan. Dari pengamatan ini dapat dianggap bahwa peningkatan beban benda uji II dan benda uji III belum optimal walaupun pada benda uji II target telah tercapai. Hal ini mungkin disebabkan baut yang berfungsi sebagai “shear connector” belum dapat bekerja secara optimal.

Beban P luluh rata-rata pada benda uji I berdasarkan hasil pengujian sebesar 6193,2 kg lebih besar dibanding hasil teoritis sebesar 3274,6706 kg. Kelebihan beban pada uji laboratorium ini, karena hasil uji laboratorium adalah kuat dukung yang sebenarnya, sedangkan hitungan analisa terdapat faktor reduksi kekuatan untuk lentur balok (ϕ). Faktor reduksi kekuatan ini akan membuat hasil hitungan analisa lebih kecil dari hasil uji laboratorium. Faktor reduksi kekuatan ini sangat diperlukan untuk keamanan suatu struktur.

Luluhnya plat pada benda uji II dan III belum dapat dipastikan, karena berdasarkan tabel 4.2 dan grafik peningkatan beban (gambar 4.5), dimana garis yang menunjukkan peningkatan beban telah terjadi perpotongan, jadi mungkin saja hanya tulangan dalam beton yang luluh.

4.2.2. Pengamatan Benda Uji

1. Pengamatan Lendutan pada Balok

Menurut SKSNI T-15-1991-03, tabel 3.2.5b, yaitu mengenai ketentuan kekuatan dan laik pakai, bahwa lendutan izin maksimum adalah :

$$1/360 \cdot L = 1/360 \cdot 1900 = 5,2778 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil pengamatan lendutan, lendutan rata-rata pada benda uji I saat beban luluh adalah 6,86 mm. Untuk benda uji II, lendutan rata-rata saat P luluh sebesar 9,29 mm dan pada benda uji III sebesar 11,06 mm. Dari data tersebut terlihat, bahwa untuk semua benda uji, dimana pada saat P luluh, lendutan yang terjadi lebih besar dari yang disyaratkan sebesar 5,2778 mm. Pada penggunaan plat disamping bertambahnya beban saat P luluh, juga bertambahnya lendutan.

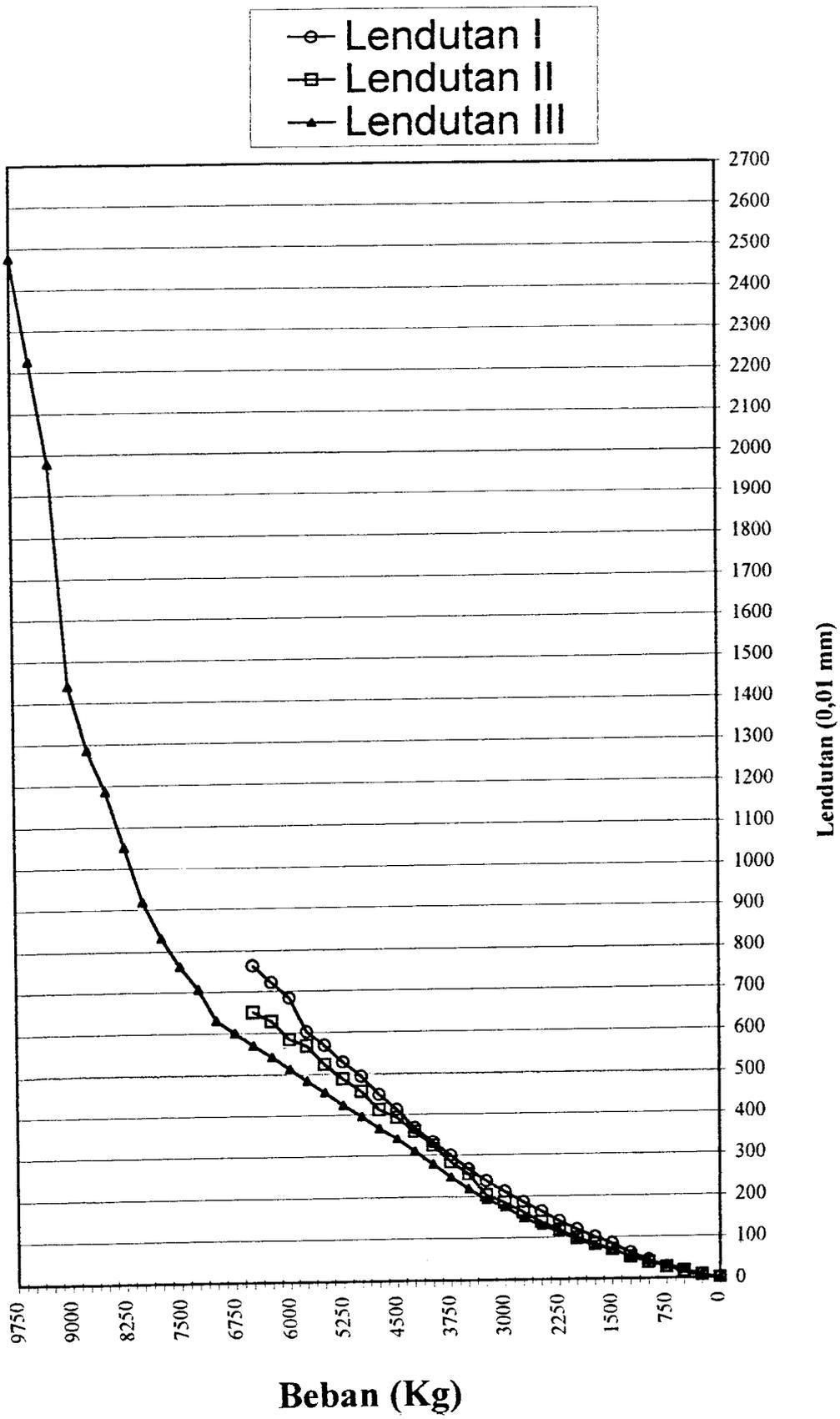
Bila P luluh rata-rata pada benda uji I sebesar 6150 kg menghasilkan lendutan rata-rata sebesar 6,86 mm, maka pada beban yang sama untuk benda uji II dan III dengan cara interpolasi linier pada tabel 4.3 menghasilkan lendutan rata-rata berturut-turut sebesar 6,104 mm dan 5,299 mm lebih kecil dari benda uji I. Dari sini dapat diketahui, bahwa dengan menambah plat pada balok dapat mengurangi lendutan atau defleksi dan semakin bertambah luas penampang plat lendutan semakin berkurang.

Hubungan antara beban dan lendutan rata-rata masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel 4.3 dan gambar 4.6 pada halaman berikut.

Tabel 4.3 Lendutan Rata-rata Masing-masing Benda Uji

Beban P (Kg)	Benda Uji I (0.01 mm)	Benda Uji II (0.01 mm)	Benda Uji III (0.01 mm)
0	0	0	0
250	7	8	8
500	13	17	20
750	28	26.5	31
1000	45.5	38.5	41.5
1250	62.5	52.5	53
1500	84.5	70.5	69.5
1750	101.5	83.5	81
2000	119.5	99	95
2250	139.5	118	112.5
2500	163	137.5	129.5
2750	186.5	161	147.5
3000	211.5	185	174.5
3250	238	203	192.5
3500	266.5	255	219.5
3750	300.5	284	247.5
4000	332.5	323.5	278
4250	367.5	358	309.5
4500	411.5	392.5	340.5
4750	448.5	412	367
5000	492	455.5	395.5
5250	527.5	487.5	423.5
5500	568.5	522.5	454.5
5750	602	567.5	483
6000	683.5	584	512.5
6250	722	628	541.5
6500			569.5
6750			600
7000			631.5
7250			706
7500			762
7750			831
8000			919.5
8250			1052
8500			1185.5
8750			1286.5
9000			1441
9250			1978.5
9500			2225.5
9750			2476.5

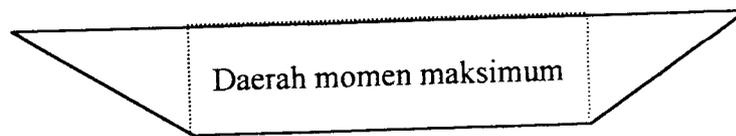
Beban P = beban yang terbaca pada alat



Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Beban dan Lendutan Rata-rata Masing-masing Benda Uji

2. Pola Retak pada Balok

Berdasarkan pengamatan pada balok, retak-retak terletak disekitar daerah momen maksimum. Daerah momen maksimum dengan tanpa menyertakan beban merata akibat berat sendiri balok, diperlihatkan seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram Momen Akibat Beban Dua Titik

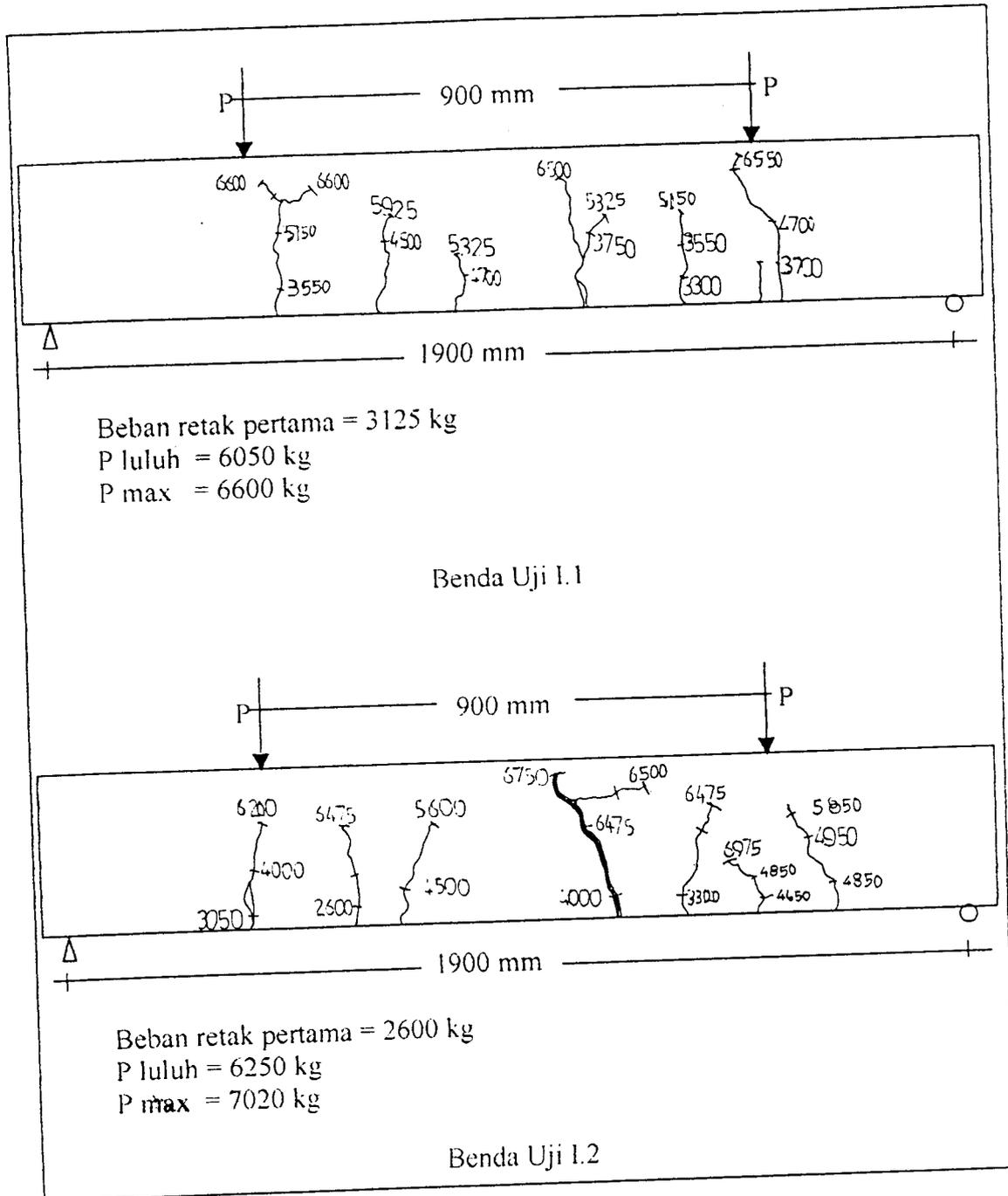
Retak-retak dimulai pada sisi balok paling bawah yang berupa Retak-retak rambut. Retak-retak meningkat dan merambat dengan pertambahan beban. Pada saat beban P luluh atau luluhnya tulangan, balok masih dapat memberikan kekuatan, hingga beban P maksimum tercapai balok sudah tidak dapat menahan beban. Beban P luluh dapat diidentifikasi pada saat pengujian lentur, dimana jarum penunjuk beban terhenti beberapa saat dan retak-retak terus bertambah kemudian beban naik kembali. Sedangkan beban P maksimum dapat diketahui dimana alat yang terdapat jarum penunjuk beban menurun dan selanjutnya tidak menunjukkan kenaikan. Meningkatnya beban setelah beban P luluh, karena setelah tulangan luluh tegangan pada tulangan masih terus meningkat, ini dapat diketahui pada waktu pengujian tarik baja.

Beban saat retak pertama, terjadi sebelum beban P luluh dan retak ini merupakan retak rambut yang sangat halus. Beban retak pertama masing-masing

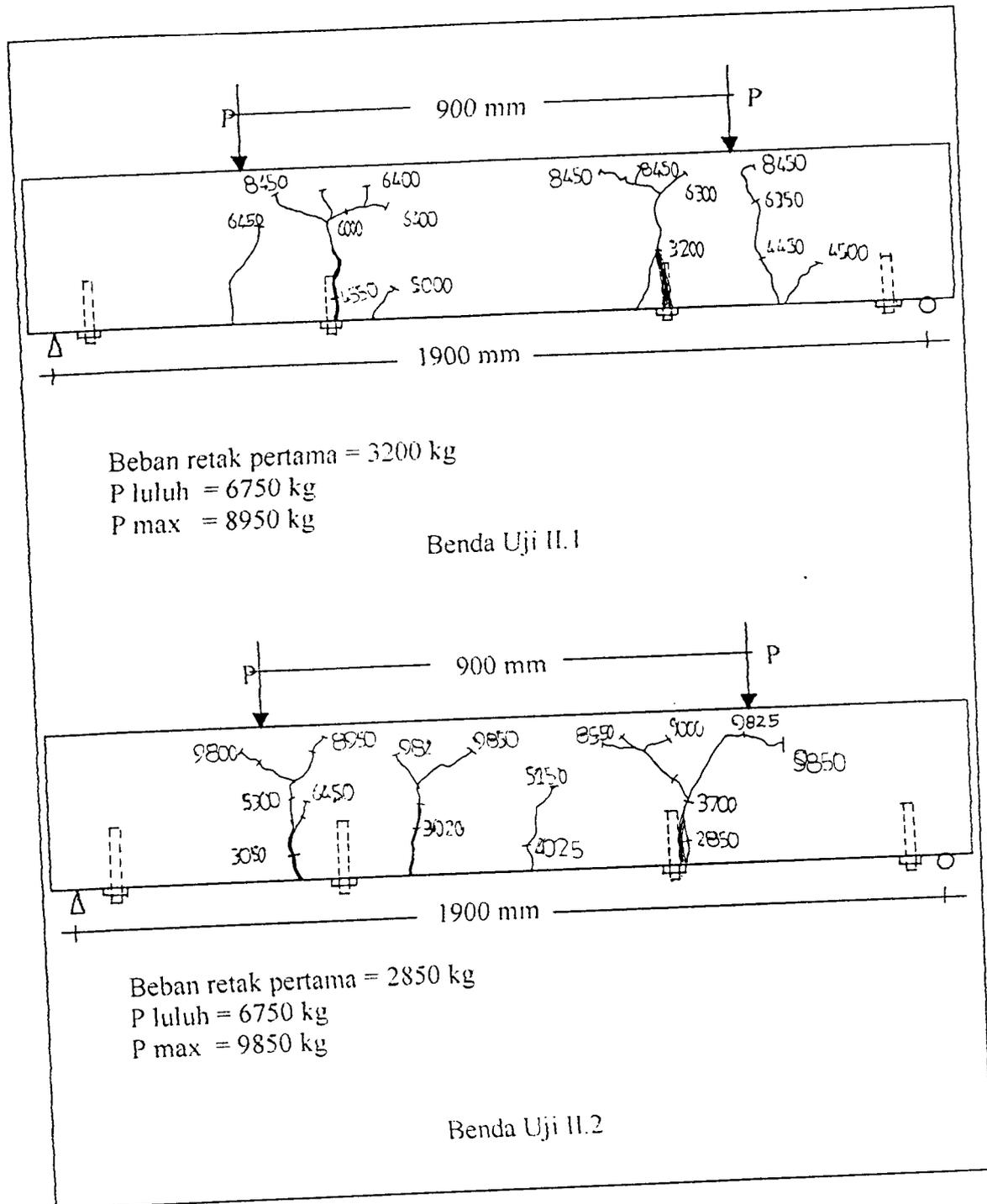
benda uji berbeda-beda dimana beban retak pertama pada benda uji I sebesar 3125 kg untuk benda uji I.1 dan 2600 kg pada benda uji I.2. Untuk benda uji II sebesar 3200 kg untuk benda uji II.1 dan 2800 kg untuk benda uji II.2. Sedangkan untuk benda uji III sebesar 2025 kg untuk benda uji III.1 dan 2075 kg untuk benda uji III.2. Dari hasil tersebut dapat diamati, bahwa untuk benda uji I beban retak pertama lebih kecil dari benda uji II dan lebih besar dari benda uji III. Retak-retak pertama ini bukan merupakan permasalahan yang serius, karena retak-retak tersebut adalah retak-retak yang sangat halus, sehingga tidak begitu berpengaruh terhadap penampilan dan kekuatan struktur (terjadi karat yang merugikan tulangan). Menurut George Winter, Artur H. Nilson, dalam bukunya Perencanaan Struktur Beton Bertulang, menyebutkan hal utama yang menjadi persoalan bukanlah jumlah retak yang terbentuk melainkan lebar retak tersebut.

Pola retak untuk semua benda uji hampir sama dimana retak-retak yang berada pada daerah momen maksimum hampir tegak lurus sisi memanjang balok. Terlihat adanya retak bercabang di atas setengah tinggi badan balok dan terletak di daerah momen maksimum. Di bawah retak bercabang ini memiliki celah retak yang paling besar. Retak bercabang ini dikarenakan retak didaerah tarik mencapai daerah tekan. Karena retak tersebut tidak dapat melewati beton tekan dengan arah vertikal, akhirnya retak tersebut beralih dengan arah miring. Pada benda uji yang menggunakan plat, yaitu benda uji II dan III, retak tersebut terletak hampir tepat di atas baut. Ini dikarenakan baut dapat mengurangi kuat lentur beton, sehingga pada daerah ini merupakan bagian yang paling lemah saat menerima lenturan.

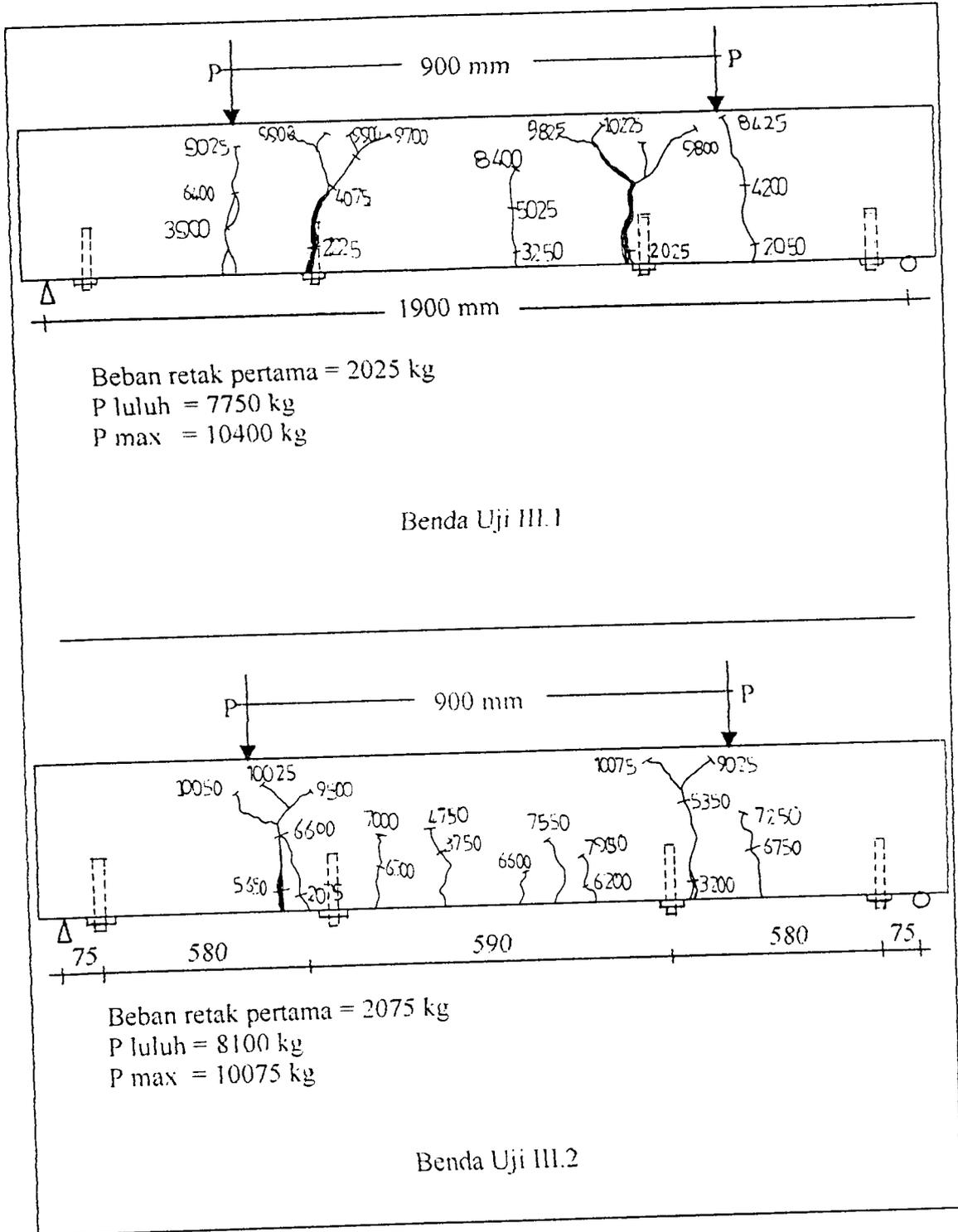
Gambar yang memperlihatkan pola retak masing-masing benda uji dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.8 Pola Retak pada Benda Uji I



Gambar 4.9 Pola Retak pada Benda Uji II



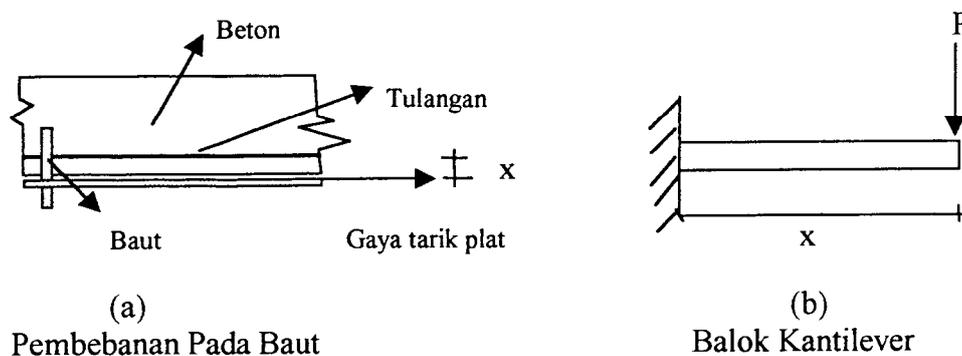
Gambar 4.10 Pola Retak pada Benda Uji III

3. Pengamatan Geser pada Baut

Aksi komposit beton-tulangan terjadi karena ada lekatan beton pada permukaan tulangan akibat beton menyusut. Sama halnya penggunaan baut sebagai fungsi “shear connector”, maka gaya yang dihasilkan oleh plat ditransfer oleh baut sehingga tidak terjadi gelinciran antara permukaan balok dan plat..

Dari pengamatan pada benda uji balok, ternyata baut mengalami pembengkokkan. Pembengkokkan terjadi pada daerah selimut beton sebelah dalam. Di sekitar selimut beton, ikatan atau lekatan beton pada permukaan baut terlepas atau hancur dan terdapat adanya celah disekitar baut. Hancurnya beton tersebut, dikarenakan baut mendesak beton akibat gaya tarik yang ditransfer oleh plat ke baut.

Bengkokan pada baut menunjukkan tidak terjadinya geseran pada baut seperti pengujian geser tunggal yang diperlihatkan pada gambar 3.1 (sub bab 3.2). Bengkokan baut ini merupakan lenturan yang dihasilkan oleh gaya tarik plat dengan jarak X dari pusat tarik ke daerah jepit. Dari gaya yang bekerja pada baut (gambar 4.11a) terlihat seperti balok *kantilever* (gambar 4.11b).



Gambar 4.11 Pembebanan Bentuk Kantilever

Pada saat baut melentur timbul defleksi, akibatnya plat tidak tertarik secara optimal seperti yang diharapkan. Dengan demikian kapasitas beban yang dihasilkan juga belum optimal.

Untuk mengetahui kuat lentur baut sesungguhnya tidak dapat kami lakukan, karena baut yang digunakan terlalu pendek untuk dapat diuji tarik dengan alat yang ada, yaitu setinggi 10 cm. Untuk menghitung tegangan lentur pada baut dapat menggunakan rumus tegangan lentur yang umum sebagai berikut :

$$f = \frac{M \cdot y}{I}$$

Keterangan notasi,

F = tegangan lentur,

M = momen lentur

Y = jarak garis netral

I = momen inersia penampang

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Plat yang diletakkan sejajar sisi bawah struktur balok beton bertulang bila dibandingkan terhadap benda uji I (balok tanpa plat), ternyata hanya mampu memberikan peningkatan kapasitas beban rata-rata pada balok sebesar 550 kg atau meningkat sebesar 8,8820 % untuk plat dengan lebar 5 cm (benda uji II), dan 1775 kg atau meningkat sebesar 28,6651 % untuk plat dengan lebar 10 cm (benda uji III).
2. Bila dibandingkan dengan hasil teoritis, beban yang dihasilkan berdasarkan pengujian pada benda uji II telah mencapai target, dengan Beban berdasarkan hasil teoritis sebesar 5239,9786 kg lebih kecil dari hasil pengujian sebesar 6742,2 kg . Sedangkan untuk benda uji III beban yang dihasilkan belum memenuhi target, dengan berdasarkan teori sebesar 8098,3250 kg lebih besar dari hasil pengujian sebesar 7967,2 kg.
3. Dari grafik peningkatan beban pada gambar 4.5 menunjukkan plat belum dapat dimanfaatkan secara optimal.

4. Dengan penggunaan plat, ternyata bertambahnya beban saat P luluh juga diikuti bertambahnya lendutan. Bila diambil beban yang sama, ternyata pada penggunaan plat, lendutannya lebih kecil dari yang tidak menggunakan plat (benda uji I), agar lebih jelasnya lihat gambar 4.6.
5. Retak-retak yang telah mencapai daerah tekan dapat diidentifikasi, dimana retak-retak yang semula hampir vertikal akhirnya beralih dengan arah miring.
6. Baut-baut yang diletakkan pada daerah momen maksimum pada balok yang menggunakan plat dapat menambah retak-retak pada balok. Hal ini dapat diidentifikasi, bahwa retak beton dengan celah retak terbesar terjadi pada baut.
7. Penempatan baut sebagai fungsi “shear connector” di daerah geser belum dapat bekerja dengan baik, ini dapat diketahui, bahwa telah terjadi pembengkokkan (lenturan pada baut). Kemungkinan penyebabnya adalah sebagai berikut :
 - a. Lekatan beton dengan baut kurang sempurna, sehingga baut tertarik akibat gaya tarik longitudinal plat.
 - b. Plat yang digunakan terlalu tipis, sehingga antara baut dan plat tidak terlalu kaku.
 - c. Selimut beton tidak mampu menahan desakan baut akibat gaya tarik plat, sedangkan beton dalam keadaan tertarik.

5.2. Saran-saran

Dari pengalaman selama melaksanakan penelitian di laboratorium dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut :

1. Dalam pelaksanaan penelitian ini perlu diperhatikan antara lain :
 - a) Sika Grout yang digunakan sebelumnya harus dites terlebih dahulu terhadap mutu dan kekuatan angkurnya (lekatan terhadap baut).
 - b) Baut-baut yang digunakan sebaiknya disebar merata antara titik momen nol dan momen maksimum.
 - c) Untuk mengurangi retak yang diakibat baut di daerah momen maksimum seperti pada penelitian ini, sebaiknya diameter baut diperkecil.
2. Perlu diadakan pengujian pengaruh jarak baut terhadap aksi komposit beton-plat.
3. Alternatif lain untuk menambah kuat lentur balok dapat menggunakan plat yang terletak di daerah beton tekan. Dan juga dapat memanfaatkan lekatan beton-baja.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Yuan – Yu Hsieh, **TEORI DASAR STRUKTUR**, Erlangga, Jakarta 1985
- B. Charles G. Salmon & Johnson, **STRUKTUR BAJA Disain dan Prilaku, Jilid I**, Terjemahan : Ir. Wira, MSCE, Erlangga, Jakarta, 1990
- C. Istimawan Dipohusodo, **STRUKTUR BETON BERTULANG Berdasarkan SKSNI-SNI T-15-1991-03**, Departemen Pekerjaan Umum RI., PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1994
- D. Charles G. Salmon & Johnson, **STRUKTUR BAJA Disain dan Prilaku, Jilid II**, Terjemahan : Ir. Wira, MSCE, Erlangga, Jakarta, 1986
- E. Arthur H. Nilson & George Winter, **DESAINING OF CONCRETE STRUCTURES**, Mc Graw-Hill Internasional Edition, Eleventh Edition, 1991
- F. Gare & Timoshenko, **MEKANIKA BAHAN**, Terjemahan : Drs. Hans. J. Wospakrik, Erlangga, Jakarta, 1987
- G. Kardiyono Tjokrodimulyo, **TEKNOLOGI BETON**, HMTS. UGM, 1992
- H. **TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN**, Standart Konsep – Standart Normalisasi Indonesia (SK-SNI) T-15-1991-03, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, 1991
- I. Journal of Composites for Construction, **OPTIMIZING STRUCTURAL RESPONSE OF BEAMS STRENGTHENED WITH GFRP PLATES**, 1998

LAMPPIRAN



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

Propomel 1 bulan
 TA : 3 bulan

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

No.	Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
1.	BETIA PRAYITNO	82 819 844		STRUKTUR
2.	AMRIZAL	88 819 160		STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :
 BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN FLAT BAJA +
 UJI LABORATORIUM SHEAR CONNECTOR

Dosen Pembimbing I IR. H. SUGASTRAWAN, MS
 Dosen Pembimbing II IR. ILMAN NOOR, MSCE

1



2

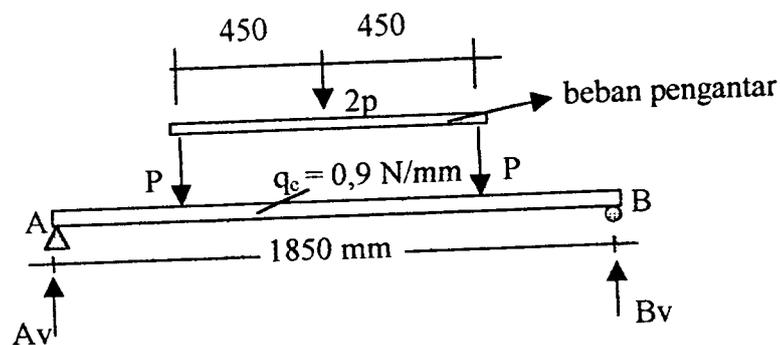


Yogyakarta, 14 APRIL 1999
 Dekan,
 Ketua Jurusan Teknik Sipil.
 A. TALJUPIN EM ARIS, MS

PERENCANAAN BENDA UJI BALOK

Benda uji balok terdiri dari tiga macam, yaitu benda uji I merupakan balok tanpa plat, sedangkan benda uji II dan benda uji III adalah balok dengan plat, dengan ukuran tebal plat berturut-turut 5 cm dan 10 cm. Untuk semua benda uji, struktur balok beton bertulang adalah sama. Sebagai perencanaan dipakai benda uji III, karena dapat diketahui dengan penambahan plat yang lebih besar, beban yang dihasilkan juga akan lebih besar dari benda uji yang lainnya. Perilaku keruntuhan pada balok direncanakan akan terjadi luluhnya tulangan dalam beton dan plat sebelum beton tekan mencapai batas regang 0,003.

Perencanaan benda uji III adalah sebagai berikut :



Pembebanan pada Pengujian Lentur

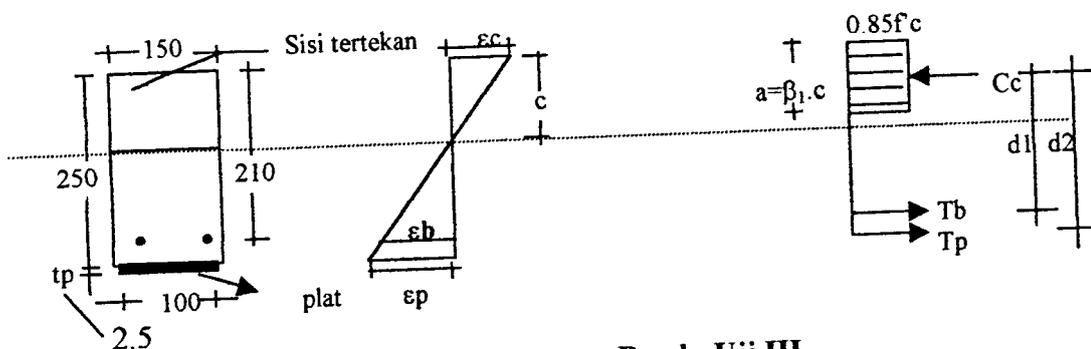


Diagram Penampang Benda Uji III

Data yang diperlukan :

$$F_{yb} = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_{yb} = 240 \text{ Mpa}$$

$$f'_c = 20 \text{ Mpa}$$

$$q_{\text{beton}} = 0,9 \text{ N/mm}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter baut} = 10 \text{ mm}, q_{\text{ult}} = 32,3333 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan total } (A_b) &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \\ &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \right) = 226,1947 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas plat } (A_p) &= A_g - [(\text{diameter baut} + \text{reduksi untuk lubang}) \times t_p] \\ &= 100 \times 2,5 - [(10 + 1,6) \times 2,50] = 221 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$C_c = T_b + T_p$$

$$0,85 \times f'_c \times a \times b = A_b \times f_{yb} + A_p \times f_{yp}$$

$$a = \frac{226,1947 \times 240 + 221 \times 240}{0,85 \times 20 \times 150} = 42,0889 \text{ mm}$$

$$C = a / \beta_1 = 42,0889 / 0,85 = 49,5161 \text{ mm}$$

Kontrol perilaku keruntuhan :

$$\epsilon_{yb} = \epsilon_{yp} = 240 / 200.000 = 0,0012$$

$$\epsilon_b = \frac{\epsilon_c \times d}{C} - \epsilon_c$$

$$= \frac{0,003 \times 210}{49,5161} - 0,003 = 0,0127$$

$$\epsilon_p = \frac{(\epsilon_c \times (h + t_p/2))}{C} - \epsilon_c$$

$$= \frac{0,003 \times (250 + 2,5/2)}{49,5164} - 0,003 = 0,0122$$

$$\left. \begin{array}{l} \epsilon_b > \epsilon_{yb} \\ \epsilon_p > \epsilon_{yp} \end{array} \right\} \text{ terjadi keruntuhan tarik}$$

Kapasitas penampang ultimit

$$\begin{aligned} M_{int} &= T_b \times d_1 + T_p \times d_2 \\ &= A_b \times f_{yb} \times d_1 + A_p \times f_{yp} \times d_2 \\ &= 226,1947 \times 240 \times (210 - 42,0889/2) + 221 \times 240 \times (250 + \\ &\quad 0,5 \times 2,5 - 42,0889/2) \\ &= 22467880,92 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$A_v = P + \frac{1}{2} \times 0,9 \times 1850 = P + 832,5$$

$$\begin{aligned} M_{ext} &= A_v \times \frac{1}{2}L - \frac{1}{8} \times q_c \times L^2 - P \times 450 \\ &= (P + 832,5) \times \frac{1}{2} \times 1850 - \frac{1}{8} \times 0,9 \times 1850^2 - P \times 450 \\ &= 475P - 385031,25 \end{aligned}$$

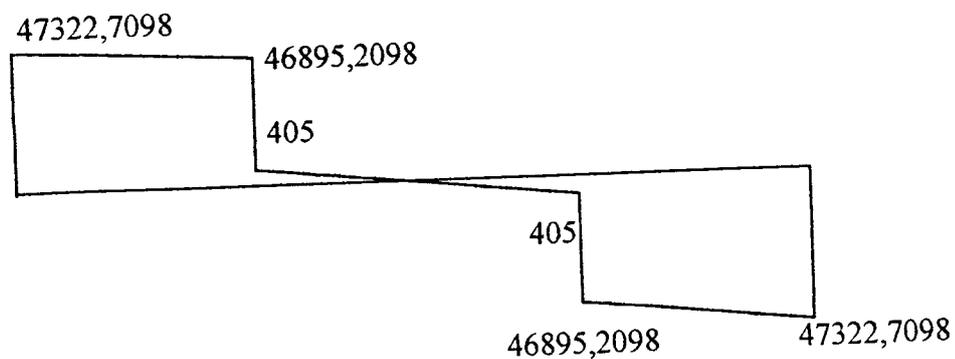
$$M_{ext} = M_{int}$$

$$475P - 385031,25 = 22467880,92$$

$$P = 46490,2098 \text{ N}$$

$$A_v = P + 832,5 = 46490,2098 + 832,5 = 47322,7098 \text{ N}$$

Gaya lintang



PENULANGAN GESER

$$V_u = 47322,70982 \text{ N}$$

$$V_c = (1/6 \times \sqrt{f_c}) \times b \times d \quad (\text{SKSNI T - 15 - 1991 - 03, ayat 3.4.3, butir1})$$

$$= (1/6 \times \sqrt{20}) \times 150 \times 210 = 23,4787 \text{ KN}$$

$$V_u > \phi V_c \quad (\text{SKSNI T - 15 - 1991 - 03, ayat 3.4.1, butir1})$$

$$\phi = 0,6 \quad (\text{SKSNI T - 15 - 1991 - 03, ayat 3.2.3, butir2.3})$$

$$= 0,6 \times 23,4787 = 14,08722 \text{ KN}$$

$$V_s = V_u / \phi - V_c$$

$$= 47,3227 / 0,6 - 23,4787 = 55,3925 \text{ KN}$$

$$\phi_s = 8 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times A_s = 2 \times (1/4 \times \pi \times 8^2) = 100,5310 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{100,5310 \times 240 \times 210 \times 10^{-3}}{55,3925} = 91,47 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang 90 cm

“SHEAR CONNECTOR”

$$f_{ypr} = f_{yp} = 240 \text{ Mpa}$$

$$T_{pr} = A'_{pr} \times f_{ypr} = 212,5 \times 240 = 53100 \text{ N}$$

$$V_h = T_{pr} / 2 = 53100 / 2 = 26550 \text{ N} = 26,550 \text{ KN}$$

Jumlah shear connector

$$n = \frac{V_h}{Q_{ult}} = \frac{26,250}{32,3333} = 0,820$$

dipakai 1 (satu) buah baut pada ujung-ujung balok

JARAK “SHEAR CONNECTOR”

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700 \times \sqrt{f_c}} \quad (\text{SKSNI T - 15 - 1991 - 03, ayat 3.1.5})$$

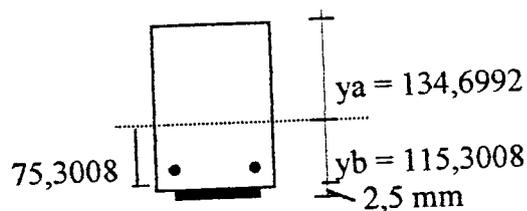
$$= \frac{200000}{4700 \times \sqrt{20}} = 9,5$$

jarak garis netral terhadap sisi atas

$$Y_a = \frac{h \cdot b \cdot 1/2h + (n-1) \cdot A_b \cdot d + (n-1) \cdot A_p \cdot (h + 1/2T_p)}{h \cdot b + (n-1) \cdot A_b + (n-1) \cdot A_p}$$

$$= \frac{250 \cdot 150 \cdot 125 + (9,5-1) \cdot 226,1946 \cdot 210 + (9,5-1) \cdot 221 \cdot (250 + 1,25)}{250 \cdot 150 + (9,5-1) \cdot 226,1946 + (9,5-1) \cdot 221}$$

$$= 134,6992 \text{ mm}$$



$$I_{comp} = 1/12 \cdot 150 \cdot 250^3 + 150 \cdot 250 \cdot (250 - 134,6992)^2 + (9,5-1) \cdot 226,1914 \cdot (75,3008)^2 + (9,5-1) \cdot 221 \cdot (115,3008 + 2,5/2)^2$$

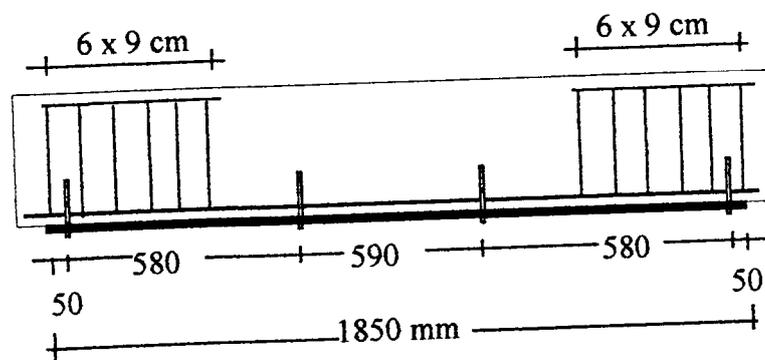
$$= 730267203,3 \text{ mm}^4$$

$$Q = A_p \cdot Y = 221 \times (115,3008 + 2,5/2) \times (9,5-1) = 218940,6778 \text{ mm}^3$$

$$P = \frac{q_{ult} \times I_{comp}}{V_u \times Q} = \frac{32,3333 \times 730267203,3}{47,3227 \times 218940,6778} = 2278,9339 \text{ mm}$$

Cukup dipasang satu buah baut pada ujung-ujung balok ditambah

satu buah baut untuk merapatkan plat dengan beton



Penempatan Tulangan, Plat, dan Baut pada Balok

PERANCANGAN ADUKAN BETON

B.1. Adukan Beton

Adukan beton terdiri dari bahan-bahan susun agregat kasar dan halus kemudian ditambah semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan perekat, harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dicapai mutu beton yang baik. Nilai slump digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air dalam hubungannya faktor air semen yang ingin dicapai.

Sesuai dengan tingkat mutu beton yang akan dicapai, perbandingan bahan susun harus ditentukan agar beton yang dihasilkan memberikan :

1. Kelecekan dan konsistensi yang memungkinkan pengerjaan beton (penuangan, perataan, dan pemadatan) dengan mudah ke dalam acuan dan sekitar tulangan baja tanpa menimbulkan terjadinya segregasi atau pemisahan agregat dan bleeding air.
2. Ketahanan terhadap kondisi lingkungan khusus (kedap air, korosif, dan sebagainya).
3. Memenuhi kekuatan yang hendak dicapai. Dalam pengerjaan beton dimana angka perbandingan antar faksi bahan susunnya didapatkan dari percobaan, harus diperhatikan bahwa jumlah semen maksimum yang digunakan harus disesuaikan dengan keadaan sekeliling.

a. Semen dan Air

Semen yang digunakan untuk bahan beton adalah semen Portland atau Semen Portland Puzzoland, berupa semen hidrolis yang berfungsi sebagai bahan perekat dari bahan susun beton. Dengan jenis semen tersebut diperlukan air untuk terjadinya reaksi kimiawi guna berlangsungnya proses hidrasi. Pada proses hidrasi semen mengeras dan mengikat bahan susun beton membentuk masa padat. Semen Portland terutama mengandung kalsium dan aluminium silika oksida. Dibuat dari bahan utama limestone yang mengandung kalsium oksida (CaO), dan lempung yang mengandung silika oksida (SiO_2), serta aluminium oksida (Al_2O_3). Semen portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII.0013-81 dan peraturan umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982, sedangkan semen portland Puzzolam harus memenuhi persyaratan SII.0132-75. Didalam syarat pelaksanaan pekerjaan beton harus dicantumkan dengan jelas-jenis semen yang boleh dipakai, dan harus selalu dipertahankan sesuai yang dipakai pada waktu penentuan rencana campuran.

Air yang digunakan untuk beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan baja tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar bersih yang dapat diminum. Nilai berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan water cement ratio (wcr). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton. Pada umumnya dipakai nilai wcr 0,4 - 0,6 tergantung mutu beton yang hendak dicapai. Semakin tinggi mutu beton yang ingin dicapai umumnya menggunakan wcr

rendah, sedangkan dilain pihak untuk menambah daya workability (kelecekan, sifat mudah dikerjakan) diperlukan nilai wcr yang lebih tinggi.

b. Batuan Agregat

Agregat terbagi atas agragat halus dan agragat kasar. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan \varnothing 4 – 5 mm. Sedangkan agregat kasar tidak lewat saringan tersebut. Ukuran maksimum agregat kasar dalam beton diatur dalam peraturan untuk kepentingan berbagai komponen, namun pada dasarnya bertujuan agar agregat dapat masuk atau lewat sela-sela acuan. Agregat yang digunakan harus memenuhi peraturan SII . 0052-80 dan hal-hal yang tidak tercakup dalam standart tersebut juga harus memenuhi ketentuan ASTM (American Society for Testing Materials) C33-86 untuk agregat normal, serta pada ASTM C33-80 untuk agregat ringan.

Umumnya penggunaan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah 70% - 75% dari seluruh volume masa beton. Untuk mencapai kuat beton yang baik perlu diperhatikan kepadatan dan kekerasan masanya, karena umumnya semakin padat dan keras masa agregat akan semakin tinggi kekuatan dan durability-nya (daya tahan terhadap penurunan mutu akibat pengaruh cuaca). Untuk membentuk masa padat diperlukan susunan gradasi butiran agregat yang baik. disamping bahan agregat harus mempunyai cukup kekerasan, sifat kekal, tidak bersifat reaktif terhadap alkali, dan tidak mengandung bagian-bagian kecil (< 70 micron) atau lumpur. Nilai kuat beton yang dapat dicapai sangat ditentukan mutu bahan agregat ini.

B.2. METODE PERANCANGAN ADUKAN BETON

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ACI (The American Concrete institute). The American Concrete institute (ACI) menyarankan suatu cara perancangan campuran yang memperhatikan nilai ekonomi, bahan yang tersedia, keawetan, kekuatan yang diinginkan. Cara ACI ini melihat kenyataan bahwa ukuran maksimum agregat tertentu, jumlah air per meter kubik adukan menentukan nilai konsistensi/kekentalan (slump) adukan tersebut.

Secara garis besar, urutan langkah perancangan menurut ACI adalah sebagai berikut :

1. Hitung kuat tekan rata-rata beton dan nilai margin yang tergantung tingkat pengawasan mutunya.

$$F'c_r = f'c + m$$

keterangan : $f'c_r$ = kuat tekan rata-rata, Mpa.

$f'c$ = kuat tekan yang disyaratkan, Mpa

$M = 1,64 \cdot sd$ = nilai margin, Mpa.

Sd = silai deviasi standar

Tabel B.1. Nilai Deviasi Standar (kg/cm^2)

Pekerjaan (m^3)		Mutu pelaksanaan		
		Baik sekali	Baik	Cikup
Kecil	< 1000	$45 < s < 55$	$55 < s < 65$	$65 < s < 85$
Sedang	1000-3000	$35 < s < 45$	$45 < s < 65$	$55 < s < 75$
Besar	>3000	$25 < s < 35$	$35 < s < 45$	$45 < s < 65$

Direncanakan $f'c = 20 \text{ Mpa}$

$Sd = 5,5$ (dari tabel B.1)

Maka, $f'cr = 20 + 1,64 \cdot 5,5 = 29,02 \text{ Mpa}$

Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rata-rata (lihat tabel B.2) dan keawetannya (lihat tabel B.3). dari dua hasil tersebut dipakai yang paling rendah.

Tabel B.2 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata- rata Silinder Beton pada Umur 28 Hari

Faktor Air Semen (fas)	Perkiraan Kuat tekan Rata-rata (Mpa)
0,35	42
0,44	35
0,53	28
0,62	22,4
0,71	17,5
0,80	14

Tabel B.3. Faktor Air Semen Maksimum

Keterangan	Fas
1. Beton di dalam ruangan bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	0,60
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif.	0,52
2. Beton diluar bangunan :	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
3. Beton yang masuk kedalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah	0,52
4. Beton yang kontinyu berhubungan dengan air	
a. Air tawar	0,57
b. Air laut	0,52

Pada tabel B.2. terlihat bahwa hasil perhitungan kuat tekan rata-rata yang didapat, $f'_{cr} = 31$ Mpa. Berada diantara $f'_{cr} = 28$ Mpa dngan $fas = 0,53$ dan $f'_{cr} = 35$ Mpa dengan $fas = 0,44$. Maka dengan interpolasi linier didapat :

$$\frac{0,53 - 0,44}{x - 0,44} = \frac{28 - 35}{31 - 35}$$

$$x = 0,49$$

Sedangkan berdasarkan kondisi lingkungan (tabel B.3) didapat nilai $fas = 0,63$. Maka nilai fas diambil yang terkecil dari kedua tinjauan tersebut, yaitu $fas = 0,517$.

1. Berdasarkan jenis strukturnya, ditetapkan nilai slump dan ukuran agregatnya (lihat tabel B.4 dan B.5)

Tabel B.4 Nilai Slump (cm)

Pemakaian Beton	Maks.	Min.
1. Dinding, plat pondasi, dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2. Fondasi telapak tidak bertulang, coison, dan struktur dibawah tanah	9,0	2,5
3. Plat, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4. Pengerasan jalan	7,5	5,0
5. Pembetonan masal	7,5	2,5

Tabel B.5 Ukuran Maksimum Agregat

Dimensi Minimum	Balok / Kolom	Plat
62,5	12,5	20
150,0	40,0	40
300,0	40,0	80
750,0	80,0	80

Berdasarkan tabel B.4 nilai slump berkisar antara 7,5 – 15 cm. Sedangkan dari tabel B.5 didapat ukuran maksimum agregat = 40 mm

4. Tetapkan jumlah air yang diperlukan. Berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang diinginkan (lihat tabel B.6).

Pada nilai slump berkisar antara 7,5 – 15 dan ukuran agregat maksimum = 40 cm, maka dari tabel B.6 didapat kebutuhan air = 177 liter dan udara yang terperangkap = 1 %.

Tabel B.6 Perkiraan Kebutuhan Air Berdasarkan Nilai Slump dan Ukuran Agregat (Liter)

Slump	Ukuran Agregat Maks (mm)		
	10	20	40
25 s/d 50	206	182	162
75 s/d 100	226	203	177
150 s/d 175	240	212	188
Udara terperangkap	3 %	2 %	1 %

5. Menghitung kebutuhan semen yang diperlukan berdasarkan hasil langkah (2) dan (4) di atas. Berdasarkan nilai fas dan jumlah air yang diperlukan, dapat ditentukan jumlah semen yang diperlukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat semen} &= \frac{\text{Jumlah air}}{\text{Fas}} \\ &= \frac{177}{0,49} = 361,22 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{volume semen} = \frac{\text{berat Pc}}{\text{berat jenis Pc}}$$

$$= \frac{361,22}{3,15 \times 10^3} = 0,1147 \text{ m}^3$$

6. Tetapkan volume agregat kasar yang diperlukan persatuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat (lihat tabel B.7)

Tabel B.7. Perkiraan kebutuhan agregat kasar per meter kubik beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan modulus halus pasirnya.

Ukuran Maksimum Agregat	Modulus Halus Butir Pasir			
	2,4	2,6	2,8	3,0
10	0,46	0,44	0,42	0,40
20	0,64	0,63	0,61	0,59
40	0,76	0,74	0,72	0,70
80	0,84	0,82	0,80	0,78
150	0,90	0,88	0,86	0,84

Berdasarkan nilai modulus kehalusan agregat halus dan ukuran maksimum agregat diperkirakan kebutuhan agregat kasar menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Berat split} &= \text{volume split} \times \text{berat jenis (ssd)} \\ &= 0,76 \times 1425,1193 = 1083,0907 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\text{Volume split padat} = \frac{\text{berat split}}{\text{Bj split}}$$

$$= \frac{1,0831}{2,54} = 0,4264 \text{ m}^3$$

7. Menentukan volume agregat halus. Untuk mengetahui volume agregat halus berdasarkan volume air, semen dan agregat kasar yang diperlukan serta udara yang terperangkap dalam adukan dengan cara hitung volume absolut.

Persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} \text{Volume tanpa pasir} &= \text{volume air} + \text{volume semen} + \text{volume split} + \\ &\quad \text{udara terperangkap} \\ &= 0,177 + 0,1147 + 0,4624 + 0,01 \\ &= 0,7281 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pasir} &= 1 - (\text{Volume tanpa pasir}) \\ &= 1 - 0,7281 = 0,2719 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir} &= \text{volume pasir} \times \text{Bj. Pasir} \\ &= 0,2719 \times 2,857 = 0,7768 \text{ kg} \\ &= 776,8181 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Proporsi bahan untuk 1 m³ beton, Dari perhitungan perancangan adukan, untuk mutu beton f`c = 20 Mpa. Menurut metode ACI ini, masing-masing bahan yang diperlukan untuk pembuatan 1 m³ adalah sebagai berikut :

- Semen = 361,22 kg

- Pasir = 776,8181 kg
- Split = 1083,0909 kg
- Air = 177 liter

DOKUMENTASI PENELITIAN

1. Alat-alat yang digunakan

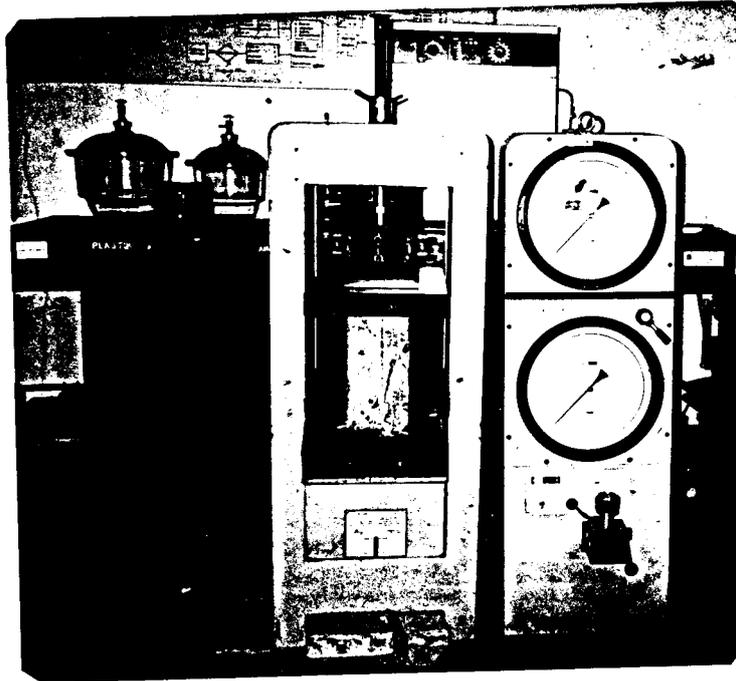


Photo 1. Mesin desak beton

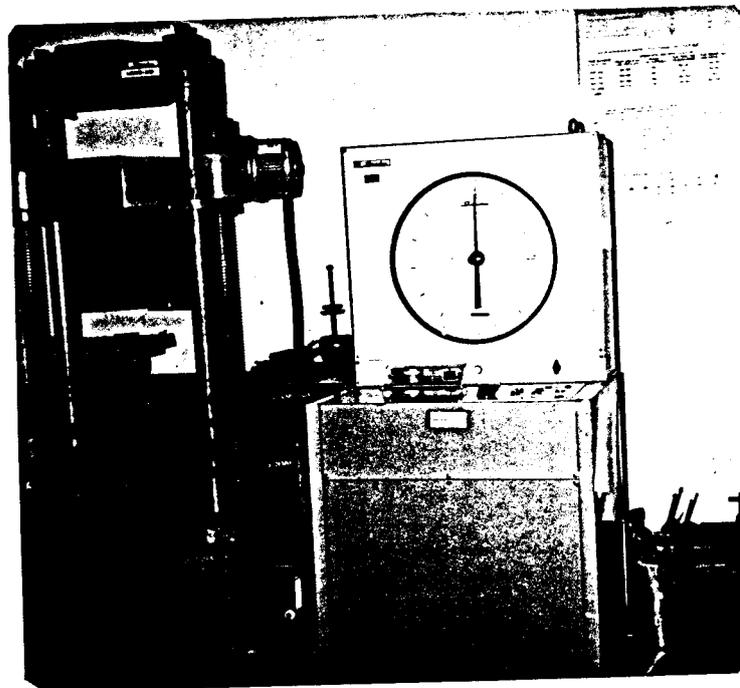


Photo 2. Mesin tarik baja

2. Pekerjaan beton

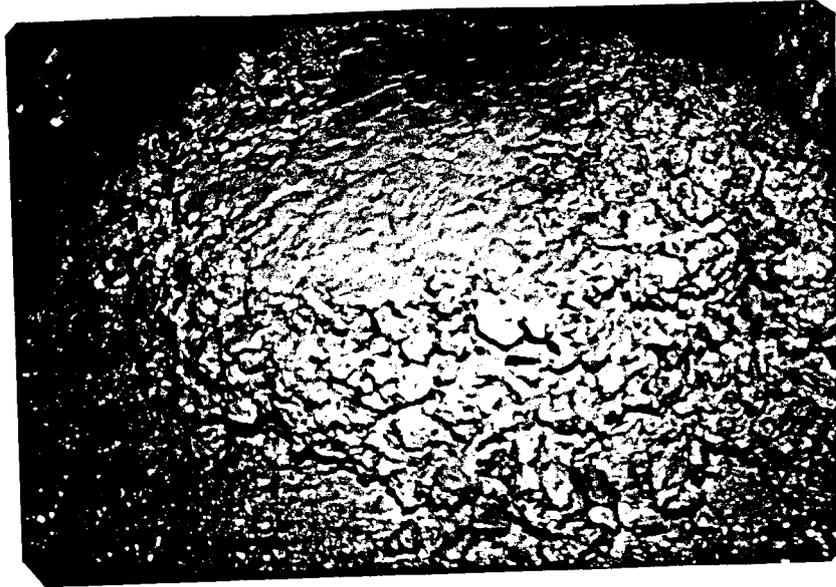


Photo 3. Tempat pengadukan beton



Photo 4. Pengujian nilai slump

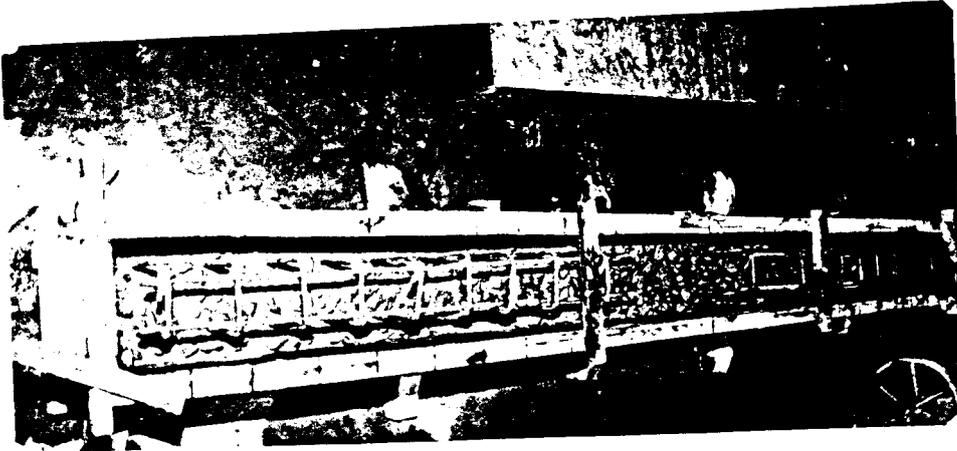


Photo 5. Penempatan tulangan pada bekisting

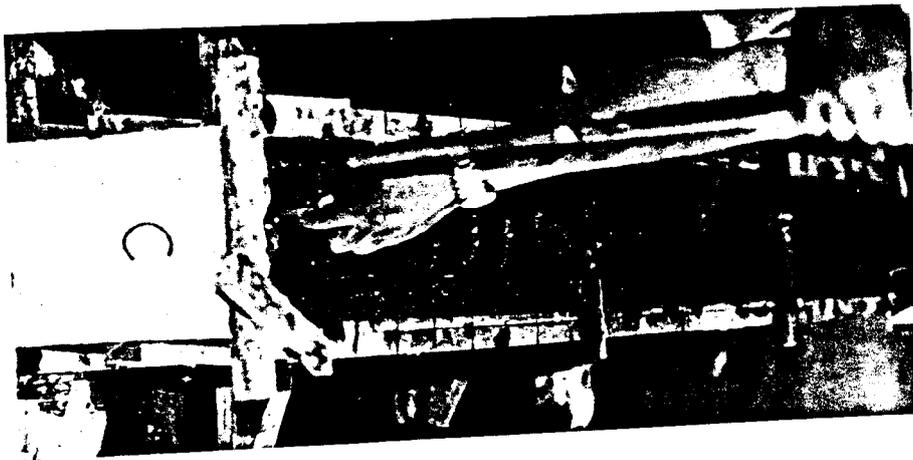


Photo 6. Pemasangan

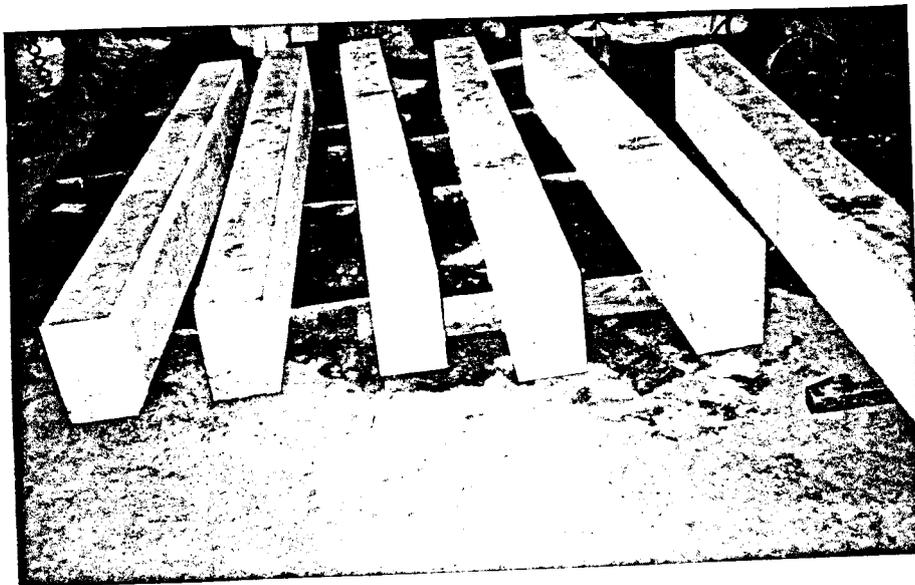


Photo 7. Sampel benda uji

3. Pengujian lentur

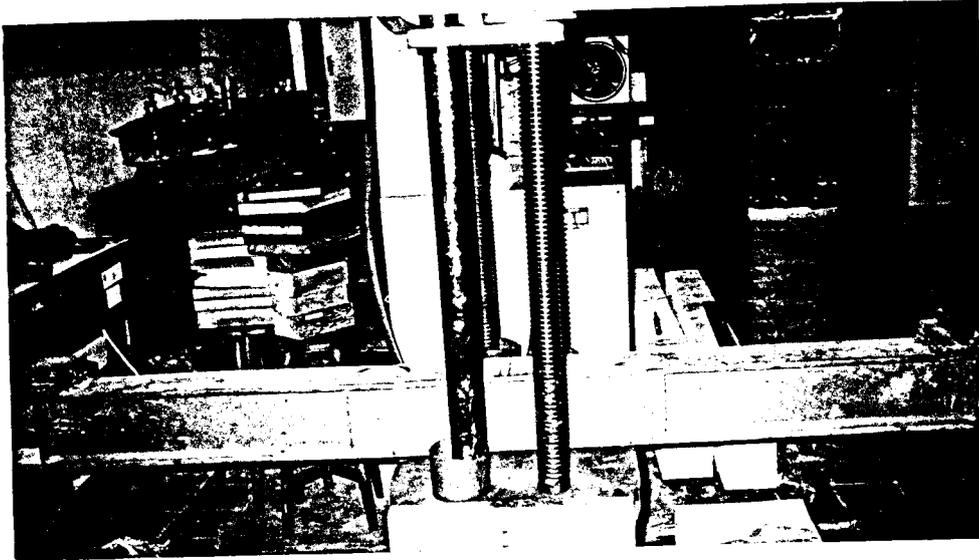


Photo 8. Model perletakan

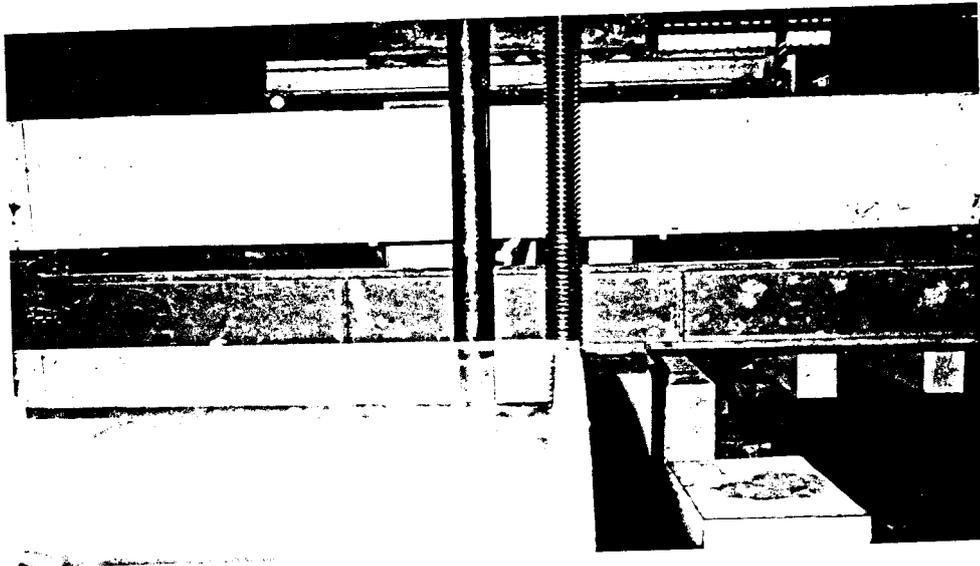


Photo 9. Penempatan balok pada perletakan

a. Keadaan balok setelah pengujian lentur

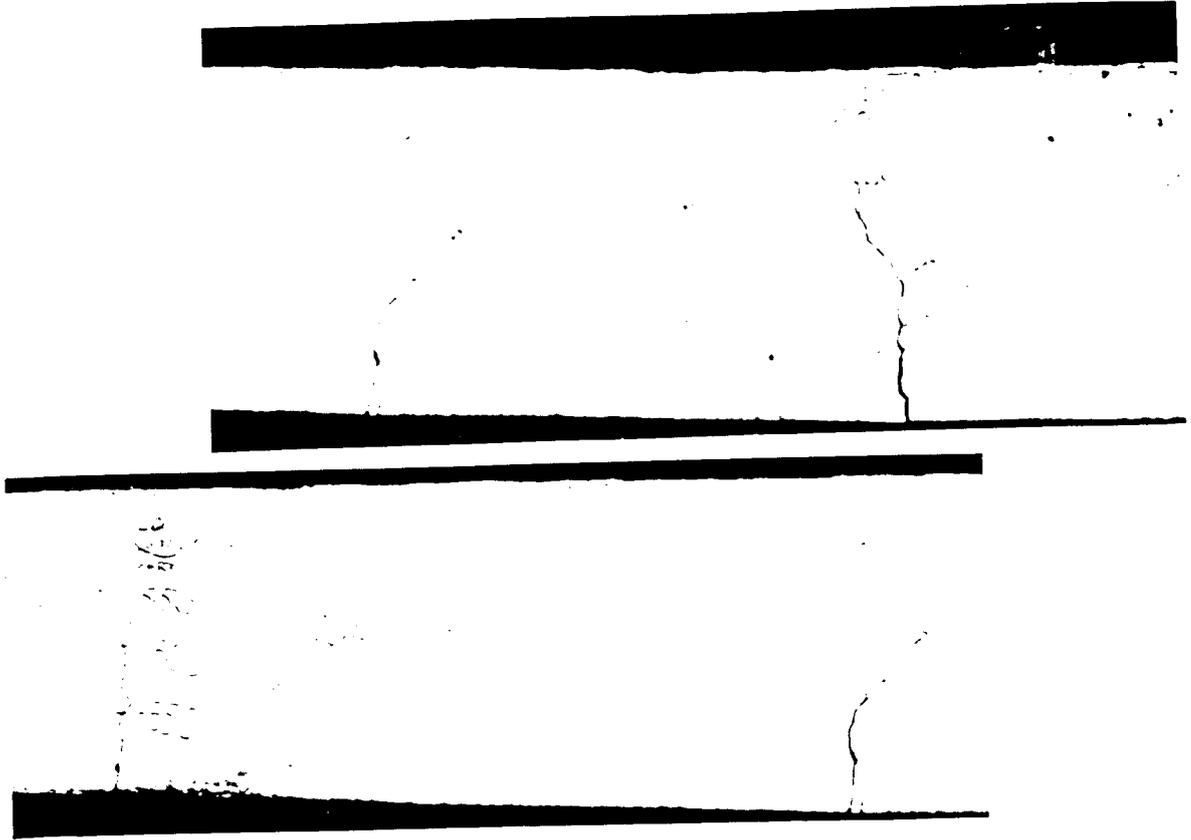


Photo 10. Pola retak benda uji I.1

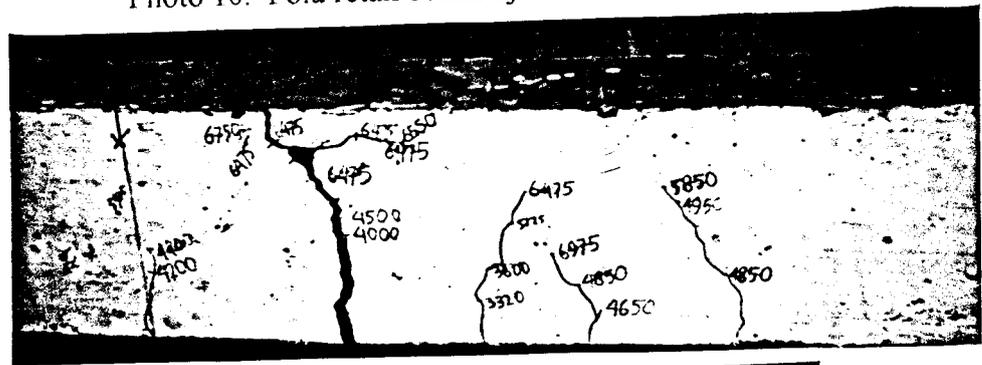


Photo 11. Pola retak benda uji I.2



Photo 12. Pola retak benda uji II.1

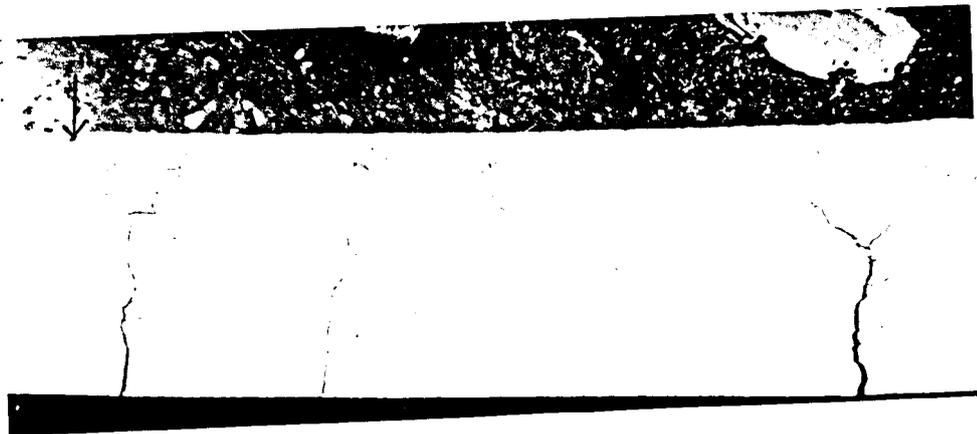


Photo 13. Pola retak benda uji II.2

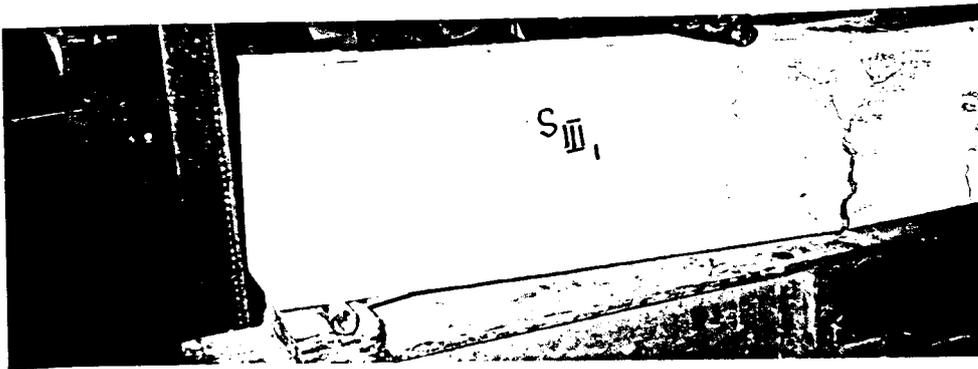
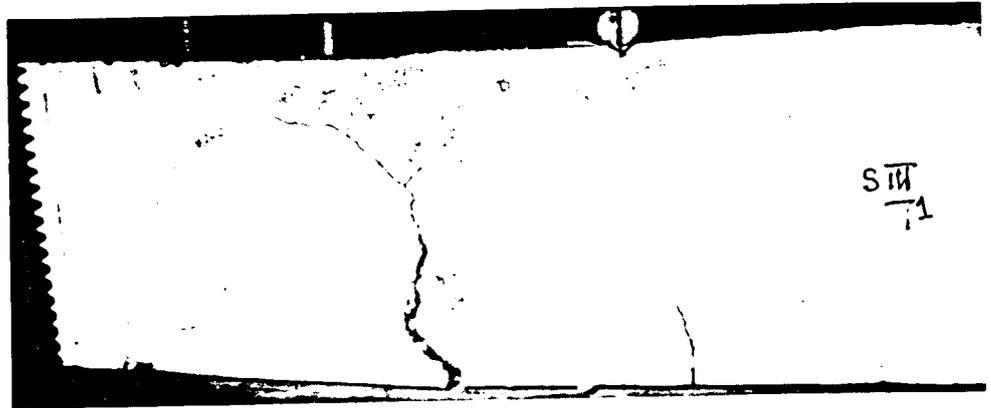


Photo 14. Pola retak benda uji III.1

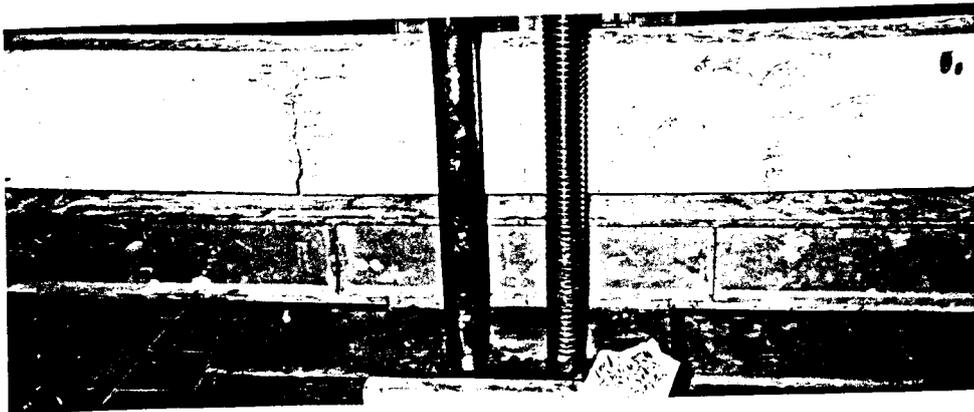


Photo 15. Pola retak benda uji III.2

b. Keadaan plat dan "shear connector" setelah dilakukan pengujian



Photo 16. Benda uji II

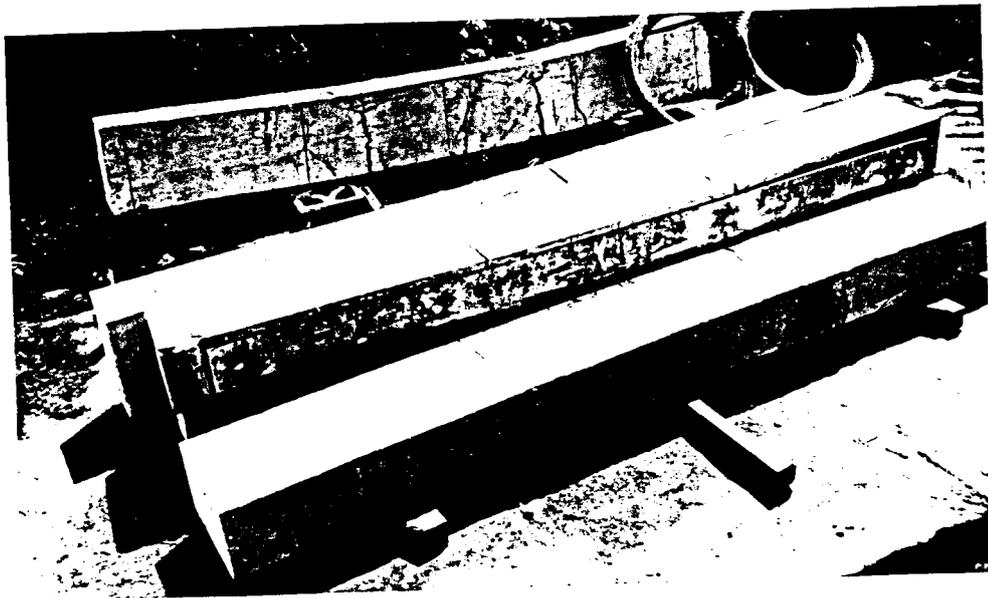


Photo 17. Benda uji III