

TUGAS AKHIR
PENGARUH PERKUATAN PLAT BAJA DENGAN PERLEKATAN
SIKADUR 731 PADA BALOK BETON BERTULANG PASCA BAKAR
TERHADAP KUAT LENTUR



Disusun oleh :

NAMA : TARIMA

No. MHS : 92 310 100

NAMA : M. ASMUNGI

No. MHS : 92 310 312

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

2000

TUGAS AKHIR
PENGARUH PERKUATAN PLAT BAJA DENGAN PERLEKATAN
SIKADUR 731 PADA BALOK BETON BERTULANG PASCA BAKAR
TERHADAP KUAT LENTUR

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

Disusun oleh :

TARIMA
92 310 100

M. ASMUNGI
92 310 312

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

2000

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

PENGARUH PERKUATAN PLAT BAJA DENGAN PERLEKATAN
SIKADUR 731 PADA BALOK BETON BERTULANG PASCA BAKAR
TERHADAP KUAT LENTUR

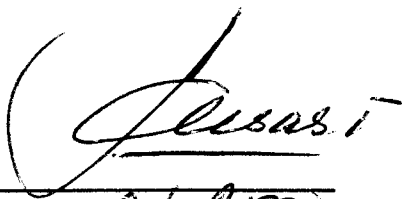
Disusun oleh :

TARIMA
92 310 100


M. ASMUNGI
92 310 312

Diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Susastrawan, MS
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 8/11/2020

Ir. Iman Noor, MSCE
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 4/11/2020

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalaamu'alaikum Wr. Wb,

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat dan salam kita limpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabat Nabi dan kaum muslimin dimuka bumi ini.

Adapun tugas akhir kami yang berjudul **“Pengaruh Perkuatan Plat Baja dengan Perlekatan Sikadur 731 pada Balok Beton Bertulang Pasca Bakar Terhadap Kuat Lentur”** ini merupakan penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini kami banyak sekali mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun menghaturkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Widodo MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Tadjuddin BM. Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. Susastrawan, MS., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberi saran dan pengarahan dalam Tugas Akhir ini,

4. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE., selaku Dosen pembimbing II dan Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberi ijin pemakaian laboratorium dan telah banyak memberikan masukan dan bimbingan, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Ir, Zainal Arifin dan segenap karyawan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Ayahanda, Ibunda dan kakak-adik tercinta dan terkasih atas doa serta dukungannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini,
7. H. Teddy, H. Toddy, Heru H, Agung, Dadang, Toto, Arieva, Adi, Andra, Hatta, Ade, Rudy, Yanti, Pijay, Riyanto, Aan, Kuncoro, Anung, yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
8. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya disadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu segala kritik dan saran yang sifatnya membangun selalu penyusun harapkan. Dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan bagi yang memerlukannya. Akhir kata, semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, Amin-amin ya robbal`alamin.

Billahittaufig wal hidayah,

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, September 2000

Penyusun

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
FAKTOR KONVERSI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
INTISARI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perkuatan pada Balok	5
2.2 Pengaruh Temperatur pada Beton	6
2.3 Keretakan Beton pada Temperatur Tinggi	7
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Balok dengan Tumpuan Sederhana	9

3.2	Lentur pada Balok Bertulang.....	10
3.3	Aksi Komposit.....	23
3.4	Jenis Retak pada Balok.....	24
3.5	Alat Penyambung Geser.....	25
BAB IV	PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN	26
4.1	Persiapan Bahan dan Alat.....	27
4.2	Pengujian Tarik Tulangan dan Plat Baja.....	28
4.3	Pemeriksaan Agregat Halus.....	29
4.3.1	Modulus Halus Butiran.....	29
4.3.2	Berat Jenis Pasir.....	30
4.4	Pemeriksaan Agregat Kasar.....	31
4.4.1	Berat Jenis Split.....	31
4.4.2	Berat Jenis Kering Tusuk (SSD)	32
4.5	Pembuatan Benda Uji.....	33
4.5.1	Pembuatan Cetakan dan Anyaman Tulangan....	33
4.5.2	Perancangan Adukan Beton.....	34
4.5.3	Campuran Adukan Beton.....	35
4.5.4	Pengujian Slump.....	35
4.5.5	Pencetakan Beton.....	36
4.5.6	Perawatan Beton.....	36
4.5.7	Pembakaran Balok Beton Bertulang.....	37
4.5.8	Pemasangan Plat Baja.....	37
4.6	Pelaksanaan Pengujian.....	38
4.6.1	Pengujian Desak Beton.....	38
4.6.2	Pengujian lentur.....	39

BAB V	ANALISA DAN PEMBAHASAN	43
5.1	Analisis Beban Terpusat.....	43
5.1.1	Berdasarkan Hasil Pengujian Lentur.....	43
5.1.2	Berdasarkan Teori Kapasitas Batas.....	44
5.2	Pembahasan	51
5.2.1	Perbandingan Kapasitas Beban P Luluh Berdasarkan Teori dengan Hasil Pengujian.....	51
5.2.2	Pengamatan Benda Uji	53
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	60
6.1	Kesimpulan	60
6.2	Saran-saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

1. Tabel 4.1	Hasil pengujian tarik baja tulangan.....	29
2. Tabel 4.2	Hasil pengujian tarik plat baja.....	29
3. Tabel 4.3	Distribusi ukuran butir pasir.....	30
4. Tabel 4.4	Data pengujian berat jenis pasir.....	31
5. Tabel 4.5	Data pengujian berat jenis split.....	32
6. Tabel 4.6	Data pengujian berat jenis kering tusuk.....	33
7. Tabel 4.7	Hasil uji desak silinder beton	38
8. Tabel 4.8	Hasil pengujian lentur balok	40
9. Tabel 4.9	Hasil lendutan benda uji I	40
10. Tabel 4.10	Hasil lendutan benda uji II.....	41
11. Tabel 4.11	Hasil lendutan benda uji III.....	42
12. Tabel 5.1	Beban P luluh rata-rata hasil pengujian lentur.....	44
13. Tabel 5.2	Perbandingan kapasitas beban P luluh antara hasil teoritis dengan pengujian	52
14. Tabel 5.3	Lendutan rata-rata masing-masing benda uji.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh kuat tekan beton pada suhu tinggi (Neville).....	6
Gambar 3.1	Pembebanan pada balok dengan tumpuan sederhana.....	9
Gambar 3.2	Perilaku lentur pada beban kecil.....	12
Gambar 3.3	Perilaku lentur pada beban sedang.....	13
Gambar 3.4	Perilaku lentur pada beban besar.....	13
Gambar 3.5	Balok menahan momen ultimit.....	16
Gambar 3.6	Blok tegangan ekuivalen Whitney.....	17
Gambar 3.7	Variasi letak garis netral.....	19
Gambar 3.8	Analisis balok bertulangan rangkap.....	20
Gambar 3.9	Perbandingan balok yang mengalami defleksi.....	23
Gambar 3.10	Jenis retak pada balok bertulang.....	24
Gambar 4.1	Penempatan tulangan pada balok	34
Gambar 4.2	Penentuan nilai slump	36
Gambar 4.3	Penempatan plat pada balok	38
Gambar 5.1	Pembebanan pada pengujian lentur	44
Gambar 5.2	Diagram penampang benda uji I.....	44
Gambar 5.3	Diagram penampang benda uji II.....	46
Gambar 5.4	Diagram penampang benda uji III.....	48
Gambar 5.5	Grafik penurunan dan peningkatan beban P luluh.....	52
Gambar 5.6	Grafik hubungan antara beban dan lendutan rata-rata masing-masing benda uji	55

Gambar 5.7	Diagram momen akibat beban dua titik	56
Gambar 5.8	Pola retak benda uji I	58
Gambar 5.9	Pola retak benda uji II	58
Gambar 5.10	Pola retak benda uji III.....	59

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' = Jarak dari serat tekan terluar kepusat tulangan tekan (mm)
- A_s = Luas total penampang tulangan tarik (mm²)
- A_s' = Luas total penampang tulangan tekan (mm²)
- A_{TL} = Luas total penampang plat tarik (mm²)
- N_D = Gaya beton tekan (N)
- N_T = Gaya tulangan baja tarik (N)
- N_{IS} = Gaya tulangan baja tarik (N)
- N_{TL} = Gaya tarik plat baja (N)
- β_1 = Faktor reduksi jarak beton tertekan (0,85)
- f_c = Kuat tekan beton (Mpa)
- f_s' = Tegangan tulangan baja tekan (Mpa)
- f_y = Tegangan luluh baja tulangan (Mpa)
- f_{yL} = Tegangan luluh plat baja (Mpa)
- ϵ_s = Regangan tekan baja (0,003)

- ϵ_s' = Regangan tekan baja (0,003)
 ϵ_y = Regangan luluh baja tulangan
 ϵ_{yL} = Regangan luluh plat baja
 E_s = Modulus elastisitas baja
 M_{ext} = Momen akibat beban luar (Nmm)
 M_n = Momen nominal penampang suatu penampang (Nmm)
 M_R = Momen tahanan (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)
 V_u = Gaya geser luar yang direncanakan (Mpa)
 \emptyset_s = Diameter tulangan geser (mm)
 A_v = Luas total tulangan geser (mm²)
 S = Jarak tulangan geser (mm)

FAKTOR KONVERSI

Besaran	Mengubah dari	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
Panjang	inc	cm	2,54
	cm	mm	10
	cm ²	mm ²	100

DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran
1. Perencanaan benda uji balok	A
2. Perancangan adukan beton	B
3. Momen kelengkungan dan analisisnya	C
4. Dokumentasi penelitian	D
5. Spesifikasi Sikadur 731 dan aplikasi di lapangan	E

INTISARI

Akibat kebakaran yang terjadi pada bangunan beton, seringkali menyebabkan kerusakan-kerusakan pada elemen struktur, khususnya pada kekuatan maupun kekakuan strukturnya. Tingkat kerusakan yang terjadi tidak selalu sama karena ternyata banyak faktor yang menentukan antara lain : lamanya kebakaran, dahsyatnya api, kualitas serta jenis struktur. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan perkuatan struktur beton pasca bakar, khususnya pada balok beton dengan penggunaan eksternal plat.

Aksi komposit beton bertulang dengan perkuatan plat baja pada penelitian ini, dilakukan dengan melekatkan plat baja pada balok dengan lem epoxy sikadur 731. Aksi komposit tersebut sepenuhnya ditahan oleh konektor geser ("shear connector"). Sehingga gaya tarik yang dihasilkan oleh plat baja harus mampu ditransfer oleh konektor geser.

Penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan beban lentur pada lima balok beton bertulang yang terdiri dari : satu buah balok tanpa dibakar (benda uji I), dua buah balok pasca bakar tanpa perkuatan plat baja (benda uji II), dan dua buah balok pasca bakar dengan perkuatan plat baja (benda uji III).

Hasil pengujian benda uji II memperlihatkan penurunan kapasitas beban sebesar 10,97 % jika dibandingkan dengan benda uji I. Benda uji III memperlihatkan peningkatan kapasitas beban sebesar 97,46 % jika dibandingkan dengan benda uji II dan sebesar 75,80 % jika dibandingkan dengan benda uji I. Selain itu dengan penambahan perkuatan plat baja yang dilekatkan dengan Sikadur 731 dapat mengurangi lebar retak dan memperkecil lendutan yang terjadi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perbaikan suatu fasilitas struktur, termasuk bangunan gedung dan jembatan, bertujuan antara lain untuk mendapatkan suatu fungsi struktur 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*). Kerusakan atau kegagalan struktur bukan sekedar keruntuhan dari suatu bangunan, akan tetapi dapat juga diartikan sebagai ketidaksesuaian dari apa yang telah dirancang sebelumnya.

Kerusakan atau kegagalan suatu struktur dapat disebabkan antara lain :

1. Akibat pengaruh dari luar, misalnya kebakaran dan gempa bumi.
2. Kesalahan pada proses 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 kerusakan atau kegagalan struktur, misalnya pada balok beton bertulang akibat dari kebakaran, perbaikan atau peningkatan kekuatan struktur merupakan salah satu alternatif pilihan. Salah satu alternatif pemecahan yang dapat dilakukan dan saat ini sangat populer dikalangan para peneliti dan ahli

teknik adalah dengan perkuatan struktur beton pasca bakar dengan *Carbon Fibre Strips*. *Carbon Fibre Strips* ini berupa *Carbon Steel Fibre* yang dalam pelaksanaannya dilekatkan pada beton dengan menggunakan *epoxy*. Lapisan ini mempunyai kuat tarik yang tinggi serta lebih tahan terhadap korosi.

Metode perbaikan pada balok beton bertulang yang terbakar dapat juga menggunakan plat baja sebagai perkuatan struktur. Plat baja dengan arah sejajar balok beton digabungkan melalui sisi bawah balok. Sama halnya dengan prinsip desain beton bertulang, maka plat baja juga difungsikan sebagai batang tarik. Untuk menghasilkan aksi komposit balok beton-plat, yaitu dengan menghindari terjadinya slip (gelincir) antara permukaan balok beton dan plat baja pada saat balok melentur, maka digunakan "*Shear connector*" di sepanjang bentang balok.

Atas dasar prinsip di atas, akan dicoba pengujian laboratorium mengenai penggunaan plat baja sebagai perkuatan balok beton bertulang pasca bakar yang dilekatkan dengan *Epoxy* yaitu Sikadur 731.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh perkuatan plat baja yang dilekatkan dengan Sikadur 731 produk PT. Sika Nusa Pratama pada beton pasca bakar dalam menahan lentur.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang jelas tentang pengaruh perkuatan plat baja yang dilekatkan dengan sikadur 731 pada balok beton bertulang pasca bakar dalam menahan lentur, sehingga dapat menjadi alternatif pada perbaikan atau peningkatan kekuatan struktur.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, membahas masalah pengaruh perkuatan plat baja yang dilekatkan dengan sikadur 731 pada balok beton bertulang pasca bakar terhadap kuat lentur.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian dan pembahasan maka ditentukan beberapa penyederhanaan masalah berupa batasan-batasan sebagai berikut :

1. Penelitian hanya dilakukan pada 5 buah balok bertulang yaitu 1 buah balok tanpa dibakar dan tidak dilapisi plat baja, 2 buah balok di bakar tanpa dilapisi plat baja dan 2 buah balok di bakar dan dilapisi plat baja.
2. Balok dengan ukuran panjang 200 cm, lebar 14 cm, tinggi 22 cm.
3. Menggunakan balok beton bertulang tulangan rangkap, yang diperkuat dengan plat baja pada sisi bawah balok beton dengan lebar plat 5 cm dan tebal 3,5 mm, dengan pengujian terhadap lentur.
4. Pembakaran balok bertulang dilakukan pada suhu 400°C, selama 4 jam.
5. Untuk menghindari slip antara permukaan plat baja dan beton, digunakan *Epoxy Sikadur 731* 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: 10 mm, 8 mm, 6 mm polos.
- d. Plat baja dengan $f_y = 240$ Mpa, tebal (t_p) = 3,5 mm, lebar 5 cm, panjang 190 cm.
- e. *Epoxy* Sikadur 731.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkuatan pada Balok

Penataan dan perkuatan balok beton yang jelek 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, 1996).

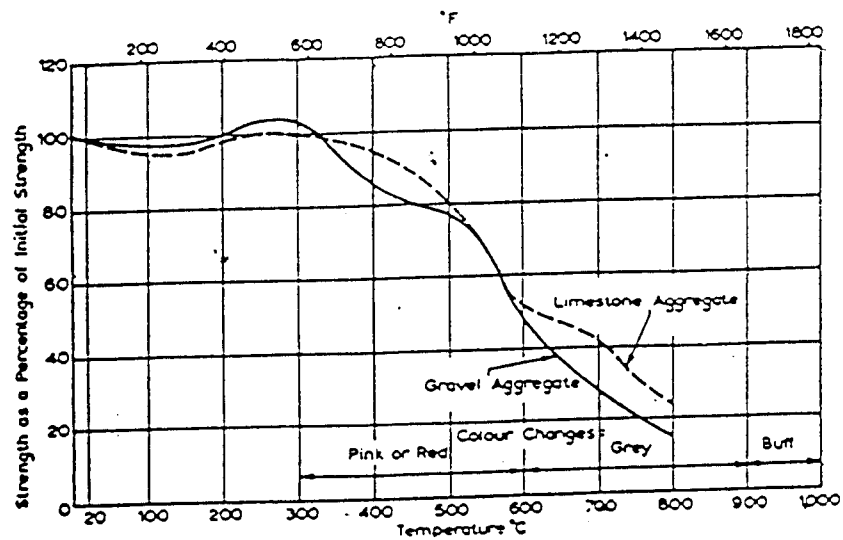
Belakangan ini telah dilakukan Pengujian lentur balok (Mukhopadhyaya dan Swamy, 1998) dengan menggunakan eksternal plat baja yang ditempatkan di sisi bawah balok beton bertulang. Prosedur yang dilakukan diantaranya adalah menggunakan baut sebagai fungsi "*shear connector*" dan lekatan antara plat dan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

Pengujian balok dengan perkuatan plat baja yang menggunakan baut sebagai fungsi *shear connector* (Setya Prayitno dan Amrizal, 1999) memperlihatkan peningkatan kapasitas beban sebesar 8,882 % untuk lebar plat 5 cm, dan meningkat sebesar 28,6651 % untuk lebar plat 10 cm.

Dengan kemajuan teknologi sekarang telah ditemukan pula bahan *Carbon Fibre Strips* produk dari PT. Sika Nusa Pratama yang telah merekomendasikan bahan tersebut untuk perbaikan/penambahan kekuatan beton. Balok yang dibakar dan dilapisi *Carbon Fibre Strips* penambahan momen kapasitas bisa mencapai 30,74 % dibandingkan dengan balok tanpa di bakar dan 69,92 % bila dibandingkan dengan balok yang di bakar tanpa dilapisi *Carbon Fibre Strips* (Johanna Sihombing, 1999).

2.2 Pengaruh Temperatur pada Beton

Hasil penelitian Neville (1975) menunjukkan bahwa kenaikan suhu cenderung mengakibatkan penurunan kuat tekan beton dengan agregat batu kapur dan batu silika. Dari beberapa penelitian untuk temperatur di atas 400° C, kuat tekan beton hanya mencapai 90% dari kuat tekan normalnya dan maksimal 40% apabila kebakaran mencapai suhu di atas 600 C (lihat gambar 2.1).



Gambar 2.1 Pengaruh kuat tekan beton pada suhu tinggi (Neville, 1975)

Hasil penelitian F. Harmanto Djokowahjono (1997), kuat tekan beton menurun sesuai dengan bertambahnya temperatur, mulai temperatur 200 °C, kuat tekan beton menurun sebesar 6,0571% dibandingkan pada suhu kamar, pada temperatur 400 °C, kuat tekan beton menurun sebesar 22,32385 % dibanding suhu kamar, pada temperatur 600 °C, kuat tekan beton menurun sebesar 47,54278 % dibanding suhu kamar.

2.3 Keretakan Beton pada Temperatur Tinggi

Perbedaan koefisien muai panas antara pasta semen dan agregat yang terlalu besar, dapat menimbulkan keretakan pada beton. Tegangan intern pada agregat yang disebabkan perbedaan muai panas bisa menimbulkan keretakan pada pasta semennya.

Telah diketahui bahwa pada temperatur di atas 100 °C, pasta semen mengalami susut karena peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat

mengembang karena meneruskan muai panasnya. Peristiwa ini dapat merupakan penyebab terjadinya keretakan pada beton.

Selain itu kemungkinan terjadinya retak pada beton dapat pula disebabkan oleh kombinasi antara kenaikan tegangan dan tekanan uap panas dari dalam pada saat beton dipanasi dengan cepat seperti pada peristiwa kebakaran. Pada saat terjadi kebakaran, kenaikan temperatur sangat besar dan beton yang terbakar akan sulit mengeluarkan uap air dari semen gel yang terkandung di dalamnya, mengikat beton bersifat padat. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya tekanan udara panas di dalam yang akan membentuk rongga-rongga yang dapat menimbulkan keretakan pada beton. Permukaan beton biasanya mudah hancur karena bagian ini mengalami kenaikan volume udara yang besar dan berlangsung cepat. Sebagian tegangannya digunakan untuk perlawanan terhadap gerakan panas yang menembus lapis permukaan beton tersebut. Pada saat terjadi kenaikan temperatur, gerakan panas pada beton merupakan hal yang sulit diperkirakan. Hal ini tergantung pada sifat pasta semen maupun agregat yang digunakan. Pada kisaran temperatur tertentu, agregat mengembang karena memuai, sedang pasta semen menyusut karena dehidrasi (Teguh, 1997).

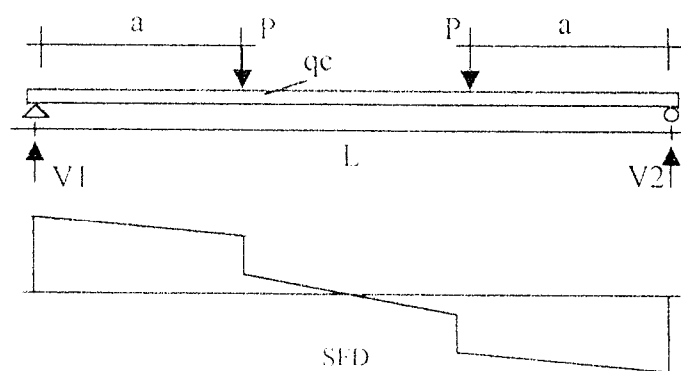
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Balok dengan Tumpuan Sederhana

Balok didefinisikan sebagai suatu batang struktural yang utama menjadi subyek 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.

Suatu balok yang dibebani beban dua titik dan beban merata kalau dilihat dari diagram gaya lintangnya, akan memiliki gaya geser yang kecil, sehingga akan terjadi lentur murni bukan lentur geser pada saat dilakukan pengujian, sesuai dengan tujuan dari penelitian. Seperti pada gambar 3.1 perhitungan secara analitis adalah sebagai berikut di bawah ini:



Gambar 3.1 Pembebanan pada balok dengan tumpuan sederhana

Akibat beban sentris :

$$V_1 = V_2 = P \quad (3.1.1)$$

$$M_{\max} = P \times a \quad (3.1.2)$$

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

Akibat beban merata :

$$V = 1/2 \times q \times L \quad (3.1.3)$$

$$M_{\max} = 1/8 \times q \times L^2 \quad (3.1.4)$$

Momen maksimum akibat beban merata terletak di tengah bentang.

3.2 Lentur pada Balok Beton Bertulang

Perencanaan komponen struktur beton dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak timbul retak berlebihan pada penampang sewaktu mendukung beban kerja, dan masih mempunyai cukup keamanan serta cadangan kekuatan untuk menahan beban dan tegangan lebih lanjut tanpa mengalami runtuh. Timbulnya tegangan-tegangan lentur akibat terjadinya momen karena beban luar, dan tegangan tersebut merupakan faktor yang menentukan dalam menetapkan dimensi geometris penampang komponen struktur.

Bahan yang bersifat serba sama dan elastis, distribusi regangan maupun tegangannya linear berupa garis lurus dari garis netral ke nilai maksimum di serat terluar. Dengan demikian nilai tegangannya berbanding lurus dengan nilai regangan dan hal tersebut berlaku sampai dicapainya batas sebanding (*proportional limit*).

Meskipun disadari bahwa pada kenyataannya bahan beton bersifat tidak serba sama (*nonhomogeneous*) dan tidak sepenuhnya elastik, selama ini cara pendekatan linear masih digunakan dan dianggap benar bagi beton, yang

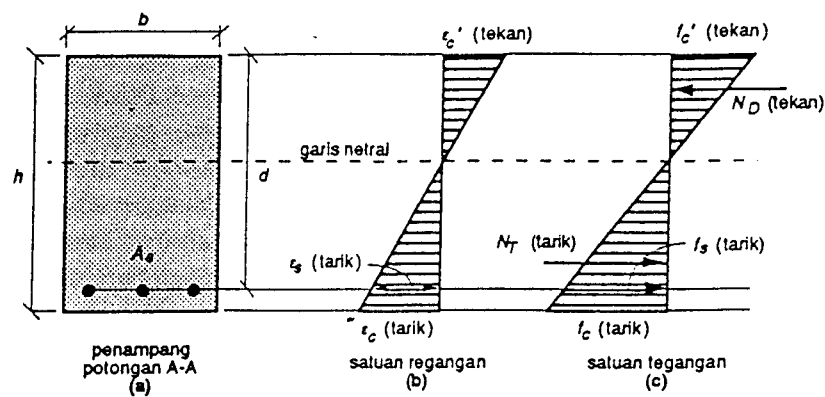
dinamakan sebagai metode elastik atau metode tegangan kerja (*Working Stress Design, WSD method*).

Belakangan ini telah dikenal metode pendekatan lain yang lebih realistis, ialah bahwa hubungan sebanding antara tegangan dan regangan dalam beton terdesak hanya berlaku sampai pada suatu batas keadaan pembebanan tertentu, yaitu pada tingkat beban sedang. Pendekatan ini dinamakan metode perencanaan kekuatan (*Ultimate Strength Design method, USD method*) atau metode perencanaan kuat ultimit.

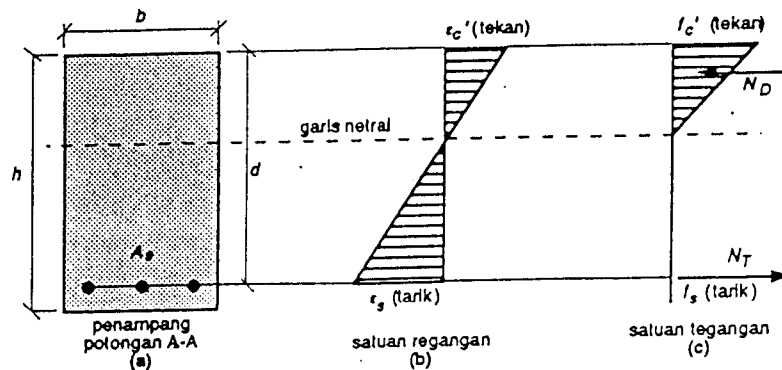
Pada metode tegangan kerja, beban yang diperhitungkan adalah *service loads* (beban kerja), sedangkan penampang komponen struktur dianalisis berdasarkan pada nilai tegangan tekan lentur ijin yang umumnya ditentukan bernilai $0,45 f_c$, dimana pola distribusi tegangan tekan linearnya atau sebanding lurus dengan jarak terhadap garis netral. Sedangkan pada metode kekuatan (ultimit), *service loads* diperbesar, dikalikan suatu faktor beban dengan maksud untuk memperhitungkan terjadinya beban pada saat struktur diambang keruntuhan. Kemudian dengan menggunakan beban kerja yang sudah diperbesar (beban terfaktor), struktur direncana sedemikian sehingga didapat nilai kuat guna pada saat runtuh yang besarnya kira-kira lebih kecil dari kuat batas runtuh sesungguhnya. Kekuatan pada saat runtuh tersebut dinamakan kuat ultimit dan beban yang bekerja pada atau dekat dengan saat runtuh dinamakan beban ultimit.

Pada beban kecil, dengan menganggap belum terjadi retak beton, secara bersama-sama beton dan baja tulangan bekerja menahan gaya-gaya dimana gaya tekan ditahan oleh beton saja. Distribusi tegangan akan tampak pada gambar 3.2

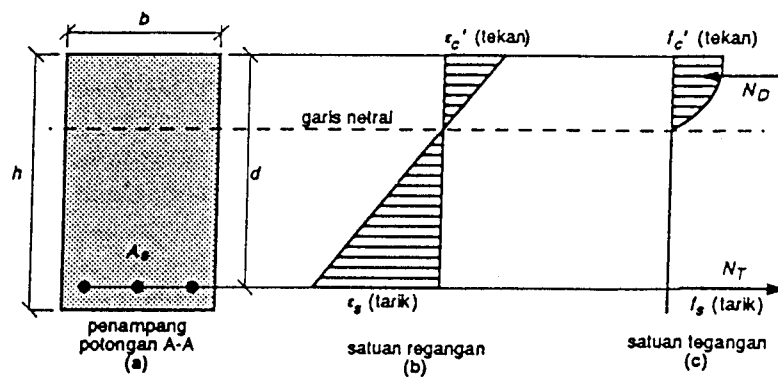
terjadi distribusi tegangan linear, bernilai nol pada garis netral dan sebanding dengan regangan yang terjadi. Kasus demikian ditemui bila tegangan maksimum yang timbul pada daerah serat tarik masih cukup rendah, nilainya masih di bawah *modulus of rupture*. Pada beban sedang, kuat tarik beton dilampaui dan beton mengalami retak rambut seperti tampak pada gambar 3.3. Karena beton tidak dapat meneruskan gaya tarik melintasi daerah retak, karena terputus-putus, baja tulangan akan mengambil alih memikul seluruh gaya tarik yang timbul. Distribusi tegangan untuk penampang pada atau dekat bagian yang retak tampak pada gambar 3.3, dan hal yang demikian diperkirakan akan terjadi pada nilai tegangan beton sampai dengan $\frac{1}{2}f'_c$. Pada keadaan tersebut tegangan beton tekan masih dianggap bernilai sebanding dengan nilai regangannya. Pada beban yang lebih besar lagi, nilai regangan serta tegangan tekan akan meningkat dan cenderung untuk tidak lagi sebanding antara keduanya, dan tegangan beton tekan akan membentuk kurva nonlinear. Kurva tegangan di atas garis netral (daerah tekan) berbentuk sama dengan kurva tegangan-regangan beton seperti yang tergambar pada gambar 3.4.



Gambar 3.2 Perilaku lentur pada beban kecil



Gambar 3.3 Perilaku lentur pada beban sedang



Gambar 3.4 Perilaku lentur dekat beban ultimit

Pada gambar 3.4 dapat dilihat distribusi tegangan dan regangan yang timbul pada atau dekat keadaan pembebanan ultimit, sehingga apabila kapasitas batas kekuatan beton terlampaui dan tulangan baja mencapai luluh, balok mengalami hancur. Komponen struktur telah retak dan tulangan baja meluluh, mulur, terjadi lendutan besar, dan tidak akan dapat kembali ke keadaan semula. Bila komponen lain dari sistem mengalami hal yang sama, mencapai kapasitas ultimitnya, struktur secara keseluruhan akan remuk dalam strata runtuh atau setengah runtuh meskipun belum hancur secara keseluruhan.

Pendekatan dan pengembangan metode perencanaan kekuatan didasarkan atas

anggapan-anggapan sebagai berikut :

1. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai pada kira-kira beban sedang, dan tegangan beton tekan tidak melampaui $\frac{1}{2}f_c$, apabila beban meningkat sampai beban ultimit, tegangan yang timbul tidak sebanding lagi dengan regangannya berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linear. Bentuk blok tegangan beton tekan pada penampangnya berupa garis lengkung dimulai dari garis netral dan berakhir pada serat tepi tekan terluar. Tegangan tekan maksimum sebagai kuat tekan lentur beton pada umumnya tidak terjadi pada serat tepi tekan terluar, tetapi agak masuk ke dalam.
2. Dalam memperhitungkan kapasitas momen ultimit komponen struktur, kuat tarik beton diabaikan dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik.

Kemudian untuk memperhitungkan letak resultante gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja, baja tulangan dianggap secara serempak dengan nilai regangan diukur pada pusat beratnya. Apabila regangan baja tulangan (ϵ_s) lebih kecil dari regangan saat baja luluh (ϵ_y), nilai tegangan baja tulangan adalah $E_s f_s$. Hal demikian menganggap bahwa untuk tegangan baja tulangan yang belum mencapai f_y maka tegangan sebanding dengan regangannya sesuai hukum Hooke. Sedangkan untuk regangan yang sama atau lebih besar dari ϵ_y , maka tegangan baja tidak lagi sebanding dengan regangannya dan digunakan nilai f_y .

Bentuk penampang di daerah tarik dan besarnya selimut beton tidaklah mempengaruhi kekuatan lentur. Tinggi penampang yang menentukan adalah tinggi efektif d , yaitu jarak dari serat tepi tekan terluar terhadap titik berat

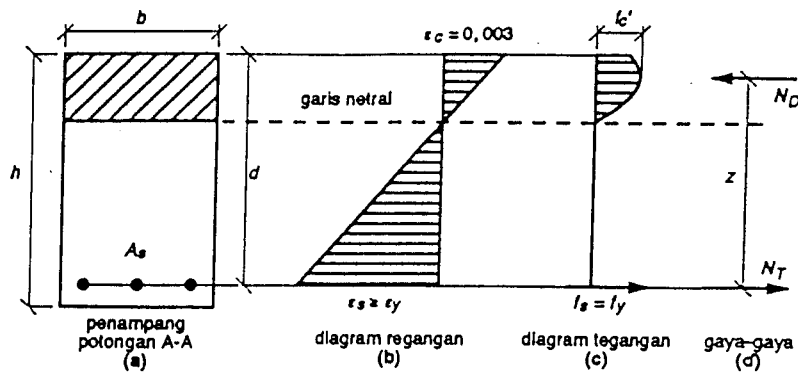
tarik. Regangan beton tekan maksimum pada serat tepi tekan terluar (ϵ_b') sebagai regangan ultimit ditetapkan sebesar 0,003.

Pada suatu komposisi tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton maksimum (ϵ_b' maks) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh f_y . Apabila hal demikian terjadi, penampang mencapai keseimbangan regangan atau penampang bertulangan seimbang.

Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Pada gambar 3.5, N_D adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral. Sedangkan N_T adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini, arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak z sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimumnya disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Momen tahanan dalam akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk menentukan momen tahanan dalam, yang penting diketahui terlebih dahulu resultante total gaya tekan beton N_D , dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak z dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk

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



Gambar 3.5 Balok menahan momen ultimit

Untuk penyederhanaan, Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekivalen seperti terlihat pada gambar 3.6

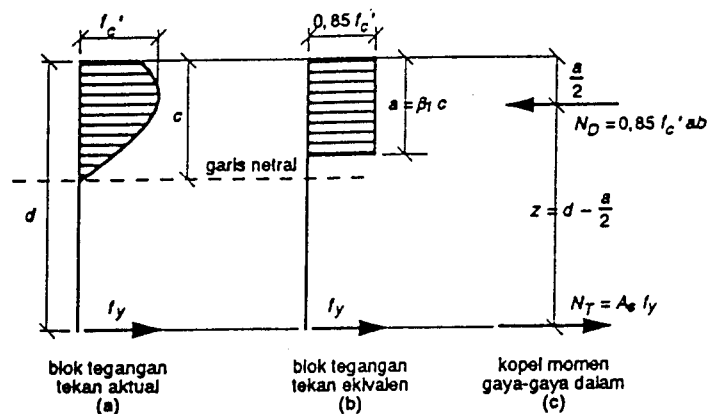
Berdasarkan bentuk empat persegi panjang seperti pada gambar 3.6 intensitas tegangan beton tekan rata-rata ditentukan sebesar $0,85 f_c'$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus :

$$a = \beta_1 c \quad (3.2.1)$$

dimana, c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat tekan beton.

Standar SK SNI T-15-1991-03 menetapkan nilai β_1 diambil $0,85$ untuk $f_c' < 30$ Mpa, berkurang $0,008$ untuk setiap kenaikan 1 Mpa kuat beton, dan nilai tersebut tidak boleh kurang dari $0,65$.



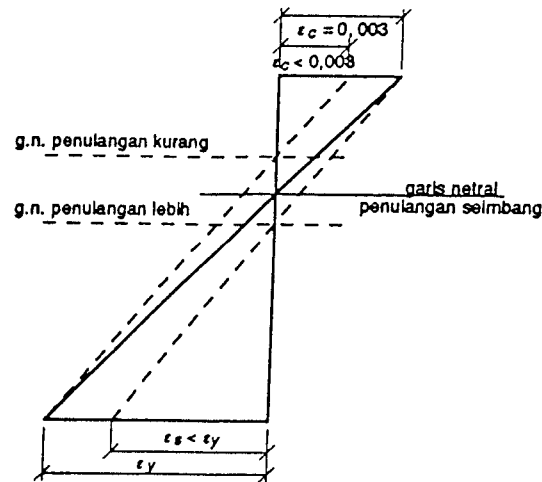
Gambar 3.6 Blok tegangan ekuivalen Whitney

Dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk persegi empat ekuivalen serta anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal M_n dari balok beton bertulang empat persegi dengan penulangan tarik saja.

Untuk letak garis netral tertentu, perbandingan antara regangan baja dengan regangan beton maksimum dapat ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linear. Letak garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang dalam suatu penampang sedemikian sehingga blok tegangan tekan beton mempunyai kedalaman cukup agar tercapai keseimbangan gaya-gaya, dimana resultante tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik ($\Sigma H=0$). Apabila pada penampang tersebut luas tulangan baja tariknya ditambah, kedalaman blok tegangan beton tekan akan bertambah pula, dan letak garis netral akan bergeser ke bawah lagi. Apabila jumlah tulangan tarik sedemikian sehingga letak garis netral pada posisi dimana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh

pada baja tarik dan regangan beton tekan maksimum 0,003, maka penampang disebut bertulangan seimbang.

Apabila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok demikian disebut bertulangan lebih (*over reinforced*). Berlebihnya tulangan baja tarik mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah, lihat gambar 3.7 Pada saat itu beton akan mendahului mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya luluh. Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi, yang berarti regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan berlangsung keruntuhan dengan beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Sedangkan apabila suatu penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang demikian disebut bertulangan kurang (*underreinforced*). Letak garis netral akan lebih naik sedikit dan keadaan seimbang, lihat gambar 3.7, dan tulangan baja tarik akan mendahului mencapai regangan luluhnya (tegangan luluhnya) sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003. Pada keadaan ini, bertambahnya beban akan mengakibatkan tulangan baja memanjang, dan berarti bahwa baik regangan beton maupun baja terus bertambah tetapi gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja tarik tidak bertambah besar.



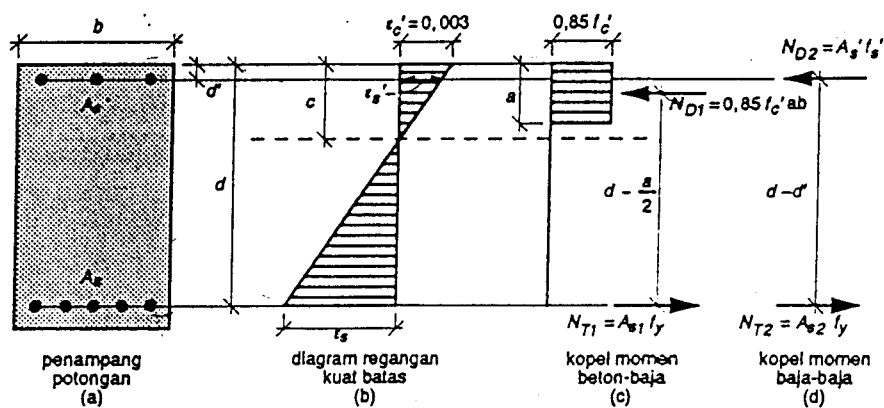
Gambar 3.7 Variasi letak garis netral

Analisis penampang balok terlentur dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri dari : jumlah dan ukuran tulangan baja tarik (A_s), lebar balok (b), tinggi efektif (d), tinggi total (h), f'_c , dan f_y , sedangkan yang dicari adalah kekuatan balok dengan menghitung M_R atau memeriksa kehandalan dimensi penampang balok tertentu terhadap beban yang bekerja, atau menghitung jumlah beban yang dapat dipikul balok.

Anggapan dasar yang digunakan untuk analisis balok beton bertulangan rangkap pada dasarnya sama dengan balok bertulangan tarik saja hanya ada satu tambahan anggapan yang penting ialah bahwa tegangan tulangan baja tekan (f'_s) merupakan fungsi dari regangannya tepat pada titik berat tulangan baja tekan, tulangan baja berperilaku elastik hanya sampai pada tingkat di mana regangannya mencapai luluh (ϵ_y). Dengan kata lain, apabila regangan tekan baja (ϵ_s) sama atau lebih besar dari regangan luluhnya (ϵ_y) maka sebagai batas maksimum tegangan

tekan baja (f_s') diambil sama dengan tegangan luluhnya (f_y), sedangkan apabila regangan tekan baja yang terjadi kurang dan regangan luluhnya maka tegangan tekan $f_s' = \epsilon_s' E_s$ dimana E_s adalah modulus elastis baja. Tercapainya masing-masing keadaan/kondisi tersebut tergantung dari posisi garis netral penampang.

Dengan dua bahan yang berbeda yang akan menahan gaya tekan N_D , beton dan baja tekan. Gaya tekan total terbagi menjadi dua komponen ialah gaya tekan yang ditahan oleh beton N_{D1} dan yang ditahan oleh tulangan baja tekan N_{D2} . Sehingga di dalam analisis momen tahanan dalam total dari balok diperhitungkan terdiri dari dua bagian atau dua komponen momen dalam, yaitu kopel pasangan beton tekan dengan tulangan baja tarik dan pasangan tulangan baja tekan dengan tambahan tulangan baja tarik. Kedua kopel momen dalam seperti tergambar pada gambar 3.8. Kuat tekan balok bertulangan rangkap merupakan penjumlahan kedua kopel momen dengan mengabaikan luas beton tekan yang ditempati oleh tulangan baja tekan.



Gambar 3.8 Analisis balok bertulangan rangkap

Kuat momen dari pasangan kopel tulangan baja tekan dan baja tarik tambahan dihitung sebagai berikut :

$$M_{n2} = N_{T2} z_2 \quad (3.2.2)$$

Dengan menganggap tulangan baja tarik telah meluluh, sehingga $f_s = f_y$:

$$M_{n2} = A_{s2} f_y (d - d') \quad (3.2.3)$$

Keseimbangan gaya-gaya : $\Sigma(H) = 0$, sehingga $N_{D2} = N_{T2}$ maka :

$$A_s' f_s' = A_{s2} f_y \quad (3.2.4)$$

Apabila dianggap tulangan tekan sudah meluluh, sehingga $f_s' = f_y'$:

$$A_s' f_s' = A_{s2} f_y \quad (3.2.5)$$

dimana. $A_s' = A_{s2}$

maka, $M_{n2} = A_s' f_y (d - d')$ (3.2.6)

Sedangkan kuat momen dan pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik dihitung sebagai berikut :

$$M_{n1} = N_{T1} z_1 \quad (3.2.7)$$

Dengan menganggap tulangan tarik telah meluluh, $f_s = f_y$:

$$M_{n1} = A_{s1} f_y (d - 0,5a) \quad (3.2.8)$$

Karena $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ maka : $A_{s1} = A_s - A_{s2}$

dan karena $A_{s2} = A_s'$, maka : $A_{s1} = A_s - A_s'$

dengan demikian,

$$M_{n1} = (A_s - A_s') f_y (d - 0,5a) \quad (3.2.9)$$

Dengan menjumlahkan dua kopel momen tersebut didapatkan kuat momen ideal balok bertulangan rangkap:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = (A_s - A_s') f_y (d - 0,5a) + A_s' f_y (d - d') \quad (3.2.10)$$

Momen tahanan M_R didapatkan dengan mengalikan faktor reduksi kekuat terhadap M_n ,

$$M_R = \phi M_n \quad (3.2.11)$$

Ungkapan tersebut didasarkan pada anggapan bahwa kedua penulangan baik tekan maupun tarik telah meluluh sebelum atau paling tidak pada saat regangan beton mencapai 0,003. Hal tersebut dapat diperiksa dengan menghitung regangan-regangan yang tercapai pada saat terjadi momen batas yang dengan sendirinya tergantung pada letak (posisi) garis netral pada penampang balok.

Letak garis netral dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung tinggi blok tegangan beton tekan.

$$N_T = N_{D1} + N_{D2} \quad (3.2.12)$$

$$\Lambda_s f_y = (0,85 f_c') a b + \Lambda_s' f_y \quad (3.2.13)$$

$$a = \frac{(\Lambda_s - \Lambda_s') f_y}{(0,85 f_c') b} \quad \text{atau} \quad a = \frac{\Lambda_s f_y}{(0,85 f_c') b} \quad (3.2.14)$$

Dengan didapatkannya nilai a , maka letak (posisi) garis netral dapat ditentukan dengan menggunakan rumus $a = \beta_1 c$ dan kemudian dilakukan pemeriksaan terhadap kebenaran-kebenaran anggapan yang digunakan.

Hal tersebut merupakan kasus dimana penulangan baik tekan maupun tarik telah meluluh sebelum atau paling tidak pada saat regangan beton tekan mencapai 0,003.

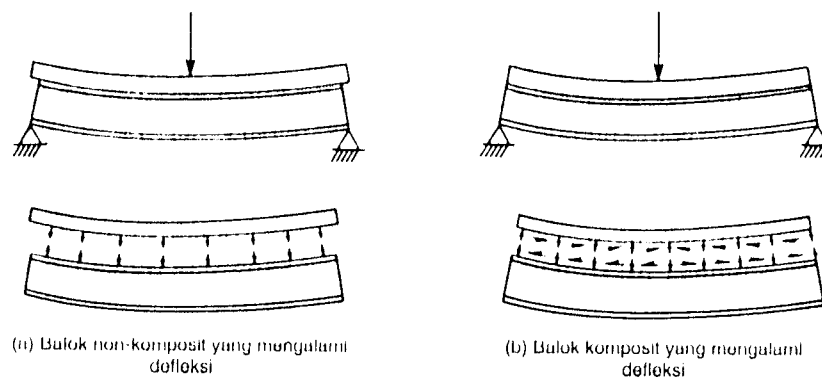
Dengan mengacu pada gambar 3.6 apabila letak garis netral penampang balok relatif tinggi ada kemungkinan pada saat momen ultimit terjadi $\epsilon_s' < \epsilon_y$ (belum luluh) seperti diketahui nilai ϵ_y' berarti f_s' dengan tinggi balok tegangan

tekan a , tergantung pada letak garis netral. Sedangkan dilain pihak suatu penampang harus memenuhi syarat keseimbangan dimana gaya tekan total harus seimbang dengan gaya tarik total. Dengan demikian persamaan keseimbangan dapat disusun untuk menetapkan nilai tepat (yang diperlukan berupa persamaan kuadrat).

3.3 Aksi Komposit

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

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 3.9



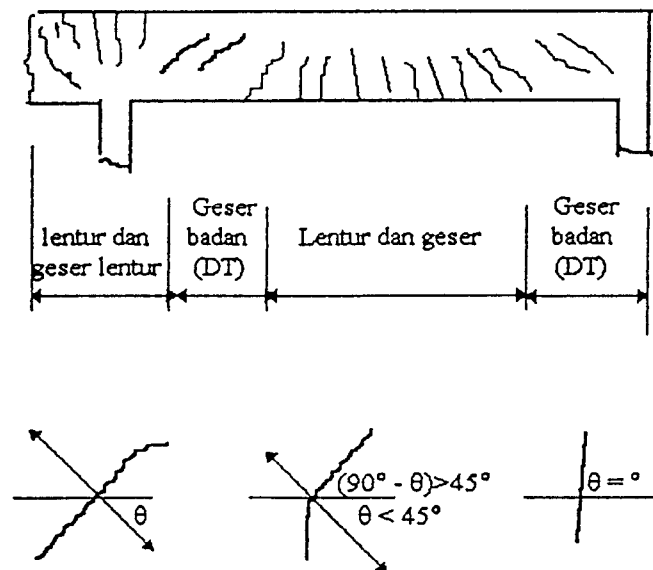
Gambar 3.9 Perbandingan balok yang mengalami defleksi

3.4 Jenis Retak pada Balok

Macam-macam retak balok pada dasarnya di bagi menjadi tiga jenis yaitu :

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mengalami momen yang besar, proses terjadinya lentur dimulai dari tepi balok tarik, terus masuk merambat kedalam balok dengan arah hampir vertikal ($\theta \approx 0$).
2. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada balok sebagai kelanjutan dari retak lentur, merupakan perambatan retak miring yang sudah terjadi sebelumnya.
3. Retak geser badan (*web shear crack*), adalah retak miring yang tanpa didahului oleh lentur, biasanya terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil ($\theta \approx 45^\circ$).

Jenis-jenis retak dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Jenis retak pada balok bertulang

3.5 Alat Penyambung Geser

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.

Dengan menggunakan *Epoxy Sikadur 731* diharapkan aksi komposit beton dan plat baja akan lebih baik, sehingga dapat menghasilkan kuat geser dan kuat lentur yang optimal jika dibandingkan dengan penggunaan *shear connector* baut yang pelaksanaannya dengan pengeboran pada beton sehingga dapat mengurangi kekuatan lentur pada balok.

BAB IV

PELAKSANAAN DAN HASIL PENELITIAN

Penelitian untuk tugas akhir ini mencoba membuktikan besarnya pengaruh perkuatan plat baja terhadap balok beton bertulang pasca bakar pada saat balok menahan lentur. Untuk menghasilkan aksi komposit, maka digunakan *epoxy* 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, dan plat baja. Adapun urutan pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

4.1 Persiapan Bahan dan Alat

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

1. Semen Portland, produk semen Nusantara.
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 Ø-10 mm, Ø-8mm, Ø-6, yang diperoleh dari toko bahan bangunan terdekat.
5. Plat baja strip dengan tebal 3,5 mm, panjang 190 cm dan lebar 5 cm.
6. Papan kayu sebagai bahan untuk membuat cetakan beton.
7. Air dari laboratorium Bahan konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
8. Bahan *epoxy* Sikadur 731, Produk P.T. Sika Nusa Pratama.

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. Molen (mesin pengaduk beton),
8. Skop kecil,
9. Skop besar,
10. Talam agregat,
11. Mesin desak beton,
12. Mesin tarik baja,
13. Dial gauge,
14. Shear tools,
15. Alat pengukur suhu,
16. Tungku bakar,
17. Cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
18. Cetakan beton (bekisting),
19. Kapiler,
20. Sikat kawat,
21. Tang,
22. Spidol, mistar, dan lain-lain.

4.2 Pengujian Tarik Tulangan dan Plat Baja

Pengujian tarik baja tulangan dan plat baja ini bertujuan untuk mengetahui tegangan luluhnya (f_y). Alat yang digunakan adalah mesin tarik baja. Pengujian tarik baja tulangan dan plat baja ini masing-masing menggunakan 3 buah sampel. Hasil pengujian tarik baja dan plat baja dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Hasil pengujian tarik baja tulangan

Tulangan	Luas (mm ²)/ Panjang (cm)	Beban Luluh (P) (Kg)	Beban Maks (P) (Kg)	Beban Patah (P) (Kg)	Tegangan Luluh (fy) (Mpa)	Tegangan Luluh Rata – rata (Mpa)
Ø 9,10	65,006/50	1920	2480	1800	289,66	279,29
Ø 9,00	63,585/50	1740	2480	1780	268,38	
Ø 9,10	65,006/50	1855	2485	1850	279,85	
Ø 7,00	38,465/50	1345	1885	1475	342,95	332,73
Ø 7,00	38,465/50	1220	1595	1430	311,05	
Ø 7,00	38,465/50	1350	1865	1440	344,19	
Ø 5,20	21,2264/50	1240	1240	860	572,9029	565,0782
Ø 5,11	20,8202/50	1240	1240	980	584,0802	
Ø 5,20	21,2264/50	1165	1165	815	538,2515	

Tabel 4.2 Hasil pengujian tarik plat baja

Panjang x Lebar x Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Beban Luluh (Kg)	Beban Maks (Kg)	Beban Patah (Kg)	Tegangan Luluh (fy) (Mpa)
500 x 25 x 3,5	87,5	1360	1970	1560	152,43
500 x 25 x 3,5	87,5	1300	1940	1545	145,70
500 x 25 x 3,5	87,5	1680	1910	1536	188,30
Rata – rata					162,14

4.3 Pemeriksaan Agregat Halus

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

4.3.1 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 :

- a. Pasir dikeringkan dalam oven selama 24 jam,
- b. Timbangan pasir seberat 1000 gram,
- c. Masukkan pasir ke dalam ayakan yang sudah disusun mulai dari yang terbesar hingga yang terkecil,
- d. Pasir diayak dengan mesin ayak selama 15 menit,
- e. Berat yang tertinggal disaringan ditimbang satu-persatu.

Hasil ayakan dari pemeriksaan ini disusun dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3 Distribusi ukuran butiran pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)		Berat Tertinggal (%)		Berat Tertinggal Komulatif (%)	
	I	II	I	II	I	II
4,80	4	8	0,2	0,4	0,20	0,40
2,40	131	124	6,55	6,2	6,75	6,60
1,20	437	435	21,85	21,75	28,60	28,35
0,60	682	699	34,10	34,95	62,70	63,30
0,30	478	479	23,90	23,95	86,60	87,25
0,15	228	222	11,40	11,10	98,00	98,35
Sisa	40	33	2,00	1,65	-	-
Σ	2000	2000	100	100	282,85	284,25
Rata – rata	2000		100		283,55	

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Berat tertinggal komulatif}}{100 \%}$$

$$\text{MHB} = \frac{283,55}{100} = 2,84$$

4.3.2 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 4.4.

Tabel 4.4 Data pengujian berat jenis pasir

Item	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)	680 Cc	675 Cc
Berat Jenis (Bj) $\frac{W}{V2 - V1}$	2,22	2,28
Berat Jenis (BJ) Rata - rata	2,25	

4.4 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).

4.4.1 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,
- c. Split dimasukkan ke dalam tabung secara perlahan-lahan sehingga volume air naik.

Hasil pengujian berat jenis split dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data pengujian berat jenis split

Item	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	

4.4.2 Berat Jenis Kering Tusuk (SSD)

Berat jenis split kering tusuk (SSD) adalah ratio antara massa split dibanding volumenya, dan split dalam keadaan kering permukaan. Split direndam terlebih dahulu ke dalam air selama 24 jam, kemudian airnya dibuang, split dihamparkan 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 4.6.

Tabel 4.6 Data pengujian berat jenis kering tusuk (SSD)

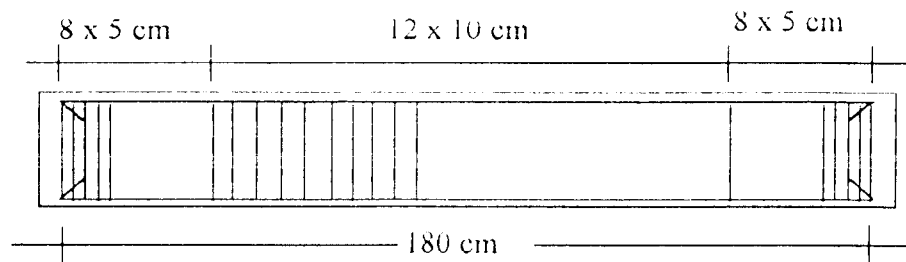
Item	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat Cetakan Silinder(W1)	5,2 Kg	5,2 Kg
Berat Cetakan Silinder + Agregat (W2)	13 Kg	13,10 Kg
Volume Silinder (V) $\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot t$	0,0053 M3	0,0053 Kg
Berat Volume Agregat $\frac{W2 - W1}{V}$	1471,6981	1490,5660
Berat Volume Rata - rata	1418,1320	

4.5 Pembuatan Benda Uji

4.5.1 Pembuatan Cetakan (Bekisting) dan Anyaman Tulangan

Bekisting terbuat dari papan kayu. Cetakan ini dibuat sebanyak 5 (lima) buah dengan ukuran disesuaikan dimensi balok beton yang digunakan sebagai benda uji, yaitu 2 m x 22 cm x 14 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 10 cm pada bagian tengah dan jarak 5 cm pada bagian tepi balok. Penulangan balok dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gb. 4.1 Penempatan tulangan pada balok

4.5.2 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 = 2,84,

3. Berat jenis pasir = 2,25 gr/cc,
4. Ukuran maksimum pasir = 2,0 mm,
5. Berat jenis split = 2,54 gr/cc,
6. Berat jenis split (SSD)= 1418,1320 kg/mm.

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

4.5.3 Campuran Adukan Beton

Sebelum diadakan pencampuran, terlebih dahulu semen, pasir, split, dan air ditimbang dalam perbandingan berat. Proporsi bahan untuk 1m³ beton dalam perbandingan berat berturut-turut adalah 1 : 1,67 : 2,27 : 0,51.

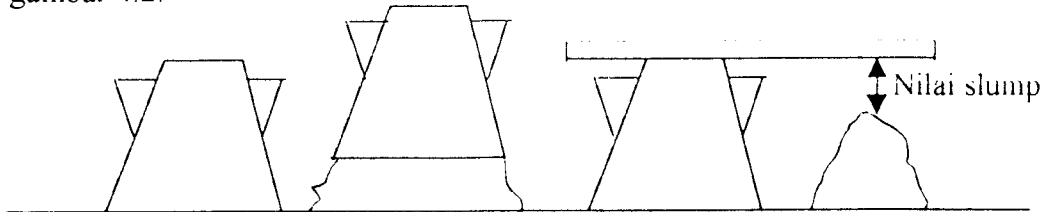
Mula-mula semen, pasir dan split dimasukan ke dalam alat pengaduk beton dan dicampur sampai merata, kemudian air dimasukan sedikit demi sedikit dan pengadukan terus dilakukan sehingga semua bahan tercampur secara merata.

4.5.4 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 dilakukan untuk mendapatkan nilai slump antara 75 mm – 150 mm sesuai dengan metode ACI. Penentuan nilai slump seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Penentuan nilai slump

4.5.5 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 dan 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 betomnya. Anyaman tulangan diletakkan di atasnya, kemudian cetakan diisi lagi sampai penuh, kemudian dipadatkan dengan tongkat besi dan ratakan.

4.5.6 Perawatan Beton

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

4.5.7 Pembakaran Balok Beton Bertulang

Pembakaran balok beton bertulang dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Mula-mula balok beton dimasukkan ke dalam tungku bakar, kemudian tungku ditutup dengan batu bata sehingga tungku dalam keadaan tertutup rapat agar diperoleh suhu yang dikehendaki. Setelah itu pembakaran dengan bahan kayu bakar dimulai sampai api benar-benar merata dan diperoleh suhu yang diharapkan. Untuk memperoleh suhu yang dikehendaki digunakan alat pengatur suhu.

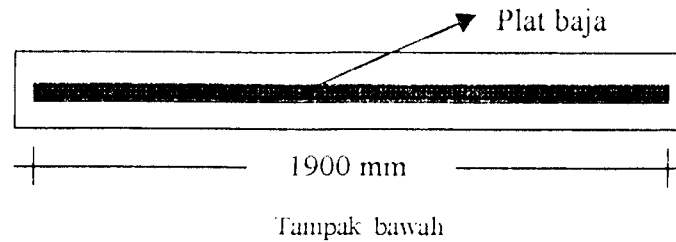
Setelah pembakaran selesai dilaksanakan sesuai dengan lama waktu yang dikehendaki, api dipadamkan dan didiamkan selama kurang lebih satu hari agar balok beton dingin, kemudian balok beton dikeluarkan dari tungku bakar.

4.5.8 Pemasangan Plat Baja

Pemasangan plat baja dilakukan setelah beton dibakar. Sebelumnya dilakukan persiapan, seperti sikat kawat, plat baja, bahan pelekat. Langkah-langkah pemasangan plat baja adalah sebagai berikut :

1. Pada sisi bawah balok beton dibersihkan dengan menggunakan sikat kawat agar permukaan bersih dari kotoran debu, minyak, dan lemak. Setelah permukaan beton di bersihkan lalu dilap dengan lap bersih,
2. Plat baja dan balok beton pada masing-masing permukaannya diberi *epoxy* Sikadur 731 yang terdiri dari 2 komponen yaitu komponen A dan komponen B yang berwarna hitam keabu-abuan dengan perbandingan 2:1 dan di campur merata secara manual, kemudian keduanya disatukan memanjang sejajar sisi bawah balok beton, dan dilakukan penekanan sepanjang plat baja,

3. Setelah *epoxy* mengeras kita lakukan pengujian, untuk mendapatkan hasil yang baik pengerasan dibiarkan selama 14 hari, Penempatan plat pada balok dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Penempatan plat pada balok

4.6 Pelaksanaan Pengujian

4.6.1 Pengujian Desak Beton

Tujuan dilakukan uji desak silinder beton adalah untuk mengetahui mutu beton yang sesungguhnya dan sampel benda uji. Benda uji ini berjumlah 5 buah. Sebelum silinder beton diuji desak, terlebih dahulu dicatat volume dan beratnya. Dan pembagian berat dengan volume silinder didapat berat jenis beton. Berat jenis beton rata-rata adalah $2324,5519 \text{ Kg/m}^3$. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji desak silinder beton

No	Ø (cm)	Tinggi (cm)	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Gaya (KN)	Tegangan (Mpa)
1	14,71	33,60	12,787	169,6306	445	26,2334
2	14,80	32,00	12,870	171,9464	480	27,9156
3	14,78	32,50	12,872	171,4820	550	32,0733
4	14,71	33,10	12,753	169,8615	515	30,3137
5	14,70	32,00	12,831	169,6306	465	27,4125
						28,7907

$$f'_c = f'_{cr} - 1,64 \text{ sd}$$

$$f'_c = 28,7907 - 1,64 \cdot 5,5 = 19,80 \text{ Mpa}$$

4.6.2 Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan setelah beton dan benda uji telah mencapai umur 28 hari. Benda uji yang berupa balok diletakkan di atas dua tumpuan yang berjarak 180 cm. Kemudian tepat ditengah-tengah bentang dibuat pengantar beban menjadi dua titik dengan jarak 60 cm. Pengantar beban terbuat dari profil baja sebagai pengaku dan tepat antara jarak 60 cm diletakkan baja tulangan polos dengan dilaskan pada profil baja. Keseluruhan berat dari pengantar beban ini 47,58 kg. Jadi setiap angka yang terbaca pada jarum penunjuk beban harus ditambah 47,58 kg.

Pengamatan lendutan pada saat dilakukan pengujian lentur dilakukan dengan alat "dial guage" dengan ketelitian 10^{-1} mm yang dipasang tepat ditengah-tengah bentang balok benda uji dan pada jarak 40 cm dari tengah bentang tersebut, sehingga dial berjumlah 3 buah. 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 9 orang yang masing-masing mempunyai tugas sendiri-sendiri, yaitu satu orang sebagai pengatur kerja mesin penunjuk beban, satu orang pembaca jarum penunjuk beban, 3 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 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian lentur balok

No	Benda Uji	LULUH		MAKSIMUM	
		Beban (Kg)	Lendutan (10-2 mm)	Beban (Kg)	Lendutan (10-2 mm)
1	I	3165	1425	3250	1880
2	II.1	2725	1132	3000	2109
3	II.2	2900	1564	3000	1970
4	III.1	5675	1513	5750	1870
5	III.2	5450	1012	5500	1870

Hasil lendutan yang terbaca pada alat "Dial Gauge" pada saat pengujian lentur dapat dilihat pada tabel 4.9 untuk benda uji I, tabel 4.10 untuk benda Uji II dan tabel 4.11 untuk benda uji III.

Tabel 4.9 Hasil lendutan benda uji I (balok tanpa dibakar)

Benda Uji I

Beban P (Kg)	Lendutan (0.01 mm)	Interval (0.01 mm)
250	40	-
500	80	40
750	120	80
1000	155	35
1250	228	73
1500	309	81
1750	429	120
2000	558	139
2250	660	92
2500	884	224
2750	1149	265
3000	1356	207
3250	1880	524

Tabel 4.10 Hasil Lendutan benda uji II (balok pasca bakar)

Benda uji II.1

Beban P (Kg)	Lendutan (0.01 mm)	Interval (0.01 mm)
250	5	-
500	40	35
750	60	20
1000	170	110
1250	240	70
1500	320	80
1750	490	170
2000	610	120
2250	732	122
2500	896	164
2750	1380	484
3000	1970	590

Benda uji II.2

Beban P (Kg)	Lendutan (0.01 mm)	Interval (0.01 mm)
250	0	-
500	67	67
750	144	77
1000	196	52
1250	262	66
1500	350	88
1750	406	56
2000	478	72
2250	565	87
2500	782	217
2750	1415	633
3000	2109	694

Tabel 4.11 Hasil lendutan benda uji III
(Balok pasca bakar dengan dilapisi plat baja)

Benda uji III.1

Beban P (Kg)	Lendutan (0.01 mm)	Interval (0.01 mm)
250	30	-
500	49	19
750	80	31
1000	170	90
1250	228	58
1500	250	22
1750	263	13
2000	320	57
2250	340	20
2500	368	28
2750	394	26
3000	418	24
3250	448	30
3500	472	24
3750	496	24
4000	523	27
4250	555	32
4500	586	31
4750	649	63
5000	712	63
5250	783	71
5500	821	38
5750	1870	1049

Benda uji III.2

Beban P (Kg)	Lendutan (0.01 mm)	Interval (0.01 mm)
250	18	-
500	51	33
750	88	37
1000	122	34
1250	165	43
1500	195	30
1750	220	25
2000	248	28
2250	275	27
2500	300	25
2750	420	120
3000	450	30
3250	480	30
3500	512	32
3750	540	28
4000	575	35
4250	610	35
4500	700	90
4750	810	110
5000	919	109
5250	1070	156
5500	1910	840

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

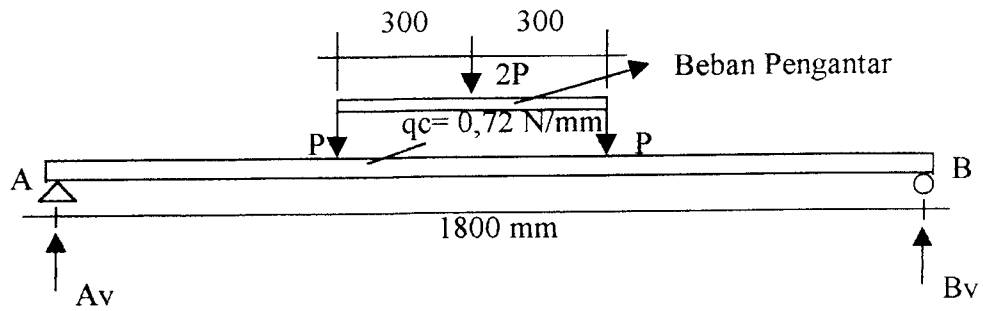
Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium didapat data-data yang diperlukan untuk menganalisis balok lentur non komposit dan balok komposit beton bertulang + plat baja. Data-data hasil pengujian yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Kuat desak beton rata-rata (f_c) = 19,8 Mpa
- Kuat desak beton pasca bakar (f_c) = 15,4 Mpa
- Berat jenis beton rata-rata (B_j) = 2324,5519 kg/m³
- Tegangan luluh baja tulangan \varnothing_{10} rata-rata (f_y) = 279,29 Mpa
- Tegangan luluh baja tulangan \varnothing_8 rata-rata (f_y) = 332,73 Mpa
- Tegangan luluh plat baja rata-rata (f_{yp}) = 162,14 Mpa

5.1. Analisis Beban Terpusat (P)

5.1.1. 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.



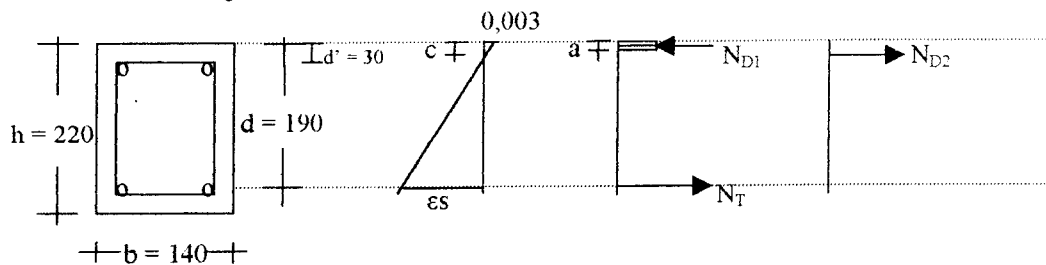
Gambar 5.1 Pembebanan pada Pengujian Lentur

Tabel 5.1 Beban P Luluh Rata-rata Hasil Pengujian Lentur

Benda Uji	Beban Alat (Kg)	Beban Pengantar	Beban Puncak (2P) (Kg)	Beban P (Kg)
	A	B	A+B	(A+B)/2
I	3165	47,58	3212,58	1560,79
II	2812,5	47,58	2860,08	1430,04
III	5600	47,58	5647,58	2823,79

5.1.2 Berdasarkan Teori Kapasitas Batas

1. Benda Uji I



Gambar 5.2 Diagram Penampang Benda Uji I

$$f'_c = 19,8 \text{ Mpa} \quad A_s = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$f_{y1} = 279,29 \text{ Mpa} \quad A_{s'} = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$f_{y2} = 332,73 \text{ Mpa} \quad d' = 30 \text{ mm}$$

Misal tulangan sudah luluh semuanya (tekan dan tarik), maka $f_{s'} = f_y$ dan $f_s = f_y$.

Dengan demikian,

$$A_{s2} = A_{s'}, \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}, \quad A_{s1} = A_s - A_{s'} = 157,08 - 100,53 = 56,55 \text{ mm}^2$$

$$N_{D1} = N_{D2}$$

$$a = \frac{(A_s \times f_y)}{(0,85 f_c') b} = \frac{56,55 \times 332,73}{0,85 \times 19,8 \times 140} = 7,9856 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1 = 7,9856 / 0,85 = 9,4 \text{ mm}$$

Check :

$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s' = \frac{7,9856 - 30}{7,9856} \times 0,003 = -0,0082 < 0,00166 \text{ (belum luluh)}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{190 - 7,9856}{7,9856} \times 0,003 = 0,0680 > 0,00166 \text{ (luluh)}$$

Anggapan awal salah sehingga :

$$A_s f_y = (0,85 f_c') b \beta_1 c + 0,003 ((c - d')/c) E_s A_s'$$

Apabila persamaan tersebut dikalikan c akan di dapat :

$$A_s f_y c = (0,85 f_c') b \beta_1 c^2 + c 0,003 E_s A_s' - d' (0,003) E_s A_s'$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (0,003 E_s A_s' - A_s f_y) c - d' (0,003) E_s A_s' = 0$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0$$

$$2002,77 c^2 + 16447,13 c - 1809540 = 0$$

$$c = 26,23 \text{ mm,}$$

$$f_s' = ((c - d')/c) 600 = ((26,23 - 30)/26,23) 600 = -85,26 \text{ Mpa} < 332,73 \text{ Mpa}$$

$$a = \beta_1 c = 0,85 \times 26,23 = 22,29 \text{ mm}$$

$$N_{D1} = 0,85 f_c' a b = 0,85 \times 19,8 \times 22,29 \times 140 = 52519 \text{ N} = 52,40 \text{ KN}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' = 100,53 \times (-85,26) = (-8532) \text{ N} = -8,53 \text{ KN}$$



$$N_D = 43,87 \text{ KN}$$

$$N_T = A_s f_y = 157,08 \times 279,29 = 43,87 \text{ KN}$$

$$N_D = N_T$$

$$M_{n1} = N_{D1} (d - (\frac{1}{2}) a) = 52,4 (240 - 0,5 \times 22,29) (10)^{-3} = 11,9 \text{ KNm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') = (- 8,53) (240 - 30) (10)^{-3} = -1,7 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 11,9 - 1,7 = 10,2 \text{ KNm}$$

Perkiraan beban pada balok :

$$Q = 0,14 \times 0,22 \times 2324,5519 = 0,72 \text{ KN/mm}$$

$$A_v = P + (1/2) \times Q \times 1,8 = P + (1/2) \times 0,72 \times 1,8$$

$$= P + 0,648 \text{ (KN)}$$

$$M_{ext} = (P + 0,648) \times (1/2) \times 1,8 - (1/8) \times 0,72 \times 1,8^2 - 0,3 P$$

$$= 0,6 P + 0,2916 \text{ KNm}$$

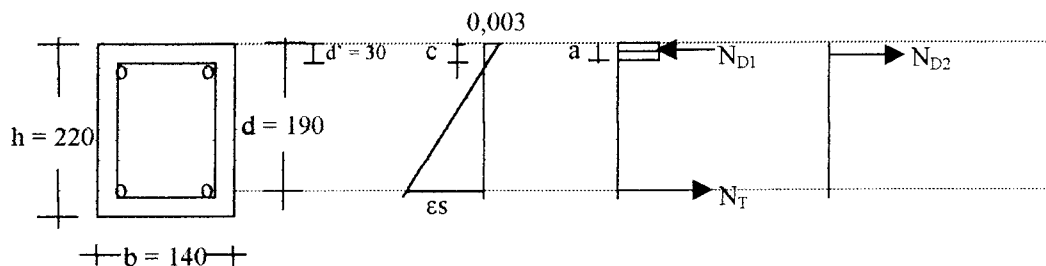
$$10,2 = 0,6 P + 0,2916$$

$$P = 16,5 \text{ KN}$$

$$2P = 33 \text{ KN}$$

$$= 3365,04 \text{ Kg} > 3212,58 \text{ Kg}$$

2. Benda Uji II



Gambar 5.3 Diagram Penampang Benda Uji II

$$f'_c = 15,40 \text{ Mpa}$$

$$A_s = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$f_{y1} = 279,29 \text{ Mpa}$$

$$A_{s'} = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$f_{y2} = 332,73 \text{ Mpa}$$

Misal tulangan sudah luluh semuanya (tekan dan tarik), maka $f_s' = f_y$ dan $f_s = f_y$.

Dengan demikian,

$$A_{s2} = A_s', \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}, \quad A_{s1} = A_s - A_s' = 157,08 - 100,53 = 56,55 \text{ mm}^2$$

$$N_T = N_D$$

$$a = \frac{(A_{s1} \times f_y)}{(0,85 f_c') b} = \frac{56,55 \times 332,73}{0,85 \times 15,4 \times 140} = 10,27 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1 = 10,27 / 0,85 = 12,08 \text{ mm}$$

Check :

$$\varepsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s' = \frac{12,08 - 30}{12,08} \times 0,003 = -0,0044 < 0,00166 \text{ (belum luluh)}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\varepsilon_s = \frac{190 - 12,08}{12,08} \times 0,003 = 0,0440 > 0,00166 \text{ (luluh)}$$

Anggapan awal salah sehingga :

$$A_s f_y = (0,85 f_c') b \beta_1 c + 0,003 ((c - d')/c) E_s A_s'$$

Apabila persamaan tersebut dikalikan c akan di dapat :

$$A_s f_y c = (0,85 f_c') b \beta_1 c^2 + c 0,003 E_s A_s' - d' (0,003) E_s A_s'$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (0,003 E_s A_s' - A_s f_y) c - d' (0,003) E_s A_s' = 0$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - A_s f_y) c - 600 d' A_s' = 0$$

$$1557,71 c^2 + 16447,13 c - 1809540 = 0$$

$$c = 29,21 \text{ mm}$$

$$f_s' = ((c - d')/c) 600 = ((29,21 - 30)/29,21) 600 = -16,23 \text{ Mpa} < 332,73 \text{ Mpa}$$

$$a = \beta_1 c = 0,85 \times 29,21 = 24,83 \text{ mm}$$

$$N_{D1} = 0,85 f_c' ab = 0,85 \times 15,40 \times 24,83 \times 140 = 45503 \text{ N} = 45,5 \text{ KN}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' = 100,53 \times (-16,23) = -1631 \text{ N} = -1,63 \text{ KN}$$

$$N_D = 43,87 \text{ KN}$$

$$N_T = A_s f_y = 157,08 \times 279,29 = 43,87 \text{ KN}$$

$$N_D = N_T$$

$$M_{n1} = N_{D1} (d - (1/2) a) = 45,5 (240 - 0,5 \times 24,83) (10)^{-3} = 10,35 \text{ KNm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') = -1,63 (240 - 30) (10)^{-3} = -0,34 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 10,35 - 0,34 = 10,01 \text{ KNm}$$

Perkiraan beban pada balok :

$$Q = 0,14 \times 0,22 \times 2324,5519 = 0,72 \text{ KN/mm}$$

$$A_v = P + (1/2) \times Q \times 1,8 = P + (1/2) \times 0,72 \times 1,8$$

$$= P + 0,648 \text{ (KN)}$$

$$M_{ext} = (P + 0,648) \times (1/2) \times 1,8 - (1/8) \times 0,72 \times 1,8^2 - 0,3 P$$

$$= 0,6 P + 0,2916 \text{ KNm}$$

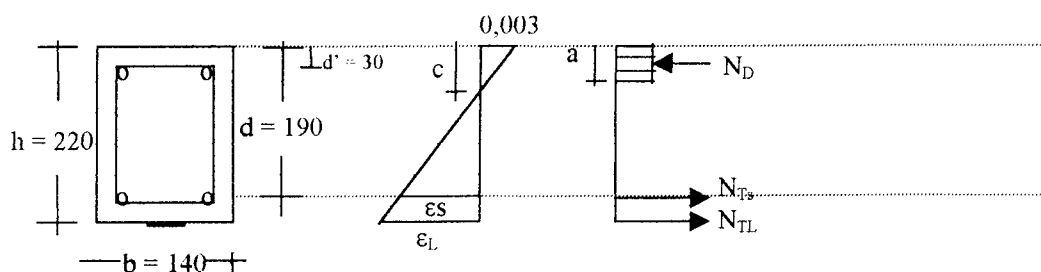
$$10,01 = 0,6 P + 0,2916$$

$$P = 16,19 \text{ KN}$$

$$2P = 32,39 \text{ KN}$$

$$= 3303,31 \text{ Kg} > 2860,08 \text{ Kg}$$

3. Benda Uji III



Gambar 5.4 Diagram Penampang Benda Uji

$$\begin{aligned}
 f'c &= 15,40 \text{ Mpa} & f_{yp} &= 162,14 \text{ Mpa} & A_p &= 175 \text{ mm}^2 \\
 f_{y1} &= 279,29 \text{ Mpa} & A_s &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 f_{y2} &= 332,73 \text{ Mpa} & A_s' &= 100,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Misal tulangan sudah luluh semuanya (tekan dan tarik), maka $f_s' = f_y$ dan $f_s = f_y$.

Dengan demikian,

$$A_{s2} = A_s', \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}, \quad A_{s1} = A_s - A_s' = 157,08 - 100,53 = 56,55 \text{ mm}^2$$

$$N_T = N_D$$

$$a = \frac{(A_{s1} \times f_y)}{(0,85 f_c') b} = \frac{56,55 \times 332,73}{0,85 \times 15,4 \times 140} = 10,27 \text{ mm}$$

$$c = a / \beta_1 = 10,27 / 0,85 = 12,08 \text{ mm}$$

Check :

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 = \frac{12,08 - 30}{12,08} \times 0,003 = -0,0044 < 0,00166 \text{ (belum luluh)}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{190 - 12,08}{12,08} \times 0,003 = 0,0440 > 0,00166 \text{ (luluh)}$$

$$\epsilon_s = \frac{h - c}{c} \times 0,003 = \frac{220 - 12,08}{12,08} \times 0,003 = 0,0510 > 0,00166 \text{ (luluh)}$$

Anggapan awal salah sehingga :

$$(A_s f_y) + (A_p f_{yp}) = (0,85 f_c') b \beta_1 c + 0,003 ((c - d')/c) E_s A_s'$$

Apabila persamaan tersebut dikalikan c akan di dapat :

$$(A_s f_y) + (A_p f_{yp}) c = (0,85 f_c') b \beta_1 c^2 + c 0,003 E_s A_s' - d' (0,003) E_s A_s'$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (0,003 E_s A_s' - ((A_s f_y) + (A_p f_{yp}))) c - d' (0,003) E_s A_s' = 0$$

$$(0,85 f_c' b \beta_1) c^2 + (600 A_s' - ((A_s f_y) + (A_p f_{yp}))) c - 600 d' A_s' = 0$$

$$1557,71 c^2 - 11927,37 c - 1809540 = 0$$

$$c = 38,13 \text{ mm}$$

$$f_s' = ((c - d')/c) 600 = ((38,13 - 30)/38,13) 600 = 127,93 \text{ Mpa} < 332,73 \text{ Mpa}$$

$$a = \beta_1 c = 0,85 \times 38,13 = 32,41 \text{ mm}$$

$$N_{D1} = 0,85 f_c' ab = 0,85 \times 15,40 \times 32,41 \times 140 = 59395 \text{ N} = 59,40 \text{ KN}$$

$$N_{D2} = A_s' f_s' = 100,53 \times 127,93 = 12837 \text{ N} = 12,84 \text{ KN}$$

$$N_D = 72,24 \text{ KN}$$

$$N_T = A_s f_y + A_p f_{yp} = 157,08 \times 279,29 + 175 \times 162,14 = 72,24 \text{ KN}$$

$$N_D = N_T$$

$$M_{n1} = N_{D1} (d - (1/2) a) = 59,40 (240 - 0,5 \times 32,41) (10)^{-3} = 13,30 \text{ KNm}$$

$$M_{n2} = N_{D2} (d - d') = 12,84 (240 - 30) (10)^{-3} = 2,7 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = 13,3 + 2,7 = 16 \text{ KNm}$$

Perkiraan beban pada balok :

$$Q = 0,14 \times 0,22 \times 2324,5519 = 0,72 \text{ KN/mm}$$

$$A_v = P + (1/2) \times Q \times 1,8 = P \times (1/2) \times 0,72 \times 1,8$$

$$= P + 0,648 \text{ (KN)}$$

$$M_{ext} = (P + 0,648) \times (1/2) \times 1,8 - (1/8) \times 0,72 \times 1,8^2 \times 0,3 P$$

$$= 0,6 P + 0,2916 \text{ KNm}$$

$$16 = 0,6 P + 0,2916$$

$$P = 26,18 \text{ KN}$$

$$2P = 52,36 \text{ KN}$$

$$= 5339,33 \text{ Kg} < 5647,58 \text{ Kg}$$

5.2. Pembahasan

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

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.

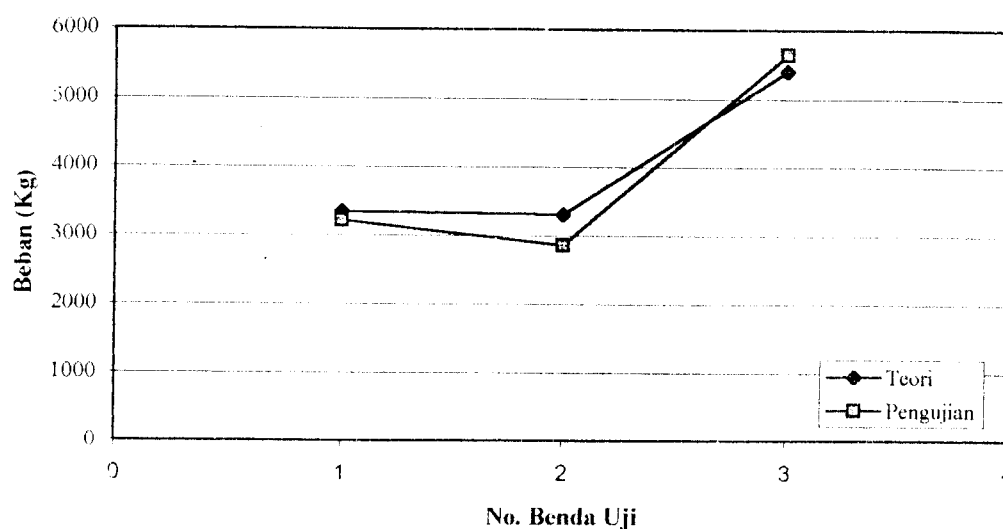
Berdasarkan pengujian lentur pada balok, pembakaran balok beton mengurangi kapasitas beban luluh pada balok dan penambahan plat yang terletak pada sisi bawah balok beton dapat meningkatkan kapasitas beban P luluh pada balok. Benda uji I yang tidak menggunakan plat dan tidak di bakar, dapat menerima beban P luluh sebesar 3212,58 kg. Benda uji II yaitu balok beton dibakar kapasitas beban P luluhnya rata-rata sebesar 2860,08 atau mengalami penurunan sebesar 10,97 % dibanding benda uji I. Hasil pengujian lentur benda uji III (balok bakar yang menggunakan plat lebar 5 cm dengan tebal 3,5 mm), kapasitas beban luluh P luluh rata-rata sebesar 5647,58 kg atau meningkat sebesar 97,46 % dari benda uji II tersebut dan meningkat 75,8 % dari benda uji I. Jika dibandingkan antara benda uji II terhadap benda uji III, ternyata akan terlihat sekali bahwa penggunaan plat baja dapat meningkatkan kapasitas beban P luluh pada balok.

Agar lebih jelasnya kapasitas beban berdasarkan teori dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perbandingan Kapasitas Beban P luluh antara Hasil Teoritis dengan Pengujian

Benda Uji	Berdasarkan Teori	Berdasarkan Hasil Pengujian (Kg)	Selisih Pembebanan Benda Uji I dan II			
			Teori		Pengujian	
			Kg	%	Kg	%
I	3365,04	3212,58	-	-	-	-
II	3303,31	2860,08	61,73	1,83	352,5	10,97

Benda Uji	Berdasarkan Teori	Berdasarkan Hasil Pengujian (Kg)	Selisih Pembebanan Benda Uji II dan III			
			Teori		Pengujian	
			Kg	%	Kg	%
II	3303,31	2860,08	-	-	-	-
III	5339,33	5647,58	2036,02	61,64	2787,5	97,46



Gambar 5.5 Grafik Penurunan dan Peningkatan Beban P luluh

Dari gambar 5.5 di atas dapat dilihat dengan jelas, bahwa kapasitas beban P luluh hasil pengujian benda uji I dan II lebih kecil dibandingkan dengan teori

sedangkan hasil pengujian benda uji III lebih besar dibandingkan hasil teori. Beban P luluh pada benda uji I berdasarkan hasil pengujian sebesar 3212,58 kg lebih kecil dibanding hasil teoritis sebesar 3365,04 kg atau terjadi selisih sebesar 4,7 %. Benda uji II berdasarkan hasil pengujian sebesar 2860,08 kg lebih kecil dibanding hasil teoritis sebesar 3303,31 kg atau terjadi selisih sebesar 13,4 %. Sedangkan benda uji III berdasarkan hasil pengujian sebesar 5647,58 kg lebih besar dibanding hasil teoritis sebesar 5339,33 atau terjadi selisih sebesar 5,8 %.

Berdasarkan teori maupun hasil pengujian memperlihatkan adanya peningkatan beban dari benda uji II ke benda uji III karena benda uji III diberi perkuatan plat baja dan pada benda uji II terjadi penurunan dibandingkan dengan benda uji I disebabkan benda uji II mengalami penurunan kuat tekan beton karena pembakaran. Dari pengamatan ini dapat dianggap bahwa peningkatan beban benda uji III sudah optimal karena target telah tercapai. Hal ini disebabkan *epoxy Sikadur 731* yang berfungsi sebagai "*shear connector*" dapat bekerja secara optimal.

5.2.2. 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:

$$1/360 \cdot L = 1/360 \cdot 1800 = 5 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil pengamatan lendutan, lendutan rata-rata pada benda uji I saat beban luluh adalah 14,25 mm. Untuk benda uji II, lendutan rata-rata saat P luluh sebesar 13,48 mm dan pada benda uji III sebesar 12,62 mm. Dari data tersebut

terlihat, bahwa untuk semua benda uji, dimana pada saat P luluh, lendutan yang terjadi lebih besar dan yang disyaratkan sebesar 5,0 mm. Pada penggunaan plat disamping bertambahnya beban saat P luluh, juga bertambahnya lendutan.

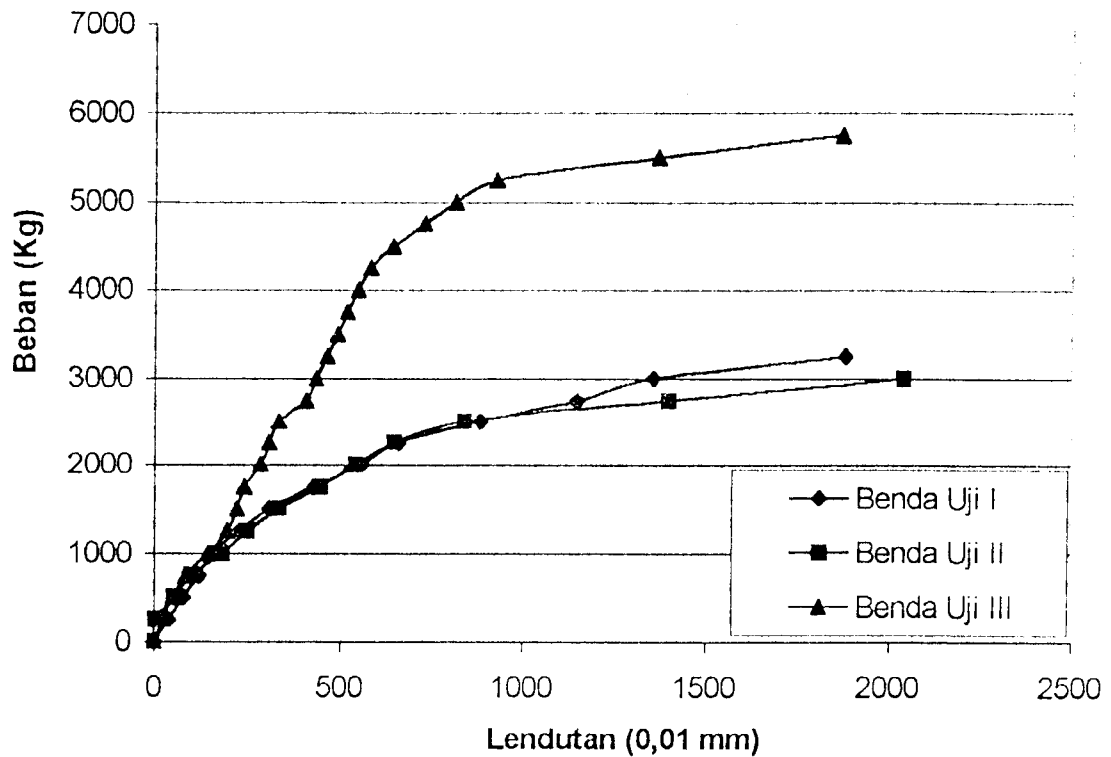
Bila P luluh rata-rata pada benda uji II sebesar 2860,08 kg menghasilkan lendutan rata-rata sebesar 13,48 mm, maka pada beban yang sama untuk benda uji III dengan cara interpolasi linier pada tabel 5.3 menghasilkan lendutan rata-rata sebesar 3,92 mm lebih kecil dari benda uji II. Dari sini dapat diketahui, bahwa dengan menambah plat pada balok dapat mengurangi lendutan atau defleksi.

Hubungan antara beban dan lendutan rata-rata masing-masing benda uji dapat dilihat pada tabel 5.3 dan gambar 5.6.

Tabel 5.3 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	40	5	24
500	80	54	50
750	120	102	84
1000	155	183	146
1250	228	251	197
1500	309	335	223
1750	429	448	242
2000	558	544	284
2250	660	649	308
2500	884	839	334
2750	1149	1398	407
3000	1356	2040	434
3250	1880		464
3500			492
3750			518
4000			549
4250			583
4500			643

4750			730
5000			816
5250			927
5500			1367
5750			1870



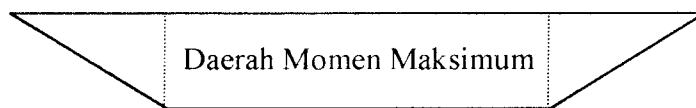
**Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Beban dan Lendutan Rata-rata
Masing-masing Benda Uji**

Dari gambar 5.6 di atas menunjukkan bahwa hubungan antara beban dan lendutan untuk benda uji I dan benda uji II mempunyai nilai daktilitasnya hampir sama, sedangkan benda uji III mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji I dan benda uji II, hal ini dipengaruhi oleh kekuatan plat bajanya.

Batas beban elastis pada benda uji I dan benda uji II sebesar 2500 kg sedangkan batas beban elastis pada benda uji III sebesar 5250 kg, atau mengalami peningkatan batas beban elastis sebesar 110% dibandingkan dengan benda uji I dan benda uji II.

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 5.7.



Gambar 5.7 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 penambahan 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

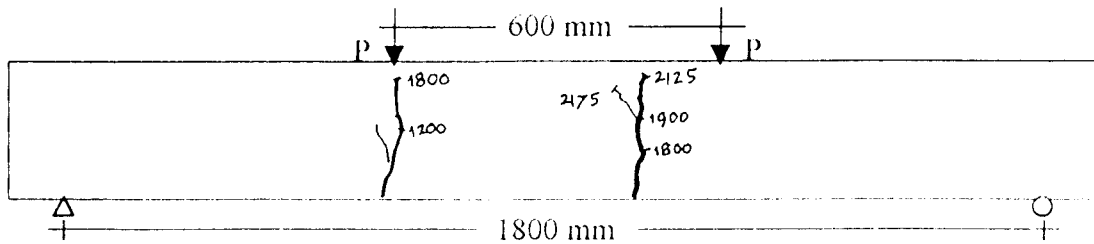
setelah tulangan luluh tegangan pada tulangan masih terus meningkat, ini dapat diketahui pada waktu pengujian tarik baja.

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 1200 kg dan Untuk benda uji II.1 sebesar 1450 kg dan benda uji II.2 sebesar 1300 kg Sedangkan untuk benda uji III.1 sebesar 4875 kg dan untuk benda uji III.2 sebesar 3350 kg. Dari hasil tersebut dapat diamati, bahwa untuk benda uji I beban retak pertama lebih kecil dari benda uji II dan 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. Pola retak pada semua benda uji tersebut dinamakan pola retak lentur, dan kelanjutannya akan

mengalami retak geser lentur.

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

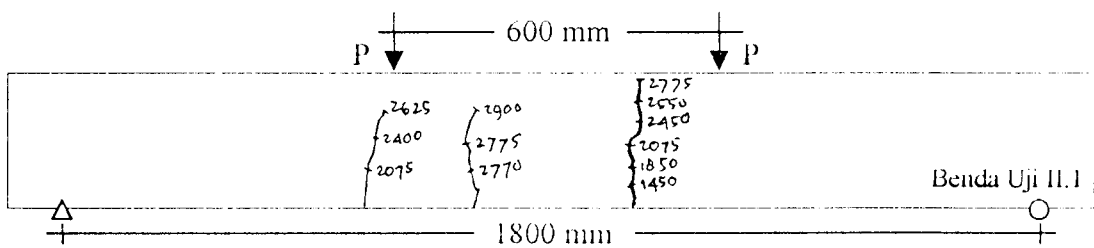


Beban retak pertama = 1200 kg

Beban luluh = 3212,58 kg

Beban maksimal = 3297,58

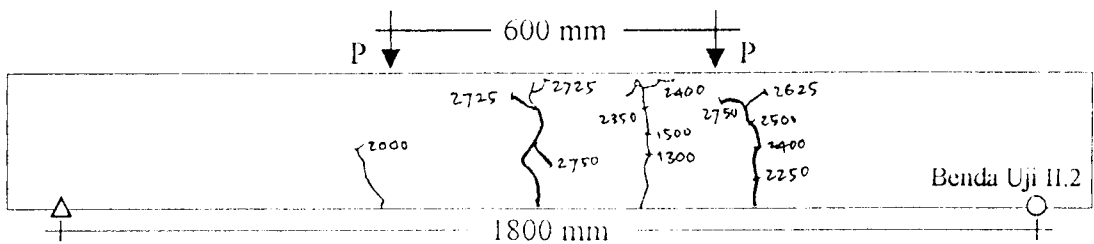
Gambar 5.8 Pola Retak Benda Uji I



Beban retak pertama = 1450 kg

Beban luluh = 2772,58 kg

Beban maksimal = 3047,58 kg

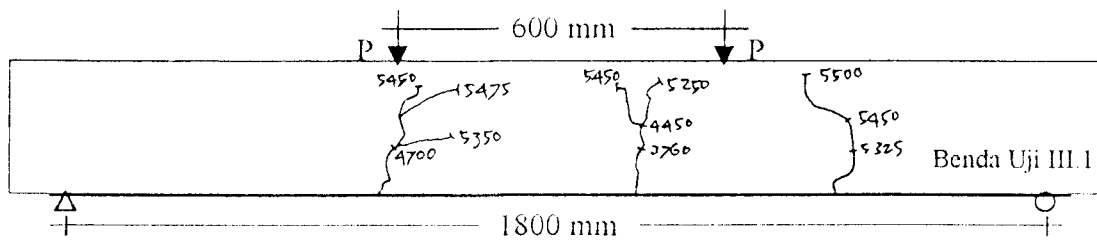


Beban retak pertama = 1300 kg

Beban luluh = 2947,58 kg

Beban maksimal = 3047,58 kg

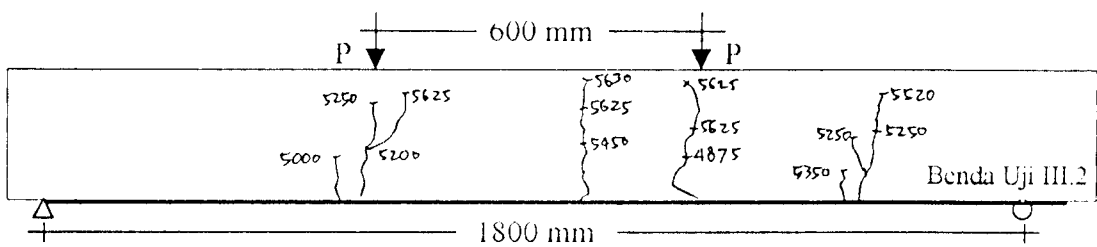
Gambar 5.9 Pola Retak Benda Uji II



Beban retak pertama = 4875 kg

Beban luluh = 5722,58 kg

Beban maksimal = 5797,58 kg



Beban retak pertama = 3350 kg

Beban luluh = 5572,58 kg

Beban maksimal = 5797,58 kg

Gambar 5.10 Pola Retak Benda Uji III

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Balok beton bertulang setelah dibakar (benda uji II) mengalami penurunan kapasitas beban luluh sebesar 10,97 % dibandingkan dengan balok beton bertulang yang tidak dibakar (benda uji I), sedangkan balok beton bertulang setelah dibakar kemudian diberi perkuatan plat baja yang dilekatkan sikadur 731 (benda uji III) mengalami peningkatan sebesar 97,46 % di bandingkan dengan benda uji II, dan mengalami peningkatan sebesar 75,80 % dibandingkan dengan benda uji I.
2. Bila dibandingkan dengan hasil teoritis, beban yang dihasilkan berdasarkan pengujian pada benda uji I, II, lebih kecil sedang benda uji III lebih besar. Benda uji I berdasarkan hasil teoritis dan hasil pengujian terjadi selisih sebesar 4,7 %. Benda uji II berdasarkan hasil teoritis dan hasil pengujian terjadi selisih sebesar 13,4 %. Dan untuk benda uji III beban yang dihasilkan berdasarkan teori dan hasil pengujian terjadi selisih sebesar 5,8 %.
3. Bila diambil beban yang sama (P luluh benda uji yang tidak menggunakan perkuatan plat baja) penggunaan perkuatan plat baja, lendutannya lebih

kecil dibandingkan dengan yang tidak menggunakan plat baja.

4. Retak-retak yang telah mencapai daerah tekan dengan arah hampir vertikal dapat diidentifikasi sebagai retak lentur.
5. Perlekatan *epoxy* sikadur 731 sebagai fungsi "*shear connector*" di daerah geser dapat bekerja dengan baik, ini dapat diketahui pada pengujian saat beban maksimal, perlekatan plat baja pada balok dapat bekerja secara optimal, kecuali pada daerah retak yang cukup besar, perlekatan mengalami sedikit pergeseran.

6.2 Saran-saran

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

1. Dalam pelaksanaan penelitian perlu diperhatikan penggunaan bahan penyusun beton dan pekerjaan pembuatan beton sehingga hasilnya dapat sesuai dengan yang diharapkan.
2. Perencanaan pembuatan beton dengan diameter tulangan yang lebih besar.
3. Perlu diadakan pengujian kuat desak beton silinder pasca bakar dan pengujian tarik baja tulangan pasca bakar.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan meningkatkan suhu pembakaran dan variasi ketebalan plat bajanya.

DAFTAR PUSTAKA

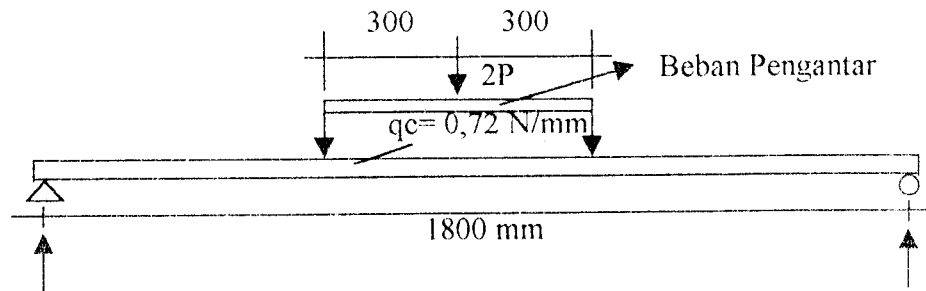
- Charles G. Salmon & Johnson, **STRUKTUR BAJA Desain dan Perilaku, Jilid I**, Terjemahan : Ir. Wira, MSCE, Erlangga, Jakarta, 1990
- Charles G. Salmon & Johnson, **STRUKTUR BAJA Desain dan Perilaku, Jilid II**, Terjemahan : Ir. Wira, MSCE, Erlangga, Jakarta, 1986
- Djoko wahyono, F, 1997, **TESIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KUAT TEKAN DAN KARAKTERISTIK DINAMIK BETON**, Pasca Sarjana Jurusan Teknik Sipil, UGM.
- Edward G. Nawi, **BETON BERTULANG Suatu Pendekatan Dasar**, PT Eresco Bandung, 1990
- Gajanan M. Sabnis, Ph.D., P.E, *HAND BOOK OF COMPOSITE CONSTRUCTION ENGENERING*, Van Norstrand reinmold Company, 1979
- Istimawan Dipohusodo, **SRUKTUR BETON BERTULANG Berdasarkan SKSNI-SNI T-15-1991-03**, Departemen Pekerjaan Umum RI, PT Gramedia Pustaka Utama, jakarta, 1994
- Jurnal of Composite for Konstruktion, *OPTIMIZING STRUCTURAL RESPONSE OF BEAMS STRENGTHENED WITH GFRP PLATE*, 1998
- Johanna Sihombing, **TUGAS AKHIR PERKUATAN STRUKTUR BETON PASCA BAKAR DENGAN CARBON FIBRE STRIPS**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, 1999
- Kardiyono Tjockrodimulyo, **MEKANIKA BAHAN**, IIMTS. UGM, 1992
- Neville, A.M., *PROPERTIES OF CONCRETE*, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London
- Setya Prayitno dan Amrizal, **PENGUJIAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN PLAT BAJA + "SHEAR CONNECTOR"**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, 1999
- Teguh, Yuan – Yu Hsien, **TEORI DASAR STRUKTUR**, Erlangga, Jakarta, 1985
- TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN**, Standar Konsep – Standar Normalisasi Indonesia (SK-SNI) T-15-1991-03, Departeman Pekerjaan Umum, Yayasan LPMB, 1991
- Teguh M., 1997, **EFEK PANAS API TERHADAP KEKUATAN BALOK BETON BERTULANG TERTUMPU SEDERHANA**, Seminar Regional Kiprah Teknik Sipil dan Teknik Arsitektur dalam Menyongsong Era Penjagatan, Yogyakarta

LAMPIRAN

PERENCANAAN BENDA UJI BALOK

Benda uji balok terdiri dan tiga macam, yaitu benda uji I merupakan balok tanpa dibakar, benda uji II adalah balok pasca bakar dan benda uji III adalah balok pasca bakar dengan perkuatan plat. Untuk semua benda struktur balok beton bertulang adalah sama. Sebagai perencanaan dipakai benda uji III, karena dapat diketahui dengan perkuatan plat, 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 :



$$f_c = 20 \text{ Mpa} \quad A_s = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$f_{y1} = 240 \text{ Mpa} \quad A_{s'} = 100,53 \text{ mm}^2$$

$$f_{y2} = 240 \text{ Mpa} \quad f_{y3} = 240 \text{ Mpa}$$

Misal tulangan sudah luluh semuanya (tekan dan tarik), maka :

$$N_T = N_D$$

$$(0,85 \times f_c \times b \times a) + (A_{s'} \times f_y) = (A_s \times f_y) + (A_p \times f_y)$$

$$(0,85 \times 20 \times 140 \times a) + (100,53 \times 240) = (157,08 \times 240) + (175 \times 240)$$

$$2380a + 24127,2 = 79699,2$$

$$a = 23,35 \text{ mm}$$

$$c = 27,47 \text{ mm}$$

Check :

$$\epsilon_s = \frac{c - d'}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{27,47 - 20}{27,47} \times 0,003 = 0,00082 < 0,00140 \text{ (belum luluh)}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{190 - 27,47}{27,47} \times 0,003 = 0,0177 > 0,00166 \text{ (luluh)}$$

$$\epsilon_s = \frac{h - c}{c} \times 0,003$$

$$\epsilon_s = \frac{220 - 27,47}{27,47} \times 0,003 = 0,021 > 0,0081 \text{ (luluh)}$$

Mencari garis netral

$$(0,85 \times 20 \times 140 \times c) + (100,53 \times ((c - 20)/c) \times 0,003 \times 115814,2857) = (157,08 \times 240) + (175 \times 240)$$

$$c = 28,04 \text{ mm}$$

$$a = 23,83 \text{ mm}$$

$$M_n = ((157,08 \times 240) + (175 \times 240)) \times (220 - 0,5 \times 23,83)$$

$$= 16584208,03 \text{ Nmm} = 16,58 \text{ KNm}$$

Perkiraan beban pada balok :

$$M_n = 16,58 \text{ KNm}$$

$$Q = 0,14 \times 0,22 \times 2400 = 0,74 \text{ KN/mm}$$

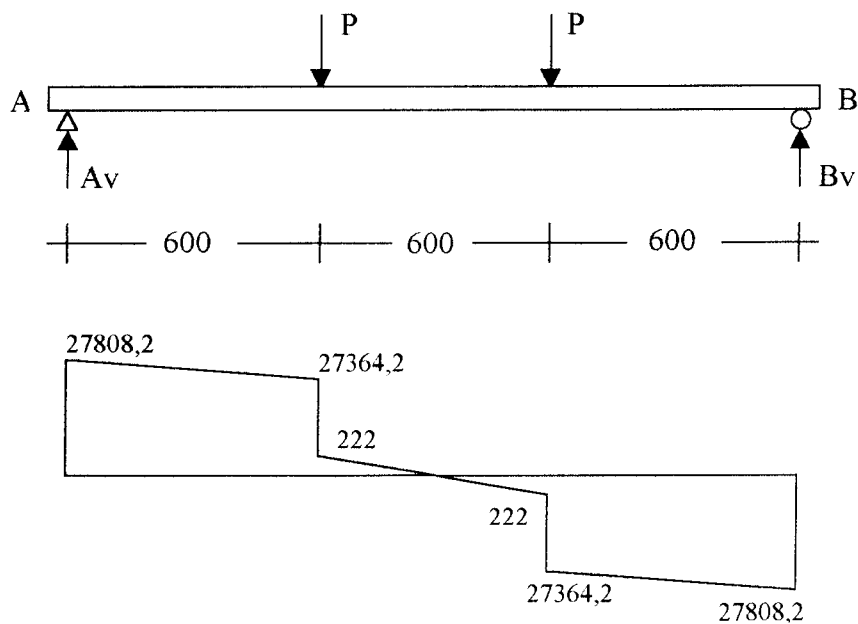
$$\begin{aligned} A_v &= P + (1/2) \times Q \times 1,8 = P \times (1/2) \times 0,74 \times 1,8 \\ &= P + 0,666 \text{ (KN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ext} &= (P + 0,666) \times (1/2) \times 1,8 - (1/8) \times 0,74 \times 1,8^2 - 0,3 P \\ &= 0,6 P + 0,2947 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$16,58 = 0,6 P + 0,2947 \Rightarrow P = 27,1422 \text{ KN}$$

$$2P = 54,2844 \text{ KN} = 5535,43 \text{ Kg}$$

Penulangan geser



$$V_u = 27142,2 + 666 = 27808,2 \text{ N}$$

$$V_c = (1/6 \times \sqrt{f'_c}) \times b \times d \text{ (SKSNI T-15-1991-03, ayat 3.4.3, butir 1)}$$

$$= (1/6 \times \sqrt{20}) \times 140 \times 190 = 19,8265 \text{ KN}$$

$$V_u > \Phi V_c \text{ (SKSNI T-15-1991-03, ayat 3.4.1, butir 1)}$$

$$\Phi = 0,6 \text{ (SKSNI T-15-1991-03, ayat 3.2.3, butir 2.3)}$$

$$= 0,6 \times 19,8265 = 11,8959 \text{ KN}$$

$$V_s = (V_u / \Phi) - V_c$$

$$= 27,8082 / 0,6 - 19,8265 = 26,5205 \text{ KN}$$

$$O_s = 6 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times A_s = 2 \times (1/4 \times \pi \times 6^2) = 56,52 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{56,52 \times 240 \times 190 \times 10^{-3}}{26,5205} = 97,18 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang 100 mm

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 (kepaparan air, korosif, dan sebagainya).
3. Memenuhi kekuatan yang hendak dicapai. Dalam pengerjaan beton dimana angka perbandingan anisotropi bahan susunnya didapatkan dan 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 Puzzolana, berupa semen hidraulik yang berfungsi sebagai bahan perekat dan 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 (SiO₂), serta aluminium oksida (Al₂O₃). Semen portland yang dipakai harus memenuhi syarat SII.0013-81 dan peraturan umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI) 1982, sedangkan semen portland Puzzolan 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 menisak 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 agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus umumnya terdiri dari pasir atau partikel-partikel yang lewat saringan 0,4-0,5 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 ayakan. 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.

$$f'_{cr} = f'_c + m$$

keterangan: f'_{cr} = kuat tekan rata-rata, Mpa.

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan, Mpa

$m = 1,64 \cdot s_d$ = nilai margin, Mpa.

S_d = nilai deviasi standar

Tabel B.1 Nilai Deviasi Standar (kg/cm^3)

Pekerjaan (M^3)		Mutu Pelaksanaan		
		Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil	< 1000	45 < s < 55	55 < s < 65	75 < s < 85
Sedang	1000 – 3000	34 < s < 45	45 < s < 55	65 < s < 75
Besar	> 3000	25 < s < 35	35 < s < 45	55 < s < 65

Direncanakan $f'_c = 20$ Mpa

$S_d = 5,5$ (dan tabel B.1)

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

2. 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

Faktoe 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 korosif	0,6
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	0,6
b. Terlindung dari matahari dan hujan langsung	0,6
3. Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. Mendapat pengaruh sifat 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, $f'_{cr} = 29,02$ Mpa. Berada diantara $f'_{cr} = 28$ Mpa dengan $fas = 0,53$ dan $f'_{cr} = 35$ Mpa dengan $fas = 0,44$. Maka dengan interpolasi linier didapat :

$$\frac{0,53 - 0,44}{x - 0,44} = \frac{28 - 35}{29,02 - 35}$$

$$x = 0,51$$

sedangkan berdasarkan kondisi lingkungan (tabel B.3) di dapat nilai $fas = 0,63$ maka nilai fas diambil yang terkecil dari kedua tinjauan tersebut, yaitu $fas = 0,51$.

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

Tabel B.4 Nilai Slump (cm)

Pemakaian beton	Maks	Min
1. Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2. Pondasi telapak tidak bertulang, coison dan struktur di bawah 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.4 Nilai Slump (cm)

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 = 20 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 ukuran agregat maksimum = 20 mm, maka dari tabel B.6 di dapat kebutuhan air = 203 lt dan udara yang terperangkap = 2 %.

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

Slump	Ukuran Agregat Maksimum (mm)		
	10	20	40
25 s/d 50	206	182	162
75 s/d 100	226	203	177
150 s/d 175	240	212	288
Udara Terperangkap	3 %	2 %	1 %

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

$$\begin{aligned} \text{Berat semen} &= \frac{\text{Jumlah air}}{\text{Fas}} \\ &= \frac{203}{0,51} = 398,04 \\ \text{Volume semen} &= \frac{\text{Berat Pc}}{\text{Berat Jenis Pc}} \\ &= \frac{398,04}{3,15 \times 10^3} = 0,1264 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

6. Tetapkan volume agregat kasar yang di perlukan per satuan volume beton, berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai modulus kehalusan agregat (Lihat tabel B.7).

Ukuran Maksimum agegat	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 :

Berat split = volume split x berat jenis (ssd)

$$= 0,61 \times 1481 = 903,41 \text{ kg}$$

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

$$= \frac{0,90341}{2,54} = 0,3557 \text{ m}^3$$

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 :

$$\text{Volume tanpa pasir} = \text{volume air} + \text{volume semen} + \text{volume split} + \text{udara terperangkap}$$

$$= 0,203 + 0,1264 + 0,3553 + 0,02$$

$$= 0,7047 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pasir} = 1 - (\text{volume tanpa pasir})$$

$$= 1 - 0,7047$$

$$= 0,2953 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat pasir} = \text{volume pasir} \times \text{Bj. Pasir}$$

$$= 0,2953 \times 2,25$$

$$= 0,6644 \text{ t}$$

$$= 664,4 \text{ kg}$$

8. Proporsi bahan untuk 1 m^3 beton, dari perhitungan perancangan adukan beton untuk mutu beton $f'c = 20 \text{ Mpa}$. Menurut metode ACI ini masing-masing bahan yang diperlukan untuk pembuatan 1 m^3 adalah sebagai berikut :

□ Semen = 398,04 kg

□ Pasir = 664,4 kg

□ Spilt = 903,41 kg

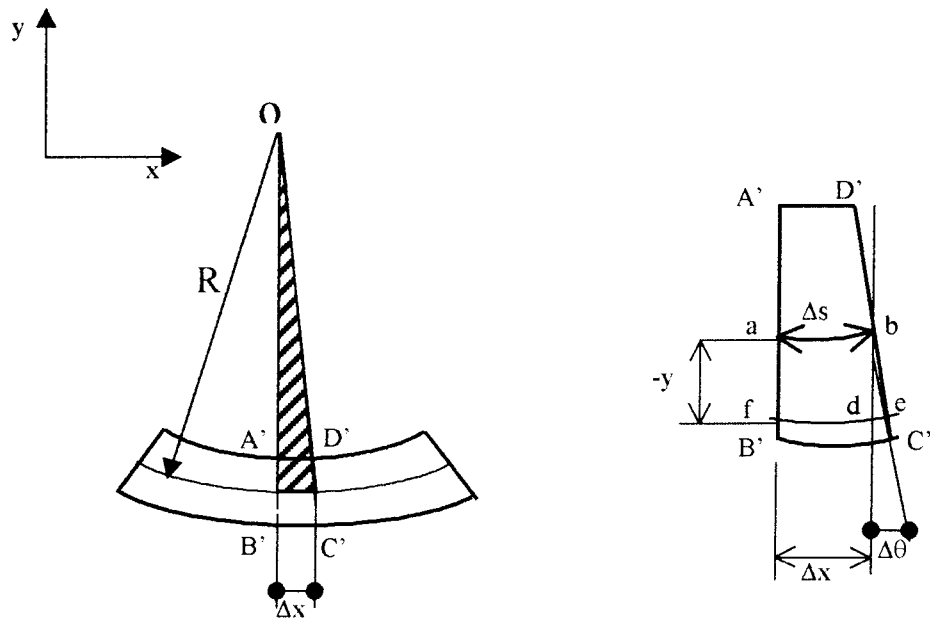
□ Air = 203 lt

Perbandingan bahan-bahan penyusun beton : 1 : 1,67 : 2,27 : 0,51

A. Momen Lentur

1. Persamaan Diferensial Untuk Defleksi Balok

Menurut E.P. Popov (1995), teori defleksi balok dipengaruhi oleh geometri atau kinematika dari sebuah elemen balok. Kinematika dasar yang menghipotesa bahwa irisan-irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap merupakan bidang datar selama berdeformasi.



Gamabar 1 Deformasi segmen balok dalam lenturan

$$\lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{R} = k = \varphi \dots\dots\dots(1)$$

Hubungan dasar antara kurva elastis dan regangan linier, didapat

$$\varphi = 1/R = k = -\varepsilon/y \dots\dots\dots(2)$$

karena sifat beban tidak di perhitungkan, maka hubungan ini digunakan untuk masalah-masalah elastis maupun tidak.

$$\varepsilon = \varepsilon_x = \sigma_x/E \quad \text{dan} \quad \sigma_x = -My/I$$

sehingga $1/R = M/EI$ (3)

dalam koordinat kartesian kurva kelengkungan didefinisikan

$$\frac{1}{R} = \frac{d^2y}{dx^2} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{-3/2} \dots\dots\dots(4)$$

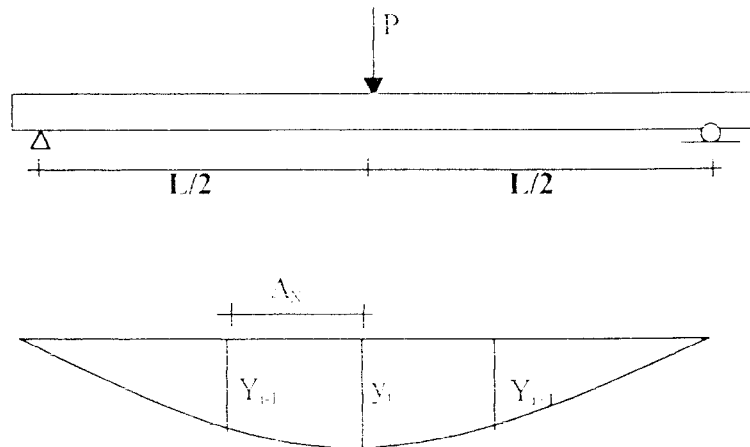
karena kemiringan dy/dx dari kurva elastis adalah sangat kecil, maka

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \approx 0$$

sehingga persamaan (3.27) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{1}{R} = \frac{d^2y}{dx^2} = \phi \dots\dots\dots(5)$$

Dari pengujian kuat lentur didapat defleksi pada titik-titik distrik. Pendekatan kemiringan menggunakan metode *Central Differences*.



Gambar 2 momen kelengkungan

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{\Delta x} \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{l+1} - 2 y_l + y_{l-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$\phi = \frac{y_{l+1} - 2 y_l + y_{l-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(8)$$

Mengacu kepada gambar 2 didapat momen (M)

$$M = 1.6 PL^2 \dots\dots\dots(9)$$

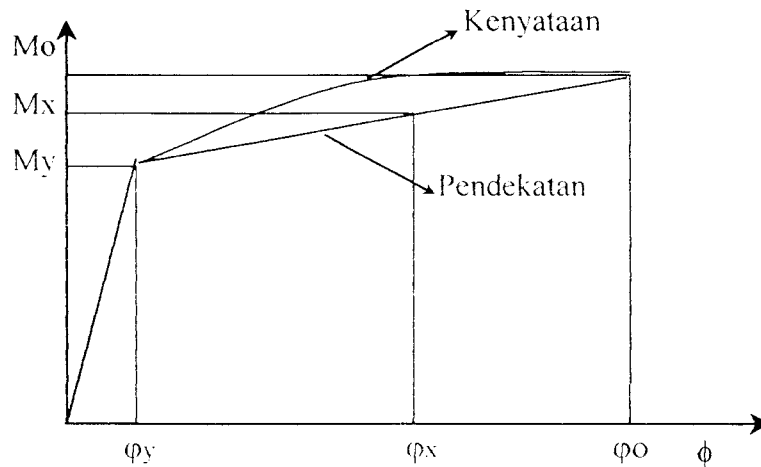
Sehingga dapat disimpulkan besar EI dengan rumus :

$$EI = M/\phi \dots\dots\dots(10)$$

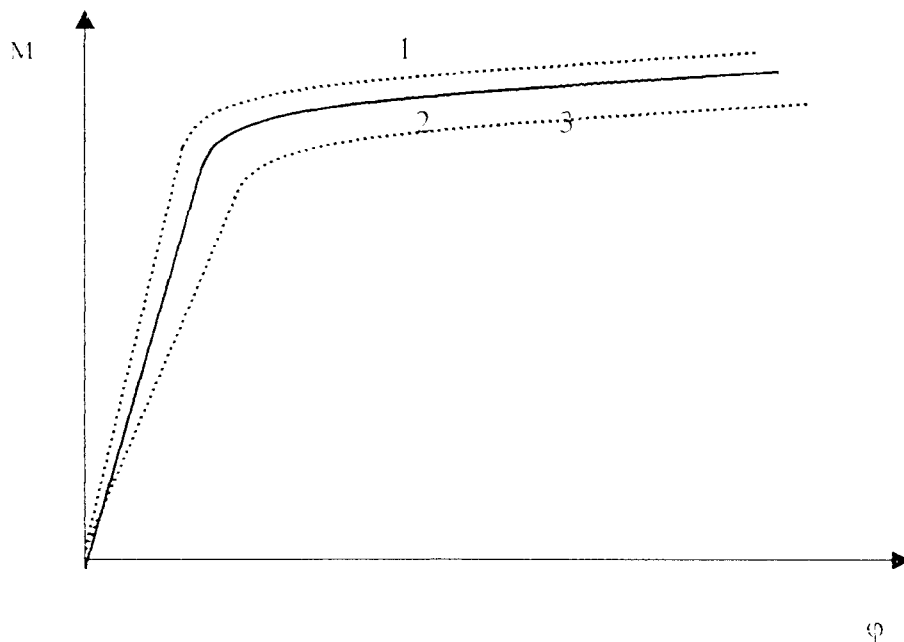
$$M = EI \phi \dots\dots\dots(11)$$

$$M = EI dy^2/dx^2 \dots\dots\dots(12)$$

Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (ϕ) ditunjukkan pada gambar 3 (Roufaiel dan meyer, 1983).



Gambar 3 Grafik momen kelengkungan

Hubungan M dan ϕ balok betonGambar 4 Hubungan M dan balok beton ϕ

Keterangan gambar :

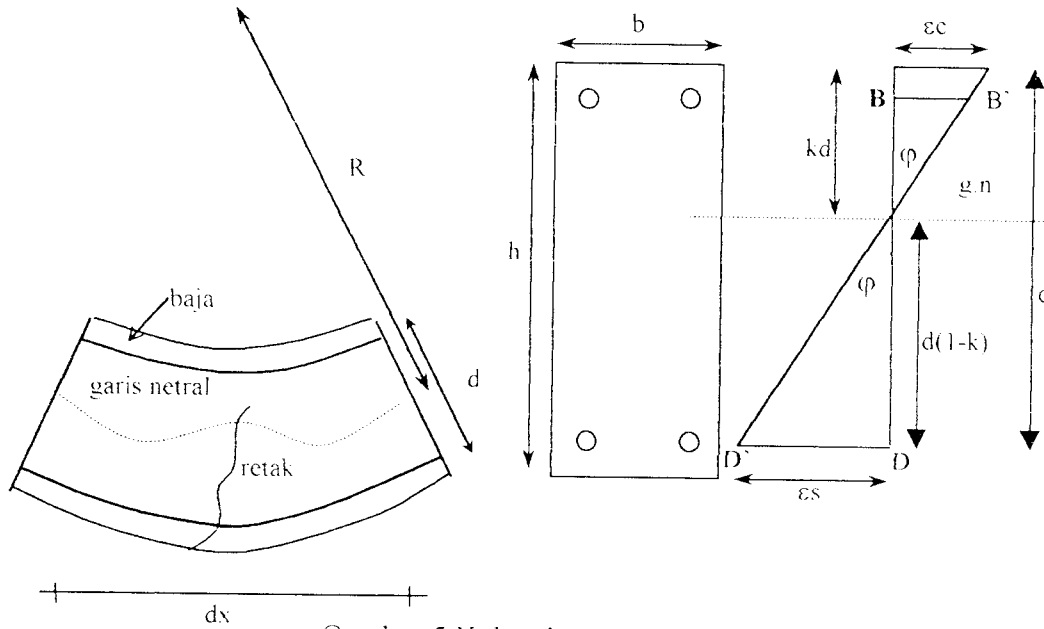
1. Balok benda uji I.
2. Balok benda uji II
3. Balok benda uji III

2. Teori Momen dan Kelengkungan

a. Kelengkungan balok

Menurut Park dan Pauley, 1975, kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya axial yang sama seperti gambar 4. Jari-jari kelengkungan R diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat

terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan (R), tinggi netral (kd), regangan beton (ϵ_c) dan regangan baja tarik (ϵ_s).



Gambar 5 Kelengkungan Balok

Menganggap sebuah elemen kecil dengan panjang dx dari balok dan menggunakan notasi seperti pada gambar 3.7. maka rotasi diantara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh :

$$\frac{dx}{R} = \frac{\epsilon_c dx}{kd} = \frac{\epsilon_s dx}{d(1-k)}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)}$$

$$\varphi = \frac{1}{R}$$

maka :

$$\varphi = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\epsilon_c + \epsilon_s}{d} \dots \dots \dots (13)$$

dengan : ϕ = kelengkungan

ε_c = regangan beton

ε_s = regangan baja

d = tinggi efektif penampang

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan ϕ adalah gradien dari regangan dari elemen seperti dalam gambar 5 kelengkungan akan benar-benar berubah sepanjang bentang balok karena naik-turunnya garis netral dan regangan-regangan diantara retak-retak. Jika panjang elemen adalah kecil dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan persamaan 13 untuk penampang ijin yang diperoleh dari hubungan momen-kelengkungan. Dua grafik yang diperoleh dari penghitungan balok bertulangan sebelah adalah lurus/linear diawal dan hubungan antara Momen dan kelengkungan diberikan oleh persamaan :

$$EI = MR = \frac{M}{\phi} \dots\dots\dots(14)$$

dengan EI adalah faktor kekakuan dari penampang. Dengan meningkatnya momen, retak pada beton mengurangi faktor kekakuan di penampang. Perilaku dari penampang setelah retak tergantung dari jumlah tulangan pokok. Balok bertulangan sedikit menghasilkan sebuah kurva linear M- ϕ diatas titik leleh baja. Ketika baja leleh, peningkatan yang besar terjadi didalam kelengkungan pada momen hampir konstan.

Hubungan M- ϕ yang ideal adalah ditunjukkan pada grafik tri-linear. Garis awal pertama adalah retak awal, garis kedua adalah tegangan leleh baja dan ketiga adalah regangan ultimit dari beton. Untuk balok beton bertulang dibawah beban

layan hubungan M- ϕ dari beban 0 sampai leleh baja kedua garis hampir linear sehingga sering juga ditampilkan grafik hubungan M- ϕ dalam bentuk bi-linear.

b. Leleh dan Ultimit Momen – Kelengkungan

Gambar 5 menunjukkan kasus umum dari sebuah penampang persegi bertulangan ganda pada leleh pertama dari tegangan baja dan regangan ultimit beton. Kelengkungan pada leleh pertama dari baja ϕ_y mungkin dicari dengan persamaan 13 dalam istilah dari regangan baja saat leleh.

Persamaan Momen-Kelengkungan pada saat leleh pertama dicari dengan persamaan :

$$k = [(\rho + \rho')^2 n^2 + 2(\rho + \frac{\rho' d'}{d}) n]^{1/2} - (\rho + \rho') \dots \dots \dots (15)$$

$$M_y = A_s \times f_y \times jd \dots \dots \dots (16)$$

$$\phi_y = \frac{\frac{f_y}{E_s}}{d(1-k)} \dots \dots \dots (17)$$

Dengan : k = faktor tinggi garis netral

M_y = Momen leleh pertama

ϕ_y = Kelengkungan leleh pertama

A_s = Luas tulangan tarik

A_s' = Luas tulangan tekan

d = tinggi efektif penampang

d' = jarak dari serat tekan ketitik berat baja tekan

E_c = Modulus elastis beton

E_s = Modulus elastis baja

f_y = Tegangan leleh baja

$j d$ = lengan dari titik berat dari baja tekan dan beton ketitik berat tulangan tarik.

$n = E_c / E_s$, $\rho = A_s / b d$, $\rho' = A_s' / b d$

Pada beton yang menggunakan agregat campuran antara kerikil dengan pecahan genteng, semakin banyak penggunaan pecahan genteng dalam campuran beton maka akan didapatkan nilai f'_c yang semakin kecil sehingga apabila :

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Maka apabila f'_c besar didapatkan nilai E_c yang semakin besar, dan akan didapatkan nilai n yang semakin kecil. Dengan nilai n yang kecil maka nilai k akan menjadi kecil dan nilai ϕ_y akan semakin kecil.

Kelengkungan ultimit dan momen dari penampang bertulangan rangkap (lihat Gambar 5) dicari dengan persamaan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots \dots \dots (18)$$

$$M_u = 0,85 \cdot f'_c \times a b \times \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + A_s' \times f_y (d - d'') \dots \dots \dots (19)$$

$$\phi_k = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_c \beta_1}{a} \dots \dots \dots (20)$$

Regangan baja yang tekan yang ditunjukkan pada gambar 5 dicari dengan persamaan :

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) = \epsilon_c \left(1 - \left(\frac{\beta_1 \times d'}{a} \right) \right) \dots \dots \dots (21)$$

Dengan substitusi persamaan 18 ke persamaan 21 menunjukkan bahwa gaya tekan akan leleh ketika :

$$\varepsilon_c \left[1 - \beta_1 \times d' \left(\frac{0,85 \times f_c' \times b}{A_s \times f_y - A_s' \times f_y} \right) \right] \geq \frac{f_y}{E_s} \dots \dots \dots (22)$$

Jika persamaan 22 kurang sesuai, baja tekan tidak leleh maka nilai nyata dari tegangan baja dicari dengan persamaan :

$$f_s = \varepsilon_s' E_s \dots \dots \dots (23)$$

maka momen ultimit dapat dicari dengan persamaan:

$$Mu = 0,85 \times f_c' ab \times \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + A_s \times E_s \times \varepsilon_c - \left(\left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) \times (d - d') \right) \dots \dots (24)$$

dan kelengkungan Φ_u dicari dengan persamaan 20

Perubahan momen ultimit sebanding dengan perubahan kuat tekan beton, sehingga:

$$Mn = 0,85 \cdot f_c' \cdot ab \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot E_s \cdot \varepsilon_s - \frac{a - \beta_1 d'}{a} (d - d') \dots \dots \dots (25)$$

Ukuran dari meningkatnya momen lentur setelah leleh dikenal M_u/M_y . Rasio ini ditentukan dari persamaan 19 dan 20 atau persamaan 23 dan 24. Untuk penampang bertulangan tunggal dengan $\rho \leq 0,02$, $f_c' \leq 34,5 \text{ N/mm}^2$ atau 226 N/mm^2 , persamaan ini menunjukkan bahwa $M_u/M_y \leq 1,06$. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan momen setelah leleh adalah kecil. Peningkatan mungkin lebih signifikan untuk penampang bertulangan rangkap. Rasio ϕ_u/ϕ_y dapat ditulis seperti:

$$Mu = 0,85 \times f_c' ab \times \left(d - \left(\frac{a}{2} \right) \right) + A_s \times E_s \times \varepsilon_c - \left(\left(\frac{a - \beta_1 d'}{a} \right) \times (d - d') \right) \dots \dots (26)$$

$$\frac{\varphi_u}{\varphi_y} \approx \frac{\varepsilon_c}{f'_c/E_s} \cdot \frac{d(1-k)}{a/\beta_1} \dots\dots\dots (27)$$

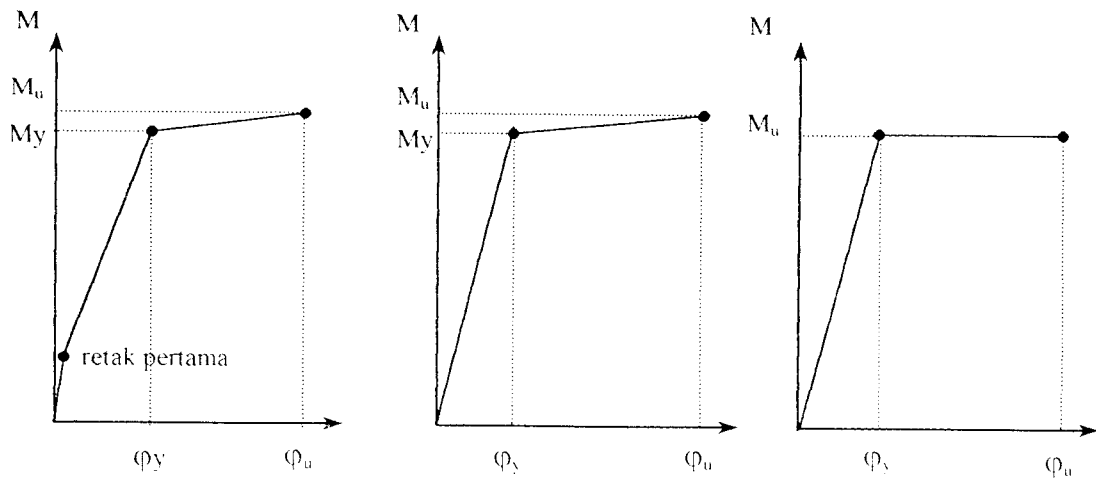
Setelah beton dibakar, maka nilai f'_c akan semakin kecil dan didapatkan nilai E_c yang semakin kecil sehingga nilai n akan menjadi besar yang mengakibatkan nilai k menjadi kecil sehingga nilai φ_u/φ_y akan menjadi besar.

Persamaan 13 digunakan untuk menentukan faktor daktilitas kelengkungan dalam kasus umum dari penampang bertulangan ganda. Jika persamaan 13 memuaskan, baja tekan leleh dan substitusi persamaan 18 dan 20 ke dalam persamaan 27, didapatkan persamaan faktor kelengkungan daktil yaitu:

$$\frac{\varphi_u}{\varphi_y} = \left(\frac{0,85\beta_1 E_s \varepsilon_c f'_y}{f'_y{}^2(\rho - \rho_1)} \right) \left\{ 1 + (\rho - \rho_1)n - [(\rho + \rho_1)n]^2 + 2 \left(\left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right)^2 \right\} \dots\dots (28)$$

Jika baja tekan belum leleh maka faktor kelengkungan dicari dengan persamaan :

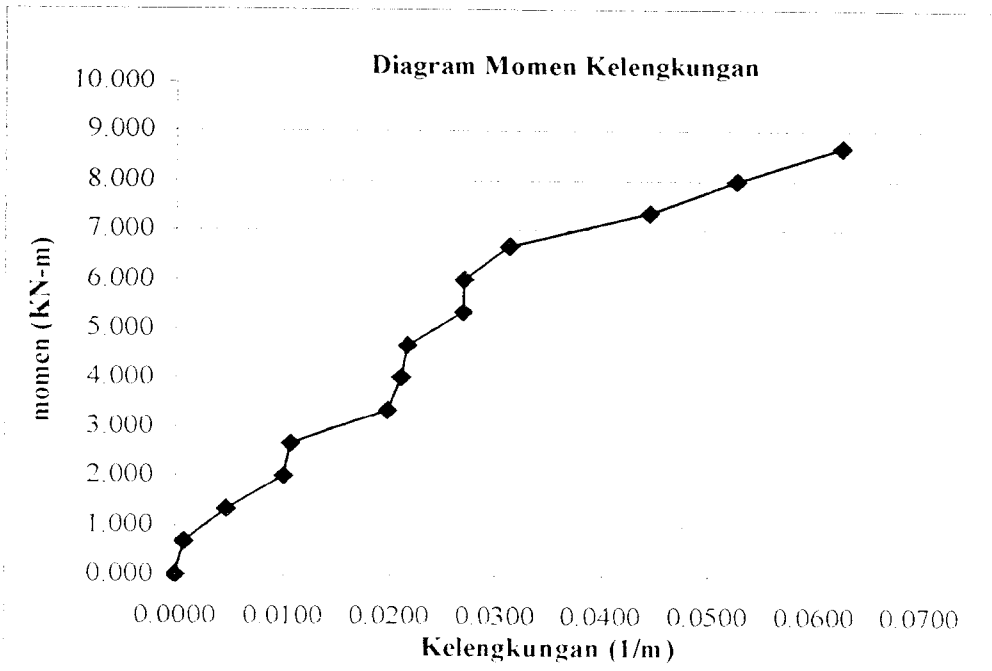
$$\frac{\varphi_u}{\varphi_y} = \left(\frac{\beta_1 E_s \varepsilon_c}{f'_y} \right) \times \left[\frac{1 + (\rho - \rho_1)n - (\rho + \rho_1)n^2 + 2 \left(\left(\rho + \left(\frac{\rho' d'}{d} \right) n \right)^2 \right)^2}{\left(\frac{\rho' \varepsilon_c E_s - \rho f'_y}{1,7f'_c} \right)^2 + \left(\frac{\rho' \varepsilon_c E_s \beta_1 d'}{0,85f'_c d} \right)^2 - \left(\frac{\rho' \varepsilon_c E_s - \rho f'_y}{1,7f'_c} \right)} \right] \dots\dots (29)$$



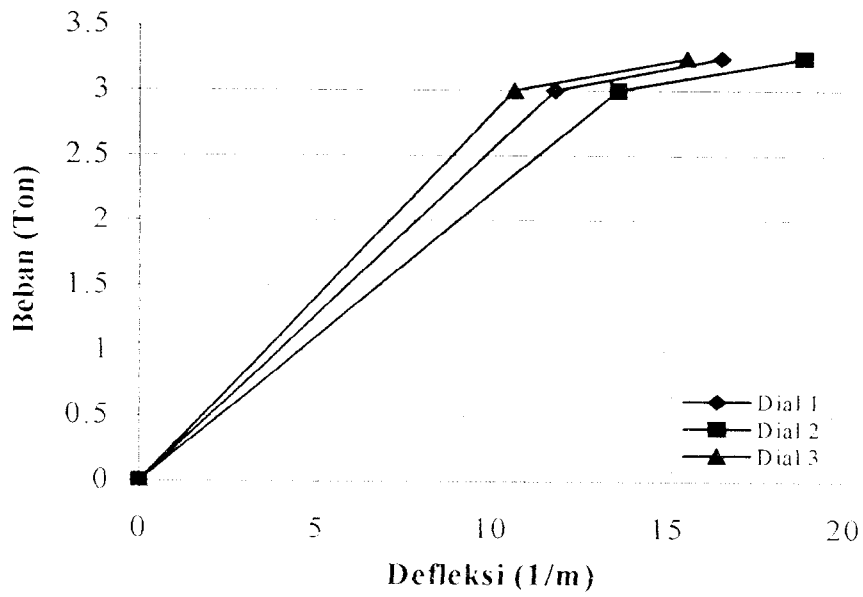
Gambar 2.6 Curva momen kelengkungan

B. Hasil Perhitungan**Tabel Pengujian Kuat Lentur Benda Uji I**

Beban (Ton)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000
0.25	0.33	0.40	0.40	0.667	0.0008
0.50	0.55	0.80	0.63	1.333	0.0047
0.75	0.67	1.20	0.83	2.000	0.0100
1.00	0.94	1.55	1.20	2.667	0.0107
1.25	1.23	2.28	1.55	3.333	0.0198
1.50	2.28	3.09	2.42	4.000	0.0211
1.75	3.82	4.29	2.81	4.667	0.0217
2.00	5.24	5.58	3.50	5.333	0.0269
2.25	6.35	6.60	4.42	6.000	0.0270
2.50	8.14	8.84	6.73	6.667	0.0312
2.75	9.86	11.49	9.12	7.333	0.0444
3.00	11.77	13.56	10.62	8.000	0.0526
3.25	16.48	18.80	15.50	8.667	0.0624

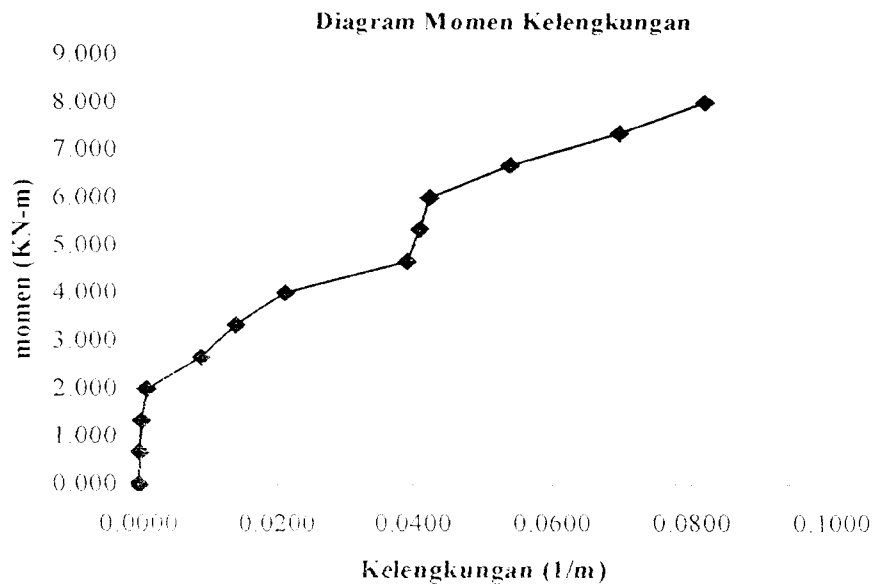


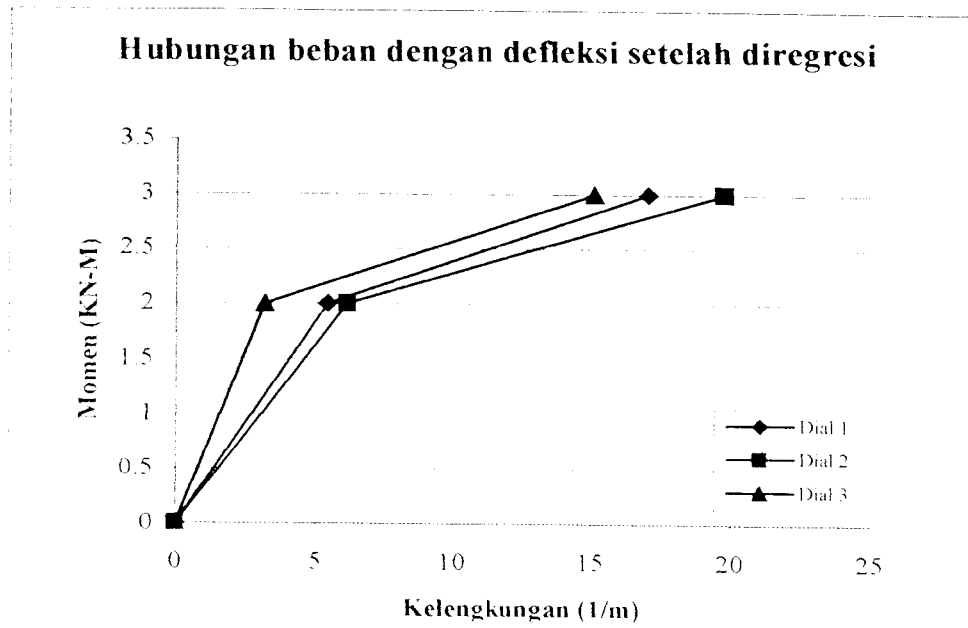
Hubungan beban dengan defleksi setelah diregresi



Tabel pengujian kuat lentur balok II.1

Beban (Ton)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000
0.25	0.05	0.05	0.04	0.667	0.0001
0.50	0.45	0.40	0.32	1.333	0.0003
0.75	0.65	0.60	0.45	2.000	0.0011
1.00	1.25	1.70	1.34	2.667	0.0090
1.25	2.00	2.40	1.54	3.333	0.0140
1.50	2.80	3.20	1.72	4.000	0.0212
1.75	4.00	4.90	2.28	4.667	0.0391
2.00	5.40	6.10	3.12	5.333	0.0409
2.25	5.80	7.32	5.03	6.000	0.0423
2.50	6.90	8.96	6.17	6.667	0.0539
2.75	12.00	13.80	9.33	7.333	0.0697
3.00	17.00	19.70	15.03	8.000	0.0819

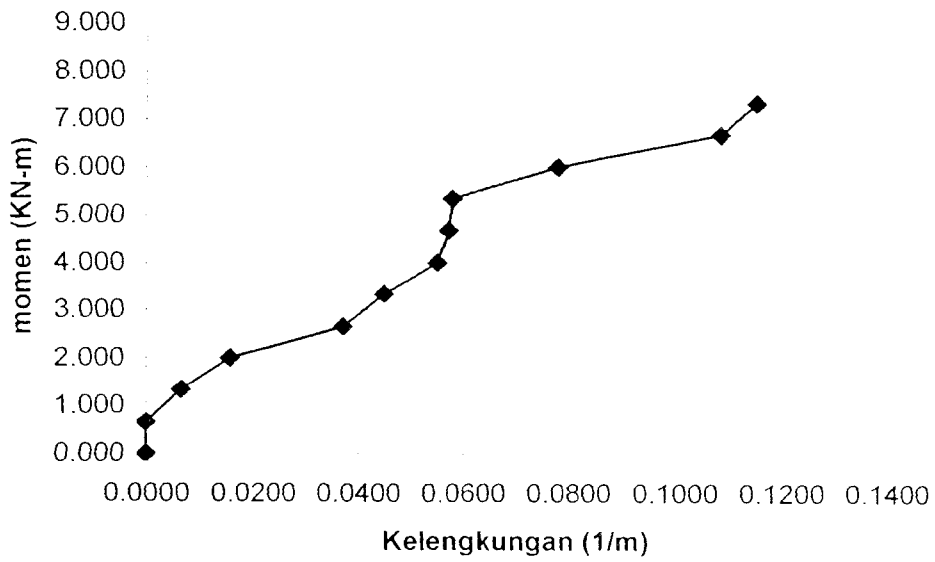




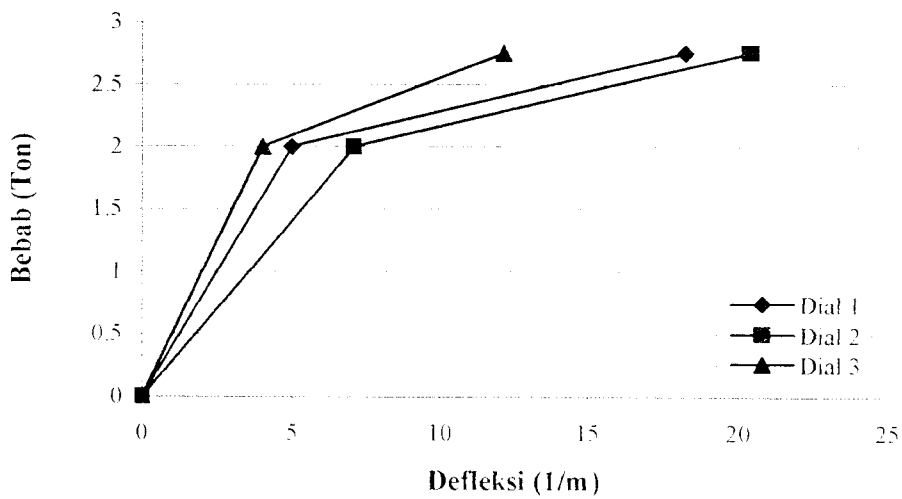
Tabel pengujian kuat lentur balok II.2

Beban (Ton)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	Momen (KN-m)	Kelengkungan (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000
0.25	0.00	0.00	0.00	0.667	0.0000
0.50	0.70	0.98	0.67	1.333	0.0066
0.75	2.05	2.50	1.55	2.000	0.0156
1.00	2.30	3.80	1.96	2.667	0.0371
1.25	2.80	4.73	2.62	3.333	0.0449
1.50	3.85	6.05	3.90	4.000	0.0549
1.75	4.40	6.80	4.06	4.667	0.0571
2.00	5.00	7.10	4.00	5.333	0.0578
2.25	7.70	9.70	4.70	6.000	0.0778
2.50	10.30	13.93	7.82	6.667	0.1082
2.75	18.25	20.38	12.15	7.333	0.1151
3.00			19.09	8.000	

Diagram Momen Kelengkungan

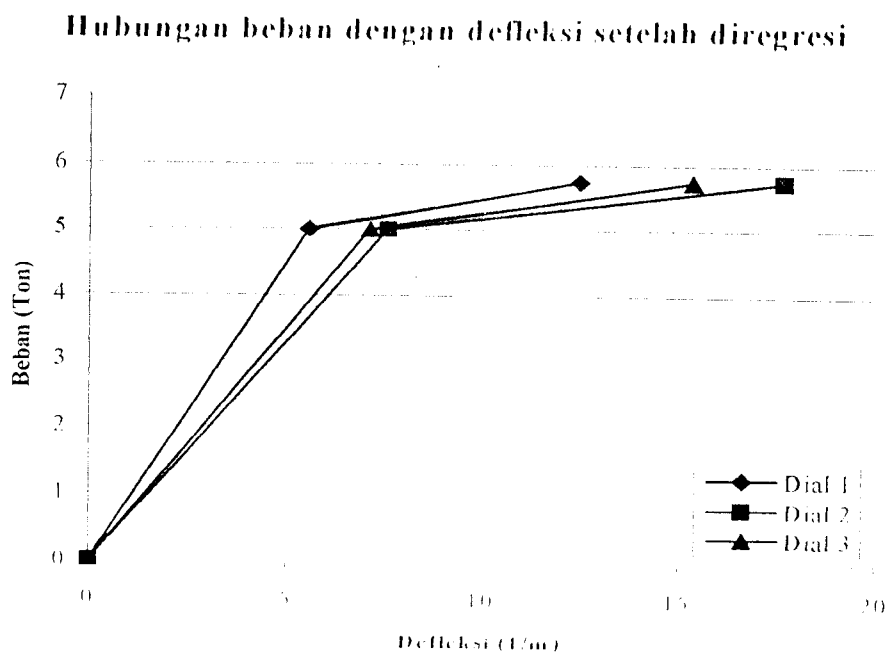
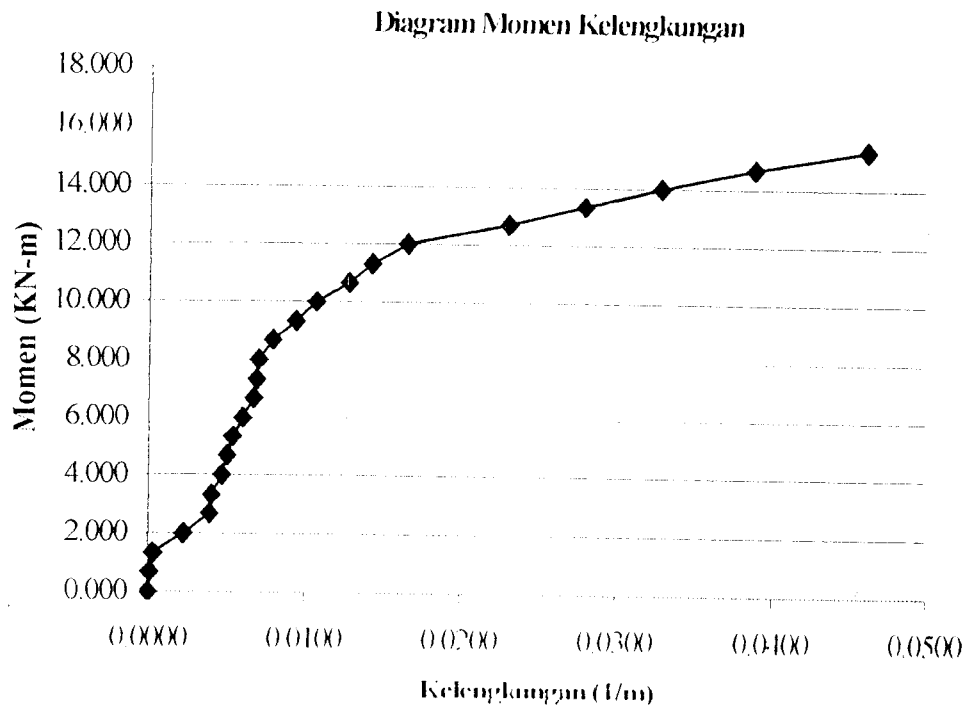


Hubungan beban dengan defleksi setelah diregresi



Tabel kuat lentur balok III.1

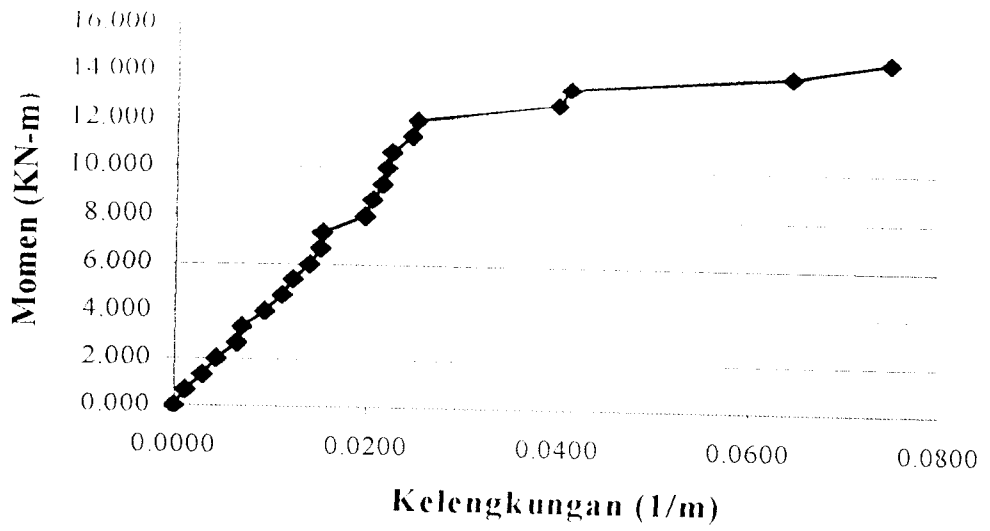
Beban (Ton)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	momen (KN-m)	Kelengkungan (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000
0.25	0.12	0.10	0.07	0.667	0.0001
0.50	0.50	0.50	0.47	1.333	0.0003
0.75	0.76	0.88	0.80	2.000	0.0022
1.00	1.05	1.30	1.20	2.667	0.0039
1.25	1.54	1.84	1.78	3.333	0.0040
1.50	1.66	2.10	2.15	4.000	0.0047
1.75	1.92	2.50	2.63	4.667	0.0050
2.00	2.12	2.75	2.90	5.333	0.0053
2.25	2.31	3.04	3.23	6.000	0.0060
2.50	2.52	3.30	3.48	6.667	0.0067
2.75	2.77	3.60	3.81	7.333	0.0069
3.00	2.95	3.88	4.18	8.000	0.0070
3.25	3.21	4.20	4.48	8.667	0.0079
3.50	3.44	4.500	4.72	9.333	0.0093
3.75	3.64	4.780	4.96	10.000	0.0107
4.00	3.90	5.140	5.23	10.667	0.0128
4.25	4.170	5.500	5.55	11.333	0.0142
4.50	4.450	5.900	5.86	12.000	0.0166
4.75	5.040	6.800	6.49	12.667	0.0230
5.00	5.570	7.600	7.12	13.333	0.0279
5.25	6.220	8.500	7.83	14.000	0.0328
5.50	8.700	10.700	9.21	14.667	0.0388
5.75	12.460	17.650	18.70	15.333	0.0460



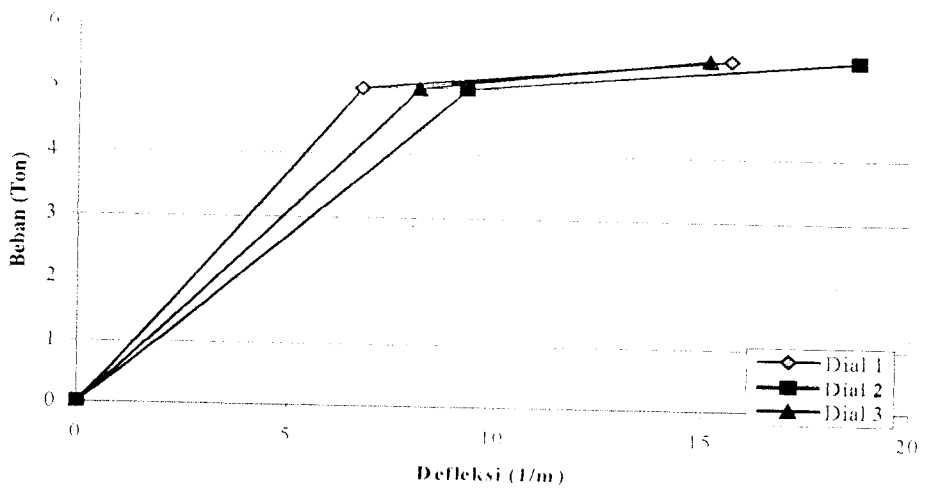
Tabel pengujian kuat lentur balok III.2

Beban (Ton)	Dial 1 (mm)	Dial 2 (mm)	Dial 3 (mm)	momen (KN-m)	Kelengkungan (1/m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000
0.25	0.18	0.23	0.18	0.667	0.0011
0.50	0.45	0.61	0.51	1.333	0.0029
0.75	0.73	1.00	0.88	2.000	0.0043
1.00	0.98	1.39	1.22	2.667	0.0064
1.25	1.28	1.78	1.65	3.333	0.0070
1.50	1.57	2.05	1.95	4.000	0.0093
1.75	1.78	2.49	2.20	4.667	0.0111
2.00	2.00	2.79	2.48	5.333	0.0122
2.25	2.26	3.13	2.75	6.000	0.0139
2.50	2.47	3.41	3.00	6.667	0.0150
2.75	2.75	3.72	3.32	7.333	0.0152
3.00	2.89	4.08	3.50	8.000	0.0197
3.25	3.12	4.38	3.80	8.667	0.0204
3.50	3.47	4.760	4.12	9.333	0.0214
3.75	3.72	5.120	4.55	10.000	0.0219
4.00	4.02	5.540	5.05	10.667	0.0223
4.25	4.560	6.030	5.29	11.333	0.0246
4.50	4.950	6.300	5.40	12.000	0.0250
4.75	5.920	7.800	6.10	12.667	0.0398
5.00	6.770	9.320	8.18	13.333	0.0410
5.25	7.940	12.200	10.70	14.000	0.0640
5.50	15.620	18.700	15.10	14.667	0.0742

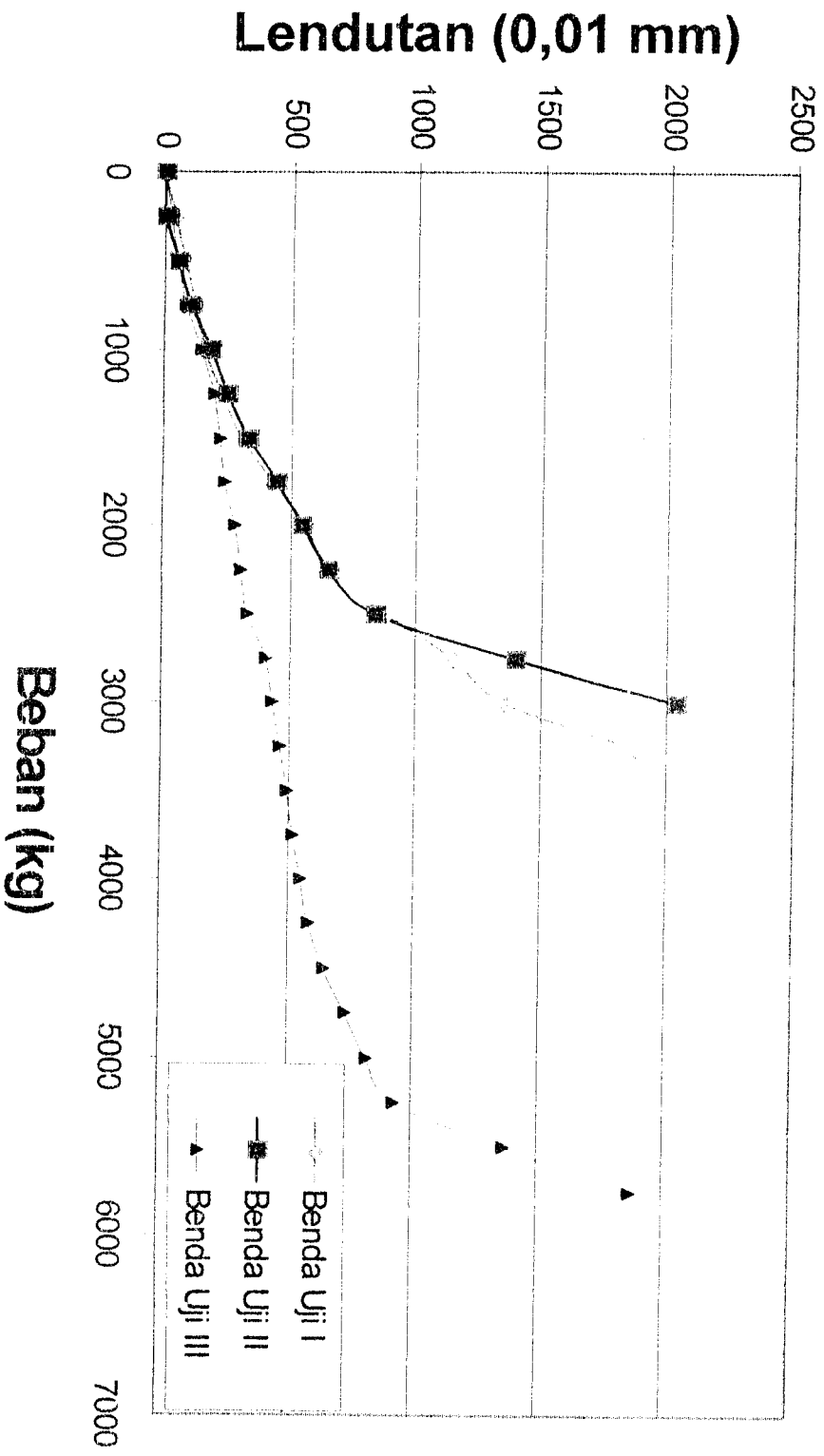
Diagram Momen Kelengkungan



Hubungan beban dengan defleksi setelah diregresi



Grafik hubungan beban dan lendutan rata-rata masing-masing benda uji



DOKUMENTASI PENELITIAN

1. Alat-alat yang digunakan

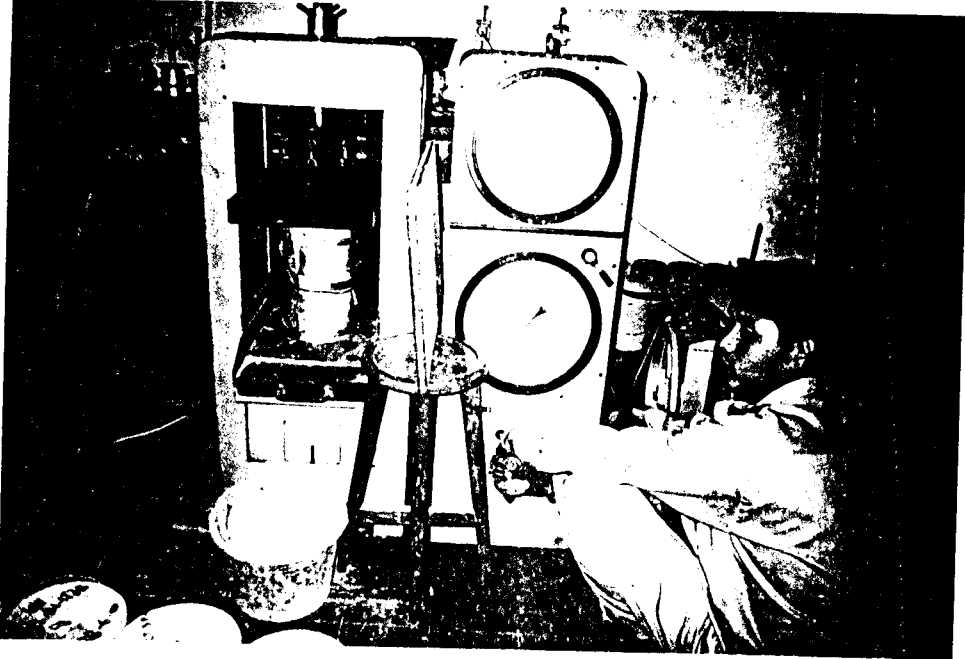


Photo 1. Mesin desak beton

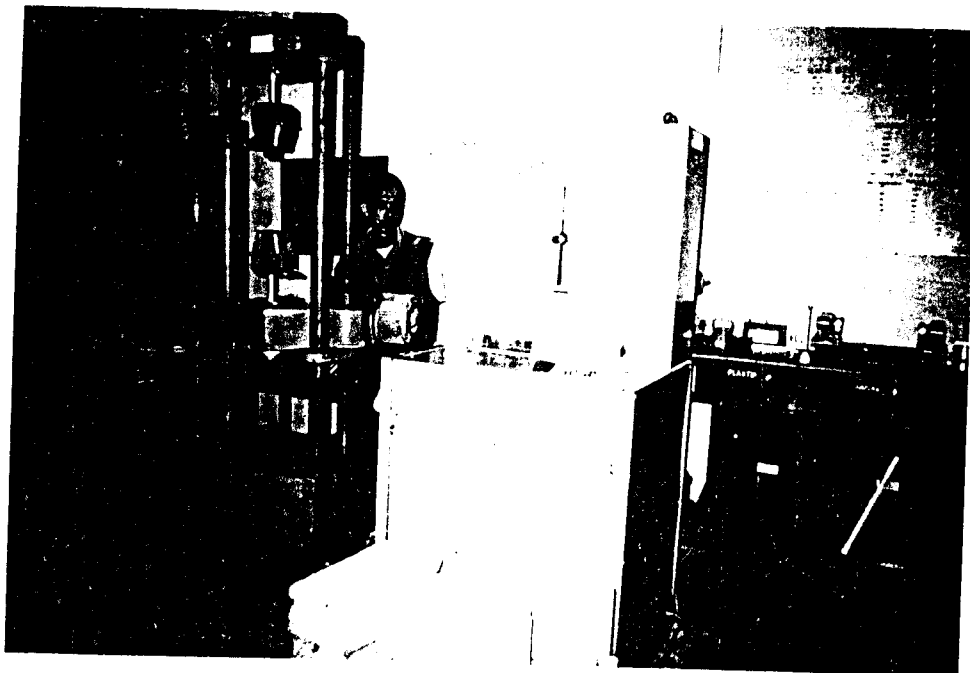


Photo 2. Mesin tarik baja

2. Persiapan dan pembakaran balok beton bertulang



Photo 3. Tungku pembakar

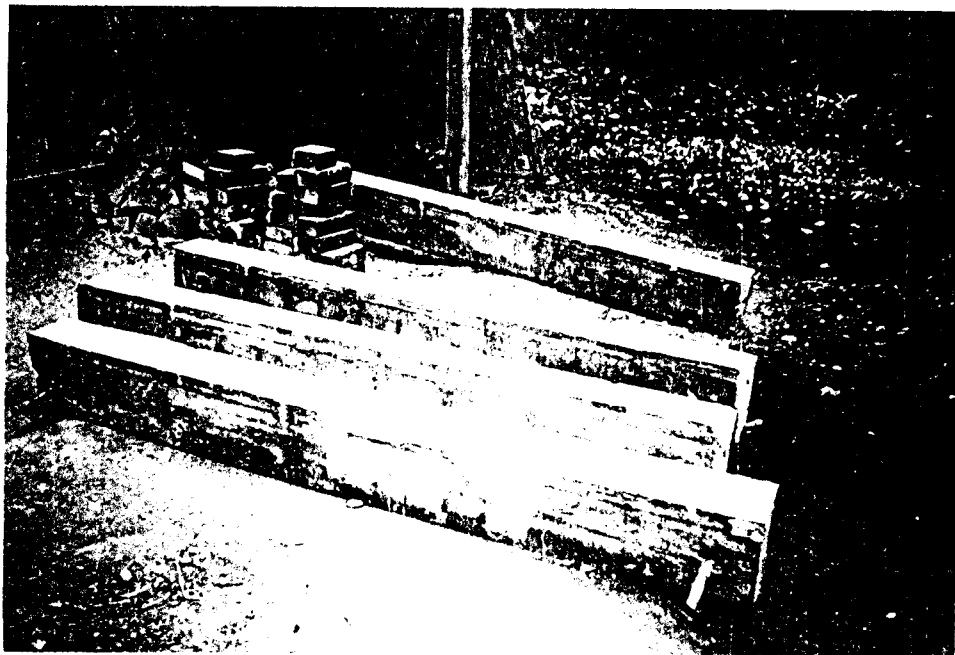


Photo 4. Kondisi balok sebelum dibakar



Photo 5. Peletakan balok pada tungku pembakar

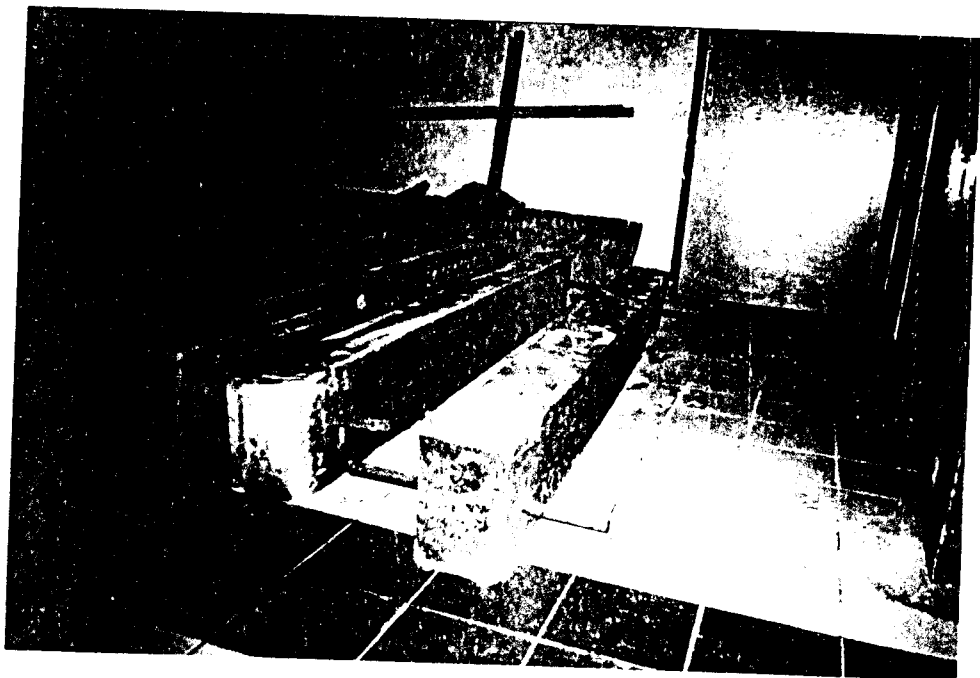


Photo 6. Keadaan balok setelah dibakar

3. Pelekatan perkuatan baja pada balok beton bertulang pasca bakar



Photo 7. Persiapan balok sebelum diberi pelekat



Photo 8. Persiapan bahan pelekat Sikadur 731



Photo 9. Pelekatan perkuatan plat baja pada balok



Photo 10. Keadaan balok setelah diberi perkuatan plat baja

4. Pengujian lentur di laboratorium BKT

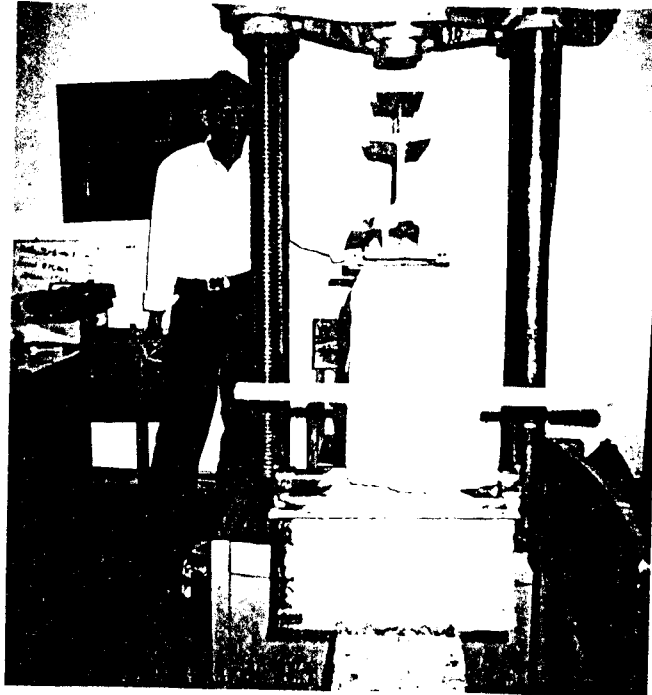


Photo 11. Model perletakan

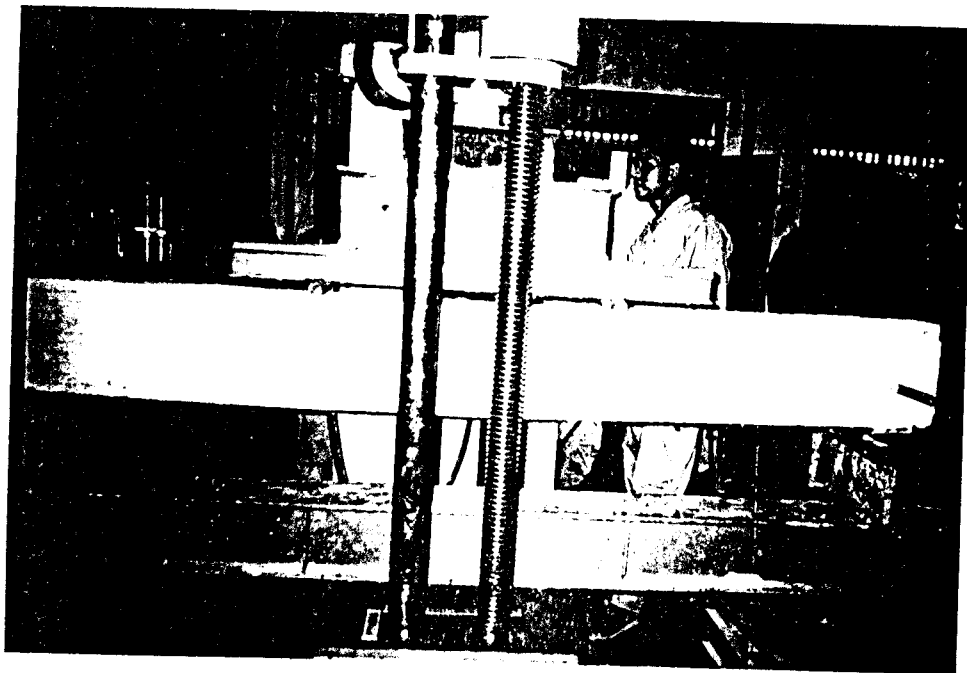


Photo 12. Penempatan balok pada perletakan

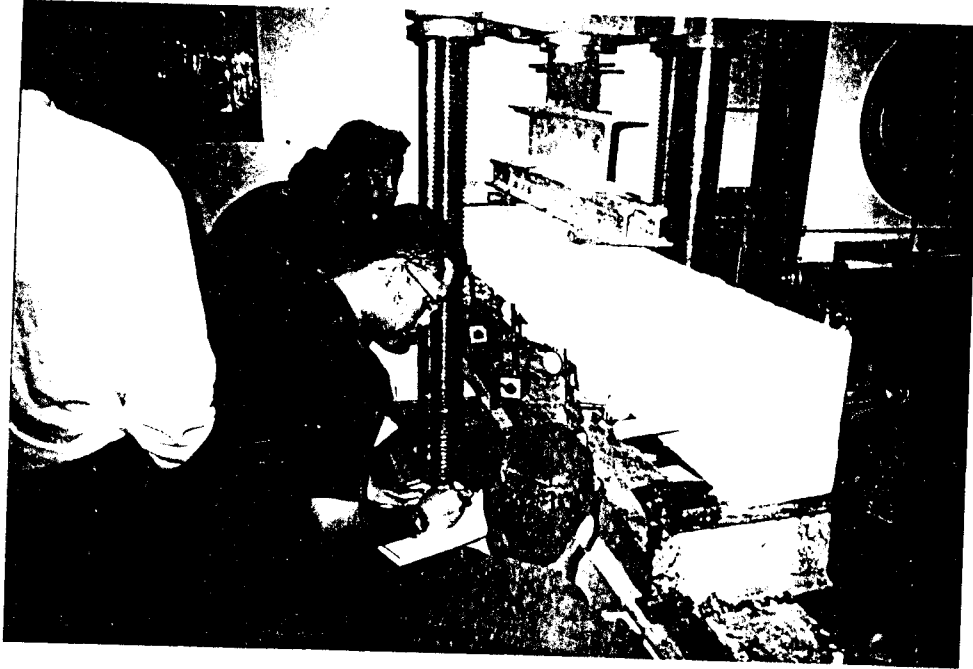


Photo 13. Pelaksanaan pengujian lentur

a. Keadaan balok setelah pengujian lentur

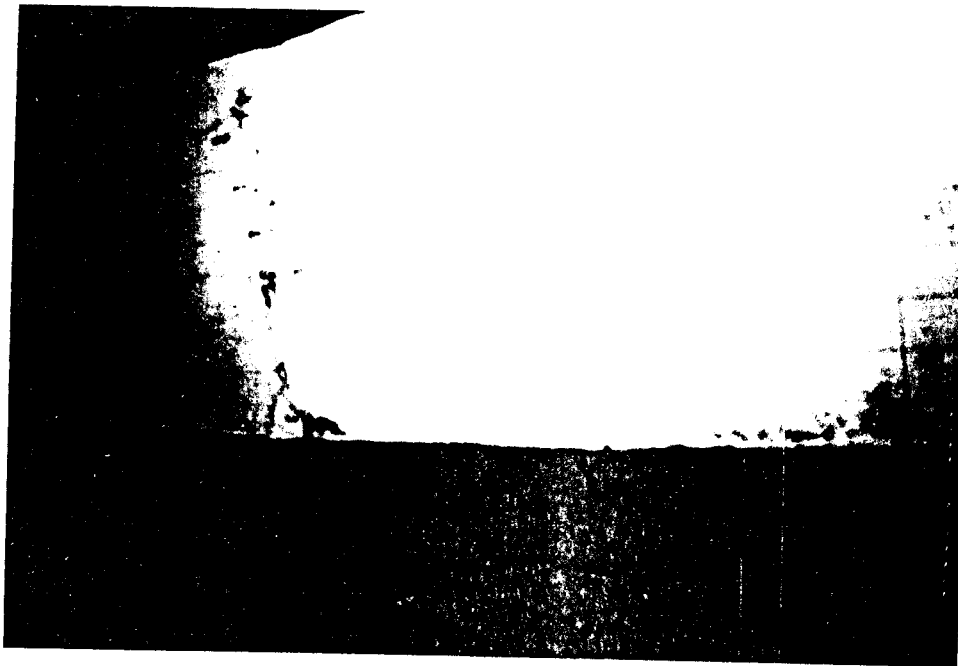


Photo 14. Benda uji I

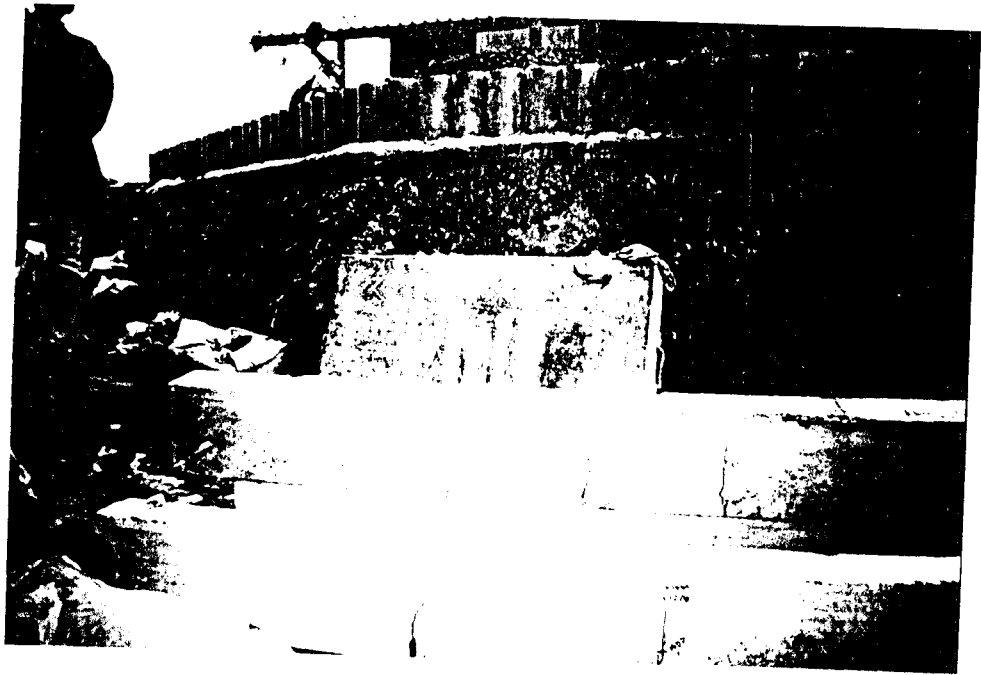


Photo 15. Benda uji II.1 dan II.2

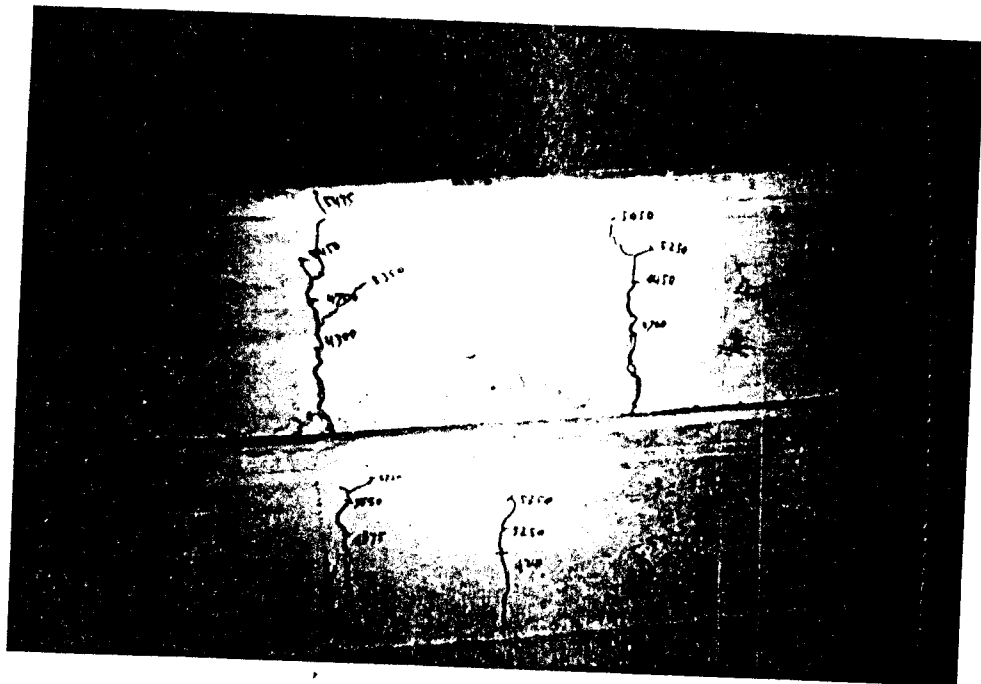


Photo 16. Benda Uji III.1 dan III.2

b. Keadaan plat setelah pengujian

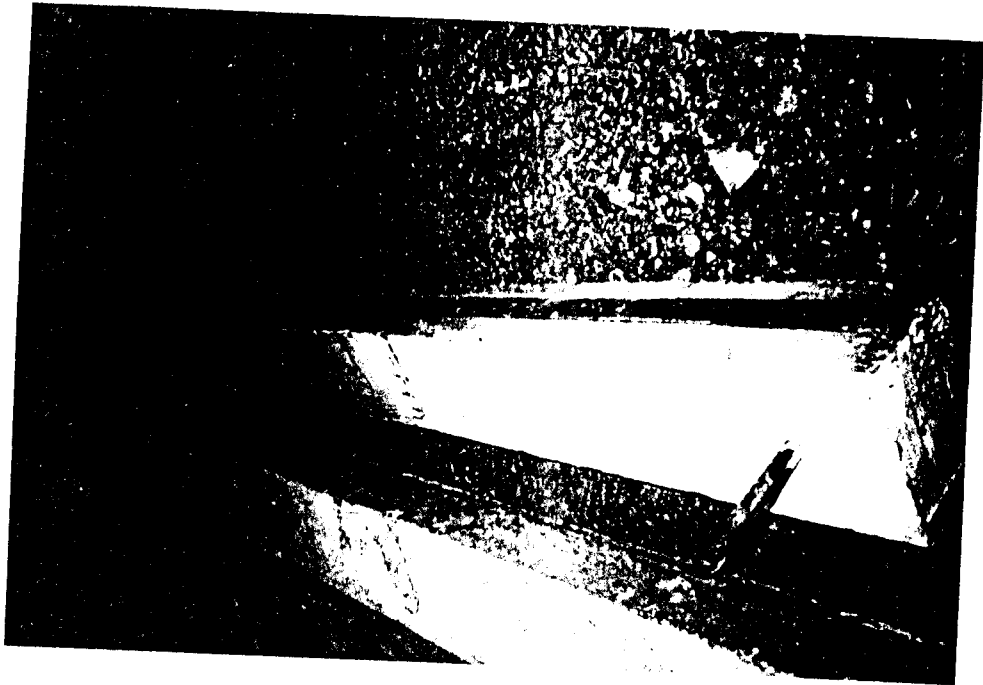


Photo 17. Benda uji III.1

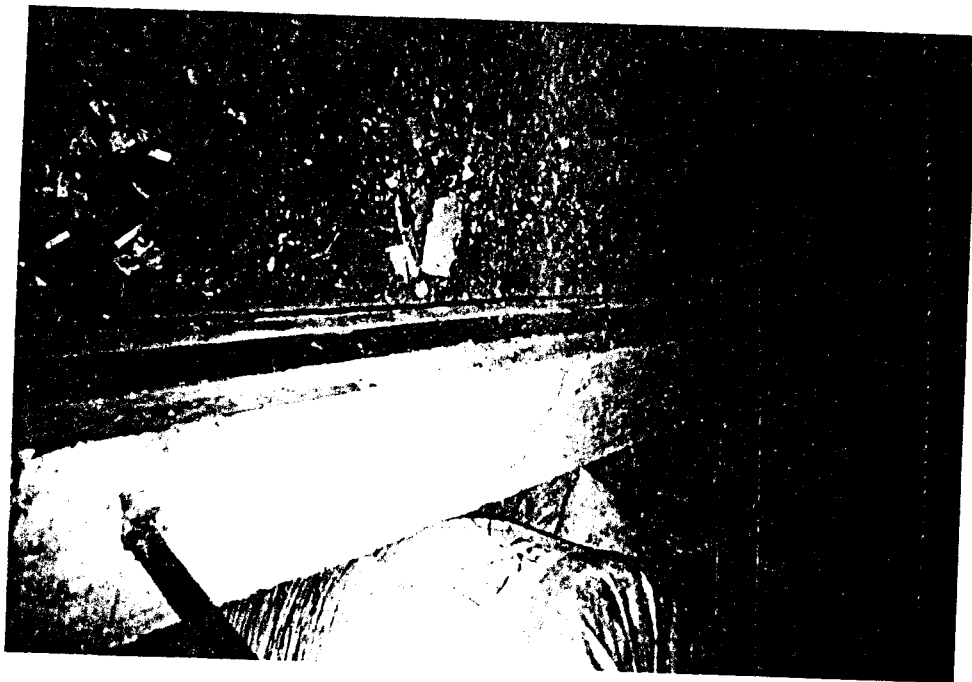


Photo 18. Benda uji III.2



Epoxy Adhesives & Mortars

Sikadur® 731

Thixotropic Epoxy Resin Adhesive

DESCRIPTION

A solvent-free, thixotropic, 2-component adhesive and repair mortar, based on a combination of epoxy resin and specially selected high strength fillers. Its paste consistency allows an easy and versatile application.

**Complies with A.S.T.M.
C 881-78 Type I, Grade 3, Class B+ C**

USES

Structural bonding of concrete elements, masonry, metal and trowel applied adhesive mortar for ceramic, wood, asbestos cement, polyester and epoxy components.

Cracks and surface sealing prior to pressure injection.
Interior, vertical, and overhead repair of concrete as an epoxy mortar binder.
Rigid connection of narrow joints, bolts, dowels, pin, vertical and overhead.
Adhesive for Sikadur Combiflex Joint Sealing system.

ADVANTAGES

High strength bonding / sealing adhesive.
Excellent adhesion to most structural materials.
High abrasion and impact resistance.
High Mechanical strength.
Suitable for both, dry and damp surfaces.
Insensitive to moisture before, during and after cure.
Shrinkage free hardening.

COVERAGE

1.7 kg/m² per mm thickness

INSTRUCTIONS FOR USE

SURFACE PREPARATION

Surface must be clean and sound. It may be dry or damp, but free of standing water. Remove dust, laitance, grease, curing compounds, impregnation, waxes, foreign particles, disintegrated materials.

Preparation work
Concrete - Sandblast or use other approved mechanical methods.
Steel - Sandblast to white metal finish.

MIXING

Pre-mix each component. Proportion 1 part Component 'B' to 2 part Component 'A' into a clean pail.
Mix thoroughly for 3 minutes with a paddle on low - speed (400 - 600 rpm) drill until uniform in colour. Mix only that quantity that can be used within its pot life.

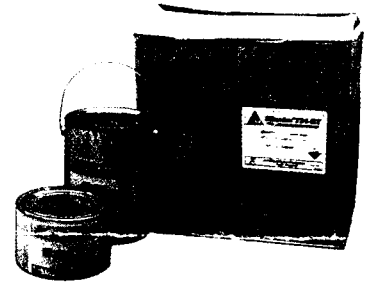
APPLICATION

As a structural adhesive :
Apply the mixed adhesive to the surfaces with a trowel, or spatula. Secure the bonded unit firmly into place until the adhesion has cured.

As a sealing cracks for injection grouting :
Place the mixed material over the cracks to be pressure injected and around each injection part. Allow the sufficient time to set before pressure injecting.

LIMITATIONS

Maximum thickness per layer is 30 mm.
Minimum age of concrete must be 21 - 28 days.



**TECHNICAL
DATA**

COLOUR	Concrete Grey
MIX RATIO	Comp A : B = 2 : 1 by weight / volume
MIX DENSITY	1.7 kg/l
POT LIFE 30°C	35 minutes
TENSILE STRENGTH (ASTM D-638) 28 days	130 kg/cm ²
FLEXURAL STRENGTH (ASTM D-790) 28 days	320 kg/cm ²
BOND STRENGTH (ASTM C-882) to concrete 28 days	30 kg/cm ² (concrete failure)
COMPRESSIVE STRENGTH (ASTM D-695) 7 days 28 days	505 kg/cm ² 570 kg/cm ²
MODULUS OF ELASTICITY	43,000 kg/cm ²
Coefficient of thermal expansion (-20°C to +40°C)	50 x 10 ⁻⁶ per °C
SHELF LIFE	1 year when unopened
PACKAGING	5 kg set



Certified Quality System
ISO 9002 / EN ISO 9002

Printing Date: 1/6-1998

PT. Sika Nusa Pratama

HEAD OFFICE	: Mugi Griya 5 th fl., Jl. M.T. Haryono Kav. 10 Jakarta 12810 Telp. (021) 8308466, Fax. (021) 8308467, 8308468
BRANCHES	
JAKARTA	: Jl. Tebet Barat Raya No. 63, Telp. (021) 8300164, Fax. (021) 8354410
SURABAYA	: Pertokoan Delta Permai, Jl. Raya Panjangjiwo 1B/No.14, Telp. (031) 8420377, Fax. (031) 8495018
MEDAN	: Jl. Thamrin No. 40/24 E, Telp. (061) 517309, 550805, Fax. (061) 550805
BATAM	: Jl. Kuda Laut No. 8 D, Batu Ampar, Telp. (0778) 424928, Fax. (0778) 426913
YOGYAKARTA	: Jl. Sutopadan No. 95 A - Ngestiharjo 55182 Telp. (0274) 560138, 584591, Fax. (0274) 560138
BANDUNG	: Jl. Holis III No. 9, Komp. BPKP Telp. (022) 6018272, Fax. (022) 6006816
SUB DISTRIBUTOR	
DENPASAR	: CV. Jaya Raya Utama, Jl. Nangka No. 81 H Telp. (0361) 235998, 235973, 237622, Fax. (0361) 237053
UJUNG PANDANG	: PT. Surya Teknika Pratama, Jl. Mappanyukki No. 39 Telp./ Fax. (0411) 858527

Disclaimer in Technical Data Sheets

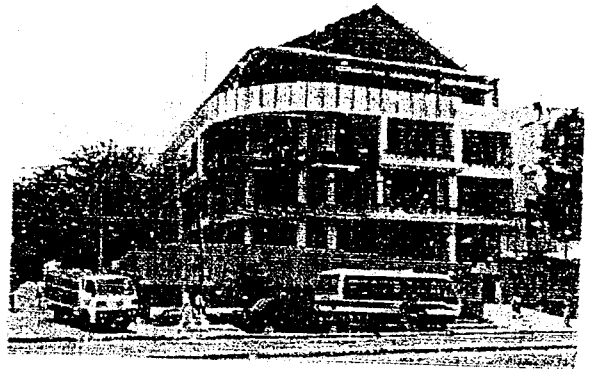
The information, and, in particular the recommendations relating to the application and end-use of Sika products are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the product when properly stored, handled and applied under normal conditions. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sales and conditions of sale for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

Strengthening of structures with Sika CarboDur Case studies

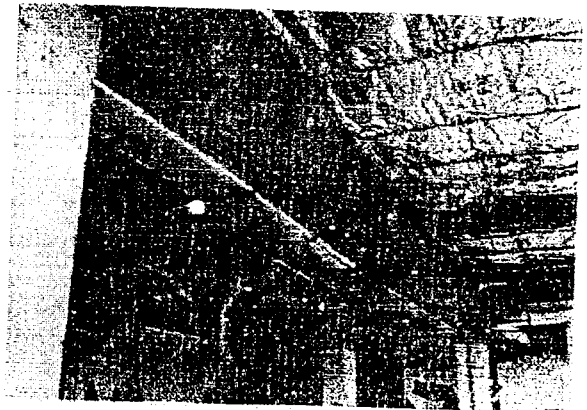


Country : Indonesia

The Project : Office building "Graha Ferrostaal" in Jakarta. Strengthening of concrete beams.

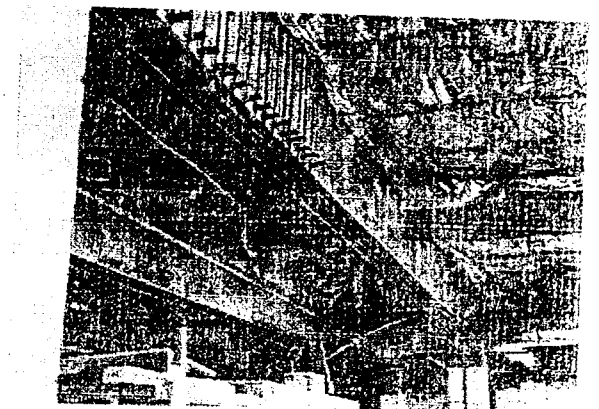


The Consultant : Frisa Mulia Indonesia Consulting Engineers.



The problem : The building were renovated and it was found that the exiting reinforcement and concrete quality did not meet the specification required.

The Sika solution : Reinforcing of the beams with the Sika Carbo Dur system (Sikadur 30 adhesive and Sika Carbo Dur strips). The total length of Sika Carbo Dur laminates M614 were 259 m.



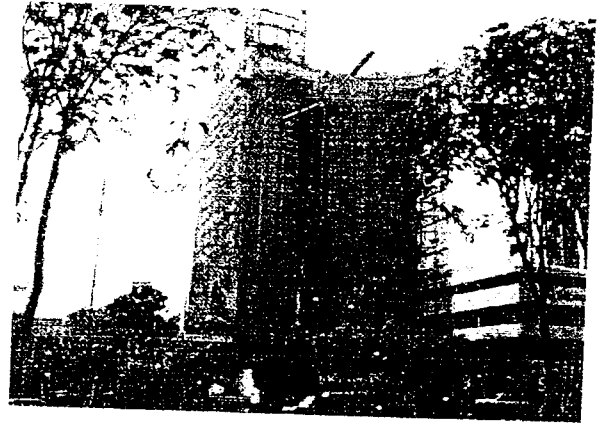
October 1997

Strengthening of structures with Sika CarboDur Case studies

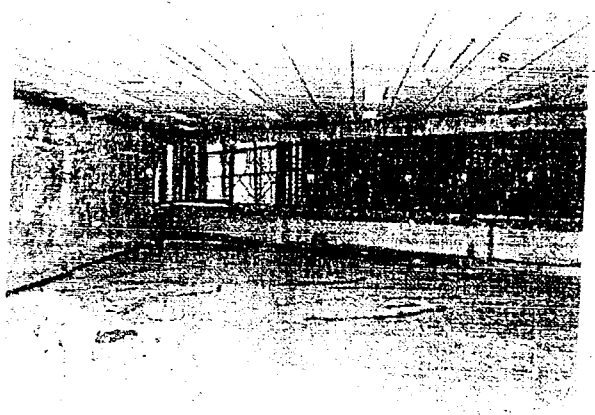


Country : Indonesia

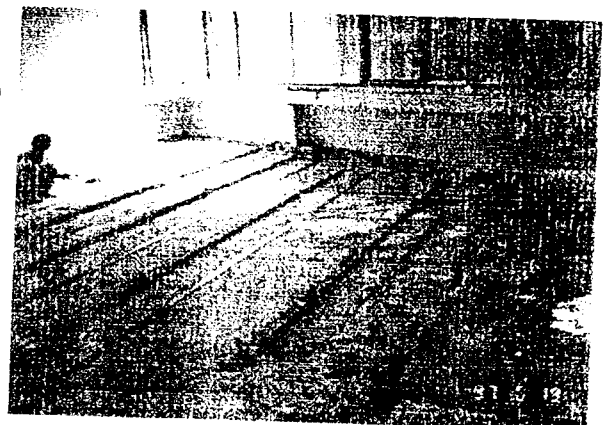
The Project : Hexa Perdana Eight Stories Rental Office building in Jakarta. Strengthening of cantilever concrete slabs.



The problem : During the renovation work, typical cracks pattern of cantilever concrete slab were visible due to insufficient reinforcement bars and earthquake. The cantilever slab had to be strengthened.



The Sika solution : Reinforcing the cantilever slab with the Sika Carbo Dur system (Sikadur 30 adhesive and Sika Carbo Dur strips). The total length of Sika Carbo Dur laminates S508 were 340 m.



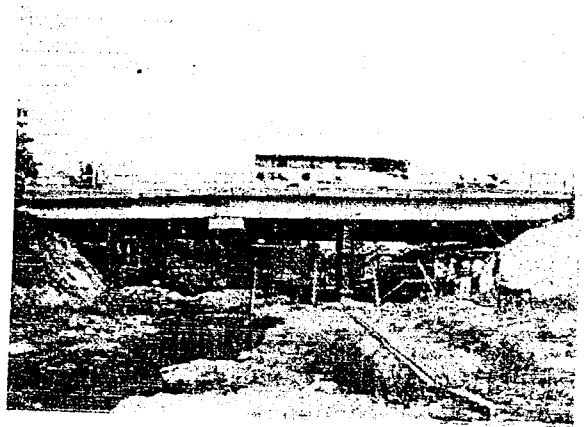
Strengthening of structures with Sika CarboDur

Case studies



Country : Indonesia

The Project : Road Bridge in Padang, West Sumatera.
Strengthening of the longitudinal concrete girders.

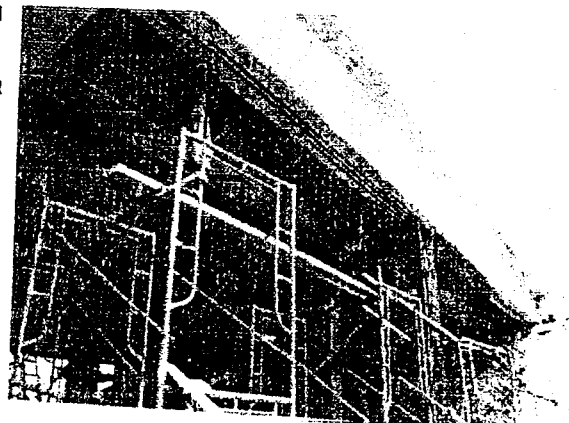


The Consultant : Sika Indonesia assisted structural calculation.



The Problem : The Reinforcement bars of twelve concrete girders with 20 m length were insufficient and had to be strengthened.

The Sika Solution : Reinforcing of the girders with the Sika Carbo Dur system (Sikadur 30 adhesive and Sika Carbo Dur strips).
The total length of Sika Carbo Dur laminates S512 were 792 m.



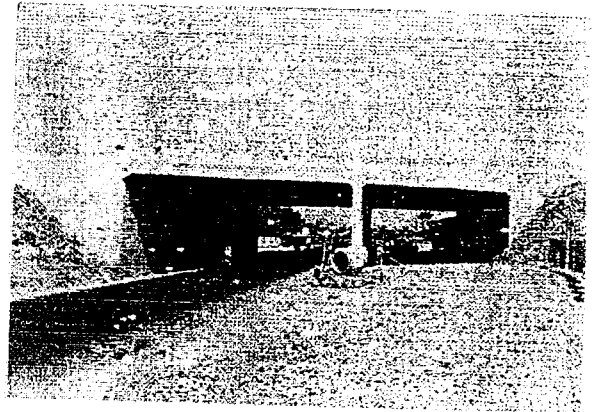
October 1997

Strengthening of structures with Sika CarboDur Case studies



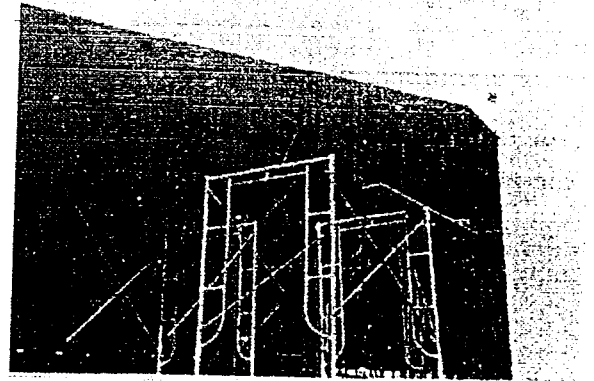
Country : Indonesia

The Project : Box culvert construction for underpass of free way in Semarang, Central Java.

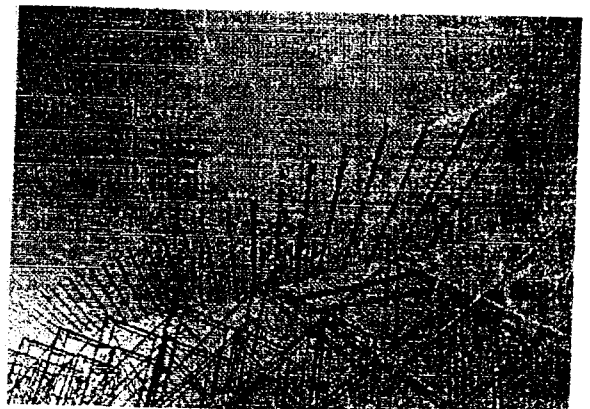


The Consultant : Benjamin - Gideon & Associates Consulting Engineers.

The Problem : During the construction work, structural design was changed by adding wing wall due to earthfilling. Cracks occurred on the top surface of the slab around the joint area between slab and wall.



The Sika solution : Reinforcing the slab of box culvert with the Sika Carbo Dur system (Sikadur 30 adhesive and Sika Carbo Dur strips). The total length of Sika Carbo Dur laminates S512 were 497 m.



October 1997