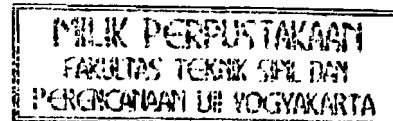


TUGAS AKHIR
PERILAKU KOMPONEN STRUKTUR LANTAI
BALOK T KOMPOSIT KAYU-BETON



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



Oleh :

Nama : Gayuh Wicaksono
No. Mhs. : 86 310 063
Nirm. : 865014330054

Nama : Wibowo Wicaksono
No. Mhs. : 95 310 065
Nirm. : 950051013114120064

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2002

Lembar Pengesahan

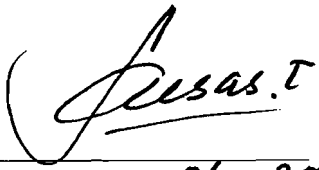
**PERILAKU KOMPONEN STRUKTUR LANTAI
BALOK T KOMPOSIT KAYU-BETON**

Nama : Gayuh Wicaksono
No. Mhs. : 86 310 063
Nirm. : 865014330054


Nama : Wibowo Wicaksono
No. Mhs. : 95 310 065
Nirm. : 950051013114120064

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir. H. Susastrawan, MS.
Dosen Pembimbing I


Tanggal : 17-06-2002

Ir. Fatkhurrohman N., MT.
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 17-06-2002

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

أَسْتَغْفِرُكَ اللَّهُمَّ وَرَحْمَةً لَكَ

Alhamdulillahirobbil'aalamiin, segala puji ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan taufiq serta hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga atas berkat ridho-Nyalah penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan salah satu syarat memperoleh jenjang kesarjanaan S-1 pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tujuan utama dari Tugas Akhir atau penelitian Perilaku Komponen Struktur Lantai Balok T Komposit Kayu – Beton ini adalah untuk memperoleh gambaran tentang kuat lentur komposit kayu – beton. Dari hasil penelitian ini, diharapkan komponen struktur lantai balok T komposit kayu – beton dapat dipakai sebagai bahan alternatif yang tepat untuk lantai tingkat bangunan gedung bertingkat rendah 2 – 4 lantai.

Penyusun dalam menyelesaikan penelitian ini telah memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing Utama.
2. Ir. Fatkhurrohman N., MT, selaku Dosen Pembimbing Akademik.
3. Ir. H. M. Samsudin, MT, selaku Dosen Penguji Tamu.
4. Seluruh staf Laboratorium BKT dan MR yang telah membantu selama pengujian benda uji kami.

5. Ir. H. Munadir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
6. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
7. Kedua Orangtua, kakak serta adik – adik kami yang telah membantu, memberi dorongan, dan motivasi, serta senantiasa mendoakan kami.
8. Keluarga Bapak Abdul Bashir yang telah memberikan bantuan dan motivasinya.
9. Istri tercinta beserta kedua Orangtua Istri dari Gayuh Wicaksono yang telah memberikan dorongan dan motivasi serta senantiasa mendoakan.
10. Dik Ninna yang selalu memberi bantuan, motivasi dan senantiasa mendoakan.
11. Teman – teman; Joko, Habib, Limpat, Agus, Iyan, Wahyu, Seno beserta teman – teman kosnya yang telah banyak membantu selama penelitian.
12. Semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Akhir kata dengan penuh kerendahan hati penyusun menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, namun besar harapan penyusun semoga penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan, Aamiin.

والشكر لله وحده
والصلاة والسلام على من لا نبي بعده

Yogyakarta, Juni 2002

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GRAFIK	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kayu.....	5

2.2.	Beton.....	6
2.3.	Komposit Kayu – Beton.....	7
2.4.	Penghubung Geser	8
BAB III LANDASAN TEORI		10
3.1.	Pelat Beton.....	10
3.2.	Kayu.....	10
3.3.	Balok Komposit Kayu – Beton	12
3.3.1.	Lebar Efektif (b_E).....	12
3.3.2.	Rasio Modular (n) dan Lebar Transformasi (b_{tr}).....	13
3.3.3.	Garis Netral Tampang Balok.....	13
3.4.	Penghubung Geser	14
3.5.	Analisa Tampang dan Momen Batas.....	16
3.5.1.	Momen Batas pada Tahap Elastis.....	16
3.5.2.	Momen Batas pada Tahap Kekuatan Batas (<i>Ultimit Strength</i>) .	18
3.5.3.	Kapasitas Momen	22
3.6.	Kekakuan dan Faktor Kekakuan Struktur.....	22
3.6.1.	Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ).....	22
3.6.2.	Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ).....	23
BAB IV METODE PENELITIAN		28
4.1.	Bahan	28

4.1.1. Beton.....	28
4.1.2. Kayu.....	29
4.1.3. Penghubung Geser	30
4.1.4. Baja Tulangan.....	30
4.2. Benda Uji	30
4.2.1. Benda Uji Balok T Komposit Kayu – Beton	30
4.2.2. Silinder Beton	32
4.2.3. Benda Uji Kayu Lentur	32
4.2.4. Benda Uji Geser Paku, Komposit Kayu – Beton	32
4.3. Alat yang Digunakan	33
4.3.1. Alat Adukan Beton	33
4.3.2. Alat Pengukur	34
4.3.3. Alat Mesin Uji	35
4.4. Pelaksanaan Pengujian	37
4.4.1. Pengujian Kuat Desak Beton	38
4.4.2. Pengujian Kuat Lentur Patah Kayu.....	38
4.4.3. Pengujian Daya Dukung Penghubung Geser (Paku)	39
4.4.4. Pengujian Kuat Lentur Balok T Komposit Kayu – Beton	39
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	41
5.1. Hasil Penelitian.....	41
5.1.1. Kuat Desak Silinder Beton	41

5.1.2. Kuat Lentur Patah Kayu / <i>Modulus Of Rupture</i> (MOR)	42
5.1.3. Kuat Geser Penghubung Geser (Paku).....	42
5.1.4. Pengujian Benda Uji Balok T Komposit Kayu – Beton	42
5.2. Pembahasan	55
5.2.1. Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Beban dan Lendutan	55
5.2.2. Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Momen – Kelengkungan	55
5.2.3. Daktilitas Simpangan.....	56
5.2.4. Daktilitas Lengkung.....	56
5.3. Pengamatan Saat Pengujian.....	57
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	59
6.1. Kesimpulan.....	59
6.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63

DAFTAR GAMBAR

No.Gambar	Halaman
3.1. Model pengujian kuat lentur patah kayu (MOR)	11
3.2. Beban dan lendutan benda uji	11
3.3. Penampang balok komposit	12
3.4. Garis netral tampang	14
3.5. (a) Pembebanan struktur.....	14
(b) Diagram gaya lintang balok.....	14
3.6. (a) Distribusi tegangan geser balok untuk $\frac{1}{2}$ bentang	15
(b) Nilai gaya geser pada zone 1 dan zone 2	15
3.7. Distribusi regangan dan tegangan penampang lantai komposit tahap elastis.....	16
3.8. Distribusi regangan dan tegangan penampang lantai komposit tahap in elastis.....	18
3.9. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit, dengan $a < t$	19
3.10. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit, dengan $a = t$	20
3.11. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit, dengan $a > t$	21

3.12. Kelengkungan balok	24
3.13. Momen kelengkungan balok	26
4.1. Benda uji balok T Komposit Kayu – Beton	31
4.2. Potongan memanjang balok T Komposit Kayu – Beton	31
4.3. Potongan melintang balok T Komposit Kayu – Beton	31
4.4. Benda uji geser paku, komposit kayu – beton.....	32
4.5. Dial Gauge.....	34
4.6. Transducer.....	35
4.7. Calibration Tester.....	35
4.8. Universal Testing Material SHIMATZU UMH 30	36
4.9. Loading Frame.....	36
4.10. Dukungan sendi (a) dan rol (b).....	37
4.11. Hydraulic Jack.....	37
4.12. Pengujian kuat desak silinder beton	38
4.13. Pengujian kuat lentur kayu	39
4.14. Pengujian daya dukung penghubung geser.....	39
4.15. Pengujian kuat lentur balok T Komposit Kayu – Beton.....	40

DAFTAR GRAFIK

No.Grafik	Halaman
3.1. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ).....	23
3.2. Momen kelengkungan.....	25
5.1. Bi-linier beban-lendutan KKB I	44
5.2. Bi-linier beban lendutan KKB I, II dan III	44
5.3. Hubungan non dimensional beban – daktilitas simpangan	47
5.4. Kurva tri – linier momen kelengkungan teoritis	48
5.5. Bi – linier momen – kelengkungan KKB I	50
5.6. Bi – linier momen – kelengkungan KKB I, II dan III	50
5.7. Hubungan non dimensional momen – daktilitas kelengkungan	53

DAFTAR TABEL

No.Tabel	Halaman
5.1. Data beban (P) dan lendutan (Δ)	43
5.2. Beban lentur dan lendutan maksimum	45
5.3. Kekakuan Struktur	46
5.4. Analisis daktilitas simpangan dari data beban – lendutan	46
5.5. Momen kelengkungan teoritis	47
5.6. Data momen (M) dan kelengkungan (Φ)	49
5.7. Momen kelengkungan maksimum	51
5.8. Faktor kekakuan struktur	52
5.9. Analisis daktilitas kelengkungan	52
5.10. Beban lentur dan lendutan maksimum	54
5.11. Kekakuan struktur	54
5.12. Momen dan kelengkungan maksimum	54
5.13. Faktor kekakuan struktur	54
5.14. Daktilitas simpangan	54
5.15. Daktilitas kelengkungan	54
5.16. Analisis nilai kekakuan	55
5.17. Analisis faktor kekakuan	56
5.18. Analisis daktilitas simpangan	56
5.19. Analisis daktilitas kelengkungan	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kartu Peserta Tugas Akhir	64
2. Catatan Konsultasi Tugas Akhir.....	65
3. Data Tes Lentur Benda Uji Komposit Kayu – Beton (KKB)	66
a. Data Tes Lentur Benda Uji KKB I	66
b. Data Tes Lentur Benda Uji KKB II	67
c. Data Tes Lentur Benda Uji KKB III.....	68
4. Grafik Hasil Pengujian Balok T Komposit Kayu – Beton	69
a. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok T Komposit Kayu – Beton.....	69
b. Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok T Komposit Kayu – Beton	70
5. Pola Retak dan Patah Benda Uji Komposit Kayu – Beton.....	71
6. Perencanaan Adukan Beton (ACI mix).....	73
7. Hasil Pengujian Desak Silinder Beton	75
8. Data Tes Lentur Kayu.....	76
a. Tabel Beban – Lendutan Benda Uji Kayu.....	76
b. Tabel Beban – Lendutan Maksimum	76
c. Grafik Beban dan Lendutan Benda Uji Kayu.....	77
d. Perhitungan Kuat Lentur Patah Kayu (MOR)	77

9. Perhitungan Modulus Elastisitas Kayu (E_w).....	78
10. Pengujian Benda Uji Geser Penghubung Geser (Paku).....	79
a. Tabel Beban – Lendutan Benda Uji Geser Paku	79
b. Grafik Beban – Lendutan Benda Uji Geser Paku	81
c. Tabel Beban – Lendutan Maksimum Rata – Rata.....	81
d. Perhitungan Kuat Geser Satu Penghubung Geser.....	81
11. Perhitungan Momen Kapasitas dan Jumlah Penghubung Geser	83
a. Perhitungan Momen Kapasitas	83
b. Perhitungan Jumlah Penghubung Geser	85
12. Perhitungan Momen Kelengkungan Teoritis	86
13. Foto Penelitian.....	90

DAFTAR NOTASI

- b = Lebar sayap penampang komposit (mm).
- b_E = Lebar efektif (mm).
- b_o = Jarak pusat ke pusat antar balok (mm).
- b_{tr} = Lebar transformasi penampang komposit (mm).
- b_w = Lebar penampang balok kayu (mm).
- C_c = Gaya tekan beton (kN).
- D = Gaya lintang (kN).
- δ, Δ = Lendutan (mm).
- Δy = Lendutan leleh / proporsional (mm).
- E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa).
- ϵ_c = Regangan beton (mm).
- EI = Faktor kekakuan (kNm^2).
- E_w = Modulus elastisitas kayu (Mpa).
-
- ϵ_w = Regangan kayu (mm).
- f'_c = Kuat tekan beton (Mpa).
- Φ = Kelengkungan (1/m).
- Φ_u = Kelengkungan ultimit (1/m).
- Φ_y = Kelengkungan saat leleh (1/m).
- f_w = Tegangan kayu (Mpa).
- h = Tinggi total penampang komposit (mm).
- h_w = Tinggi penampang balok kayu (mm).

- I = Inersia tampang (mm^4).
- k = Kekakuan (kN/m).
- L = Panjang bentang struktur komposit (mm).
- M = Momen (kNm).
- MOR = Kuat lentur patah kayu / *Modulus Of Rupture* (Mpa).
- Mu = Momen ultimit (kNm).
- My = Momen saat leleh / proporsional (kNm).
- N = Jumlah penghubung geser.
- n = Rasio modular.
- n_p = Kemampuan / kuat geser satu penghubung geser (kN).
- P = Beban, gaya (kN).
- Py = Beban leleh / proporsional (kN).
- S = Statis momen (mm^3).
- \hat{S} = Kuat geser ijin satu paku (kN).
- t = Tcbal sayap beton (mm).
- τ = Tegangan geser (Mpa).
- T_w = Gaya tarik kayu (kN).
- V = Gaya geser (kN).
- W = Tahanan momen (mm^3).
- w_c = berat jenis beton (kN/m^3).
- ya = Jarak garis netral ke tepi luar atas (mm).
- yb = Jarak garis netral ke tepi luar bawah (mm).

INTISARI

Penelitian ini didasari atas usaha pengembangan pemakaian bahan – bahan bangunan dan pencarian alternatif bahan bangunan, dalam hal ini bahan bangunan gabungan (komposit), serta didasari atas pengetahuan bahwa beton merupakan bahan yang baik dalam menahan gaya desak dan kayu merupakan bahan yang cukup baik dalam menahan gaya tarik, maka struktur komposit kayu – beton sebagai komponen struktur lantai, diharapkan akan dapat menjadi alternatif struktur lantai tingkat yang kuat, kaku dan bernilai ekonomis.

Pada penelitian ini, dibuat benda uji balok T komposit kayu – beton sebanyak 3 buah untuk diuji lentur dengan menggunakan pembebanan statik, diatas dua tumpuan sendi dan rol. Ukuran bentang $L = 360$ cm, lebar $b = 40$ cm, tebal slab beton $t = 6$ cm, serta ukuran balok kayu $b \times h = 6 \times 12$ cm. Beton yang dipergunakan adalah beton normal. Kayu yang digunakan adalah kayu bangkirai, sedangkan penghubung geser dipergunakan paku biasa diameter 5 mm panjang 120 mm (PB – 120 mm).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku komponen struktur lantai balok T komposit kayu – beton. Dari uji lentur benda uji, akan didapatkan data – data besar gaya (P) dan besar lendutan yang terjadi (Δ). Dari data $P - \Delta$ dapat dicari kekakuan komponen struktur. Data $P - \Delta$ kemudian dianalisis untuk mencari hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ), hingga dapat diperoleh faktor kekakuan (EI). Balok T komposit kayu – beton hasil penelitian ini, memiliki kekakuan (k) sebesar 1610,120 kN/m, faktor kekakuan (EI) sebesar 909,730 kNm², serta kapasitas momen sebesar 45,084 kNm, dengan beban merata maksimum sebesar 78 kN/m². Diperbandingkan dengan beban merata perencanaan rumah tinggal dan gedung tingkat rendah (2,5 kN/m²), maka balok T komposit kayu – beton layak untuk dipakai sebagai komponen struktur lantai komposit.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejalan dengan pembangunan prasarana fisik yang terus menerus dilaksanakan, pengkajian dan penelitian masalah bahan bangunan masih terus dilakukan. Karena itu masih selalu dicari dan diusahakan pemakaian jenis bahan bangunan dan model struktur yang ekonomis, mudah diperoleh, mudah pengerjaannya, mencukupi kebutuhan / kekuatan struktur dengan biaya yang relatif murah.

Struktur beton tetap menjadi struktur utama dan umum untuk keperluan berbagai konstruksi bangunan, dan dapat bernilai ekonomis untuk daerah yang melimpah serta mudah dalam mendapatkan material penyusun beton. Sedang di daerah – daerah yang jarang dan sulit untuk mendapatkan material penyusun beton, struktur beton akan menjadi mahal.

Kayu merupakan salah satu bahan bangunan yang banyak dijumpai, banyak dipakai dan relatif mudah untuk mendapatkannya. Berat jenis kayu lebih ringan bila dibanding baja ataupun beton, selain itu kayu juga mudah dalam pengerjaannya. Ditinjau dari segi struktur, kayu cukup baik dalam menahan gaya tarik, tekan, dan lentur. Ditinjau dari segi arsitektur, bangunan kayu mempunyai nilai estetika yang tinggi. Sebagai bahan bangunan yang dapat dibudidayakan

(*renewable*), kayu menjadi bahan bangunan yang relatif ekonomis.

Pada pembangunan prasarana fisik, kayu sebagai unsur bahan bangunan turut memegang peranan penting. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk menghemat penggunaan kayu sebagai bahan bangunan dan mengatasi keterbatasan ukuran kayu yang ada di pasaran, maka dilakukan kombinasi antara kayu dan beton dalam satu kesatuan struktur komposit.

Komposit kayu – beton dimungkinkan untuk menjadi alternatif pilihan, khususnya bagi daerah yang sulit mendapatkan material penyusun beton, sementara banyak terdapat bahan kayu, agar dicapai harga yang ekonomis. Sudah tentu harus diketahui, apakah komposit kayu – beton layak dan aman dipakai dalam struktur bangunan, dalam hal ini rumah tinggal sederhana.

Penelitian yang telah dilaksanakan khusus pada pemakaian bahan komposit kayu – beton, sebagai batang tekan dan sebagai batang lentur. Dengan bahan tersebut sebagai komposit dapat diperoleh sifat gabungan yang lebih baik dari sifat komponen penyusunnya. Kekuatan batang struktur kayu meningkat karena tambahan beton. sedangkan keretakan beton dapat dicegah oleh kekuatan kayu. Tegangan tekan dapat ditahan oleh lapisan beton dan tegangan tarik oleh kayu. Tulangan yang digunakan pada slab beton dapat mencegah retak susut beton.

1.2. Perumusan Masalah

Dari penjabaran diatas, dapatlah dirumuskan masalah yang ada:

- Apakah kayu dan beton dapat dipadukan menjadi suatu struktur komposit kayu–beton yang layak dan aman dipakai dalam struktur bangunan seperti rumah tinggal sederhana.

- Sampai seberapa besar kapasitas momen struktur komposit kayu beton dalam menahan beban.

1.3. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, komposit kayu – beton diharapkan dapat dipakai sebagai bahan alternatif yang tepat untuk lantai tingkat bangunan gedung bertingkat rendah 2-4 lantai, khususnya bangunan rumah susun biaya rendah, dengan kriteria; kuat, kaku, ringan, kedap suara, mudah dibuat dan ekonomis.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Memperoleh gambaran tentang kuat lentur komposit kayu – beton.
- Mengetahui kekakuan struktur komposit dari hubungan beban – lendutan ($P-\Delta$).
- Mengetahui faktor kekakuan lentur dari hubungan momen kelengkungan ($M-\Phi$).

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap terarah pada tujuannya, maka diadakan pembatasan-pembatasan sebagai berikut:

- Benda uji berupa balok T, dengan beton sebagai sayap dan kayu sebagai badan.
- Beban dianggap bekerja pada pusat geser (*shear center*) sehingga balok tidak dibebani puntiran.
- Bentang benda uji balok T komposit yang diuji adalah 3,4 meter.
- Tulangan beton dipakai tulangan polos diameter 5 mm.
- Kayu yang dipakai adalah kayu bangkirai.

- Penghubung geser yang dipakai dan diuji dalam penelitian ini adalah paku biasa (PB – 120 mm).
- Beban pengujian merupakan beban statik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kayu

Kayu mempunyai kuat tarik dan tekan relatif tinggi dan berat yang relatif rendah, mempunyai daya tahan tinggi terhadap pengaruh kimia dan listrik, dapat dengan mudah untuk dikerjakan, relatif murah, dapat mudah diganti, dan bisa didapat dalam waktu singkat (Felix, 1965).

Pemakaian kayu sebagai konstruksi dukung banyak menjadi alternatif pengganti besi dan beton bertulang. Rata – rata konstruksi kayu dengan daya dukung yang sama, harganya $\pm 25\%$ sampai 40% lebih murah dari pada konstruksi baja atau beton bertulang (Wiryomartono, 1976).

Suwandojo dan Zubaidah (1987), menyatakan bahwa kayu untuk bahan komposit harus memenuhi persyaratan antara lain berat jenis kayu kering udara = 0,5 – 0,8, bila $b_j = 0,4 - 0,5$ kayu harus diawetkan; jenis dan mutu kayu yang digunakan memiliki nilai tegangan geser searah serat $TS > 12 \text{ kg/cm}^2$; batang kayu harus lurus dan ukuran penampang seragam; batang kayu harus bebas dari cacat yang dapat membahayakan struktur; modulus elastisitas kayu mendekati sama dengan modulus elastisitas beton. Kuat lentur patah kayu atau *Modulus Of Rupture* (MOR) dan Modulus Elastisitas kayu, ditentukan dengan pengujian lentur kayu.

2.2. Beton

Beton didapat dengan mencampurkan semen, agregat halus, agregat kasar, air dan kadang – kadang campuran lain. Kekuatan beton tergantung dari banyak faktor, antara lain; proporsi dari campuran, kondisi temperatur, kelembaban dari tempat dimana campuran diletakkan dan mengeras. Rasio air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kuat tekan beton. Semakin rendah perbandingan air – semen, kuat tekan beton semakin tinggi. Rasio air tertentu diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi didalam pengerasan beton. Kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan, akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang & Salmon, 1985).

Sesuai tingkat mutu beton yang hendak dicapai, komposisi bahan susun beton harus ditentukan. Banyak metoda dapat digunakan untuk menentukan komposisi bahan susun beton, agar beton yang dihasilkan memberikan kelecakan dan konsistensi yang memungkinkan beton mudah dikerjakan, ketahanan terhadap kondisi lingkungan (kedap air, tidak korosif, tahan kebakaran dan lain – lain) serta memenuhi kekuatan yang direncanakan (Istimawan, 1994).

Kuat tekan beton relatif tinggi dibanding dengan kuat tariknya, yaitu kuat tarik beton antara 9 – 15% kuat tekannya. Selain itu, beton merupakan bahan yang bersifat getas (Kadir, 2000).

Untuk penetapan modulus elastisitas beton, penerapannya digunakan rumus – rumus empiris yang menyertakan besaran berat disamping kuat tekan beton. SK SNI T-15-1991-03 memberikan nilai modulus elastisitas beton tersebut, untuk beton ringan dan beton normal (Istimawan, 1994).

2.3. Komposit Kayu – Beton

Struktur komposit merupakan gabungan dua macam atau lebih komponen yang berbeda, digabungkan menjadi satu kesatuan. Pada umumnya komposit terdiri atas dua komponen yang menerus dengan penghubung / alat sambung. Komposit dibuat dengan maksud untuk mendapatkan sifat gabungan yang lebih baik dari sifat masing – masing komponen penyusunnya (Morisco, 1991).

Komponen struktur komposit adalah gabungan dua macam atau lebih bahan bangunan yang sama atau berbeda, yang mampu beraksi terhadap beban kerja secara satu kesatuan, sehingga kelebihan sifat masing – masing bahan yang membentuk komponen struktur komposit tersebut dapat dimanfaatkan secara maksimal. Komponen struktur lantai komposit kayu – beton adalah komposit yang terbentuk dari bahan kayu dan beton, yang digabungkan menjadi satu kesatuan dengan perantaraan alat sambung geser, sehingga mampu bereaksi terhadap beban kerja sebagai satu kesatuan, disebut sebagai Lantai Tingkat Komposit (Suwandojo dan Zubaidah, 1987).

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk menghemat penggunaan bahan bangunan, yaitu dengan cara menggabungkan kayu dan beton dalam satu kesatuan struktur komposit. Untuk tujuan ini, diperlukan alat sambung geser dengan memanfaatkan kelebihan sifat mekanik masing – masing bahan secara maksimal, akan didapat struktur gabungan yang lebih kuat dibandingkan dengan masing – masing bahan penyusunnya. Lantai komposit kayu – beton dapat dimanfaatkan untuk bangunan sederhana seperti rumah tinggal, rumah susun, kantor, gedung sekolah. Lapis beton merupakan sayap (flens) pada struktur

komposit tersebut, berfungsi sebagai bagian yang menahan gaya desak, sedangkan kayu merupakan bagian badan yang dimanfaatkan untuk menahan gaya tarik. Kedua bahan tersebut merupakan satu kesatuan struktur komposit yang kaku. Kekuatan dan kekakuan struktur, dinyatakan dalam hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi. Angka kekakuan (EI) penampang komposit, banyak ditentukan oleh faktor mutu bahan pembentuk komposit, kuat tekan beton serta modulus elastisitas kayu dan beton. Nilai modulus elastisitas beton, mendekati sama dengan nilai modulus elastisitas kayu dan modular rasio (n) menyatakan perbandingan antara modulus elastisitas keduanya. Tergantung dari konfigurasi penampang lantai komposit, khususnya suatu lajur balok T komposit yang ditinjau, maka 3 kemungkinan kasus akan terjadi, yaitu garis netral jatuh didalam sayap beton, garis netral tepat pada bidang kontak/kampuh, atau garis netral jatuh pada badan kayu (Suwandojo dan Zubaidah, 1987).

2.4. Penghubung Geser

Penghubung geser adalah alat sambung mekanik yang berfungsi sebagai penahan gaya geser dan gaya angkat yang timbul pada bidang kampuh dari bahan – bahan yang membentuk komponen komposit (Suwandojo dan Zubaidah, 1987).

Beton dan kayu merupakan dua bahan bangunan yang berbeda sifat mekanis dan fisiknya. Beton merupakan bahan konstruksi anorganis material yang kuat menahan gaya desak tetapi lemah terhadap gaya tarik, sedangkan kayu merupakan organis material yang peka terhadap lembab atau kadar air yang dikandungnya, dan mempunyai kuat tarik dan tekan yang hampir sama. Bila dua bahan tersebut disatukan dengan cara tertentu, yaitu dengan menggunakan

penghubung geser yang sesuai, maka keduanya akan menyatu dan mampu beraksi sebagai komponen struktur komposit. Agar aksi komposit dapat tercipta dengan sempurna, maka pada kampuh atau bidang kontak antara dua bahan kayu dan beton tidak boleh terjadi geser (*slip*), dan atau pemisahan (*uplift*). Untuk itu pada bidang kampuh harus dipasang alat sambung (*shear connector*) yang mampu menahan *slip* dan *uplift*. Jumlah dan penempatan penghubung geser harus disesuaikan dengan besar gaya geser yang akan timbul pada bidang kampuh kayu beton. Panjang penghubung geser yang tertanam dalam kayu, dua kali panjang penghubung geser yang tertanam dalam sayap beton (Suwandojo dan Zubaidah, 1987).

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1. Pelat Beton

Mengacu kepada SK SNI T-15-1991-03, modulus elastisitas beton berbobot normal didekati dengan persamaan:

$$E_c = w_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (3.1)$$

dengan E_c menyatakan modulus elastisitas beton., w_c merupakan berat isi beton (kg/m^3) dan f'_c adalah kuat desak silinder beton (MPa).

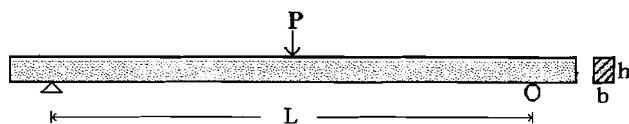
Persamaan (3.1) berlaku untuk beton dengan berat isi antara 1500 sampai 2500kg/m^3 . Beton normal, boleh dipakai rumus:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \dots \dots \dots (3.2)$$

Tampak bahwa modulus elastisitas merupakan fungsi kuat desak atau density (berat isi) beton tersebut. Semakin besar kuat desak atau density, maka semakin besar nilai modulus elastisitas beton.

3.2. Kayu

Mengacu pada Suwandojo dan Zubaidah (1987), kuat lentur patah kayu atau *Modulus Of Rupture* (MOR) ditentukan pada pengujian lentur kayu dengan beban terpusat ditengah bentang, yang dijelaskan pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1. Model pengujian kuat lentur patah kayu (MOR).

Momen maksimum dengan model pembebanan seperti pada Gambar 3.1 dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$M_{\text{maks}} = \frac{1}{4} PL \dots \dots \dots (3.3)$$

dengan P adalah beban dan L adalah panjang bentang.

Tahanan momen balok berpenampang persegi adalah:

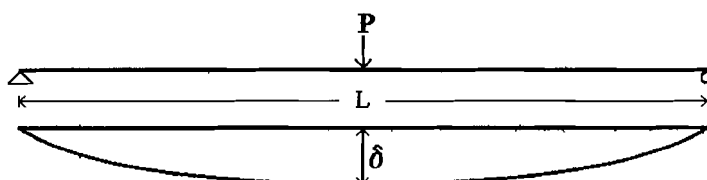
$$W = \frac{1}{6} bh^2 \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan b adalah lebar balok uji dan h adalah tinggi balok uji.

$$\text{Kuat lentur patah kayu (MOR)} = \frac{M_{\text{maks}}}{W} \dots \dots \dots (3.5)$$

dengan M adalah momen maksimum dan W adalah tahanan momen.

Mengacu pada penelitian Suwandojo dan Zubaidah (1987), modulus elastisitas kayu (E_w) ditentukan dengan pengujian lentur balok dengan beban terpusat ditengah bentang, sesuai Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2. Beban dan lendutan benda uji.

Nilai E_w ditentukan dengan persamaan lendutan untuk balok yang menerima beban terpusat ditengah bentang, yaitu:

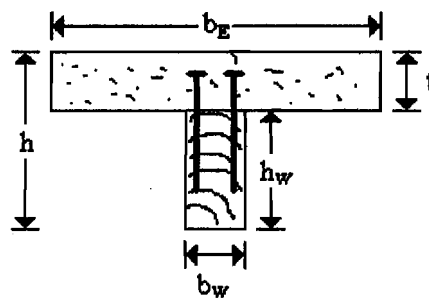
$$\delta = \frac{PL^3}{48E_w I}$$

$$\diamond E_w = \frac{PL^3}{48 I \delta} \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan P adalah gaya yang bekerja, L panjang bentang, I inersia kayu dan δ adalah lendutan ditengah bentang.

3.3. Balok Komposit Kayu – Beton

Mengacu pada Suwandojo dan Zubaidah (1987), komposit kayu – beton merupakan struktur gabungan antara kayu sebagai badan, dan beton sebagai sayap yang mampu beraksi terhadap beban kerja secara satu kesatuan.



Gambar 3.3. Penampang balok komposit.

Penampang komposit kayu – beton diperlihatkan pada Gambar 3.3 seperti diatas, b_E merupakan lebar efektif, h adalah tinggi total penampang, t tebal beton, h_w tinggi kayu dan b_w adalah lebar kayu.

3.3.1. Lebar Efektif (b_E)

SK SNI T-15-1991-03 memberikan pembatasan lebar sayap efektif untuk balok T dan diambil nilai terkecil dari:

- (1) $b_E \leq L/4$
- (2) $b_E \leq b_o$
- (3) $b_E \leq b_w + 16t \dots\dots\dots (3.7)$

dengan L adalah panjang bentang, b_o adalah jarak pusat ke pusat antar balok, b_w merupakan lebar kayu dan t adalah tinggi sayap beton.

Apabila tidak diketahui jarak antar balok (b_o), maka persamaan yang dipakai hanyalah persamaan (1) dan (3).

3.3.2. Rasio Modular (n) dan Lebar Transformasi (b_{tr})

Rasio modular (n) adalah nilai rasio antara modulus elastisitas beton dengan modulus elastisitas kayu. Menghitung lebar transformasi dengan cara mentransformasikan lebar efektif dengan menggunakan rasio modular (n):

$$n = \frac{E_c}{E_w} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan E_c modulus elastisitas beton dan E_w modulus elastisitas kayu. Persamaan (3.8) merupakan persamaan dalam tahap elastis.

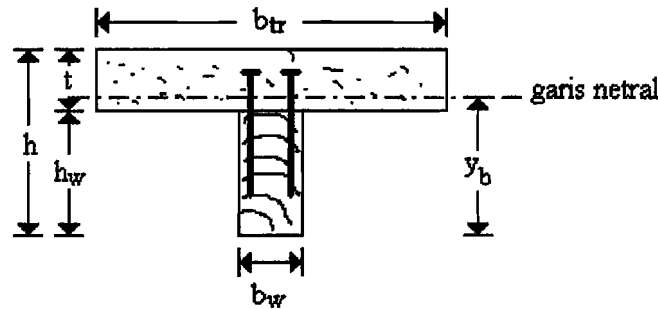
Lebar transformasi (b_{tr}) dari bahan beton menjadi bahan kayu, didapat dengan mengalikan persamaan (3.8) diatas dengan lebar efektifnya sehingga:

$$b_{tr} = n \cdot b_E \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan menggunakan lebar transformasi, bahan dianggap homogen sehingga dapat langsung dihitung statis momen/garis netral dan inersia tampang.

3.3.3. Garis Netral Tampang Balok

Garis netral tampang balok dapat dicari dengan cara menghitung statis momen tampang (lihat Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Garis netral tampang.

Statis momen apabila dihitung dari serat tepi terbawah:

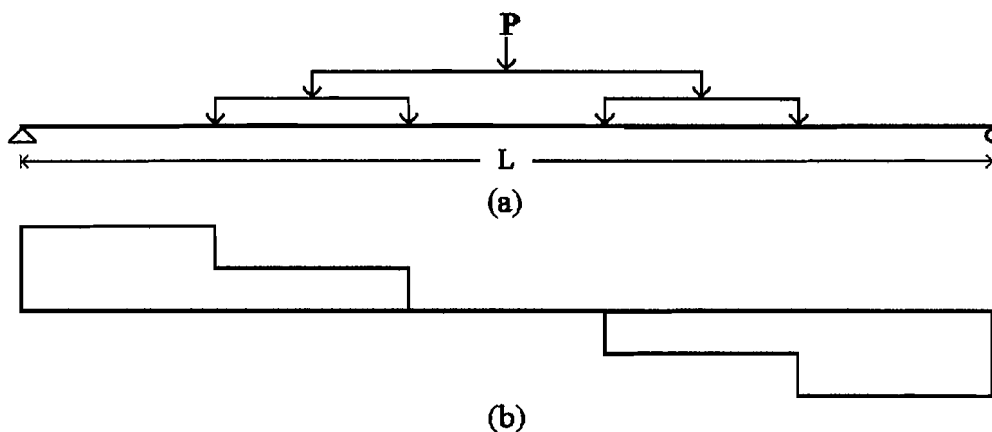
$$y_b = \frac{b_{tr} \cdot t (h - \frac{1}{2}t) + b_w \cdot h_w (\frac{1}{2}h_w)}{b_{tr} \cdot t + b_w \cdot h_w} \dots\dots\dots(3.10)$$

Persamaan (3.10) menunjukkan letak garis netral tampang diukur dari serat tepi terbawah. Dengan mengetahui letak garis netral ini, maka dapat dihitung inersia penampang komposit (I), maka:

$$I = \frac{1}{12} b_{tr} \cdot t^3 + b_{tr} \cdot t (h - \frac{1}{2}t - y_b)^2 + \frac{1}{12} b_w \cdot h_w^3 + b_w \cdot h_w (y_b - \frac{1}{2}h_w)^2 \dots\dots\dots(3.11)$$

3.4. Penghubung Geser

Untuk menghitung jumlah kebutuhan penghubung geser, dapat dijelaskan sebagai berikut (lihat Gambar 3.5):



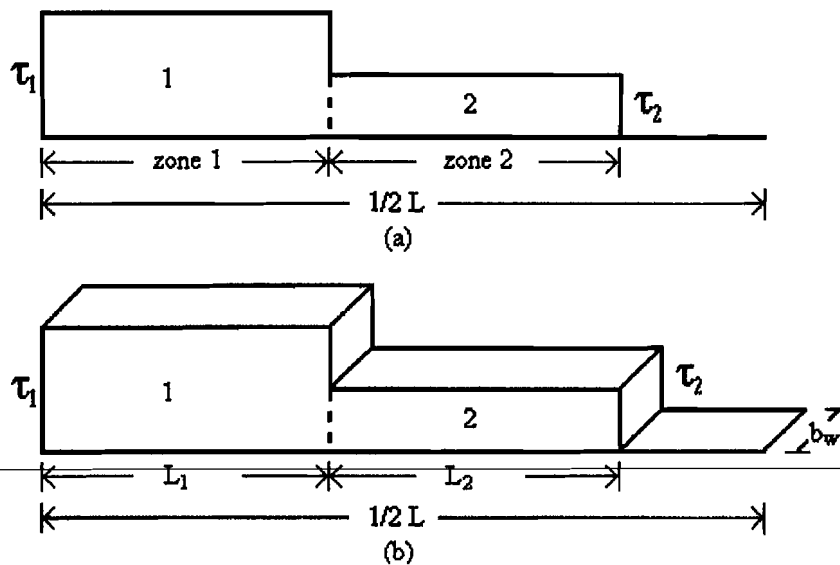
Gambar 3.5. (a) Pembebanan struktur.
(b) Diagram gaya lintang balok.

Gambar 3.5 (b) memperlihatkan diagram gaya lintang (SFD) balok yang dibebani dengan beban – beban terpusat seperti terlihat pada Gambar 3.5 (a).

Tegangan geser yang terjadi pada balok lentur komposit, dihitung dengan:

$$\tau = \frac{D.S}{I.b_w} \dots\dots\dots(3.12)$$

dengan D, S, I dan b_w berturut – turut menyatakan gaya lintang balok, statis momen yang ditinjau, momen inersia balok dan lebar badan balok. Distribusi tegangan geser balok yang memikul beban seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 (a), disajikan pada Gambar 3.6 (a) berikut (untuk $\frac{1}{2}$ bentang):



Gambar 3.6. (a) Distribusi tegangan geser balok untuk $\frac{1}{2}$ bentang.
 (b) Nilai gaya geser pada zone 1 dan zone 2.

Gaya geser tiap zone (V), merupakan volume tiap zone seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6 (b), sehingga:

$$V_i = \tau_i L_i b_w \dots\dots\dots(3.13)$$

dengan L_i adalah panjang zone i , τ_i adalah tegangan geser zone i dan b_w adalah lebar badan balok.

a. Momen Batas pada Tegangan Ijin

Mengacu pada Suwandojo dan Zubaidah (1987), tegangan – tegangan ijin untuk:

$$\text{Beton : } F_c = f'c/3 \dots \dots \dots (3.15)$$

$$\text{Kayu : } F_w = f_w/2,74 \dots \dots \dots (3.16)$$

$$I_{ef} = \Phi \cdot I_o, \text{ dengan } \Phi = 0,90 \dots \dots \dots (3.17)$$

$$\text{Momen batas beton } (M_c) = \frac{F_c \times I_{ef}}{y} \dots \dots \dots (3.18)$$

$$\text{Momen batas kayu } (M_w) = \frac{F_w \times I_{ef}}{(h - y)} \dots \dots \dots (3.19)$$

Momen lentur batas balok lantai komposit ditentukan oleh nilai terkecil dari persamaan (3.18) dan persamaan (3.19).

b. Momen Batas pada Batas Proporsional

Mengacu pada Suwandojo dan Zubaidah (1987), tegangan – tegangan ijin pada batas proporsional:

$$F_c = (2/3) f'c \dots \dots \dots (3.20)$$

$$F_w = (3/4) \text{ MOR} \dots \dots \dots (3.21)$$

$$I_{ef} = \emptyset \times I_o, \quad \emptyset = 0,80 \dots \dots \dots (3.22)$$

Momen lentur lantai komposit ditentukan oleh persamaan berikut :

1. Momen lentur rencana yang ditentukan oleh tegangan kayu :

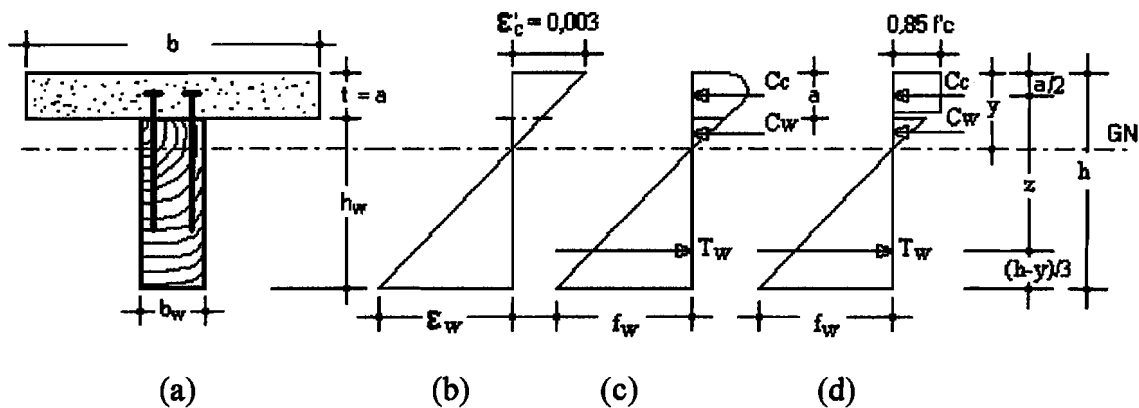
$$M_w = F_w \times I_{ef} / (h - y) = (3/4) \text{ MOR} \times I_{ef} / (h - y) \dots \dots \dots (3.23)$$

2. Momen lentur rencana yang ditentukan oleh kuat tekan beton :

$$M_c = F_c \times I_{ef} / y = (2/3) f'c \times I_{ef} / y \dots \dots \dots (3.24)$$

Besar momen lentur batas Lantai Tingkat Komposit (LTK) pada batas proposional, ditentukan oleh nilai terkecil dari persamaan (3.23) dan persamaan (3.24).

3.5.2. Momen Batas pada Tahap Kekuatan Batas (*Ultimate Strength*)



Gambar 3.8. Distribusi regangan dan tegangan penampang lantai komposit tahap in elastis.

Penampang komposit yang menerima lentur ditunjukkan pada Gambar 3.8 (a), regangan yang terjadi disajikan pada Gambar 3.8 (b), distribusi tegangan yang sesungguhnya disajikan pada Gambar 3.8 (c), sedangkan distribusi tegangan blok tekan ekuivalen disajikan pada Gambar 3.8 (d), dengan tegangan untuk blok ekuivalen diambil $0,85 f'c$.

Tegangan rencana bahan:

Beton : $F_c = 0,85 f'c$

Kayu : $F_w = 0,80 \text{ MOR}$

Mengacu pada Gambar 3.8 (d), maka gaya desak pada blok tegangan beton desak ekuivalen C_c :

$$C_c = 0,85 f'c \times a \times b_w \dots \dots \dots (3.25)$$

dengan a adalah tinggi stressed block (tinggi blok yang mengalami tekan).

Gaya tarik ultimate pada badan kayu;

$$T_w = \{b_w \times (h_w + t - y) \times (0,8 \text{ MOR})\} / 2 \dots\dots\dots(3.26)$$

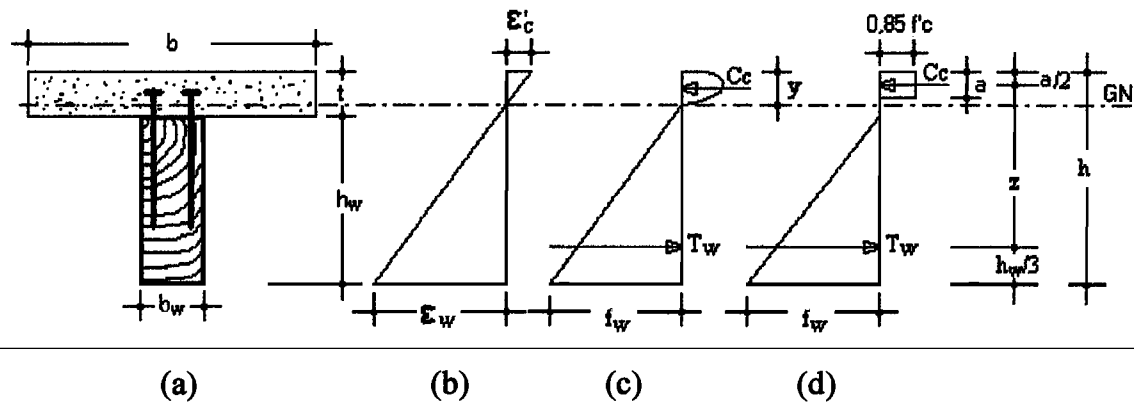
Penampang komposit dalam keadaan seimbang, maka besar gaya tekan beton C_c sama dengan besar gaya tarik kayu T_w .

$$C_c = T_w \dots\dots\dots(3.27)$$

Sedangkan nilai a (tinggi blok tekan) memiliki 3 kemungkinan (Suwandojo dan Zubaidah, 1987):

1. Kemungkinan 1, $a <$ tebal sayap beton t

Jika garis netral ada pada beton, maka tinggi blok tegangan beton – desak $a <$ t



Gambar 3.9. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit, dengan $a <$ t .

Dari persamaan (3.25) dan (3.26) serta mengacu pada Gambar 3.9 (d), maka :

$$a = \frac{\{b_w \times h_w \times (0,8 \text{ MOR})\} / 2}{b_r \times 0,85 f'c} \dots\dots\dots(3.28)$$

$C_c = T_w$, terjadi kopel momen dengan lengan z (lihat Gambar 3.9. (d))

Tegangan tarik pada beton dibawah garis netral diabaikan, lengan momen dalam :

$$z = h - (a/2 + h_w/3) \text{ atau}$$

$$z = (2/3)h_w + t - a/2 \dots \dots \dots (3.29)$$

Momen nominal:

$$M_{n,w} = T_w \times z \dots \dots \dots (3.30)$$

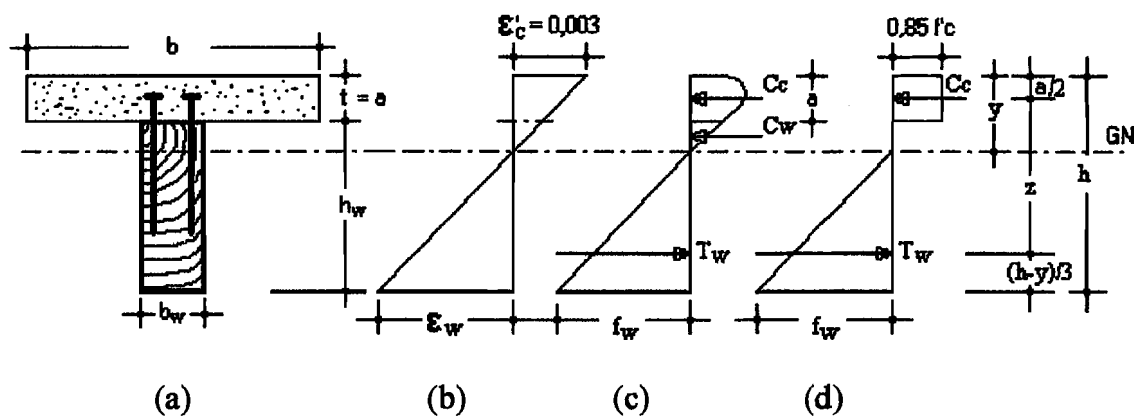
$$M_{n,c} = C_c \times z \dots \dots \dots (3.31)$$

Nilai Mn diambil yang terkecil dari persamaan (3.30) dan persamaan (3.31).

Daya dukung rencana $M_u = \phi \times M_n$, dengan $\phi = 0,80$

2. Kemungkinan 2, $a = t$

Garis netral ada pada badan kayu, dan $a = t$



Gambar 3.10. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit dengan $a = t$.

Dari Gambar 3.10 (d) :

$$C_c = 0,85 f'_c \times t \times b_{tr} \text{ dan } T_w = \frac{1}{2} b_w (h - y) \times (0,8 \text{ MOR}) \dots \dots \dots (3.32)$$

Karena keseimbangan gaya dalam $C_c = T_w$, maka tinggi posisi garis netral y, diukur dari serat tertekan :

$$y = a / 0,80 \dots \dots \dots (3.33)$$

$$h - y = \frac{0,85 f'_c \cdot t \cdot b_{tr}}{\frac{1}{2} b_w (0,80 \text{ MOR})} \dots \dots \dots (3.34)$$

disederhanakan menjadi:

$$y = h - \{(b_{tr} \times t) / b_w \times 2,125 f'c / (MOR)\} \dots\dots\dots(3.35)$$

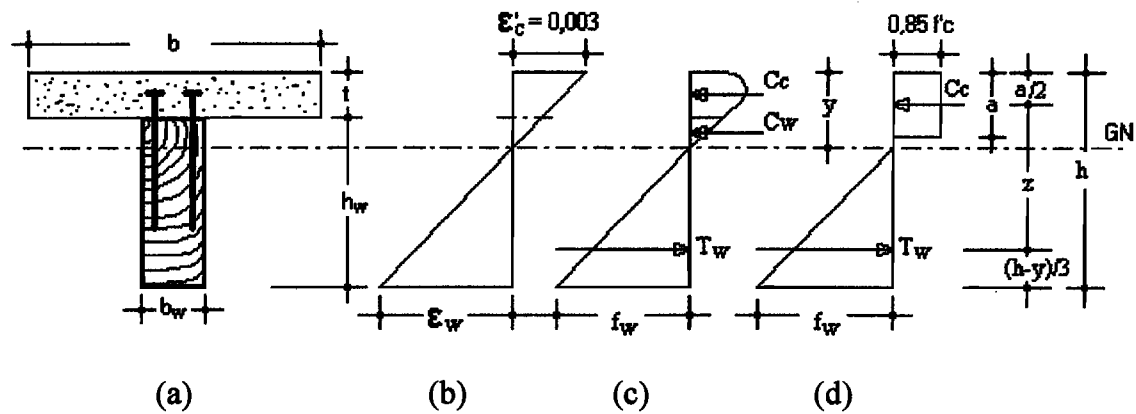
Dari Gambar 3.10 (d) lengan momen dalam:

$$z = h - t/2 - (h - y) / 3, \text{ disederhanakan:}$$

$$z = 1/6 \times (4h - 3t + 2y) \dots\dots\dots(3.36)$$

$$\text{Momen ultimit } Mu = \phi [C_c \times z] = \phi [T_w \times z], \text{ dengan } \phi = 0,80 \dots\dots\dots(3.37)$$

3. Kemungkinan 3, $a > t$



Gambar 3.11. Distribusi regangan, tegangan dan keseimbangan gaya dalam, penampang lantai komposit, dengan $a > t$.

Memperhatikan Gambar 3.11 (d), $a > t$, berarti garis netral jatuh di badan.

Bagian badan yang tertekan diabaikan. Gaya tarik penampang bagian badan kayu yang tertarik T_w dapat ditentukan:

$$T_w = (h - y) b_w \times 0,80 MOR \dots\dots\dots(3.38)$$

Gaya tekan di sayap :

$$C_c = b_{tr} \times t \times 0,85 f'c \dots\dots\dots(3.39)$$

$$y = (h_w + t) - \frac{b_{tr} \times t \times 0,85 f'c}{1/2 b_w (0,80 MOR)} \dots\dots\dots(3.40)$$

Lengan momen dalam :

$$z = 1/6 \times (4h - 3t + 2y) \dots \dots \dots (3.41)$$

$$M_u = \phi C_c \times z = \phi T_w \times z \dots \dots \dots (3.42)$$

dengan $\phi = 0,80$.

Dari 3 kemungkinan nilai a diatas, dapat dilihat diagram tegangan yang berbeda – beda. Terlihat pada gambar bagian (d), semakin besar nilai a , semakin besar luasan blok tegangan beton desak ekivalen, yang berarti semakin besar gaya tekan beton yang terjadi.

3.5.3. Kapasitas Momen

Kapasitas momen balok komposit dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M_{kap} = \phi (C_c \times z) \text{ atau } \phi (T_w \times z) \dots \dots \dots (3.43)$$

dengan: $C_c = b_r \times t \times F_c$; $F_c = 0,85 f'_c$

$T_w = 1/2 (h - y) \times b_w \times F_w$; $F_w = 0,90 \text{ MOR}$

$\phi = 0,70$; $z = 1/6 (4h - 3t + 2y)$

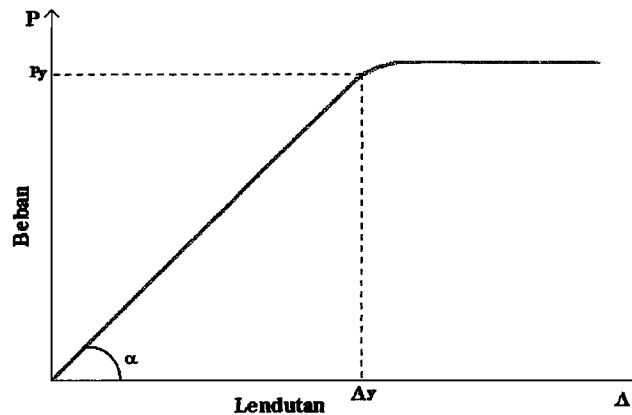
$$y = (h_w + t) - \frac{b_r \times t \times 0,85 f'_c}{1/2 b_w (0,90 \text{ MOR})} \dots \dots \dots (3.44)$$

3.6. Kekakuan dan Faktor Kekakuan Struktur

3.6.1. Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ)

Pembebanan transversal pada balok akan mengakibatkan penurunan (defleksi). Dari hasil pengujian, didapat data beban dan lendutan. Rasio antara beban (P) dan lendutan (Δ) dalam keadaan linier menunjukkan kekakuan struktur. Dari setiap pembebanan dan lendutan yang terjadi, maka dapat dibuat grafik yang

menggambarkan beban – lendutan, yang mempunyai bentuk seperti Grafik 3.1 berikut:



Grafik 3.1. Hubungan beban (P) dan lendutan (Δ)

$$\operatorname{tg} \alpha = P_y / \Delta_y \dots \dots \dots (3.45)$$

$$k = \operatorname{tg} \alpha \dots \dots \dots (3.46)$$

$$\text{maka: } k = P_y / \Delta_y \dots \dots \dots (3.47)$$

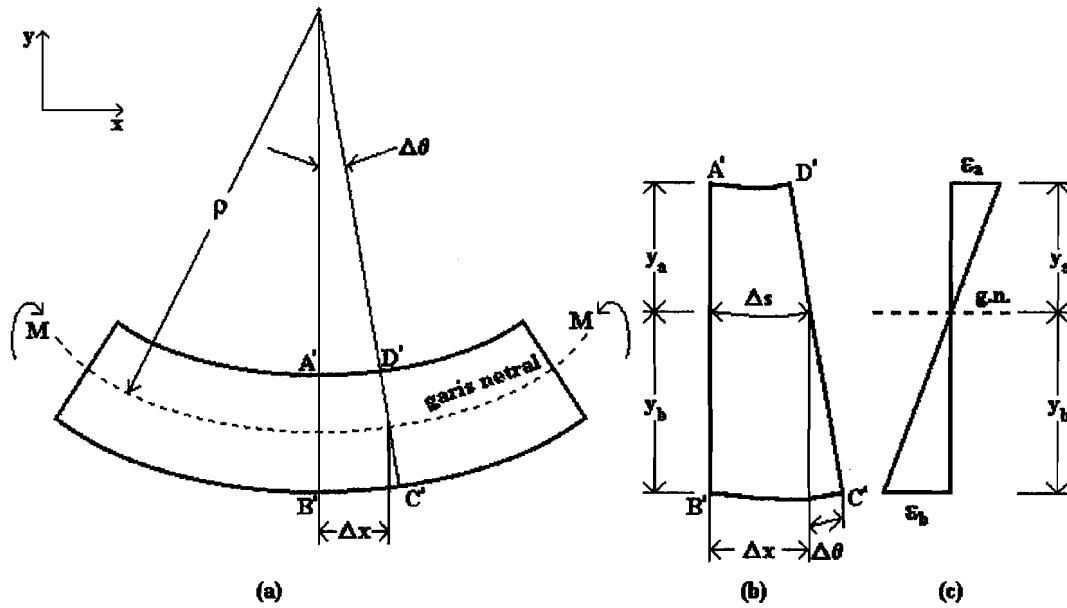
Pada uji pembebanan, setelah P leleh atau P patah dilampaui, maka kekakuan struktur akan menurun, seperti terlihat pada Grafik 3.1. diatas.

3.6.2. Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)

a. Metode Kelengkungan Balok Teoritis

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen kelengkungan. Menurut Park and Paulay (1975), dan Popov (1978), setelah dimodifikasi sesuai dengan penelitian ini, kelengkungan teoritis dapat dijelaskan dengan Gambar 3.12 yang merupakan elemen dari sebuah balok dengan momen – momen ujung dan gaya aksial. Jari – jari kelengkungan ρ diukur dari garis netral. Kelengkungan sebuah balok dapat diperoleh dengan

mengukur regangan tepi atas / bawah, kemudian membagi dengan tinggi netral, dalam hal ini akan digunakan untuk perhitungan kelengkungan balok teoritis.



Gambar 3.12. Kelengkungan balok.

Gambar 3.12 (a) merupakan elemen sebuah balok yang menerima lentur, Gambar 3.12 (b) merupakan elemen kecil dari balok lentur (a) dan Gambar 3.12 (c) adalah diagram regangan balok. Dari Gambar 3.12 didapat:

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\epsilon_a \cdot dx}{y_a} = \frac{\epsilon_b \cdot dx}{y_b} \dots\dots\dots(3.48)$$

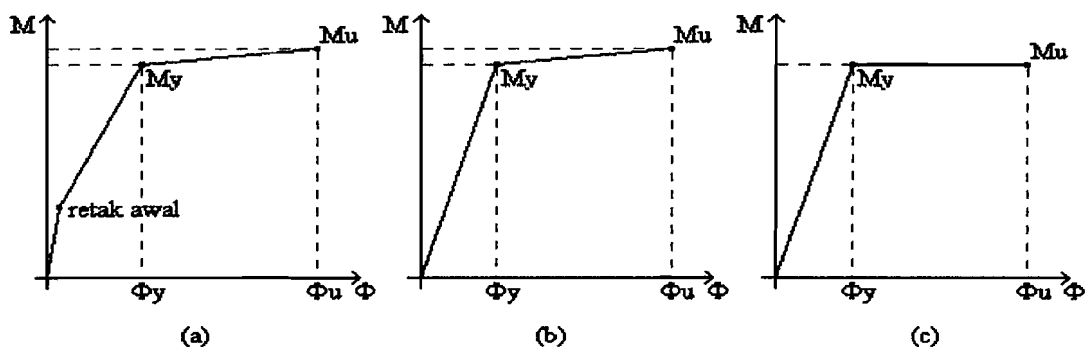
$$\frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_a}{y_a} = \frac{\epsilon_b}{y_b} \dots\dots\dots(3.49)$$

dengan: $\frac{1}{\rho} = \Phi$

$$\text{maka: } \Phi = \frac{\epsilon_a}{y_a} = \frac{\epsilon_b}{y_b} \dots\dots\dots(3.50)$$

dengan Φ , ϵ_a , ϵ_b , y_a dan y_b berturut – turut menyatakan kelengkungan, regangan tekan, regangan tarik, jarak garis netral ke tepi atas dan jarak garis netral ke tepi bawah.

Menurut Park and Paulay (1975), momen kelengkungan teoritis balok dianalisis pada beberapa kondisi, yaitu kondisi elastis (retak awal), kondisi mulai leleh / batas proporsional dan kondisi ultimit. Kurva momen kelengkungan dapat dilihat pada Grafik 3.2 berikut:



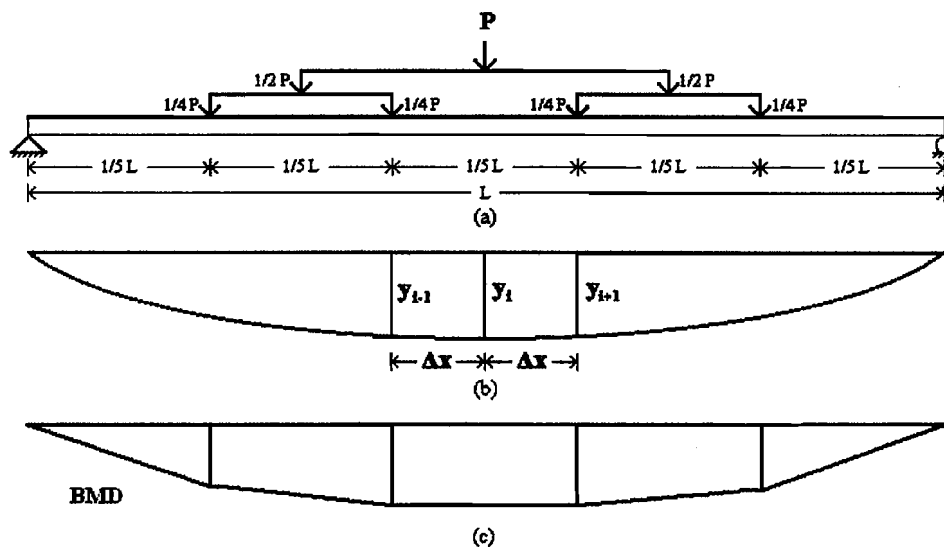
Grafik 3.2. Momen kelengkungan

Grafik 3.2 (a) menunjukkan kurva momen kelengkungan tri–linier balok, sedangkan Grafik 3.2 (b) dan Grafik 3.2 (c) menunjukkan kurva momen kelengkungan bi–linier balok.

b. Metode Pendekatan Kelengkungan Balok

Pada uji pembebanan balok, sumbu balok yang semula lurus, akan menjadi garis lengkung, sehingga dihasilkan nilai momen dan kelengkungan garis. Kelengkungan pada suatu titik dapat dicari dari 3 buah titik yang berurutan (y_{i+1} , y_i , y_{i-1}). Dari lendutan, dengan mengukur (y_{i+1} , y_i , y_{i-1}), maka dapat dicari kelengkungan yang akan digunakan pada penelitian ini.

Menurut Widodo (1997), kelengkungan struktur diturunkan dari data perpindahan titik garis lengkung dengan metode *Central Difference*, dengan keterangan Gambar 3.13 berikut:



Gambar 3.13. Momen kelengkungan balok

Gambar 3.13 (a) menunjukkan pembebanan balok, Gambar 3.13 (b) adalah lendutan yang terjadi sedangkan Gambar 3.13. (c) adalah diagram momen yang terjadi.

Kemiringan (*slope*) didekati dengan persamaan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \dots\dots\dots(3.51)$$

Turunan dari persamaan (3.51) adalah:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(3.52)$$

Menurut Popov (1978), kelengkungan di dekati dengan:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} \dots\dots\dots(3.53)$$

dengan $\frac{1}{\rho}$ adalah kelengkungan atau Φ , sehingga Φ balok dapat di dekati

dengan:

$$\Phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots(3.54)$$

Nilai momen maksimum balok sederhana yang menerima beban seperti pada Gambar 3.13 (c) adalah:

$$M = 1/2P \cdot 2/5L - 1/4P \cdot 1/5L = 3/20 PL \dots\dots\dots(3.55)$$

Menurut Gere dan Timoshenko (1987), hubungan faktor kekakuan (EI), momen (M) dan kelengkungan (Φ) adalah:

$$\Phi = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.56)$$

dengan Φ , M dan EI berturut – turut menyatakan kelengkungan, momen dan faktor kekakuan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Bahan

Bahan utama pembentuk komponen lantai komposit kayu – beton adalah beton, kayu, dan penghubung geser.

4.1.1. Beton

Beton yang dipergunakan adalah beton normal, yang dibuat dengan berpedoman pada metode American Concrete Institute (ACI). Sebagai penyusun beton, dipergunakan bahan – bahan sebagai berikut:

1. Semen

Semen yang dipergunakan adalah semen Portland (PC) jenis I, merk Nusantara dengan berat satuan @ 50 kg sebagai perekat adukan. Semen tersebut harus dalam keadaan baik, berbutir halus, tidak mengeras / menggumpal.

2. Agregat halus

Agregat halus merupakan butiran pasir yang lolos saringan 5mm. Pasir yang dipergunakan harus pasir yang bersih, bebas dari bahan organik, lempung ataupun kotoran – kotoran lainnya.

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari lereng Gunung Merapi, Yogyakarta.

3. Agregat kasar

Agregat kasar berupa krikil, yang lolos saringan 20 mm dan tertahan saringan 5 mm. Krikil tersebut kemudian dibersihkan / dicuci terlebih dahulu, sehingga terbebas dari bahan – bahan organik, lempung ataupun kotoran – kotoran lainnya.

Krikil yang dipergunakan dalam penelitian ini berasal dari lereng Gunung Merapi, Yogyakarta.

4. Air

Air sebagai bagian dari campuran adukan beton, merupakan air yang jernih dan bersih dari berbagai kotoran.

Air yang dipergunakan pada penelitian ini, diambil dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4.1.2. Kayu

Kayu yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah kayu Bangkirai. Pada bahan uji komposit kayu – beton, kayu berfungsi sebagai penahan gaya tarik. Kayu harus lurus, diusahakan berserat lurus dan bebas dari cacat seperti mata kayu dan retak – retak kayu.

4.1.3. Penghubung Geser

Penghubung geser yang digunakan pada benda uji komposit kayu – beton adalah paku biasa dengan diameter 5 mm dan panjang 120 mm (PB – 120). Paku tersebut berfungsi sebagai penahan geser (*slip*) dan juga pemisahan (*uplift*) antara dua bahan; kayu dan beton.

4.1.4. Baja Tulangan

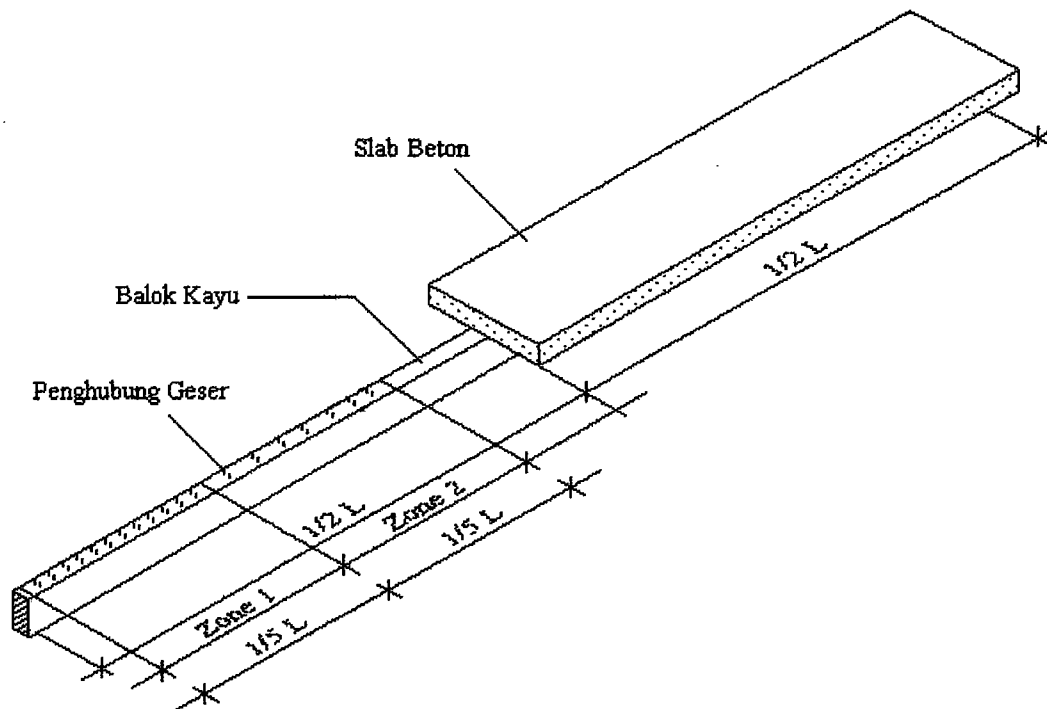
Baja tulangan dipakai baja tulangan polos berdiameter 5 mm, disusun memanjang dan melintang pada slab beton. Fungsi baja tulangan tersebut adalah sebagai kerangka dan penguat slab beton.

4.2. Benda Uji

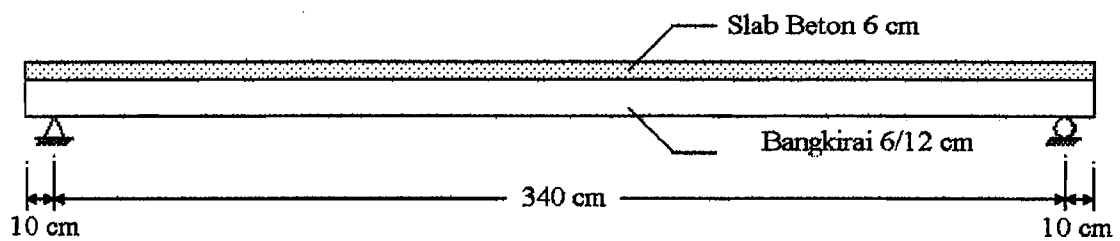
Benda uji dalam penelitian ini adalah benda uji balok T komposit kayu – beton sebagai benda uji utama, serta benda uji lainnya yaitu benda uji silinder beton, benda uji balok kayu dan benda uji geser paku, kayu – beton.

4.2.1. Benda Uji Balok T Komposit Kayu – Beton

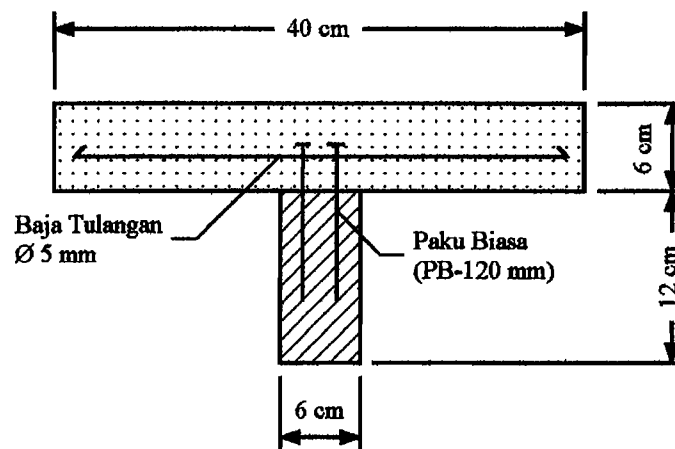
Pada penelitian ini, dibuat benda uji balok T Komposit kayu – beton sebanyak 3 buah untuk diuji lentur, dengan ukuran bentang total $L = 360$ cm, lebar $b = 40$ cm, tebal slab beton $t = 6$ cm serta ukuran balok kayu $b \times h = 6 \times 12$ cm. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.1. Benda uji balok T Komposit Kayu – Beton



Gambar 4.2. Potongan memanjang balok T Komposit Kayu – Beton



Gambar 4.3. Potongan melintang balok T Komposit Kayu – Beton

4.2.2. Silinder Beton

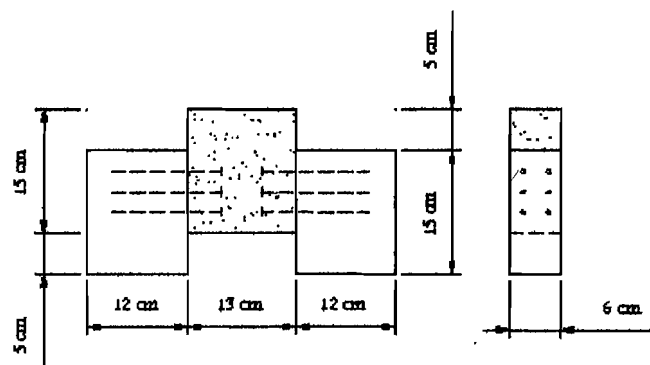
Silinder beton dibuat sebanyak 5 buah dengan ukuran tinggi $t = 30$ cm serta diameter $d = 15$ cm. Beton yang dipakai adalah beton normal yang dibuat dengan berpedoman pada American Concrete Institute (ACI). Hitungan “mix design” dapat dilihat pada lampiran 6 halaman 73. Silinder diuji desak untuk mengetahui nilai kuat tekan beton yang dibuat.

4.2.3. Benda Uji Kayu Lentur

Kayu yang dipakai adalah kayu bangkirai. Dibuat 5 buah potongan balok kayu dengan ukuran panjang $L = 70$ cm, serta penampang $b \times h = 3 \times 6$ cm untuk diuji lentur, untuk mengetahui kuat lentur patah kayu atau *Modulus of Rupture* (MOR) kayu.

4.2.4. Benda Uji Geser Paku, Komposit Kayu – Beton

Dibuat benda uji geser paku kayu – beton sebanyak 5 buah, untuk diuji geser, ukuran kayu $6 \times 12 \times 15$ cm, ukuran beton $6 \times 13 \times 15$ cm. Paku yang ditanam sebanyak 12 batang untuk satu benda uji. Uji geser dilakukan untuk mengetahui kuat geser satu buah paku pada komposit kayu – beton, seperti terlihat pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4. Benda uji geser paku, komposit kayu – beton

4.3. Alat yang Digunakan

4.3.1. Alat Adukan Beton

1. Ayakan

Ayakan digunakan untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil. Untuk pasir, digunakan lolos ayakan 5 mm. Sedangkan ukuran ayakan untuk memisahkan fraksi – fraksi dalam pasir adalah: 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; dan 0,15 mm. Sedangkan kerikil dipakai lolos ayakan 20 mm dan tertahan 5 mm.

2. Cetok

Cetok dipergunakan untuk mengambil dan memasukkan adukan beton ke dalam cetakan silinder beton ataupun bekisting benda uji.

3. Talam Baja

Talam baja dipergunakan untuk menampung sementara adukan beton yang dikeluarkan dari mesin pengaduk beton.

4. Kerucut Abrams

Kerucut abrams dipergunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton. Tinggi kerucut 30 cm, diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm. Dilengkapi dengan alat penumbuk berupa batang besi, panjang 60 cm dan diameter 16 mm.

5. Mesin Pengaduk Beton

Mesin pengaduk beton dipergunakan untuk mencampur dan mengaduk bahan susun beton yaitu semen, pasir, kerikil dan air, sehingga dihasilkan campuran adukan beton yang homogen.

4.3.2. Alat Pengukur

1. *Timbangan*

Dipergunakan untuk menimbang bahan susun adukan beton (semen, pasir, kerikil dan air) dalam komposisi yang dikehendaki. Timbangan bermerk Fa Gani, dengan kapasitas timbangan 500 kg.

2. *Mistar / Meteran*

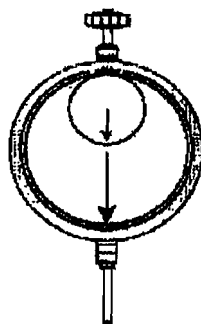
Dipergunakan untuk mengukur dimensi benda uji.

3. *Kaliper*

Kaliper dipergunakan untuk mengukur diameter tulangan, diameter silinder beton, dan ketinggian silinder beton.

4. *Dial Gauge*

Adalah alat pengukur besarnya lendutan yang terjadi. Kapasitas ukur maksimum lendutan 30 mm dan 50 mm dengan ketelitian 0,01 mm. Merk Mitutoyo, buatan Jepang, seperti terlihat pada Gambar 4.5 berikut ini:

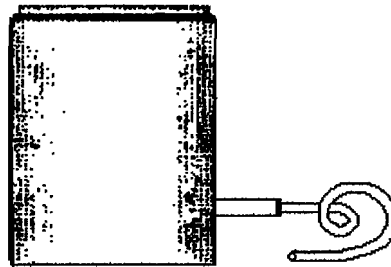


Gambar 4.5. Dial Gauge

5. *Transducer*

Transducer dipergunakan sebagai alat penerjemah / pendeteksi besarnya beban yang sedang bekerja, untuk kemudian ditransfer dan disajikan pada

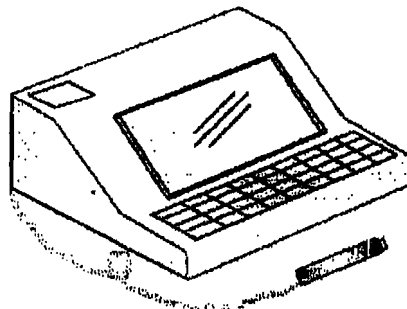
calibration tester. Kapasitas pembacaan sampai dengan 200 kN. Alat tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6. Transducer

6. Calibration Tester

Merupakan perangkat digital dengan layar, sebagai alat penyaji pembacaan beban yang sedang bekerja dari transducer (lihat Gambar 4.7).



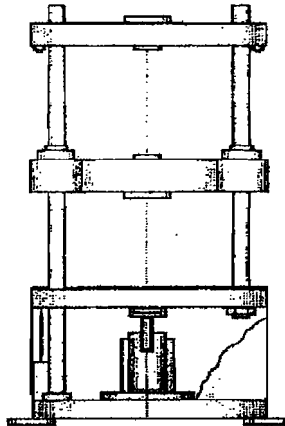
Gambar 4.7. Calibration Tester

4.3.3. Alat Mesin Uji

1. Mesin Uji Kuat Tarik / Tekan

Mesin ini dipergunakan untuk mengetahui kuat tarik baja tulangan, kuat tarik kayu/ tekan lentur kayu dan tekan geser.

Mesin yang digunakan adalah Universal Testing Material (UTM) merk Shimatzu type UMH 30 kapasitas 30 ton (lihat Gambar 4.8).



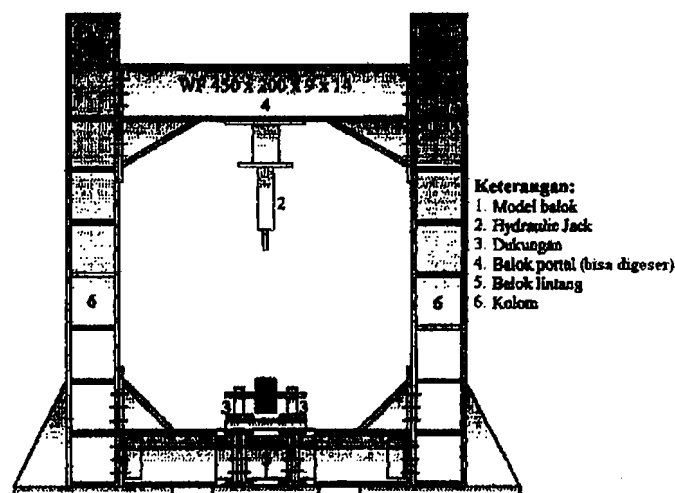
Gambar 4.8. Universal Testing Material SHIMATZU UMH 30

2. Mesin Uji Kuat Desak

Adalah alat uji desak untuk uji desak silinder beton. Mesin merk CONTROLS, kapasitas alat 2000 kN dengan tingkat ketelitian 1 kN.

3. Loading Frame

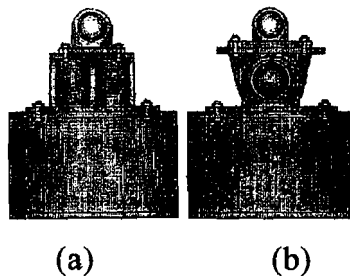
Merupakan struktur rangka profil baja dengan landasannya, untuk meletakkan dan melakukan pengujian berbagai benda uji. Profil baja yang dipakai adalah WF 450x200x9x14, sedangkan bentuk dan susunannya dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini:



Gambar 4.9. Loading Frame

4. Dukungan Sendi – rol

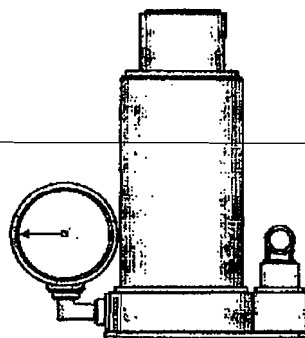
Merupakan perletakan bagi benda uji yang akan diuji, sehingga merupakan perletakan sendi – rol (lihat Gambar 4.10).



Gambar 4.10. Dukungan sendi (a) dan rol (b)

5. Hydraulic Jack

Adalah alat pembangkit beban statik yang dipakai untuk memberikan pembebanan statik pada pengujian benda uji, dilengkapi dengan alat pembacaan beban. Kapasitas maksimum alat adalah 30 ton, dengan ketelitian pembacaan 0,5 ton. Alat tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut ini:



Gambar 4.11. Hydraulic Jack.

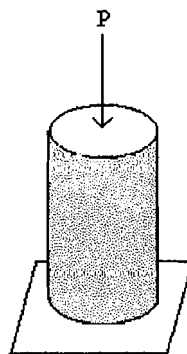
4.4. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan laboratorium Mekanika Rekayasa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pengujian – pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian benda uji / bahan – bahan pembentuk struktur komposit kayu – beton yang meliputi pengujian kuat desak beton, kuat lentur kayu, pengujian daya dukung penghubung geser (paku) dan pengujian utama yaitu pengujian kuat lentur balok T Komposit Kayu – Beton.

4.4.1. Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian Kuat Desak Beton dilakukan dengan cara memberikan gaya desak pada benda uji silinder beton dengan alat / mesin uji kuat desak, sampai benda uji hancur. Gaya desak maksimum dicatat. Nilai kuat desak beton dapat dihitung dan diperoleh dengan merata – rata nilai kuat desak semua benda uji. Model pengujian benda uji silinder beton dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut:



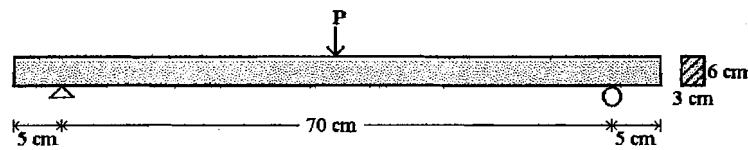
Gambar 4.12. Pengujian kuat desak silinder beton.

4.4.2. Pengujian Kuat Lentur Patah Kayu

Pengujian kuat lentur patah kayu dilakukan dengan memberikan gaya terpusat pada tengah – tengah bentang kayu, dengan penambahan beban bertahap sampai kayu mengalami patah. Gaya dan lendutan yang terjadi dicatat. Kuat lentur patah kayu atau *Modulus Of Rupture* (MOR) dapat dihitung dan dirata – rata dari

semua benda uji, demikian pula dapat dihitung untuk nilai Modulus Elastisitas kayu (E_w).

Model pengujian lentur kayu dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut:

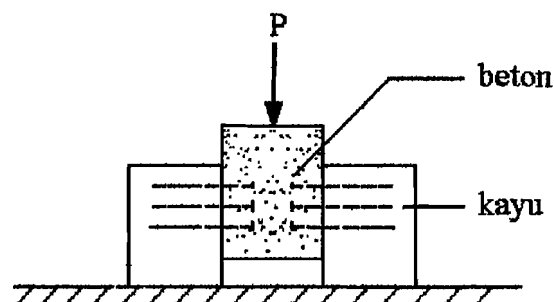


Gambar 4.13. Pengujian kuat lentur kayu

4.4.3. Pengujian Daya Dukung Penghubung Geser (Paku)

Pengujian Daya Dukung Penghubung Geser (Paku) dilakukan dengan cara benda uji ditekan dengan mesin tekan sampai benda uji mengalami patah / rusak slip. Beban P dan slip yang terjadi dicatat. Dari hasil pencatatan, kemudian dapat disajikan dalam bentuk grafik. Dari pembacaan data dan grafik tersebut, dapat ditentukan daya dukung penghubung geser.

Model pengujian kuat geser penghubung geser dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut:



Gambar 4.14. Pengujian daya dukung penghubung geser.

4.4.4. Pengujian Kuat Lentur Balok T Komposit Kayu – Beton

Pengujian Kuat Lentur Balok T Komposit Kayu – Beton dilakukan dengan cara meletakkan balok komposit diatas 2 tumpuan sendi dan rol. Kemudian diberi

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian

Hasil pengujian benda uji dalam penelitian ini meliputi; hasil pengujian kuat desak silinder beton, hasil pengujian kuat lentur kayu, hasil pengujian kuat geser penghubung geser dan hasil pengujian benda uji balok T Komposit Kayu Beton.

5.1.1. Kuat Desak Silinder Beton

Pengujian kuat desak silinder beton dilakukan untuk mengetahui kuat desak beton model balok komposit. Pengujian 5 buah silinder beton umur 28 hari memberikan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kuat desak rata-rata (f'cr)} &= 29,645 \text{ MPa} \\ \text{Standar deviasi (s)} &= 1,467 \text{ MPa} \\ \text{Kuat desak silinder beton (f'c)} &= f'cr - 1,64 \cdot s \\ &= 29,645 - (1,64 \cdot 1,467) \\ &= 27,239 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat desak silinder beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7 halaman 75.

5.1.2. Kuat Lentur Patah Kayu / *Modulus Of Rupture (MOR)*

Pengujian kuat lentur patah kayu dilakukan untuk mengetahui kekuatan lentur patah kayu pada model balok komposit. Pengujian 5 buah balok kayu ukuran $L = 70$ cm dan $b \times h = 3 \times 6$ cm, memberikan hasil 5 nilai kuat lentur patah kayu (MOR), dengan rata – rata nilai kuat lentur patah kayu (MOR) sebesar 105,24 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur patah kayu (MOR) selengkapnya, dapat dilihat pada lampiran 8 halaman 77.

5.1.3. Kuat Geser Penghubung Geser (Paku)

Uji kuat geser penghubung geser, dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser 1 buah penghubung geser pada balok komposit kayu – beton. Pengujian 5 buah sampel uji, menghasilkan 5 nilai beban maksimum sampel uji, dengan rata-rata beban maksimum sebesar 4924 kg.

Dalam 1 sampel uji geser terdapat 12 buah penghubung geser (PB – 120 mm), dan didapat nilai kuat geser 1 penghubung geser sebesar $\frac{4924}{12} = 410,33$ kg.

Hasil pengujian kuat geser penghubung geser selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 10 halaman 79.

5.1.4. Pengujian Benda Uji Balok T Komposit Kayu – Beton

Maksud dilakukannya pengujian pada benda uji balok T komposit kayu-beton adalah untuk mendapatkan data beban (P) dan data lendutan (Δ), sehingga dapat dicari kekakuan struktur (k).

Data P- Δ dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ), sehingga didapatkan nilai faktor kekakuan (EI).

1. Hubungan Beban (P) dan Lendutan (Δ)

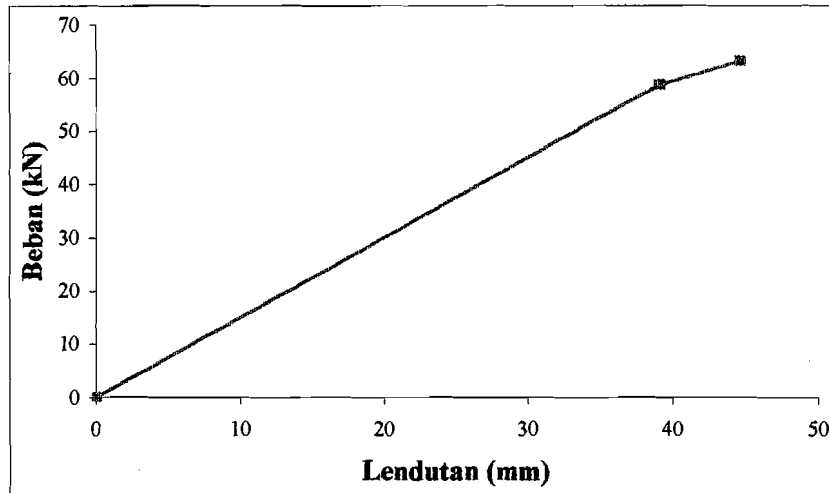
a. Data Beban (P) dan Lendutan (Δ)

Data beban (P) dan lendutan (Δ) dari hasil uji, benda uji 1 (KKB I) tercantum dalam Tabel 5.1 berikut:

Tabel 5.1. Data beban (P) dan lendutan (Δ)

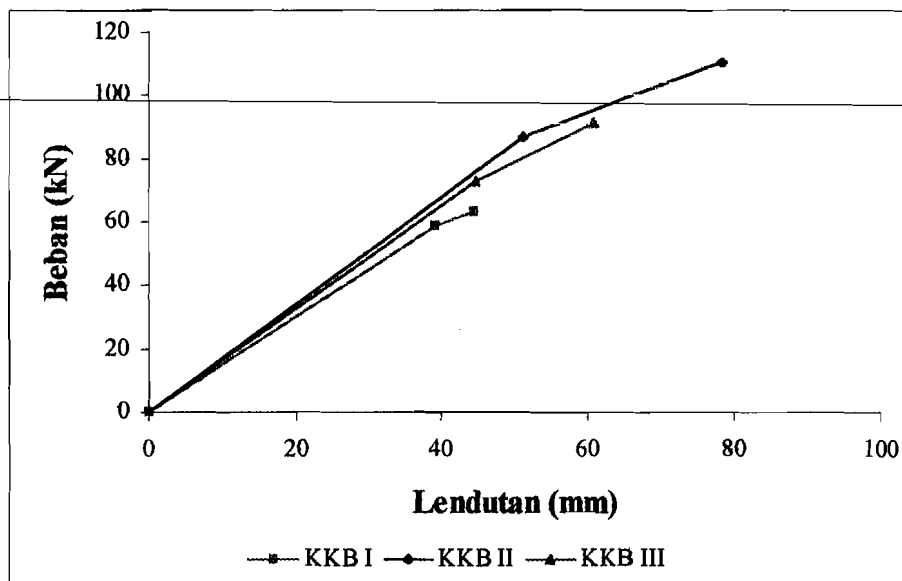
Beban (P) (kN)	Defleksi (y_{i-1}) (10^{-5} m)	Defleksi (y_i) (10^{-5} m)	Defleksi (y_{i+1}) (10^{-5} m)
0,00	0	0	0
2,80	176	177	173
5,60	298	302	300
8,40	457	467	464
11,20	619	632	620
14,00	773	802	787
16,80	937	970	940
19,60	1100	1154	1127
22,40	1257	1318	1286
25,20	1439	1502	1460
28,00	1611	1687	1641
30,80	1786	1875	1826
33,60	1970	2064	2010
36,40	2170	2245	2168
39,20	2359	2450	2380
42,00	2535	2642	2576
44,80	2750	2840	2748
47,60	2968	3060	2965
50,40	3165	3278	3178
53,20	3343	3463	3350
56,00	3539	3672	3559
58,80	3739	3905	3788
61,60	3956	4155	4016
63,20	4070	4450	4103

Berdasarkan data beban (P) dan lendutan (Δ) diatas, dapat digambarkan grafik hubungan beban lendutan ($P-\Delta$) seperti pada Grafik 5.1 berikut:



Grafik 5.1. Bi-linier beban-lendutan KKB I

Data beban (P) dan lendutan (Δ) untuk benda uji II dan III (KKB II dan III), dapat dilihat pada lampiran 3 halaman 67 dan 68, sedangkan grafik hubungan beban-lendutan ($P-\Delta$) ketiga benda uji, disajikan pada Grafik 5.2 berikut:



Grafik 5.2. Bi-linier beban lendutan KKB I, II dan III

b. Beban Lentur dan Lendutan Maksimum

Dari pengujian 3 benda uji, didapatkan 3 macam nilai beban lentur maksimum runtuh (P) yaitu 63,2 kN untuk benda uji I, 110,6 kN untuk benda uji II dan 91,4 kN untuk benda uji III. Sehingga rata-rata beban lentur maksimum adalah 88,4 kN.

Nilai lendutan (Δ) saat benda uji patah/runtuh adalah 44,50 mm untuk benda uji I, 78,22 mm untuk benda uji II dan 60,89 mm untuk benda uji III. Rata-rata nilai lendutan adalah 61,20 mm.

Beban lentur maksimum rata-rata dan lendutan (Δ) rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2. Beban lentur dan lendutan maksimum

Benda uji	Beban lentur maksimum (kN)	Lendutan (Δ) (mm)	Beban lentur maksimum rata-rata (kN)	Lendutan rata-rata (mm)
I	63,20	44,50	88,4	61,20
II	110,6	78,22		
III	91,4	60,89		

c. Kekakuan Struktur

Dari hasil pengujian didapat hubungan antara beban (P) dan lendutan (Δ) yang menunjukkan nilai kekakuan struktur (P/Δ). Dari grafik dan data $P - \Delta$ dapat diamati besarnya beban dan lendutan pada tahap proporsional. Beban pada tahap proporsional untuk benda uji I adalah 58,8 kN dengan lendutan 39,05 mm. Untuk benda uji II beban 86,8 kN dengan lendutan 51,06 mm. Sedangkan untuk benda uji III besar beban 72,8 kN dengan lendutan 44,81 mm.



Nilai kekakuan struktur ketiga benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3. Kekakuan struktur

Benda uji	Beban (Py) (kN)	Lendutan (Δy) (mm)	Kekakuan (Py/ Δy) (kN/m)	Kekakuan rata-rata (Py/ Δy) (kN/m)
I	58,8	39,05	1505,762	1610,120
II	86,8	51,06	1699,961	
III	72,8	44,81	1624,637	

d. Daktilitas Simpangan

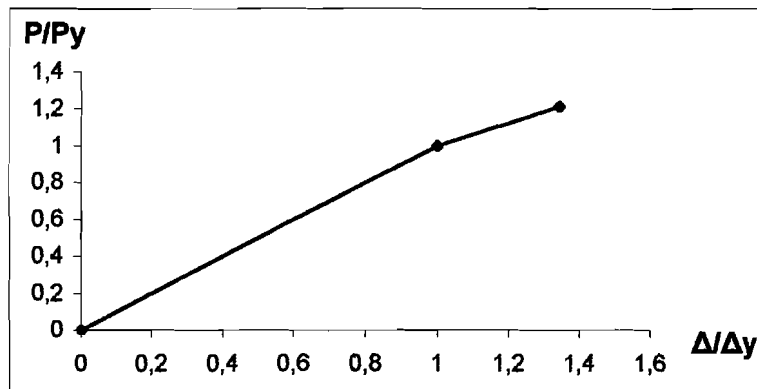
Daktilitas simpangan merupakan perbandingan dari $\frac{\Delta_{tot}}{\Delta y}$. Berdasarkan pengamatan pada grafik dan data beban–lendutan, seperti yang tercantum dalam Tabel 5.2 dan 5.3, daktilitas simpangan dapat disajikan dalam Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4. Analisis daktilitas simpangan dari data beban – lendutan

Benda uji	Δ_{tot} (10^{-5} m)	Δy (10^{-5} m)	Daktilitas simpangan ($\Delta_{tot}/\Delta y$)	Dktils. simp. rata-rata ($\Delta_{tot}/\Delta y$)
I	4450	3905	1,1396	1,3434
II	7822	5106	1,5319	
III	6089	4481	1,3588	

e. Hubungan Non Dimensional Beban Daktilitas Simpangan

Data hasil penelitian dianalisis untuk mendapatkan hubungan non dimensional antara beban dengan daktilitas simpangan, kemudian hasilnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Grafik 5.3. Hubungan non dimensional beban – daktilitas simpangan.

2. Hubungan Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)

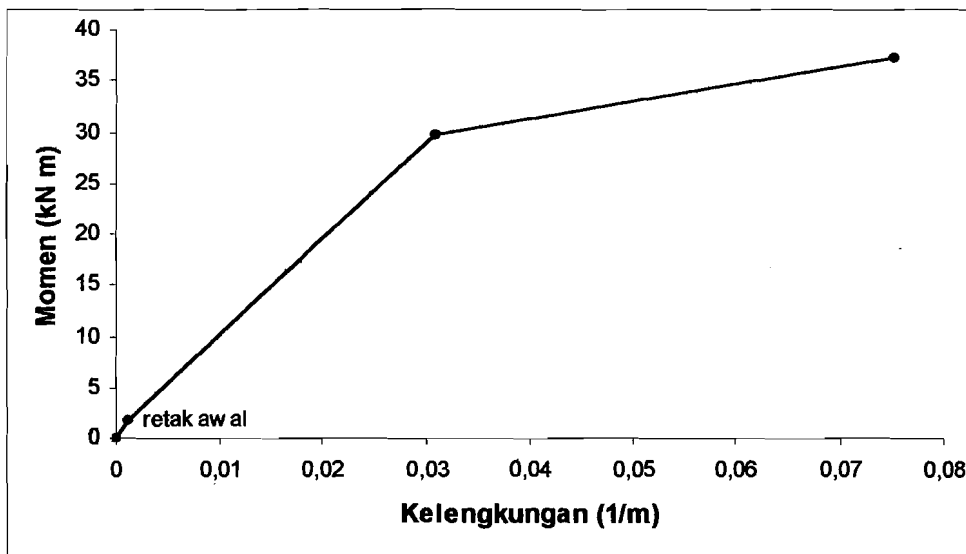
a. Momen Kelengkungan Teoritis

Mengacu pada Park dan Paulay (1975) serta penelitian Suwandojo dan Zubaidah (1987), nilai momen kelengkungan dapat dihitung secara teoritis. Perhitungan momen kelengkungan teoritis dapat dilihat pada lampiran 12 halaman 86, sedangkan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.5. berikut:

Tabel 5.5. Momen kelengkungan teoritis

Nama balok	M_{cr} (kNm)	Φ_{cr} (1/m)	M_y (kNm)	Φ_y (1/m)	M_u (kNm)	Φ_u (1/m)
KKB	1,172	0,001117	29,621	0,03091	37,29	0,0752

Dari data perhitungan momen kelengkungan teoritis, dapat digambarkan kurva trilinear (Grafik 5.4), yang kemudian dapat diperbandingkan dengan kurva momen kelengkungan balok uji hasil pengujian.



Grafik 5.4. Kurva tri – linier momen kelengkungan teoritis

b. Momen Kelengkungan Hasil Pengujian

Dari data hasil uji beban (P) dan lendutan (Δ), dapat diketahui data momen, kelengkungan dan juga faktor / nilai kekakuan. Bila momen bertambah besar, akan terjadi peningkatan kelengkungan, sedangkan faktor kekakuan mengecil.

Momen lentur (M) pada pengujian ini, dihitung dengan rumus:

$$M = \frac{3}{20} \cdot PL \dots\dots\dots (5.1)$$

Kelengkungan (Φ) dapat dihitung dengan rumus:

$$\Phi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \dots\dots\dots (5.2)$$

Faktor kekakuan (EI) dapat dihitung dengan rumus:

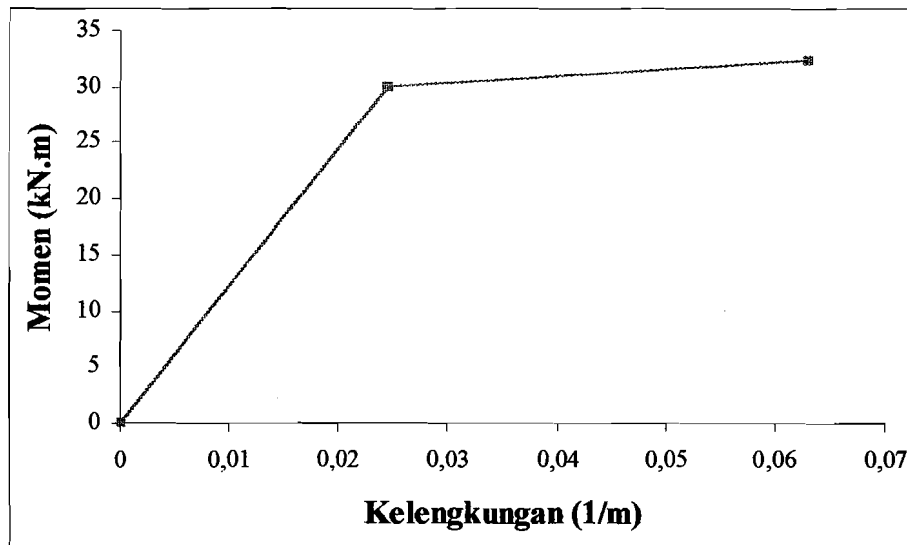
$$EI = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots (5.3)$$

Data mengenai momen dan kelengkungan benda uji 1 (KKB I) dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.6. Data momen (M) dan kelengkungan (Φ)

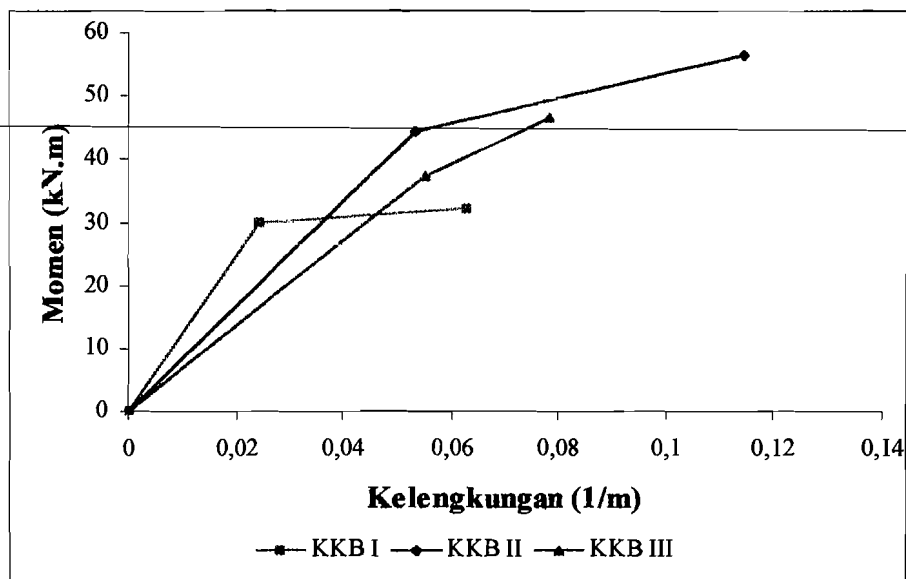
Beban (P) (kN)	Defleksi (y_{i-1}) (10^{-5} m)	Defleksi (y_i) (10^{-5} m)	Defleksi (y_{i+1}) (10^{-5} m)	Momen (M) 3/20 PL kN m	Kelengkungan $\left[\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \right]$
					Φ (1/m)
0,00	0	0	0	0,000	0,00000
2,80	176	177	173	1,428	0,00043
5,60	298	302	300	2,856	0,00052
8,40	457	467	464	4,284	0,00112
11,20	619	632	620	5,712	0,00216
14,00	773	802	787	7,140	0,00381
16,80	937	970	940	8,568	0,00545
19,60	1100	1154	1127	9,996	0,00701
22,40	1257	1318	1286	11,424	0,00804
25,20	1439	1502	1460	12,852	0,00908
28,00	1611	1687	1641	14,280	0,01055
30,80	1786	1875	1826	15,708	0,01194
33,60	1970	2064	2010	17,136	0,01280
36,40	2170	2245	2168	18,564	0,01315
39,20	2359	2450	2380	19,992	0,01393
42,00	2535	2642	2576	21,420	0,01497
44,80	2750	2840	2748	22,848	0,01574
47,60	2968	3060	2965	24,276	0,01618
50,40	3165	3278	3178	25,704	0,01843
53,20	3343	3463	3350	27,132	0,02016
56,00	3539	3672	3559	28,560	0,02128
58,80	3739	3905	3788	29,988	0,02448
61,60	3956	4155	4016	31,416	0,02924
63,20	4070	4450	4103	32,232	0,06295

Berdasarkan data momen (M) dan kelengkungan (Φ) diatas, dapat digambarkan grafik hubungan momen (M) dan kelengkungan (M - Φ) seperti pada Grafik 5.5 berikut:



Grafik 5.5. Bi – linier momen – kelengkungan KKB I

Data momen (M) dan kelengkungan (Φ) untuk benda uji II dan III (KKB II dan III) dapat dilihat pada lampiran 3 halaman 67 dan 68, sedangkan grafik hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) ketiga benda uji disajikan pada Grafik 5.6 berikut:



Grafik 5.6. Bi – linier momen-kelengkungan KKB I, II dan III

c. Momen Maksimum dan Kelengkungan Maksimum

Dari pengujian 3 benda uji, didapat nilai beban maksimum dan lendutan maksimum, yang berarti didapat nilai momen maksimum dan juga kelengkungan maksimum.

Momen maksimum untuk benda uji I adalah 32,232 kNm, benda uji II 56,406 kNm, dan benda uji III 46,614 kNm. Momen maksimum rata-rata adalah 45,084 kNm.

Kelengkungan maksimum benda uji I adalah 0,06295 / m, benda uji II 0,11466 / m dan benda uji III 0,07836 / m. Kelengkungan maksimum rata-rata adalah 0,08532 / m, lebih jelas dapat ditampilkan dalam bentuk Tabel 5.7 berikut:

Tabel 5.7. Momen kelengkungan maksimum

Benda Uji	Momen maks. (M) (kNm)	Kelengkungan maks. (Φ) (1/m)	M.maks.(M) rata-rata (1/m)	K.maks.(Φ) rata-rata (1/m)
I	32,23200	0,06295	45,08400	0,08532
II	56,40600	0,11466		
III	46,61400	0,07836		

d. Faktor Kekakuan Struktur

Data P- Δ dari hasil pengujian, dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ), sehingga didapatkan nilai faktor kekakuan (EI).

Dari data EI yang telah terhitung, terlihat bahwa apabila beban semakin besar, maka faktor kekakuan struktur akan semakin kecil.

Faktor kekakuan struktur untuk 3 benda uji, dapat dilihat pada Tabel 5.8

berikut:

Tabel 5.8. Faktor kekakuan struktur

Benda uji	Momen (My) (kNm)	Kelengkungan (Φ_y) (1/m)	Faktor kekakuan (EI) (My/ Φ_y) (kNm ²)	Faktor kekakuan (EI) rata-rata (kNm ²)
I	29,988	0,02448	1224,952	909,730
II	44,268	0,05337	829,397	
III	37,128	0,05502	674,842	

e. Daktilitas Kelengkungan

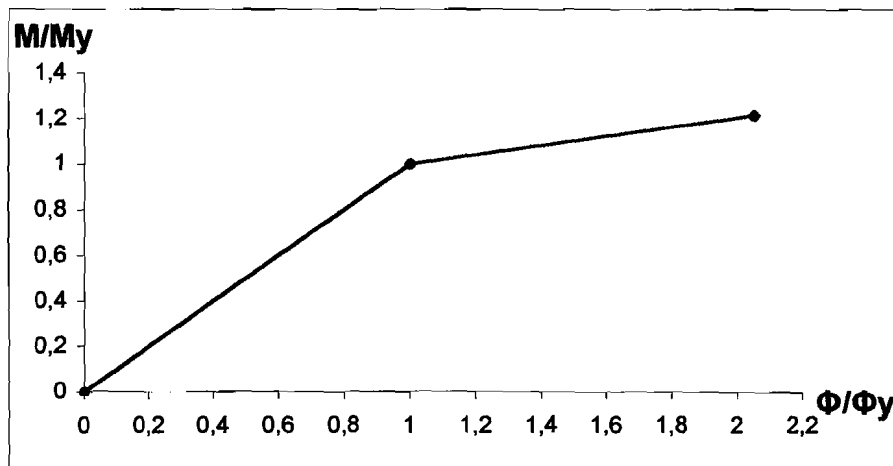
Daktilitas kelengkungan merupakan perbandingan dari Φ_{tot}/Φ_y . Berdasarkan pengamatan pada grafik dan data hubungan momen kelengkungan, seperti yang tercantum dalam Tabel 5.7 dan Tabel 5.8, daktilitas kelengkungan dapat disajikan dalam Tabel 5.9 berikut:

Tabel 5.9 Analisis daktilitas kelengkungan

Benda uji	Φ_{tot} (1/m)	Φ_y (1/m)	Daktilitas kelengkungan (Φ_{tot}/Φ_y)	Dakt. kelengk. rata-rata (Φ_{tot}/Φ_y)
I	0,06295	0,02448	2,571	2,048
II	0,11466	0,05337	2,148	
III	0,07836	0,05502	1,424	

f. Hubungan Non Dimensional Momen – Daktilitas Kelengkungan

Data hasil penelitian dianalisis untuk mendapatkan hubungan non dimensional antara momen dengan daktilitas kelengkungan yang hasilnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Grafik 5.7. Hubungan non dimensional momen – daktilitas kelengkungan

Dari Grafik 5.7 dan dari hasil perhitungan, didapat nilai Φ_u/Φ_y balok T komposit kayu – beton = 2,048.

Mengacu pada Park dan Paulay (1975), beton bertulang pada berbagai nilai rasio tulangan (ρ), kuat tekan beton (f'_c), regangan beton (ϵ_c) dan tegangan leleh baja (f_y), memiliki nilai Φ_u/Φ_y antara 5 sampai dengan 25 atau rata – rata = 15, yang bersifat daktil. Maka dengan nilai $\Phi_u/\Phi_y = 2,048$, struktur balok T komposit kayu – beton bersifat getas.

3. Hasil Penelitian Komposit Kayu – Beton peneliti lain

Aryani (1999), telah mengadakan penelitian tentang komposit kayu beton. Benda uji berupa balok T, beton sebagai sayap dan kayu sebagai badan. Kayu yang dipakai adalah kayu kelapa. Dimensi benda uji adalah; bentang $L = 320$ cm, lebar $b = 80$ cm, tebal slab beton $t = 5$ cm serta ukuran balok kayu $b \times h = 6 \times 10$ cm. Selanjutnya disebut KKB-2. Hasil pengujian memberikan informasi nilai beban lendutan maksimum, kekakuan struktur, momen kelengkungan maksimum,

faktor kekakuan struktur, daktilitas simpangan, serta daktilitas kelengkungan, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.10 sampai dengan 5.15 berikut:

Tabel 5.10. Beban lentur dan lendutan maksimum

Benda Uji	Beban lentur (P) maks. (kN)	Lendutan (Δ) maks. (10^{-5} m)
KKB-2	63	5308

Tabel 5.11. Kekakuan struktur

Benda Uji	Beban (Py) (kN)	Lendutan (Δy) (10^{-5} m)	Kekakuan (Py/ Δy) (kN/m)
KKB-2	50	3696	1352,81

Tabel 5.12. Momen dan kelengkungan maksimum

Benda Uji	Momen (M) maks. (kNm)	Kelengkungan (Φ) maks. (1/m)
KKB-2	31,5	0,095

Tabel 5.13. Faktor kekakuan struktur

Benda Uji	Momen (My) (kNm)	Kelengkungan (Φy) (1/m)	Faktor Kekakuan (EI) (kNm)
KKB-2	25	0,069	360,799

Tabel 5.14. Daktilitas simpangan

Benda Uji	Δ_{tot} (10^{-5} m)	Δy (10^{-5} m)	Daktilitas simpangan ($\Delta_{tot}/\Delta y$)
KKB-2	5308	3696	1,4361

Tabel 5.15. Daktilitas kelengkungan

Benda Uji	Φ_{tot} (1/m)	Φy (1/m)	Daktilitas kelengkungan ($\Phi_{tot}/\Phi y$)
KKB-2	0,095	0,069	1,377

5.2. Pembahasan

5.2.1. Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Beban dan Lendutan

Dari pengujian didapat hubungan beban (P) dan lendutan (Δ) yaitu nilai kekakuan (P/Δ). Dalam penelitian ini, dari 3 benda uji di dapat rerata nilai kekakuan balok T KKB-1 1610,120 kN/m. Penelitian Aryani (1999) memberikan hasil kekakuan balok T KKB-2 sebesar 1352,81 kN/m, menunjukkan nilai kekakuan yang lebih kecil dari pada balok T KKB-1. Dalam prosentase, nilai kekakuan balok T KKB-2 adalah 84,02% nilai kekakuan balok T KKB-1 dan dapat disajikan pada Tabel 5.16 berikut:

Tabel 5.16 Analisis nilai kekakuan

Benda Uji	Kekakuan (kN/m)	Kekakuan (%) (kN/m)
KKB-1	1610,120	100,00
KKB-2	1301,832	84,02

5.2.2. Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Momen – Kelengkungan

Hubungan momen dan kelengkungan ($M-\Phi$), menunjukkan faktor kekakuan struktur (EI). Dari penelitian ini, di dapat rerata faktor kekakuan struktur dari 3 benda uji sebesar 909,730 kNm² (KKB-1)

Penelitian Aryani (1999) memberikan hasil faktor kekakuan balok T KKB-2 sebesar 360,799 kNm², menunjukkan faktor kekakuan yang lebih kecil 60,34% dari balok T KKB-1 atau memiliki nilai faktor kekakuan sebesar 39,66% dibandingkan balok T KKB-1.

Hasil analisis data faktor kekakuan dapat ditunjukkan pada Tabel 5.17 sebagai berikut:

Tabel 5.17. Analisis faktor kekakuan

Benda Uji	Faktor Kekakuan (EI) (kNm ²)	Faktor Kekakuan (%) (kNm ²)
KKB-1	909,730	100,00
KKB-2	360,799	39,66

5.2.3. Daktilitas Simpangan

Hasil penelitian KKB-1 memberikan nilai daktilitas simpangan Δ_{tot}/Δ_y sebesar 1,3434. Penelitian Aryani (1999) menghasilkan nilai daktilitas simpangan KKB-2 sebesar 1,4361, yang berarti memiliki nilai daktilitas simpangan 6,90 % lebih besar dibanding KKB-1.

Tabel 5.18. Analisis daktilitas simpangan

Benda Uji	Daktilitas simpangan (Δ_{tot}/Δ_y)	Daktilitas simpangan (%)
KKB-1	1,3434	100,00
KKB-2	1,4361	106,90

5.2.4. Daktilitas Lengkung

Hasil penelitian KKB-1 memberikan nilai daktilitas kelengkungan Φ_{tot}/Φ_y sebesar 2,048. Penelitian Aryani (1999) menghasilkan nilai daktilitas kelengkungan KKB-2 sebesar 1,377 yang berarti memiliki nilai daktilitas kelengkungan 32,76% lebih kecil dibanding KKB-1.

Tabel 5.19. Analisis daktilitas kelengkungan

Benda Uji	Daktilitas kelengkungan (Φ_{tot}/Φ_y)	Daktilitas kelengkungan (%)
KKB-1	2,048	100,00
KKB-2	1,377	67,24

5.3. Pengamatan Saat Pengujian

Pada pengujian pertama, tahap – tahap pembebanan awal belum nampak adanya retak – retak baik pada bagian beton maupun bagian kayu. Retak – retak yang diperkirakan akan terjadi pada kira – kira $\frac{1}{3}$ beban maksimum perhitungan, belum juga terjadi.

Pada benda uji I, terjadi keruntuhan secara tiba – tiba setelah terjadi ketegangan serat – serat pada kayu. Keruntuhan terjadi pada beban 63,2 kN. Kayu mengalami pecah dan retak didekat pertengahan bentang serta terjadi retak – retak kecil pada sayap beton disisi bagian bawah. Pada keadaan ini lendutan terukur 44,50 mm. Sedangkan dari pengamatan mata, tidak terlihat adanya kerusakan penghubung geser, tidak nampak adanya geseran (slip), ataupun pemisahan (uplift) yang berarti antara kayu dan beton. Hal tersebut menunjukkan penghubung geser cukup kuat / cukup berfungsi dalam membentuk aksi komposit.

Pada benda uji II, pada kira – kira $\frac{1}{3}$ beban maksimum perhitungan, belum memperlihatkan tanda – tanda keretakan struktur. Mulai pada beban 86,8 kN, terjadi retak awal pada sayap beton sisi bawah dan badan kayu sisi bawah. Kemudian pada beban 95,2 kN terjadi keretakan kedua pada beton. Selanjutnya, pada beban 103,6 kN terjadi keretakan ketiga pada beton dan keretakan kedua pada kayu. Keretakan ketiga kayu terjadi pada pembebanan 109,2 kN. Penambahan beban selanjutnya mengakibatkan keruntuhan struktur yaitu pada beban 110,6 kN. Keretakan sisi bawah beton bertambah dan kayu retak menjadi pecah yang terjadi didekat pertengahan bentang. Pada keadaan ini, lendutan terukur 78,22 mm. Dari pengamatan mata, tidak terlihat terjadinya geseran (slip)

ataupun pemisahan (uplift) yang berarti; antara kayu dan beton, menunjukkan bahwa penghubung geser cukup kuat berfungsi membentuk aksi komposit.

Pada benda uji III, pada $\frac{1}{3}$ beban maksimum perhitungan yang diperkirakan terjadi keretakan awal, ternyata belum memperlihatkan tanda – tanda keretakan. Pada beban 75,6 kN mulai terjadi retak pertama pada sayap beton sisi bawah dan pada badan kayu sisi bawah, kemudian pada beban 81,2 kN terjadi keretakan kedua pada beton. Pada beban 84 kN terjadi keretakan ketiga pada beton dan kayu. Pada penambahan beban selanjutnya, struktur mengalami keruntuhan, ditandai dengan pecahnya kayu, dan penambahan retak pada beton sisi bawah, yang terjadi pada pertengahan bentang, dengan besar beban runtuh 91,4 kN, lendutan terukur 60,89 mm. Dari pengamatan mata, tidak terlihat terjadinya kerusakan penghubung geser pada struktur, tidak terlihat adanya geseran (slip) dan pemisahan (uplift) yang berarti antara beton dan kayu. Hal tersebut menunjukkan penghubung geser berfungsi dengan baik dalam membentuk aksi komposit.

Gambar pola retak / patah dapat dilihat pada lampiran 5 halaman 71 dan 72.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian struktur komposit kayu – beton ini adalah :

1. Beton normal dan kayu dapat digabungkan menjadi struktur komposit kayu-beton yang kuat dalam menahan beban lentur, sehingga dapat menjadi alternatif sebagai komponen struktur lantai tingkat komposit.
2. Kekuatan dan kekakuan struktur komposit, banyak dipengaruhi oleh kemampuan penghubung gscsr dalam menahan geseran (*slip*).
3. Semakin besar intensitas beban, nilai kekakuan struktur semakin menurun.
4. Struktur balok T komposit kayu – beton memiliki nilai kekakuan (k) sebesar 1610,120 kN/m.
5. Struktur balok T komposit kayu – beton memiliki nilai faktor kekakuan (EI) sebesar 909,730 kNm².
6. Struktur balok T komposit kayu – beton memiliki kapasitas momen sebesar 45,084 kNm, dengan beban merata maksimum sebesar 78 kN/m².

7. Rasio antara beban merata maksimum hasil penelitian dengan standar beban merata perencanaan (rumah tinggal, gedung sekolah, kantor), sebesar $78/2,5 = 31$; dengan angka rasio tersebut, balok T komposit kayu – beton memiliki kekuatan yang layak untuk dipakai sebagai komponen struktur lantai bangunan bertingkat rendah.

6.2. Saran

Saran-saran yang dapat diajukan setelah penelitian ini adalah :

1. Pada pelaksanaan dan pembuatan struktur komposit kayu-beton, diupayakan nilai modulus elastisitas beton dan kayu, mendekati sama.
2. Diperlukan kecermatan perhitungan dan pelaksanaan pengadukan beton, agar didapat kuat tekan beton sesuai yang direncanakan.
3. Diperlukan ketelitian dan kecermatan pengamatan sewaktu dilakukan pengujian benda uji, dalam hal pembacaan besar beban maupun angka-angka dial serta pengamatan keretakan struktur, agar didapat data yang teliti.
4. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan variabel yang lain, baik mengenai unsur beton ataupun unsur kayu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, **PERATURAN KONSTRUKSI KAYU INDONESIA, NI-5 PKKI 1961**, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, **PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUNG 1983**, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, **STANDAR TATA CARA PELAKSANAAN KOMPONEN STRUKTUR LANTAI TINGKAT KOMPOSIT KAYU-BETON UNTUK GEDUNG DAN RUMAH**, Rancangan SNI, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, **STANDAR TATA CARA PERHITUNGAN STRUKTUR BETON UNTUK BANGUNAN GEDUNG, SK SNI T-15-1991-03**, Departemen Pekerjaan Umum.
- Aryani Rofaida, 1999, **PEMANFAATAN KOMPOSIT KAYU – BETON UNTUK LANTAI GEDUNG**, Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Felix, YKH., 1965, **KONSTRUKSI KAYU**, Penerbit Binacipta, Bandung.
- Gerc dan Timoshenko, 1987, **MEKANIKA BAHAN, TERJEMAHAN, JILID 1, EDISI 2**, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hansen, HJ., 1948, **TIMBER ENGINEERS HANDBOOK**, John Wiley & Sons, Inc, New York.
-
- Istimawan Dipohusodo, 1994, **STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kadir Aboe, 2000, **STRUKTUR BETON**, diktat kuliah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Morisco, 1991, **BATANG STRUKTUR KOMPOSIT KAYU DAN METAL**, PAU, Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Park and Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUKTURES**, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Popov, E.P., 1984, **MEKANIKA TEKNIK**, Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Salmon, S.G. dan Wang, C.K., 1985, **DISAIN BETON BERTULANG**, terjemahan, jilid 1, edisi 4, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Suwandojo Siddiq, 1999, **DAYA DUKUNG KONEKTOR – PAKU UNTUK SAMBUNGAN KOMPONEN – STRUKTUR KAYU**, Jurnal Penelitian Permukiman Vol. 15 No. 3, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Departemen Pekerjaan Umum.

Suwandojo Siddiq dan Siti Zubaidah Kurdi, 1987, **DAYA DUKUNG DAN PERILAKU KOMPONEN STRUKTUR LANTAI TINGKAT KOMPOSIT KAYU – BETON TERHADAP BEBAN LENTUR STATIK**, Laporan Penelitian, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Departemen Pekerjaan Umum.

Widodo, 1997, **METODE NUMERIK**, diktat kuliah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Wiryomartono, 1976, **KONSTRUKSI KAYU**, Jilid 1, Yayasan Penerbitan FIP-
IKIP, Yogyakarta.

LAMP IRAN

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	GAYUH WICAKSONO	86 310 063	STRUKTUR
2	WIBOWO WICAKSONO	95 310 065	STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :

PERILAKU SAMBUNGAN GESER KOMPOSIT KAYU - BETON PADA BALOK LENTUR

**PERIODE I : SEPTEMBER - PEBRUARI
TAHUN : 2000 / 2001**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Sept.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Feb.
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3.	Pembuatan Proposal		■				
4.	Seminar Proposal		■	■			
5.	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6.	Sidang-Sidang						■
7.	Pendadaran.						■

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

: IR. H. SUSASTRA
: IR. FATKHUR



Yogyakarta, 29 Nop. 2000
Dekan,

IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

Catatan :

- Seminar :
- Sidang :
- Pendadaran :

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

NO.	TANGGAL	CATATAN KONSULTASI	TANDA TANGAN
		<p>cat jurnal dan atau buku yg memuat tentang pengalihan govt.</p> <p>can lakukan yg mengenai peralihan.</p> <p>Dapat ditanyakan ke DFI</p>	<p><i>[Signature]</i></p> <p>25/01-2007</p>
		<p>Penat giat M.F</p> <p>formis</p> <p>Wawancara</p> <p>Wawancara temuan</p> <p>yg & orang</p>	<p><i>[Signature]</i></p> <p>15/02-2007</p>
		<p>Hee</p> <p>26/02-2007</p> <p>Disos. I</p> <p>Inginnya para & orang & orang lain</p> <p>ke DFI</p>	<p><i>[Signature]</i></p> <p>15/5-2007</p>

Hee siap untuk pertemuan

Inginnya para & orang & orang lain

10/5-2007

Hee pasca pertemuan 10/6-2007

(Disos. I 10/6-2007)

DATA TES LENTUR BENDA UJI KOMPOSIT KAYU – BETON (KKB)

a. Data Tes Lentur Benda Uji KKB I

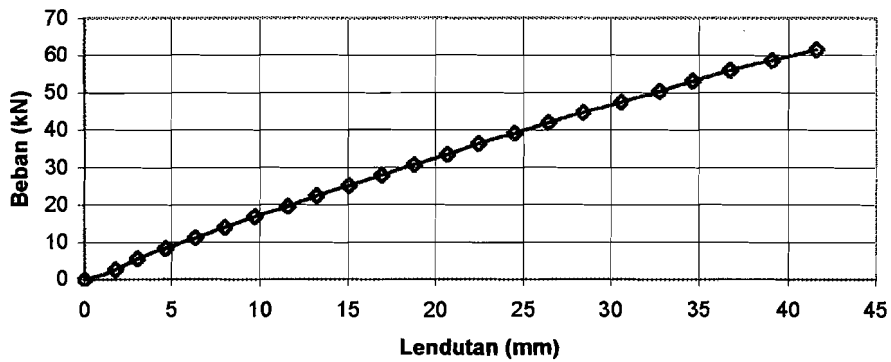
Beban (P) (kN)	Defleksi (y_{i-1}) (10^{-5} m)	Defleksi (y_i) (10^{-5} m)	Defleksi (y_{i+1}) (10^{-5} m)	Kekakuan (k) (P/ Δ) kN/m	Momen (M) 3/20 PL kN m	Kelengkungan $\left[\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \right]$ Φ (1/m)	Fak.kek (EI) (M/ Φ) kN m ²
0,00	0	0	0	0,000	0,000	0,00000	
2,80	176	177	173	1581,921	1,428	0,00043	3301,536
5,60	298	302	300	1854,305	2,856	0,00052	5502,560
8,40	457	467	464	1798,715	4,284	0,00112	3809,465
11,20	619	632	620	1772,152	5,712	0,00216	2641,229
14,00	773	802	787	1745,636	7,140	0,00381	1875,873
16,80	937	970	940	1731,959	8,568	0,00545	1572,160
19,60	1100	1154	1127	1698,440	9,996	0,00701	1426,590
22,40	1257	1318	1286	1699,545	11,424	0,00804	1420,015
25,20	1439	1502	1460	1677,763	12,852	0,00908	1414,944
28,00	1611	1687	1641	1659,751	14,280	0,01055	1353,089
30,80	1786	1875	1826	1642,667	15,708	0,01194	1315,830
33,60	1970	2064	2010	1627,907	17,136	0,01280	1338,461
36,40	2170	2245	2168	1621,381	18,564	0,01315	1411,841
39,20	2359	2450	2380	1600,000	19,992	0,01393	1435,450
42,00	2535	2642	2576	1589,705	21,420	0,01497	1431,302
44,80	2750	2840	2748	1577,465	22,848	0,01574	1451,225
47,60	2968	3060	2965	1555,556	24,276	0,01618	1500,698
50,40	3165	3278	3178	1537,523	25,704	0,01843	1395,015
53,20	3343	3463	3350	1536,240	27,132	0,02016	1346,120
56,00	3539	3672	3559	1525,054	28,560	0,02128	1342,088
58,80	3739	3905	3788	1505,762	29,988	0,02448	1224,952
61,60	3956	4155	4016	1482,551	31,416	0,02924	1074,464
63,20	4070	4450	4103	1420,088	32,232	0,06295	512,017

b. Data Tes Lentur Benda Uji KKB II

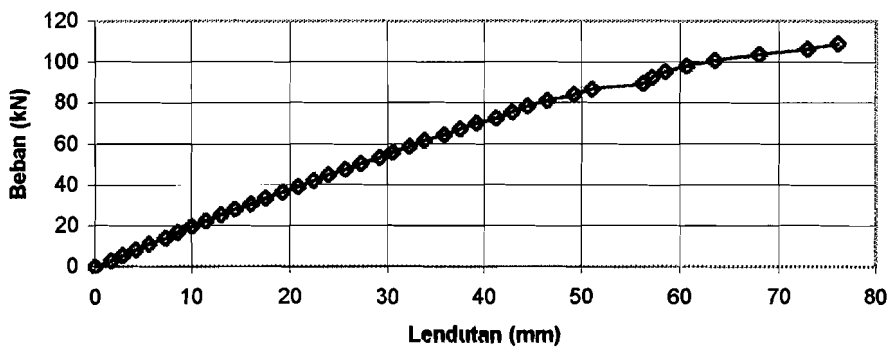
Beban (P) (kN)	Defleksi (y_{i-1}) (10^{-5} m)	Defleksi (y_i) (10^{-5} m)	Defleksi (y_{i+1}) (10^{-5} m)	Kekakuan (k) (P/ Δ) kN/m	Momen (M) 3/20 PL kN m	Kelengkungan $\left[\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \right]$ Φ (1/m)	Fak.kek (EI) (M/ Φ) kN m ²
0,00	0	0	0	0,000	0,000	0,00000	
2,80	163	167	165	1676,647	1,428	0,00052	2751,280
5,60	272	282	273	1985,816	2,856	0,00164	1737,651
8,40	399	416	397	2019,231	4,284	0,00311	1375,640
11,20	540	565	543	1982,301	5,712	0,00407	1404,909
14,00	701	729	697	1920,439	7,140	0,00519	1375,640
16,80	823	851	806	1974,148	8,568	0,00631	1356,796
19,60	962	1000	945	1960,000	9,996	0,00804	1242,514
22,40	1096	1146	1080	1954,625	11,424	0,01003	1138,461
25,20	1232	1298	1219	1941,448	12,852	0,01254	1024,615
28,00	1370	1446	1357	1936,376	14,280	0,01427	1000,465
30,80	1526	1606	1506	1917,808	15,708	0,01557	1008,803
33,60	1659	1750	1638	1920,000	17,136	0,01756	975,823
36,40	1829	1924	1795	1891,892	18,564	0,01938	958,035
39,20	1975	2083	1937	1881,901	19,992	0,02197	909,872
42,00	2122	2245	2085	1870,824	21,420	0,02448	874,965
44,80	2256	2394	2222	1871,345	22,848	0,02682	852,009
47,60	2428	2567	2387	1854,305	24,276	0,02760	879,720
50,40	2580	2725	2532	1849,541	25,704	0,02924	879,107
53,20	2755	2915	2710	1825,043	27,132	0,03157	859,304
56,00	2858	3049	2867	1836,668	28,560	0,03227	885,130
58,80	3059	3223	2991	1824,387	29,988	0,03426	875,407
61,60	3216	3382	3139	1821,407	31,416	0,03538	887,944
64,40	3392	3583	3324	1797,377	32,844	0,03893	843,726
67,20	3554	3747	3483	1793,435	34,272	0,03953	866,924
70,00	3711	3919	3649	1786,170	35,700	0,04135	863,372
72,80	3893	4124	3857	1765,276	37,128	0,04308	861,847
75,60	4073	4282	3983	1765,530	38,556	0,04394	877,377
78,40	4203	4443	4145	1764,573	39,984	0,04654	859,136
81,20	4380	4640	4321	1750,000	41,412	0,05009	826,810
84,00	4691	4916	4534	1708,706	42,840	0,05251	815,866
86,80	4791	5106	4804	1699,961	44,268	0,05337	829,397
89,60	5211	5628	5375	1592,040	45,696	0,05796	788,427
92,40	5296	5720	5442	1615,385	47,124	0,06073	776,002
95,20	5416	5850	5568	1627,350	48,552	0,06194	783,884
98,00	5616	6067	5769	1615,296	49,980	0,06479	771,387
100,80	5807	6353	6039	1586,652	51,408	0,07439	691,019
103,60	6246	6802	6264	1523,081	52,836	0,09464	558,304
106,40	6826	7292	6547	1459,133	54,264	0,10476	517,995
109,20	7131	7604	6823	1436,086	55,692	0,10848	513,397
110,60	7222	7822	7097	1413,961	56,406	0,11466	491,930

c. Data Tes Lentur Benda Uji KKB III

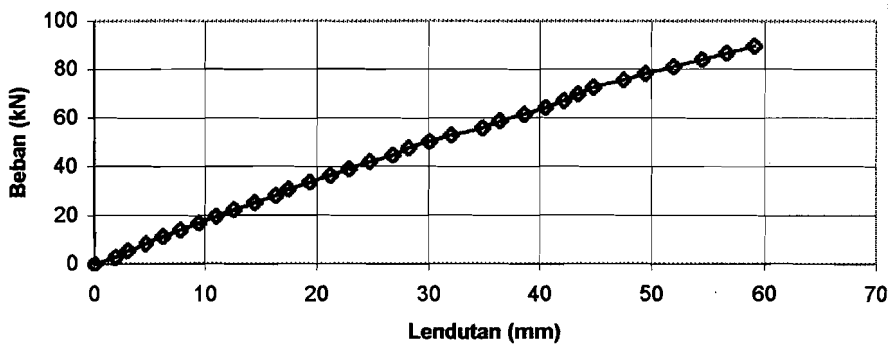
Beban (P) (kN)	Defleksi (y_{i-1}) (10^{-5} m)	Defleksi (y_i) (10^{-5} m)	Defleksi (y_{i+1}) (10^{-5} m)	Kekakuan (k) (P/Δ) kN/m	Momen (M) 3/20 PL kN m	Kelengkungan $\left[\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta x^2} \right]$ Φ (1/m)	Fak.kek (EI) (M/Φ) kN m ²
0,00	0	0	0	0,000	0,000	0,00000	
2,80	189	192	187	1458,333	1,428	0,00069	2063,460
5,60	281	296	294	1891,892	2,856	0,00147	1942,080
8,40	420	467	438	1798,715	4,284	0,00657	651,619
11,20	560	625	587	1792,000	5,712	0,00891	641,075
14,00	691	778	729	1799,486	7,140	0,01176	606,900
16,80	842	942	882	1783,439	8,568	0,01384	619,038
19,60	992	1100	1037	1781,818	9,996	0,01479	675,753
22,40	1136	1258	1181	1780,604	11,424	0,01721	663,625
25,20	1311	1447	1334	1741,534	12,852	0,02154	596,663
28,00	1511	1632	1489	1715,686	14,280	0,02284	625,291
30,80	1616	1743	1601	1767,068	15,708	0,02327	675,035
33,60	1773	1930	1802	1740,933	17,136	0,02465	695,060
36,40	1956	2117	1970	1719,414	18,564	0,02664	696,753
39,20	2115	2283	2133	1717,039	19,992	0,02751	726,753
42,00	2296	2467	2293	1702,473	21,420	0,02984	717,725
44,80	2509	2675	2488	1674,766	22,848	0,03054	748,223
47,60	2648	2815	2621	1690,941	24,276	0,03123	777,370
50,40	2820	3005	2797	1677,205	25,704	0,03400	756,077
53,20	3024	3202	2976	1661,462	27,132	0,03495	776,351
56,00	3286	3481	3256	1608,733	28,560	0,03633	786,080
58,80	3396	3639	3409	1615,829	29,988	0,04092	732,899
61,60	3612	3859	3551	1596,268	31,416	0,04801	654,358
64,40	3771	4047	3743	1591,302	32,844	0,05017	654,615
67,20	3915	4211	3904	1595,820	34,272	0,05216	657,022
70,00	4032	4337	4022	1614,019	35,700	0,05363	665,632
72,80	4172	4481	4154	1624,637	37,128	0,05502	674,842
75,60	4442	4755	4407	1589,905	38,556	0,05718	674,293
78,40	4619	4944	4589	1585,761	39,984	0,05882	679,728
81,20	4871	5191	4768	1564,246	41,412	0,06427	644,311
84,00	5114	5441	4984	1543,834	42,840	0,06782	631,671
86,80	5326	5659	5192	1533,840	44,268	0,06920	639,673
89,60	5591	5899	5386	1518,902	45,696	0,07102	643,417
91,40	5758	6089	5515	1500,997	46,614	0,07836	594,860

GRAFIK HASIL PENGUJIAN BALOK T KOMPOSIT KAYU – BETON**a. Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok T Komposit Kayu – Beton**

Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok T KKB – I

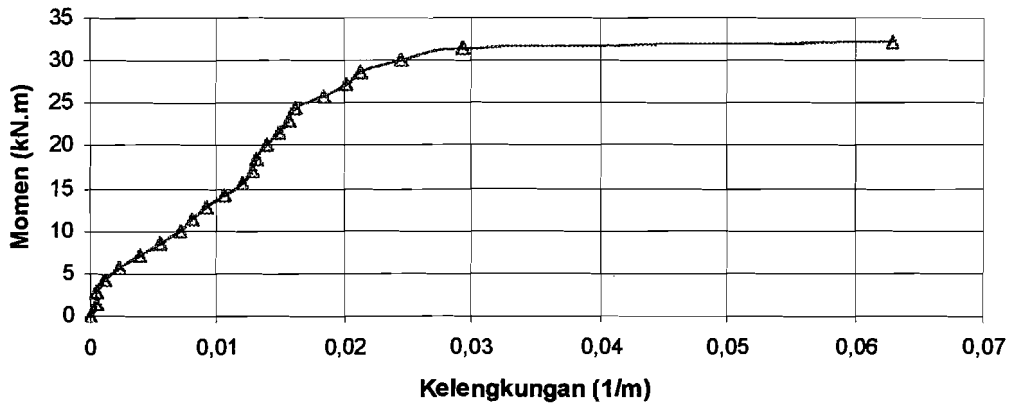


Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok T KKB – II

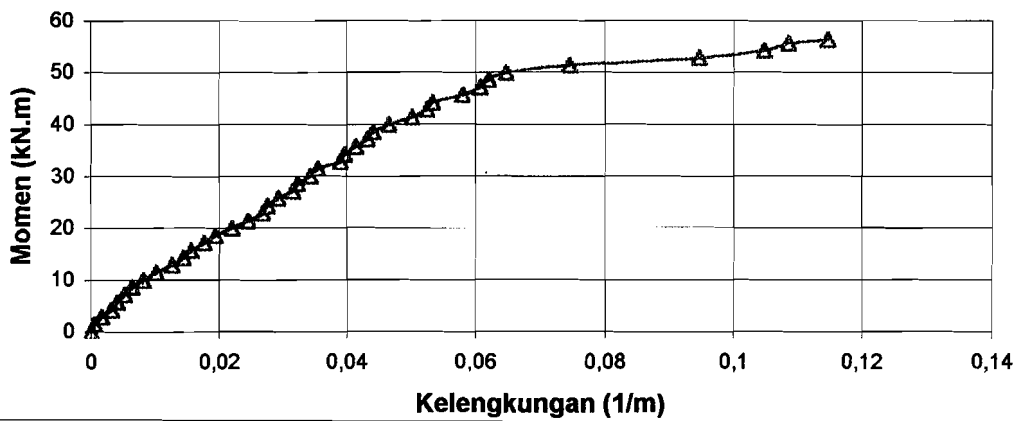


Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Balok T KKB – III

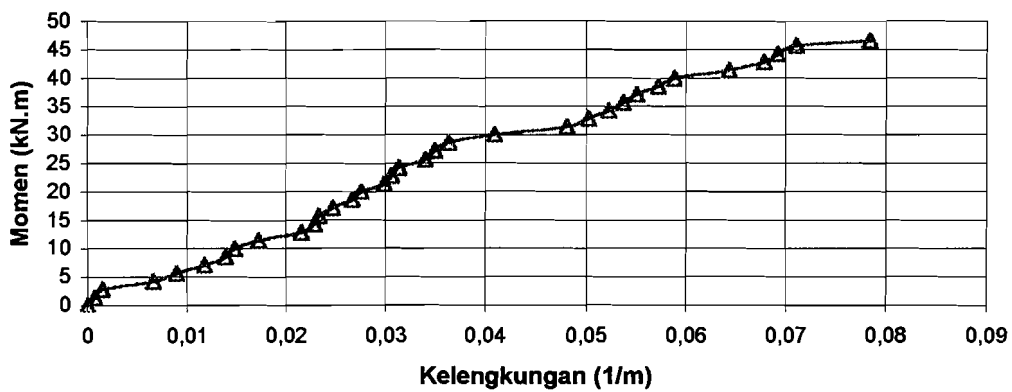
b. Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok T Komposit Kayu – Beton



Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok T KKB – I



Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok T KKB – II

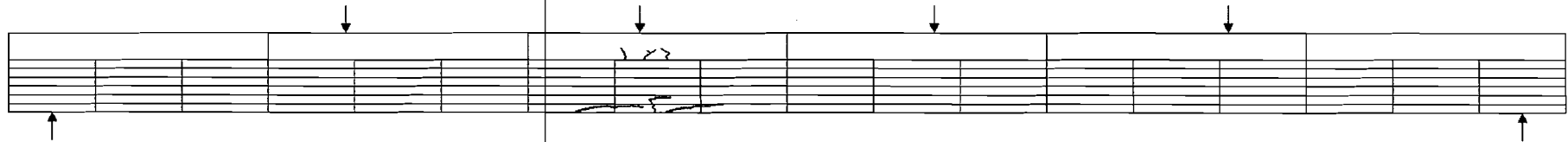


Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan Balok T KKB – III

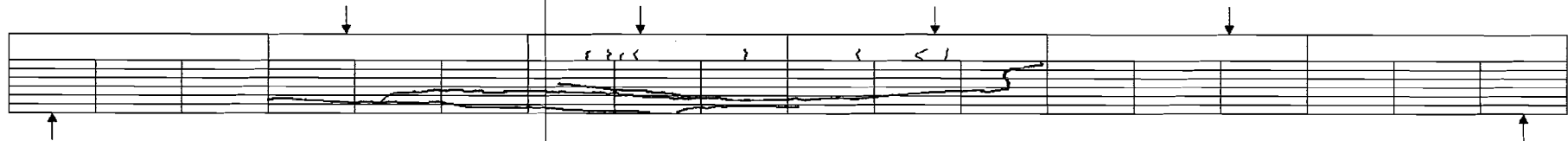
POLA RETAK DAN PATAH BENDA UJI KOMPOSIT KAYU – BETON



Pola retak dan patah KKB – I



Pola retak dan patah KKB – II



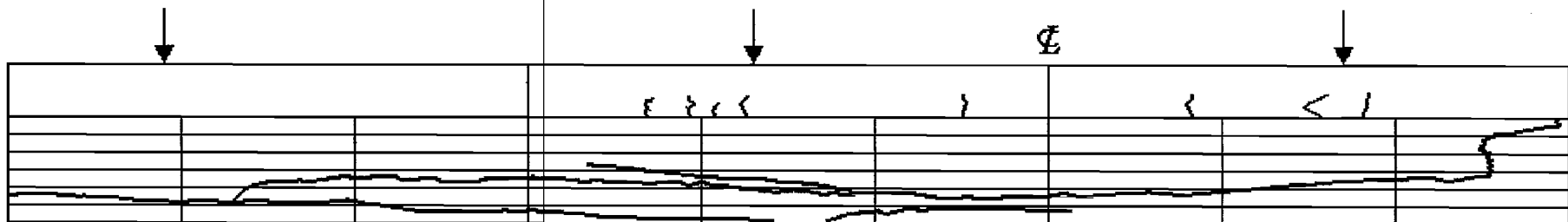
Pola retak dan patah KKB – III



Detail pola retak dan patah KKB - I



Detail pola retak dan patah KKB - II



Detail pola retak dan patah KKB - III

**PERENCANAAN ADUKAN BETON
(ACI MIX)**

Kuat desak beton yang disyaratkan $f'c = 20$ MPa.

Jenis struktur	: pelat lantai.
Ukuran maksimum kerikil	: 20 mm.
Berat volume agregat	: $1,44 \text{ t/m}^3$ (uji lab).
Berat jenis pasir	: 2,31 (uji lab).
Modulus halus butir pasir (mhb)	: 2,72 (uji lab).

Perhitungan:

1. Kuat desak rata-rata ($f'cr$)

Mutu pekerjaan cukup

$$sd = 5,6 \text{ MPa}$$

$$m = 1,64 \cdot sd = 1,64 \cdot 5,6 = 9,184 \text{ MPa}$$

$$f'cr = f'c + m = 20 + 9,184 = 29,184 \text{ MPa}$$

2. Faktor air semen (fas)

Fas	$f'cr$ (MPa)
0,44	35
0,53	28

$$f'cr = 29,184 \rightarrow \text{interpolasi}$$

$$fas = 0,53 - \left[\frac{29,184 - 28}{35 - 28} (0,53 - 0,44) \right] = 0,51$$

Struktur beton didalam ruangan , keadaan non korosif, fas maksimum 0,60

Dipakai fas 0,51.

3. Nilai slump

Struktur pelat lantai, nilai slump = 7,5 – 15 cm

4. Kebutuhan air (V_a)

Agregat maksimum 20 mm

Nilai slump 7,5 – 15 cm

Diperoleh kebutuhan air sebesar 203 liter dan udara terperangkap = 2%

5. Kebutuhan semen (W_s)

$$W_s = \frac{A}{\text{fas}} = \frac{0,203}{0,51} = 398 \text{ Kg}$$

$$\text{Volume semen (Vs)} = \frac{W_s}{\text{bj semen}} = \frac{0,398}{3,15} = 0,126 \text{ m}^3$$

6. Volume kerikil

Agregat maksimum 20 mm

Mhb	Vol. kerikil (m^3)
2,6	0,63
2,8	0,61

mhb = 2,72 \rightarrow interpolasi

$$\text{Volume kerikil} = 0,63 - \left[\frac{2,72 - 2,6}{2,8 - 2,6} (0,63 - 0,61) \right] = 0,618 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat kerikil} = 0,618 \cdot 1,44 = 889,92 \text{ Kg}$$

$$\text{Volume kerikil (Vk)} = \frac{W_k}{\text{bj kerikil}} = \frac{0,88992}{2,42} = 0,368 \text{ m}^3$$

7. Kebutuhan pasir

$$\begin{aligned} \text{Volume pasir} &= 1 - (V_a + V_s + V_k + V_v) \\ &= 1 - (0,203 + 0,126 + 0,368 + 0,02) = 0,283 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Berat pasir (Wp)} = V_p \cdot \text{bj pasir} = 0,283 \cdot 2,31 = 653,73 \text{ Kg}$$

Tabel Kebutuhan Material per m^3 beton

No.	Material	Volume (m^3)	Berat (Kg)
1	Semen	0,126	398
2	Pasir	0,283	654
3	Kerikil	0,368	890
4	Air	0,203	203
	Jumlah	1,000	2145

HASIL PENGUJIAN DESAK SILINDER BETON

Diuji 5 buah silinder beton pada umur 28 hari, hasilnya sebagai berikut:

No. Sampel	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas (mm ²)	P maks (kN)	Kuat desak (MPa)
1	12,25	305,40	150,30	17733,221	490	27,632
2	12,40	305,00	150,70	17827,735	540	30,290
3	12,25	300,30	150,70	17827,735	560	31,412
4	12,35	300,10	150,30	17733,221	510	28,760
5	12,20	302,70	150,40	17756,826	535	30,129
Rata – rata						29,645

Kuat tekan rata-rata (f'_{cr}) = 29,645 MPa.

Standar deviasi (sd) = 1,467.

Kuat tekan beton (f'_c) = $f'_{cr} - 1,64 \cdot sd$
= 29,645 – (1,64 . 1,467)
= 27,239 MPa.

DATA TES LENTUR KAYU

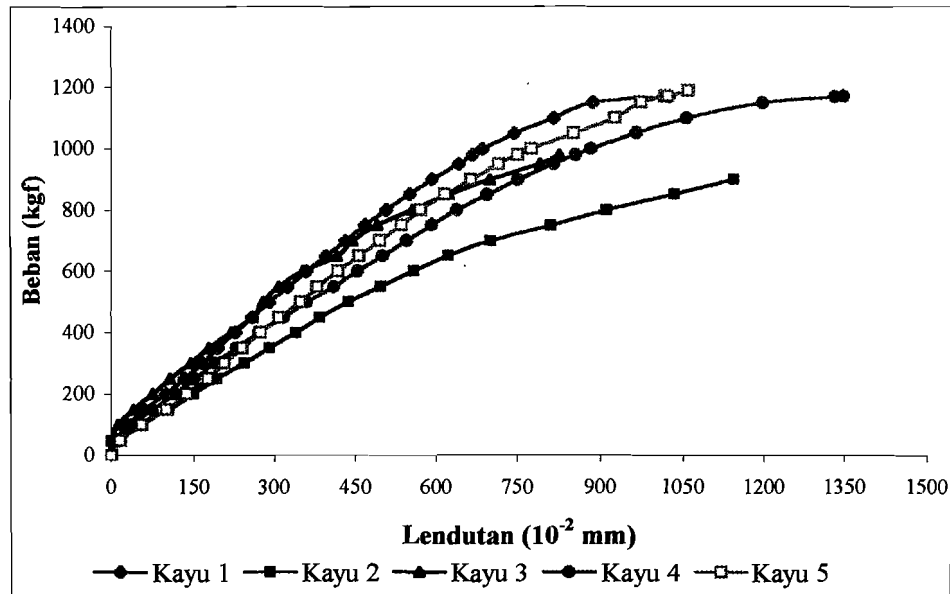
a. Tabel Beban – Lendutan Benda Uji Kayu

Beban (kgf)	LENDUTAN (10^{-2} mm)				
	Kayu 1	Kayu 2	Kayu 3	Kayu 4	Kayu 5
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50,0	12,0	0,5	1,0	12,0	16,0
100,0	30,0	45,0	12,0	36,0	55,0
150,0	60,0	104,0	40,0	74,0	100,0
200,0	99,0	149,0	75,0	115,0	137,0
250,0	133,0	193,0	106,0	151,0	176,0
300,0	166,0	244,0	144,0	189,0	207,0
350,0	195,0	290,0	177,0	229,0	240,0
400,0	228,0	339,0	220,0	271,0	274,0
450,0	258,0	383,0	259,0	316,0	308,0
500,0	290,0	436,0	298,0	359,0	348,0
550,0	324,0	495,0	297,0	409,0	379,0
600,0	359,0	556,0	332,0	453,0	417,0
650,0	395,0	621,0	415,0	499,0	456,0
700,0	431,0	699,0	444,0	543,0	494,0
750,0	467,0	809,0	489,0	590,0	534,0
800,0	506,0	995,0	554,0	637,0	570,0
850,0	549,0	1063,0	622,0	693,0	615,0
900,0	591,0	1142,0	698,0	750,0	664,0
950,0	641,0		790,0	814,0	714,0
979,5	667,0		825,0	854,1	750,0
1000,0	685,0			882,0	775,0
1050,0	744,0			964,0	851,0
1100,0	843,0			1055,0	925,0
1150,0	886,0			1195,0	973,0
1170,0	1023,0			1330,1	1015,5
1172,5				1347,0	1020,8
1190,0					1058,0

b. Tabel Beban – Lendutan Maksimum

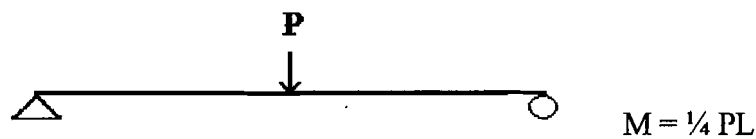
Sampel Uji	P maks (kg)	Lendutan (10^{-2} mm)
Kayu 1	1170,0	1023,0
Kayu 2	900,0	1142,0
Kayu 3	979,5	825,0
Kayu 4	1172,5	1347,0
Kayu 5	1190,0	1058,0

c. Grafik Beban dan Lendutan Benda Uji Kayu



d. Perhitungan Kuat Lentur Patah Kayu (MOR)

Uji lentur kayu dengan beban terpusat ditengah bentang:



Kayu bangkirai, ukuran $b \times h = 30 \times 60$ mm bentang $L = 700$ mm.

Tahanan momen (W) = $\frac{1}{6} b \cdot h^2 = \frac{1}{6} 30 \cdot 60^2 = 18.000 \text{ mm}^3 = 18 \text{ cm}^3$.

$$\text{Kayu 1 ; MOR} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 1170 \cdot 70}{18} = 1137,5 \text{ kg/cm}^2 = 113,75 \text{ MPa.}$$

$$\text{Kayu 2 ; MOR} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 900 \cdot 70}{18} = 875,0 \text{ kg/cm}^2 = 87,50 \text{ MPa.}$$

$$\text{Kayu 3 ; MOR} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 979,5 \cdot 70}{18} = 952,6 \text{ kg/cm}^2 = 95,26 \text{ MPa.}$$

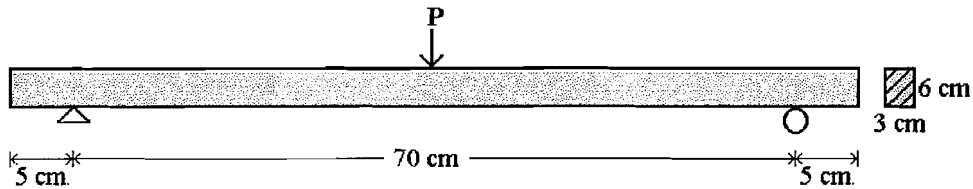
$$\text{Kayu 4 ; MOR} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 1172,5 \cdot 70}{18} = 1139,9 \text{ kg/cm}^2 = 113,99 \text{ MPa.}$$

$$\text{Kayu 5 ; MOR} = \frac{\frac{1}{4} \cdot 1190 \cdot 70}{18} = 1156,9 \text{ kg/cm}^2 = 115,69 \text{ MPa.}$$

$$\Sigma = 526,19 \text{ Mpa}$$

$$\text{MOR rata-rata} = \frac{526,19}{5} = 105,24 \text{ MPa.}$$

PERHITUNGAN MODULUS ELASTISITAS KAYU (E_w)



$$I = \frac{1}{12} \cdot 3 \cdot 6^3 = 54 \text{ cm}^4$$

$$L = 70 \text{ cm}$$

Modulus elastisitas kayu (E_w) dihitung dengan rumus lendutan berikut:

$$\delta = \frac{PL^3}{48 E_w I} \rightarrow E_w = \frac{PL^3}{48 I \delta}$$

Dari hasil pengujian lentur 5 buah kayu;

- pada $P = 300 \text{ kg}$, δ terbesar = 0,244 cm

$$E_w = \frac{300 \cdot 70^3}{48 \cdot 54 \cdot 0,244} = 162701,12 \text{ kg/cm}^2 = 16270 \text{ MPa}$$

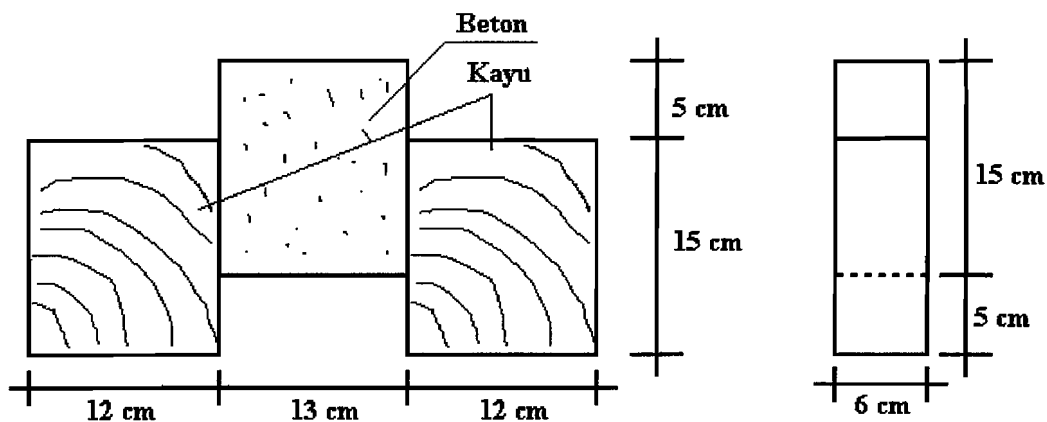
- Pada $P = 400 \text{ kg}$, δ terbesar = 0,339 cm

$$E_w = \frac{400 \cdot 70^3}{48 \cdot 54 \cdot 0,339} = 156141,88 \text{ kg/cm}^2 = 15614 \text{ MPa}$$

$$E_w = 15614 - 16270 \text{ MPa}$$

$$E_w \text{ dipakai} = 16000 \text{ MPa}$$

PENGUJIAN BENDA UJI GESER PENGHUBUNG GESER (PAKU)



Gambar benda uji geser

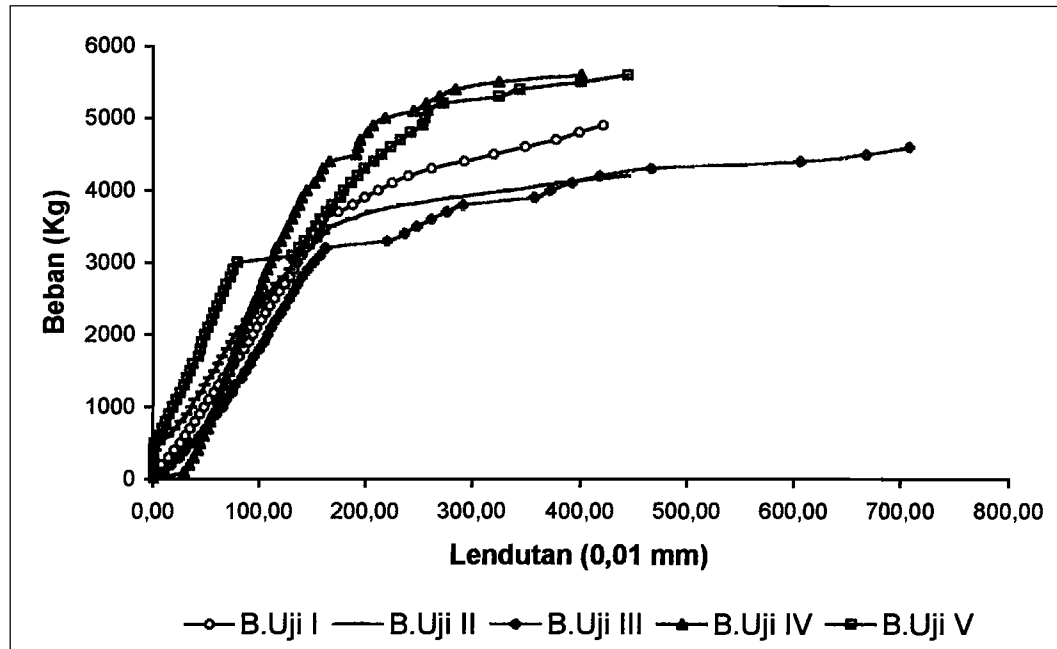
a. Tabel Beban – Lendutan Benda Uji Geser Paku

Beban (Kg)	Benda Uji				
	lendutan I (0,01 mm)	lendutan II (0,01 mm)	lendutan III (0,01 mm)	lendutan IV (0,01 mm)	lendutan V (0,01 mm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
100	4,00	0,30	10,00	29,00	0,30
200	8,00	0,30	17,00	34,00	0,30
300	15,00	0,50	24,50	38,00	0,50
400	20,50	2,50	30,00	42,00	0,50
500	26,00	6,50	35,00	44,00	1,50
600	30,50	14,20	43,50	48,00	6,00
700	35,00	20,10	49,50	52,00	9,00
800	39,50	26,00	54,00	54,00	12,00
900	44,00	32,00	60,00	56,00	15,50
1000	48,50	36,00	66,00	60,00	19,00
1100	53,00	39,00	69,00	61,50	22,50
1200	57,50	45,50	75,00	64,00	26,00
1300	62,00	49,00	78,00	67,00	29,50
1400	66,50	52,50	84,00	69,00	32,00
1500	72,00	57,50	87,50	72,00	35,00
1600	77,00	61,50	92,00	74,00	37,50
1700	82,00	65,00	95,00	76,50	43,00
1800	86,50	69,50	100,00	79,00	45,00
1900	90,50	73,50	105,00	81,50	46,00
2000	94,50	77,50	108,50	84,00	49,00
2100	98,00	82,50	111,50	86,00	52,00

Lanjutan:

2200	102,50	88,50	116,00	89,00	55,50
2300	106,50	94,50	120,30	91,50	57,50
2400	110,50	100,50	124,50	94,00	60,50
2500	115,00	105,50	128,50	97,00	63,50
2600	119,50	111,00	132,50	100,00	66,50
2700	124,50	116,00	136,50	102,50	69,00
2800	129,00	122,50	140,50	105,00	73,00
2900	133,00	128,50	146,00	108,00	76,00
3000	136,50	133,50	151,50	111,00	80,00
3100	140,50	140,50	157,50	114,00	131,20
3200	144,50	147,00	163,00	116,00	138,00
3300	148,00	154,00	220,00	120,50	143,00
3400	152,50	161,00	237,00	124,00	150,00
3500	157,00	167,50	248,00	127,00	154,00
3600	160,50	186,50	262,00	131,00	158,00
3700	174,50	204,50	276,00	134,00	164,00
3800	188,00	234,50	291,00	138,00	169,00
3900	199,50	284,00	357,00	140,50	176,50
4000	212,00	333,50	372,00	145,00	179,50
4100	225,50	381,50	391,50	152,00	186,50
4200	240,50	441,00	417,50	157,00	193,00
4300	262,50		466,00	160,00	199,00
4400	292,50		605,50	166,50	208,00
4500	320,00		667,00	191,00	215,00
4600	349,00		708,00	193,00	224,00
4700	377,50			195,00	233,00
4800	398,50			202,00	242,50
4900	421,00			207,00	254,00
5000				218,00	256,00
5100				245,00	259,00
5200				256,50	272,50
5300				269,50	324,50
5400				284,00	344,00
5500				324,50	400,00
5600				400,00	444,00

b. Grafik Beban – Lendutan Benda Uji Geser Paku



Grafik beban – lendutan benda uji geser paku

c. Tabel Beban – Lendutan Maksimum Rata – Rata

Sampel Uji	Beban (P) maks. (kg)	Lendutan (Δ) maks. (0,01 mm)	Beban (P) maks. rata-rata (kg)	Lendutan (Δ) maks. rata-rata (0,01 mm)
I	4860	421,00	4924	482,8
II	4110	441,00		
III	4560	708,00		
IV	5570	400,00		
V	5520	444,00		

d. Perhitungan Kuat Geser Satu Penghubung Geser

Dalam 1 sampel uji, terdapat 12 buah penghubung geser (PB – 120 mm),

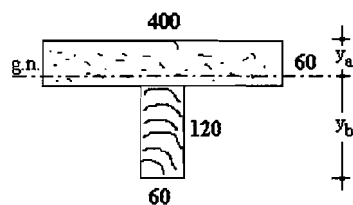
$$\text{sehingga kuat geser satu penghubung geser} = \frac{4924}{12} = 410,33 \text{ kg.}$$

Menurut Suwandojo (1999), untuk perhitungan perencanaan, kuat geser ijin satu paku digunakan rumus $\hat{S} = \frac{1}{3} P_{maks}$, sehingga kuat geser ijin satu paku diperoleh $(\hat{S}) = 410,33/3 = 137$ kg.

Menurut Suwarno Wiryomartono, yang juga tercantum pada PKKI – 1961, kuat geser ijin satu paku (untuk tampang satu) pada sambungan kayu, dapat dilihat pada PKKI – 1961 Daftar Va, tentang beban yang diperkenankan per paku. Paku PB – 120 mm atau paku ukuran 52/114 (4½” BWG 6) untuk kayu dengan bj $\geq 0,6$, kuat geser ijin satu paku = 142 kg.

PERHITUNGAN MOMEN KAPASITAS DAN JUMLAH PENGHUBUNG GESER

a. Perhitungan Momen Kapasitas



- Panjang bentang (L) = 3,4 meter.
 $L = 3,4 \text{ m} \rightarrow$ jarak antar balok (b_o)
maks = 0,5 m (SNI)
Dipakai b_o perencanaan = 0,4 m

- Lebar (b) Efektif:

$$L/4 = 3400/4 = 850 \text{ mm}$$

$$b_o = 0,4 \text{ m} = 400 \text{ mm}$$

$$b_w + 16t = 60 + 16 \cdot 60 = 1020 \text{ mm}$$

$$\diamond b \text{ Efektif} = 400 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} = 4700\sqrt{20} = 21019 \text{ MPa}$$

$$\text{Kayu bangkirai, } E_w = 16.000 \text{ MPa}$$

$$\text{Rasio modular } n = \frac{E_c}{E_w} = \frac{21019}{16000} = 1,314$$

$$b \text{ transformasi} = n \cdot b = 1,314 \cdot 400 = 525,5 \text{ mm}$$

- Statis momen:

$$y_b = \frac{525,5 \cdot 60 \cdot 150 + 120 \cdot 60 \cdot 60}{525,5 \cdot 60 + 60 \cdot 120} = 133,26 \text{ mm}$$

$$y_a = 180 - 133,26 = 46,74 \text{ mm}$$

$$\text{Inersia } I = 1/12 \cdot 525,5 \cdot 60^3 + 525,5 \cdot 60 (16,74)^2 + 1/12 \cdot 60 \cdot 120^3 + 120 \cdot 60 (73,26)^2$$

$$= 65577174,95 \text{ mm}^4$$

$$\text{Statis momen } S = 525,5 \cdot 60 (46,74 - 30) = 527812 \text{ mm}^3$$

$$= 120 \cdot 60 (133,26 - 60) = 527472 \text{ mm}^3$$

- Tegangan maksimum yang dipakai:

$$F_c = 0,85 f'c = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ MPa}$$

$$F_w = 0,90 \text{ MOR} = 0,90 \cdot 105,24 = 94,72 \text{ Mpa}$$

$$a = \frac{b_w \cdot h_w \cdot 0,9 \cdot \text{MOR} \cdot 0,5}{b_{tr} \cdot 0,85 \cdot f_c} = \frac{60 \cdot 120 \cdot 94,72 \cdot 0,5}{525,2 \cdot 17} = 38,17 \text{ mm}$$

- Lengan momen (z):

$$z = 2/3 h_w + t - a/2$$

$$= 2/3 \cdot 120 + 60 - 38,17/2 = 120,92 \text{ mm}$$

$$T_w = b_w \cdot h_w \cdot 0,9 \cdot \text{MOR} \cdot 0,5 = 60 \cdot 120 \cdot 0,9 \cdot 105,24 \cdot 0,5 = 340978 \text{ N}$$

$$C_c = b_{tr} \cdot a \cdot 0,85 \cdot f_c = 525,5 \cdot 38,17 \cdot 17 = 340992 \text{ N}$$

- Kapasitas momen:

$$M_{kap} = (T_w \cdot z) = 340978 \cdot 120,92 = 41231011,39 \text{ Nmm} = 41,231 \text{ kNm}$$

Momen maksimum dengan pembebanan merata (M_{maks}) = $\frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2$.

$$\begin{aligned} \text{Beban merata maksimum (q maks)} &= \frac{8 M_{maks}}{L^2} = \frac{8 \times 41,231}{3,4^2} = 28,53 \text{ kN/m} \\ &= \frac{28,53}{0,4} = 71,33 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, beban hidup rencana untuk rumah tinggal, gedung sekolah, ruang kuliah dan kantor = 200–250 kg/m^2 atau 2–2,5 kN/m^2 .

$$\text{Rasio beban} = \frac{71,33}{2,5} = 28$$

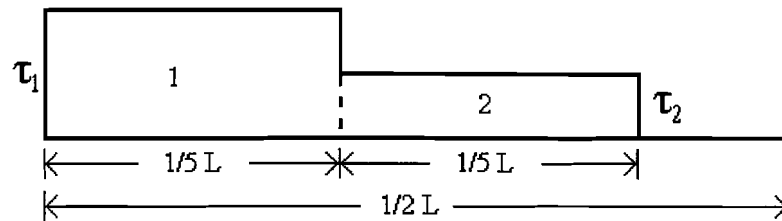
Momen maksimum benda uji hasil penelitian = 45,084 kNm.

$$\begin{aligned} \text{Beban merata maksimum (q maks)} &= \frac{8 M_{maks}}{L^2} = \frac{8 \times 45,084}{3,4^2} = 31,20 \text{ kN/m} \\ &= \frac{31,20}{0,4} = 78 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Rasio beban} = \frac{78}{2,5} = 31$$

Dengan angka rasio tersebut, balok T komposit kayu – beton memiliki kekuatan yang layak untuk dipakai sebagai komponen struktur lantai bangunan bertingkat rendah.

b. Perhitungan Jumlah Penghubung Geser



Momen kapasitas = 41,231 kNm

Momen maksimum lentur = $3/20 PL$

$$\text{Kapasitas beban runtuh (P maks.)} = \frac{20 \cdot 41,231}{3 \cdot 3,4} = 80,845 \text{ kN}$$

- Zone 1

$$\text{Gaya lintang (D)} = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \cdot 80,845 = 40,423 \text{ kN}$$

$$\text{Tegangan geser } (\tau_1) = \frac{D \cdot S}{I \cdot b_w} = \frac{40,423 \cdot 527472}{65577174,95 \cdot 60} = 5,419 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser } (V_1) &= \frac{1}{5} \cdot L \cdot b_w \cdot \tau_1 = \frac{1}{5} \cdot 3400 \cdot 60 \cdot 5,419 \\ &= 221,095 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Zone 2

$$\text{Gaya lintang (D)} = \frac{1}{2} P - \frac{1}{4} P = \frac{1}{4} P = \frac{1}{4} \cdot 80,845 = 20,212 \text{ kN}$$

$$\text{Tegangan geser } (\tau_2) = \frac{D \cdot S}{I \cdot b_w} = \frac{20,212 \cdot 527472}{65577174,95 \cdot 60} = 2,709 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser } (V_2) &= \frac{1}{5} \cdot L \cdot b_w \cdot \tau_2 = \frac{1}{5} \cdot 3400 \cdot 60 \cdot 2,709 \\ &= 110,548 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser satu penghubung geser paku (PB – 120 mm) = 4,10 kN (hasil pengujian)

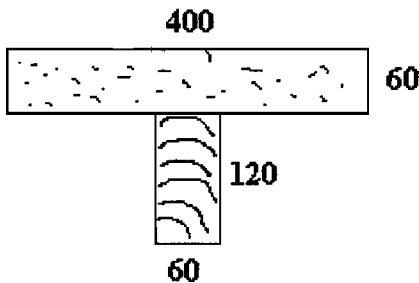
- Jumlah penghubung geser (paku) yang diperlukan (N):

$$\text{Zone 1 : } N_1 = \frac{V_1}{n_p} = \frac{221,095}{4,10} = 53,93 \approx 54 \text{ buah paku}$$

$$\text{Zone 2 : } N_2 = \frac{V_2}{n_p} = \frac{110,548}{4,10} = 26,96 \approx 27 \text{ buah paku}$$

$$\text{Total jumlah paku} = \text{-----} + \text{-----} = 81 \text{ buah paku (untuk } \frac{1}{2} \text{ bentang)}$$

PERHITUNGAN MOMEN KELENGKUNGAN TEORITIS

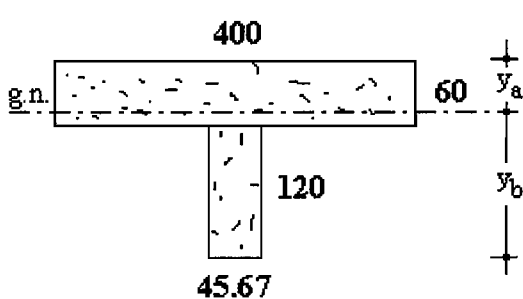


$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{20} = 21019 \text{ MPa}$$

Kayu bangkirai, $E_w = 16.000 \text{ MPa}$

$$\text{Rasio modular } n = \frac{E_w}{E_c} = \frac{16000}{21019} = 0,761$$

$$b \text{ transformasi} = n \cdot b = 0,761 \cdot 60 = 45,67$$



Garis Netral :

Statis momen :

$$y_b = \frac{400 \cdot 60 (120 + \frac{1}{2} \cdot 60) + 120 \cdot 45,67 (\frac{1}{2} \cdot 120)}{400 \cdot 60 + 120 \cdot 45,67}$$

$$= 133,27 \text{ mm}$$

$$y_a = 180 - 133,27 = 46,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia (I)} &= \frac{1}{12} \cdot 400 \cdot 60^3 + 400 \cdot 60 (150 - 133,27)^2 + \frac{1}{12} \cdot 45,67 \cdot 120^3 \\ &+ 120 \cdot 45,67 (133,27 - 60)^2 \\ &= 49915398,09 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

1. Saat Sebelum Retak

$$\text{Modulus retak } f_r = 0,7 \sqrt{f_c} = 0,7 \sqrt{20} = 3,13 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \cdot I}{y_b} = \frac{3,13 \cdot 49915398,09}{133,27} = 1172320,82 \text{ Nmm} \\ &= 1,172 \text{ kNm} \end{aligned}$$

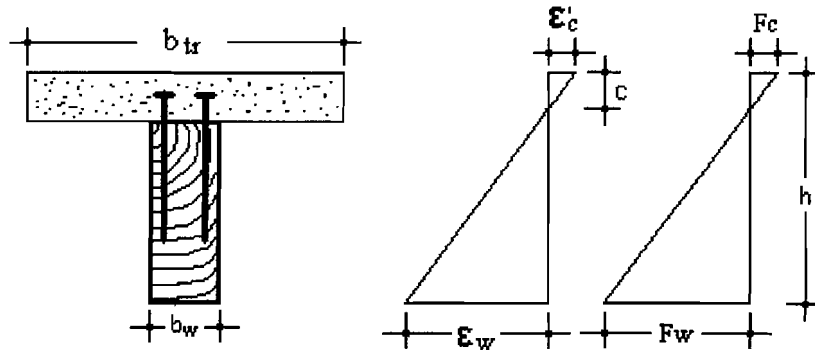
$$\begin{aligned} \Phi_{cr} &= \frac{f_r / E_c}{y_b} = \frac{3,13 / 21019}{133,27} = 1,117 \cdot 10^{-6} \text{ rad/mm} \\ &= 0,1117 \cdot 10^{-2} \text{ rad/m} \end{aligned}$$

2. Pada Batas Proporsional

Tegangan batas proporsional

$$\text{Beton : } F_c = \frac{2}{3} \cdot f_c = \frac{2}{3} \cdot 20 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$\text{Kayu} : F_w = \frac{3}{4} \cdot \text{MOR} = \frac{3}{4} \cdot 105,24 = 78,93 \text{ MPa}$$



$$\epsilon_c = \frac{F_c}{E_c} = \frac{13,33}{21019} = 0,000634$$

$$\epsilon_w = \frac{F_w}{E_w} = \frac{78,93}{16000} = 0,00493$$

$$\frac{\epsilon_w}{(h-c)} = \frac{\epsilon_c}{c}$$

$$\frac{0,00493}{180-c} = \frac{0,000634}{c}$$

$$0,00493 c = 0,000634 (180 - c)$$

$$0,00493 c + 0,000634 c = 0,11412$$

$$0,005564 c = 0,11412$$

$$c = 20,51 \text{ mm}$$

$$h - c = 180 - 20,51 = 159,49 \text{ mm}$$

$$M = \frac{F_w \cdot I}{h - c} = \frac{78,9 \cdot 49915398,09}{159,49} = 29621001,28 \text{ Nmm}$$

$$= 29,621 \text{ kNm}$$

$$\Phi = \frac{\epsilon_w}{h - c} = \frac{0,00493}{159,49} = 3,091 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

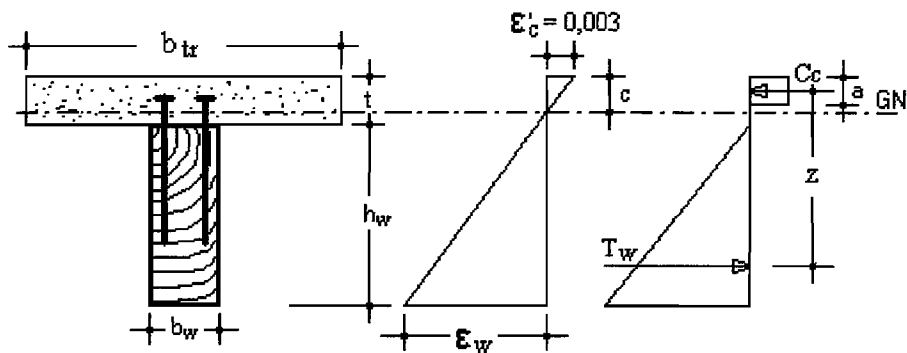
$$= 3,091 \cdot 10^{-2} \text{ rad/m}$$

3. Saat Beban Maksimum (Ultimit)

Tegangan batas :

$$F_c = 0,85 f'c = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ MPa}$$

$$F_w = 0,8 \text{ MOR} = 0,8 \cdot 105,24 = 84,192 \text{ MPa}$$



$$a = \frac{b_w \cdot h_w \cdot 0,8 \text{ MOR} \cdot 0,5}{b_{tr} \cdot 0,85 f_c} = \frac{60 \cdot 120 \cdot 84,192 \cdot 0,5}{525,5 \cdot 17} = 33,93 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan momen } z &= \frac{2}{3} h_w + t - a/2 \\ &= \frac{2}{3} \cdot 120 + 60 - 33,93/2 = 123,035 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$T_w = b_w \cdot h_w \cdot 0,8 \text{ MOR} \cdot 0,5 = 60 \cdot 120 \cdot 84,192 \cdot 0,5 = 303091,2 \text{ N}$$

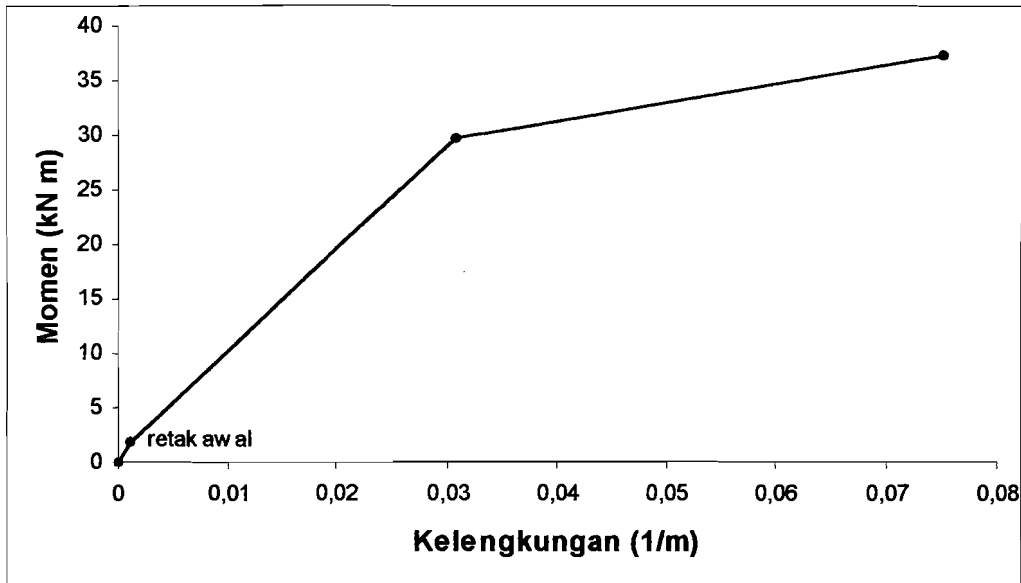
$$C_c = b_{tr} \cdot 0,85 f_c \cdot a = 525,5 \cdot 17 \cdot 33,93 = 303113,66 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M &= T_w \cdot z = 303091,2 \cdot 123,035 = 37290826 \text{ Nmm} \\ &= 37,29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

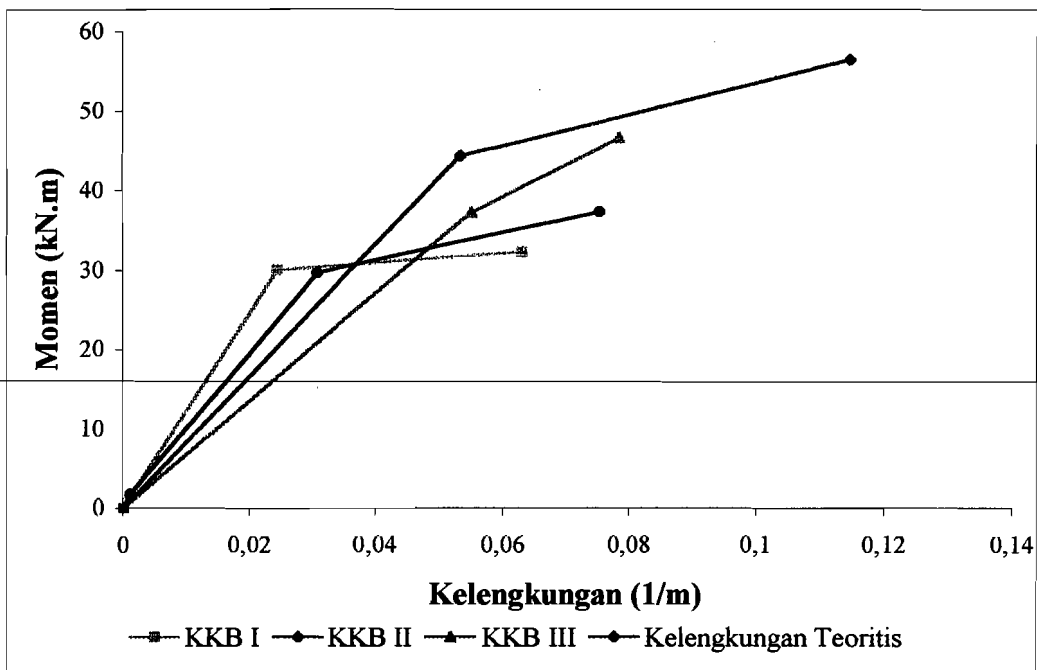
$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{33,93}{0,85} = 39,92 \text{ mm}$$

$$\Phi u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0,003}{39,92} = 7,52 \cdot 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$= 7,52 \cdot 10^{-2} \text{ rad/m}$$



Grafik Momen Kelengkungan Teoritis

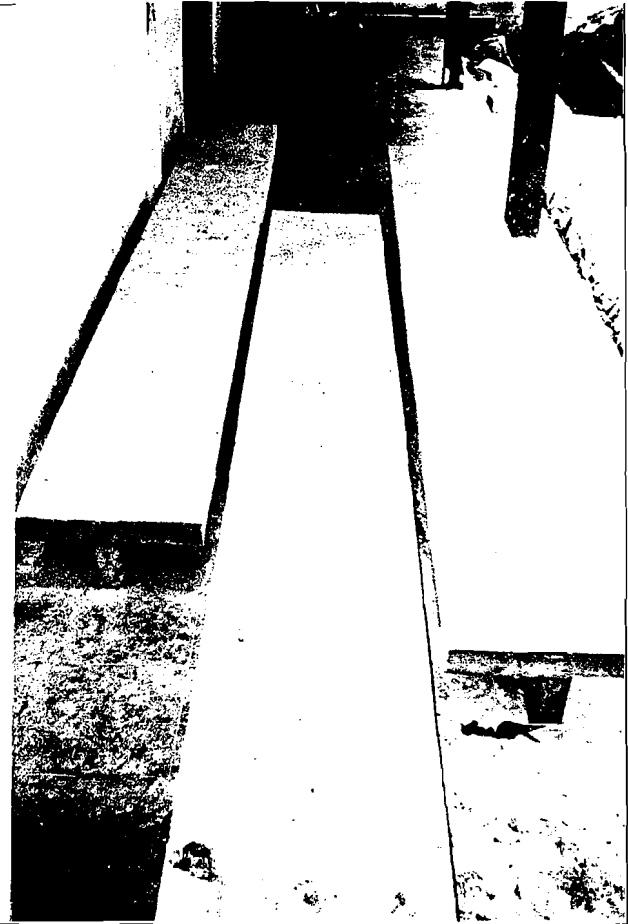


Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan

FOTO PENELITIAN



(a)



(b)

(a) Foto pengecoran benda uji balok T komposit kayu – beton

(b) Foto benda uji balok T komposit kayu – beton

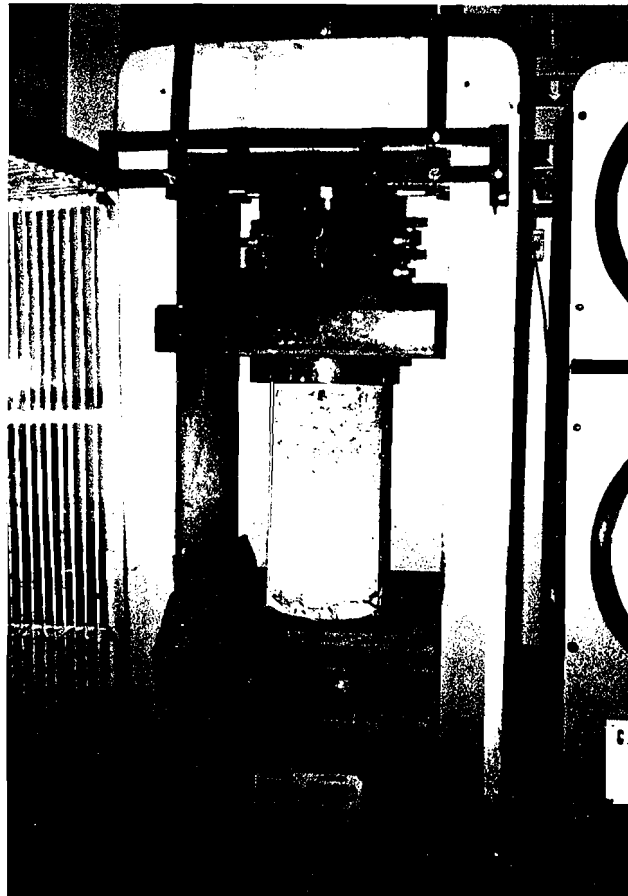


Foto pengujian desak silinder beton

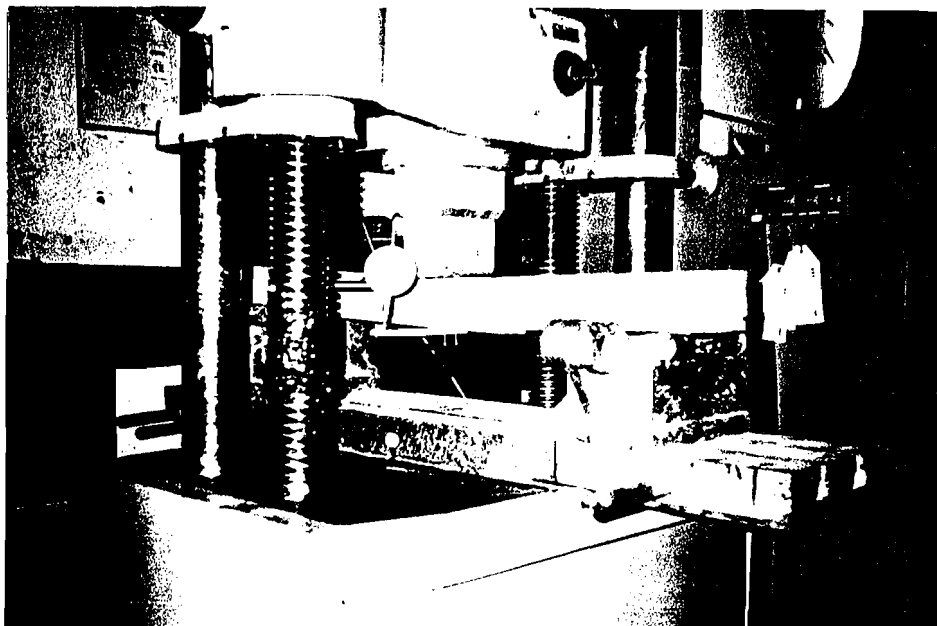


Foto pengujian kuat lentur patah kayu

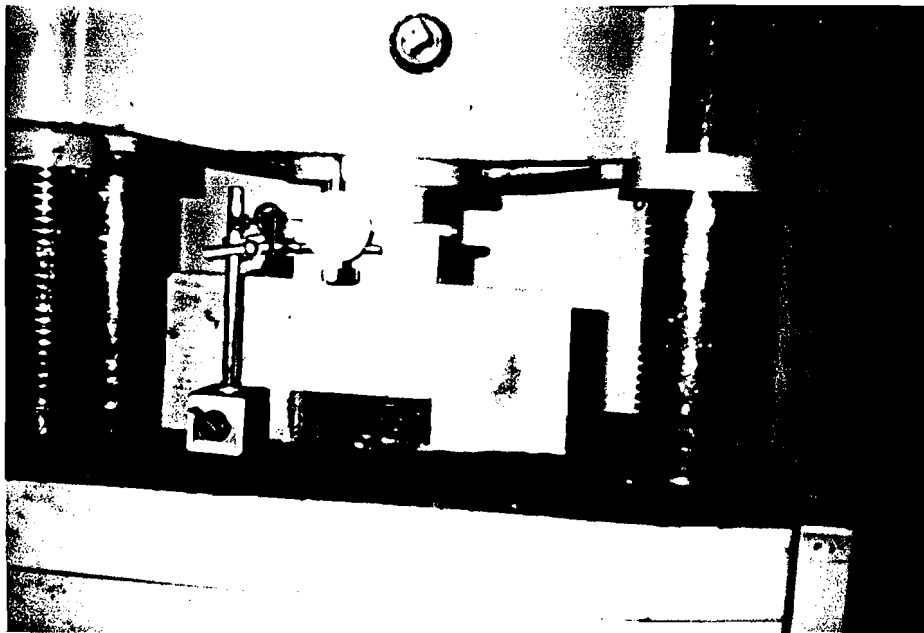


Foto pengujian kuat geser penghubung geser (paku)



Foto pelaksanaan pengujian lentur balok T komposit kayu – beton

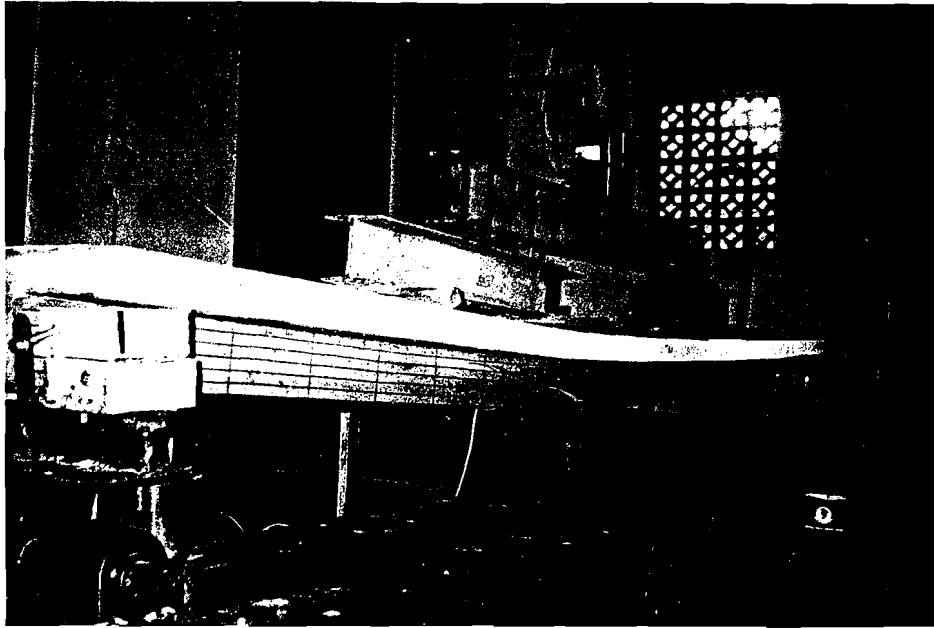


Foto patah lentur benda uji balok T setelah pengujian

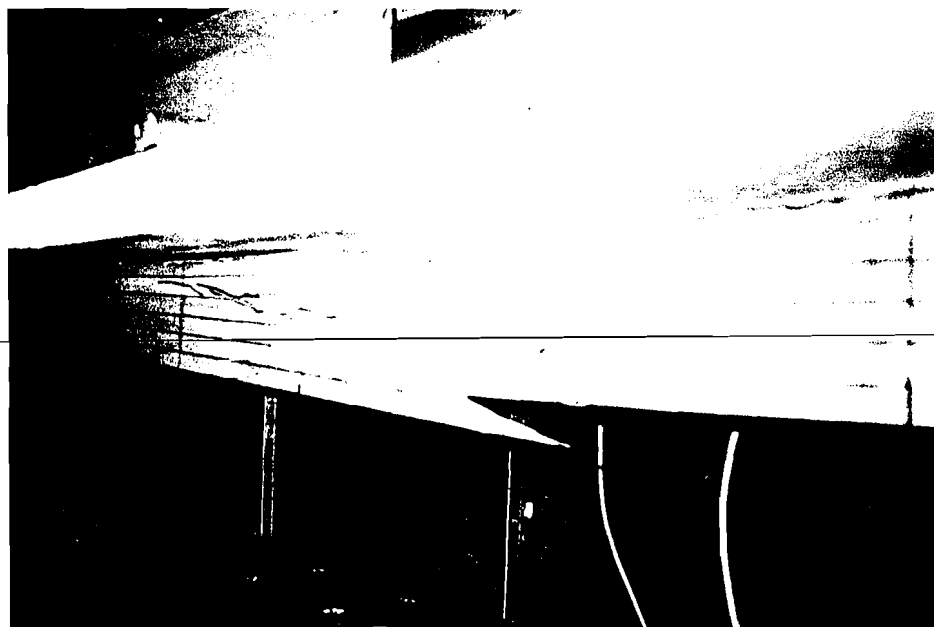


Foto detail patah lentur benda uji balok T setelah pengujian