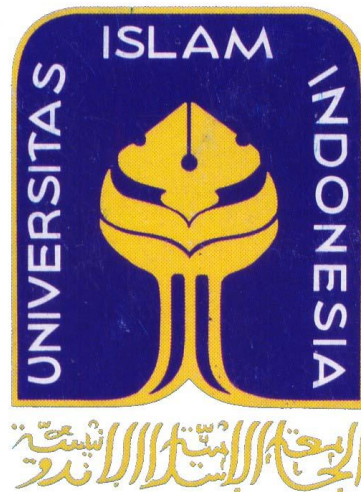


TUGAS AKHIR
KUAT TEKAN BATANG GANDA KAYU GLUGU
AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS DENGAN
VARIASI JUMLAH KLOS DENGAN ALAT
SAMBUNG BAUT

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



HENDRO DJATI SANGADI
02 511 104

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2008

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

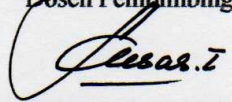
**KUAT TEKAN BATANG GANDA KAYU GLUGU
AKIBAT PEMBEBANAN EKSENTRIS DENGAN
VARIASI JUMLAH KLOS DENGAN ALAT
SAMBUNG BAUT**



Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Sipil

(Ir.H.FAISOLAM.MS.)
Tanggal :

Telah diperiksa dan disetujui oleh :
Dosen Pembimbing


(Ir.H.SOESASTRAWAN.MS)
Tanggal : 14-9-2008

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya kecilku ini untuk:
Papa dan Mama tercinta,
Yang dengan sabar, perhatian dan penuh kasih sayang
Membimbing dan membesarkanku selama ini,
Kakak dan adikku tercinta yang telah banyak memberi
Semangat dan dukungan serta Doa buat selesaikan TA,
Dan untuk Almamaterku,
Terima kasih telah menghantarkanku ke masa depan*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah banyak memberikan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan Tugas akhir yang merupakan salah satu syarat memperoleh jenjang kesarjanaan S1 pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Tujuan utama dari Tugas Akhir atau penelitian Kuat Tekan Batang Ganda Kayu Glugu Akibat Pembebanan Eksentris Dengan Variasi Jumlah Klos adalah untuk memperoleh gambaran tentang kekuatan batang ganda kayu glugu akibat pembebanan eksentris. Dari hasil penelitian ini, diharapkan komponen struktur kolom batang ganda ini dapat dipakai sebagai bahan alternatif yang tepat untuk kolom bangunan sederhana.

Penulis dalam menyelesaikan penelitian ini telah memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah banyak memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta perlindungan kepada penulis.
2. Bapak Prof.Dr.H Edy Suandi Hamid, M.Ec, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr.Ir.H Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir.H Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir.H Soesastrawan, MS, selaku Dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah dengan sabar dan pengertian membimbing serta memberikan masukan kepada penulis sehingga selesainya tugas akhir ini.
6. Bapak Ir.H Moch. Teguh, MSCE, Ph.D selaku dosen penguji I.
7. Bapak Ir.H A Kadir Aboe, MS, selaku dosen penguji II.

8. Kedua orang tua serta kakak dan adikku tercinta yang telah banyak memberikan kasih sayang, doa dan nasihat yang tak ternilai selama ini kepada penulis.
9. Teman,sahabat,saudaraku Firmansyah Hanry Tuahunse beserta keluarga makasi buat segalanya,sukses buat kita broooooooooo.....
10. Wahyu temen TA ku, makasih bro,bljr 100 taon lg bwt kalahkan saya.....
11. Sahabatku Arif dan Yogi makasih dah bantu ngelab.
12. Mas Aris, yang sudah berjuang mati-matian membantu urusan lab.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dorongan kepada penulis.

Penulis menyadari tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun diharapkan guna perbaikan dari karya ini. Akhirnya harapan penulis, tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak dan dapat dijadikan bahan kajian lebih lanjut.

Yogyakarta, September 2008

Penulis

ABSTRAK

Kolom Batang Ganda adalah struktur batang kayu yang dibuat tidak tunggal melainkan dibuat ganda dengan diberi penghubung (klos) sehingga batang tersebut menjadi satu kesatuan. Hal ini bertujuan untuk memperbesar momen Inersia I sehingga struktur batang tersebut menjadi lebih kuat dibanding batang tunggal.

Tugas akhir ini mengambil judul Kuat Tekan Batang Ganda Kayu Glugu Akibat Pembebanan Eksentris Dengan Variasi Jumlah Klos. Panjang bentang kolom batang ganda adalah 2 m, dengan ukuran penampang kayu 4/12 cm dan ukuran penampang klos 4/7 cm dengan panjang 12 cm dan 16 cm yang dipasang secara berimpit. Serta ukuran penghubung baut adalah 14 cm dengan diameter 10 mm. Pengujian yang dilakukan adalah dengan memberikan beban eksentris terhadap benda uji sampai terjadi kerusakan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh gambaran tentang kuat tekan batang ganda akibat pembebanan eksentris dengan variasi jumlah klos, sehingga didapatkan beban maksimum akibat penambahan jumlah klos. Dari hasil penelitian ini, diharapkan komponen batang ganda ini dapat dipakai sebagai bahan alternatif yang tepat untuk kolom bangunan sederhana.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan desak batang ganda lebih besar dibandingkan dengan batang tunggal. Kekuatan desak maksimum batang tunggal adalah 1200 kg, sedangkan kekuatan desak maksimum batang ganda dengan jumlah klos paling sedikit (2) adalah 5200 kg.

Kata kunci : Batang Ganda, Klos, Penghubung Baut

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAKSI.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Menurut FH. Djokowahjono.....	5
2.2 Spasi Kolom Menurut Keith J.Faherty.....	6
2.3 Menurut Suwarno Wiryomartono.....	6
2.4 Menurut Salmon Dan Charles G.....	7

2.5	Menurut WF Chan T Astuta.....	8
2.6	Menurut Crawly dan Stanly W, M, Arc, dkk.....	8
2.7	Menurut Padobajoyo.....	8
2.8	Penelitian Sejenis Sebelumnya.....	9

BAB III LANDASAN TEORI..... 11

3.1	Karakteristik Kayu.....	11
3.1.1	Pengujian Kadar Lemas Kayu.....	12
3.1.2	Pengujian Berat Jenis Kayu.....	13
3.1.3	Pengujian Tegangan Bahan.....	13
3.1.4	Penentuan Modulus Elastisitas Kayu.....	14
3.2	Batang Desak.....	15
3.2.1	Faktor Tekuk.....	15
3.2.2	Batang Tunggal.....	17
3.2.3	Batang Ganda.....	17
3.3	Penempatan Klos.....	18
3.4	Momen Lentur Maksimum.....	19
3.5	Tegangan Geser Mendatar Balok.....	19
3.5.1	Aliran Geser.....	22
3.5.2	Hubungan Antara Tegangan Geser Mendatar dan Tegak.....	22
3.5.3	Pemakaian Terhadap Tampang Segi Empat.....	24
3.6	Hubungan Antara Momen (M) dan Kelengkungan (Φ)	25
3.7	Sambungan Baut.....	28

BAB IV METODE PENELITIAN..... 31

4.1	Bahan Penelitian.....	31
4.2	Peralatan Penelitian.....	31
4.3	Model Benda Uji.....	34
4.4	Metode Penelitian.....	34

4.5	Diagram Alir Penelitian.....	36
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		37
5.1	Hasil Penelitian.....	37
5.1.1	Modulus Elastisitas Kayu	37
5.1.2	Kuat Desak Batang Tunggal	40
5.1.3	Kuat Desak Batang Ganda	41
5.1.4	Hubungan Jarak Klos Dengan Kuat Desak Maksimum Batang Ganda Akibat Pembebanan Eksentris.....	44
5.1.5	Hubungan Momen Dengan Kelengkungan Hasil Penelitian.....	46
5.2	Pembahasan.....	49
5.2.1	Perbandingan Kekuatan Desak Maksimum Benda Uji Batang Tunggal $b/h = 4/12$ cm, Dengan Batang Ganda Dan Batang Tunggal $8/12$	49
5.2.2	Kekuatan Desak Maksimum Rata-Rata Benda Uji Batang Ganda Akibat Penambahan Jumlah Klos.....	50
5.2.3	Hubungan Kekuatan Batang Ganda Berdasarkan Jumlah Klos Dengan Defleksi, Momen dan Kelengkungan	52
5.2.4	Perbandingan Kekuatan Desak Maksimum rata rata Benda Uji Batang Ganda Dengan Beban Maksimum Teoritis	53
5.2.5	Perilaku Benda Uji Terhadap Pembebanan Eksentris.....	55
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		57
6.1	Kesimpulan.....	57

6.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Batang Ganda	5
Gambar 2.2 Skema Batang Ganda Dengan Klos	7
Gambar 3.1 Sampel Uji Desak Kayu	14
Gambar 3.2 Grafik Tegangan regangan	14
Gambar 3.3 Batang Tunggal.....	17
Gambar 3.4 Batang Ganda	17
Gambar 3.5 Lentur pada Batang akibat Beban Desak	18
Gambar 3.6 Tegangan tegangan geser dalam balok tampang empat persegi panjang.....	20
Gambar 3.7 Tegangan geser mendatar dan tegak	23
Gambar 3.8 Tegangan geser pada elemen khusus.....	23
Gambar 3.9 Tegangan geser terbagi sepanjang penampang segi empat secara parabolis.....	24
Gambar 3.10 Defleksi yang terjadi akibat beban (P).....	26
Gambar 3.11 Hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ).....	28
Gambar 4.1 Mesin Uji Kuat Desak.....	31
Gambar 4.2 Hidraulic Jack.....	32
Gambar 4.3 Loading Frame.....	32
Gambar 4.4 Dial Gauge.....	33
Gambar 4.5 Flow Chart Penelitian.....	36
Gambar 5.1 Grafik Tegangan-Regangan Sampel1.....	38
Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2.....	40

Gambar 5.3 Grafik Gabungan Beban-Defleksi Batang tunggal 1.....	41
Gambar 5.4 Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 2.....	42
Gambar 5.5 Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 3.....	42
Gambar 5.6 Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 4.....	43
Gambar 5.7 Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 5.....	43
Gambar 5.8 Grafik Hubungan $P_{max} - L1/a$ sampel 1.....	44
Gambar 5.9 Grafik Hubungan $P_{max} - L1/a$ sampel 2.....	45
Gambar 5.10 Grafik Hubungan $P_{max} - L1/a$ sampel 3.....	45
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Momen kelengkungan batang tunggal.....	46
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 2.....	47
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 3.....	47
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 4.....	48
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 5.....	48
Gambar 5.16 Grafik Hubungan P_{maks} rata rata - Jumlah Klos.....	51
Gambar 5.17 Grafik Gabungan Hubungan Beban – Defleksi rata-rata.....	52
Gambar 5.18 Grafik Gabungan Hubungan Momen-Kelengkungan rata-rata.....	52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Hubungan Kelas Kuat dan Berat Jenis Kayu	11
Tabel 3.2 Tegangan Ijin Kayu Mutu A	11
Tabel 5.1 Kuat Desak Kayu Sampel 1	38
Tabel 5.2 Kuat Desak Kayu Sampel 2	39
Tabel 5.3 Hubungan Beban Maksimum – $(L1/a)$	44
Tabel 5.4 Tabel Beban Maksimum	49
Tabel 5.5 Tabel Beban Maksimum rata-rata Batang Ganda.....	50
Tabel 5.6 Tabel P_{max} Teoritis – P_{max} rata-rata Hasil Uji.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Gambar Benda Uji.....	60
Data Tes Tarik Dan Berat Jenis Kayu Glugu Searah Serat.....	65
Data Perhitungan Teoritis Batang Ganda.....	67
Tabel Kuat Tekan Batang Tunggal Dan Batang Ganda.....	71
Dokumentasi.....	82
Kartu Presensi Tugas Akhir.....	84

DAFTAR NOTASI

A	=	luas (cm ²)
A'	=	Luas parsial penampang diatas lapisan dimana tegangan geser dihitung (cm ²)
a	=	Jarak antar batang ganda (cm)
b	=	Lebar benda uji dan klos (cm)
c	=	Jarak dari sumbu netral ke permukaan luar balok (cm)
D	=	Gaya geser tegak (kg)
E	=	Modulus elastisitas (kg/cm ²)
e	=	Eksentrisitas (cm)
F _{br}	=	Luas tampang bruto (cm ²)
g	=	Berat jenis kayu (kg/cm ³)
h	=	Tinggi benda uji dan klos (cm)
I _x	=	Momen Inersia terhadap sumbu x (cm ⁴)
I _y	=	Momen inersia terhadap sumbu y (cm ⁴)
I _t	=	Momen Inersia yang dihitung secara teoritis (cm ⁴)
I _g	=	Momen inersia yang dihitung dengan menganggap bagian ganda Menjadi tunggal (cm ⁴)
i _x	=	Jari-jari inersia terhadap sumbu x (cm)
i _y	=	Jari-jari inersia terhadap sumbu y (cm)
i _{min}	=	Jari-jari inersia minimum (cm)
L	=	Panjang batang (cm)
L ₁	=	Jarak antara klos ujung dengan klos tengah (cm)
L _c	=	Jarak antara klos tengah dengan klos yang lain (cm)
l _k	=	Panjang tekuk (cm)
M _c	=	Kadar lengas kayu kering oven (%)
P	=	Gaya yang bekerja (kg)

P_{cr}	=	Beban kritis untuk sebuah kolom (kg)
P_{tk}	=	Gaya Tekuk (kg)
Q	=	Momen Statis (cm^3)
q	=	Aliran geser
s	=	Jarak dari titik berat batang pembentuk batang ganda ke titik berat batang ganda (cm)
V	=	Volume benda (cm^3)
W	=	Berat benda (gr)
W_n	=	Modulus tahanan (cm^3)
W_0	=	Berat kayu basah (gr)
W_1	=	Berat kayu kering oven (gr)
$\bar{y}$	=	Lengan momen luas terhadap sumbu netral (cm)
σ_{lt}	=	Tegangan lentur ijin (kg/cm^2)
$\sigma_{ds//}$	=	Tegangan desak ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)
$\sigma_{tr//}$	=	Tegangan tarik ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)
$\sigma_{tk\perp}$	=	Tegangan desak ijin tegak lurus arah serat (kg/cm^2)
$\sigma_{ds//tot}$	=	Tegangan desak total yang timbul (kg/cm^2)
$\tau_{//}$	=	Tegangan geser ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)
σ_p	=	Tegangan sebanding (kg/cm^2)
ϵ_p	=	Regangan sebanding
ω	=	Faktor tekuk
λ	=	Kelangsingan batang
τ	=	Tegangan geser satuan (kg/cm^2)
Φ	=	Kelengkungan (1/mm)
δ	=	Lendutan kolom (cm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kayu merupakan bahan konstruksi yang masih banyak digunakan di Indonesia, antara lain untuk keperluan rumah tinggal, jembatan dan lain-lain. Keuntungan dari kayu yaitu sebagai bahan struktur bangunan yang tahan terhadap gempa dan memiliki nilai seni yang tinggi. Apalagi seperti kondisi wilayah Indonesia yang rawan terjadinya gempa, sehingga sebagian masyarakat lebih memilih kayu sebagai bahan struktur bangunan.

Indonesia sendiri merupakan negara yang sangat kaya akan kayu, terutama di pulau-pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi yang masih banyak mempunyai hutan sebagai penghasil kayu. Tetapi penebangan hutan secara liar yang tidak terkendali selama puluhan tahun menyebabkan terjadinya kerusakan dan penyusutan hutan tropis secara besar-besaran yang mengakibatkan kurangnya pasokan kayu sehingga mengakibatkan semakin tingginya harga kayu di pasaran. Untuk itu perlu dicari alternatif pengganti kayu hutan.

Indonesia juga merupakan salah satu negara yang memiliki areal perkebunan kelapa yang cukup luas. Hampir semua kawasan pantai Indonesia terdapat tanaman kelapa. Pemanfaatan kayu kelapa dilakukan sebagai alternatif pengganti kayu hutan. Dalam hal ini penulis memilih kayu kelapa (glugu) sebagai bahan penelitian karena disamping harganya yang relatif murah, kayu kelapa (glugu) juga memiliki kekuatan yang tidak kalah baiknya dibandingkan dengan

kayu hutan. dan juga masih sangat sedikit penelitian yang menggunakan kayu kelapa sebagai bahan penelitian. Kayu kelapa (glugu) banyak juga digunakan terutama pada daerah pesisir untuk konstruksi ringan yang terlindung, seperti kolom pada rumah tinggal.

Pada struktur portal, khususnya kolom sering dijumpai bahwa batang tidak dibuat tunggal, melainkan ganda. Hal ini disebabkan karena selain berfungsi untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada kolom itu sendiri, kolom juga menyalurkan gaya-gaya yang bekerja pada balok ke pondasi, akibat beban-beban yang bekerja pada struktur portal, kolom umumnya mengalami pembebanan eksentris, yang mengakibatkan penambahan momen, sehingga akan timbul tegangan, dengan demikian penampang kolom akan menjadi daerah tekan dan tarik, batang tunggal tidak cukup kuat untuk menerima gaya-gaya yang besar tersebut sehingga terjadi tekuk (buckling). Untuk menghindari bahaya tekuk, maka digunakan batang ganda yang dihubungkan oleh suatu pengaku yang disebut klos. Dengan menggunakan batang ganda, momen inersia menjadi lebih besar sehingga batang tersebut menjadi lebih kuat.

1.2. Rumusan Masalah

Pada struktur portal banyak terdapat batang yang mengalami pembebanan eksentris, dalam hal ini khususnya adalah kolom. Kekuatan batang tunggal umumnya yang tersedia sangat terbatas untuk mendukung gaya aksial dan momen yang sangat besar. Untuk itu digunakan batang ganda dengan penghubung klos untuk meningkatkan kekuatan kolom. Untuk mendapatkan kekuatan batang ganda

yang maksimal perlu dicari jumlah klos yang efisien. Jumlah klos pada batang ganda akan divariasikan dengan menggunakan jumlah klos 2 sampai dengan 5 untuk tiap batang, dan menggunakan dua buah baut tiap klos sebagai alat sambung.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan batang ganda akibat pembebanan eksentris dengan variasi jumlah klos, sehingga didapatkan beban maksimum akibat penambahan jumlah klos.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perbedaan kekuatan desak eksentris batang tunggal dengan batang ganda.
2. Mengetahui kekuatan desak batang ganda kayu glugu akibat pembebanan eksentris dengan variasi jumlah klos, sehingga didapatkan jumlah klos yang mampu menahan beban maksimum.
3. Menambah pengetahuan tentang konstruksi kayu yang masih jarang dilakukan penelitian.
4. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan kolom batang ganda khususnya kayu glugu.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian dapat terarah terhadap tujuan penelitian serta mudah dipahami, maka perlu adanya batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Kayu yang digunakan adalah kayu glugu jawa
2. Dimensi benda uji adalah (b/h) : 4/6 cm, L 200 cm
3. Memakai 2 klos dengan dimensi klos (b/h) : 4/7 cm, L:12cm dan 4/7, L :16cm yang dipasang berimpit/berdekatan
4. Sambungan yang digunakan adalah sambungan baut tampang tampang dua
5. Beban P yang diterima adalah P eksentris dengan $e = 2$ cm yang diletakkan pada sumbu lemah, yaitu pada sumbu x
6. Diameter baut yang digunakan : 3/8 “ (10 mm)
7. Jumlah baut yang digunakan adalah 1 buah, sesuai dengan PKKI 1961 untuk $h > 18$ cm dipakai 4 buah baut, sedangkan $h \leq 18$ cm dipakai 2 buah baut.
8. Model benda uji yang dibuat masing-masing 3 buah benda uji, yaitu :
 - a. Jumlah Klos 2 : L = 200 cm, $L_c = L = 186$ cm
 - b. Jumlah Klos 3 : L = 200 cm, $L_c = L = 93$ cm
 - c. Jumlah Klos 4 : L = 200 cm, $L_c = L = 62$ cm
 - d. Jumlah Klos 5 : L = 200 cm, $L_c = L = 46.5$ cm

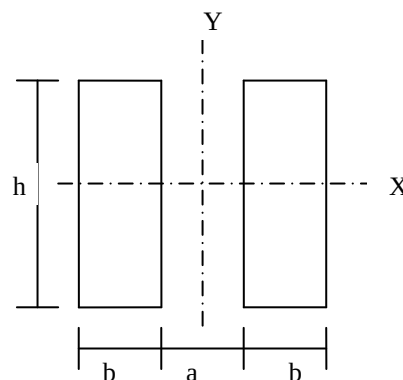
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Menurut FH. Djokowahjono

Batang ganda dapat terdiri dari dua, tiga ataupun empat batang tunggal yang digabung dengan diberi jarak antara. Pemberian jarak ini dengan maksud untuk memperbesar momen inersia yang berarti juga memperbesar daya dukung.

Besarnya momen inersia terhadap sumbu bebas bahan dalam hal ini sumbu Y harus diberi faktor reduksi sehingga besarnya dihitung $I_y = 1/4 \cdot (I_t + 3 \cdot I_g)$.



Gambar 2.1 : Batang Ganda

Keterangan : I_y = Momen inersia terhadap sumbu y

I_t = Momen inersia yang dihitung secara teoritis

I_g = Momen inersia yang dihitung dengan menganggap bagian-bagian ganda menjadi tunggal

2.2 Spasi Kolom Menurut Faherty (1989)

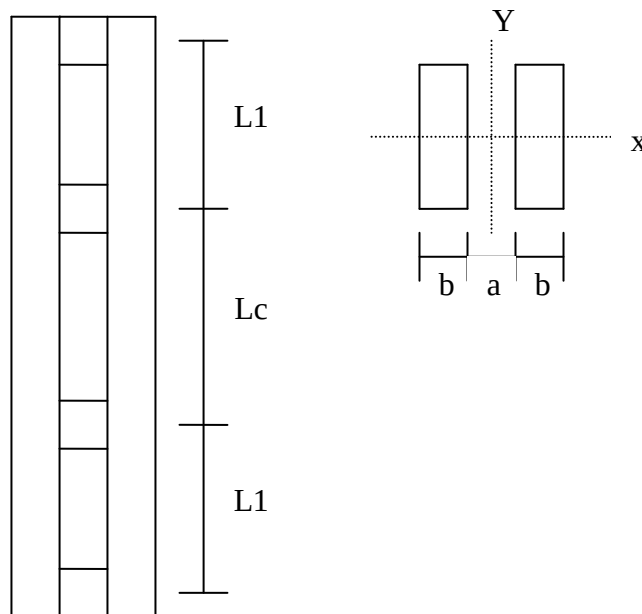
Spasi kolom terdiri dari dua atau lebih batang-batang individu dengan batang longitudinalnya paralel dan dipisahkan diujung serta ditengah bentang oleh blok. Batang-batang individu dihubungkan diujung-ujung batang dengan penghubung yang mampu meningkatkan kemampuan geser yang disyaratkan antara batang-batang penyusun dan balok atau klos. Jika hanya ada sebuah blok spasi yang tersedia di pusat bentang batang, hanya diperlukan baut. Apabila ada dua atau lebih blok spasi digunakan, disyaratkan menggunakan penghubung kayu (paku, baut, dll). Spasi kolom digunakan sebagai batang-batang desak dalam rangka batang dan sebagai pengaku kolom.

2.3 Menurut Suwarno Wiyomartono (1982)

Didalam menentukan dukungan terhadap bahaya tekuk dalam arah // sumbu bahan, maka batang-batang itu dapat dianggap sebagai satu kesatuan, dengan syarat bahwa bagian-bagian susunan cukup saling terikat dengan pertolongan klos-klos tekukan atau lazim disebut perangkai.

Dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sebuah batang ganda terdiri dari dua bagian yang ditempatkan sedemikian sehingga momen inersia arah x sama dengan momen inersia arah y ($I_x = I_y$), seperti gambar 2.1, maka tertekuknya batang itu akan terjadi lebih dahulu dalam arah tegak lurus sumbu bebas bahan. Dalam menentukan besarnya momen lembam terhadap sumbu bebas bahan harus diberi faktor reduksi. Setiap batang desak harus diselidiki momen lembamnya terhadap kedua sumbu. Dari batang

ganda yang terdiri dari dua bagian seperti di atas, didapat $I_x = 2.1/12bh^3$ dan karena $F = 2.bh$, maka didapat $i_x = 0,289h$.



Gambar 2.2 : Skema Batang Ganda dengan Klos

Keterangan : L_1 = jarak antara klos ujung dengan klos tengah

L_c = Jarak antara klos tengah dengan klos tengah lainnya

2.4 Menurut Salmon dan Charles G

Akibat pembebanan eksentris yaitu beban bekerja tidak tepat pada titik berat penampang kolom, mengakibatkan terjadinya momen lentur disamping gaya aksial. Momen yang timbul akibat beban eksentris tersebut sebesar M , yang didapat dari beban (P) dikalikan dengan jarak beban ke pusat berat penampang kolom (e). Momen lentur dapat bersumbu tunggal (uniaksial) seperti kolom eksterior bangunan bertingkat banyak dan kolom bersumbu banyak (biaksial)

apabila lenturnya terjadi terhadap sumbu X dan sumbu Y seperti kolom yang terletak di pojok bangunan.

2.5 Menurut WF Chan T Astuta

Hubungan tanpa dimensi beban kolom dibanding dengan beban kritis versus nilai eksentrisitas dibanding dengan jari jari kelembaman. Semakin besar nilai eksentrisitas maka semakin kecil daya dukung kolom tersebut.

2.6 Menurut Crawly dan Stanly W, M, Arc, dkk

Semua beban kolom sejauh ini diasumsikan bekerja secara sentris. Asumsi ini tepat ketika beban bekerja sampai puncak kolom dimana ketika sebuah pertemuan balok kolom terdapat balok dikeempat sisinya. Tetapi bila pada pertemuan balok kolom hanya terdapat tiga balok pada pertemuan balok kolom tersebut, maka terdapat ketidaksimetrisan potongan kolom dan akan terjadi kondisi pembebanan eksentris pada kolom bangunan gedung.

2.7 Menurut Padobajayo (1994)

Dalam praktek, batang struktur tidak ada yang lurus sempurna, idealisasi batang prismatic sulit untuk dipenuhi, sifat homogen batang juga tidak pernah ada. Tidak ada sumbu batang yang lurus. Gaya tekan aksial tidak akan berimpit dengan sumbu batang yang lurus, sehingga gaya tekan akan bekerja secara eksentris. Eksentrisitas gaya akan menimbulkan momen lentur. Dengan gaya

aksial tertentu, batang tekan langsing akan melentur lebih besar jika dibandingkan dengan batang gemuk.

2.8 Penelitian Sejenis Sebelumnya

2.8.1. Penelitian yang dilakukan oleh saudara **Maharyo** dan **Kuncoro** yang berjudul “Kuat Tekan Batang Ganda dengan Penghubung Klos dan Variasi Jarak Klos”. Alat sambung yang mereka gunakan adalah paku berjumlah empat buah dengan model sambungan paku bertampang dua. Disini mereka hanya memvariasikan jarak klosnya dan model benda ujinya hanya batang ganda biasa dengan pembebanan sentris, bukan eksentris. Kayu yang digunakan adalah kayu bengkirai (*Shorea Laevifolia Endert*) kelas kuat I-II, hasil yang didapatkan adalah jarak klos yang optimal tapi tidak diketahui berapa banyak jumlah klosnya sehingga memberikan kekuatan yang optimal.

2.8.2. Penelitian yang dilakukan oleh saudara **Arief Edi Wibowo** yang berjudul “Uji Kuat Tekan Batang Ganda Kayu Dengan Variasi Jumlah Klos”. Alat sambung yang digunakan adalah baut bertampang satu, dan kayu yang digunakan adalah kayu glugu jawa. pada penelitian tersebut saudara Arief memvariasikan jumlah klos mulai dari klos 2 sampai klos 5 dengan pembebanan sentris. Dari penelitian tersebut diambil kesimpulan:

1. Dengan penambahan jumlah klos, kekuatan batang ganda semakin bertambah. Sehingga beban maksimum yang diterima semakin besar

2. Kekuatan satu batang kayu glugu, tidak homogen antara batang satu engan yang lainnya.
3. Semakin besar beban yang diterima kolom batang ganda, semakin besar ledutan yang terjadi.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Kayu

Untuk mengetahui karakteristik kayu yang akan digunakan pada penelitian ini perlu diketahui berat jenis, tegangan, dan kelas kuat kayu terlebih dahulu. Di bawah ini disajikan tabel 3.1 tentang hubungan antara kelas kuat dan berat jenis kayu, dan tabel 3.2 tentang tegangan ijin kayu mutu A.

Tabel 3.1 : Hubungan Kelas Kuat dan Berat Jenis Kayu

Kelas kuat	I	II	III	IV	V
Berat Jenis	$\geq 0,90$	0,60 – 0,89	0,40 – 0,59	0,30 – 0,39	$< 0,30$

Tabel 3.2 : Tegangan Ijin Kayu Mutu A

Tegangan (kg/cm ²)	Kelas Kuat					Jati
	I	II	III	IV	V	(Tectonagrandiis)
σ_{lt}	150	100	75	50	-	130
$\sigma_{tk//} = \sigma_{tr//}$	130	85	60	45	-	110
$\sigma_{tk\perp}$	40	25	15	10	-	30
$\tau_{//}$	20	12	8	5	-	15

Tegangan ijin tersebut menurut PKKI 1961 dapat ditentukan dengan

korelasi berat jenis, yaitu : $\sigma_{lt} = 170 \text{ g} \dots \dots \dots (3.1)$

$$\sigma_{tk//} = \sigma_{tr//} = 150 \text{ g} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\sigma_{tk\perp} = 40 \text{ g} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\tau_{//} = 20 \text{ g} \dots \dots \dots (3.4)$$

dengan : g = berat jenis kering udara (kg/cm^3)

σ_{lt} = tegangan lentur ijin (kg/cm^2)

σ_{tk} = tegangan desak ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)

σ_{tr} = tegangan tarik ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)

$\sigma_{tk\perp}$ = tegangan desak ijin tegak lurus arah serat (kg/cm^2)

$\tau_{//}$ = tegangan geser ijin sejajar arah serat (kg/cm^2)

Untuk kayu bermutu B maka rumus diatas harus diberi faktor 0,75.

3.1.1 Pengujian Kadar Lengas Kayu

Kadar lengas adalah perbandingan antara berat kandungan air dalam kayu dengan berat kayu kering tungku. Untuk mengetahui kadar air dalam kayu, sejumlah sampel kayu ditimbang (W_0), Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama ± 5 hari atau hingga beratnya konstan. Kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang kembali (W_1).

$$MC = \frac{W_0 - W_1}{W_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (3.5)$$

3.1.2 Pengujian Berat Jenis Kayu

Berat volume/berat jenis adalah perbandingan antara berat benda dengan volume benda. Untuk pengukuran berat volume kayu dilakukan pada kondisi kering udara.

$$g = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan : g = berat volume benda (gr/cm^3)

W = berat benda (gr)

V = volume benda (cm^3)

3.1.3 Pengujian Tegangan bahan

Tegangan adalah besar gaya yang bekerja pada tiap satuan luas tampang benda, dengan persamaan :

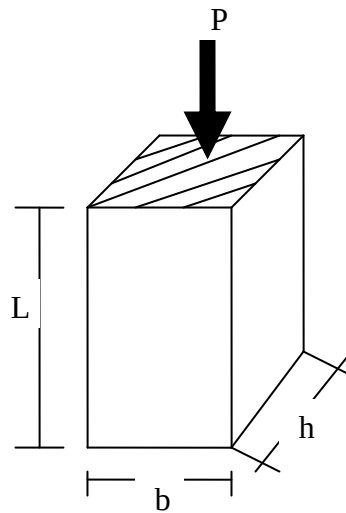
$$\sigma_{\text{dsk}} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.7)$$

dengan : σ = tegangan (kg/cm^2)

P = gaya yang bekerja (kg)

A = luas (cm^2)

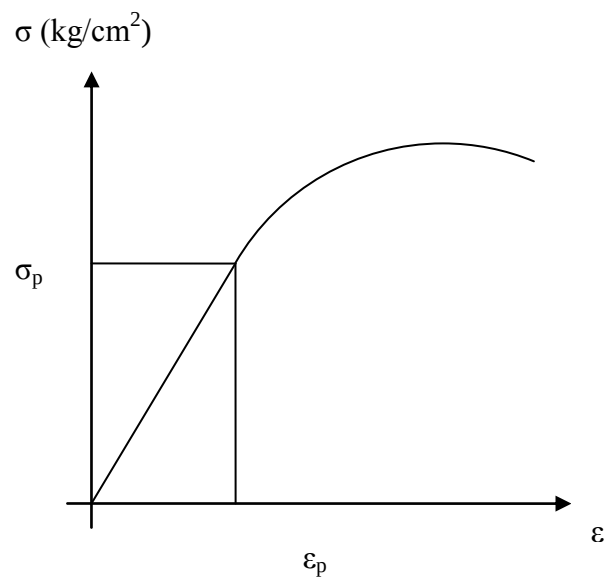
Pengujian tegangan bahan yang dilakukan meliputi pengujian kuat desak kayu. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan gaya searah serat kayu. Bentuk sample kayu yang akan diuji kuat desaknya seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 : Sampel Uji Desak Kayu

3.1.4 Penentuan Modulus Elastisitas Kayu (E)

Modulus elastisitas kayu dapat diperoleh dari diagram tegangan regangan uji desak kayu, yaitu dengan cara membandingkan tegangan dengan regangan kayu.



Gambar 3.2 : Grafik Tegangan Regangan

$$E = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan : E = modulus elastisitas (kg/cm^2)

σ_p = tegangan sebanding (kg/cm^2)

ε_p = regangan sebanding

3.2 Batang Desak

Batang desak pada struktur rangka kolom atau tiang, maupun struktur bangunan lain hampir selalu terjadi tekuk. Maka dari itu batang desak harus direncanakan sedemikian rupa untuk menghindari tekuk tersebut.

3.2.1 Faktor Tekuk

Untuk menentukan faktor tekuk (ω) terlebih dahulu harus menentukan angka kelangsingan (λ), yaitu :

$$\lambda = \frac{l_{tk}}{i_{\min}} \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan: λ = kelangsingan

L_{tk} = panjang tekuk

$i_{\min}$ = jari-jari inersia minimum

Untuk menentukan besarnya l_{tk} tergantung dari L dan sifat-sifat ujung batang :

1. Ujung-ujung batang bersendi, maka $l_{tk} = 1 l$
2. Sebuah ujung bebas dan ujung lainnya jepit, maka $l_{tk} = 2 l$
3. Sebuah ujungnya sendi dan ujung lainnya jepit, maka $l_{tk} = \frac{l}{2} \sqrt{2}$

Untuk konstruksi rangka batang, dianggap $l_{tk} = 1$ l

Setelah λ diketahui, ω dapat dilihat di daftar III PKKI 1961.

Untuk menghitung tegangan desak yang terjadi digunakan rumus :

$$\sigma_{ds//tot} = \frac{P \cdot \omega}{F_{br}} \leq \sigma_{ds//} \dots \dots \dots (3.10)$$

Sedang untuk menghitung batang kayu yang dibebani desakan dan lenturan menggunakan rumus :

$$\sigma_{ds//tot} = \frac{p \cdot \omega}{F_{br}} + \alpha \frac{M}{W_n} \leq \sigma_{ds//} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$\text{disini : } \alpha = \frac{\sigma_{ds//}}{\sigma_{lt}}$$

dengan : $\sigma_{ds//tot}$ = tegangan desak total yang timbul

P = beban pada batang

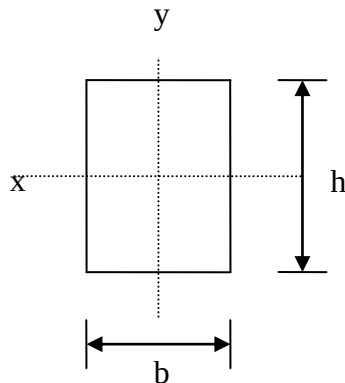
ω = faktor tekuk

Fbr = luas tampang bruto

M = momen

Wn = momen tahanan

3.2.2 Batang Tunggal



$$I_x = 1/12 bh^3$$

$$I_y = 1/12 b^3h$$

$$i_x = 0,289 h$$

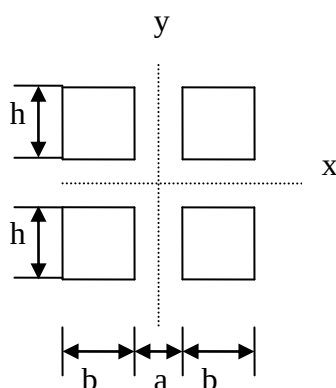
$$i_y = 0,289b$$

$$i_{\min} = i \text{ terkecil}$$

Gambar 3.3 : Batang tunggal

3.2.3 Batang Ganda

Batang ganda dapat terdiri dari dua, tiga ataupun empat batang tunggal yang digabung dengan diberi jarak antara dan dihubungkan dengan memakai klos. Pemberian jarak ini dengan maksud untuk memperbesar momen inersia yang berarti juga memperbesar daya dukung.



$$I_t = 4 I_y + 2F.s^2 \rightarrow s = (a+b)/2$$

$$I_g = 4 \frac{1}{12} h b^3 + 4 (bh) \left(\frac{1}{2} b\right)^2$$

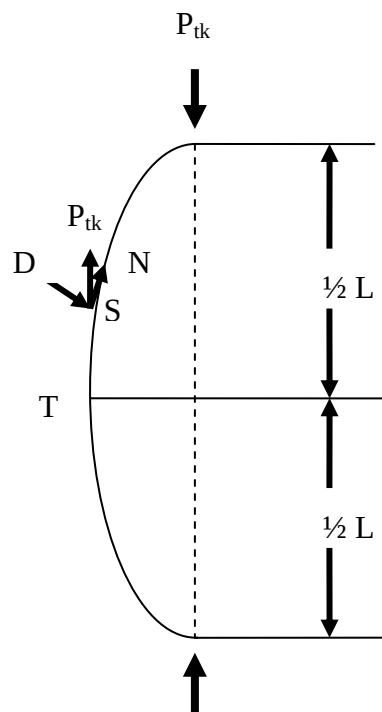
$$I_r = \frac{1}{4} (I_t + 3 I_g)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_r}{AF}}$$

Gambar 3.4 : Batang ganda

3.3 Penempatan Klos

Pada batang tekan, pada saat dibebani akan tertekuk seperti pada gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5 : Lentur pada Batang akibat Beban Desak

Setiap tampang pada batang tersebut menderita gaya P_{tk} yang berarah vertikal. Di titik S gaya ini dapat diuraikan menjadi gaya N dan D yang arahnya masing-masing sejajar dan tegak lurus batang klos perangkai yang terhubung dengan suatu alat sambung (baut). Dimana alat sambung (baut) dan klos tersebut berkewajiban mendukung gaya lintang D itu. Dari gambar 3.5 terlihat bahwa gaya lintang mencapai maksimum didekat titik sendi.

Oleh karena itu, klos perangkai tidak diletakkan di tengah batang, karena di titik itu gaya lintang nol, sehingga perangkai bekerja tidak efektif. Jumlah perangkai hendaknya genap dan ditempatkan pada jarak antara yang sama.

Demikian pula pada ujung-ujung batang harus diberi klos, karena di titik-titik itu gaya lintang mencapai maksimum.

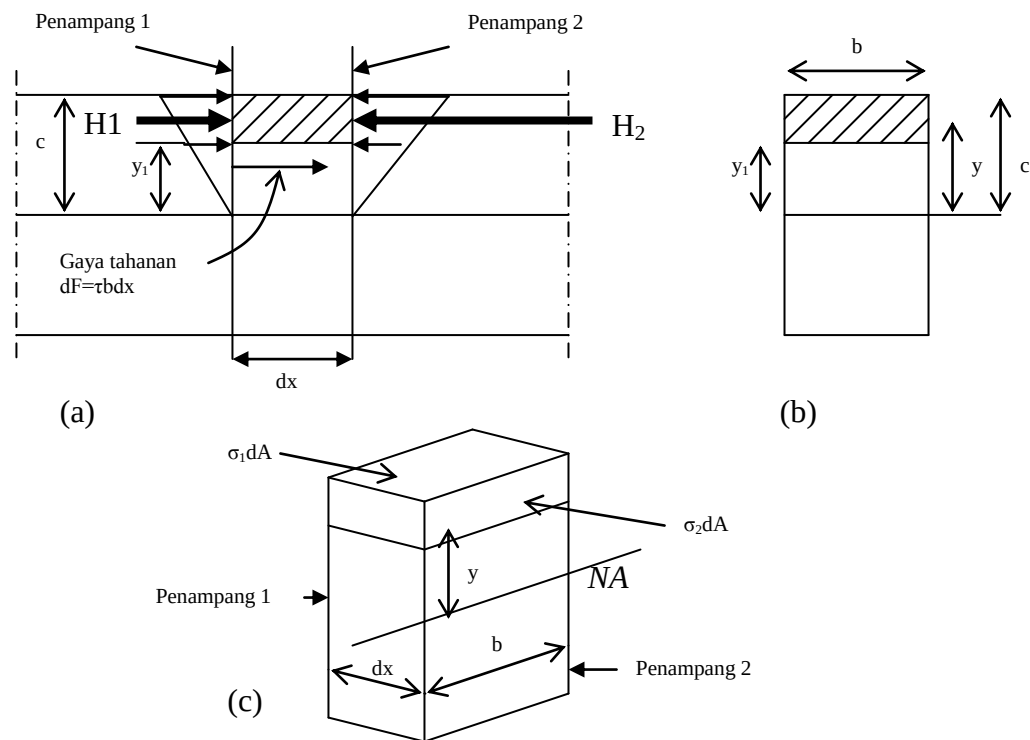
3.4 Momen Lentur Maksimum

Momen lentur maksimum pada kolom yang dibebani secara eksentris terjadi di titik tengah dimana defleksi maksimum terjadi.

$$M_{\max} = P(e + \delta) \dots \dots \dots (3.12)$$

3.5 Tegangan Geser Mendatar Balok

Tinjau dua penampang yang berdekatan (1) dan (2), pada balok yang dipisahkan sejarak dx seperti diperlihatkan pada gambar 3.6 (a) dan (b), dan ambillah elemen kecil dari bagian arsiran dan dipisahkan sebagai benda bebas. Gambar 3.6 (c) merupakan penjelasan tergambar dari bagian ini, balok yang diambil diperlihatkan pada bagian yang diarsir.



Gambar 3.6 : Tegangan-tegangan geser dalam balok tampang empat persegi panjang.

Andaikata momen lentur pada penampang (2) lebih besar dibandingkan dengan penampang (1), berarti tegangan lentur yang timbul pada penampang (2) lebih besar dibandingkan dengan penampang (1). Justru itu resultan gaya dorong mendatar H_2 yang disebabkan oleh gaya tekan pada penampang (2) akan lebih besar dari resultante gaya dorong mendatar H_1 pada penampang (1). Perbedaan antara H_1 dan H_2 hanya dapat diimbangi oleh tahanan gaya geser dF yang bekerja pada permukaan dasar benda bebas, karena tidak ada gaya luar yang bekerja pada puncak atau sisi muka benda bebas.

Karena H_2-H_1 merupakan jumlah perbedaan gaya dorong $\sigma_2 dA$ dan $\sigma_1 dA$ pada ujung semua elemen yang berada pada bidang yang diperlihatkan pada gambar 3.6 (c), jumlah gaya mendatar memberikan

$$\begin{aligned} [\Sigma H=0] \quad dF &= H_2-H_1 \\ &= \int_{y_1}^c \sigma_2 dA - \int_{y_1}^c \sigma_1 dA \dots\dots\dots(3.13) \end{aligned}$$

Di mana, dengan mengganti tegangan lentur σ dengan ekivalennya My/I , kita peroleh

$$dF = \frac{M_2}{I} \int_{y_1}^c y dA - \frac{M_1}{I} \int_{y_1}^c y dA = \frac{M_2 - M_1}{I} \int_{y_1}^c y dA \dots\dots\dots(3.14)$$

Dari gambar 3.6 (a) dan (b) kita mencatat bahwa $dF = \tau b dx$, dimana τ adalah tegangan geser rata rata sepanjang luas diferensial lebar b dan panjang dx , juga bahwa M_2-M_1 menyatakan perubahan momen lentur diferensial dM berjarak dx , oleh karena itu, hubungan diatas bisa ditulis kembali sebagai berikut

$$\tau = \frac{dM}{I b dx} \int_{y_1}^c y dA \dots\dots\dots(3.15)$$

kita sebut $dM/dx=D$, sebagai geser tegak, sehingga kita peroleh tegangan geser mendatar,

$$\tau = \frac{D}{I b} \int_{y_1}^c y dA = \frac{D}{I b} A' \bar{y} = \frac{D}{I b} Q \dots\dots\dots(3.16)$$

Kita telah mengganti integral $\int_{y_1}^c y dA$, yang berarti jumlah momen luas diferensial dA terhadap sumbu netral, dengan ekivalennya $A' \bar{y}$, dimana A' adalah luas parsial penampang diatas lapisan dimana tegangan geser dihitung, dan $\bar{y}$ adalah lengan momen luas ini terhadap sumbu netral. A' adalah luas arsiran pada

pandangan samping gambar 3.6 (a) dan (b). Variasi perkalian $A'\bar{y}$ diberi simbol Q , yang selalu digunakan untuk menyatakan momen luas.

3.5.1 Aliran Geser

Apabila tegangan geser τ dikalikan dengan lebar b , kita peroleh besaran q , yang dikenal sebagai aliran geser, yang menyatakan gaya longitudinal persatuan panjang yang dipindahkan sepanjang penampang pada tingkat y_1 . Gunakan persamaan 3.16, kita peroleh bahwa harganya diberikan oleh

$$q = \tau b = \frac{D}{I} Q \dots\dots\dots(3.17)$$

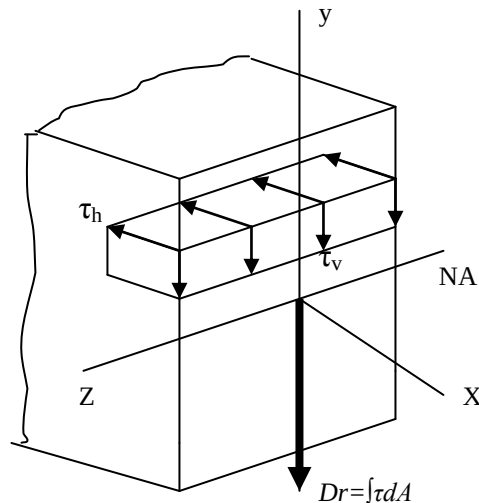
3.5.2 Hubungan Antara Tegangan Geser Mendatar Dan Tegak

Tegangan geser mendatar selalu diikuti dengan tegangan geser tegak yang besarnya sama. Tegangan geser τ_v , diperlihatkan pada gambar 3.7, membentuk tahanan geser tegak $D_r = \int \tau dA$ yang mengimbangi geser tegak D . Karena tegangan ini tidak layak menetapkan τ_v secara langsung kita berusaha mengambil harga numerik τ_h yang sama.

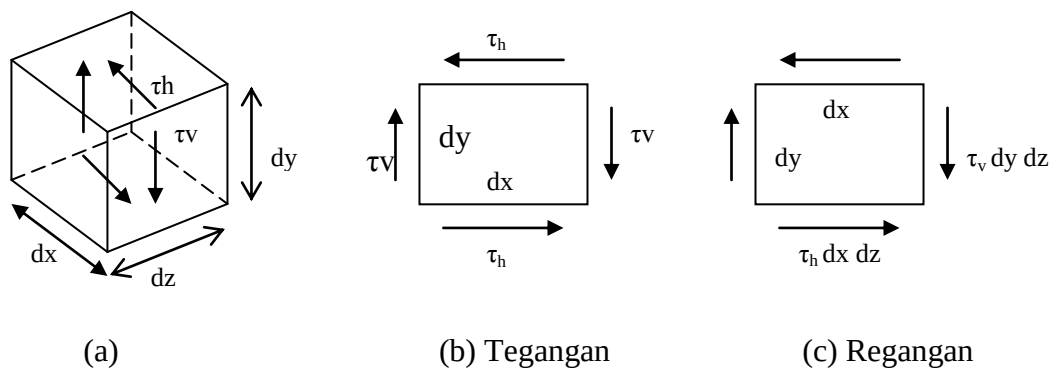
Untuk membuktikan kesamaan τ_h dan τ_v , perhatikan pengaruhnya pada diagram benda bebas dari elemen khusus pada gambar 3.7. Pandangan bergambar elemen ini diperlihatkan pada gambar 3.8 (a), pandangan depan diperlihatkan pada gambar 3.8 (b). Untuk kesetimbangan elemen ini, tegangan geser τ_h pada muka dasar membutuhkan tegangan geser yang sama dan seimbang dengan pada muka atas. Gaya yang menyebabkan tegangan geser ini (gambar 3.8c) membentuk kopel dengan arah berlawanan jarum jam, yang membutuhkan kopel searah jarum jam untuk menjamin kesetimbangan. Gaya kopel searah jarum jam ini

menimbulkan tegangan geser τ_v pada muka tegak elemen seperti diperlihatkan. Dengan mengambil momen terhadap sumbu melalui A (gambar 3.8c), kita peroleh

$$[\Sigma M_A=0] \quad (\tau_h dx dz) dy - (\tau_v dy dz) dx = 0 \dots \dots \dots (3.18)$$



Gambar 3.7 : Tegangan geser mendatar dan tegak



Gambar 3.8 : Tegangan geser pada elemen khusus

Kemudian dengan menghilangkan perkalian konstanta $dx dy dz$ menghasilkan

$$\tau_h = \tau_v \dots \dots \dots (3.19)$$

Dengan demikian kita menyimpulkan bahwa tegangan geser yang bekerja salah satu muka elemen selalu diikuti oleh tegangan geser dengan besar samayang bekerja pada muka tegak lurus.

3.5.3 Pemakaian Terhadap Penampang Segi Empat

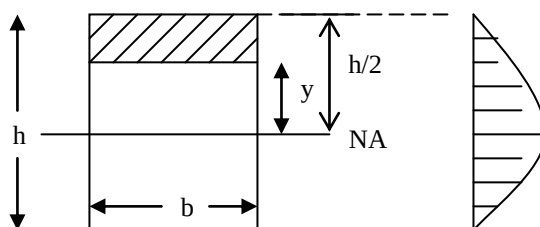
Distribusi tegangan geser pada penampang segi empat dapat diperoleh dengan mempergunakan persamaan 3.16 hingga gambar 3.9. Untuk lapisan pada jarak y dari sumbu netral, kita peroleh

$$\tau = \frac{D}{Ib} A' \bar{y} = \frac{D}{Ib} \left[b \left(\frac{h}{2} - y \right) \right] \left[y + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y \right) \right] \dots\dots\dots(3.20)$$

dan diolah menjadi

$$\tau = \frac{D}{2I} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right) \dots\dots\dots(3.21)$$

Hubungan ini memperlihatkan bahwa tegangan geser didistribusikan secara parabol sepanjang kedalaman penampang.



Gambar 3.9 : Tegangan geser terbagi sepanjang penampang segi empat secara parabolis.

Tegangan geser maksimum terjadi pada sumbu netral dan diperoleh dengan mensubstitusi ukuran segi empat ke dalam persamaan..sebagai berikut :

$$\tau = \frac{D}{Ib} A' \bar{y} = \frac{D}{\frac{bh^3}{12} b} \left(\frac{bh}{2} \right) \left(\frac{h}{4} \right) \dots\dots\dots (3.22)$$

dan diolah menjadi

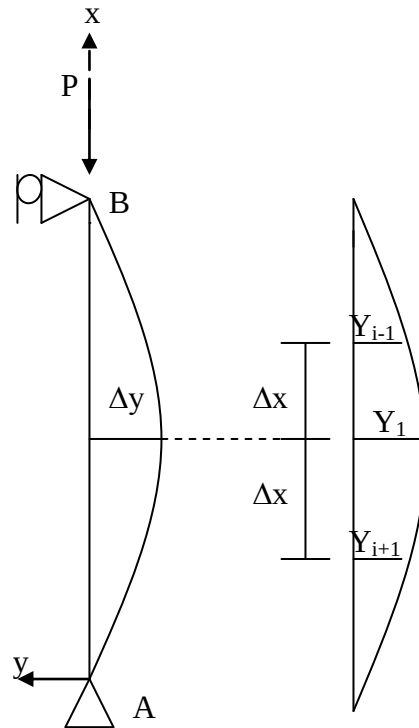
$$Max.\tau = \frac{3}{2} \frac{D}{bh} = \frac{3}{2} \frac{D}{A} \dots\dots\dots (3.23)$$

3.6 Hubungan Momen (M) dan kelengkungan (Φ)

Faktor kekakuan (EI) didefinsikan sebagai rasio momen dan kelengkungan (*Bruneau dkk, 1978; beedle, 1958*) yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$EI = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots (3.24)$$

Pemberian beban aksial (P) dari struktur akan didapatkan perpindahan yang diukur pada tiga titik distrik yang berurutan dengan jarak yang sama (Δx), dimana tiga titik distrik tersebut diberi notasi y_{i+1} , y_i dan y_{i-1} seperti terlihat pada gambar 3.10 :



Gambar 3.10 : Defleksi yang terjadi akibat beban (P)

Dari gambar 3.11 dapat diketahui besarnya dy dan dx dengan persamaan :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta_x} \dots\dots\dots(3.25)$$

Turunan kedua dari persamaan 3.25 adalah :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.26)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta, maka nilai dari $\frac{d}{dx} (2\Delta_x) = 0$ sehingga

persamaan 3.26 menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{(y_{i+2} - y_i)}{(2\Delta_x)} - (y_i - y_{i-2})}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.27)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+2} - 2y_i + y_{i-2}}{(2\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.28)$$

Dari persamaan (3.29) didapatkan :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \dots\dots\dots(3.29)$$

Dimana nilai $\frac{d^2 y}{dx^2} = \Phi = \frac{M}{EI}$, sehingga persamaan kelengkungan dapat dicari

dengan rumus :

$$\Phi = \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left[\frac{dy}{dx} \right]^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.30)$$

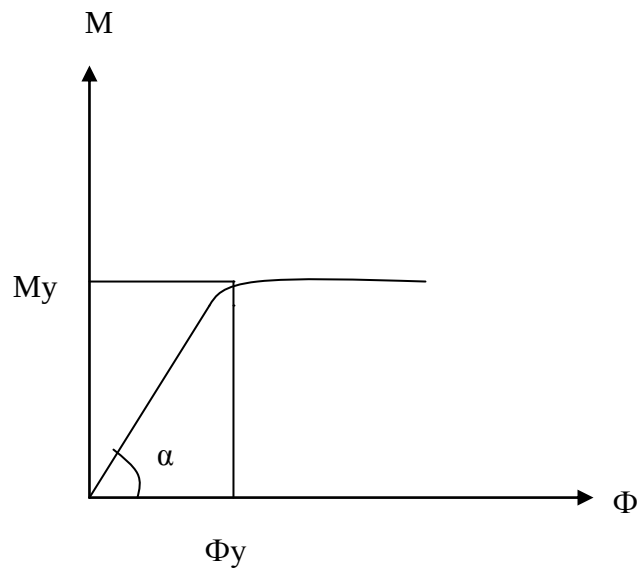
karena $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka dengan menggunakan metode *central difference* dianggap

mendekati dengan nol, sehingga didapat kelengkungan dengan rumus :

$$\Phi = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(3.31)$$

Dari persamaan (3.31) maka dapat dicari faktor kekakuan EI setelah momen (M) dan kelengkungan (Φ) diketahui.

Grafik hubungan momen dan kelengkungan ditunjukkan pada gambar 3.11 sebagai berikut :



Gambar 3.11 Hubungan antara momen (M) dan kelengkungan (Φ)

Gambar 3.11 menunjukkan hubungan antara momen– kelengkungan. Tampak bahwa pada grafik hubungan momen kelengkungan akan membentuk sudut (α), dimana :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M}{\Phi} \dots\dots\dots(3.32)$$

$$EI = \operatorname{tg} \alpha \dots\dots\dots(3.33)$$

3.7 Sambungan Baut

Sambungan baut cukup mudah didalam pengerjaannya dibandingkan dengan sambungan lain, seperti kokot bulldog, cincin belah, dan pasak.

Di dalam PKKI pasal 14 dicantumkan persyaratan sambungan baut, diantaranya :

1. Alat penyambung baut harus dibuat dari baja St. 37 atau dari besi yang mempunyai kekuatan paling sedikit seperti St. 37.
2. Lubang baut harus dibuat secukupnya saja dan kelonggaran ≤ 1.3 mm.

3. Garis tengah baut paling kecil harus 10 mm (3/8") sedang untuk sambungan baik tampang satu maupun tampang dua dengan tebal kayu lebih besar 8 cm harus dipakai baut dengan garis tengah paling kecil 12.7 mm (1/2").
4. Baut harus disertai pelat ikutan yang tebalnya minimum 0.3d dan maksimum 5 mm dengan $\varnothing$ 3d atau jika mempunyai bentuk persegi empat, lebarnya 3d. Jika baut sebagai pelengkap, tebal pelat ikutan minimum 0.2d dan maksimum 4 mm.
5. Sambungan dengan baut dibagi dalam 3 golongan menurut kekuatan kayu, yaitu golongan I, II, dan III. Agar sambungan dapat memberikan kekuatan yang sebaik-baiknya, hendaknya $\lambda = b/d$ diambil dari angka di bawah ini :

Golongan I

Sambungan tampang satu : $P = 50 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$P = 240 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

Sambungan tampang dua : $P = 125 \cdot b_3 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$: P = 250 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$$

$$: P = 480 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

Golongan II

Sambungan tampang satu : $P = 40 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$: P = 215 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

Sambungan tampang dua : $P = 100 \cdot b_3 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$: P = 200 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$$

$$: P = 430 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

Golongan III

Sambungan tampang satu : $P = 25 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$: P = 170 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

Sambungan tampang dua : $P = 60 \cdot b_3 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$

$$: P = 120 \cdot b_1 \cdot d (1 - 0,60 \sin \alpha)$$

$$: P = 340 \cdot d^2 (1 - 0,35 \sin \alpha)$$

6. Pengaruh-pengaruh faktor keadaan konstruksi dan faktor sifat-sifat beban berlaku untuk sambungan baut ini (faktor 5/6 dan 2/3).
7. Jika gaya dukungannya itu diakibatkan oleh beban sementara, maka kekuatan sambungan dapat dinaikan sampai dengan 25 %.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Bahan Penelitian

a. Kayu

Kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu glugu jawa.

b. Baut

Baut yang digunakan sebagai alat sambung adalah baut dengan diameter 3/8" (10 mm).

4.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Uji Kuat Desak

Mesin uji kuat desak digunakan untuk mengetahui kuat desak kayu yang digunakan dalam penelitian. Dalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat desak merk ELE Type ADR 3000 dengan kapasitas 3000 KN. Mesin uji kuat desak kayu ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 : Mesin Uji Kuat Desak

2. Mesin Uji Kuat Lentur

Mesin uji kuat lentur digunakan untuk mengetahui kuat lentur kayu yang digunakan dalam penelitian. Dalam penelitian ini digunakan mesin uji kuat lentur merk Shimadzu UMH-30 dengan kapasitas 30 Ton

3. Hydraulic Jack

Alat ini mempunyai kapasitas maksimum 30 ton, dapat dilihat pada gambar 4.2. Merk alat ini adalah Hi-force, dan digunakan untuk pembebanan benda uji batang tunggal dan batang ganda.



Gambar 4.2 : Hidraulic Jack

4. Loading Frame

Untuk keperluan penelitian akan digunakan loading frame dari bahan baja yang dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini



Gambar 4.3 : Loading Frame

5. Dial Gauge

Alat ini digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4. Untuk penelitian skala penuh digunakan dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 50 mm dan ketelitian 0,01 mm. Pada pengujian kolom kecil dipakai dial gauge dengan kapasitas lendutan maksimum 30 mm dengan ketelitian 0,01 mm.



Gambar 4.4 : Dial Gauge

6. Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur variasi penempatan klos, dimensi sampel kayu dan lain-lain. Sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur diameter baut.

7. Timbangan

Digunakan untuk menimbang sampel kayu yang akan dihitung berat jenisnya.

4.3. Model Benda Uji

Model benda uji yang akan diteliti berupa batang ganda double dari bahan kayu glugu yang dihubungkan dengan klos, dengan dimensi batang 4/6, dengan panjang $L = 200$ cm dan memakai 2 klos dengan dimensi klos 4/7 dengan panjang $L = 12$ cm dan $L = 16$ cm yang dipasang berimpit/berdekatan, dan disambung dengan baut sebanyak 2 buah untuk setiap klosnya. Adapun model benda uji tersebut adalah :

1. Tiga buah sampel dengan Jumlah klos 2, $L = 200$ cm, $L_c = L = 186$ cm
2. Tiga buah sampel dengan Jumlah klos 3, $L = 200$ cm, $L_c = L = 93$ cm
3. Tiga buah sampel dengan Jumlah klos 4, $L = 200$ cm, $L_c = L = 62$ cm
4. Tiga buah sampel dengan Jumlah klos 5, $L = 200$ cm, $L_c = L = 46,5$ cm

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tahap Perumusan Masalah

Tahap ini meliputi perumusan masalah terhadap hal yang akan diteliti, termasuk perumusan tujuan dan batasan masalah.

2. Tahap Perumusan Teori

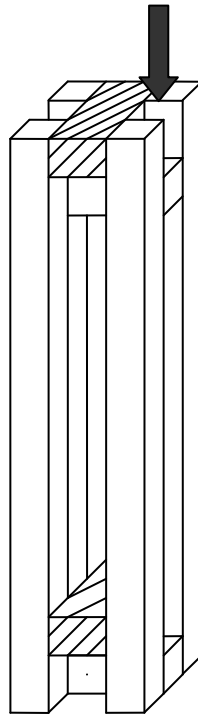
Pada tahap ini dilakukan pengkajian pustaka yang melandasi penelitian dan ketentuan-ketentuan yang dijadikan acuan dalam penelitian.

3. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil UII, yang meliputi :

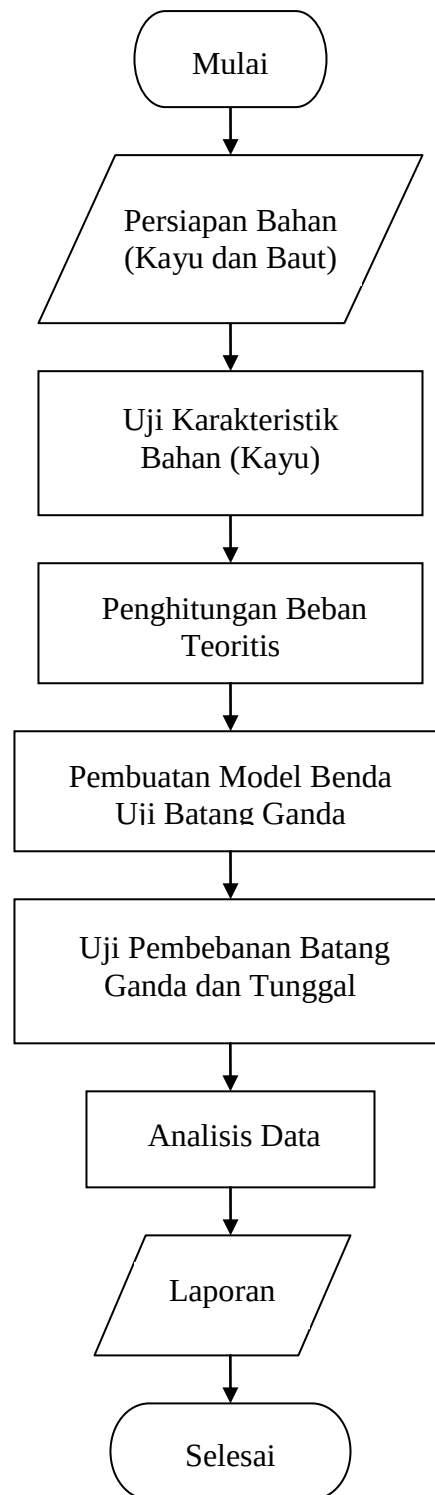
- a. Pengumpulan data dan bahan
- b. Pembuatan model benda uji
- c. Persiapan peralatan
- d. Pengujian karakteristik bahan (kayu dan baut)
- e. Pengujian model benda uji, dilakukan dengan cara memberikan beban eksentris terhadap model benda uji secara perlahan sampai terjadi kerusakan

Gambar Benda Uji :



4. Tahap Analisa dan Pembahasan

Dalam tahap ini hasil pengujian laboratorium dicatat kemudian dibuat grafik hubungan antara beban dengan defleksi terhadap gaya tekan eksentris. Kemudian pembahasan dilakukan terhadap hasil penelitian.

BAGAN ALIR PENELITIAN**Gambar 4.5 : Flow Chart Penelitian**

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Pengujian ini dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan data primer berupa kuat desak kayu, dan kuat desak batang ganda sehingga diketahui perubahan fisik yang terjadi pada benda uji dikarenakan pembebanan eksentris. Dari hasil pengujian kemudian diperoleh data-data yang kemudian diolah menggunakan komputer untuk mengetahui perilaku batang ganda dalam menerima beban eksentris.

5.1.1 Modulus Elastisitas Kayu

Modulus elastisitas kayu dapat dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian desak kayu. Untuk menghitung modulus elastisitas kayu digunakan persamaan 3.8. Hasil perhitungan modulus elastisitas kayu sampel 1 sampai dengan sampel 2 adalah sebagai berikut :

1. Sampel 1

Hasil pengujian kuat desak kayu sampel 1 dapat dilihat pada tabel 5.1 dan gambar 5.1.

Panjang mula-mula (L_0) = 20 cm

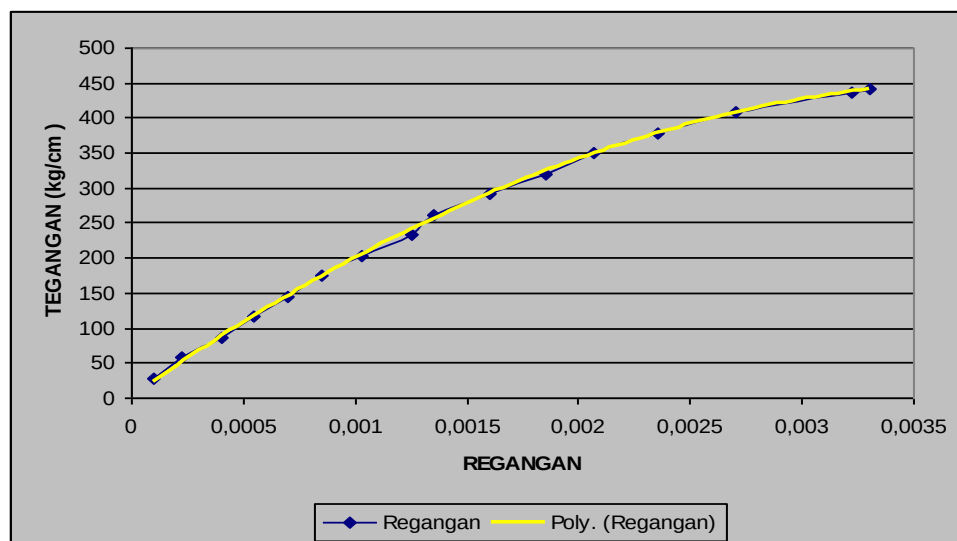
Luas = $b \times h$

= 7×5

= 35 cm^2

Tabel 5.1 : Kuat Desak Kayu Sampel 1

Beban		Dial cm	Tegangan Kg/cm ²	Regangan $\Delta L / L$
KN	Kg			
0	0	0	0	0
10	1019.37	0.002	29.1248	0.0001
20	2038.74	0.0045	58.2496	0.000225
30	3058.1	0.008	87.3744	0.0004
40	4077.47	0.011	116.499	0.00055
50	5096.84	0.014	145.624	0.0007
60	6166.21	0.017	174.749	0.00085
70	7135.58	0.0205	203.874	0.00102
80	8154.94	0.025	232.998	0.00125
90	9174.31	0.027	262.123	0.00135
100	10193.7	0.032	291.248	0.0016
110	11213.1	0.037	320.373	0.00185
120	12232.4	0.0415	349.498	0.00207
130	13251.8	0.047	378.622	0.00235
140	14271.2	0.0545	407.747	0.00272
150	15290.5	0.0645	436.872	0.00322
151.7	15463.8	0.066	441.823	0.0033

**Gambar 5.1** : Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1

Batas sebanding : $\sigma_p = 407,747 \text{ kg/cm}^2$

$$\epsilon_p = 0,00272$$

Modulus Elastisitas Kayu :

$$E = \sigma_p / \epsilon_p$$

$$= 149906,98 \text{ kg/cm}^2$$

2. Sampel 2

Hasil pengujian kuat desak kayu sampel 2 dapat dilihat pada tabel 5.2 dan gambar 5.2.

Panjang mula-mula (L_0) = 19.7 cm

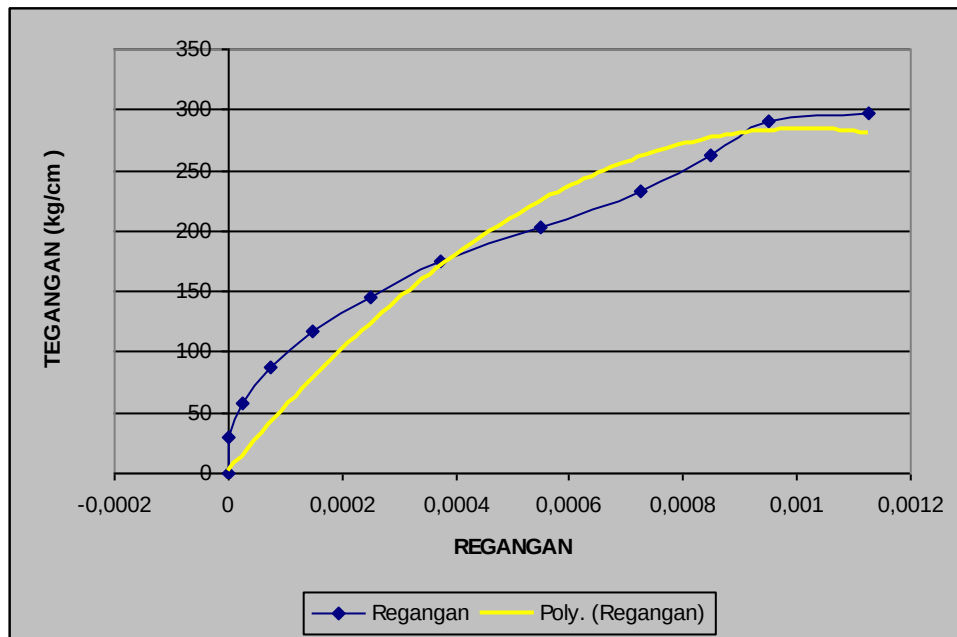
Luas = $b \times h$

$$= 7 \times 5$$

$$= 35 \text{ cm}^2$$

Tabel 5.2 : Kuat Desak Kayu Sampel 2

Beban		Dial cm	Tegangan Kg/cm^2	Regangan $\Delta L / L$
KN	Kg			
0	0	0	0	0
10	1019.37	0	29.1248	0
20	2038.74	0.0005	58.2496	0.0000254
30	3058.1	0.0015	87.3744	0.0000761
40	4077.47	0.003	116.499	0.000152
50	5096.84	0.005	145.624	0.000254
60	6116.21	0.0075	174.749	0.000381
70	7135.58	0.011	203.874	0.000558
80	8154.94	0.0145	232.998	0.000736
90	9174.31	0.017	262.123	0.000863
100	10193.7	0.019	291.248	0.000964
101.9	10387.4	0.0225	296.782	0.00114



Gambar 5.2 : Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2

Batas sebanding : $\sigma_p = 291,248 \text{ kg/cm}^2$

$\epsilon_p = 0,000964$

Modulus Elastisitas Kayu :

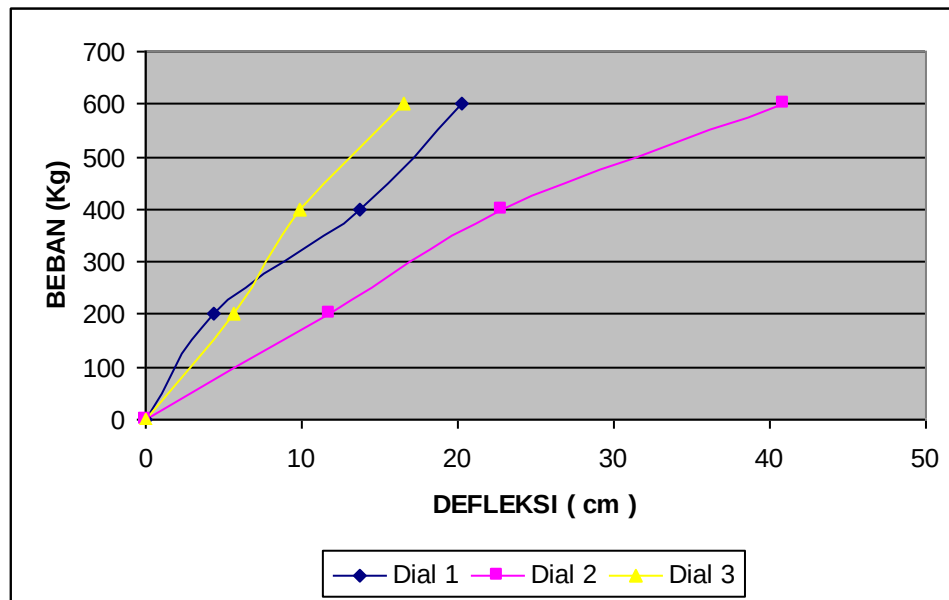
$$E = \sigma_p / \epsilon_p$$

$$= 302124,48 \text{ kg/cm}^2$$

5.1.2 Kuat Desak Batang Tunggal

Sebelum melakukan pengujian batang ganda terlebih dahulu dilakukan pengujian batang tunggal. Dimana hasil pengujian ini digunakan untuk perbandingan hasil kekuatan desak eksentris batang tunggal dengan batang ganda akibat pembebanan eksentris. Untuk hasil pembebanan batang tunggal dapat

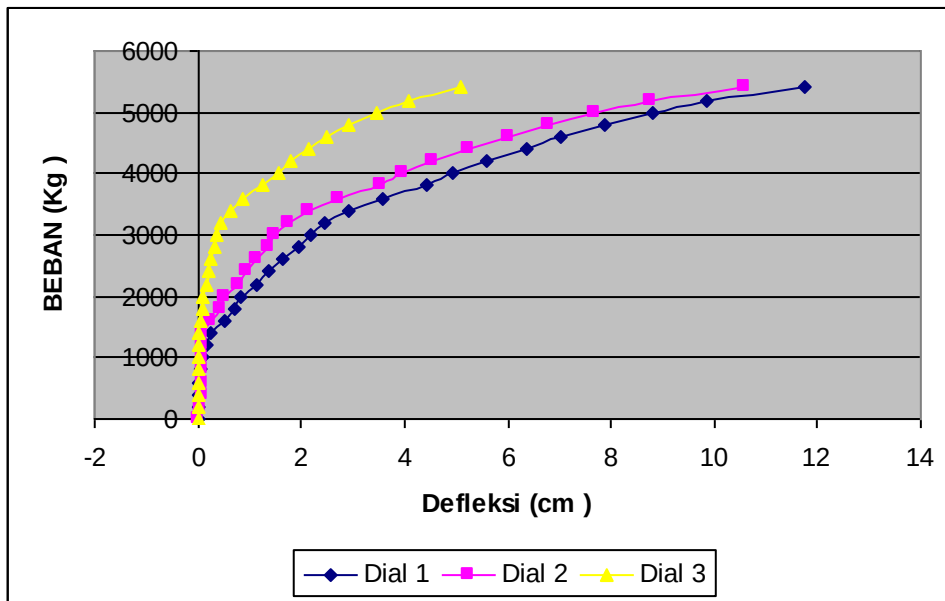
dilihat pada lampiran 4 halaman 75. Berikut adalah rangkuman hasil pengujian batang tunggal 1 pada gambar 5.3.



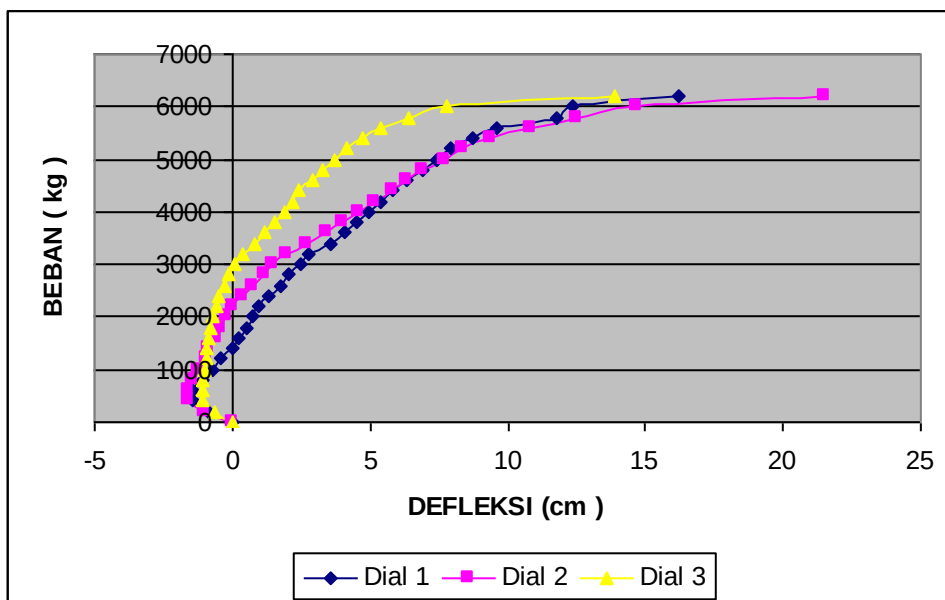
Gambar 5.3 : Grafik Gabungan Beban-Defleksi Batang tunggal 1

5.1.3 Kuat Desak Batang Ganda

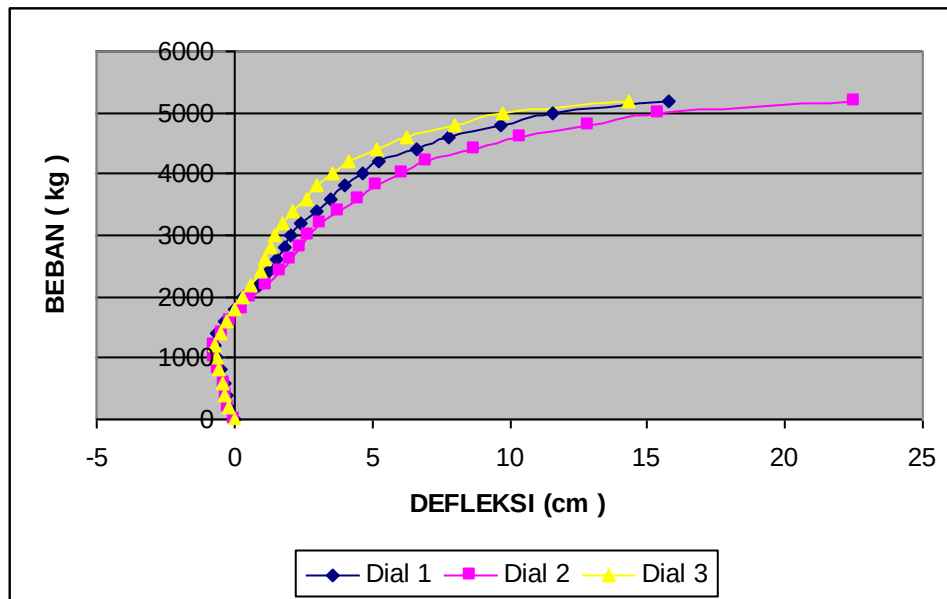
Dari setiap pengujian desak eksentris terhadap benda uji yang dilakukan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, diperoleh grafik atau diagram hubungan antara besar beban dengan defleksinya. Pada pengujian kuat desak eksentris ini, kolom batang ganda diberikan pembebanan secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 200 kg. Kemudian setiap tahap pembebanan, lendutan yang terjadi dicatat yang kemudian akan diolah untuk mendapatkan data yang bisa digunakan untuk mengambil kesimpulan. Untuk hasil uji pembebanan batang ganda dapat dilihat pada lampiran 4 halaman 75. Berikut adalah rangkuman hasil pengujian batang ganda dengan jumlah klos 2, 3, 4 dan 5 yang ditunjukkan pada gambar 5.4 sampai dengan 5.7.



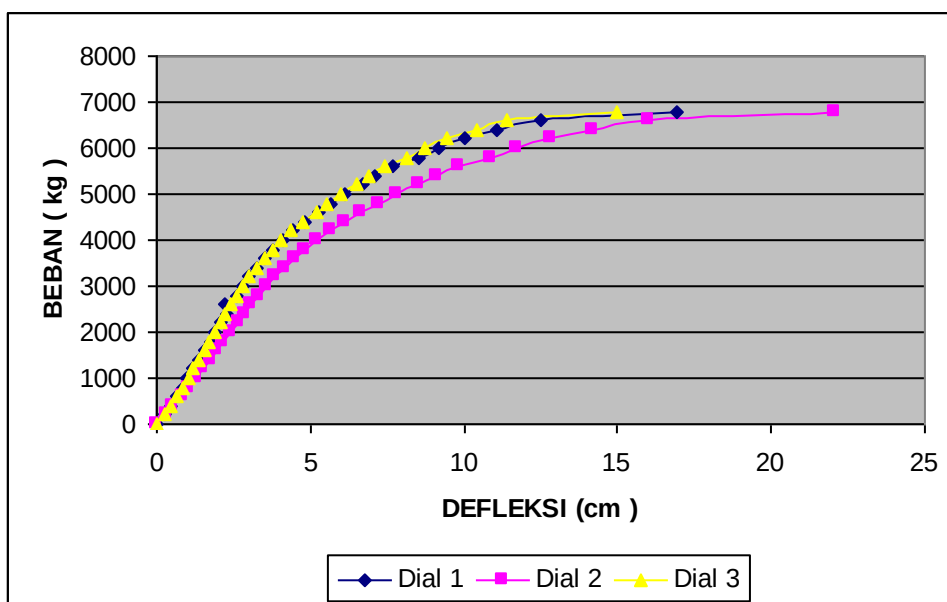
Gambar 5.4 : Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 2



Gambar 5.5 : Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 3



Gambar 5.6 : Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 4



Gambar 5.7 : Grafik Gabungan Beban-Defleksi Sampel 1 Klos 5

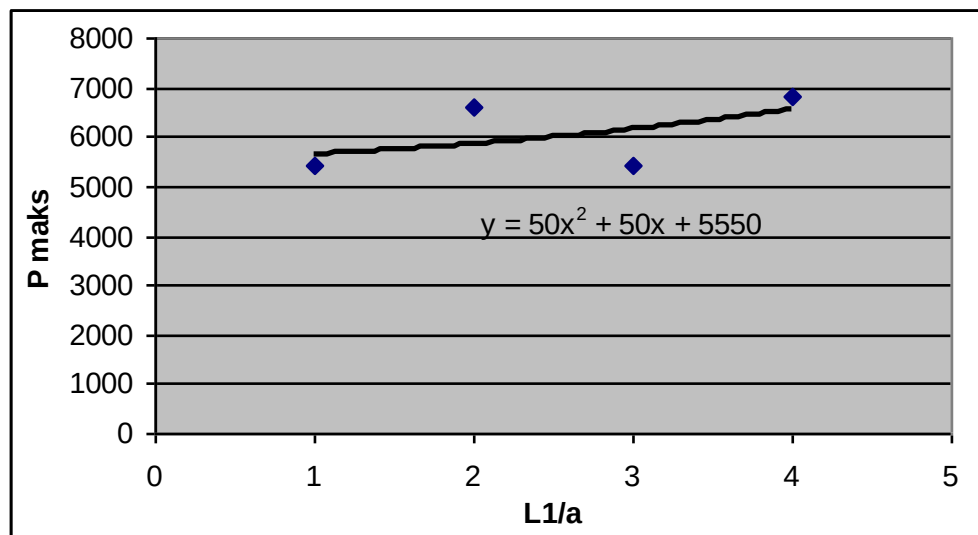
5.1.4 Hubungan Jarak Klos Dengan Kuat Desak Maksimum Batang Ganda

Akibat Pembebanan Eksentris

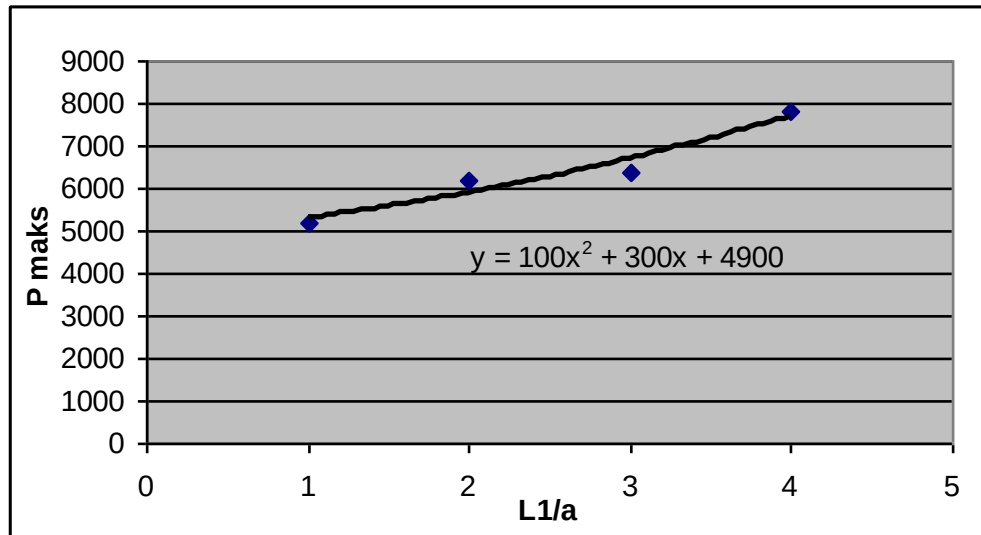
Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan benda uji dengan jumlah klos 2 sampai dengan benda uji dengan jumlah klos 5 menunjukkan bahwa kekuatan desak eksentris maksimum yang mampu ditahan oleh batang ganda cenderung naik berdasarkan jarak dan jumlah klos. Dari keempat benda uji dengan variasi jarak dan jumlah klos dapat diperoleh suatu hubungan yang dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 : Hubungan Beban Maksimum – ($L1/a$)

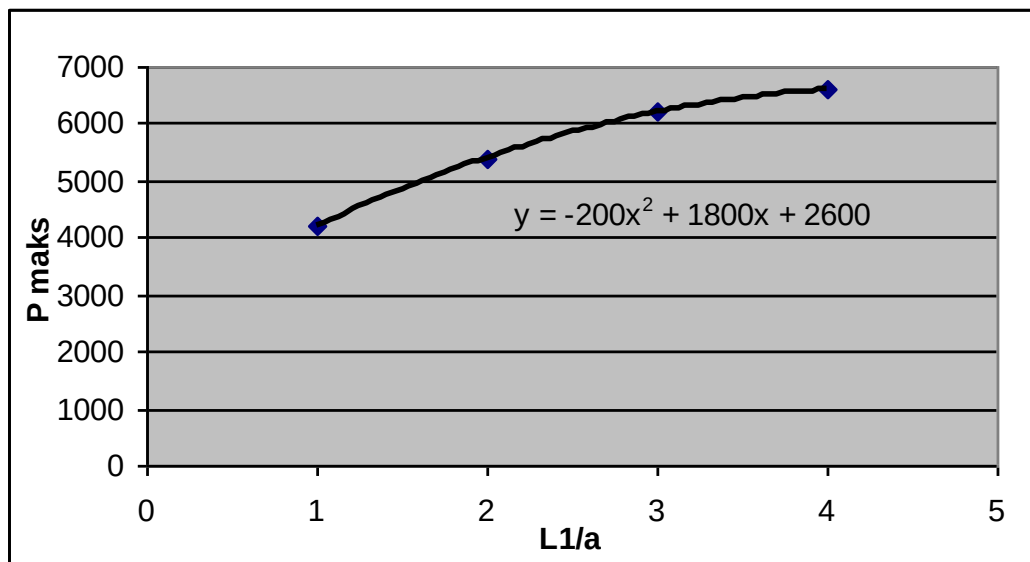
Jarak Klos/Lebar ($L1/a$)	Pmax (Kg)		
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
46,50	5400	5200	4200
23,25	6600	6200	5400
15,5	5400	6400	6200
11,63	6800	7800	6600



Gambar 5.8 : Grafik Hubungan Pmax – $L1/a$ sampel 1



Gambar 5.9 : Grafik Hubungan P_{maks} – $L1/a$ sampel 2

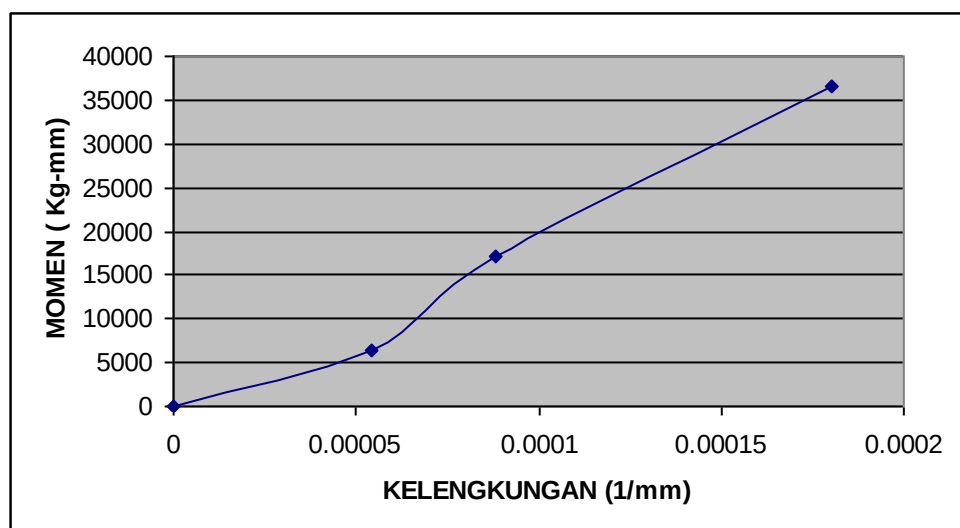


Gambar 5.10 : Grafik Hubungan P_{maks} – $L1/a$ sampel 3

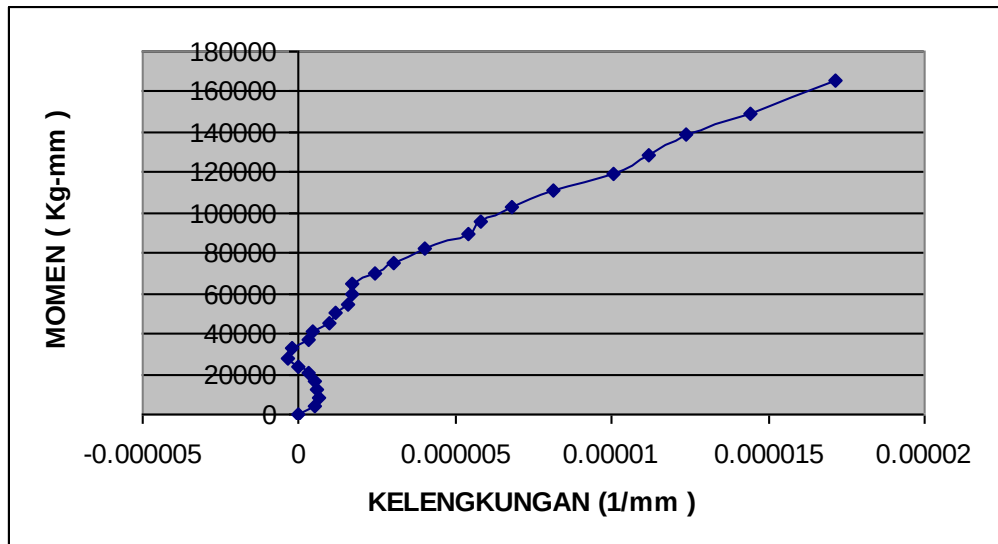
Dari gambar grafik 5.8 sampai dengan 5.10 dapat diketahui bahwa kenaikan beban maksimum untuk setiap sampel benda uji seiring dengan jarak klos yang semakin kecil. Jadi semakin kecil jarak klos maka beban maksimum yang dapat diterima oleh batang ganda akan semakin besar.

5.1.5. Hubungan Momen Dengan Kelengkungan Hasil Penelitian

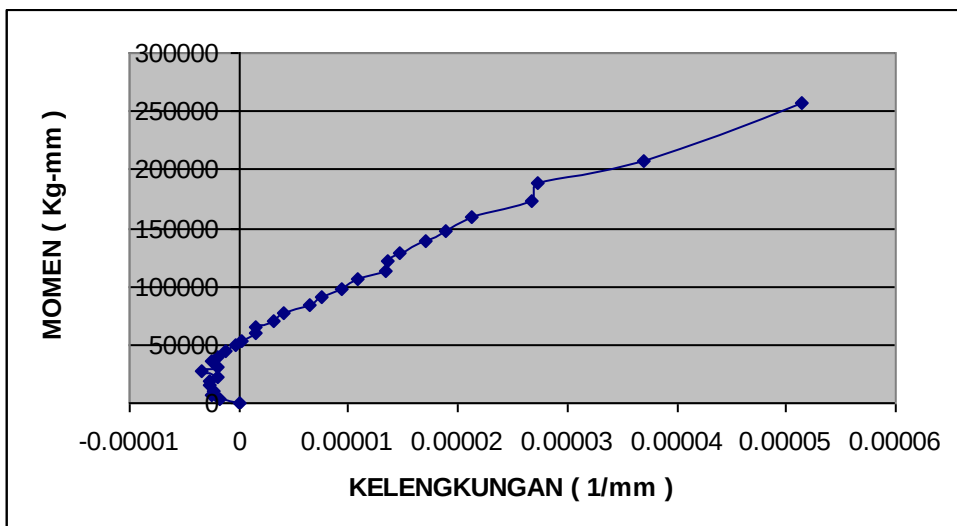
Dari uji kuat desak didapat data primer berupa beban P dan lendutan Δ . Dan dari data tersebut dapat diketahui data momen dan kelengkungan sehingga dapat digambarkan grafik hubungan $M-\Phi$. Berikut ini adalah rangkuman hubungan momen kelengkungan batang tunggal dan batang ganda sampel 1 dengan jumlah klos 2, 3, 4, dan 5 yang ditunjukkan pada gambar 5.11 sampai dengan gambar 5.15.



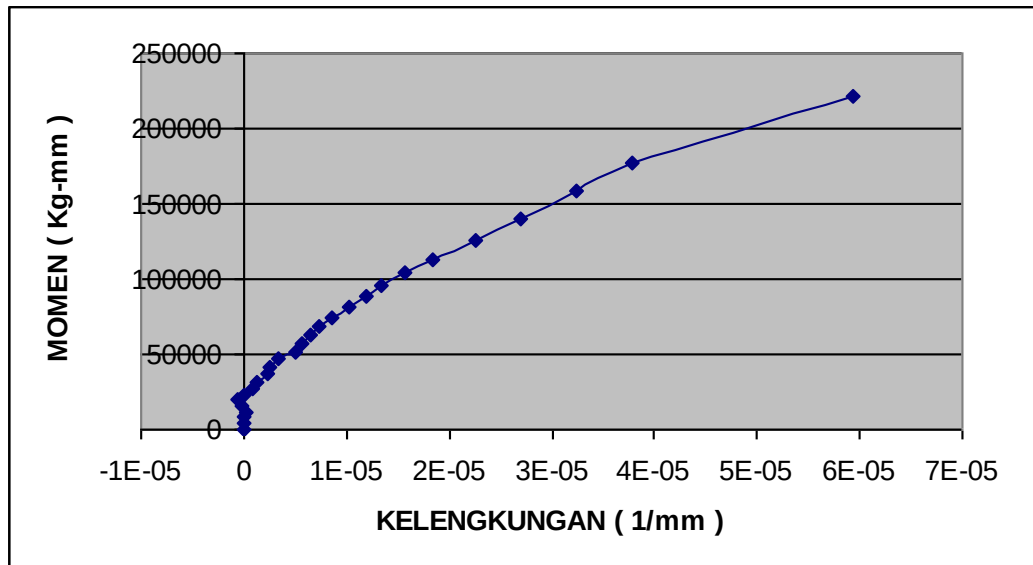
Gambar 5.11 : Grafik Hubungan Momen Kelengkungan batang tunggal



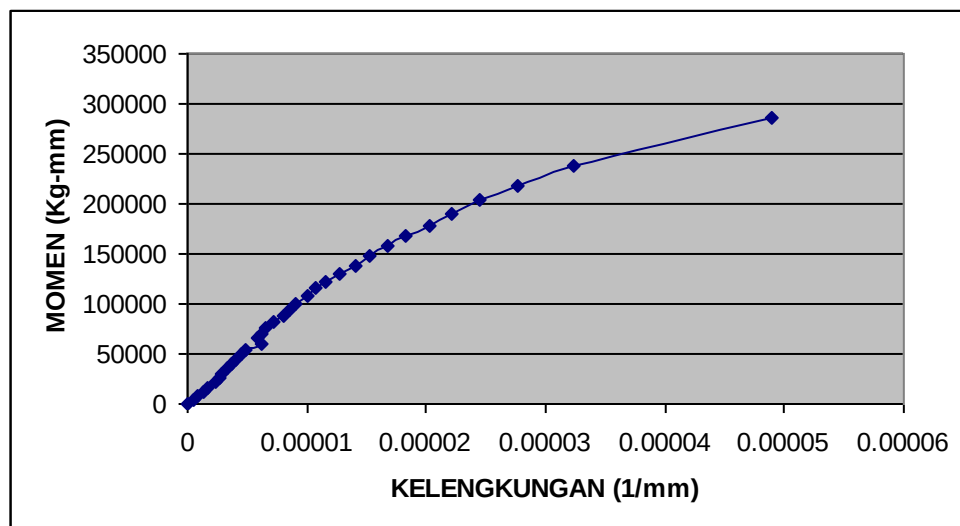
Gambar 5.12 : Grafik Hubungan Momen Kelengkungan Sampel 1 Klos 2



Gambar 5.13 : Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 3



Gambar 5.14 : Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 4



Gambar 5.15 : Grafik Hubungan Momen kelengkungan Sampel 1 Klos 5

5.2 Pembahasan

Pembahasan dilakukan berdasarkan dari hasil percobaan benda uji yang dilakukan di laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pembahasan dilakukan sebagai acuan untuk mengambil kesimpulan.

5.2.1 Perbandingan Kekuatan Desak Maksimum Benda Uji Batang

Tunggal $b/h = 4/6$ cm, Dengan Batang Ganda Dan Batang Tunggal $b/h = 8/12$ cm.

Dari hasil pengujian terhadap tiga buah sampel batang tunggal $b/h = 4/6$ cm, batang ganda dan batang tunggal $b/h = 8/12$ cm yang dilakukan di laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia didapatkan hasil seperti pada tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 : Tabel Beban Maksimum

Jumlah Sampel	Pmax (kg)					
	Batang Tunggal $b/h = 4/6$ cm	Batang Ganda				Batang Tunggal $b/h = 8/12$ cm
		Klos 2	Klos 3	Klos 4	Klos 5	
1	600	5400	6200	5200	6600	14600
2	1200	5200	6600	6400	7800	12200
3	800	4200	5400	6400	6600	13400

Dari tabel 5.4 dapat diketahui bahwa beban maksimum terbesar diperoleh dari hasil pengujian batang tunggal $b/h = 8/12$, karna memang batang tunggal $8/12$ solid dan tidak ada celah untuk tergeser seperti yang terjadi pada batang ganda. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa Pmaks batang ganda lebih besar dibandingkan dengan P maks batang tunggal $4/6$. Hal ini terjadi karena dengan

pemberian klos pada batang ganda akan memperluas penampang kolom, semakin lebar klos maka penampang kolom akan semakin luas sehingga momen inersia pun semakin besar. Semakin besar momen inersia maka daya dukung kolom batang tersebut semakin besar, dan sebaliknya. Hal ini sesuai dengan apa yang ditulis oleh F.H. Djokowahjono (1989), bahwa batang ganda dapat terdiri dari dua, tiga ataupun empat batang tunggal yang digabung dengan diberi jarak antara. Pemberian jarak ini dengan maksud untuk memperbesar momen inersia yang berarti juga memperbesar daya dukung.

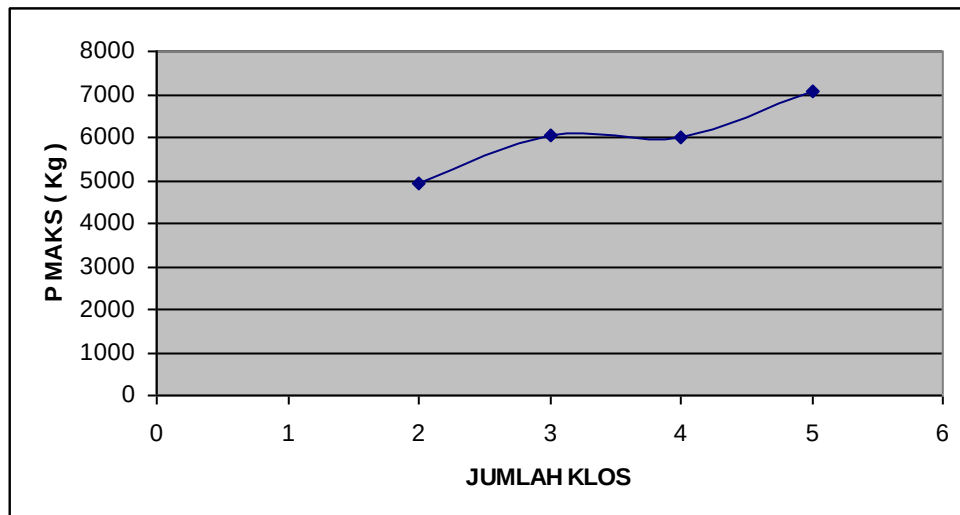
5.2.2 Kekuatan Desak Maksimum rata-rata Benda Uji Batang Ganda

Akibat Penambahan Jumlah Klos

Pengujian kolom batang ganda dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap dengan kenaikan beban sebesar 200 kg. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Setelah dilakukan penelitian kekuatan desak benda uji terhadap empat macam variasi benda uji dengan jarak dan jumlah klos yang berbeda, diperoleh hasil beban maksimum rata rata batang ganda yang dapat dilihat pada tabel 5.5 dan gambar 5.16.

Tabel 5.5 : Tabel Beban Maksimum Batang Ganda

Panjang bentang cm	Jumlah klos	Pmaks rata-rata (Kg)
200	2	4933,33
200	3	6066,67
200	4	6000
200	5	7066,67

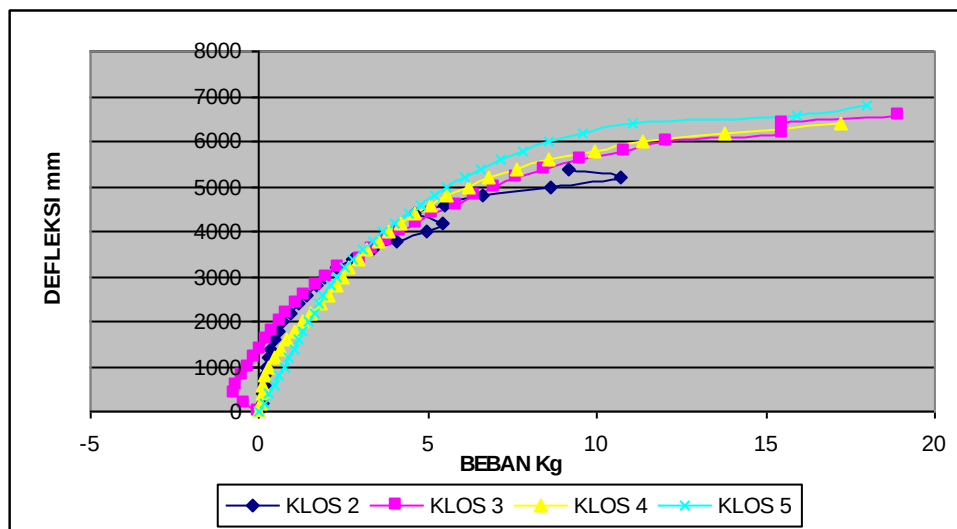


Gambar 5.16 : Grafik Hubungan Pmax rata rata– Jumlah Klos

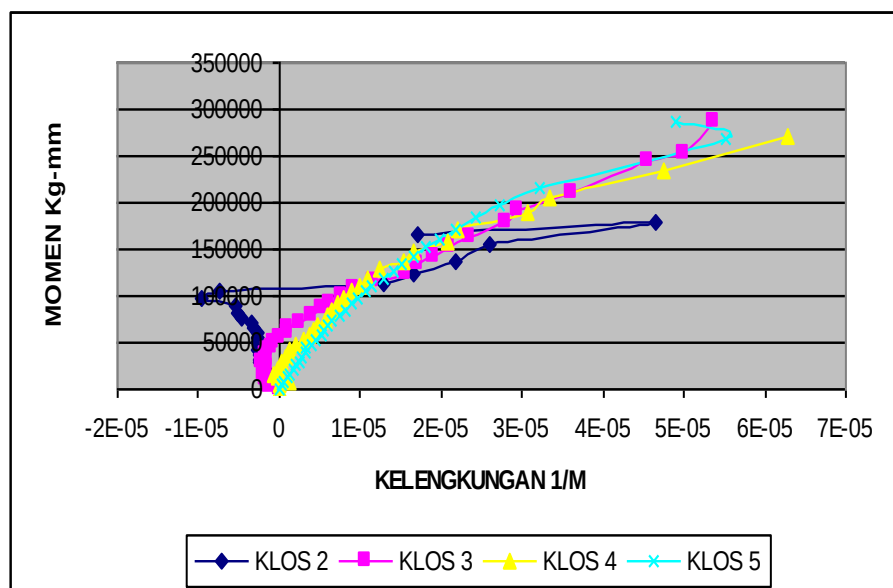
Dari tabel 5.5 dapat dilihat bahwa beban maksimum akan bertambah sesuai dengan penambahan jumlah klos pada batang ganda. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16. Dengan penambahan jumlah klos berarti jarak klos semakin kecil sehingga batang ganda tersebut menjadi lebih kompak. Pergeseran yang terjadi akibat pembebanan pada batang tersebut didistribusikan lebih merata melalui klos-klos yang ada pada batang ganda tersebut. Sehingga dengan adanya penambahan jumlah klos maka Pmak yang diterima menjadi lebih besar.

5.2.3 Hubungan Kekuatan Batang Ganda Berdasarkan Jumlah Klos Dengan Defleksi, Momen dan Kelengkungan

Dibawah ini pada gambar 5.17 disajikan grafik gabungan hubungan beban dan defleksi rata rata akibat penambahan klos dan gambar 5.18 grafik gabungan hubungan momen dan kelengkungan rata rata.



Gambar 5.17 : Grafik Gabungan Hubungan Beban-Defleksi rata rata



Gambar 5.18 : Grafik Gabungan Hubungan Momen-Kelengkungan rata-rata

Pada gambar 5.17 terlihat bahwa dengan beban yang sama, maka batang ganda dengan jumlah klos yang lebih banyak akan menghasilkan defleksi rata rata yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan dengan adanya penambahan jumlah klos berarti jarak klos semakin kecil sehingga batang ganda tersebut menjadi lebih kompak. Pergeseran yang terjadi akibat pembebanan pada batang tersebut didistribusikan lebih merata melalui klos-klos yang ada pada batang ganda tersebut

Sehingga bisa dikatakan jika dengan jarak klos semakin kecil maka kemungkinan kerusakan yang terjadi bukan kerusakan pada struktural melainkan kerusakan pada material benda uji batang ganda.

Pada Gambar 5.18 terlihat bahwa dengan momen yang sama maka batang ganda dengan jumlah klos yang lebih banyak akan menyebabkan kelengkungan yang lebih kecil. Hal ini karena kelengkungan berbanding lurus dengan defleksi. Defleksi sendiri berhubungan erat dengan kekauan kolom, kekakuan kolom itu sendiri berhubungan erat dengan jumlah klos. Semakin besar kekakuan maka kelengkungan akan semakin kecil, ini sesuai dengan rumus momen kelengkungan yaitu faktor kekakuan adalah rasio momen dan kelengkungan.

5.2.4 Perbandingan Kekuatan Desak Maksimum rata rata Benda Uji Batang Ganda Dengan Beban Maksimum Teoritis.

Di bawah ini dalam tabel 5.6 disajikan hasil perhitungan beban maksimum teoritis dan beban maksimum rata-rata hasil uji di laboratorium.

Tabel 5.6 : Tabel Pmax Teoritis – Pmax rata-rata hasil Uji

jumlah Klos	Pmaks teoritis (kg)	Pmaks rata-rata (Kg)
2	2457.102	4933,33
3	2457.102	6066,67
4	2457.102	6000
5	2457.102	7066,67

Dari tabel 5.6 dan gambar 5.19 dapat diketahui bahwa beban maksimum teoritis berbeda dengan beban maksimum rata-rata hasil uji. Ada beberapa faktor penyebab perbedaan Pmax teoritis dan Pmax rata rata hasil uji, antara lain diakibatkan oleh kekuatan yang berbeda antara kayu glugu untuk uji berat jenis dan kayu glugu untuk batang ganda, karena data hasil perhitungan berat jenis digunakan untuk menghitung beban teoritis maksimum batang ganda.

Perbedaan Pmaks diakibatkan karena adanya ketidakhomogenan kekuatan kayu pembentuk batang ganda, karena memang tidak ada kekuatan kayu yang homogen, dan adanya kesalahan kesalahan kecil dalam hal pembuatan benda uji dan pelaksanaan pengujian, seperti dimensi penampang benda uji yang sedikit lebih kecil dari dimensi yang ditetapkan, kurangnya jarak eksentrisitas beban karena kurangnya ketelitian, dan faktor faktor lain yang menyebabkan Pmaks teoritis tidak sama dengan Pmaks rata-rata hasil uji.

Faktor-faktor inilah yang sangat berpengaruh pada kekuatan batang ganda, misalnya dimensi penampang, dengan adanya pengurangan dimensi penampang benda uji batang ganda, maka inersia juga akan mengecil yang otomatis akan mengurangi kekuatan batang ganda. Sehingga menyebabkan perbedaan Pmaks

teoritis dengan P_{maks} rata-rata hasil uji karena P_{maks} teoritis inersianya dihitung tanpa adanya pengurangan dimensi.

5.2.5 Perilaku Benda Uji Terhadap Pembebanan Eksentris

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap dua belas variasi benda uji ketika menerima beban eksentris ternyata diperoleh pola lendutan yang semuanya sama, yakni selalu menjauhi arah eksentrisitas beban.

Pola lendutan yang sama dapat terjadi karena momen yang bekerja akibat pembebanan eksentris cukup besar sehingga walaupun adanya ketidakhomogenan kekuatan kayu, batang ganda akan melentur kearah yang sama yaitu menjauhi eksentrisitas beban. Arah tertekuknya batang selalu dalam arah tegak lurus sumbu bebas bahan atau kearah sumbu x , inipun terjadi pada batang ganda yang dibebani secara sentris, ini dapat terjadi karena memang momen inersia terhadap sumbu x jauh lebih besar bila dibandingkan dengan inersia terhadap sumbu y , sehingga kekuatan batang akan lebih baik kearah sumbu y dibandingkan arah sumbu x .

Sesuai dengan yang dikemukakan oleh Suwarno Wiyomartono (1982) bahwa suatu batang ganda yang terdiri dari dua bagian yang ditempatkan sedemikian sehingga momen inersia arah x sama dengan momen inersia arah y , maka tertekuknya batang itu akan terjadi lebih dulu dalam arah tegak lurus sumbu bebas bahan.

Kemudian tekuk yang terjadi adalah single buckling, karena klos yang diharapkan dapat bekerja sebagai pengaku dan bisa sebagai pemendek panjang

tekuk tidak terjadi, klos pada batang ganda hanya berfungsi sebagai penahan geser.

Dalam penelitian ini, eksentrisitas beban diletakkan disumbu lemah atau sumbu x, ini dikarenakan, dalam prakteknya, apabila suatu kolom mampu memikul P_{maks} eksentris yang diletakkan pada sumbu lemahnya, maka kolom tersebut juga mampu memikul P_{maks} eksentris yang besarnya sama apabila diletakkan pada sumbu kuatnya, atau dengan kata lain, beban eksentris diletakkan pada sumbu lemah dengan tujuan mencari P_{maks} terkecil yang bisa diletakkan disembarang titik pada penampang kolom tanpa menyebabkan kerusakan.

Selain pola lendutan yang sama, dari hasil pengujian desak eksentris kolom batang ganda dapat juga diketahui bahwa lendutan maksimum terjadi pada tengah bentang, semakin besar beban yang diberikan terhadap kolom batang ganda, maka semakin besar pula nilai lendutan yang terjadi. Penambahan lendutan yang terjadi masih sejalan dengan penambahan beban walaupun beban sudah hampir mencapai maksimum.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari penelitian kolom batang ganda dapat diambil kesimpulan mengenai perilaku kolom batang ganda akibat pembebanan eksentris dengan variasi jumlah klos 2 sampai dengan klos 5 sebagai berikut :

1. Kekuatan kolom batang ganda lebih besar dibanding batang tunggal $b/h = 4/6$. Hal ini dikarenakan inersia pada batang ganda lebih besar dibandingkan batang tunggal $4/6$. Dapat dilihat dari pembahasan 5.2.1 halaman 49.
2. Dengan adanya penambahan jumlah klos, maka defleksi dan kelengkungan batang ganda semakin kecil. Karena dengan adanya penambahan klos maka jarak antar klos akan menjadi kecil sehingga batang ganda menjadi lebih kaku
3. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa ketidakhomogenan kayu glugu pembentuk batang ganda berpengaruh pada kekuatan batang ganda secara keseluruhan sehingga dengan jumlah klos yang sama selalu menghasilkan P maksimum yang berbeda

6.2 Saran

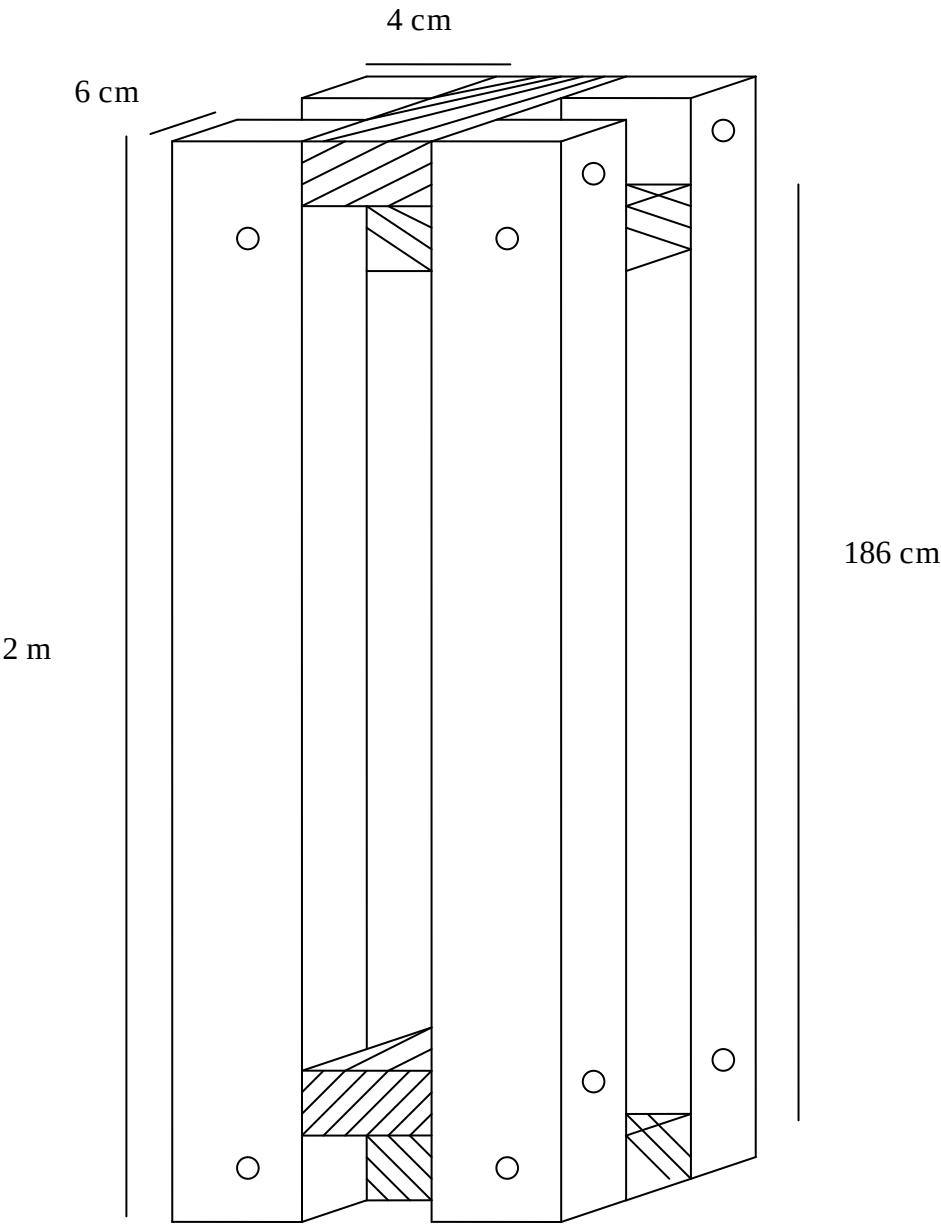
Dari hasil penelitian kolom batang ganda maka disarankan :

1. Alat pembaca lendutan (Dial Gauge) perlu ditambah, yang mempunyai kapasitas pembacaan lendutan (defleksi) yang lebih besar dan lebih akurat. Sehingga untuk lendutan yang besar tidak perlu penyetelan berulang-ulang terhadap Dial Gauge.
2. Pada saat pengujian perlu diperhatikan ketelitian dan kecermatan pengamatan dalam membaca dial sehingga diperoleh data yang akurat.
3. perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan pembebanan pada 2 arah, yakni pada atas kolom dan pada tengah bentang, perlu dilakukan juga penelitian yang sama dengan memvariasikan dimensi penampang klos, dan juga perlu dilakukan penelitian dengan benda uji yang sama tetapi dengan perletakan beban eksentris pada sumbu kuat.
4. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemilihan yang jeli terhadap kayu glugu yang akan digunakan untuk penelitian. Sebaiknya digunakan kayu glugu dengan jenis yang sama agar kualitas kayu tidak jauh berbeda. Selain itu kayu glugu yang digunakan adalah kayu yang sudah tua agar hasil penelitian yang didapat lebih maksimal.
5. Pada saat pengujian perlu ketelitian dan kecermatan dalam hal penempatan beban pada titik eksentris yang ditentukan, sehingga dapat menghasilkan data yang lebih akurat.

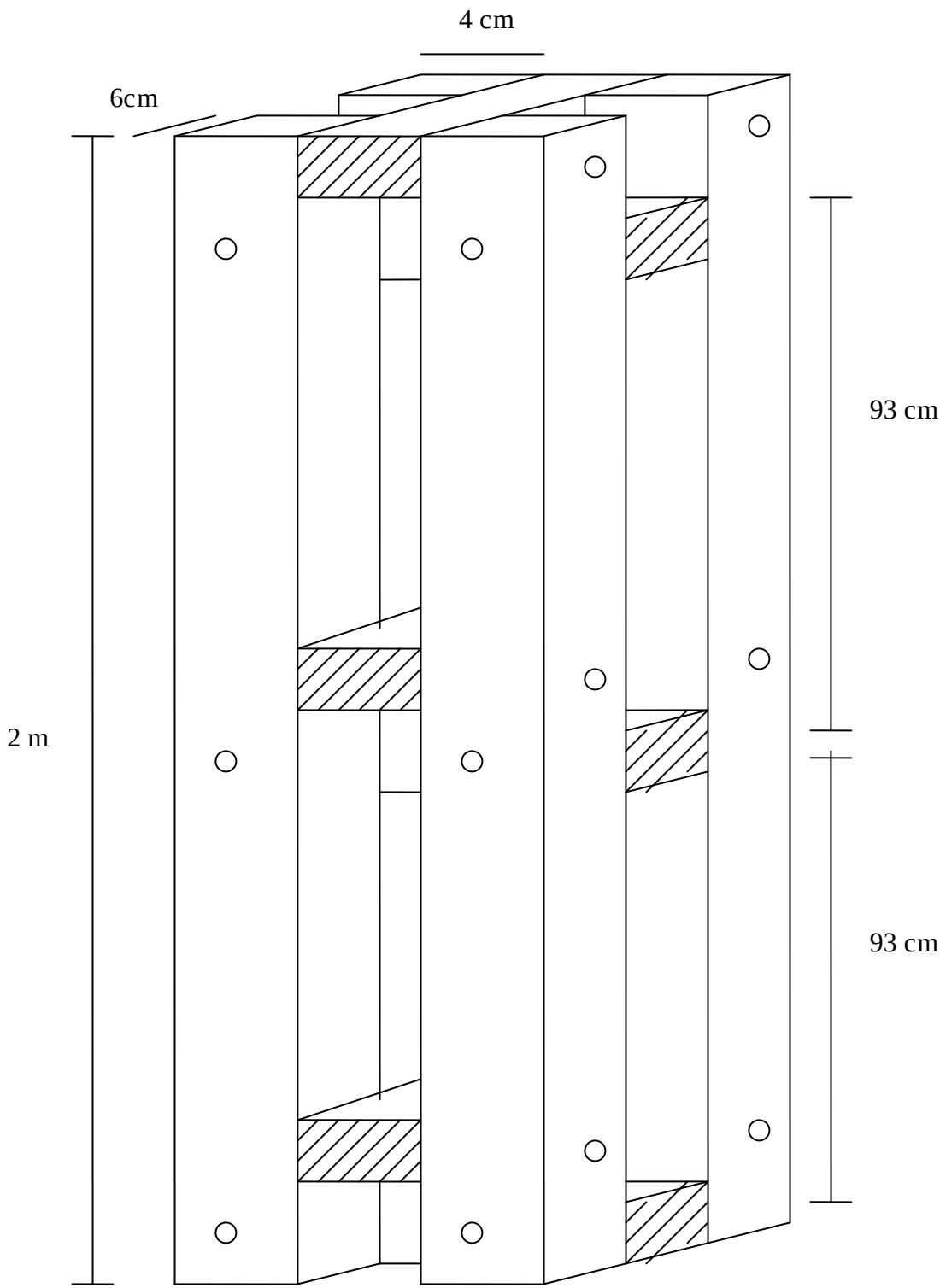
DAFTAR PUSTAKA

-, 1961, PERATURAN KONSTRUKSI KAYU INDONESIA 1961,
Departemen Pekerjaan Umum RI, Jakarta.
- Anonim, Peraturan konstruksi Kayu Indonesia, NI-5 PKKI 1961, Departemen
Pekerjaan Umum.
- Chen W.F dan Atsuta T, 1977, *Theory of Beam-Columns*, Volume 1, McGraw –
Hill Inc, New York.
- Djokowahyono, FH., 1994, *Konstruksi Kayu*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Fachurrozy, *Struktur Kayu*, Diklat Kuliah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta
- Faherty, F.Keith, WOOD ENGINEERING AND CONSTRUCTION
HANDBOOK, Mc Graw-Hill Publissing Company, New York, 1989
- FH.Djokowahjono., 1994, *Konstruksi Kayu*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta
- Filix YKH., 1965, *Konstruksi Kayu*, Penerbit Bina Cipta, Bandung.
- Ir.Heinz Frick., 1982, *Ilmu Kosntruksi Bangunan Kayu*, Penerbit Kanisius,
Yogyakarta.
- PADOSBAJAYO, 1994, *Bahan Kuliah Pengetahuan Dasar Stuktur Baja*,
PADOSBAJAYO, Yogyakarta.
- Salmon Charles G Johnson John E. 1992, *Struktur Baja Disain dan Perilaku 1*,
Edisi Ketiga, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- SNI, 2000, *Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu Untuk Bangunan Gedung*,
Bandung
- Suwarno Wiryomartono., 1976, *Konstruksi Kayu Jilid I*, Bahan-Bahan Kuliah
Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Widanto, Maharyo dan Edy S., Kuncoro, *Kuat Tekan Batang Ganda Dengan
Penghubung Klos dan Variasi Jarak Klos*.
- Wiryotomartono, 1976, *Kontruksi Kayu*, Jilid 1 Yayasan Penerbitan FIP-IKIP,
Yogyakarta

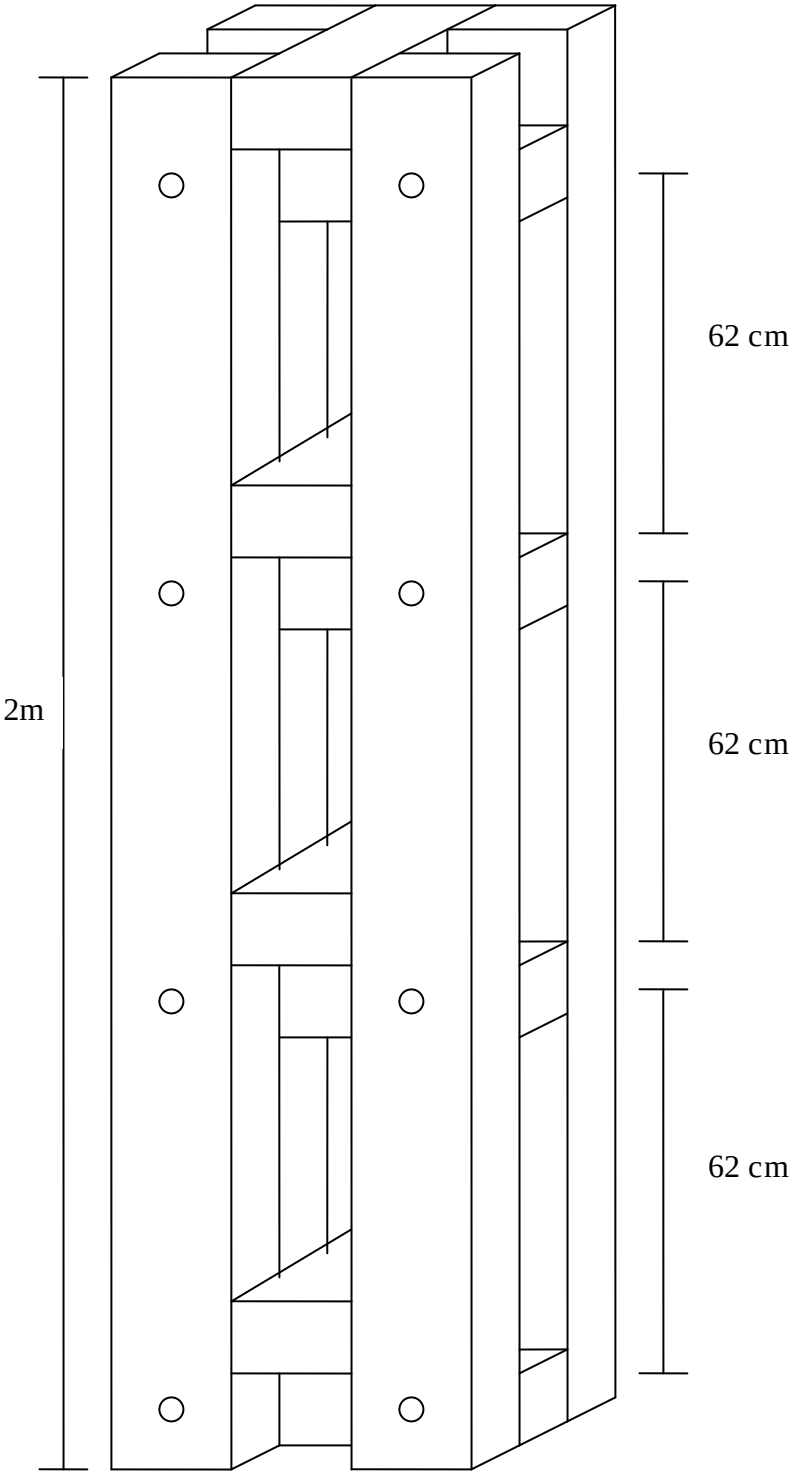
MODEL BENDA UJI DENGAN KLOS 2



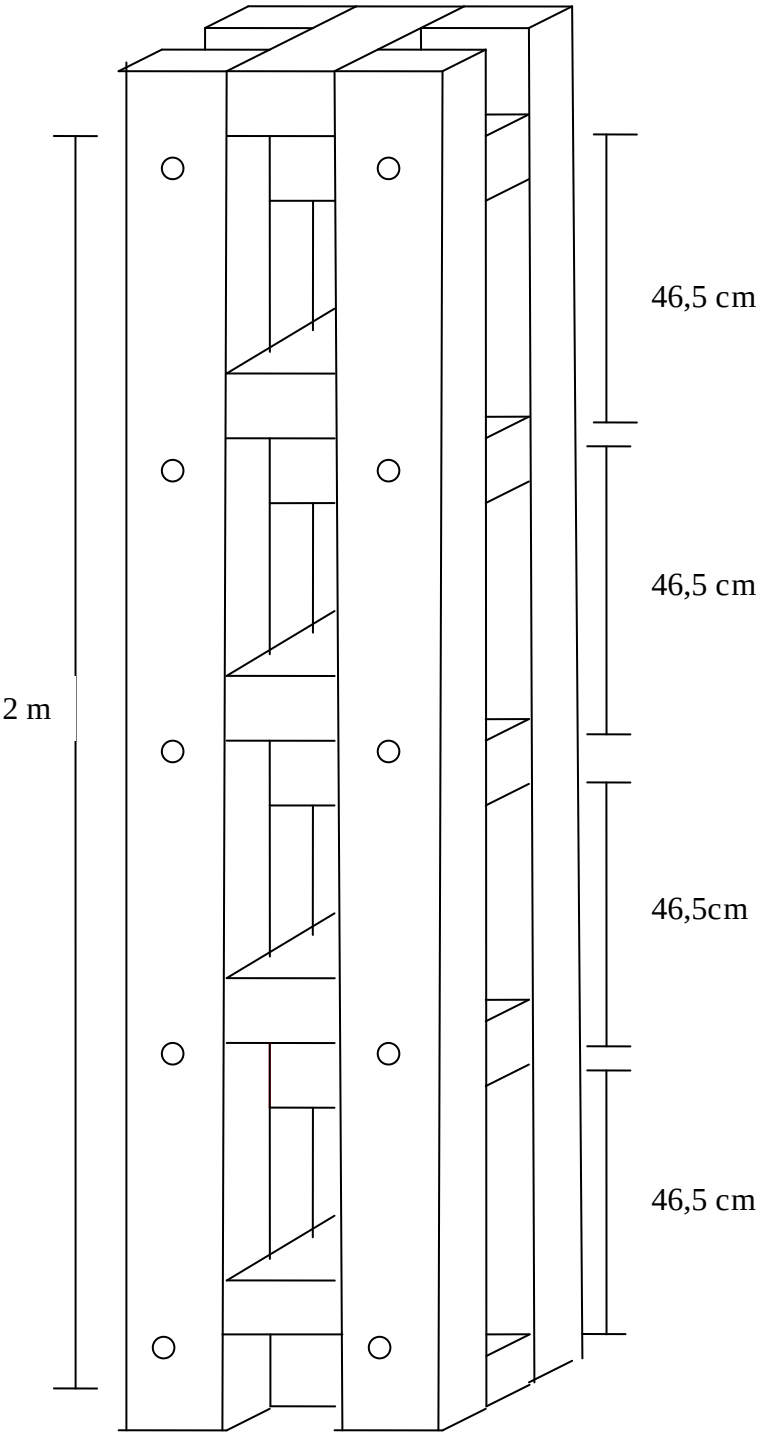
MODEL BENDA UJI DENGAN KLOS 3



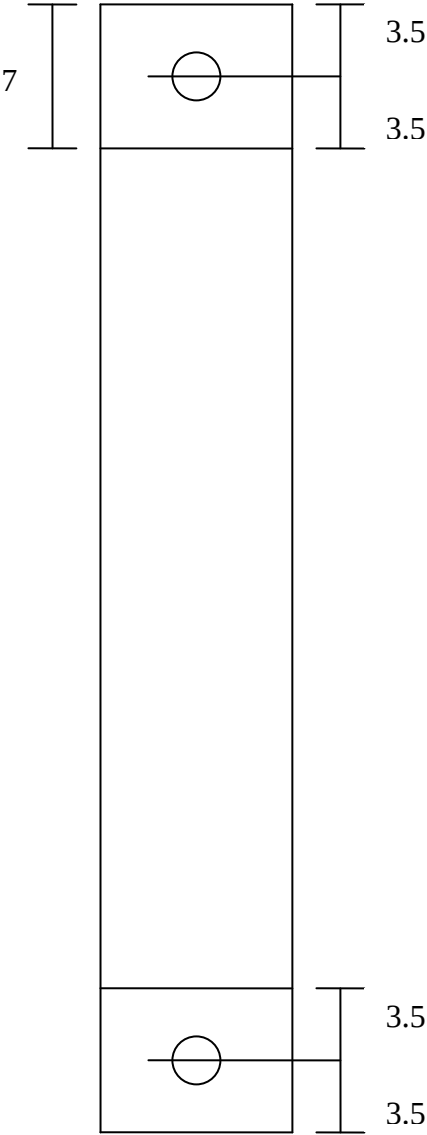
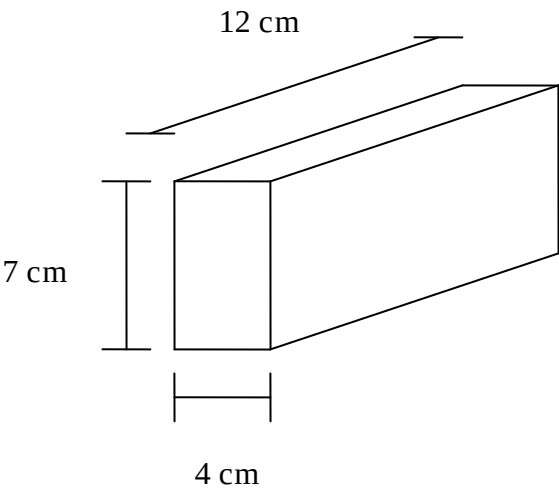
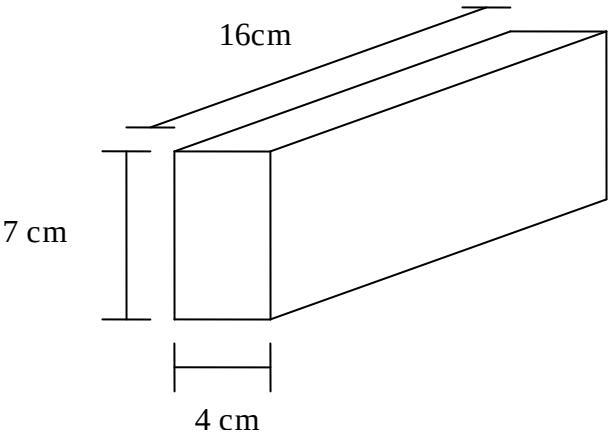
MODEL BENDA UJI DENGAN KLOS 4



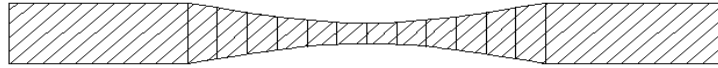
MODEL BENDA UJI DENGAN KLOS 5



Gambar Klos



DATA TES TARIK KAYU GLUGU SEARAH SERAT

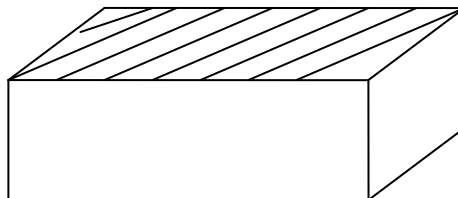


Kayu Sebelum Diuji

a. Tabel Tarik Kayu

No	Data	Sampel Uji		
		Kayu 1	Kayu 2	Kayu 3
1	Beban Maksimum (kg)	710	820	440
2	Luas Tampang (cm ²)	1,26	1,43	0,978
3	Tegangan Tarik Kayu $= \frac{\text{BebanMaks}}{\text{LuasTampang}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	563,49	573,43	449,89

DATA TES BERAT JENIS KAYU GLUGU



b. Tabel Berat Jenis Dan Kadar Lengas Kayu Glugu

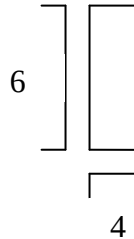
No	Data	Sampel Uji		
		Kayu 1	Kayu 2	Kayu 3
1	Berat 1 = Bo (gr)	280	266	266
2	Berat 2 = Bi (gr)	279	265	265
3	Panjang 1 = Po (cm)	10	10	10
4	Panjang 2 = Pi (cm)	10	10	10
5	Lebar 1 = lo (cm)	4,5	4,5	4,5
6	Lebar 2 = li (cm)	4,5	4,5	4,5
7	Tinggi 1 = to (cm)	6,3	6,2	6,2

8	Tinggi 2 = ti (cm)	6,3	6,2	6,2
9	Berat Jenis Kering Udara $\left(\frac{Bi}{Pixlixti} \right) = \left(\frac{gr}{cm^3} \right)$	0,984	0,951	0,949
10	Kadar Lengas Kayu $\frac{1,15G_x - G_{ku}}{G_{ku}} \times 100 (\%)$	15,412	15,434	15,434

Dari tabel berat jenis kayu glugu didapatkan berat jenis kering udara 0,984; 0,951 dan 0,949. Maka kayu glugu tersebut termasuk kayu kelas kuat 1. Dari tabel berat jenis kayu glugu juga didapatkan kadar lengas kayu kering udara kurang dari 30%, yaitu 15,412%; 15,434% dan 15,434%. Dengan demikian kayu glugu tersebut termasuk kayu mutu B.

DATA PERHITUNGAN BEBAN TEORITIS BATANG TUNGGAL

1. Sampel 1 dengan L = 200 cm



$$e = 2 \text{ cm}$$

$$E = 149906,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$A = b \cdot h = 24 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 4 \cdot 6^3 = 72 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1/12 \cdot b^3 \cdot h = 1/12 \cdot 4^3 \cdot 6 = 32 \text{ cm}^4$$

$$W_n = 1/6 \cdot b^2 \cdot h = 1/6 \cdot 4^2 \cdot 6 = 16 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{ds//} = b_j \cdot 150 \cdot 0,75 = 0,961 \cdot 150 \cdot 0,75 = 108,1125 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{lt} = b_j \cdot 170 \cdot 0,75 = 0,961 \cdot 170 \cdot 0,75 = 122,5257 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 108,1125 / 122,5275 = 0,88324$$

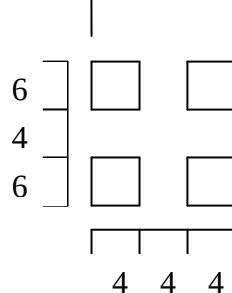
$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \alpha \frac{M_{\max}}{W_n}$$

$$108,1125 \text{ kg/cm}^2 = \frac{P}{24} + \alpha \frac{P \cdot 2}{16}$$

$$P = 710,79 \text{ kg}$$

$$P = 0,711 \text{ Ton}$$

Beban maksimum saat batang ganda ditekan adalah 0,711 Ton

DATA PERHITUNGAN BEBAN TEORITIS BATANG GANDA**Batang Ganda Dengan Jumlah klos 2, 3, 4 dan 5 Ltk = 186 cm.**

$$e = 2 \text{ cm}$$

$$ix = 0,289 \cdot 2H = 3.468 \text{ cm}$$

$$It = 4 \left[\frac{1}{12} \cdot 6 \cdot 4^3 \right] + 4 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 4^2$$

$$= 128 + 1536 = 1664 \text{ cm}^4$$

$$Ig = 4 \cdot \frac{1}{12} h b^3 + 4 (bh) \left(\frac{1}{2} b \right)^2$$

$$= 4 \cdot \frac{1}{12} 6 \cdot 4^3 + 4 (4 \cdot 6) \left(\frac{1}{2} 4 \right)^2 = 512 \text{ cm}^4$$

$$Iy = \frac{1}{4} It + 3Ig$$

$$= \frac{1}{4} 1664 + 3 \cdot 512 = 800 \text{ cm}^4$$

$$iy = \sqrt{\frac{Iy}{Fbr}} = \sqrt{\frac{800}{4 \cdot 4 \cdot 6}} = 2,89 \text{ cm}$$

$$ix < iy, \text{ i min adalah } iy = 2,89 \text{ cm}$$

$$\text{Kelangsingan batang : } \lambda = \frac{186}{2.89} \leq 200$$

$$= 64.36 \leq 200$$

Dari tabel PKKI didapatkan nilai $\omega = 1.75$

$$\sigma_{ds//} = b_j \cdot 150 \cdot 0,75 = 0,961 \cdot 150 \cdot 0,75 = 108,1125 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{lt} = b_j \cdot 170 \cdot 0,75 = 0,961 \cdot 170 \cdot 0,75 = 122,5275 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha = 108,1125 / 122,5275 = 0,88324$$

$$\sigma = \frac{P \cdot \omega}{F_{br}} + \alpha \frac{M \max}{W_n} \leq \sigma_{ds//} \rightarrow \frac{P \cdot 1,75}{4 \cdot 4 \cdot 6} + 0,88324 \frac{P \cdot 2}{4 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4^2 \cdot 6} \leq 108,1125 \text{ kg/cm}^2$$

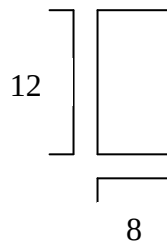
$$P = 2457,102 \text{ Kg}$$

$$P = 2,457102 \text{ Ton}$$

Beban maksimum saat batang ganda ditekan adalah 2,457102 Ton

DATA PERHITUNGAN BEBAN TEORITIS BATANG TUNGGAL

$$B/H = 8/12 \text{ cm}$$

1. Sampel 1 dengan L = 200 cm

$$e = 2 \text{ cm}$$

$$E = 149906,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$A = b.h = 96 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 1/12.b.h^3 = 1/12.8.12^3 = 1152 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1/12.b^3.h = 1/12.8^3.12 = 512 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{ds//} = b_j \cdot 150 \cdot 0,75 = 0,961 \cdot 150 \cdot 0,75 = 108,1125 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \alpha \frac{M_{\max}}{W_n}$$

$$108,1125 \text{ kg/cm}^2 = \frac{P}{96} + 0,88324 \frac{P \cdot 2}{128}$$

$$P = 2816,89 \text{ kg}$$

$$P = 2,81689 \text{ Ton}$$

Beban maksimum saat batang ganda ditekan adalah 2.81689 Ton

TABEL KUAT TEKAN BATANG TUNGGAL 4/6 SAMPEL 1

Beban (kg)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm
0	0	0	0`
200	4.37	11.76	5.6
400	13.75	22.86	9.9
600	20.25	40.9	16.55

TABEL KUAT TEKAN BATANG TUNGGAL 4/6 SAMPEL 2

BEBAN (kg)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
100	1.75	2.54	1.82
200	2.96	4.22	2.98
300	4	5.78	4.08
400	5.4	7.5	5.18
500	6.7	9.23	6.39
600	7.7	10.68	7.38
700	8.85	12.44	8.5
800	10.15	14.45	9.85
900	11.95	17.05	11.5
1000	14.85	26.2	14
1100	16.9	29.44	16.15
1200	19.75	33.69	19.15

TABEL KUAT TEKAN BATANG TUNGGAL 4/6 SAMPEL 3

BEBAN (kg)	DIAL 1 (mm)	DIAL 2 (mm)	DIAL 3 (mm)
0	0	0	0
100	3.45	5.23	2.58
200	5.56	8.89	5.68
300	7.78	13.55	8.96
400	9.89	16.98	10.85
500	13.01	20.64	13.52
600	15.85	28.69	15.01
700	19.23	33.57	18.55
800	23.64	48.67	22.56

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 2 DENGAN KLOS 2

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen	Kelengkungan
(Kg)	mm	mm	mm	Kg-mm	(1/ mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.02	0.02	-0.02	4004	1.6E-07
400	0.02	0.02	-0.07	8008	3.6E-07
600	0.03	0.02	-0.07	12012	3.2E-07
800	0.03	0.02	-0.02	16016	1.2E-07
1000	0.03	0.04	0.01	20040	1.6E-07
1200	0.06	0.09	0.085	24108	1.4E-07
1400	0.085	0.14	0.13	28196	2.6E-07
1600	0.14	0.215	0.2	32344	3.6E-07
1800	0.2	0.32	0.3	36576	5.6E-07
2000	0.3	0.44	0.395	40880	7.4E-07
2200	0.47	0.65	0.57	45430	1.04E-06
2400	0.79	0.93	0.78	50232	1.16E-06
2600	1.09	1.19	0.96	55094	1.32E-06
2800	1.34	1.52	1.23	60256	1.88E-06
3000	1.68	1.81	1.44	65430	0.000002
3200	1.92	2.21	1.73	71072	3.08E-06
3400	2.44	2.63	2.06	76942	3.04E-06
3600	2.98	3.12	2.37	83232	3.56E-06
3800	3.54	3.73	2.75	90174	4.68E-06
4000	4.24	4.3	3.05	97200	5.24E-06
4200	5	5.1	3.4	105420	7.2E-06
4400	5.96	6.03	3.85	114532	0.000009
4600	7.5	7.7	4.6	127420	1.32E-05
4800	9.2	10.03	5.7	144144	2.06E-05
5000	13.68	13.96	7.76	169800	2.5E-05
5200	13	20.4	11.3	210080	0.000066

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 3 DENGAN KLOS 2

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen	Kelengkungan
(Kg)	mm	mm	mm	Kg-mm	(1/ mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.01	0.26	0.39	4052	4.8E-07
400	0.01	0.4	0.59	8160	8E-07
600	0.025	0.56	0.73	12336	1.46E-60
800	0.05	0.65	0.82	16520	1.72E-06
1000	0.14	0.81	0.93	20810	2.2E-06
1200	0.29	0.98	1.04	25176	2.52E-06
1400	0.43	1.14	1.15	29596	2.8E-06
1600	0.62	1.45	1.35	34320	3.72E-06
1800	0.96	1.815	1.55	39267	4.48E-06
2000	1.25	2.14	1.75	44280	5.12E-06
2200	1.34	2.47	1.95	49434	6.6E-06
2400	1.45	2.805	2.15	54732	8.04E-06
2600	1.53	3.06	2.33	59956	9.04E-06
2800	1.61	3.36	2.625	65408	9.94E-06
3000	1.97	4.6	2.93	73800	1.72E-05
3200	2.77	5.54	3.6	81728	1.88E-05
3400	3.97	6.7	4.45	90780	1.99E-05
3600	5.27	8.3	5.3	101880	2.41E-05
3800	7.39	10.25	6.5	114950	2.64E-05
4000	9.86	13.68	9.2	134720	3.32E-05
4200	18.56	13.73	90.3	141666	-0.00033

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 2 DENGAN KLOS 3

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen	Kelengkungan
(Kg)	mm	mm	mm	Kg-mm	(1/ mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.02	-0.15	-0.15	3970	-6.8E-07
400	0.11	-0.16	-0.28	7936	-6E-07
600	0.48	-0.07	-0.36	11958	-1E-06
800	0.74	0.1	-0.28	16080	-1E-06
1000	1.01	0.27	-0.24	20270	-9.2E-07
1200	1.3	0.45	-0.18	24540	-8.8E-07
1400	1.56	0.6	-0.11	28840	-1E-06
1600	1.84	0.8	-0.05	33280	-7.6E07
1800	2.12	0.97	0.05	37746	-9.2E07
2000	2.42	1.2	0.19	42400	-8.4E07
2200	2.75	1.45	0.34	47190	-7.6E-07
2400	3.12	1.7	0.38	52080	-8E-07
2600	3.32	2	0.65	57200	1.2E-07
2800	3.78	2.37	0.83	62636	5.2E-07
3000	4.14	2.63	0.97	67890	6E-07
3200	4.58	3.1	1.15	73920	1.88E-06
3400	5.39	3.99	1.6	81566	3.96E-06
3600	5.64	4.2	1.75	87120	4.04E-06
3800	6	4.6	1.99	93480	4.84E-06
4000	6.48	5.1	2.2	100400	6.0E-06
4200	7	5.7	2.55	107940	7.4E-06
4400	7.58	6.45	2.8	116380	1.01E-05
4600	8.18	7.95	3.25	128570	1.79E-05
4800	8.75	8.6	3.63	137280	1.93E-05
5000	9.5	9.43	4.11	147150	0.000021
5200	10.2	10.35	4.7	157820	2.32E-05
5400	11.12	11.45	5.35	169830	2.57E-05
5600	12.1	12.82	6.25	183792	2.92E-05
5800	13.1	14	7	197200	3.16E-05
6000	14.2	15.5	8	213000	3.52E-05
6200	15.25	17.1	9.05	230020	3.96E-05
6400	17.02	19.65	9.8	253760	4.99E-05
6600	19.66	23.4	13.7	286440	5.38E-05

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 3 DENGAN KLOS 3

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3	Momen	Kelengkungan
(Kg)	mm	mm	mm	Kg-mm	(1/ mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.12	0.25	0.24	4050	5.6E-07
400	0.27	0.5	0.47	8200	1.04E-06
600	0.41	0.7	0.69	12420	1.2E-06
800	0.59	0.93	0.88	16744	1.56E-06
1000	0.77	1.15	1.06	21150	1.88E-06
1200	0.95	1.17	1.25	25404	5.6E-07
1400	1.15	1.6	1.45	30240	2.4E-06
1600	1.35	1.64	1.64	34624	1.16E-06
1800	1.51	2.34	1.85	40212	5.28E-06
2000	1.8	2.55	2.1	45100	4.8E-06
2200	2.21	2.85	2.85	50270	2.56E-06
2400	2.6	3.75	3.7	57000	4.8E-06
2600	3.09	4.3	4.27	63180	1.96E-05
2800	3.52	5	3.5	70000	1.19E-05
3000	3.92	5.6	3.92	76800	1.34E-05
3200	4.46	6.3	4.3	83936	1.48E-05
3400	5.02	7.05	4.8	91970	1.71E-05
3600	5.6	7.85	5.3	100260	1.92E-05
3800	6.31	8.8	5.85	109440	2.18E-05
4000	7.21	10	6.6	120000	2.4E-05
4200	7.96	11.4	7.5	131880	2.94E-05
4400	9.65	13.5	8.8	147400	3.42E-05
4600	10.74	17.7	10	173420	5.86E-05
4800	11.72	18	11.7	182400	5.03E-05
5000	13.92	21.3	13.9	206500	5.91E-05
5200	16.55	25.9	16.65	238680	7.44E-05
5400	21.05	33	21.55	286200	9.36E-05

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 2 DENGAN KLOS 4

Beban (Kg)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	M Kg-mm	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.07	0.06	0.05	4012	-5.6E-23
400	0.09	0.4	0.06	8160	2.6E-06
600	0.09	0.05	0.09	12030	-3.2E-07
800	0.08	0.06	0.12	16048	-3.2E-07
1000	0.1	0.14	0.19	20140	-4E-08
1200	0.11	0.27	0.29	24324	5.6E-07
1400	0.25	0.45	0.4	28630	0.000001
1600	0.46	0.7	0.56	33120	1.52E-06
1800	0.72	0.95	0.68	37710	0.000002
2000	1	1.2	0.85	42400	2.2E-06
2200	1.3	1.52	0.98	47344	3.04E-06
2400	1.7	1.91	1.19	52584	3.72E-06
2600	2.1	2.35	1.44	58110	4.64E-06
2800	2.45	2.7	1.63	63560	5.28E-06
3000	2.68	3	1.78	69000	6.16E-06
3200	2.97	3.29	1.93	74528	6.72E-06
3400	3.3	3.64	2.03	80376	7.8E-06
3600	3.65	4.02	2.35	86472	8.16E-06
3800	4.05	4.48	2.61	93024	9.2E-06
4000	4.5	4.92	2.9	99680	9.76E-06
4200	4.9	5.4	3.17	106680	1.09E-05
4400	5.4	5.98	3.53	114312	1.21E-05
4600	6.05	6.73	4	122958	1.36E-05
4800	6.7	7.55	4.52	3720000	0.005995
5000	7.25	8.77	5.2	143850	2.04E-05
5200	8.1	9.3	5.7	152360	1.92E-05
5400	9	10.85	6.35	166590	2.54E-05
5600	10.1	12	7.3	179200	2.64E-05
5800	11.3	14.58	8.19	200564	3.87E-05
6000	12.1	16.75	9.5	220500	4.76E-05
6200	14.2	19.4	11.5	244280	5.24E-05
6400	3	22.6	14.5	272640	0.000111

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 3 DENGAN KLOS 4

Beban (Kg)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	M Kg-mm	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.01	0.01	0	4002	4E-08
400	0.06	0.05	0	8020	1.6E-07
600	0.2	0.07	0.01	12042	-2.8E-07
800	0.43	0.19	0.17	16152	-8.8E-07
1000	0.72	0.42	0.2	20420	-3.2E-07
1200	1.02	0.62	0.3	24744	-3.2E-07
1400	1.34	0.83	0.43	29162	-4.4E-07
1600	1.63	1.09	0.56	33744	-4E-08
1800	1.9	1.32	0.74	38376	8.88E-22
2000	2.12	1.58	0.9	43160	5.6E-07
2200	2.35	1.86	1.07	48092	1.2E-06
2400	2.58	2.17	1.2	53208	2.24E-06
2600	2.78	2.38	1.33	58188	2.6E-06
2800	2.97	2.58	1.43	63224	3.04E-06
3000	3.15	2.75	1.53	68250	3.28E-06
3200	3.37	2.97	1.45	73504	4.48E-06
3400	3.65	3.22	1.77	78948	4.08E-06
3600	3.85	3.44	1.87	84384	4.64E-06
3800	4.2	3.78	2.07	90364	5.16E-06
4000	4.5	4.1	2.2	96400	0.000006
4200	4.85	4.48	2.38	102816	6.92E-06
4400	5.24	4.84	2.53	109296	7.64E-06
4600	5.6	5.2	2.73	115920	8.28E-06
4800	6	5.64	2.93	123072	9.4E-06
5000	6.5	6.15	3.2	130750	1.04E-05
5200	7.1	7.05	3.53	140660	1.39E-05
5400	7.8	7.88	3.97	150552	1.6E-05
5600	8.6	8.85	4.66	161560	1.78E-05
5800	9.9	10.4	5.25	176320	2.26E-05
6000	11.6	11.5	6.6	189000	1.92E-05
6200	13.7	16.11	7.9	223882	4.25E-05
6400	3.9	22.3	12.8	270720	0.000112

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 2 DENGAN KLOS 5

Beban (Kg)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	M Kg-mm	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.08	0.01	0.01	4016	-2.8E-07
400	0.11	0	0.05	8044	-6.4E-07
600	0.11	0.07	0.14	12066	-4.4E-07
800	0.1	12	0.21	16080	9.48E-05
1000	0.1	0.17	0.27	20100	-1.2E-07
1200	0.09	0.2	0.33	24108	-8E-08
1400	0.1	0.22	0.33	28140	4E-08
1600	0.11	0.26	0.36	32176	2E-07
1800	0.135	0.29	0.4	36243	1.8E-07
2000	0.15	0.32	0.43	40300	2.4E-07
2200	0.165	0.37	0.48	44363	3.8E-07
2400	0.17	0.38	0.49	48408	4E-07
2600	0.19	0.42	0.53	52494	4.8E-07
2800	0.119	0.43	0.56	56333.2	7.24E-07
3000	0.195	0.46	0.57	60585	6.2E-07
3200	0.22	0.48	0.59	64704	6E-07
3400	0.235	0.485	0.6	68799	5.4E-07
3600	0.265	0.52	0.61	72954	6.6E-07
3800	0.27	0.55	0.66	77026	6.8E-07
4000	0.27	0.55	0.64	81080	7.6E-07
4200	0.285	0.57	0.65	85197	8.2E-07
4400	0.325	0.62	0.68	89430	9.4E-07
4600	0.38	0.71	0.73	93748	1.24E-06
4800	0.41	0.75	0.77	97968	1.28E-06
5000	0.42	0.775	0.795	102100	1.34E-06
5200	0.44	0.8	0.84	106288	1.28E-06
5400	0.42	0.815	0.88	110268	1.32E-06
5600	0.37	0.795	0.89	114072	1.32E-06
5800	0.29	0.7	0.85	117682	1.04E-06
6000	0.24	0.78	0.85	121440	1.88E-06
6200	0.15	6	0.81	124930	4.42E-05
6400	0.16	0.48	0.74	129024	2.4E-07
6600	0.32	0.26	0.66	134112	-1.8E-06

Lanjutan Hubungan momen kelengkungan sampel 2 jumlah klos 5

Beban	Dial 1	Dial 2	Dial 3	M	Kelengkungan
(Kg)	mm	mm	mm	Kg-mm	(1/mm)
6800	0.57	0.4	0.47	139876	-9.6E-07
7000	0.81	0.71	0.39	145670	8.8E-07
7200	1.11	1.17	0.63	151992	2.4E-06
7400	1.61	1.9	1.04	159914	4.6E-06
7600	2.98	3.6	2.13	174648	8.36E-06
7800	5.79	8	5.03	201162	2.07E-05

TABEL KUAT TEKAN BATANG GANDA SAMPEL 3 DENGAN KLOS 5

Beban (Kg)	Dial 1 mm	Dial 2 mm	Dial 3 mm	M Kg-mm	Kelengkungan (1/mm)
0	0	0	0	0	0
200	0.04	0.065	0.04	4013	2E-07
400	0.095	0.145	0.095	8058	4E-07
600	0.18	0.25	0.15	12150	6.8E-07
800	0.25	0.35	0.22	16280	9.2E-07
1000	0.32	0.44	0.28	20440	1.12E-06
1200	0.405	0.57	0.35	24684	1.54E-06
1400	0.485	0.7	0.44	28980	1.9E-06
1600	0.55	0.81	0.52	33296	2.2E-06
1800	0.635	0.95	0.61	37710	2.62E-06
2000	0.71	1.05	0.72	42100	2.68E-06
2200	0.81	1.27	0.85	46794	3.52E-06
2400	0.88	1.4	0.95	51360	3.88E-06
2600	1	1.6	1.09	56160	4.44E-06
2800	1.12	1.8	1.25	61040	4.92E-06
3000	1.24	2.04	1.42	66120	5.68E-06
3200	1.36	2.25	1.59	71200	6.2E-06
3400	1.54	2.62	1.84	76908	7.44E-06
3600	1.75	2.95	2.1	82620	8.2E-06
3800	1.94	3.35	2.4	88730	9.44E-06
4000	2.2	3.73	2.69	94920	1.03E-05
4200	2.44	4.1	2.99	101220	1.11E-05
4400	2.7	4.549	3.35	108015.6	1.22E-05
4600	3	5.07	3.605	115322	1.41E-05
4800	3.22	5.49	3.94	122352	1.53E-05
5000	3.45	5.85	4.21	129250	1.62E-05
5200	3.8	6.45	4.66	137540	1.78E-05
5400	4.12	7	5.05	145800	1.93E-05
5600	4.51	7.7	5.6	155120	2.12E-05
5800	4.9	8.4	6.09	164720	2.32E-05
6000	5.45	9.4	6.8	176400	2.62E-05
6200	6.34	10.9	8	191580	2.98E-05
6400	7.68	13.2	9.6	212480	3.65E-05
6600	14.6	25	15.9	297000	0.000078

TABEL KUAT TEKAN RATA-RATA BATANG GANDA
(ambil 2 sampel yang terbaik)

Beban Kg	Defleksi rata-rata (mm)			
	Klos 2	Klos 3	Klos 4	Klos 5
0	0	0	0	0
200	0.078333	-0.46667	0.033333	0.164167
400	0.106667	-0.73167	0.11	0.2975
600	0.135	-0.67333	0.085	0.45
800	0.161667	-0.50667	0.175	0.59
1000	0.196667	-0.315	0.295	0.723333
1200	0.2525	-0.11833	0.435	0.860833
1400	0.305833	0.046667	0.616667	1.015833
1600	0.4475	0.225	0.833333	1.153333
1800	0.585833	0.406667	1.051667	1.3025
2000	0.709167	0.606667	1.275	1.438333
2200	0.923333	0.825	1.513333	1.621667
2400	1.161667	1.08	1.791667	1.765
2600	1.395	1.363333	2.063333	1.9
2800	1.670833	1.673333	2.293333	2.116667
3000	1.92	1.973333	2.481667	2.303333
3200	2.28	2.338333	2.663333	2.501667
3400	2.778333	3.01	2.935	2.766667
3600	3.343333	3.366667	3.196667	3.05
3800	4.081667	3.781667	3.531667	3.351667
4000	4.95	4.206667	3.853333	3.658333
4200	5.443333	4.665	4.196667	3.993333
4400	4.576667	5.145	4.586667	4.3915
4600	5.476667	5.816667	5.051667	4.795833
4800	6.596667	6.35	5.556667	5.175
5000	8.648333	6.981667	6.178333	5.568333
5200	10.705	7.62	6.796667	6.098333
5400	9.15	8.455	7.641667	6.545
5600		9.503333	8.585	7.123333
5800		10.8	9.936667	7.816667
6000		12.09	11.34167	8.558333
6200		15.50667	13.80167	9.586667
6400		15.49	17.21667	11.02833
6600		18.92		15.9
6800				18.01333

Foto Batang Ganda Saat Diuji



Foto Batang Ganda Saat Diuji

