

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisik dan Mekanik Kayu

4.1.1 Kadar Air Kayu

Pengamatan terhadap kadar air benda uji kayu meranti merah yang ditinjau diperoleh hasil berkisar antara 14,784946 persen sampai 15,425532 persen atau kadar air rata-rata sebesar 15,063326 persen. Kadar air benda uji kayu keruing yang diperoleh mempunyai kisaran antara 14,687101 persen sampai sebesar 15,15528 persen dan kadar air rata-rata sebesar 15,017492 persen (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7), dengan demikian berarti kadar air benda uji telah mencapai kadar air yang diharapkan yakni kadar air keseimbangan atau kadar air kering udara, dimana kadar air kering udara di Indonesia menurut Seng (1990) berkisar antara 12 sampai 20 persen.

Bila mengacu pada ketentuan yang disyaratkan untuk perekatan struktur glulam, kadar air rata-rata yang diperoleh sudah berada dibawah kadar air yang ditetapkan, yakni sebesar 16 persen atau kurang. Ketentuan dari pabrik pembuat perekat, kadar air papan-papan saat direkatkan disarankan sebesar 6 sampai 12 persen atau di bawah kadar air keseimbangan, kadar air tersebut dapat dicapai dengan cara pengeringan dalam dapur pengeringan, namun karena sifat kayu yang higroskopis

akan menyebabkan kayu akan cepat kembali menyesuaikan ke kondisi kadar air keseimbangan karena kelembaban udara sekelilingnya.

Hasil percobaan-percobaan awal yang dilakukan terhadap perekatan blok geser laminasi menunjukkan bahwa masa curing perekat terlabur pada kondisi kadar air kayu rata-rata 15 persen baru tercapai dalam waktu antara 5 sampai 7 jam. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka lama waktu pengempaan perekatan kayu ditetapkan selama 10 jam.

4.1.2 Kerapatan kayu

Hasil peninjauan terhadap kerapatan kayu meranti merah kering udara diperoleh harga berkisar antara $0,3366339 \text{ t/m}^3$ sampai $0,3450879 \text{ t/m}^3$ atau kerapatan rata-rata sebesar $0,3411296$, sedangkan kerapatan kayu meranti merah kering oven diperoleh harga berkisar antara $0,3096127 \text{ t/m}^3$ sampai $0,3197579 \text{ t/m}^3$ atau kerapatan rata-rata sebesar $0,3141286$ (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7). Hasil yang diperoleh masih berada dalam kisaran kerapatan untuk jenis kayu meranti merah pada umumnya yakni $0,30$ sampai $0,86$ (Martawijaya dan Iding, 1977; anonim, ---).

Kerapatan kayu keruing kering udara mempunyai kisaran antara $0,745015 \text{ t/m}^3$ sampai $0,7571789 \text{ t/m}^3$ dan kerapatan rata-rata sebesar $0,7511609 \text{ t/m}^3$. Untuk kerapatan kering oven mempunyai kisaran antara $0,6907856 \text{ t/m}^3$ sampai $0,7072166 \text{ t/m}^3$ dan kerapatan rata-rata sebesar $0,7042217 \text{ t/m}^3$ (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7). Kerapatan kayu yang lebih dari $0,5$ menurut Panshin dan Zeew (1970) menyatakan kayu tersebut dapat dikategorikan kayu berat.

4.1.3 Sifat mekanik kayu

Hubungan kerapatan terhadap kekuatan mekaniknya kayu meranti merah rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.1. Bila mengacu pada Tabel 2.3, maka dapat memberi gambaran bahwa besarnya kerapatan kayu meranti merah yang diperoleh termasuk kayu kelas kuat IV. Kuat lentur kayu meranti merah diperoleh lebih kecil dari 360 kg/cm^2 serta kuat tekan lebih kecil dari 215 kg/cm^2 . Berdasarkan kekuatannya, kayu meranti merah yang dipakai termasuk kelas kuat V, data selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 7.

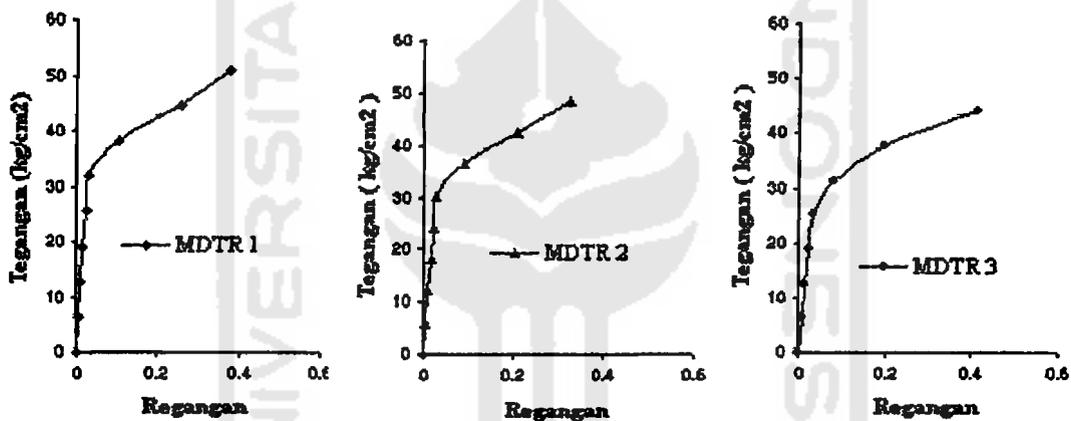
Tabel 4.1. Kerapatan dan sifat-sifat mekanik kayu meranti merah

Jenis Kayu	Kerapatan Rata-rata		Kekuatan Kayu Arah Sejajar Serat Rata-rata					
	Kering Udara	Kering Oven	Lentur Tangensial	Lentur Radial	Tekan	Tarik	Geser Tangensial	Geser Radial
	(kg/cm^3)	(kg/cm^3)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	(kg/cm^2)
Meranti Merah	0.3411296	0.3141286	300.49280	244.26410	187.62498	325.44461	41.62494	40.73216

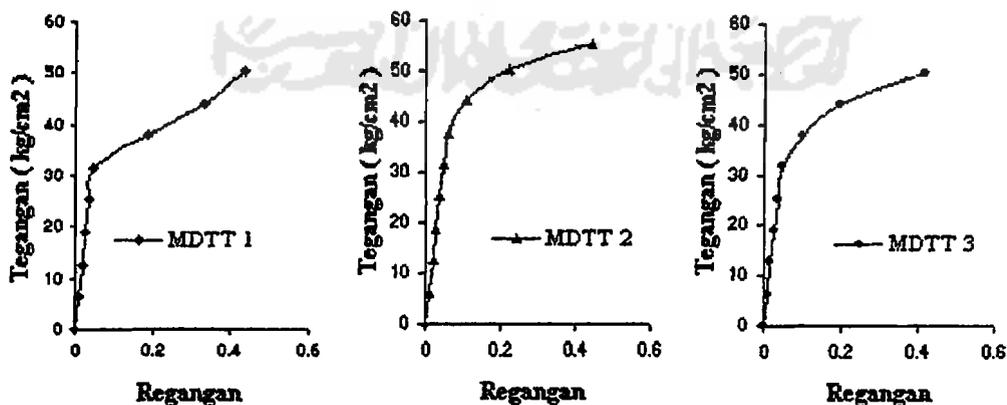
Kuat geser tangensial kayu meranti merah yang diperoleh antara $41,09906864 \text{ kg/cm}^2$ sampai $42,14075011 \text{ kg/cm}^2$ atau kuat geser rata-rata sebesar $41,62493554 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan kuat geser radialnya antara $40,25524809 \text{ kg/cm}^2$ sampai $41,34395414 \text{ kg/cm}^2$. Disamping berfungsi sebagai kayu pengisi, kuat geser kayu meranti merah juga berfungsi untuk melawan gaya geser horizontal akibat pembebanan eksternal balok. Pada kasus balok meranti merah difungsikan sebagai bahan pengisi balok, kuat geser daerah horizontal pada sumbu penampang balok merupakan gaya geser terbesar yang diterima balok sehingga kuat geser kayu pengisi menjadi dominan, terutama untuk balok bentang pendek, hal tersebut dapat

menyebabkan terjadinya gagal geser sebelum kuat lentur tercapai, atau dengan kata lain jenis kegagalan balok berupa kegagalan geser.

Kekuatan tekan tegak lurus kayu meranti merah juga mempengaruhi dalam menentukan batas tekanan garis perekatan yang masih mampu diterima kayu meranti merah dalam dalam daerah elastis bahan. Grafik hubungan tegangan dan regangan kayu meranti merah pada pembebanan tekan tegak lurus arah serat radial dan tegak lurus arah serat tangensial diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Batas tegangan elastis uji tekan tegak lurus serat radial kayu meranti merah



Gambar 4.2 Batas tegangan elastis uji tekan tegak lurus serat tangensial kayu meranti merah

Dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 diperoleh bahwa batas elastis radial meranti merah berada antara 25.129416 kg/cm² sampai 31,805402 kg/cm² dan batas elastis tangensial meranti merah antara 31,180234 kg/cm² sampai 37,694125 kg/cm² (data selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 7). Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan spesifik yang direncanakan sebesar 1 sampai 1,2 MPa atau 10 – 12 kg/cm² masih dapat menjamin bahwa batas elastis bahan belum terlampaui selama proses pengempaan balok glulam.

Kerapatan dan sifat-sifat mekanik kayu keruing rata-rata diperoleh seperti terlihat pada Tabel 4.2 (data selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 7).

Tabel 4.2 Kerapatan dan sifat-sifat mekanik kayu keruing

Jenis Kayu	Kerapatan Rata-rata		Kekuatan Kayu Arah Sejajar Serat Rata-rata					
	Kering Udara	Kering Oven	Lentur Tangensial	Radial	Tekan	Tarik	Geser Tangensial	Radial
	(kg/cm ³)	(kg/cm ³)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
Keruing	0.7511609	0.7042217	485.94300	481.35510	322.07945	645.65182	79.68053	70.29988

Bila mengacu pada Tabel 2.3, maka dapat memberi gambaran bahwa besarnya kerapatan kayu keruing diperoleh berada dalam kisaran 0,6 sampai 0,90, kuat lentur berkisar antara 360 kg/cm² sampai 500 kg/cm² serta kuat tekan berada antara 300 kg/cm² sampai 425 kg/cm², dengan demikian kayu keruing yang dipakai dapat digolongkan kelas kuat III-IV. Perbandingan kekuatan rata-rata antara kayu meranti merah dan kayu keruing dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut (data selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran 7):

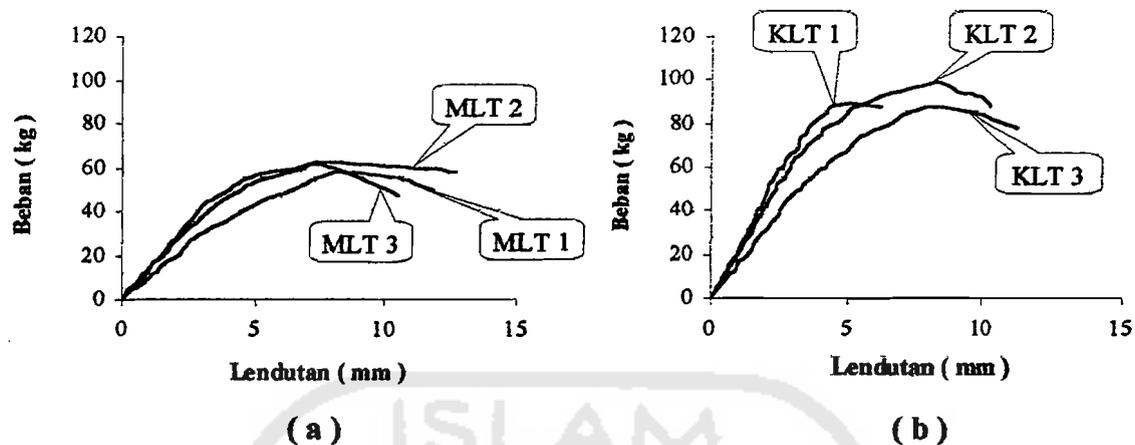
Tabel 4.3 Perbandingan kekuatan kayu meranti merah dan kayu keruing rata-rata

No.	Jenis Pengujian	Kayu Keruing	Kayu Meranti Merah	Persen kekuatan Kayu Meranti Merah
1	Tekan Sejajar Serat	322.07945	187.62498	58.25425373
2	Tarik Sejajar Serat	645.65182	325.44461	50.40559012
3	Geser Tangensial	79.68054572	41.62493554	52.23977216
4	Geser Radial	70.29987728	40.73215909	57.94058349
5	Lentur Tangensial	485.943	300.4928	61.83704673
6	Lentur Radial	481.3551	244.2641	50.74509442

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa persentase kekuatan geser kayu meranti merah terhadap kayu keruing ternyata cukup tinggi. Hal tersebut dapat menguntungkan bila difungsikan sebagai kayu pengisi pada struktur balok glulam, karena selain berfungsi sebagai kayu pengisi, tegangan geser maksimum balok yang terjadi pada daerah kayu pengisi perlu dilawan oleh gaya geser internal bahan.

4.1.4 Kuat lentur dan daktilitas benda uji

Kurva hubungan antara beban dan lendutan yang diperoleh untuk pengujian lentur benda uji kayu meranti merah (Gambar 4.3a) dan kayu keruing (Gambar 4.3b) terlihat relatif lurus dari beban awal sampai beban maksimum, perubahan batas elatis dan plastis juga tidak terlihat dengan jelas, setelah beban maksimum sampai benda uji rusak, kayu keruing dan meranti merah cenderung masih mampu untuk memberikan lendutan seiring turunnya beban yang didukungnya. Hal tersebut menggambarkan bahwa kayu meranti merah dan keruing merupakan bahan yang daktil, walaupun keruing kelihatan lebih daktil. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 (data selengkapnya dapat dilihat pada tabel 7)



Gambar 4.3 Kurva hubungan beban–lendutan; (a) kayu meranti merah, (b) kayu keruing

Tabel 4.4 Kuat lentur tangensial keruing dan meranti merah

no.	jenis kayu	kode benda uji	ukuran benda uji			luas (mm ²)	beban maksimum (kg)	kuat lentur	
			panjang (mm)	lebar (mm)	tinggi (mm)			(kg/cm ²)	rata-rata (kg/cm ²)
1	Keruing	KLT1	280	19.7	20	7880	90	479.6954	485.943
2		KLT2	280	19.8	20.1	397.98	99	519.7891	
3		KLT3	280	19.65	20.2	396.93	87.5	458.3445	
4	Meranti	MLT1	280	20.17	20.34	410.2578	57.5	289.4072	300.4928
5	Merah	MLT2	280	20.16	20.53	413.8848	62.5	308.9306	
6		MLT3	280	20.15	20.48	412.672	61	303.1406	

Tabel 4.5 Kuat lentur radial keruing dan meranti merah

no.	jenis kayu	kode benda uji	ukuran benda uji			luas (mm ²)	beban maksimum (kg)	kuat lentur	
			panjang (mm)	lebar (mm)	tinggi (mm)			(kg/cm ²)	rata-rata (kg/cm ²)
1	Keruing	KLR1	280	20.2	19.5	7681.05	92.5	505.7902	481.3551
2		KLR2	280	20.1	19.6	393.96	87.5	475.9366	
3		KLR3	280	20.1	19.6	393.96	85	462.3385	
4	Meranti	MLR1	280	20.2	20.1	406.02	47.5	244.4553	244.2641
5	Merah	MLR2	280	20.25	20.1	407.025	45	231.0174	
6		MLR3	280	20.1	20.15	405.015	50	257.3198	

Dari tabel 4.4 dan 4.5 dapat dilihat bahwa kekuatan lentur rata-rata arah tangensial lebih besar jika dibandingkan dengan kekuatan lentur rata-rata arah radial, baik keruing maupun meranti merah.

Modulus elastis kayu meranti merah dan kayu keruing terlihat pada Tabel 4.6.

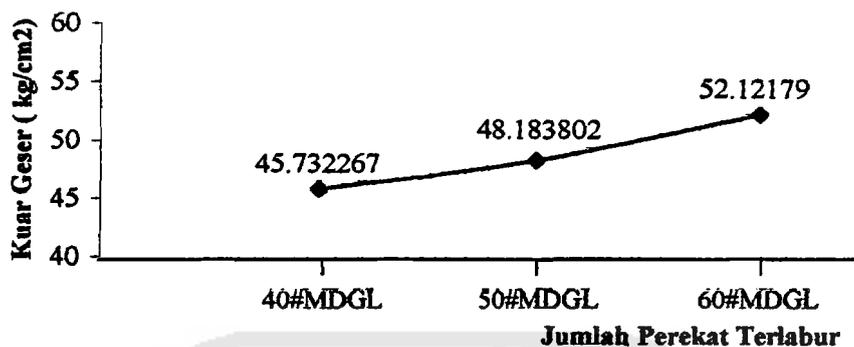
Tabel 4.6 Modulus elastisitas kayu meranti merah dan keruing

No.	Jenis Kayu	Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas (kg/cm ²)	Modulus Elastisitas Rata-rata (kg/cm ²)
1	Keruing	KE 1	191768.0602	197029.8227
2		KE 2	205572.7779	
3		KE 3	193748.63	
4	Meranti Merah	ME 1	102480.9937	104559.4957
5		ME 2	107316.0551	
6		ME 3	103881.4382	

Modulus elastis berguna untuk perhitungan kapasitas tampang dan lendutan balok glulam. Besarnya modulus elastis kayu meranti merah diambil dari rata-rata tiga benda uji, hasil yang diperoleh yakni sebesar 104559,4957 kg/cm² dan dari tiga benda uji kayu keruing diperoleh rata-rata modulus elastis sebesar 197029,8227 kg/cm² (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7).

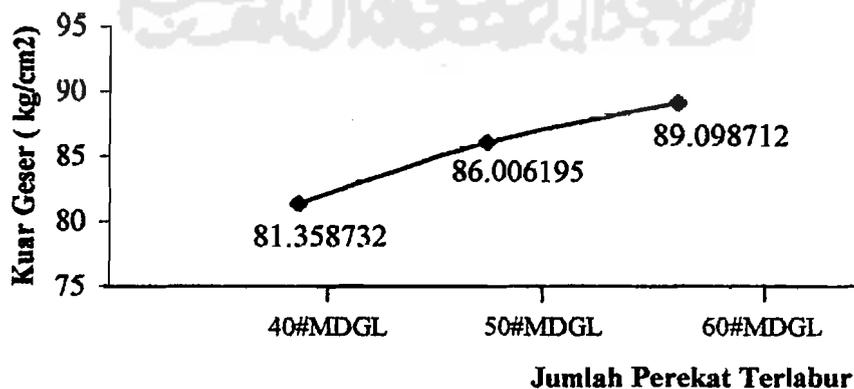
4.1.5 Kuat geser blok geser laminasi

Kuat geser atau keteguhan rekat blok geser laminasi rata-rata kayu meranti merah dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hubungan kuat geser rata-rata dan jumlah perekat terlabur kayu meranti merah

Kuat geser blok geser laminasi kayu meranti merah diperoleh sebesar 45,732267 kg/cm² untuk jumlah perekat terlabur 40#MDGL, kuat geser naik menjadi 48,183802 kg/cm², untuk jumlah perekat terlabur sebesar 50#MDGL dan untuk jumlah perekat terlabur 60#MDGL juga naik, yakni sebesar 52,12179. Kuat geser blok geser laminasi untuk kayu keruing juga diperoleh kuat geser yang cenderung semakin meningkat sebesar 81.358732 kg/cm², 86.006195 kg/cm² dan 89.098712 kg/cm² untuk masing-masing jumlah perekat terlabur 40#MDGL, 50#MDGL dan 60#MDGL, seperti terlihat pada Gambar 4.5 (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7).



Gambar 4.5 Hubungan kuat geser dan jumlah perekat terlabur kayu keruing

Untuk menentukan jumlah perekat terlabur yang optimum dapat ditentukan dengan memperhatikan persentase kerusakan kayu, persentase kerusakan kayu sebesar 100 persen menunjukkan bahwa seluruh bidang geser akan rusak pada kayu, bukan pada bidang rekatan. Dengan kata lain, kuat geser blok geser laminasi yang diperoleh adalah merupakan kuat geser kayu solid, sehingga kekuatan geser kayu dapat didasarkan dengan anggapan bahwa kekuatan blok geser laminasi sama dengan kekuatan geser pada kayu solid.

Dari beberapa pengujian blok geser laminasi diperoleh persentase kerusakan kayu meranti merah dan kayu keruing seperti terlihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Persentase kerusakan kayu meranti merah dan keruing

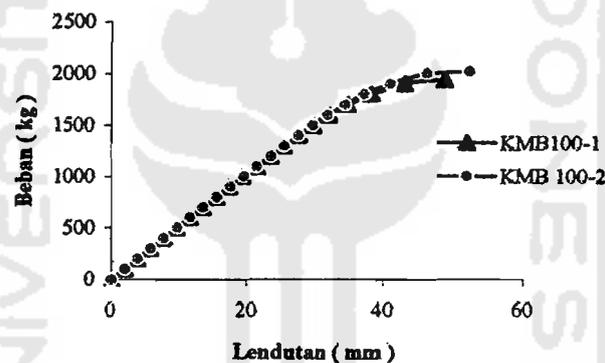
No	Jumlah Perekat Terlabur	Kayu Meranti Merah				Kayu Keruing			
		Kuat Geser (kg/cm ²)	Rata-rata Ruat Geser (kg/cm ²)	Kerusakan Kayu (%)	Rata-rata Kerusakan (%)	Kuat Geser (kg/cm ²)	Rata-rata Kuat Geser (kg/cm ²)	Kerusakan Kayu (%)	Rata-rata Kerusakan (%)
1		43.33185		90		80.94157		100	
2	40#MDGL	47.69964	45.73227	95	95	80.55216	81.35873	90	95
3		46.16531		100		82.58246		95	
4		48.94949		95		79.80523		95	
5	50#MDGL	50.77478	48.1838	95	96.666667	90.41928	86.00619	100	98.333333
6		44.82714		100		87.79407		100	
7		50.12866		100		92.31036		100	
8	60#MDGL	52.38815	52.12179	100	100	86.66273	89.08971	100	100
9		53.84856		100		88.29605		100	

Persentase kerusakan kayu meranti merah untuk jumlah perekat terlabur 40#MDGL, 50#MDGL dan 60#MDGL masing-masing diperoleh rata-rata 95 persen, 96,666667 persen dan 100 persen, sedangkan persentase kerusakan kayu keruing sebesar 95 persen, 98,333333 persen dan 100 persen masing-masing untuk jumlah perekat terlabur 40#MDGL, 50#MDGL dan 60#MDGL (data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 7).

Pelaksanaan pelaburan balok glulam digunakan jumlah perekat terlabur sebanyak 60/MDGL baik untuk lapisan bidang rekat kayu keruing maupun untuk lapisan bidang rekat kayu meranti merah.

4.2 Kekuatan Balok Glulam

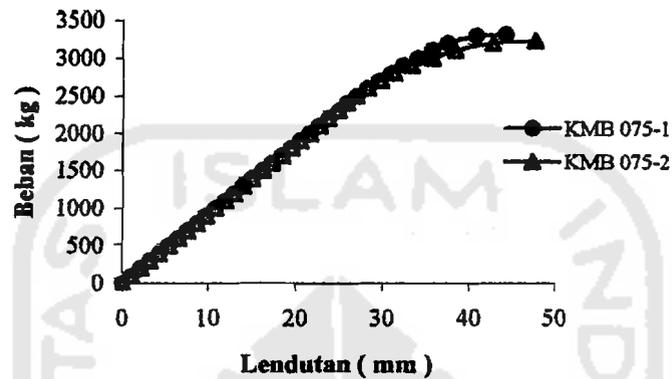
Hasil pengujian balok glulam untuk rasio kayu meranti merah terhadap balok glulam sebesar 100 persen atau KMB100-1 dan KMB100-2 diperlihatkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva hubungan beban – lendutan balok KMB 100

Beban maksimum balok KMB100-1 diperoleh sebesar 1940 kg, untuk balok KMB100-2 diperoleh beban maksimum sebesar 2020 kg, dari kedua benda uji balok tersebut memperlihatkan garis kemiringan kurva hubungan antara beban dan lendutan yang hampir sama. Kedua grafik hubungan antara beban dan lendutan yang diperoleh berupa garis yang lurus mulai dari awal pembebanan sampai sesaat mencapai beban puncak. Batas proporsional tidak teramati dan tidak memperlihatkan batas peralihan yang nyata antara batas elastis dan batas plastis bahan.

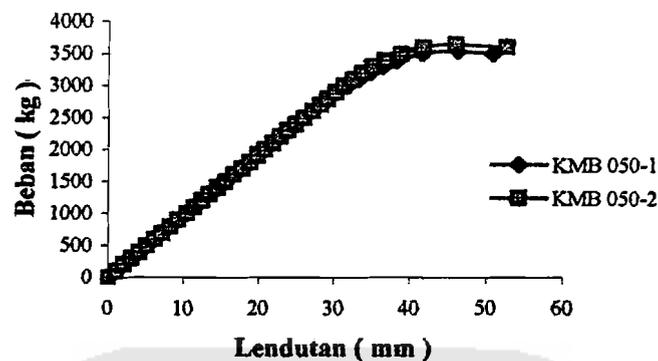
Hasil pengujian balok glulam untuk kandungan kayu meranti merah terhadap balok glulam sebesar 75 persen atau KMB 075-1 dan KMB 075-2 diperlihatkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Kurva hubungan beban – lendutan balok KMB 075

Beban maksimum balok KMB 075-1 diperoleh sebesar 3320 kg, untuk balok KMB075-2 diperoleh sebesar 3230 kg, dari kedua benda uji balok tersebut memperlihatkan garis kemiringan kurva hubungan antara beban dan lendutan yang hampir sama. Kedua kurva hubungan antara beban dan lendutan yang diperoleh berupa garis yang lurus mulai dari awal pembebanan sampai sesaat mencapai beban puncak. Batas proposional tidak teramati dan tidak memperlihatkan batas peralihan yang nyata antara batas elastis dan batas plastis bahan. Kurva hubungan antara beban dan lendutan balok glulam terlihat lebih berperilaku daktail, hal tersebut terlihat pada kemampuan struktur untuk mempertahankan regangan yang cukup besar pada kondisi bahan inelastis sampai terjadi keruntuhan struktur.

Hasil pengujian balok glulam untuk kandungan kayu meranti merah terhadap balok glulam sebesar 50 persen atau KMB 050-1 dan KMB 050-2 diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 4.8.

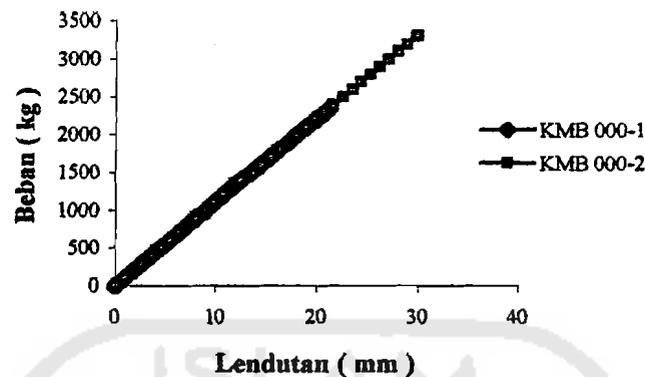


Gambar 4.8 Kurva hubungan beban – lendutan balok KMB 050

Beban maksimum balok KMB 050-1 diperoleh sebesar 3540 kg, untuk balok KMB 050-2 diperoleh beban maksimum mencapai 3640 kg. Kedua benda uji juga memperlihatkan kemiringan kurva hubungan antara beban dan lendutan yang hampir sama. Bila dibandingkan dengan balok KMB 075 terlihat bahwa peningkatan beban balok KMB 050 tidak signifikan, namun hal yang nyata terlihat bahwa terjadi lendutan yang cukup besar sebelum bahan mengalami keruntuhan.

Kedua kurva hubungan antara beban dan lendutan yang diperoleh berupa garis yang lurus mulai dari awal pembebanan sampai sesaat mencapai beban puncak. Batas proporsional juga tidak teramati dan tidak memperlihatkan batas peralihan yang nyata antara batas elastis dan batas plastis bahan. Kurva hubungan antara beban dan lendutan balok glulam terlihat daktilitas meningkat dibandingkan balok KMB 075 dan balok KMB 100.

Hasil pengujian balok glulam tanpa kayu pengisi atau KMB 000-1 dan KMB 000-2 diperoleh hasil seperti terlihat pada Gambar 4.9. Beban maksimum yang diperoleh untuk balok KMB 000-1 adalah sebesar 2330 kg, untuk balok KMB 000-2 diperoleh beban maksimum sebesar 3320 kg.



Gambar 4.9 Kurva hubungan beban – lendutan balok KMB 000

Kurva hubungan antara beban dan lendutan relatif lurus dan tidak memperlihatkan sifat daktail karena pola keruntuhan geser lebih dominan sebelum tercapai batas kuat lentur yang diharapkan.

Rendahnya kekuatan yang diperoleh untuk balok KMB 000-1 dan KMB 000-2 diduga karena lemahnya sambungan antar lapisan perekatan akibat terlalu lama proses perekatan sehingga menyebabkan terjadi penggumpalan pada papan sebelum proses penekanan balok selesai. Kegagalan yang terjadi pada balok KMB 000-1 sudah diperkirakan sebelumnya, pada saat klem-klem penekanan balok dilepas, terjadi bunyi retakan halus pada beberapa tempat, hal tersebut diduga karena telah terjadi internal stress pada beberapa bagian permukaan bidang rekat karena kurang sempurnanya perekatan, namun secara visual tidak terlihat tanda-tanda kegagalan perekatan.. Hal tersebut diduga terjadi karena teknis pelaksanaan perekatan yang pertama kali sehingga terkesan terlalu hati-hati yang menyebabkan proses perekatan sangat lama, sehingga mengakibatkan keteguhan rekat yang dihasilkan untuk lapisan pada balok KMB 000-1 kurang baik.

Rekapitulasi hasil pengujian balok glulam ditampilkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Rekapitulasi beban hasil pengujian balok glulam

No	Kode Balok	Beban		Batas Proporsi thd Beban Puncak (%)	Batas Proporsi thd Beban Puncak Rata-rata (%)
		Batas Proporsi (kg)	Puncak (kg)		
1	KMB 100-1	1521	1940	78.40206186	
2	KMB 100-2	1570	2020	77.72277228	78.06241707
3	KMB 075-1	2720	3320	81.92771084	
4	KMB 075-2	2630	3230	81.42414861	81.67592973
5	KMB 050-1	3060	3540	86.44067797	
6	KMB 050-2	3110	3640	85.43956044	85.9401192
7	KMB 000-1	-	2330	-	-
8	KMB 000-2	-	3320	-	-

Dari Tabel 4.8 diperoleh bahwa batas elastis bahan semua balok uji (kecuali kasus balok KMB 000) memperlihatkan batas elastis berada di atas 70 persen. Balok KMB100 diperoleh batas elastis bahan terhadap beban maksimum rata-rata sebesar 78.06241707 %. Untuk balok KMB 075 diperoleh rata-rata sebesar 81,67592973 %, sedangkan untuk balok KMB 050 diperoleh rata-rata sebesar 85.9401192 %. Dapat disimpulkan bahwa batas elastik bahan untuk balok glulam kayu meranti merah lebih tinggi dari batas elastis balok kayu pada umumnya yakni sekitar 75 %, sedangkan untuk balok glulam yang dikombinasikan dengan kayu keruing untuk memperkuat tegangan lentur balok diperoleh batas elastis meningkat, melebihi rata-rata batas proporsional pengujian lentur balok kayu pada umumnya.

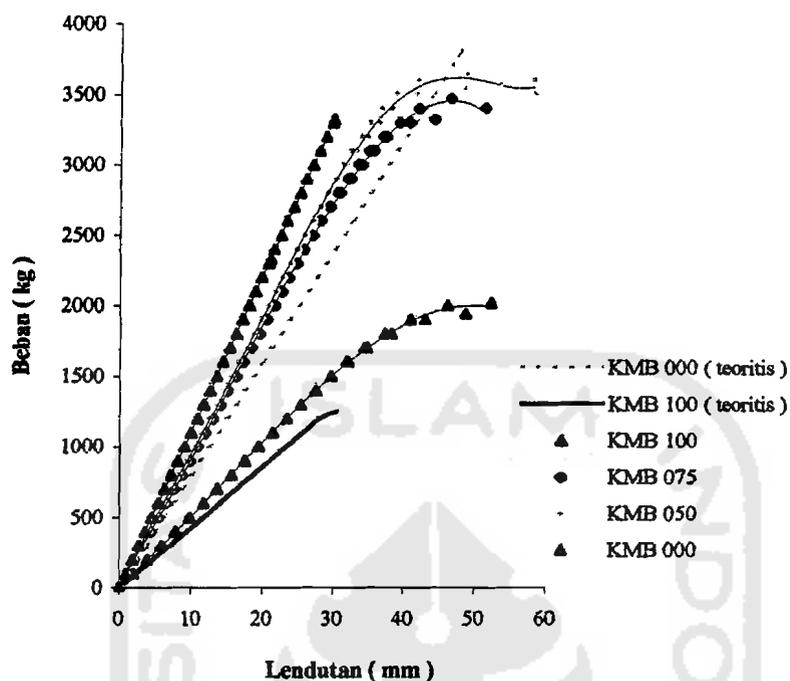
Persentase peningkatan beban balok-balok glulam bila dibandingkan terhadap balok glulam kayu meranti merah (KMB 100) ditampilkan pada Tabel 4.9

Tabel 4.9 Persentase peningkatan beban

No	Kode Balok	Beban Hasil Pengujian Balok Glulam			Teoritis	
		Puncak (kg)	Puncak Rata-rata (kg)	Peningkatan (%)	Puncak Rata-rata (kg)	Peningkatan (%)
1	KMB 100-1	1940				
2	KMB 100-2	2020	1980	0	1249.739	0
3	KMB 075-1	3320				
4	KMB 075-2	3230	3275	65.4040404	3125.4355	150.087064
5	KMB 050-1	3540				
6	KMB 050-2	3640	3590	81.31313131	3601.1087	188.148868
7	KMB 000-1	2330				
8	KMB 000-2	3320	2825	42.67676768	3816.7576	205.404384

Dari Tabel 4.9 diperoleh bahwa beban puncak rata-rata balok KMB 075 meningkat secara signifikan sampai 65.4040404 persen dibandingkan dengan balok KMB 100. Peningkatan beban rata-rata balok KMB 050 meningkat sebesar 81.3131313 persen terhadap balok KMB 100. Bila dibandingkan dengan rata-rata balok KMB 075, terlihat bahwa pada balok KMB 050 terjadi peningkatan beban rata-rata sebesar 9,61832 persen. Semua balok KMB 000 masih belum mencapai beban lentur maksimum karena tipe kegagalan berupa kegagalan geser akibat terlepasnya lapisan-lapisan bidang rekat pada saat hubungan beban dan lendutan masih berada dalam batas elastik bahan, namun peningkatan beban rata-rata balok KMB 000-1 dan KMB 000-2 terhadap beban rata-rata balok KMB 100 dapat meningkat sebesar 42,676768 persen terhadap beban rata-rata balok KMB 100. Perhitungan secara teoritis dapat dilihat pada lampiran 11.

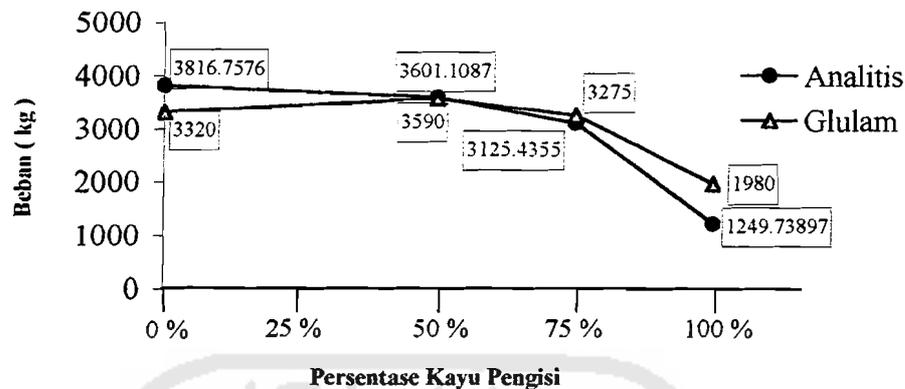
Perbandingan kekuatan rata-rata masing-masing variasi balok glulam ditampilkan dalam gambar hubungan antara beban dan lendutan seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Perbandingan kekuatan balok glulam

Terlihat bahwa kekuatan balok KMB 075, KMB 050 dan KMB 000 meningkat secara signifikan dibandingkan dengan balok glulam kayu meranti merah (KMB 100). Disamping itu, lendutan balok KMB 100 dan KMB 000 terlihat lebih kecil dibandingkan dengan lendutan yang diperoleh dari hitungan secara teoritis.

Untuk memperoleh gambaran kekuatan balok glulam, maka dilakukan perhitungan analisis penampang menggunakan perhitungan kekuatan batas menurut standar LRFD (lampiran 11). Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Perbandingan hasil analisis dengan hasil pengujian balok glulam

Dari Gambar 4.11 terlihat hanya balok KMB 100 dan KMB 075 diperoleh beban aktual rata-rata lebih tinggi dari hitungan analisis lentur. Peningkatan beban rata-rata untuk balok KMB 100 dan KMB 075 dibanding hitungan analitis rata-rata sebesar 4,7854 persen dan 58,433 persen. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 9.

4.3 Kekakuan Balok Glulam

Besarnya peningkatan kekakuan balok glulam seperti terlihat pada Tabel 4.10. Peningkatan rata-rata balok KMB 075 bila dibandingkan terhadap kekakuan rata-rata balok KMB 100 diperoleh dua kali lebih besar atau sebesar 81,4684694 persen, sedangkan peningkatan kekakuan untuk balok KMB 050 diperoleh rata-rata sebesar 87,8110174 persen, kekakuan rata-rata untuk balok KMB 000 dapat mencapai 120,425737 persen lebih tinggi dibanding rata-rata kekakuan balok KMB 100. Meningkatnya kekakuan yang diperoleh menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi menjadi lebih kecil pada kondisi pembebanan yang sama yang diterima balok

Tabel 4.10 Peningkatan kekakuan balok glulam

No	Kode Balok	Beban Batas Proporsi (kg)	Lendutan Batas Proporsi (mm)	Kekakuan (kg/mm)	Kekakuan Rata-rata (kg/mm)	Peningkatan Kekakuan Rata-rata (%)
1	KMB 100-1	1521	30.13	50.4812479		
2	KMB 100-2	1570	31.15	50.4012841	50.441266	0
3	KMB 075-1	2720	29.78	91.3364674		
4	KMB 075-2	2630	28.67	91.7335194	91.5349934	81.4684694
5	KMB 050-1	3060	32.59	93.8938325		
6	KMB 050-2	3110	32.54	95.5746773	94.7342549	87.8110174
7	KMB 000-1	2330	21.08	110.531309		
8	KMB 000-2	3320	29.86	111.185532	110.858421	120.425737

Hasil perhitungan dengan pendekatan metode numerik menggunakan metode beda hingga (*finite difference*) dapat diperoleh besarnya nilai ketegaran lentur (*flexure rigidity*) balok glulam, yakni besarnya nilai EI. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Faktor kekakuan balok glulam

No	Kode Balok	Momen (kg cm)	Kelengkungan (1/mm) x 10 ⁶	Faktor Kekakuan (EI) (kg cm ²)	Faktor Kekakuan Rata-rata (kg cm ²)	Peningkatan EI Rata-rata (%)
1	KMB 100-1	6500	4.85270239	133945984.64		
2	KMB 100-2	6500	4.85270239	132652252.18	133299118.41	0
3	KMB 075-1	6500	3.53851572	183692839.61		
4	KMB 075-2	6500	3.49457728	186002468.49	184847654.05	38.67132525
5	KMB 050-1	6500	3.11100556	208935660.32		
6	KMB 050-2	6500	3.08057471	210999589.86	209967625.09	57.51613934
7	KMB 000-1	6500	1.99987950	325019582.43		
8	KMB 000-2	6500	1.99988950	325017957.24	325018769.84	143.8260366

Dari Tabel 4.11 terlihat bahwa balok KMB 075 rata-rata meningkat faktor kekakuannya sebesar 38,67132525 persen terhadap rata-rata balok KMB 100, sedangkan rata-rata balok KMB 050 faktor kekakuannya meningkat sebesar 57,51613934 persen selanjutnya untuk balok KMB 000 terlihat terjadi peningkatan

sebesar 143,8260366 persen dibandingkan dengan balok KMB 100. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 12.

4.4 Jenis Kerusakan Balok Glulam

Menurut Somayaji (1995) pada umumnya kegagalan struktur balok kayu ditandai dengan adanya pengerutan (*wrinkling*) atau pecah (*crushing*) pada serat di daerah desak, dilanjutkan dengan kegagalan akhir yang ditandai oleh sobekan atau belahan (*splitting*) disertai letupan seketika (*snapping*). Kayu yang masih basah pada umumnya memperlihatkan kegagalan desak (dengan atau tanpa kegagalan tarik), sedangkan kayu kering pada umumnya gagal secara tiba-tiba disertai dengan suara yang keras. Kayu kering adalah kayu dengan kadar air 16 persen atau kurang (Breyer, 1988; Blass dkk., 1995).

Jenis kerusakan balok KMB 100 merupakan rusak lentur, kegagalan yang terlihat dapat dikategorikan sebagai jenis kegagalan *simple tension* (ASTM-04.10-1994) dimana pada awalnya terjadi rusak pada daerah desak, disusul suara letupan yang keras, kerusakan selanjutnya disusul terjadinya pecah menyebar ke arah horizontal di sekitar garis netral penampang (gambar kerusakan balok glulam dilihat pada lampiran 13).

Kerusakan balok KMB 075-1 dan KMB 075-2 ditandai dengan pecahnya lapisan pada sisi tarik ekstrim (kayu keruing) secara menyilang arah serat, disusul kemudian retak-retak geser menyebar secara vertikal dan horisontal. Hal tersebut mengindikasikan bahwa walaupun ada kerusakan horizontal tapi kerusakan lebih

didominasi oleh rusak lentur dan beban maksimum yang diperoleh KMB 075-1 dan KMB 075-2 sudah melebihi beban yang diperkirakan secara analitis.

Kerusakan balok KMB 050-1 lebih didominasi kerusakan geser dimana lapisan kayu meranti merah terlihat retak menyebar secara horizontal sebelum kayu keruing mengalami rusak tarik. Lapisan bidang rekat kayu meranti merah pada sisi bawah terlepas atau terjadi slip dimana keteguhan rekat lapisan terlampaui. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tegangan geser yang terjadi pada lapisan tersebut meningkat disebabkan turunnya posisi garis netral tampang cukup besar akibat kehilangan tegangan internal serat kayu daerah desak. Balok KMB 050-2 terlihat gagal secara menyilang arah serat pada sisi tarik ekstrim penampang. Bentuk kegagalan tersebut ternyata memberikan tambahan daktilitas dibandingkan jenis kegagalan pada balok KMB 050-1, walaupun terjadi geser horizontal pada daerah tekan.

Balok KMB 000-1 dan KMB 000-2 mengalami jenis kegagalan geser dimana lapisan-lapisan bidang rekat terlepas satu sama lainnya. Jenis kegagalan balok terlihat telah terjadi kerusakan daerah tumpuan secara horizontal menuju pertengahan penampang. Kerusakan geser terjadi pada lapisan ke tiga dari bawah. Hal tersebut diperkirakan bahwa pembebanan telah berada pada tahapan inelastis pada sisi tekan sehingga distribusi gaya geser yang paling ekstrim menjadi turun seiring turunnya posisi garis netral penampang.