

PERILAKU LENTUR BALOK GLULAM DENGAN VARIASI GAYA KEMPA

Kusnindar A.C *

Abstract

Flexure behaviour of the glulam beam with different pressing force could be known by the static bending test. In this case six variations of pressing force was applied, each 0,6, 1,2, 3, 6, 9 dan 12 Mpa. The eksperiment result showed that properties of kamper is $\rho = 0,599 \text{ g/cm}^3$, $\tau_{\text{II/rekatan}} = 1,094 \tau_{\text{II}}$, MOR = 89,989 MPa, dan MOE = 12395 MPa. In the glulam beam aplicated, pressing force intencity $0,3 \tau_{\text{II}}$ was recomended. The internal moment and curvature increas as well as the pressing force increas.

Keywords: Flexure behaviour, glulam beam, pressing force

Abstrak

Untuk mengetahui pengaruh intensitas pengempaan terhadap perilaku lentur balok glulam, maka perlu dilakukan pengujian lentur dengan variasi gaya kempa. Dalam hal ini variasi yang diterapkan adalah 0,6, 1,2, 3, 6, 9 dan 12 Mpa, dengan dimensi balok 5,5/11,5 dan bentang 180 cm. Hasil pengujian menunjukkan $\rho = 0,599 \text{ g/cm}^3$, $\tau_{\text{II/rekatan}} = 1,094 \tau_{\text{II}}$, MOR = 89,989 MPa, dan MOE = 12395 MPa. Dengan spesifikasi demikian, maka variasi pengempaan untuk aplikasi balok glulam cenderung menunjukkan fluktiasi besaran mekanik menurut kenaikan intensitas gaya kempa. Titik optimum dicapai pada pengempaan $0,3 \tau_{\text{II}}$ untuk optimalisasi kapasitas lentur dan $> 0,3 \tau_{\text{II}}$ untuk optimalisasi kekakuan. Makin tinggi intensitas pengempaan maka momen internal dan kelengkungan yang tercapai juga cenderung semakin tinggi.

Kata kunci: Perilaku lentur, balok glulam, pengempaan

1. Pendahuluan

Balok glulam merupakan gabungan lembaran kayu gergajian yang direkatkan sedemikian rupa sehingga arah serat kayu sejajar yang memiliki keuntungan berupa fleksibelitas dimensi dan geometri bahan. Sebagai syarat utama keberhasilan optimalisasi balok laminasi, maka peningkatkan daya rekat dengan teknik pengempaan perlu dilakukan secara maksimal. Oleh karena itu sangat diperlukan penentuan intensitas pengempaan yang paling efektif dan efisien. Dalam hal ini perlu dielucidasi hubungan antara intensitas pengempaan terhadap perilaku lentur balok. Penelitian ini dilatarbelakangi beberapa hasil penelitian terdahulu yang sebagian besar mengkaji variasi jenis kayu terhadap performa balok. Secara spesifik penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanika dan fisika kayu kamper dan perubahan perilaku lentur balok akibat pemberian variasi gaya pengempaan.

Moody, dkk (1993) meneliti performance balok glulam dengan menggunakan kayu yellow poplar. Blass dkk, (1995) meneliti perkuatan balok glulam dengan menggunakan FRP. Selain itu terdapat juga penelitian yang menyelidiki pengaruh zat ekstraktif yang terkandung dalam kayu terhadap kekuatan perekatan pada kayu laminasi seperti Moredo, dkk (1993) meneliti efek dari zat etraktif pada perekatan pada kayu. Abe, (1993) meneliti pengaruh zat ekstraktif kayu tropis terhadap sifat perekatan. Terdapat peneliti yang menyelidiki pengaruh efek laminasi pada balok glulam laminasi seperti dilakukan oleh Falk dan Colling (1995) serta Serrano dan Larsen (1999) yang menyelidiki hal sama akan tetapi menggunakan cara numerical. Dari beberapa penelitian itu, maka diperlukan suatu pengkajian terhadap pengaruh variasi intensitas pengempaan terhadap performa balok laminasi. Dalam hal ini perilaku lentur balok laminasi dapat dipastikan banyak

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

dipengaruhi oleh perekatan yang terjadi antar lamina, sementara keberhasilan perekatan sangat ditentukan oleh penerapan gaya kempa yang paling tepat. Pengertian gaya kempa yang tepat adalah bahwa gaya kempa tersebut mampu menghasilkan garis perekatan yang pejal, rata dan setipis mungkin. Tujuan Penelitian ini adalah mengkaji variasi intensitas pengempaan terhadap performa balok laminasi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kayu Kamper dan Proses Laminasi

Kayu kamper (*Dryopbalanops spp*) termasuk kelas kuat II – III dan kelas awet II – III dengan berat jenis 0,62 - 0,91 tergantung spesiesnya (PKKI NI-5 1961). Secara visual terlihat arah serat kayu terpadu dengan bau kamper yang tajam. (Martawijaya dan Kartasurjana, 1977) menggolongkan kayu kamper menurut warna. Merah, merah coklat atau merah kelabu untuk *D. aromatica*. Untuk *D. lanceolata* dan *D. oocarpa* berwarna lebih muda dengan kayu gubal berwarna hampir putih sampai coklat kuning muda. Tekstur agak kasar dan merata, permukaan kayu licin dan mengkilap dengan bau kamper yang sangat mencolok pada *D. aromatica*. Untuk jenis *D. aromatica* memiliki berat jenis 0,69; pH 4,10; dan kadungan ekstraktif 0,98% (Moredo dan Sukono, 1993). Kayu kamper dibagi dalam lima spesies dengan berat jenis dan kelas awet serta kelas kuat yang berbeda seperti pada tabel 1 (Martawijaya dan Kartasurjana ,1977).

Martawijaya dan Kartasurjana, (1977) menyatakan bahwa sebagai salah satu bentuk produk kayu olahan, balok glulam memiliki keunggulan sebagai berikut:

- a. Adanya distribusi cacat kayu dari suatu kayu solid ke bagian lain sehingga diperoleh suatu bahan kontruksi dengan kandungan cacat yang minim
- b. Penyebaran kadar air yang menjadi penyebab utama kerusakan kayu yang berukuran besar, karena terdiri dari lapisan yang relatif mudah dikeringkan
- c. Dapat dibuat dalam berbagai ukuran sesuai dengan kebutuhan, dan dapat menggunakan kayu yang kualitasnya rendah.

Syarat utama balok glulam adalah tebal lapisan antara 25 – 30 mm dengan ketebalan maksimum 50 mm dan kadar air setiap lapisan \leq 15% dengan perbedaan kadar lengas antar lamina \leq 3% (Moody dkk, 1999). Di samping itu perekatan yang optimal menjadi penentu keberhasilan manufaktur. Dalam hal ini perekatan berfungsi untuk meningkatkan stabilitas kayu melalui perbaikan sifat fisika dan mekanika (Prayitno, 1996). Perekatan merupakan kombinasi adhesi dan kohesi molekul, yang dibagi ke dalam dua jenis yaitu perekatan spesifik dan perekatan mekanik. Perekatan spesifik sangat dipengaruhi oleh sistem perekatan dan kompatibilitasnya, sedang perekatan mekanik terjadi akibat terbentuknya akar-akar garis perekatan melalui penetrasi (Prayitno ,1996). Untuk bahan perekat, terdapat empat macam resin yang sering digunakan yaitu Phenol Formaldehida (PF), Resorsinol Formaldehida (RF), Urea Formaldehida (UF) dan Melamin Formaldehida (MF). Menurut PPKI (1961:18) beberapa macam perekat yang dapat dipergunakan untuk konstruksi kayu berlapis majemuk disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Klasifikasi kayu kamper menurut berat jenis

Jenis	Berat Jenis	Kelas Awet	Kelas Kuat
<i>D. Aromatica</i> (kapur singkel)	0,81 (0,63-0,94)	II-III	II-I
<i>D. Fusca</i> (Kapus empedu)	0,84 (0,78-0,90)	II-III	II
<i>D. Lanceolat</i> (Kapur tanduk)	0,74 (0,61-1,01)	III	II - (I)
<i>D. Oocarpa</i> (Kapur sintuk)	0,59 (0,46-0,71)	IV	III-II
<i>D. Rappa</i> (Kapur kayatan)	0,82 (0,76-0,91)	II-III	II

Tabel 2. Jenis perekat untuk konstruksi majemuk

Macam perekat	Bentuk dalam perdagangan	Cocok untuk bangunan
Casein	Bubuk	Yang terlindung
Urea Formaldehyde Resin	Cairan atau bubuk dengan zat pengeras	Yang terlindung dimana warna perlu diutamakan
Resorcinol resin	Cairan dengan zat pengeras	Yang tidak terlindung
Phenolic Resin	Cairan dengan zat pengeras	Yang tidak terlindung

Selanjutnya untuk memperoleh keteguhan rekatanya maka pengempaan perlu dilakukan agar terbentuk garis perekat yang memadai, (rata, pejal dan tipis). Dalam hal ini semakin tebal garis perekat, keteguhan rekatanya yang dihasilkan justru semakin rendah (Chen dan Rice, 1972 dalam Prayitno, 1996). Intensitas gaya pengempaan yang direkomendasikan adalah 100-200 psi dengan tebal garis perekat untuk perekat UF adalah 0,002 in, sedang untuk RF 0,010 in (Selbo, 1975 dalam Prayitno, 1996). Untuk kayu lunak, gaya pengempaan yang disarankan adalah 15 kg/cm^2 (1,5 Mpa) dan untuk kayu keras sebesar 25 kg/cm^2 (2,5 Mpa) (Kollmann, 1975) dengan teknik pengempaan dingin dan panas. Bila gaya kempa terlalu tinggi akan menurunkan kekuatan rekatanya karena terdesaknya melekul-melekul perekat (Prayitno, 1995).

2.2 Desain Balok Laminasi

Banyaknya perekatan (glue spread) dalam proses laminasi harus diperhitungkan sebagai jumlah perekat yang dilaburkan per satuan luas permukaan bidang rata. Terdapat dua metode pelaburan perekat yaitu peleburan dua sisi (MDGL) dan pelaburan satu sisi (MSGL). Jumlah perekat terlabur ditentukan berdasarkan Persamaan 1 (Prayitno, 1996).

Keterangan:

GPU = Gram Pick Up (gr)

S = Perekat yang dilaburkan
(Pound/MSGL atau Pound/MDGL)

A = luas bidang yang direkatkan (in^2)

Gaya geser maksimum dan tegangan lentur maksimum balok dapat dihitung dengan Persamaan 2. dan 3.

Keterangan:

σ = tegangan normal akibat lentur (MPa)

M = Momen lentur (kN-mm)

I = Inersia penampang (mm^4)

y = jarak antara titik yang ditinjau dengan garis netral penampang (mm)

τ = tegangan geser (MPa)

∇ = adalah gaya geser (kN)

Khusus mengenai perilaku lentur balok laminasi digunakan berturut-turut Persamaan 4, 5, 6, dan 7. Dalam hal ini perilaku lentur balok diindikasikan dengan besaran-besaran mekanik berupa tegangan lentur maksimum (MOR), modulus elastisitas (MOE), kekakuan dan kelenakungan.

Keterangan:

MOR = Kekuatan lentur (Mpa)

P = Beban (kN)

= bentang blok (mm)

b = Lebar Balok (mm)

h = Tinggi balok (mm)

δ = Lendutan yang terjadi (mm)

$$\varphi = \frac{M}{EI} \text{ atau } EI = \frac{M}{\varphi} \dots\dots\dots(6)$$

$$\varphi = \frac{I}{r} = \frac{(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1})}{(\Delta_x)^2} \quad \dots\dots(7)$$

Keterangan:

φ = Kelengkungan balok

M = Momen (kN-mm)

EI = Faktor kekakuan

y_i = lendutan pada titik yang ditinjau

Δx = jarak antara titik yang ditinjau terhadap sumbu x

Lendutan maksimum balok laminasi ditentukan dengan Persamaan 8.

Keterangan:

P = beban (kN)

= bentang halok (mm)

a = jarak beban terhadap tumpuan blok (mm)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

\equiv Momen Inersia (mm^4)

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan dan benda uji balok

Bahan utama yang digunakan adalah papan kayu kamper (18 x 180 x 4000 mm) dengan pengkondisian kadar air pada level kering udara (10% -15%) dan perekat jenis thermoset dengan teknik pengempaan dingin. Komponen perekat ini adalah resin berupa urea

formaldehida (UA-104), pengeras (hardener) berupa bubuk NH_4Cl (HU-12) dan pengembang (extender) berupa tepung terigu. Benda uji balok laminasi dibuat dalam tiga ulangan dengan enam variasi gaya pengempaan yaitu 0,6 Mpa; 1,2 Mpa; 3 Mpa; 6 Mpa; 9 Mpa dan 12 Mpa, seperti disajikan dalam Tabel 3.

3.2 Pelaksanaan penelitian

Secara umum tahapan pelaksanaan penelitian dijelaskan pada Gambar 1, 2 dan 3.

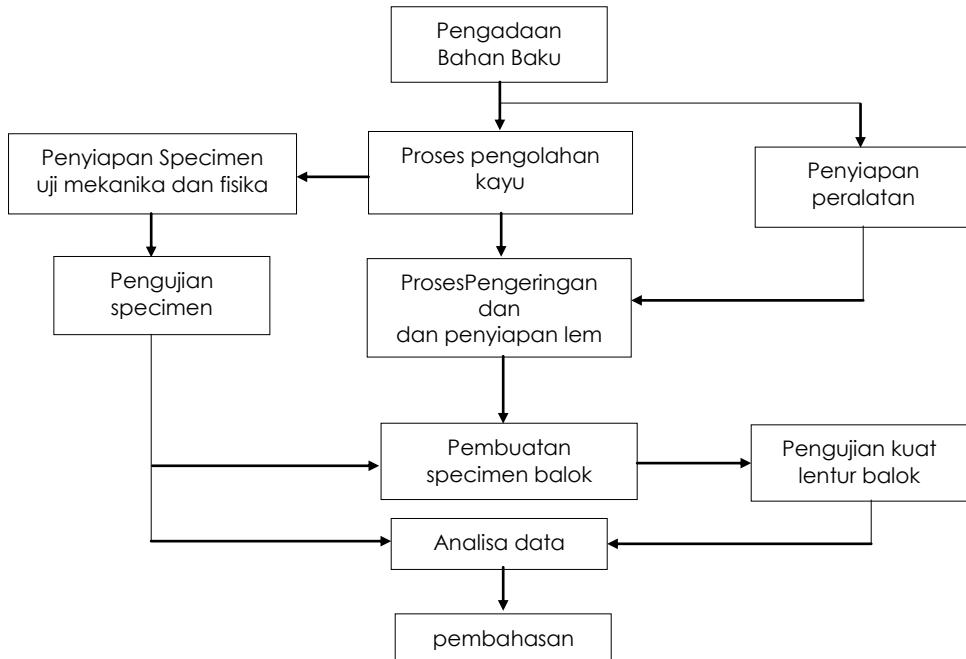
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik mekanik Kayu Kamper

Berdasarkan tabel 4, dapat dinyatakan bahwa sifat mekanik kayu kamper cukup memadai untuk dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi kayu laminasi. Dalam hal ini dengan kerapatan (ρ_{12}) 0,599 g/cm³, maka dimungkinkan untuk meningkatkan kerapatan sampai sebesar 0,8 g/cm³ melalui proses pengempaan. Di samping itu dengan keteguhan rekatkan yang 9,4% lebih besar dari kuat geser horizontal kayu kamper, maka kecil kemungkinan terjadinya gagal pada garis perekat (glue line).

Tabel 3. Variasi benda uji balok laminasi

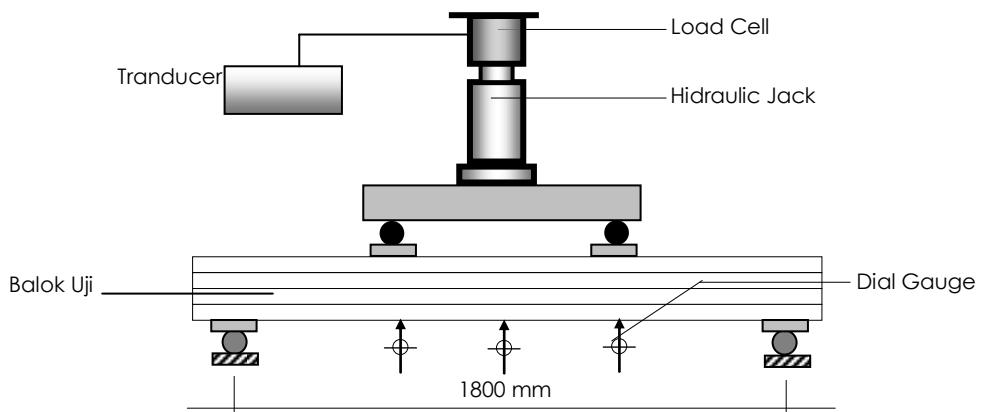
No	Kode pengujian	Ukuran benda uji (cm)			Gaya pengempaan
		bentang	Lebar	tinggi	
1	720 – 1.A	180	5,5	11,5	0,6 Mpa
2	720 – 1.B	180	5,5	11,5	0,6 Mpa
3	720 – 1.C	180	5,5	11,5	0,6 Mpa
4	1440 – 1.A	180	5,5	11,5	1,2 Mpa
5	1440 – 1.B	180	5,5	11,5	1,2 Mpa
6	1440 – 1.C	180	5,5	11,5	1,2 Mpa
7	3600 – 1.A	180	5,5	11,5	3 Mpa
8	3600 – 1.B	180	5,5	11,5	3 Mpa
9	3600 – 1.C	180	5,5	11,5	3 Mpa
10	7200 – 1.A	180	5,5	11,5	6 Mpa
11	7200 – 1.B	180	5,5	11,5	6 Mpa
12	7200 – 1.C	180	5,5	11,5	6 Mpa
13	8100 – 1.A	180	5,5	11,5	9 Mpa
14	8100 – 1.B	180	5,5	11,5	9 Mpa
15	8100 – 1.C	180	5,5	11,5	9 Mpa
16	10800 – 1.A	180	5,5	11,5	12 Mpa
17	10800 – 1.B	180	5,5	11,5	12 Mpa
18	10800 – 1.C	180	5,5	11,5	12 Mpa



Gambar 1. Diagram alur pelaksanaan penelitian



Gambar 2. Sketsa pembuatan balok glulam



Gambar 3. Pengujian kuat lentur balok laminasi

Tabel 4 Sifat mekanik kayu kamper ($w = 12\%$)

Sampel	MOR (MPa)	MOE (MPa)	$\sigma_{t//}$ (MPa)	$\sigma_{k//}$ (MPa)	$\sigma_{k\perp}$ (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	$\tau_{//}$ /rekatan (MPa)
1	84,869	11344	121,538	51,387	5,172	10,891	10,476
2	91,687	11883	114,732	52,625	4,232	10,788	12,779
3	93,411	13959	144,470	50,602	5,404	11,060	12,562
Rata-rata	89,989	12395	126,913	51,538	4,936	10,913	11,939

Tabel 5. Intensitas lentur balok glulam

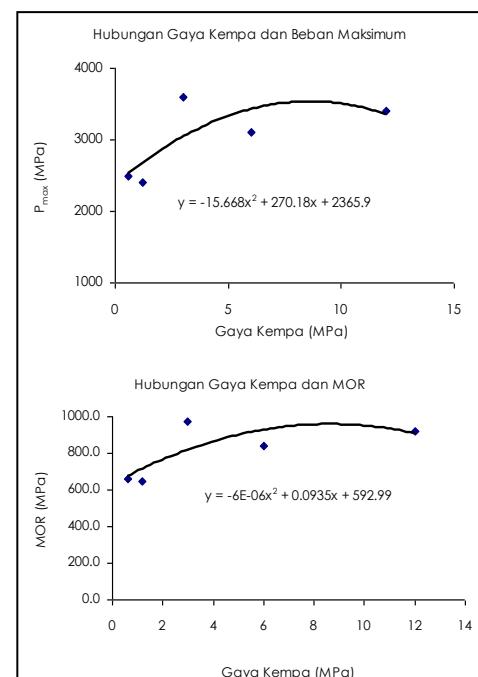
Sampel	Gaya Kempa (MPa)	b (cm)	H (cm)	L (cm)	Lendutan (mm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
720-1	0,6	5.7	10.91	180	28.48	66,33	14729
1440-2	1,2	5.7	10.85	180	31.45	64,38	13018
3600-3	3	5.7	10.82	180	49.50	97,11	12510
8100-5	6	5.7	10.81	180	39.65	83,77	13486
10800-6	12	5.72	10.78	180	37.35	92,07	15778

4.2 Hubungan Pengempaan dan Daya Dukung Balok

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 4 terdapat kecenderungan hubungan intensitas pengempaan dengan daya dukung (MOR dan P_{max}) berbentuk parabola, dengan titik optimum pada pengempaan 3 MPa. Pada titik ini diperoleh nilai MOR 7,9% lebih besar dari MOR kayu kamper dan P_{max} sebesar 3531 kg. Tingkat pengempaan ini setara dengan 30% tegangan geser kayu kamper, sehingga dapat dikatakan bahwa efek pengempaan optimum diperoleh pada pengempaan sebesar 0,3 kali tegangan geser kayu. Dalam hal ini dua hal utama yang menjadi efek dari pengempaan yaitu terbentuknya garis perekatan yang baik serta adanya penambahan kerapatan kayu. Dengan demikian antara kerapatan dan daya dukung adalah berbanding lurus.

Hal sebaliknya justru terjadi pada modulus elastisitas (MOE), dimana terjadi nilai minimum pada gaya kempa 3 MPa, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam hal ini yang sangat menentukan adalah rasio P/δ seperti terlihat pada Gambar 7. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kerapatan tidak berarti berbanding lurus dengan peningkatan modulus elastisitas balok dan ada kemungkinan penambahan bahan perekat justru

menambah kekakuan balok laminasi. Meskipun demikian secara umum terjadi peningkatan modulus elastisitas jika dibandingkan dengan balok kayu solid.

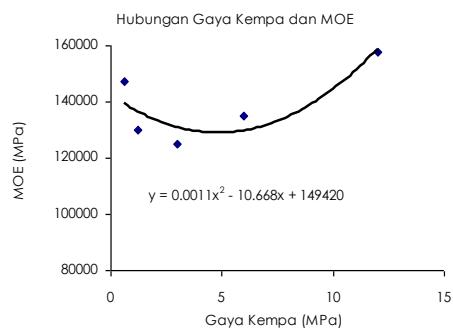


Gambar 4. Hubungan gaya kempa dan kapasitas lentur balok

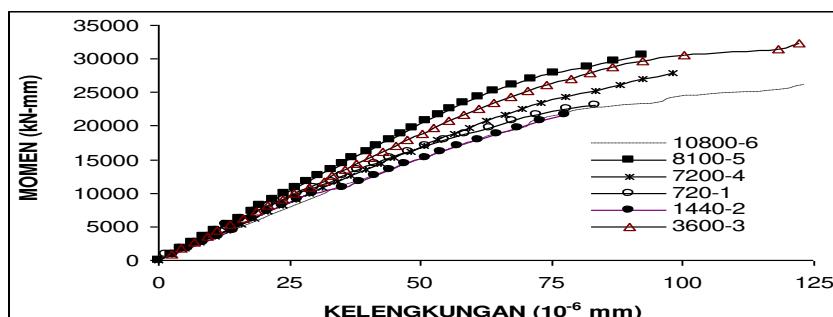
5.3 Kekakuan dan keruntuhan balok

Parameter utama dari kekakuan balok glulam yang dapat dicapai

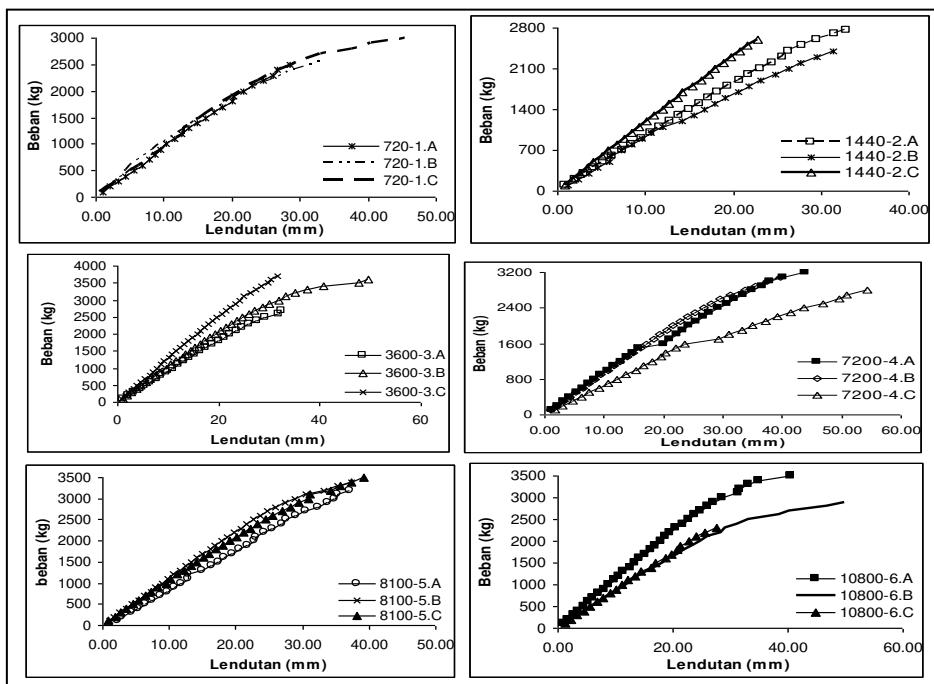
adalah dengan melihat rasio antara momen dan kelengkungan seperti disajikan pada gambar 6, serta kecenderungan bentuk kurva beban lendutan yang disajikan dalam Gambar 7. Sebagai nilai optimum diperoleh pada balok dengan gaya pengempaan 3 MPa, dimana beban yang mampu dipikul adalah sebesar 3531 kg dan momen yang dicapai sekitar 31000 kg.cm. Demikian halnya dengan kelengkungan, dimana pada balok dengan gaya kempa 3 MPa kelengkungan yang tercapai adalah maksimum sebesar $125 \cdot 10^{-6}$ /mm.



Gambar 5. Hubungan gaya kempa Dengan MOE



Gambar 6. Hubungan momen dan kelengkungan balok glulam



Gambar 7. Hubungan beban dengan lendutan balok glulam



Gambar 8. Pola retak dan keruntuhan balok laminasi

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasannya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- Kerapatan kayu kamper pada kondisi kering udara adalah $0,599 \text{ g/cm}^3$, keteguhan rekatan = $1,094 \tau_{\parallel}$, MOR = $89,989 \text{ MPa}$, dan MOE = 12395 MPa . Berdasarkan hal ini maka kayu kamper dapat diklasifikasikan ke dalam kelas kayu E26 dan layak digunakan untuk bahan dasar konstruksi.
- Terjadi perbedaan perilaku lentur balok laminasi menurut intensitas pengempaan yang diberikan, dimana terdapat kecenderungan yang parabolik antara gaya kempa dengan MOR dan P_{max} . Untuk memperoleh kapasitas lentur dan daya dukung yang optimal, maka dibutuhkan pengempaan $0,3 \tau_{\parallel}$. Bila $< 0,3 \tau_{\parallel}$ atau $> 0,3 \tau_{\parallel}$, maka akan terjadi cacat perekatan.

Bila desain balok ditujukan untuk optimalisasi MOE, maka diperlukan pengempaan sebesar $< 0,3 \tau_{\parallel}$ atau $> 0,3 \tau_{\parallel}$.

6. Daftar Pustaka

Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Gorlacher, D.R., Griffiths., dan G. Steck. 1995. *Timber Engineering Step I*. Centrum Hout, The Nederland.

Kollmann, F.F.P., dan W.A. Cote. 1968. *Principles of Wood Science and Technology* Vol. I. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.

Martawijaya, A., dan I. Kartasujana. 1977. *Ciri Umum Sifat dan*

Kegunaan Jenis-jenis Kayu Indonesia. Badan Pengembangan dan Penelitian Pertanian. Lembaga Penelitian Hasil Hutan No,41, Bogor.

Moody, R.C., R. Hernandez., dan J.Y. Liu. 1999. *Glued Structural Members*. Gen Tech Rep. FPL-GTR-113 Madison. WI : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

Prayitno, T.A. 1996. *Perekatan Kayu*. Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

Sakuna, T., dan C.C. Moredo. 1993. *Bonding of selected Tropical Woods—Effects of Extractives and Related Properties*. Symposium-USDA Forest Service, and Taiwan Forestry Research Institute. May 25-28, 1993. Taipei.

Serrano, E., and H.J. Larsen. 1999. *Numerical Investigation Of The Laminating Effect In Laminated Beam*. *Journal of Structural Engineering*. 125 (7) : 740-745.