

## **ANALISIS KEKUATAN SAMBUNGAN KAYU MENGGUNAKAN EPOXY DGEBA PADA GELADAK ATAP KAPAL KAYU TRADISIONAL**

**Rosdiyantoro Syarif S. J.<sup>1)</sup>, dan Imah Luluk K.<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia ITS Kampus Sukolilo, Surabaya

E-mail: imahluluk@ppns.ac.id

### **Abstract**

Wood remains a widely used construction material in the shipbuilding industry. However, the limited availability of high-quality wood has led to a decline in material performance, particularly due to the reliance on younger trees with lower mechanical properties. To address this challenge, proper joining techniques are required, and the quality of such joints must be carefully evaluated. The aim of this study is to analyze the strength of wood joints using DGEBA epoxy on the deck roof of wooden ships. Two connection models were investigated: the wood laminate model and the double sawn model, both bonded with DGEBA epoxy adhesive. The strength of the specimens was evaluated through bending and tensile tests. The results showed that the laminated joints achieved bending and tensile strengths of 41.86 MPa and 10.57 MPa, respectively, while the double sawn joints exhibited values of 54.68 MPa in bending and 1.33 MPa in tension.

**Keywords:** *Wood Material, DGEBA epoxy, Material strength, Wood Joints*

## **PENDAHULUAN**

Pencalang adalah kapal dagang tradisional dari Nusantara. Dalam catatan sejarah, kapal ini dikenal dengan sebutan pantchialang atau pantjalang. Awalnya, pencalang dibuat oleh masyarakat Melayu di daerah Riau dan Semenanjung Melayu, namun kemudian desainnya diadopsi oleh para pembuat kapal dari Jawa (Liebner, 2005).

Kayu sebagai salah satu bahan bangunan memiliki karakteristik yang khas dibandingkan dengan bahan lain seperti baja dan beton. Sebagai material alami, kayu memiliki sifat alami yang tercermin pada karakteristik mekaniknya. Sifat fisik dan mekanik kayu menjadi acuan penting dalam pemilihan jenis material untuk konstruksi bangunan maupun perkapalan (Martawijaya et al., 1981).

Penelitian ini akan berfokus pada desain sambungan balok geladak dan kekuatan dari model sambungan balok geladak akibat adanya penambahan fondasi tiang layar. Jika diperkenalkan kembali sebagai sambungan struktural, sambungan kayu dapat memainkan peran penting dalam mengurangi karbon yang terkandung dalam struktur (Demi, 2017).

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan dua cara untuk sambungan balok geladak. Dalam Fyson (2018) *Double sawn* atau angka kembar ini dibuat dengan cara tradisional yang telah teruji waktu dan rangka terbuat dari beberapa potong kayu, yang dikenal sebagai futtocks atau pengait kaki. *Laminated*, Dalam BKI peraturan kapal kayu (2023) ukuran balok geladak dari kayu berlapis boleh dikurangi 15% dari ukuran balok geladak yang diperoleh. Ukuran balok geladak ini adalah 1,15 kali lebih besar dari pada yang diperoleh. Apabila balok geladak tersebut tidak ditumpu maka modulus penampangnya harus lebih besar 2,3 kali dari ukuran yang diperoleh.

Dalam penelitian ini jenis lem yang digunakan adalah lem epoxy DGEBA yang telah melalui penelitian analisis kekuatan perekat terhadap lambung kapal. Dimana pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa pengaruh zat pengeras amide terhadap kekuatan rekat epoxy DGEBA pada kayu jati memiliki kekuatan rekat tertinggi pada Epoxy-Amine dengan lapisan cat 4,76 MPa dan kekuatan tarik 3,63MPa. Epoxy resin umumnya diproduksi dengan mereaksikan epiklorohidrin dengan bisfenol A dalam bentuk cairan kental dalam keadaan termoset. Resin yang berbeda dibentuk dengan memvariasikan proporsi epiklorohidrin dan bisfenol A. Resin yang dibuat dengan cara ini terdiri dari campuran berbagai berat molekul (Imah Luluk K., et al).

Dalam Luluk (2022) berikut ini adalah beberapa karakteristik epoxy :

1. Kekuatan ikatannya sangat baik dan dapat mengikat hampir semua bahan.
2. Memiliki sifat fisik dan kimia yang baik bersama dengan variasi curing, extender, solvent dan filler yang harus diformulasikan dengan baik untuk aplikasi yang berbeda.
3. Termosetting, yaitu bila dicampur akan berubah dari cair menjadi padat dan tidak dapat dicairkan kembali.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut epoxy dibuat dengan mereaksikan dua jenis pengeras yang berbeda, yaitu epoxy direaksikan dengan poli (amino amida) atau (PAA) dan epoxy direaksikan dengan sikloalifatik-amina atau (AC) sebagai pengeras berdasarkan perbandingan berat. Epoxy dicampur dengan perbandingan 2:1% berat pengeras poli (amino amida) dan berat pengeras sikloalifatik-amina.

Parameter penelitian dan pemilihan curing agent memiliki kompatibilitas yang lebih baik dengan resin DGEBA sebagai bahan perekat, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1  
Nilai kekuatan Epoxy-Amine dan Epoxy-Amide

Materials	Adhesive Strength (Mpa)	Min Pull Off Strength	Result
Epoxy-Amine (2:1)	4,3	1 MPa	Accepted
Epoxy-Amide (2:1)	3,9	1 MPa	Accepted
Epoxy-Amine (2:1)+Coating	4,76	1 MPa	Accepted
Epoxy-Amide (2:1)+Coating	4,43	1 MPa	Accepted

Sumber: Luluk (2022)

Kayu memiliki sifat yang dapat menentukan kekuatan dan kualitas kayu. Sifat propertis kayu terbagi dua yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Sifat fisik merupakan sifat kayu yang dapat diamati langsung sedangkan sifat mekanik merupakan sifat kayu yang dapat diketahui dengan melakukan pengujian di laboratorium (Monica,2019). Hanya kayu pembuat kapal yang terbukti yang boleh digunakan untuk semua komponen kayu yang terpapar air dan cuaca. Kayu yang memiliki ketahanan yang baik terhadap air dan cuaca, serangan jamur dan serangan serangga, serta sifat mekanik yang baik sehingga cocok untuk aplikasi tertentu. Selain itu, ia harus memiliki sifat pembengkakan dan penyusutan yang rendah. Untuk komponen yang tidak terkena air atau cuaca, dan tidak membutuhkan kekuatan, kayu dengan daya tahan rendah dapat digunakan (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014). Berikut ini sebagai kekuatan ijin dari sambungan material kayu :

- Apparent density 96 kg/m<sup>3</sup>
- Compressive strength 5.0 MPa
- Bending strength 35 MPa
- Shear strength 1.1 MPa

Dalam ASTM D143 (2008) Uji tekukan statis harus dilakukan pada spesimen metode primer berukuran 2 x 2 x 30 inci (50 x 50 x 760 mm) atau spesimen metode sekunder berukuran 1 x 1 x 16 inci (25 x 25 x 410 mm). Gunakan pembebanan tengah dan jarak span 28 inci (710 mm) untuk metode primer dan 14 inci (360 mm) untuk metode sekunder.

Beban harus diterapkan secara terus-menerus selama pengujian pada laju gerakan crosshead bergerak 0,10 inci (2,5 mm)/menit untuk spesimen metode utama, dan pada laju 0,05 inci (1,3 mm)/ min untuk spesimen metode sekunder. Uji tekan harus dilakukan pada spesimen metode primer berukuran 2 x 2 x 8 inci (50 x 50 x 200 mm), atau metode sekunder 1 x 1 x 4 inci (25 x 25 x 100 mm) pada spesimen metode sekunder. Beban harus diterapkan secara terus menerus selama pengujian pada laju gerakan crosshead yang dapat digerakkan sebesar 0,012 in. (0,305 mm)/menit. Uji tarik harus dilakukan pada spesimen dengan ukuran dan bentuk yang sesuai. Spesimen harus diorientasikan sedemikian rupa sehingga arah cincin tahunan pada penampang kritis pada ujung spesimen, harus tegak lurus terhadap dimensi penampang yang lebih besar. Dimensi penampang aktual pada penampang minimum harus diukur. Beban harus diterapkan secara terus menerus selama pengujian pada laju gerakan crosshead yang dapat digerakkan sebesar 0,10 in. (2,5 mm)/menit.

## METODE PENELITIAN

Penelitian merupakan rangkaian kegiatan ilmiah dalam rangka pemecahan masalah. Fungsi penelitian adalah mencairkan penjelasan dan jawaban masalah serta memberikan alternatif kemungkinan yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah. Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan. Bahan yang digunakan antara lain DGEBA Epoxy, dan sikloalifatik-amino dan kayu jati kelas dua. Alat yang digunakan antara lain perkakas pemotong kayu, timbangan digital, alat pengeleman dan mesin UTM. Penelitian ini menggunakan Uji Tarik (Tensile) dan Uji Tekuk (Bending) dimana pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material, mengacu pada ASTM D143 dan kekuatan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan ijin sambungan kayu menggunakan regulasi BKI *non metallic* materials 2014.

Pada pembuatan spesimen uji mengikuti rasio dimensi yang digunakan pada standar pengujian ASTM D143. Pada uji tekukan menggunakan dimensi spesimen menggunakan metode sekunder berukuran 1 x 1 x 16 in (24 x 24 x 380 mm). Kemudian dimensi spesimen uji tarik dibuat dengan menggunakan dimensi 2 x 2 x 16 in (50 x 50 x 415 mm).

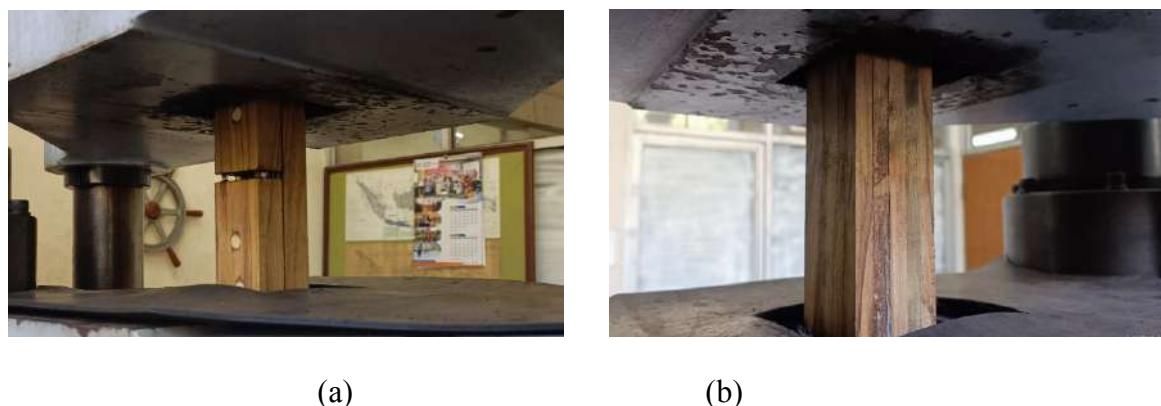


Gambar 2. (a) Spesimen uji tekuk (b) Spesimen uji Tarik

Pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan PPNS menggunakan mesin UTM (*Universal Tensile Machine*). Pada uji tekuk dengan pembebanan tengah dan jarak span 14 in (360 mm) untuk metode sekunder. Pengujian menggunakan laju gerakan *crosshead* bergerak 0,05 in (1,3 mm)/ min. Pada pengujian tarik laju gerakan *crosshead* yang dapat digerakkan sebesar 0,10 in. (2,5 mm)/menit.



Gambar 3. (a) Pengujian tekuk sambungan *double sawn* (b) Pengujian tekuk sambungan laminasi



Gambar 4. (a) Pengujian tarik sambungan *double sawn* (b) Pengujian tarik sambungan laminasi

Besar tegangan pada pengujian bending dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah diketahui jumlah beban yang diterima oleh balok geladak, selanjutnya dilakukan pengujian dengan dua jenis model sambungan. Dari dua jenis sambungan, kemudian masing – masing jenis sambungan di buat spesimen uji untuk dilakukan pengujian terhadap pengujian Tarik dan Bending. Dimana pengujian material dilakukan di Laboratorium Uji Bahan PPNS.

Menurut standar pengujian yang digunakan yakni ASTM D143 jenis kegagalan atau kerusakan pada spesimen pengujian dapat dikategorikan menjadi beberapa tipe. Adapun identifikasi kerusakan dapat diamati secara visual.

Dalam pengujian bending, pengujian diberlakukan dengan menekan area tengah specimen secara vertical dan pada ujung specimen diberikan span. Specimen dianggap gagal atau rusak apabila sudah terdapat retakan, sambungan lem yang terlepas ataupun grafik pada mesin UTM mengalami penurunan yang signifikan. Apabila pada kasus tertentu specimen tidak kunjung rusak, maka pengujian dilanjutkan hingga lendutan mencapai 76 mm atau beban suah mencapai 220 N. Berikut bentuk kerusakan specimen sambungan pada pengujian tekan.



Gambar 5. (a) Kerusakan uji bending sambungan *double sawn* (b) Kerusakan uji bending sambungan laminasi

Pada pengujian tekan diatas dapat dilihat bahwa mayoritas struktur sambungan rusak pada area tengah specimen yang di akibatkan oleh gaya tekan dari mandril. Pada beberapa sambungan laminasi pada layer yang terlepas dari lem akan mengalami patah pada area terluar dari layer tersebut. Sedangkan pada sambungan double sawn terdapat beberapa kerusakan berupa retakan yang dialami pada area sekitar pasak yang melintasi serat dari arah pertumbuhan kayu (*cross grain tension*).

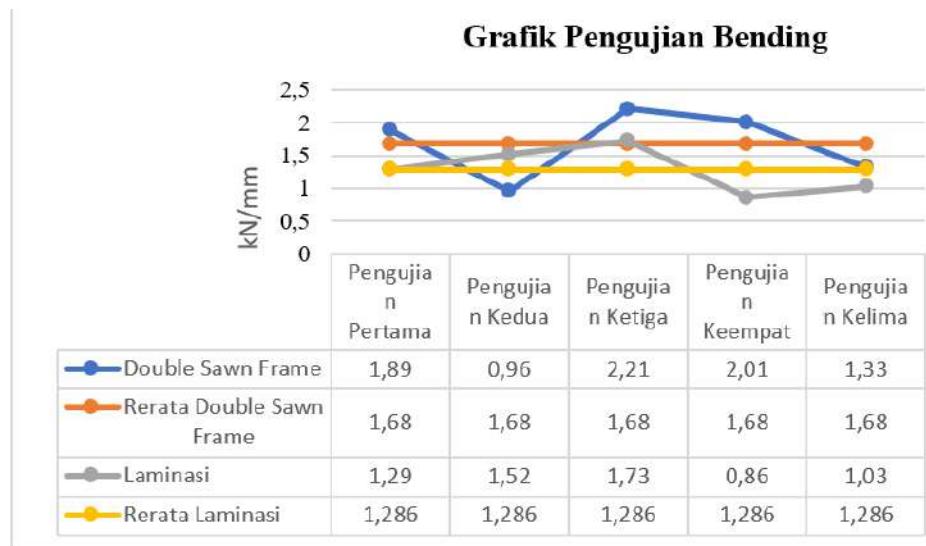
Dalam pengujian tarik, pengujian diberlakukan dengan menjepit pada setiap ujung spesimen. Spesimen dianggap gagal atau rusak apabila sudah terdapat retakan, sambungan lem yang terlepas ataupun grafik pada mesin UTM mengalami penurunan yang signifikan. Berikut bentuk kerusakan specimen sambungan pada pengujian tarik.



Gambar 6. (a) Kerusakan uji tarik sambungan *double sawn* (b) Kerusakan uji tarik sambungan laminasi

Pada pengujian tarik diatas dapat dilihat bahwa mayoritas struktur sambungan rusak diakibatkan sambungan lem yang terlepas dan mengalami pergeseran.

Dalam pengujian setiap spesimen diberi kode guna penandaan pada tiap spesimen. Kemudian setiap data hasil pengujian menunjukkan hasil maksimal *force* yang selanjutnya dihitung rata – rata pada setiap jenis model sambungan. Berikut grafik pada pengujian bending.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Bending

Besar tegangan pada pengujian bending didapatkan hasil :

$$\sigma_{double\ sawn} = 54,68 \text{ MPa} \text{ dan } \sigma_{laminasi} = 41,86 \text{ MPa}$$

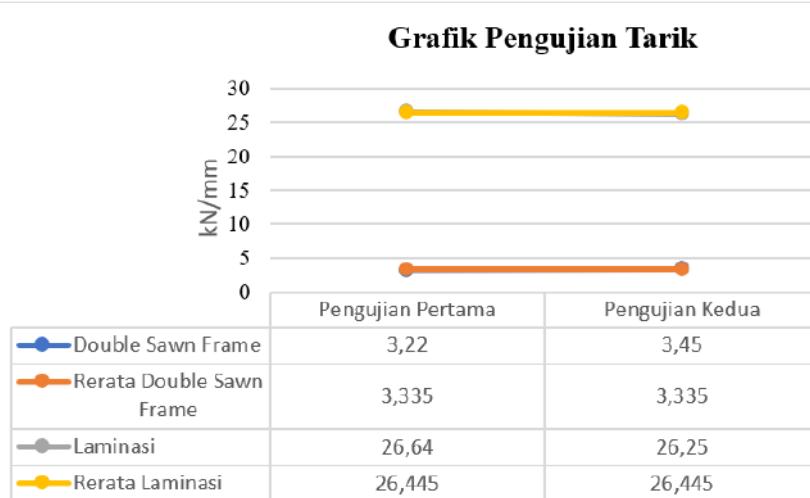
Dalam keberterimaan kekuatan bending, hasil yang digunakan adalah nilai rata – rata dari kekuatan bending pada pengujian. Keberterimaan kakuatan bending pengujian tekan mengacu pada hasil perhitungan tegangan pada balok geladak berdasarkan variasi kecepatan angin. Dimana hasil dari keberterimaan dari pengujian bending dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

- Variabel I : Kecepatan angin tertinggi pada rata – rata setiap bulan
- Variabel II : Kecepatan angin rata – rata setiap bulan
- Variabel III : Kecepatan angin potensial tertinggi
- Variabel IV : Kecepatan angin potensial rata – rata

Tabel 2  
 Tabel keberterimaan hasil pengujian bending

No.	Variabel	Perhitungan	Hasil pengujian		Keterangan
			Laminasi	Double Sawn	
1.	I	1,93 MPa			Memenuhi
2.	II	0,57 MPa			Memenuhi
3.	III	4,6 MPa			Memenuhi
4.	IV	1,59 MPa	41,86 MPa	54,68 MPa	Memenuhi

Berikut ini adalah data hasil pengujian tarik.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian Tarik

Besarnya tegangan pada pengujian tarik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{double\ sawn} = 1,33 \text{ MPa} \text{ dan } \sigma_{laminasi} = 10,57 \text{ MPa}$$

Dalam keberterimaan kekuatan tarik, hasil yang digunakan adalah nilai rata – rata dari kekuatan tekan pada pengujian. Keberterimaan kakuatan tarik pengujian tekan mengacu pada regulasi BKI tentang material *non metalic*. Dimana hasil dari keberterimaan dari pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3  
Tabel keberterimaan hasil pengujian tarik

No.	Jenis sambungan	Hasil pengujian	Kuat ijin	Keterangan
1.	Laminasi	10,57 MPa	1,1 Mpa	Memenuhi
2.	<i>Double Sawn</i>	1,33 MPa	1,1 Mpa	Memenuhi

## SIMPULAN

1. Untuk kekuatan ijin uji tarik, dan uji tekan yang di tetapkan oleh regulasi BKI *non metalic materials* pada kedua jenis model sambungan menggunakan lem *epoxy DGEBA* dapat memenuhi standar kekuatan minimal, dengan hasil 10,57 MPa, dan 30,77 MPa pada sambungan laminasi, dan 1,33 MPa, dan 23,18 MPa pada sambungan *double sawn*.
2. Pada struktur kekuatan tarik sambungan laminasi memiliki kekuatan yang lebih kuat, sedangkan untuk kekuatan tekuk sambungan *double sawn* memiliki kekuatan yang lebih kuat.

## DAFTAR PUSTAKA

ASTM D 143 – 94. (2008). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*.

Biro Klasifikasi Indonesia , 2014. Volume XIV *Rules for Non Metalic Materials*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia .

Biro Klasifikasi Indonesia , 2023. Volume VI Peraturan Kapal Kayu. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.

Demi, L. Fang. 2017. *Timber joinery in modern construction: Mechanical behavior of wood-wood connections*.

Fyson, J. 2018. Quartersawn Wood and Rift-Sawn Wood Explained. [Online] Available at: <https://www.finehomebuilding.com/2018/07/10/quartersawn-wood-rift-sawn-wood-explained> [Accessed 20 Januari 2023]

Liebner, Horst H. (2005), "Perahu-Perahu Tradisional Nusantara: Suatu Tinjauan Perkapalan dan Pelayaran", dalam Edi, Sedyawati, Eksplorasi Sumberdaya Budaya Maritim, Jakarta: Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumber Daya Nonhayati, Badan Riset Kelautan dan Perikanan; Pusat Penelitian Kemasyarakatan dan Budaya, Universitas Indonesia, hlm. 53–124.

Luluk, I.K. 2022. *Analysis Adhesive Strength of Epoxy DGEBA on The Wooden Boat Hull*

Martawijaya, A., Kartasujana, I., kadir, K. dan Prawira, S.A. (1981). *Atlas Kayu Indonesia*; Jilid I. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.

Monica, I.M.G. 2019. Kajian Kuat Tekan Sejajar Serat dan Kuat Geser Kayu Tembusu (Fagraea fragrans) di Pekanbaru Terhadap SNI 7973:2013.