

## PENGUJIAN KUAT LELEH LENTUR DAN KUAT TUMPU PAKU

Kenny Setiasih<sup>1</sup> dan Fengky Satria Yoresta<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Institut Pertanian Bogor

\*E-mail: syfengky@gmail.com

Received: 5 December 2022

Accepted: 21 January 2023

Published : 31 January 2023

### Abstrak

Salah satu parameter yang menentukan dalam perencanaan sambungan kayu adalah kuat leleh lentur dan kuat tumpu alat sambung paku. Penelitian ini bertujuan menentukan nilai kuat leleh lentur (bending yield strength/Fyb) serta kuat tumpu paku beton dan paku kayu. Pengujian kuat leleh lentur paku dilakukan dengan metode *three-point loading* menggunakan *universal testing machine (UTM)*. Sedangkan pengujian kuat tumpu paku dilakukan terhadap dua jenis kayu, yaitu kayu keruing dan kayu meranti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tumpu paku meningkat seiring dengan peningkatan berat jenis kayu dan dipengaruhi oleh diameter dan jenis paku. Semakin besar diameter paku maka semakin menurunkan nilai kekuatan tumpu paku. Kayu keruing memiliki nilai kuat tumpu paku tertinggi (434 kg/cm<sup>2</sup>) dan terendah terdapat pada kayu meranti yaitu 356 kg/cm<sup>2</sup>. Selain itu, berdasarkan nilai Fyb yang diperoleh dapat diketahui bahwa paku yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kuat lentur lebih tinggi dari nilai Fyb yang disyaratkan SNI 7973:2013. Terdapat kecenderungan bahwa semakin besar diameter paku maka nilai Fyb semakin rendah. Nilai Fyb terendah terdapat pada paku kayu dengan diameter 0,42 cm yaitu sebesar 7563 kg/cm<sup>2</sup> dan Fyb tertinggi terdapat pada jenis paku beton putih dengan diameter 0,34 cm yaitu sebesar 14716 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata Kunci:** Paku, Kuat leleh lentur, Kuat tumpu, Sambungan kayu.

### Abstract

*One of the determining parameters in design of wood connection is flexural/bending yield strength and bearing strength of nails. This study aims to determine the bending yield strength (Fyb) as well as the bearing strength of concrete nails and wood nails. The test for flexural yield strength of nails was carried out by three-point loading method using a universal testing machine (UTM). Meanwhile, the bearing test was carried out using two types of wood, namely Keruing and Meranti. The test results showed that the bearing strength of nails increased with the increase in the specific gravity of the wood and was influenced by diameter and types of nails. The larger nails diameter, the lower value of the nails bearing strength. Keruing wood has the highest value of the nails bearing strength (434 kg/cm<sup>2</sup>) and the lowest was found in Meranti wood, which is 356 kg/cm<sup>2</sup>. In addition, based on the values of Fyb obtained, it can be seen that the nails used in this study have a higher flexural strength than the Fyb required by SNI 7973:2013. There is a tendency that the larger nails diameter, the lower value of Fyb. The lowest Fyb was found in wooden nails with a diameter of 0.42 cm, which is 7563 kg/cm<sup>2</sup> and the highest Fyb was found in white concrete nails with a diameter of 0.34 cm, which is 14716 kg/cm<sup>2</sup>*

**Keywords:** Nails, Flexural yield strength, Bearing strength, Wood connection

### To cite this article:

Kenny Setiasih dan Fengky Satria Yoresta (2023). Pengujian Kuat Leleh Lentur dan Kuat Tumpu Paku. *Jurnal of Infrastructural in Civil Engineering*, Vol. (04), No. 01, pp: 17-24.

## PENDAHULUAN

Paku merupakan salah satu alat sambung yang banyak digunakan pada sambungan kayu, misalnya pada struktur kuda-kuda atap, dinding, dan struktur rangka bangunan. Paku tersedia di pasaran dalam berbagai macam baik dari segi ukuran, dimensi, dan bahan penyusun namun belum tersedia sepenuhnya informasi mengenai nilai kekuatannya yang sangat diperlukan untuk keperluan aplikasi pada konstruksi kayu.

Sambungan kayu adalah tipe sambungan titik buhul, yaitu merangkai buhul atau simpul struktur. Efisiensi kekakuan sambungan cukup besar sekitar 50% dibandingkan dengan pasak 60%, baut 30%. Serta perlemahan relatif kecil sekitar 10% dan dapat diabaikan [1]. Sementara itu, salah satu sifat mekanis yang digunakan dalam perencanaan sambungan yaitu kuat tekan kayu, kuat leleh lentur paku dan kuat tumpu paku pada kayu. Analisis sambungan telah berkembang di Eropa pada tahun 1940-an dan dikenal dengan nama *European Yield Model (EYM)* yang didasarkan pada teori batas leleh dalam menganalisis alat sambung tipe dowel dalam sambungan kayu [2]. Kekuatan geser sambungan paku yang dihitung dari kekuatan leleh lentur menunjukkan kesuaian yang ditentukan berdasarkan metode offset 5% diameter (0.05D) dari kurva beban-deformasi yang diperoleh dari hasil pengujian lentur (SNI 7973:2013). Pengujian kekuatan lentur terhadap paku dilakukan dengan menggunakan metode *three-point loading* seperti di ASTM F1575-03 (*Standard Test Method for Determining Bending Yield Moment of Nails*) untuk mengestimasi nilai  $F_{yb}$ . Kuat lentur paku menurun dengan semakin meningkatnya diameter sehingga tekuk pada paku disebabkan oleh tingginya nilai rasio antara panjang dan diameter paku sebagai ciri dari alat sambung paku sendiri.

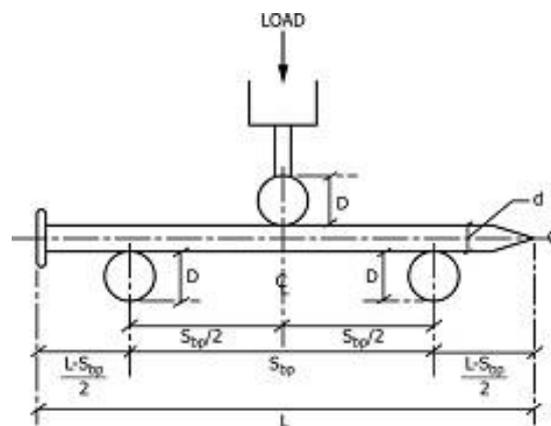
Peraturan kayu Amerika Serikat (NDS) menyediakan persamaan untuk memperkirakan besarnya kuat leleh lentur paku. Namun dalam draft peraturan kayu Indonesia terbaru belum tersedia panduan untuk menentukan besarnya nilai  $F_{yb}$ . Penelitian kekuatan leleh lentur paku, khususnya untuk paku yang berada di pasaran Indonesia untuk penggunaan pada konstruksi kayu masih sangat terbatas dan belum tersedia informasi mengenai paku beton sebagai alat sambung pada kayu yang berpengaruh pada sifat kekuatan paku tersebut.

Penelitian ini bertujuan menentukan nilai kuat leleh lentur ( $F_{yb}$ ) paku beton dan paku kayu dan kuat tumpu ( $F_e$ ) paku beton dan paku kayu. Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan sumbangan pengetahuan dan informasi bagi pengembangan ilmu konstruksi terutama untuk sambungan kayu dengan alat sambung paku.

## METODOLOGI PENELITIAN

Jenis paku yang dipakai dalam penelitian ini adalah paku kayu dan beton dengan variasi ukuran yaitu: paku berdiameter 0.34 cm dengan panjang 7 cm dan paku berdiameter 0.42 cm dengan panjang 10 cm. Sementara itu dua jenis kayu yang dipilih adalah kayu meranti (*Shorea spp.*) dan kayu keruing (*Dipterocarpus spp.*).

Pengujian kekuatan lentur paku dilakukan dengan mengacu pada ASTM F1575-03 (2003). Pengujian dilakukan dengan menempatkan paku pada dua penyangga, kemudian diberikan beban lentur tepat ditengah bentang, seperti di **Gambar 1**. Pembebanan dilanjutkan hingga paku mulai rusak dan mencapai beban tertinggi.



**Gambar 1.** Skema pengujian kuat lentur paku

Pengujian kuat tumpu dilakukan dengan memberikan beban merata disepanjang sumbu batang paku hingga paku terbenam kedalam kayu (**Gambar 2**) berdasarkan ASTM D5764-10 (2010) dengan modifikasi. Contoh uji berukuran (4 x 7,5 x 10) cm<sup>3</sup> dibuat menggunakan dua jenis kayu yaitu kayu keruing dan kayu meranti. Selanjutnya contoh uji ditempatkan pada mesin sehingga beban diaplikasikan secara merata di sepanjang paku. Pengujian dilakukan masing-masing dua diameter paku dengan jenis paku beton (putih dan hitam) dan paku kayu sehingga total pengujian sebanyak 36 kali (2 jenis kayu, 6 batang paku, dan 3 ulangan).



**Gambar 2.** Pengujian kuat tumpu paku

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Lentur Paku

Nilai kuat lentur paku ( $F_{yb}$ ) ketiga jenis paku berdasarkan hasil rata-rata dari pengujian berkisar antara 7563-14716 kg/cm<sup>2</sup> (**Tabel 1**). Dari Tabel 1 dapat dilihat nilai  $F_{yb}$  cenderung lebih besar dibandingkan nilai  $F_{yb}$  menurut SNI 7973 (2013). Nilai  $F_{yb}$  terendah terdapat pada paku kayu dengan diameter 0,42 cm sebesar 7563 kg/cm<sup>2</sup> dan  $F_{yb}$  tertinggi pada jenis paku beton putih dengan diameter 0,34 cm sebesar 14716 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil pada **Tabel 1** menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar diameter paku maka nilai  $F_{yb}$  semakin rendah seperti yang tertera pada SNI 7973 (2013).

Herawati (2017) menyatakan keterkaitan perbedaan komposisi unsur penyusun bahan paku terutama kadar unsur karbon (C) yang berfungsi untuk meningkatkan sifat kekuatan dari bahan tersebut[3]. Berdasarkan kadar unsur karbon (C) maka paku beton putih dan paku beton hitam termasuk dalam kategori paku baja yang diperkeras (baja karbon sedang) dan paku kayu termasuk kategori baja karbon rendah sampai sedang. Kulak et al. (2001) menyatakan bahwa paku dengan tingkat baja karbon rendah memiliki nilai kekuatan yang lebih rendah bila dibandingkan paku dengan baja karbon sedang memiliki kekuatan yang lebih besar[4]. Meskipun dibuat dengan material penyusun berbeda, paku dengan diameter lebih kecil memiliki kekerasan yang lebih baik bila dibandingkan dengan paku diameter besar yang menghasilkan nilai  $F_{yb}$  rendah. Hal ini dapat terjadi karena disebabkan adanya pengerasan permukaan yaitu pada paku berdiameter lebih kecil di saat proses fabrikasi.

Berdasarkan Tabel 2 dapat terlihat bahwa diameter paku yang diuji memiliki rasio dimensi yang berbeda. Menurut Sutanto (2017) bahwa rasio dimensi paku adalah perbandingan antara panjang dan diameter paku. Seiring besarnya diameter paku maka nilai rasio dimensi paku juga semakin tinggi sehingga menurunnya nilai  $F_{yb}$ [5]. Nilai kekuatan lentur paku secara langsung menjadi sebuah parameter dalam menentukan kualitas paku sebagai alat sambung sehingga dapat menahan beban relatif besar.

**Tabel 1.** Nilai Kuat Lentur Paku

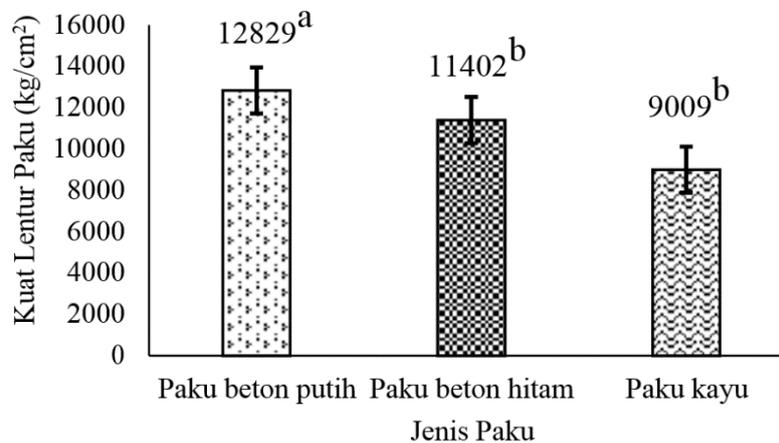
Jenis Paku	Diameter (cm)	Nilai Kuat Lentur Paku (kg/cm <sup>2</sup> )	
		Pengujian	SNI-2013
Paku Beton Putih	0.34	14716	9139
Paku Beton Putih	0.42	10941	8089
Paku Beton Hitam	0.34	14539	7038
Paku Beton Hitam	0.42	8265	6324
Paku Kayu	0.34	10454	7038
Paku Kayu	0.42	7563	6324

\*) sumber data: Pengujian

**Tabel 2.** Rasio Dimensi Paku

Diameter Paku (cm)	Panjang Paku (cm)	Rasio Dimensi Paku
0.34	7	20x
0.42	10	23x

\*) sumber data: Pengujian



**Gambar 3.** Nilai rata-rata kuat lentur paku berdasarkan jenis paku

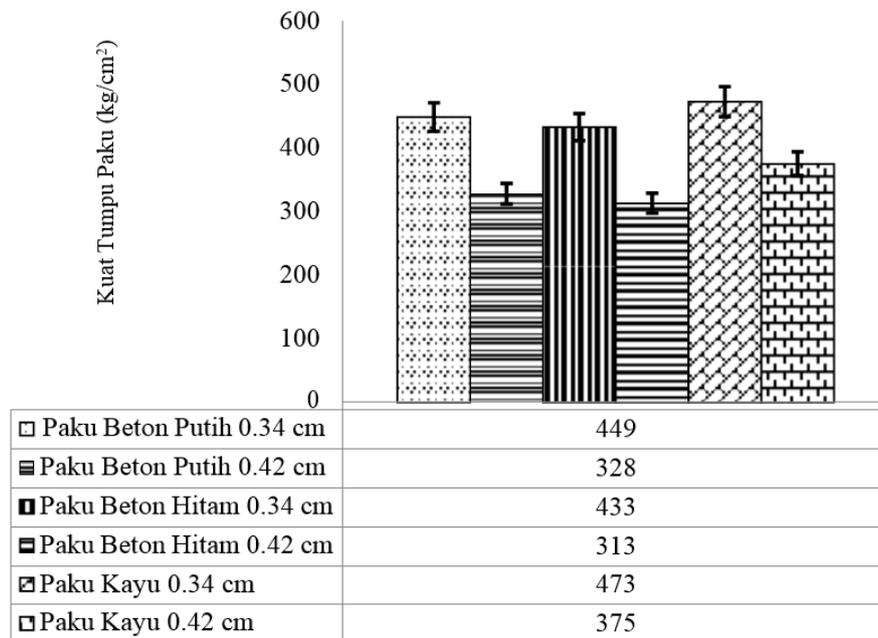
Berdasarkan analisis keragaman pada selang kepercayaan 95%, nilai rata-rata kuat lentur paku berbeda nyata terhadap jenis paku yang ditunjukkan dari nilai sig < 0.05. Hasil uji lanjut Duncan pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa jenis paku beton putih berbeda nyata terhadap paku beton hitam dan paku kayu, tetapi paku beton hitam dan paku kayu tidak berbeda nyata. Menurut Arifin dan Wijayanto (2008) bahwa baja karbon rendah dengan kadar 0,05%-0,20% C biasanya untuk bangunan, produksi paku keling, sekrup, rantai sementara paku komposisi karbon 0,20%-0,30% digunakan untuk baut, jembatan, bangunan, sedangkan paku beton dikategorikan baja karbon menengah >0,30% C dengan kekuatannya lebih tinggi dan sulit untuk dibengkokkan atau dipotong[6]. Melalui pengujian yang dilakukan dan nilai Fyb yang diperoleh dapat diketahui bahwa paku yang digunakan dalam penelitian memiliki kekuatan lebih tinggi daripada nilai Fyb yang disyaratkan SNI 7973 (2013).

### Kuat Tumpu Paku

Uji kuat tumpu paku (Fe) dilakukan untuk menentukan besarnya kekuatan kayu di sekitar paku dalam menahan beban paku. Berdasarkan standar ASTM D 5764 (2010) yang dimodifikasi, pengujian kuat tumpu paku dilakukan dengan memberikan tekanan disepanjang batang paku yang diletakkan di permukaan bidang kayu pada arah sejajar serat kayu sampai paku terbenam minimal setengah diameter paku. Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan terhadap kuat tumpu paku menunjukkan bahwa kayu keruing dan meranti berbeda nyata dimana kayu

keruing tertinggi (434 kg/cm<sup>2</sup>) dan terendah adalah kayu meranti (356 kg/cm<sup>2</sup>). Glisovic et al. (2012) menyatakan bahwa nilai kuat tumpu paku dipengaruhi oleh berat jenis kayu dimana berat jenis kayu berbanding lurus dengan nilai kuat tumpu paku yaitu semakin besar berat jenis kayu maka nilai kuat tumpu paku juga semakin besar[7]. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian, kayu keruing memiliki rata-rata nilai kuat tumpu tertinggi.

Faktor interaksi diameter dan jenis paku (AB) berbeda nyata terhadap kuat tumpu paku disajikan pada **Gambar 4**. Nilai rata-rata tertinggi pada paku kayu berdiameter 0,34 cm adalah 473 kg/cm<sup>2</sup>, dan terendah adalah pada paku beton hitam berdiameter 0,42 cm, yaitu sebesar 313 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan korelasi yang signifikan antara nilai kuat tumpu paku dengan interaksi diameter dan jenis paku (**Gambar 4**).

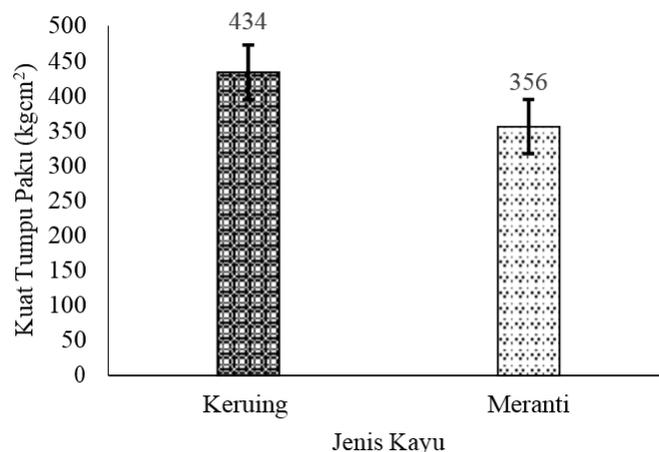


**Gambar 4.** Nilai kuat tumpu berdasarkan jenis dan diameter paku

**Tabel 3.** Uji duncan faktor interaksi diameter dan jenis paku terhadap kuat tumpu paku

Faktor A dan Faktor B	Kuat Tumpu Paku (kg/cm <sup>2</sup> )	Uji Wilayah Berganda
0.42 dan Paku Beton Putih	328	A
0.34 dan Paku Beton Hitam	433	A
0.42 dan Paku Kayu	375	AB
0.34 dan Paku Kayu	473	AB
0.34 dan Paku Beton Putih	449	AB
0.42 dan Paku Beton Hitam	313	B

\*) sumber data: Pengujian



**Gambar 5.** Nilai kuat tumpu berdasarkan jenis kayu

**Tabel 3** selanjutnya menunjukkan hasil uji lanjut Duncan terhadap kekuatan tumpu paku dimana paku beton putih berdiameter 0,42 cm berbeda nyata dengan jenis paku beton hitam berdiameter 0,42 cm. Walaupun diameter paku sama pada penelitian ini terdapat selisih nilai Fe yang signifikan karena terdapatnya perbedaan unsur kadar karbon bahan penyusun paku. Hasil penelitian sebelumnya oleh Agussalim (2010) dan Sutanto (2017) menyatakan bahwa semakin besarnya diameter paku maka semakin besar pula dimensi paku yang bersinggungan dengan kayu, sehingga diperlukan gaya yang lebih besar untuk menekan paku ke kayu[8]. Namun belum terdapat informasi berdasarkan bahan penyusun paku tersebut terhadap kuat tumpu paku.

Berdasarkan hasil penelitian (**Gambar 5**) nilai kuat tumpu paku sangat dipengaruhi oleh karakteristik kayu dan keteguhan alat sambung seperti paku. Kayu keruing memiliki nilai kuat tumpu paku tertinggi (434 kg/cm<sup>2</sup>) dan terendah kayu meranti (356 kg/cm<sup>2</sup>). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai kekuatan tumpu paku meningkat seiring dengan peningkatan berat jenis. Selain berat jenis kayu, faktor lain seperti nilai kuat lentur paku mempengaruhi kuat tumpu paku dimana semakin tinggi nilai kuat lentur paku maka nilai kuat tumpu akan semakin besar. Semakin besar diameter paku dan tebal kayu yang digunakan maka semakin menurunkan nilai kekuatan tumpu paku. Hal ini karena bilangan volumetris untuk pembagi nilai beban maksimum lebih besar sehingga kuat tumpu menurun. Nilai kuat tumpu untuk alat sambung berdiameter kurang dari 6,35 mm pada SNI 7973 (2013) dihitung dengan rumus  $Fe = 100G^{1,84}$  dimana G adalah berat jenis kayu.

## SIMPULAN

Nilai kekuatan lentur paku yang diuji dari berbagai jenis dan diameter paku cenderung lebih besar dibandingkan dengan nilai  $F_{yb}$  yang diisyaratkan di SNI 7973:2013. Kuat tumpu paku meningkat seiring peningkatan berat jenis kayu dan dipengaruhi diameter dan jenis paku.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. H. F. YAP, *Konstruksi Kayu*. Bandung: CV Trimatra Mandiri, 1999.
- [2] D. E. Breyer, K. E. Cobeen, K. J. Fridley, and D. G. Pollock, *Design of Wood Structures ASD/LRFD*, 6th ed. New York (US): McGraw-Hill Education, 2007.
- [3] E. Herawati and L. Karlinasari, "Karakteristik Kekuatan Leleh Lentur Baut Besi dengan Beberapa Variasi Diameter Baut," pp. 217–222, 2017.
- [4] G. L. Kulak, J. W. F. John, and J. H. A. Struik, *Guide to design criteria for bolted and riveted joints*, vol. 15, no. 1. 2001.
- [5] R. R. Sutanto, S. Sadiyo, and N. Nugroho, "Desain Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Menggunakan Paku pada Lima Jenis Kayu Indonesia," *J. Tek. Sipil*, vol. 25, no. 1, p. 25, 2018.
- [6] F. Arifin and W. Wijianto, "Pemanfaatan Pegas Daun Bekas Sebagai Bahan Pengganti Mata Potong (Punch) Pada Alat Bantu Produksi Massal (Press Tools)," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 20–27, 2008.
- [7] I. Glišović, B. Stevanović, and T. Kočetov-MIŠULIĆ, "Embedment test of wood for dowel-type fasteners," *Wood Res.*, vol. 57, no. 4, pp. 639–650, 2012.
- [8] Agussalim, N. Nugroho, and Sucahyo, "Desain Kekuatan Sabungan Kayu Geser Ganda Berrpelat Baja dengan Baut pada Lima Jenis Kayu Indonesia," 2010.