

# PERENCANAAN JEMBATAN PEJALAN KAKI MENGUNAKAN KAYU JATI HUTAN RAKYAT SEBAGAI MATERIAL KONSTRUKSI

Maris Setyo Nugroho<sup>1</sup>, Ali Awaludin<sup>2</sup>, Bambang Supriyadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Pascasarjana Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta;

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Email: [marissetyo.n@gmail.com](mailto:marissetyo.n@gmail.com)

## ABSTRACT

*Eco-friendly bridge planning is an important aspect to be considered, as the issue of global warming and energy crisis develop. This study examine the planning of pedestrian bridge using community forest wood materials. The analysis is done by 3D modeling on SAP2000 auxiliary software. The research stages consist of testing mechanical properties of wood and optimization of the maximum span of the bridge. The result of testing of mechanical properties obtained result that teak wood of Blora community forest have value of  $E_{min}$  5757 MPa. Based on SNI-7973: 2013 the value is included in the E11 quality code. The design of the pedestrian bridge uses the Warren Truss frame type. This shape was chosen because it has the highest stiffness compared to the type of Howe Truss and Pratt Truss. Based on bridge structure analysis show that, with dimension 4x6 cm bridge can bear the load of plan until span 10 m with maximum deflection 9.9 mm*

**Keywords:** design, pedestrian bridge, 3D model, SAP2000.

## ABSTRAK

Perencanaan jembatan yang ramah lingkungan menjadi aspek tersendiri yang harus diperhatikan, seiring berkembangnya isu pemanasan global dan krisis energi. Penelitian ini mengkaji tentang perencanaan jembatan pejalan kaki menggunakan material kayu hutan rakyat. Analisis dilakukan dengan pemodelan 3D pada software bantu SAP2000. Tahapan penelitian terdiri dari pengujian *mechanical properties* kayu dan optimasi bentang maksimum jembatan. Hasil pengujian sifat mekanik didapatkan hasil bahwa kayu jati hutan rakyat Blora memiliki nilai  $E_{min}$  5757 MPa. Berdasarkan SNI-7973:2013 nilai tersebut termasuk dalam kode mutu E11. Desain jembatan pejalan kaki menggunakan tipe rangka *Warren Truss*. Bentuk ini dipilih karena memiliki kekakuan yang paling tinggi dibandingkan dengan tipe *Howe Truss* dan *Pratt Truss*. Berdasarkan analisis struktur jembatan menunjukkan bahwa, dengan kayu dimensi 4x6 cm jembatan dapat memikul beban rencana hingga bentang 10 m dengan defleksi 9.9 mm

**Kata Kunci :** desain, jembatan pejalan kaki, 3D model, SAP2000.

## PENDAHULUAN

Ketersediaan kayu hutan alam yang kian menipis merupakan dampak dari kecepatan antara pemanenan dan penanaman tidak seimbang. Hal ini menyebabkan pasokan kayu dari hutan alam kian menurun baik volume maupun mutunya. Selain itu perilaku masyarakat yang tidak mau menunggu lama untuk memanen kayu hutan rakyat, menyebabkan kayu hutan rakyat hanya mampu memproduksi kayu dengan diameter besar yang sangat terbatas.

Kayu merupakan salah satu bahan bangunan yang dapat diperbaharui (*renewable*), relatif mudah didapat, lebih ekonomis dan memiliki nilai keindahan tersendiri jika dibandingkan

dengan bahan bangunan yang lain. Ketersediaan kayu dengan diameter yang besar yang sangat terbatas tidak sebanding dengan kebutuhan kayu dengan dimensi yang besar sebagai bahan konstruksi. Hal inilah yang mendasari peneliti untuk melakukan sebuah inovasi dengan menggunakan kayu hutan rakyat dengan dimensi yang terbatas sebagai material konstruksi jembatan pejalan kaki.

Beberapa penelitian tentang jembatan pejalan kaki pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya diantaranya yaitu, penelitian tentang perilaku jembatan pejalan kaki oleh Deo (2014), tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui respon dinamik akibat beban pejalan kaki bergerak yang terjadi pada jembatan gantung pejalan kaki. Analisis

diawali dengan mengecek kekakuan elemen-elemen struktur akibat kombinasi beban statis. Kemudian pembebanan pejalan kaki dilakukan dengan dua skenario, yaitu beban individu dan beban berkelompok. Selain itu penelitian oleh Eriksson, dkk., (2013) "Vibration Respon of Lighthweigh Pedestrian Bridges". Ruang lingkup: 1) mengkaji tentang *mechanical properties* kayu jati hutan rakyat Blora, 2) melakukan optimasi desain perencanaan jembatan pejalan kaki dengan program bantu SAP2000 untuk mendapatkan bentang maksimum jembatan.

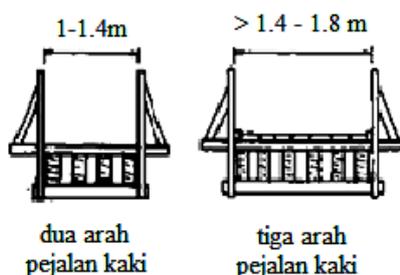
Perencanaan jembatan pejalan kaki harus sesuai dengan kebutuhan pengguna, hal ini bertujuan untuk menentukan data perencanaan jembatan. Berdasarkan kebutuhan pengguna

pejalan kaki dapat digunakan untuk menentukan geometri struktur jembatan dan pembebanan. Menurut Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki (2010), pengguna jembatan dan tingkat lalu lintas harus diidentifikasi secara jelas karena akan menentukan lebar lantai jembatan yang diperlukan dan beban hidup pada jembatan yang akhirnya akan menentukan biaya konstruksi. Dua lebar standar yang dianjurkan yaitu:

- a. 1 m sampai dengan 1,4 m untuk pejalan kaki dua arah (jembatan pejalan kaki kelas II)
- b. 1,4 m sampai dengan 1,8 m untuk tiga pejalan kaki yang beriringan (jembatan pejalan kaki kelas I)



Gambar 1. Lebar Jembatan Pejalan Kaki (Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki, 2010)



Gambar 2. Penampang melintang jembatan pejalan kaki untuk berbagai pengguna (Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki, 2010)

Jembatan rangka merupakan jembatan yang tersusun dari batang-batang yang membentuk konstruksi rangka segitiga. Jembatan rangka dapat terbuat dari bahan kayu atau logam. Jembatan rangka kayu (*wooden truss*) termasuk tipe klasik yang sudah banyak tertinggal mekanika bahannya. Jembatan rangka kayu, hanya terbatas untuk mendukung beban yang tidak terlalu besar. Pada perkembangannya setelah ditemukan bahan baja, tipe rangka menggunakan rangka baja

dengan berbagai macam bentuk (Supriyadi, 2007). Bentuk struktur rangka batang yang merupakan susunan dari batang-batang yang dihubungkan dengan sambungan, menjadikan sistem struktur ini memiliki berat yang relatif ringan dibandingkan dengan sistem struktur yang lain. Sistem struktur rangka batang memiliki banyak tipe, namun pada penelitian ini hanya difokuskan pada tiga tipe saja yaitu *Warren Truss* (Gambar 3), *Howe Truss* (Gambar 4), dan *Pratt Truss* (Gambar 5).



Gambar 5. Tipe *Warren Truss*



Gambar 6. Tipe *Howe Truss*



Gambar 7. Tipe *Pratt Truss*

Hutan rakyat merupakan hutan yang berada di tanah hak milik dan pengelolaan dikelola oleh pemilik. Menurut Lukmandaru (2010), perbedaan yang mendasar antara jati dari hutan rakyat dan Perhutani adalah masa tebangnya dimana kayu jati dari hutan rakyat ditebang pada umur muda di bawah 30 tahun. Kayu jati yang berasal dari pohon yang berumur muda ini tentunya diasumsikan kayu belum mempunyai kualitas sebagus umur

masak sehingga harga kayu jati dari hutan rakyat lebih murah. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Marsoem dkk. (2015) menunjukkan bahwa kayu jati hutan rakyat daerah Gunungkidul termasuk dalam kelas kuat II-III. Hasil pengujian kerapatan dasar dan sifat mekanika kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunung Kidul disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanika kayu jati dari hutan rakyat Kabupaten Gunungkidul (Marsoem dkk, 2015)

Parameter fisik/keteguhan	Panggung			Playen			Nglipar		
	Min	Maks	Rerata (sd)	Min	Maks	Rerata (sd)	Min.	Maks	Rerata (sd)
LS-Batas proporsi (kg/cm <sup>2</sup> )	366.81	666.01	512.32 (110.72)	434.68	680.52	580.95 (110.04)	399.5	784.3	563.17 (175.49)
LS-MoE (x1000 kg/cm <sup>2</sup> )	57.01	95.59	81.60 (15.38)	82.10	93.25	87.46 (10.46)	69.83	94.39	88.65 (16.71)
TTLS (kg/cm <sup>2</sup> )	122.89	210.81	155.78 (42.16)	168.66	250.03	202.31 (39.25)	192.0	251.6	222.56 (40.28)
TSS (kg/cm <sup>2</sup> )	246.79	388,44	328,91 (59.57)	312.94	387.04	348.04 (42.89)	311.1	390.7	350.85 (61.49)
Kekerasan (kg/cm <sup>2</sup> )	278.66	504.24	382.77 (132.19)	331.74	597.13	452.64 (159.68)	305.2	690.0	511.61 (181.32)
Geser (kg/cm <sup>2</sup> )	59.05	135.03	97.27 (27.88)	94.86	163.08	119.58 (32.36)	91.98	144.6	120.96 (5)
Belah (kg/cm)	13.50	19.65	17.57 (1.56)	13.37	17.97	16.55 (1.99)	14.07	22.47	18.65 (1.75)

Keterangan: min = minimum; maks.= maksimum; sd = standar deviasi; LS = lengkung statik; MoR = batas patah; MoE = modulus elastisitas; TTLS = tekan tegak lurus serat; TSS = tekan sejajar serat

Beban rencana yang harus diperhitungkan berdasarkan Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki (2010), bahwa jembatan pejalan kaki harus kuat dan kaku (tanpa lendutan berlebih) untuk menahan beban. Dua aspek yang perlu dipertimbangkan untuk beban hidup:

1. Beban yang terpusat pada lantai jembatan akibat langkah kaki manusia guna mengetahui kekuatan lantai jembatan;
2. Beban yang dipindahkan dari lantai jembatan ke batang struktur yang kemudian dipindahkan ke tumpuan

## METODE

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: *Oven*, Timbangan, *Universal Testing Machine*. Sedangkan bahan yang digunakanyaitu kayu jati hutan rakyat Blora. Pengujian *mechanical properties* menggunakan standar ASTM D 143-94. Pengujian ini dilakukan guna mengetahui sifat dan kekuatan kayu jati hutan

jembatan, aksi beban ini akan terdistribusi pendek atau menerus sepanjang batang-batang longitudinal yang menahan lantai jembatan

Berdasarkan latar belakang permasalahan serta telaah dari beberapa pustaka guna memfokuskan penelitian, tujuan dari penelitian ini yaitu 1) mengetahui *mechanical properties* kayu jati hutan rakyat Blora, 2) mendapatkan bentang maksimum dari desain jembatan pejalan kaki yang menggunakan kayu jati hutan rakyat sebagai material konstruksi.

rakyat. Berdasarkan hasil pengujian inilah data yang diperoleh digunakan sebagai dasar perencanaan jembatan.

Perencanaan struktur jembatan perlu memastikan bahwa jembatan pejalan kaki aman dan sesuai untuk pengguna harus dipertimbangkan hal-hal berikut:

Tabel 2. Beban hidup yang dipikul dan lendutan izin jembatan gantung pejalan kaki (Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki, 2010)

Kelas pengguna	Lebar	Beban terpusat	Beban terdistribusi merata	Lendutan izin ( $\Delta$ )
<b>Jembatan gantung pejalan kaki kelas I</b> (beban maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1,8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu bentang jembatan)	5 kPa	1/200 L
<b>Jembatan gantung pejalankaki kelas II</b> (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	4 kPa	1/100 L

Keterangan:

L adalah bentang utama jembatan

Jembatan yang direncanakan pada penelitian ini termasuk kelas pengguna II (Tabel 2), sehingga intensitas beban yang digunakan sebagai dasar perencanaan yaitu sebesar 4 kPa dengan dengan lendutan izin sebesar 1/100 L.

1. Kekuatan  
Batang-batang jembatan harus cukup kuat untuk menahan beban hidup dan beban mati yang didefinisikan di atas

dengan batas yang cukup untuk keselamatan mengizinkan beban yang tidak terduga, properti material, kualitas konstruksi, dan pemeliharaan.

2. Kekakuan  
Jembatan pejalan kaki tidak boleh melendut untuk batas yang mungkin menyebabkan kecemasan atau ketidaknyamanan untuk pengguna atau menyebabkan batang-batang yang terpasang menjadi tidak rata.

Menurut Awaludin (2005), batang tarik harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$T_u \leq \lambda \Phi_t T' \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $T_u$  = gayatarik tefaktor
- $\lambda$  = faktor waktu
- $\Phi$  = 0.8
- $T'$  = tahanan tarik

Sedangkan untuk tahanan tarik komponen konsentris ( $T'$ ) ditentukan menggunakan persamaan (2).

$$T' = F_t' A_n \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$$F_t' = C_M C_t C_{cpt} C_f C_{rt} F_t \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- $C_M$  = faktor koreksi layanan basah
- $C_t$  = faktor koreksi temperatur
- $C_{cpt}$  = faktor koreksi pengawetan kayu
- $C_{rt}$  = faktor koreksi tahan api
- $C_f$  = faktor koreksi ukuran
- $F_t$  = kuat tarik sejajar serat
- $F_t'$  = kuat tarik sejajar serat terkoreksi
- $A_n$  = luas penampang *netto*

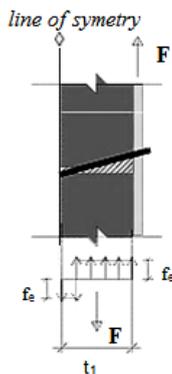
Menurut SNI-7973:2013 komponen struktur tekan harus direncanakan sedemikian sehingga:

$$P_u \leq \lambda \Phi_c P' \dots\dots\dots (4)$$

Dengan  $P_u$  adalah gaya tekan terfaktor,  $\lambda$  adalah faktor waktu,  $\Phi_c = 0.90$  adalah faktor tahanan tekan sejajar serat, dan  $P'$  adalah tahanan tekan terkoreksi.

Menurut Awaludin (2005), pada sambungan kayu dengan pelat besi bila menggunakan ketebalan pelat besi kurang dari separuh diameter alat sambung maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Moda kegagalan  $I_m$



Gambar 7. Moda kegagalan  $I_m$   
(Awaludin, 2005)

$$F = (\sqrt{2}-1)f_e t_1 d \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

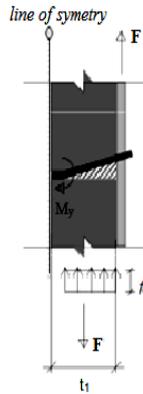
$F$  = kekuatan leleh sambungan

$f_e$  = kuat tumpu kayu

$t_1$  = tebal kayu yang disambung

$d$  = diameter baut

2. Moda kegagalan III<sub>s</sub>



Gambar 8. Moda kegagalan III<sub>s</sub>  
(Awaludin, 2005)

$$F = \sqrt{2 M_y f_e d} \dots\dots\dots (6)$$

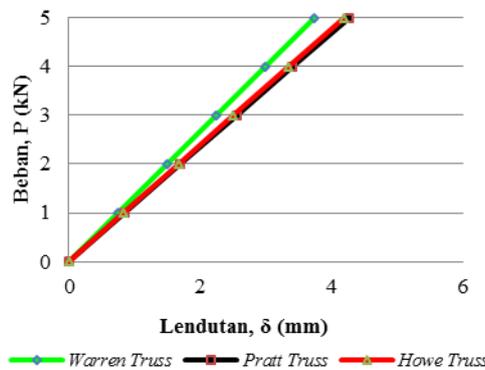
$F$  = kekuatan leleh sambungan  
 $f_e$  = kuat tumpu kayu  
 $M_y$  = momen plastis baut  
 $d$  = diameter baut

Keterangan:

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemilihan tipe rangka dilakukan agar mendapatkan desain yang paling efektif dan efisien. Tipe rangka *Warren*, *Part*, dan *Howe* dipilih dari beberapa tipe rangka yang ada

dengan mempertimbangkan bentuk yang sederhana serta kemudahan pelaksanaan di lapangan.



Gambar 9. Perbandingan nilai kekakuan Jenis sistem struktur rangka batang

Berdasarkan hasil analisis nilai kekakuan (Gambar 9) diperoleh nilai kekakuan tertinggi yaitu tipe *Warren Truss*. Selain memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan tipe *Howe Truss* dan *Pratt Truss*, bentuk rangka *Warren truss* juga lebih sederhana. Sehingga, dipilih tipe *Warren Truss* sebagai bentuk sistem struktur pada desain jembatan.

1. Pengujian Kadar Air dan Berat Jenis  
 Pengujian kadar air dan berat jenis menggunakan standar SNI 03-6848-2002. Berdasarkan hasil pengujian kadar air kayu (Tabel 4) didapatkan nilai kadar air sebesar 14.6 %, hal ini menunjukkan bahwa kayu termasuk dalam kondisi kering udara.

Tabel 4. Hasil pengujian kadar air dan berat jenis

No	KA (%)	BJ
1	14.96	0.74
2	14.77	0.75
3	14.31	0.75
4	13.52	0.71
5	14.97	0.77
6	14.46	0.75
7	14.98	0.72
8	14.72	0.76
9	15.06	0.71
10	14.34	0.73
<b>Rerata</b>	<b>14.6</b>	<b>0.74</b>
<b>Sd</b>	<b>0.47</b>	<b>0.02</b>
<b>Cov (%)</b>	<b>3.22</b>	<b>2.45</b>

## 2. Pengujian Kuat Tekan Sejajar Serat

Hasil pengujian kuat tekan sejajar serat dari 10 benda uji disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tekan sejajar serat

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$f_{cll}$ (Mpa)
1	2539.67	98180	38.66
2	3024.00	112610	37.24
3	2575.50	110390	42.86
4	2667.00	103535	38.82
5	2560.20	98900	38.63
6	2570.49	124580	48.47
7	2552.70	136130	53.33
8	2545.08	99000	38.90
9	2552.70	133650	52.36
10	2545.20	132830	52.19
<b>Rerata</b>		<b>44.14</b>	
<b>Sd</b>		<b>6.33</b>	
<b>Cov (%)</b>		<b>14.34</b>	

Berdasarkan hasil analisis nilai kuat tekan sejajar serat kayu jati hutan rakyat Blora diperoleh nilai rerata sebesar 44.14 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan sejajar kayu jati hutan rakyat Gunung Kidul yang telah diteliti oleh (Marsoem, 2015), kuat tekan sejajar kayu jati hutan rakyat Blora lebih besar dibandingkan dengan nilai kuat tekan sejajar kayu jati hutan rakyat Gunung Kidul sebesar 34.4 MPa. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa jika ditinjau dari

nilai kuat tekan sejajar serat kayu jati hutan rakyat Blora 450.1 kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan PKKI (1961) termasuk kelas kuat II (425-650 kg/cm<sup>2</sup>). Sedangkan hasil analisis CoV (tabel 5) terhadap 10 benda uji kuat tekan sejajar serat masih tinggi yaitu 14.34%. Hal ini disebabkan karena jumlah sampel yang masih kurang serta pengambilan sampel yang dilakukan secara bertahap, mengakibatkan benda uji yang memiliki variasi cukup tinggi.

3. Pengujian Kuat Tekan Tegak Lurus Serat  
Hasil pengujian kuat tekan tegak lurus serat dari 10 benda uji disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan tegak lurus serat

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	f <sub>ct</sub> (MPa)
1	2550	32753	12.84
3	2550	42570	16.69
4	2591	36383	14.04
5	2616	39765	15.20
6	2596	36795	14.17
7	2586	53625	20.74
8	2525	33000	13.07
9	2545	40425	15.88
10	2550	46200	18.12
<b>Rerata</b>		<b>15.36</b>	
<b>Sd</b>		<b>2.44</b>	
<b>Cov (%)</b>		<b>15.91</b>	

Berdasarkan hasil analisis nilai kuat tekan tegak lurus serat kayu jati hutan rakyat Blora diperoleh nilai rerata sebesar 15.36 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai kuat tekan sejajar kayu jati hutan rakyat Gunung Kidul yang telah diteliti oleh (Marsoem, 2015), kuat tekan tegak lurus kayu jati hutan rakyat Blora lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat tekan sejajar kayu jati hutan rakyat Gunung Kidul sebesar 21.82 MPa. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa jika ditinjau dari nilai kuat tekan tegak lurus serat kayu jati hutan rakyat Blora 152.95

kg/cm<sup>2</sup>, berdasarkan PKKI (1961) termasuk kelas kuat II (125-200 kg/cm<sup>2</sup>).

Hasil analisis CoV pengujian kuat tekan tegak lurus serat menunjukkan bahwa hasil uji terhadap 10 benda uji kuat tekan tegak lurus serat lebih dari 5% yaitu sebesar 15.91 %. Keterbatasan jumlah sampel uji menjadi salah satu penyebab tingginya nilai CoV. Selain itu umur kayu pada tiap sampel yang diambil secara random mengakibatkan keberagaman kekuatan semakin besar.

4. Pengujian Kuat Geser  
Pengujian kuat geser (Tabel 7) diperoleh nilai kuat geser kayu jati hutan rakyat Blora sebesar 11.17 MPa. Nilai kuat geser kayu jati hutan rakyat Blora lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat geser kayu jati Hutan Rakyat Gunung

Kidul yang telah diteliti oleh (Marsoem, 2015) yaitu sebesar 11.76 MPa. Hasil pengujian kuat geser menunjukkan bahwa, berdasarkan PKKI (1961) jika hutan rakyat Blora 119.30 kg/cm<sup>2</sup> termasuk kelas kuat I (> 100 kg/cm<sup>2</sup>).

Tabel 7. Hasil pengujian kuat geser

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	f <sub>v</sub> // (Mpa)
1	2525	25933	10.27
2	2523	31510	12.49
3	2502	25415	10.16

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	f <sub>v</sub> // (Mpa)
4	2591	28290	10.92
5	2550	30648	12.02
<b>Rerata</b>		<b>11.17</b>	
<b>Sd</b>		<b>0.93</b>	
<b>Cov (%)</b>		<b>8.36</b>	

Hasil analisis CoV dari 5 buah benda uji menunjukkan nilai yang relatif segaram. Kuat geser maksimum yang diperoleh dari hasil pengujian sebesar 12.49 MPa sedangkan nilai kuat geser

minimum sebesar 10.16 MPa. Nilai CoV sebesar 8.36% dari 5 buah benda uji membuktikan bahwa kekuatan geser kayu jati hutan rakyat Blora cukup seragam.

#### 5. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai  $F_b$  dan MoE dari kayu jati hutan rakyat Blora. Hasil pengujian geser kayu jati hutan rakyat Blora sebanyak 9 benda uji, hanya digunakan 9 benda uji hal ini dikarenakan terdapat cacat mata kayu pada salah satu benda uji. Berdasarkan hasil pengujian (Tabel 8) diperoleh nilai MoR kayu jati hutan rakyat Blora sebesar 76.49 MPa, sedangkan nilai MoE sebesar 6388.33 MPa. Nilai kuat MoR kayu jati hutan rakyat Blora lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat geser kayu jati Hutan Rakyat Gunung Kidul yang telah diteliti

oleh (Marsoem, 2015) yaitu sebesar 81.9 MPa, begitupun dengan nilai MoE kayu hutan rakyat Blora memiliki nilai MoE yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu hutan rakyat Gunung Kidul yang sebesar 8693.5 MPa. Nilai MoE yang lebih rendah menunjukkan bahwa kayu jati hutan rakyat Blora kurang kaku, sehingga mudah dilengkungkan. Kuat lentur kayu jati hutan rakyat Blora sebesar 783.03 kg/cm<sup>2</sup>, menunjukkan bahwa berdasarkan PKKI (1961) nilai kuat lentur termasuk dalam kelas kuat II (725-1100 kg/cm<sup>2</sup>).

Tabel 8. Hasil Pengujian Lentur

No	I (mm <sup>4</sup> )	P (N)	$\Delta$ (mm)	f <sub>b</sub> (MPa)	MOE (MPa)
1	578174.90	11328	6.0	89.7	9672.4
2	541981.26	10753	5.1	88.9	11563.4
3	551665.49	8338	4.4	68.3	10451.1
4	608089.27	8855	4.6	66.9	9299.3
5	548420.64	8683	4.7	71.0	10119.7
6	551697.82	8970	4.9	73.3	9601.1
7	530208.33	8970	5.2	75.1	9688.1
8	526060.45	9085	4.8	76.8	10641.7
9	535541.87	9373	5.2	78.4	10161.3
<b>Rerata</b>				<b>76.49</b>	<b>10133.11</b>
<b>Sd</b>				<b>7.71</b>	<b>649.34</b>
<b>Cov (%)</b>				<b>10.08</b>	<b>6.41</b>

Berdasarkan dari hasil analisis CoV (Tabel 8) diperoleh nilai CoV sebesar

20.3%. Hasil tersebut ini menunjukkan bahwa kekuatan benda uji yang tidak

seragam. Umur kayu dan lokasi pengambilan kayu menjadi salah satu penyebab dari ketidakseragaman mutu

kayu selain itu jumlah sampel juga menentukan besarnya nilai CoV.

#### 6. Pengujian Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik sejajar serat (Tabel 9) Nilai kuat tarik rerata kayu jati hutan rakyat Blora sebesar 129.86 MPa. Berdasarkan SNI-7973:2013 nilai kuat tarik sejajar serat kayu jati hutan rakyat blora termasuk dalam kode mutu E25. Nilai Cov yang lebih dari 20% pada pengujian kuat tarik sejajar

menunjukkan adanya kisaran yang lebar antara masing-masing sampel. Maka dari itu, untuk penelitian selanjutnya pengambilan jumlah sampel pada tiap pohon perlu diperbanyak untuk mengurangi kisaran yang lebar tersebut.

Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tarik Sejajar Serat

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	ft// (Mpa)
1	45.00	4667.8	103.73
2	51.94	9263.4	178.35
3	48.48	8110	167.29
4	55.35	6704.3	121.13
<b>Rerata</b>			<b>129.86</b>
<b>Sd</b>			<b>37.73</b>
<b>Cov (%)</b>			<b>29.05</b>

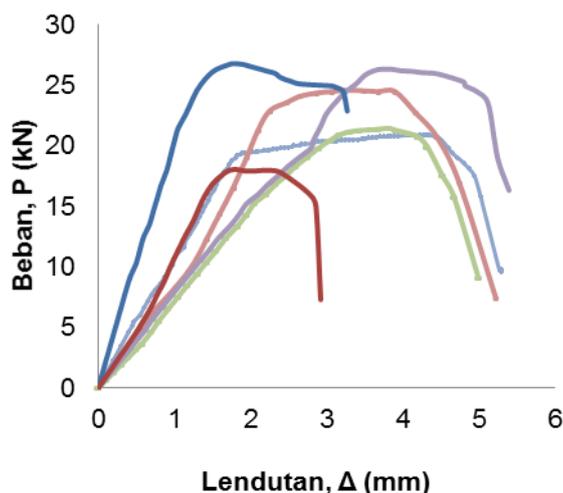
#### 7. Pengujian Kuat Tumpu

Pengujian kuat tumpu menggunakan baut berdiameter 10 mm dengan  $F_y$  240 MPa. Berdasarkan hasil pengujian kuat tumpu (Tabel 10) didapatkan nilai kuat tumpu sebesar 45.42 MPa. Nilai kuat tumpu pengujian lebih rendah dibandingkan dengan nilai kuat tumpu empiris sesuai dengan SNI 7973-2013 yaitu sebesar 59.37 MPa. Adanya

perbedaan nilai eksperimen dan empiris dipengaruhi oleh beberapa factor diantaranya yaitu karakteristik atau mutu kayu, diameter baut yang digunakan, dan mutu baut yang digunakan. Maka dalam perencanaan sambungan jembatan digunakan nilai kuat tumpu terkecil yaitu 45.42 MPa.

Tabel 10. Hasil pengujian kuat tumpu

No	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	F <sub>e</sub> (Mpa)
1	501	20930	41.78
2	509	24610	48.35
3	510	21440	42.04
4	503	26335	52.36
5	508	26796	52.75
<b>Rerata</b>		<b>47.45</b>	
<b>Sd</b>		<b>4.78</b>	
<b>Cov (%)</b>		<b>10.08</b>	



Gambar 10. Grafik hubungan beban dengan lendutan pengujian kuat tumpu

8. Kode Mutu Kayu Jati Hutan Rakyat Blora Berdasarkan hasil identifikasi *property* kayu jati hutan rakyat Blora kode mutu kayu menunjukkan bahwa kayu jati hutan rakyat Blora masuk pada kode mutu

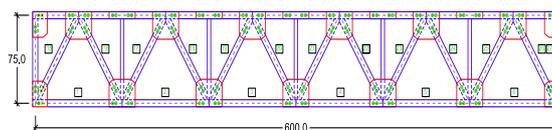
E11. Kode mutu ini diambil dari nilai terkecil dari data *properties* kayu yang ada yaitu berdasarkan nilai  $E_{min}$  (Tabel 11).

Tabel 11. Identifikasi kode mutu

Properties	$K_F$	Kekuatan (MPa)	Kekuatan Terkoreksi (MPa)	Kode Mutu
$F_b$	2.54	76.49	30.11	E25
$E_{min}$	1.76	10133.11	5757.45	E11
$F_c^+$	1.67	15.36	9.20	E25
$F_c$	2.40	44.14	18.39	E20
$F_v$	2.88	11.17	3.88	E25
$F_t$	2.70	129.86	48.10	E25

Lebar pejalan kaki mengacu pada Pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki, (2010). Lebar jembatan yang digunakan adalah 1.2 m (untuk dua arah pejalan kaki). Sedangkan panjang jembatan divariasikan mulai dari 6-10m hal ini dilakukan untuk mendapatkan bentang optimum, desain jembatan

menggunakan rangka tipe Warren Truss (Gambar 11). Beban yang digunakan dalam perencanaan berupa beban mati yang berupa berat struktur serta beban hidup sebesar 4 kPa (Tabel 2). Dimensi batang menggunakan ukuran 4x6 cm, ukuran ini disesuaikan dengan ketersediaan dimensi kayu jati hutan rakyat di pasaran.



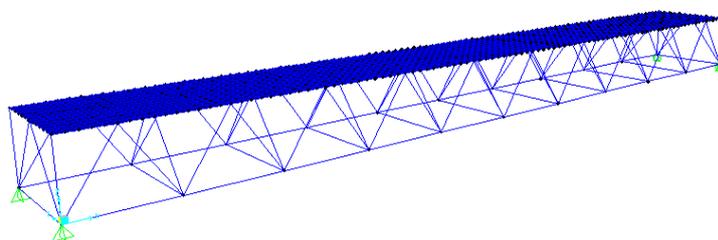
Gambar 11. Desain jembatan pejalan kaki

Analisis struktur jembatan dimodelkan sebagai struktur rangka ruang 3D dengan

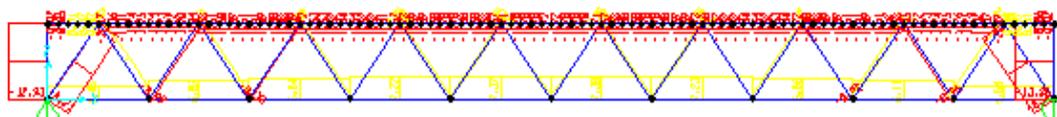
menggunakan program bantu SAP 2000 (Gambar 12). Tumpuan sebagai tumpuan

sendi-rol, elemen struktur dimodelkan sebagai elemen *frame* yang berpotongan pada tiap buhul. Berdasarkan hasil analisis gaya batang kemudian dilakukan, analisis kapasitas elemen struktur jembatan dan kapasitas

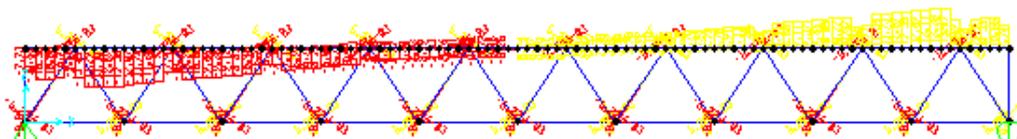
sambungan. Setelah mendapatkan gaya batang (*Axial Force*, *Shear Force* dan *Deformed Shape*), dilakukan analisis kapasitas elemen struktur jembatan.



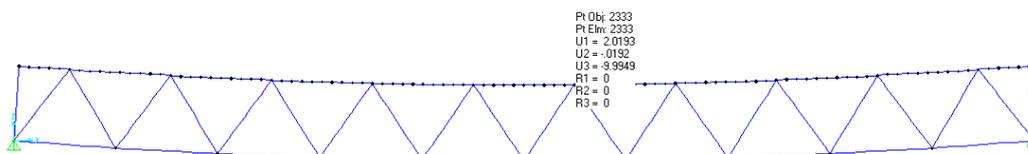
Gambar 12. Pemodelan 3D pada SAP 2000



Gambar 13. Axial force diagram bentang 10m



Gambar 14. Shear force diagram bentang 10m



Gambar 15. Deformed shape bentang 10m

Hasil analisis kapasitas batang jembatan pada bentang 10 m menunjukkan bahwa perbandingan antara kapasitas nominal pada batang tarik ( $T_n > T_u$ ), tekan ( $P_n > P_u$ ), geser ( $V_n > V_u$ ) dan momen ( $M_n > M_u$ ), sehingga struktur jembatan masih aman untuk menompang beban rencana yaitu 400 kg/m<sup>2</sup>. Perbandingan

gaya batang dan kapasitas penampang yang besar terjadi pada *Top Cord* dengan  $V_n$  sebesar 13.46 kN dan  $V_u$  sebesar 26.11 kN.. Hasil analisis didapatkan nilai defleksi sebesar 9.9 mm, nilai defleksi ini masih lebih kecil dari nilai defleksi izin (Tabel 2) yaitu L/100 atau 10 cm.

Tabel 12. Hasil analisis kapasitas jembatan bentang 10 m

No	Jenis Elemen Struktur	Kapasitas Batang											
		Pu (N)	Pn (N)	Check	Tu (N)	Tn (N)	Check	Mu (N.mm)	Mn (N.mm)	Check	Vu (N)	Vn (N)	Check
1	Bottom Chord	0	24044	OK	7377	26112	OK	3048	293760	OK	12	26112	OK
2	Top Chord	2186	24044	OK	883	26112	OK	1477	293760	OK	13467	26112	OK
3	Diagonal Member	8313	24044	OK	2020	26112	OK	2020	293760	OK	6	26112	OK
4	Diaphragm	0	24044	OK	3874	26112	OK	544	293760	OK	6809	26112	OK
5	Bracing	6809	24044	OK	0	26112	OK	1756	293760	OK	70	26112	OK
6	Vertikal Member	13254	24044	OK	0	26112	OK	3106	293760	OK	8	26112	OK

Sambungan direncanakan menggunakan pelat buhul baja dengan tebal 3 mm dan alat

sambung baut dengan diameter 10 mm. Kode mutu baut yang digunakan 4.6 hal ini

menunjukkan bahwa baut memiliki nilai  $f_u$  (400 MPa),  $f_y$  (240 MPa) dan  $f_{yb}$  (320 MPa).

Tabel 13. Hasil analisis sambungan

N Baut	S (1/6d <sup>3</sup> )	Myb (Fyb.S)	Moda I (kN)	Moda II (kN)
1	166.67	53333.33	7.53	13.92
2			15.05	27.84

Hasil analisis moda kegagalan (Tabel 13) yang menunjukkan moda I memiliki nilai yang lebih kecil mengindikasikan bahwa kegagalan yang akan terjadi pada gagal tumpu pada kayu. Hal ini terjadi karena kekuatan tumpu kayu lebih kecil dibandingkan dengan kuat

leleh baja, sehingga gagal tumpu akan terjadi lebih dahulu sebelum baut atau pelat buhul mengalami leleh. Berdasarkan nilai tersebut maka ditetapkan bahwa tiap sambungan digunakan 2 buah baut.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan disimpulkan bahwa: 1) Kayu jati hutan rakyat Blora termasuk dalam kode mutu E11; 2) Jika ditinjau dari kapasitas kekuatan elemen

struktur dan sambungan, jembatan dapat digunakan hingga bentang 10 m dimana nilai defleksi yang terjadi sebesar 9.9 mm lebih kecil dibandingkan dengan defleksi izin sebesar 10 cm.

Rakyat Gunung Kidul. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan UGM.

### DAFTAR RUJUKAN

- [1] Awaludin, A. (2005). *Dasar-Dasar Perencanaan Sambungan Kayu* (Pertama ed.). Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS JTSL FT UGM.
- [2] Awaludin, A., & Irawati, I. S. (2002). *Konstruksi Kayu* (Pertama ed.). Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS Jurusan Teknik Sipil FT UGM.
- [3] Deo, Y.A.H. (2014). Analisis Dinamis Struktur Jembatan Gantung Akibat Beban Pejalan Kaki Berbergerak. Yogyakarta: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum. (2010). *Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki*.
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga. (1995). *Perencanaan Jembatan Penyeberangan Pejalan Kaki diperkotaan*.
- [6] Lumandaru, G. dkk. (2010). *Sifat Pertumbuhan Kayu Jati Dari Hutan*
- [7] Eriksson, P. dkk. (2013). *Vibration Response Of Lightweight Pedestrian Bridges*. Goteborg, Sweden : Master's Thesis.
- [8] Marsoem Sri Nugroho. (2012). *Studi Mutu Kayu Jati di Hutan Rakyat Gunung Kidul*. Yogyakarta: Jurnal Ilmu Kehutanan.
- [9] SNI 03-6848. (2002). *Metode Pengujian Berat jenis Bantang Kayu dan Kayu Struktur Bangunan*. Bandung: BSN.
- [10] SNI 7973. (2013). *Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu*. Bandung: BSN.
- [11] Supriyadi, B., & Muthohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta. Beta Offset
- [12] Yayasan Dana Normalisasi Indonesia. (1979). *Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) 1961*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan