

KAJIAN PEMANFAATAN KABEL PADA PERANCANGAN JEMBATAN RANGKA BATANG KAYU

Estika¹ dan Bernardinus Herbudiman²

¹Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Jl. PHH. Mustofa 23 Bandung 40124
e-mail: tiqa_chantique@yahoo.com

² Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung,
Jl. PHH. Mustofa 23 Bandung 40124, e-mail:herbudiman@itenas.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan transportasi yang terjadi di pedesaan salah satunya disebabkan oleh hambatan arus lalu lintas berupa sungai, danau ataupun jurang. Jembatan rangka batang kayu merupakan pilihan yang efektif dan efisien untuk masalah tersebut. Keunggulan jembatan rangka batang kayu dibandingkan dengan jembatan lainnya, antara lain: lebih ringan, bahan-bahan mudah didapat dengan biaya yang relatif murah, mudah pengerjaannya, memiliki nilai estetika, arsitektur dan dekoratif yang tinggi. Dalam merancang jembatan yang aman namun cukup ekonomis, yang harus diperhatikan adalah bagaimana menentukan pilihan dimensi yang sesuai. Jembatan rangka batang memiliki beberapa elemen struktur, seperti gelagar melintang, gelagar memanjang, batang bawah, batang tegak dan batang diagonal. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan 6 variasi bentuk jembatan rangka dengan perletakan sederhana dengan bentang 20 meter, lebar 4 meter serta tinggi jembatan di tengah bentang sebesar 3 meter. Diantara ke 6 model tersebut, ada beberapa model yang memanfaatkan kabel baja dengan kuat leleh f_y 1670 MPa sebagai batang tarikannya. Kombinasi pembebanan dan pembebanan pada jembatan berdasarkan RSNI T-02-2005, tentang peraturan pembebanan untuk jembatan. Penelitian ini dianalisa dengan bantuan software SAP 2000 sehingga didapatkan model dan dimensi penampang yang paling aman dan ekonomis. Parameter batas layan yang diperiksa adalah kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, kuat geser dan lendutan. Selanjutnya, pengaruh variasi dimensi dan pemanfaatan kabel baja terhadap batas layan diperiksa. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa jembatan yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya dengan model batang atas sejajar batang bawah merupakan model yang paling ekonomis, aman dan lendutan yang dihasilkan juga sangat kecil yaitu 12,38% dari lendutan izinnya. Untuk kabel yang digunakan sebagai *bracing* saja khususnya *bracing* silang di dalam rangka-nya menjadikan lendutan cenderung mengecil sebesar 14,43% dari lendutan izinnya sedangkan kabel yang digunakan sebagai *bracing* dan batang bawah menjadikan lendutan membesar sebesar 16,8% - 17,2% dari lendutan izinnya.

Kata kunci: jembatan, rangka batang kayu, kabel, *bracing*, lendutan

1. PENDAHULUAN

Jembatan rangka batang kayu merupakan pilihan yang efektif dan efisien untuk menyebrangi sungai, danau atau jurang. Keunggulan jembatan rangka batang kayu dibandingkan dengan jembatan lainnya, antara lain: lebih ringan, lebih ekonomis, bahan-bahan mudah didapat dengan biaya yang relatif murah, mudah pengerjaannya, memiliki nilai estetika, arsitektur dan dekoratif yang tinggi (Yap, F., 1992).

Jembatan rangka batang kayu merupakan suatu konstruksi jembatan kayu yang menggunakan struktur rangka batang yang terdiri dari sejumlah batang yang disambung sehingga apabila diberi beban pada titik buhul (titik pertemuan antar batang), maka struktur tersebut akan menyalurkan beban ke tumpuan sebagai gaya aksial (tarik atau tekan) pada batang-batangnya (Dewobroto, W., 2007). Jembatan rangka batang memiliki beberapa elemen struktur, seperti gelagar melintang, gelagar memanjang, batang tegak, batang bawah dan batang diagonal. Untuk menghasilkan jembatan yang lebih indah dan kokoh digunakan kabel baja sling. Kekakuan kabel terhadap gaya lateral sepenuhnya adalah dari gaya aksial tarik karena kabel sangat lentur jika tidak diberi tegangan tarik.

Tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan pemodelan pembebanan pada jembatan dan mengetahui kemampuan jembatan untuk menahan beban-beban yang bekerja, menentukan dimensi yang sesuai sehingga didapat jembatan yang aman namun cukup ekonomis, menganalisa beberapa variasi bentuk rangka untuk mengetahui dimensi paling ekonomis, menganalisa pemanfaatan kabel pada perancangan jembatan rangka batang kayu.

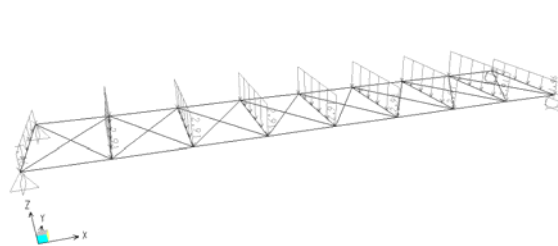
2. METODE PENELITIAN

Pemodelan papan lantai jembatan

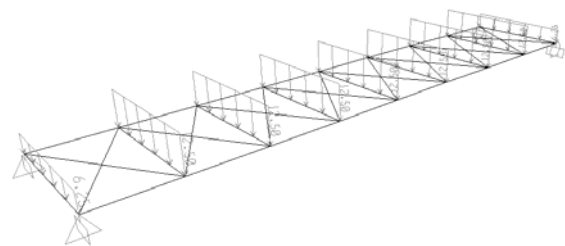
Pemodelan papan lantai jembatan dimulai dengan menentukan beban rencana (beban mati dan beban hidup), menentukan dimensi dan pengkayuan plat lantai jembatan. Selanjutnya beban mati dan beban hidup tersebut diperiksa keamanannya terhadap papan bawah. Bila kontrol tegangan yang terjadi lebih kecil dari kontrol tegangan ijin maka papan lantai tersebut aman untuk digunakan.

Perhitungan pembebanan jembatan

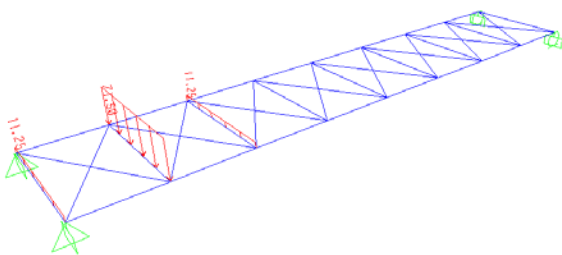
Pembebanan pada jembatan terdiri dari beban mati dan beban hidup (beban pejalan kaki dan beban lajur). Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Beban mati pada jembatan ini terdiri dari tebal papan lantai kendaraan sebesar 0,12 m, jarak antar gelagar melintang 2,5 m, berat jenis kayu 8 kN/m³, sehingga beban mati (q_{DL}) akibat pelat jembatan sebesar 2,4 kN/m dan beban mati (q_{DL}) akibat balok memanjang ukuran 8*16 cm adalah sebesar 0,512 kN/m sehingga beban mati yang diterima per gelagar melintang sebesar 2,912 kN/m, seperti tampak pada Gambar 1. Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak, lalu lintas atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Menurut RSNI T-02-2005, beban hidup pada jembatan ini terdiri dari beban pejalan kaki (q_{LL}) sebesar 5 kN/m², sehingga beban hidup yang diterima per gelagar melintang sebesar 12,5 kN/m seperti tampak pada Gambar 2 dan beban lajur yang terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) sebesar 9 kN/m² untuk q (beban terbagi rata) dan 49 kN/m untuk beban garis. Sehingga beban yang diterima gelagar melintang (segmen ujung) = $9 \text{ kN/m}^2 \times 2,5 \text{ m} / 2 = 11,25 \text{ kN/m}$ dan beban diterima gelagar melintang yang juga menumpu beban garis (segmen tengah) = $(9 \text{ kN/m}^2 \times 2,5 \text{ m}) + 49 \text{ kN/m} = 22,5 \text{ kN/m} + 49 \text{ kN/m} = 71,5 \text{ kN/m}$. Selanjutnya, beban lajur di input ke SAP sebagai beban merata dan beban garis dengan 4 posisi yaitu LL 1 seperti terlihat pada Gambar 3, LL 2 pada Gambar 4, LL 3 pada Gambar 5 dan LL 4 pada Gambar 6.



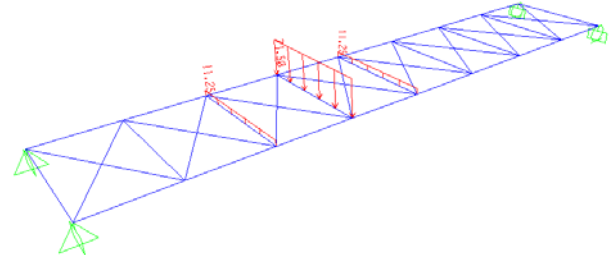
Gambar 1. Beban Mati (beban merata) kN/m



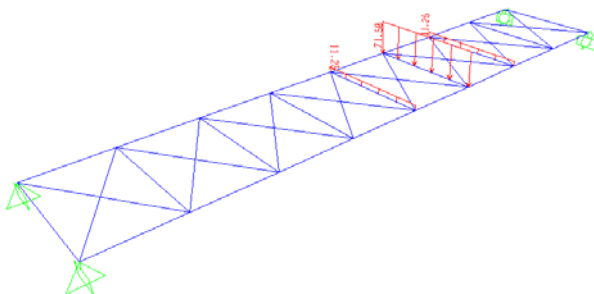
Gambar 2. Beban Pejalan kaki (beban merata) kN/m



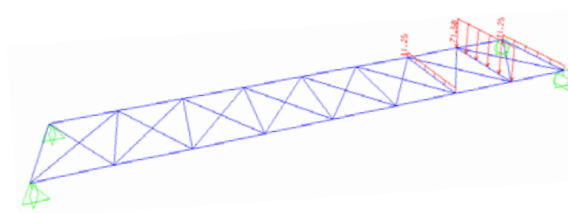
Gambar 3. Beban lajur LL 1 kN/m



Gambar 4. Beban lajur LL 2 kN/m



Gambar 5. Beban lajur LL 3 kN/m



Gambar 6. Beban lajur LL 4 kN/m

Analisis struktur

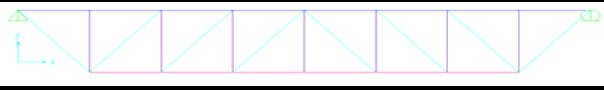
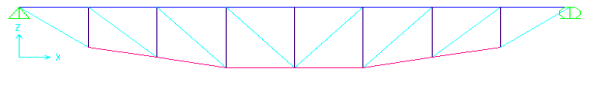
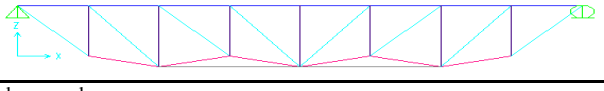
Data geometri jembatan rangka batang adalah sebagai berikut:

Jenis Model: Jembatan rangka batang; Bentang: 20 m; Lebar Jembatan: 4 m; Tinggi tengah bentang jembatan: 3 m; Lebar Jalan: 3 m; Trotoar: 0,5 m (2 x 0,5 m = 1 m); Type Lantai kendaraan: *Deck Type Truss* (lantai kendaraan terletak dibagian atas konstruksi pemikul utama); Lantai Kendaraan: Papan lantai dari kayu; Tumpuan Perletakan: Sendi, Rol; Jumlah segmen: 8 segmen; Bahan Konstruksi: Kayu Mutu B; Mutu: Kode Mutu E11. Sambungan: Paku 3-in, 5-in dan baut D 18 mm; Perkuatan: Kabel sebagai batang tarik; Modulus elastisitas: 10000 MPa; Angka poisson, μ : 0,2; Mass per unit volume: $7,997E-10$ N/mm³; Weight per unit volume: $7,845E-06$ N/mm³; Diameter kabel baja: D 40 mm; Mutu baja (f_y): 1670 MPa.

Selanjutnya model struktur dirakit dengan *software* SAP 2000, data geometri tersebut dimasukkan ke dalam lembar isian data geometri struktur, setelah itu mengidentifikasi material, mengidentifikasi *frame section*, mengidentifikasi kabel, menggambar model, mengidentifikasikan perletakan, mengidentifikasi *load cases*, mengidentifikasi beban dan mengidentifikasi kombinasi beban. Setelah itu, *release moment*, karena batang-batang *Truss* dianggap hanya menerima beban aksial dan tidak menerima momen sehingga perlu melepas atau menghilangkan kemampuan batang untuk memikul momen.

Merencanakan atau mendesain sebuah jembatan merupakan bagian terpenting dalam proses pembangunan struktur jembatan. Dalam merancang sebuah jembatan diperlukan model, dimensi penampang, material dan nilai keindahan yang sesuai agar tercipta jembatan yang kokoh, indah dan ekonomis. Oleh karena itu, dirancang beberapa variasi bentuk rangka jembatan yang selanjutnya didesain dengan material dan dimensi yang berbeda-beda sebagai bahan perbandingan, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk rangka jembatan

Model	Bentuk rangka	Material	
		Kayu	Baja
A. 1		√	
		√	xo
B. 1		√	
		√	xo
		√	CB
C. 1		√	XJ

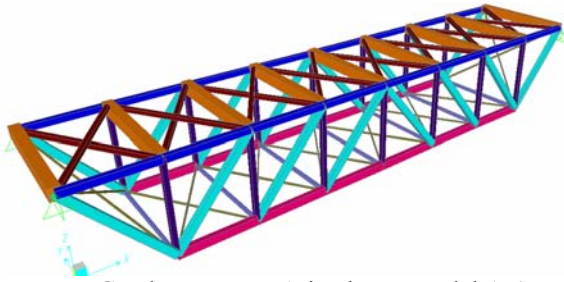
Ket : √ material kayu pada semua penampang
 O kabel baja pada *bracing* dan batang bawah
 X kabel baja pada *bracing* silang
 W kabel baja pada *bracing* bawah dan antar *joint*

Hasil pemodelan dan perhitungan analisis struktur jembatan rangka batang kayu dengan SAP versi 2000 dengan 6 model dapat dilihat sebagai berikut:

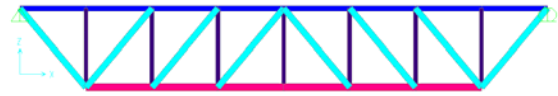
Model A-1

Data geometri jembatan model A-1 sebagai berikut: Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 18x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 14x16 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x24 cm, Dimensi rangka batang bawah 18x28 cm, Dimensi rangka batang bawah melintang 8x12 cm, Dimensi *bracing* bawah 4x6 cm, Dimensi *bracing* atas 14x14 cm, Material kayu.

Desain model A-1 dengan data penampang seperti diatas memiliki batang tepi atas yang sejajar dengan batang tepi bawah seperti tampak pada Gambar 7 dan Gambar 8. Untuk mengetahui apakah komponen struktur tarik, tekan, lentur dan geser yang telah direncanakan cukup aman, maka dilakukan pemeriksaan keamanan (Suryoatmono, B., 2005) yang harus memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan di Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu SNI 03-xxxx-2000. Gaya batang, momen dan geser maksimum dari setiap batangnya diperiksa keamanannya, seperti terlihat pada Tabel 2.



Gambar 7. *Extrude* jembatan model A-1



Gambar 8. Tampak samping jembatan model A-1

Tabel 2. Pemeriksaan keamanan model A-1

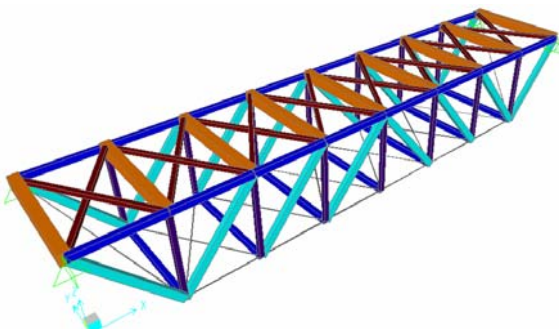
Frame	Ukuran Penampang	Panjang Batang	Penampang kayu								Ket
			Kuat tekan		Kuat Tarik		Kuat Lentur		Kuat Geser		
			Pu	$\lambda^* c^* P^*$	Tu	$\lambda^* t^* T$	Mu	$\lambda^* b^* M^*$	Vu	$\lambda^* v^* V^*$	
cm	m	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN		
Gelagar melintang	30 * 36	4					-87.283	87.815	130.924	194.4	ok
Gelagar memanjang	18 * 20	2.5	-465.411	489.768							ok
Batang tegak	14 * 16	3	-130.924	178.786	140.736	238.336					ok
Batang diagonal	18 * 24	3.905	-237.965	338.019	364.049	459.648					ok
Batang bawah melintang	8 * 12	4	-9.703	15.99							ok
Batang bawah	18 * 28	2.5			516.018	536.256					ok
Bracing Bawah	4 * 6	5.59			9.249	25.536					ok
Bracing Atas	14 * 14	4.717	-58.863	69.906							ok

Menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu SNI 03-xxxx-2000, lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar $1/700 L$ atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar $1/425 L$ atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U_3) yang terjadi di tengah bentang sebesar 44,261 mm (untuk beban kendaraan dan pejalan kaki), lebih kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model A-1 ini sebanyak 12,42 m³ kayu.

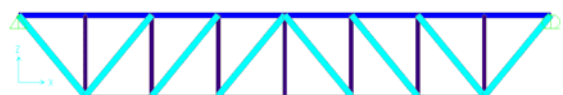
Model A-2

Data geometri jembatan model A-2 sebagai berikut: Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 18x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 14x16 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x24 cm, Dimensi rangka batang bawah D 40 mm, Dimensi rangka batang bawah melintang 16x24 cm, Dimensi *bracing* bawah D 40 mm, Dimensi *bracing* atas 14x14 cm, Material kayu dan baja.

Desain model A-2 tersebut dapat dilihat pada Gambar 9 untuk *extrude* jembatan model A-2 dan Gambar 10 untuk tampak samping jembatan model A-2.



Gambar 9. *Extrude* jembatan model A-2



Gambar 10. Tampak samping jembatan model A-2

Pemeriksaan keamanan untuk gelagar melintang, gelagar memanjang dan batang tegak pada model A-2 sama seperti pada model A-1, tetapi kuat tarik pada batang diagonal menjadi 318,773 kN dan kuat tekan pada batang bawah melintang menjadi -127,198 kN serta batang bawah dan *bracing* bawah yang menggunakan kabel baja mengalami kuat tarik masing – masing sebesar 479,077 kN dan 74,999 kN.

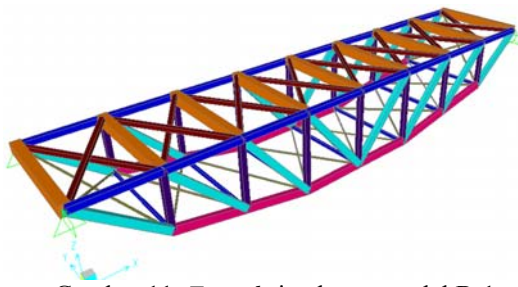
Lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar $1/700 L$ atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar $1/425 L$ atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U_3) yang terjadi di tengah bentang 4,8 mm (untuk berat sendiri) lebih

kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model A-2 ini sebanyak 11,53 m³ kayu dan 1113,69 kg baja.

Model B-1

Data geometri jembatan model B-1 sebagai berikut: Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Tinggi minimum jembatan 2 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 20x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 16x20 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x26 cm, Dimensi rangka batang bawah 18x30 cm, Dimensi rangka batang bawah melintang 8x14 cm, Dimensi *bracing* bawah 4x6 cm, Dimensi *bracing* atas 14x16 cm, Material kayu.

Desain model B-1 tersebut dapat dilihat pada Gambar 11 untuk *extrude* jembatan model B-1 dan Gambar 12 untuk tampak samping jembatan model B-1. Pemeriksaan keamanan untuk model B-1 seperti terlihat pada Tabel 3.



Gambar 11. *Extrude* jembatan model B-1



Gambar 12. Tampak samping jembatan model B-1

Tabel 3. Pemeriksaan keamanan model B-1

Frame	Ukuran Penampang	Panjang Batang	Penampang kayu								Ket
			Kuat tekan		Kuat Tarik		Kuat Lentur		Kuat Geser		
			Pu	$\lambda^* c^*P'$	Tu	$\lambda^* t^*T'$	Mu	$\lambda^* b^*M'$	Vu	$\lambda^* v^*V'$	
cm	m	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN		
Gelagar melintang	30 * 36	4					-87.283	87.815	130.924	194.4	ok
Gelagar memanjang	20 * 20	2.5	-486.39	584.34							ok
Batang tegak	16 * 20	3	-213.476	312.572							ok
Batang diagonal	18 * 26	3.905	-35.072	366.188	450.385	497.952					ok
Batang bawah melintang	8 * 14	4	-9.415	18.655							ok
Batang bawah	18 * 30	2.55			494.017	574.56					ok
Bracing Bawah	4 * 6	5.124			8.404	25.536					ok
Bracing Atas	14 * 16	4.717	-61.202	79.892							ok

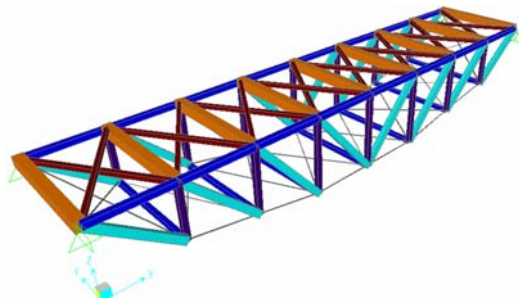
Lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar 1/700 L atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar 1/425 L atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U3) yang terjadi di tengah bentang sebesar 47 mm (untuk beban kendaraan dan pejalan kaki), lebih kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model B-1 ini sebanyak 13,20 m³ kayu.

Model B-2

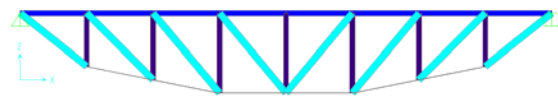
Data geometri jembatan model B-2 :

Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Tinggi minimum jembatan 2 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 20x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 16x20 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x26 cm, Dimensi rangka batang bawah D 40 mm, Dimensi rangka batang bawah melintang 16x20 cm, Dimensi *bracing* bawah D 40 mm, Dimensi *bracing* atas 14x16 cm, Material kayu dan baja.

Desain model B-2 tersebut dapat dilihat pada Gambar 13 untuk *extrude* jembatan model B-2 dan Gambar 14 untuk tampak samping jembatan model B-2.



Gambar 13. *Extrude* jembatan model B-2



Gambar 14. Tampak samping jembatan model B-2

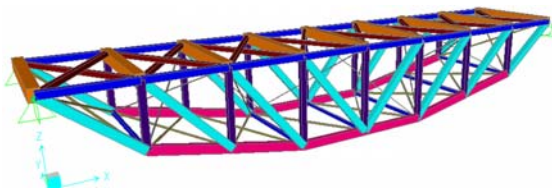
Pemeriksaan keamanan untuk gelagar melintang, gelagar memanjang dan batang tegak pada model B-2 sama seperti pada model B-1, tetapi kuat tarik pada batang diagonal menjadi 414,725 kN dan kuat tekan pada batang bawah melintang menjadi -113,613 kN serta batang bawah dan *bracing* bawah yang menggunakan kabel baja mengalami kuat tarik masing – masing sebesar 461,63 kN dan 68,361 kN.

Lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar 1/700 L atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar 1/425 L atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U3) yang terjadi di tengah bentang sebesar 4,913 mm (untuk beban kendaraan dan pejalan kaki), lebih kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model B-2 ini sebanyak 11,96 m³ kayu dan 1100,8 kg baja.

Model B-3

Data geometri jembatan model B-3 sebagai berikut: Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Tinggi minimum jembatan 2 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 20x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 16x20 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x26 cm, Dimensi rangka batang bawah 18x30 cm, Dimensi rangka batang bawah melintang 8x14 cm, Dimensi *bracing* bawah 4x6 cm, Dimensi *bracing* atas 14x16 cm, Dimensi *bracing* silang D 40 mm, Material kayu dan baja.

Desain model B-3 tersebut dapat dilihat pada Gambar 15 untuk *extrude* jembatan model B-3 dan Gambar 16 untuk tampak samping jembatan model B-3. Pemeriksaan keamanan model B-3 seperti terlihat pada Tabel 4.



Gambar 15. *Extrude* jembatan model B-3



Gambar 16. Tampak samping jembatan model B-3

Tabel 4. Pemeriksaan keamanan model B-3

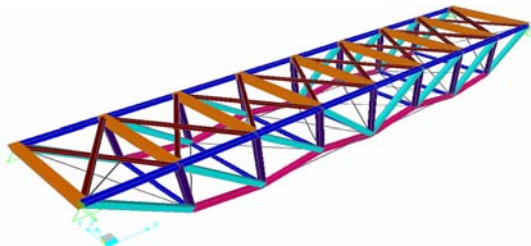
Frame	Ukuran Penampang	Panjang Batang	Penampang kayu								Penampang baja		Ket
			Kuat tekan		Kuat Tarik		Kuat Lentur		Kuat Geser		Kuat tarik		
			Pu	$\lambda^* c^*P'$	Tu	$\lambda^* t^*T'$	Mu	$\lambda^* b^*M'$	Vu	$\lambda^* v^*V'$	Pu	$0.75^* Ae^*fu$	
cm	m	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kN		
Gelagar melintang	30 * 36	4					-87.283	87.815	130.924	194.4			ok
Gelagar memanjang	20 * 20	2.5	-473.662	584.34									ok
Batang tegak	16 * 20	3	-186.052	312.572									ok
Batang diagonal	18 * 26	3.905	-37.101	366.188	448.802	497.952							ok
Batang bawah melintang	8 * 14	4	-10.087	18.655	32.528	119.168							ok
Batang bawah	18 * 30	2.55			508.745	574.56							ok
Bracing Bawah	4 * 6	5.124			10.938	25.536							ok
Bracing Atas	14 * 16	4.717	-51.076	79.892									ok
Bracing silang	D4	5.59									24.157	1753.009	ok

Lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar 1/700 L atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar 1/425 L atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U3) yang terjadi di tengah bentang sebesar 46,10 mm (untuk beban kendaraan dan pejalan kaki) lebih kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model B-3 ini sebanyak 13,20 m³ kayu dan 666,51 kg baja.

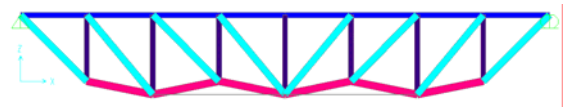
Model C-1

Data geometri jembatan model C-1 sebagai berikut : Bentang 20 m, Lebar jembatan 4 m, Tinggi tengah bentang jembatan 3 m, Tinggi minimum jembatan 2,5 m, Dimensi gelagar melintang 30x36 cm, Dimensi gelagar memanjang 20x20 cm, Dimensi rangka batang tegak 16x20 cm, Dimensi rangka batang diagonal 18x26 cm, Dimensi rangka batang bawah 18x28 cm, Dimensi rangka batang bawah melintang 12x18 cm, Dimensi *bracing* bawah D 40 mm, Dimensi *bracing* atas 14x14 cm, Material kayu dan baja.

Desain model C-1 tersebut dapat dilihat pada Gambar 17 untuk *extrude* jembatan model C-1 dan Gambar 18 untuk tampak samping jembatan model C-1. Pemeriksaan keamanan model C-1 seperti terlihat pada Tabel 5.



Gambar 17. *Extrude* jembatan model C-1



Gambar 18. Tampak samping jembatan model C-1

Tabel 5. Pemeriksaan keamanan model C-1

Frame	Ukuran Penampang	Panjang Batang	Penampang kayu								Penampang baja		Ket		
			Kuat tekan		Kuat Tarik		Kuat Lentur		Kuat Geser		Kuat tarik				
			Pu	$\lambda^* c^*P'$	Tu	$\lambda^* t^*T'$	Mu	$\lambda^* b^*M'$	Vu	$\lambda^* v^*V'$	Pu	$0.75^* A_e^* f_u$			
cm	m	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	kN	kN				
Gelagar melintang	30 * 36	4													ok
Gelagar memanjang	20 * 20	2.5	-519.864	642.774											ok
Batang tegak	16 * 20	3	-227.707	312.572	3.716	340.48									ok
Batang diagonal	18 * 26	3.905	-90.161	366.188	359.099	497.952									ok
Batang bawah melintang	12 * 18	4	-58.106	78.615											ok
Batang bawah	18 * 28	2.55			324.153	536.256									ok
	D 4										222.267	1753.009			ok
Bracing Bawah	D 4											65.585	1753.009		ok
Bracing Atas	14 * 14	4.717	-59.647	69.906											ok

Lendutan izin akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebesar 1/700 L atau 28,57 mm. Berdasarkan AASHTO-LRFD 2005 3rd Edition, lendutan izin akibat beban kendaraan dan pejalan kaki dibatasi sebesar 1/425 L atau 47,06 mm. Lendutan vertikal maksimum (U3) yang terjadi di tengah bentang sebesar 45,97 mm lebih kecil dari lendutan izinnnya. Material yang dibutuhkan untuk model C-1 ini sebanyak 13,11 m³ kayu dan 1004,07 kg baja.

3. PEMBAHASAN

Dari 6 variasi model jembatan yang mempunyai bentuk rangka, dimensi, material dan pemanfaatan kabel sebagai perkuatan untuk batang tarik yang ditempatkan berbeda-beda, terlihat bahwa semua dimensi elemen rangka batang memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan semua beban yang dipercayakan kepadanya, karena gaya dan lendutan yang terjadi selalu lebih kecil dari yang diizinkan.

Lendutan menjadi salah satu syarat batas yang harus dipenuhi dalam perencanaan jembatan rangka batang kayu. Pada struktur rangka batang kayu, diberikan syarat izin lendutan sebesar L/700 untuk lendutan struktur jembatan akibat berat sendiri dan muatan tetap serta L/425 akibat beban kendaraan dan pejalan kaki. Perencana harus dapat mengasumsikan dimensi yang paling ekonomis agar dapat memberikan hasil lendutan yang tidak melebihi lendutan izinnnya. Lendutan hasil perhitungan analisis struktur dari beberapa ukuran dan dimensi yang berbeda-beda serta pemanfaatan kabel sebagai batang tarik pada beberapa model ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kebutuhan bahan konstruksi dan lendutan

Model	Dimensi									Kebutuhan kayu	Kebutuhan baja	Lendutan		
	Gelagar melintang	Gelagar memanjang	Batang tegak	Batang diagonal	Batang bawah	Batang bawah melintang	Bracing atas	Bracing bawah	Bracing silang			akibat berat sendiri	akibat beban mati	akibat beban hidup
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm			mm	mm	mm
A-1	30*36	18*20	14*16	18*24	18*28	8*12	14*14	4*6	-	12.42	-	3.537	3.282	14.09
A-2	30*36	18*20	14*16	18*24	D4	16*24	14*14	D4	-	11.53	1113.69	4.802	4.388	18.837
B-1	30*36	20*20	16*20	18*26	18*30	8*14	14*16	4*6	-	13.20	-	3.95	3.507	15.054
B-2	30*36	20*20	16*20	18*26	D4	16*20	14*16	D4	-	11.96	1100.80	4.913	4.398	18.88
B-3	30*36	20*20	16*20	18*26	18*30	8*14	14*16	4*6	D4	13.20	666.51	4.123	3.402	14.605
C-1	30*36	20*20	16*20	18*26	18*28	12*18	14*14	D4	-	13.11	1004.07	4.132	3.402	14.604

Dari Tabel 12 terlihat bahwa untuk model yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya, model A-1 yang batang atasnya sejajar dengan batang bawah dan menggunakan dimensi penampang yang lebih kecil sehingga lebih ekonomis terlihat dari kayu yang dibutuhkan hanya 12,42 m³ kayu, memiliki lendutan yang sangat kecil yaitu 12,38% dari lendutan izinnya. Jadi, model A-1 lebih efektif dan ekonomis dibanding dengan model B-2 yang batang bawahnya bersegi melengkung serta dimensi yang lebih besar.

Untuk model jembatan yang menggunakan kabel baja sebagai batang tariknya, model A-2 dan model B-2 yang menggunakan kabel baja sebagai *bracing* bawah dan batang bawahnya melendut lebih besar yaitu sebesar 16,8% dari lendutan izinnya untuk model A-2 dan 17,2% dari lendutan izinnya untuk model B-2. Begitu juga halnya yang terjadi pada model C-1 yang menggunakan kabel pada *joint* antar batang bawah dan *bracing* bawah, lendutannya lebih kecil dibanding dengan model A-2 dan B-2 yaitu sebesar 14,46 % dari lendutan izinnya. Tetapi, Model A-2, B-2 dan C-1 melendut lebih besar dibanding dengan model A-1 dan model B-1 yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya. Lain halnya dengan kabel baja yang digunakan sebagai *bracing* saja khususnya *bracing* silang didalam rangkanya memberikan kontribusi yang besar terhadap lendutan, lendutan yang dihasilkan lebih kecil yaitu 14,43 % dari lendutan izinnya serta lebih ekonomis terlihat dari baja yang dibutuhkan hanya 666,51 kg baja. Bahkan pemanfaatan kabel baja sebagai *bracing* seperti model B-3 dapat menjadikan lendutan akibat beban mati, beban hidup dan kombinasi beban antara keduanya menjadi lebih kecil dibanding dengan model B-1 yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya dengan bentuk rangka dan dimensi yang sama diantara kedua model tersebut seperti terlihat pada Tabel 7 dan Tabel 11.

Dari keenam model diatas, jembatan yang menggunakan material kayu untuk semua penampangnya seperti model A-1 lebih ekonomis dan aman dibandingkan yang menggunakan kabel baja terlihat dari volume kayu yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan model lainnya. Model A-1 juga memiliki kemampuan untuk menahan semua beban, tetap kokoh, aman dan stabil, terlihat Tabel 2 yang mana gaya yang terjadi selalu lebih kecil daripada kapasitas izinnya dan memiliki lendutan yang sangat kecil. Dilihat dari bentuknya, jembatan ini juga memiliki bentuk yang estetik, elegan dan simpel sehingga mudah dalam pengerjaannya.

4. KESIMPULAN

Tugas akhir ini berisikan kajian pemanfaatan kabel pada perancangan jembatan rangka batang kayu. Dari studi ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Model A-1 merupakan model yang paling ekonomis, kokoh, aman dan indah, karena membutuhkan volume kayu yang paling sedikit, kapasitas yang sangat memadai untuk menahan beban yang bekerja dan lendutannya sangat kecil dibandingkan dengan model lainnya.
2. Model A-1 yang batang atasnya sejajar dengan batang bawah memiliki lendutan yang sangat kecil yaitu 12,38% dari lendutan izinnya, lebih efektif dan ekonomis dibanding dengan model B-2 yang batang bawahnya bersegi melengkung serta memiliki lendutan sebesar 13,82% dari lendutan izinnya.
3. Model A-2 yang menggunakan kabel baja pada *bracing* dan batang bawahnya melendut lebih besar 26,34% dari lendutan model A-1 yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya. Begitu juga halnya dengan model B-2 melendut lebih besar 19,60% dari lendutan model B-1.
4. Model C-1 yang menggunakan kabel pada *joint* antar batang bawah dan *bracing* bawah, lendutannya sebesar 14,46% dari lendutan izinnya. Lendutan tersebut lebih kecil dibanding model A-2 (16,8%) dan model B-2 (17,2%).
5. Kabel baja yang digunakan sebagai *bracing* saja khususnya *bracing* silang didalam rangkanya seperti model B-3 memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap lendutan, lendutan yang dihasilkan lebih kecil yaitu 14,43% dari lendutan izinnya, bahkan menjadikan lendutan model B-3 akibat beban mati, beban hidup dan kombinasi beban antara keduanya menjadi lebih kecil dibanding dengan model B-1 yang menggunakan material kayu pada semua penampangnya dengan bentuk rangka dan dimensi yang sama diantara kedua model tersebut, volume baja yang dibutuhkan model B-3 juga sangat sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. (2004). *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000. PT.* Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia, SNI 03-xxxx-2000. (2006) *Tata Cara Perencanaan Struktur Kayu.*
- Suryoatmono, B. (2007). *Struktur Kayu LRFD.* Diktat, Bandung.
- Sukirman, S. (2006). *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur.* Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Stalnaker, J, Harris, E. *Structural design in Wood.* Second Edition. International Thomson Publishing.
- Yap, F. (1992). *Konstruksi Kayu.* Bina Cipta.
- Standar Nasional Indonesia, RSNI T-02-2005. (2005) *Pembebanan untuk Jembatan.*