

PENGGUNAAN SISTEM STRUKTUR RANGKA ATAP TIPE PELENGKUNG 3 SENDI

Frederikus D. Ndouk ^[1], Mauritius I. R. Naikofi ^[1], Krisantos Ria Bela ^[1],
Don G.N da Costa ^[1,2]

^[1] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandira

^[2] Penulis Korespondensi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Katolik Widya Mandira

Email: pratama.dicky26@yahoo.com, mauritiushaikofi@yahoo.co.id, krisantos_bela@yahoo.com,
dnoesaku@gmail.com

ABSTRAK

Selama ini sistem struktur rangka atap gedung rumah tinggal dan perkantoran didominasi oleh tipe rangka konvensional. Penggunaan sistem struktur pelengkung 3 sendi hanya familiar untuk bangunan gudang dan sejenisnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kelayakan penggunaan tipe pelengkung 3 sendi pada atap gedung rumah tinggal dengan bentang 9 m. Skenario penelitian difokuskan pada perhitungan dengan menggunakan SNI 7973-2013 yaitu Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu dan metode Analisa Struktur Statis Tertentu untuk Struktur Pelengkung 3 Sendi berdasarkan panjang model bentang kuda-kuda yaitu 9 m dengan kemiringan atap 30°. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa 1). Tipe pelengkung 3 sendi layak digunakan karena tahanan tekan terkoreksi dan tariknya memenuhi kriteria keamanan 2). Jarak antara kuda-kuda rangka atap mempengaruhi stabilitas (dimensi) rangka batang. Implikasinya adalah bahwa pembangunan atap rumah tinggal dapat menggunakan sistem struktur pelengkung 3 sendi dengan bahan dasar material kayu Kode E20 dengan Mutu B.

Kata kunci: *Kemiringan Atap, Pelengkung 3 Sendi, Rangka Atap Kayu, Stabilitas Struktur.*

ABSTRACT

So far, the system of the roof structure of residential and office buildings is dominated by conventional frame types. The use of a 3-joint arch structure system is only familiar to warehouse buildings and the like. The purpose of this study is to identify the feasibility of using type 3 joint arches on the roof of a residential building. The research scenario is focused on calculations using SNI 7973-2013, namely Design Specifications for Wooden Construction and Specific Static Structural Analysis Methods for 3 Joint Arch Structures based on the length of the truss span model, which is 9 m. The calculation result indicates that 1). The 3-joint curve type is worth using as it proves stable and safe 2). The distance between the truss of the roof truss affects the dimensions of the truss. The implication is that the construction of the roof of a residential house can use a 3-joint arch structure system while the basic material for modeling uses Code E20 wood material with Quality B, depending on the length of the span and the slope of the roof.

Keywords: *Slope of Roof, 3 Joint Arch, Wooden Roof Frame, Structural Stability.*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung dalam hal ini rumah tinggal menjadi hal yang utama bagi

masyarakat karena termasuk kebutuhan pokok, namun tidak semua kelompok masyarakat dapat segera menyelesaikan pekerjaan pembangunan rumah tinggal mereka, karena adanya keterbatasan biaya. Tidak jarang ditemui bahwa sejumlah besar bangunan rumah masih tertunda pelaksanaan konstruksinya pada bagian struktur atap. Hal itu mengindikasikan bahwa terdapat atau adanya problem penyelesaian konstruksi dari aspek pendanaan. Sejalan dengan fenomena tersebut, terpikirkan bahwa diperlukan suatu upaya penelusuran faktor-faktor apa saja yang memengaruhi nilai konstruksi atap bangunan gedung. Dari sejumlah kemungkinan, hasil pemikiran awal mengarah pada pengaruh aspek desain/tipe struktur atap karena komponen rangka atap tersebut merupakan salah satu elemen struktur dengan biaya konstruksi yang tinggi. Biaya tinggi konstruksi tersebut tidak saja berasal dari komponen biaya material (biasanya menggunakan kayu Kelas I ataupun baja dan/atau baja ringan); serta bahan penutup atap genteng, sirip, spandek dan sejenisnya; namun juga dari komponen biaya kerja (ongkos tukang) dan peralatan kerja.

Selama ini tipe struktur rangka atap rumah tinggal maupun fasilitas umum lainnya mengikuti pola konvensional yaitu terdiri dari kaki kuda-kuda, batang tarik, batang tekan (tiang nok dan rangka penyokong). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kelayakan penggunaan tipe atap kayu konstruksi pelengkung 3 sendi sebagai pengganti model atap kayu konvensional. Pilihan tipe atap tersebut berkorelasi kuat dengan aspek biaya konstruksi (Pangaribuan, 2014) maupun keamanan bangunan terhadap beban gempa (Iswanto, 2007). Pada keamana bangunan, perencanaan perlu dilakukan berdasarkan acuan standar yang berlaku (Wijaya & Pranata, 2014) Dasar pertimbangannya adalah penggunaan tipe konstruksi pelengkung tiga sendi berdampak pada penggunaan jumlah elemen struktur rangka batang yang lebih sedikit dibandingkan dengan tipe kuda-kuda konvensional, sehingga lebih ringan dan mudah dikerjakan. Skenario analisis difokuskan pada simulasi nilai struktural model atap pelengkung tiga sendi untuk bentang hingga 9 m dan kemiringan atap 30°.

2. PERSYARATAN KAYU STRUKTURAL

2.1 Kuat Acuan Kayu

Berdasarkan modulus elastisitas lentur yang diperoleh secara mekanis, kuat acuan kayu dapat dilihat pada Tabel 1 dan rasio kekuatan berdasarkan kelas mutu kayu terdapat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kuat acuan kayu (MPa) berdasarkan pemilihan secara mekanis

Kode Mutu	Modulus elastisitas lentur, E_w	Kuat lentur, F_b	Kuat tarik sejajar serat, F_t	Kuat tekan sejajar serat, $F_{c//}$	Kuat tekan tegak lurus serat, $F_{c\perp}$	Kuat geser, F_v
E26	26000	71	65	54	24	6,9
E25	25000	67	63	53	23	6,8
E24	24000	64	60	52	22	6,7
E23	23000	61	57	50	21	6,5
E22	22000	58	54	4	20	6,4
E21	21000	54	51	47	19	6,2
E20	20000	51	48	45	18	6,1
E19	19000	48	45	43	17	5,9
E18	18000	45	42	41	16	5,7
E17	17000	41	39	40	15	5,6
E16	16000	38	36	39	14	5,4
E15	15000	35	33	36	13	5,3
E14	14000	32	30	35	12	5,1
E13	13000	29	27	33	11	5,0
E12	12000	25	24	31	11	4,8
E11	11000	22	21	29	10	4,7
E10	10000	19	18	29	9	4,5
E9	9000	16	15	26	8	4,3
E8	8000	12	12	24	7	4,2
E7	7000	9	9	22	6	4,1

Sumber: Sumarni, 2007

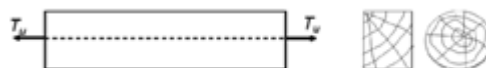
Tabel 2. Kelas mutu kayu.

Kelas Mutu	Rasio Kekuatan
A	0,80
B	0,63
C	0,50

Sumber: Sumarni, 2007

2.2 Batang Tarik

Batang tarik merupakan elemen struktur yang menerima gaya normal berupa gaya tarik. Menurut Sumarni (2007) komponen struktur tarik direncanakan dengan mengikuti Persamaan (1) :



Gambar 1. Batang Tarik

$$T_u \leq T' \quad (1)$$

Keterangan:

T_u = gaya tarik terfaktor, (kN atau N)

T' = tahanan tarik terkoreksi, (kN atau N)

Gaya atau tegangan tarik sejajar serat aktual didasarkan atas luas penampang neto dan tidak boleh melebihi nilai desain terkoreksi seperti dinyatakan pada Persamaan (2).

$$T' = F_t' \times A_n \quad (2)$$

Keterangan:

F_t' = kuat tarik sejajar serat terkoreksi, (N/mm²)

A_n = luas penampang neto, (mm²)

2.3 Batang Tekan

Batang tekan merupakan elemen struktur yang menerima gaya normal berupa gaya tekan. Menurut Sumarni (2007) komponen struktur tekan direncanakan dengan mengikuti Persamaan (3) dan Persamaan (4):



Gambar 2. Batang tekan

$$P_u \leq P' \quad (3)$$

$$P' = F_c' \times A_g \quad (4)$$

Keterangan:

P_u = gaya tekan terfaktor, (kN atau N)

P' = kapasitas tekan terkoreksi, (kN atau N)

F_c' = kuat tekan sejajar serat terkoreksi, (N/mm²)

A_g = luas penampang bruto, (mm²)

Analisa batang tekan harus memenuhi beberapa kriteria berikut:

1) Panjang efektif batang

Panjang batang tak terkekang atau panjang bagian batang tak terkekang, l , harus diambil sebagai jarak pusat ke pusat pengekang lateral. Panjang efektif batang tekan, l_e , untuk arah yang ditinjau diambil, $K_e.l$. Dimana K_e adalah faktor panjang tekuk untuk komponen struktur tekan. Nilai K_e untuk beberapa jenis kondisi kekangan ujung dan untuk keadaan goyangan serta tanpa goyangan dilihat pada Gambar 3.

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K_e teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai K_e yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,4
Kode ujung						

Gambar 3. Nilai faktor panjang tekuk
Sumber: SNI 7973-2013

2) Kelangsingan batang

Merupakan perbandingan antara panjang efektif batang pada arah yang ditinjau terhadap jari-jari girasi, i_x , penampang batang pada arah tersebut. Ditentukan dengan menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (6).

$$\frac{K_e \cdot l}{i_x} \leq 1,75 \quad (5)$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad (6)$$

Keterangan:

i_x = 0,289h (untuk penampang persegi)

I_x = momen inersia, (mm^4)

K_e = koefisien tekuk

l = panjang batang, (mm)

3) Tahanan tekan batang

Tahan tekan batang terkoreksi ditetapkan menggunakan Persamaan (7):

$$P' = C_p \times P_0' = C_p \times A \times F_c' \quad (7)$$

Keterangan:

C_p = faktor kestabilan batang tekan

P_0' = tahanan tekuk aksial terkoreksi sejajar serat

A = luas penampang, (mm^2)

F_c' = kuat tekan terkoreksi

Nilai C_p dihitung menggunakan Persamaan (8) sampai dengan Persamaan (10):

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (8)$$

Keterangan:

- c = konstanta batang tekan, dengan ketentuan sebagai berikut:
= 0,80, untuk batang masif
= 0,85, untuk tiang pancang bundar
= 0,90, untuk kayu laminasi structural

$$\alpha_c = \frac{\phi_s \cdot P_e}{\lambda \cdot \phi_c \cdot P_o} \quad (9)$$

Keterangan:

- ϕ_s = tahanan stabilitas = 0,85
 P_e = tahanan tekuk kritis (Euler)
 λ = faktor waktu
 ϕ_c = tahanan tekan = 0,9
 P_o = tahanan tekuk aksial terkoreksi sejajar serat

$$P_e = \frac{\pi^2 \cdot E'_{05} \cdot A}{\left(\frac{K_e \cdot L}{i_x}\right)^2} \quad (10)$$

Keterangan:

- E'_{05} = E_{05} x faktor koreksi
Faktor koreksi dari SNI 7973-2013 Tabel 4.3.1: faktor koreksi untuk kayu gergajian
 E_{05} = 0,67 E_w (MPa)

3. METODE PENELITIAN

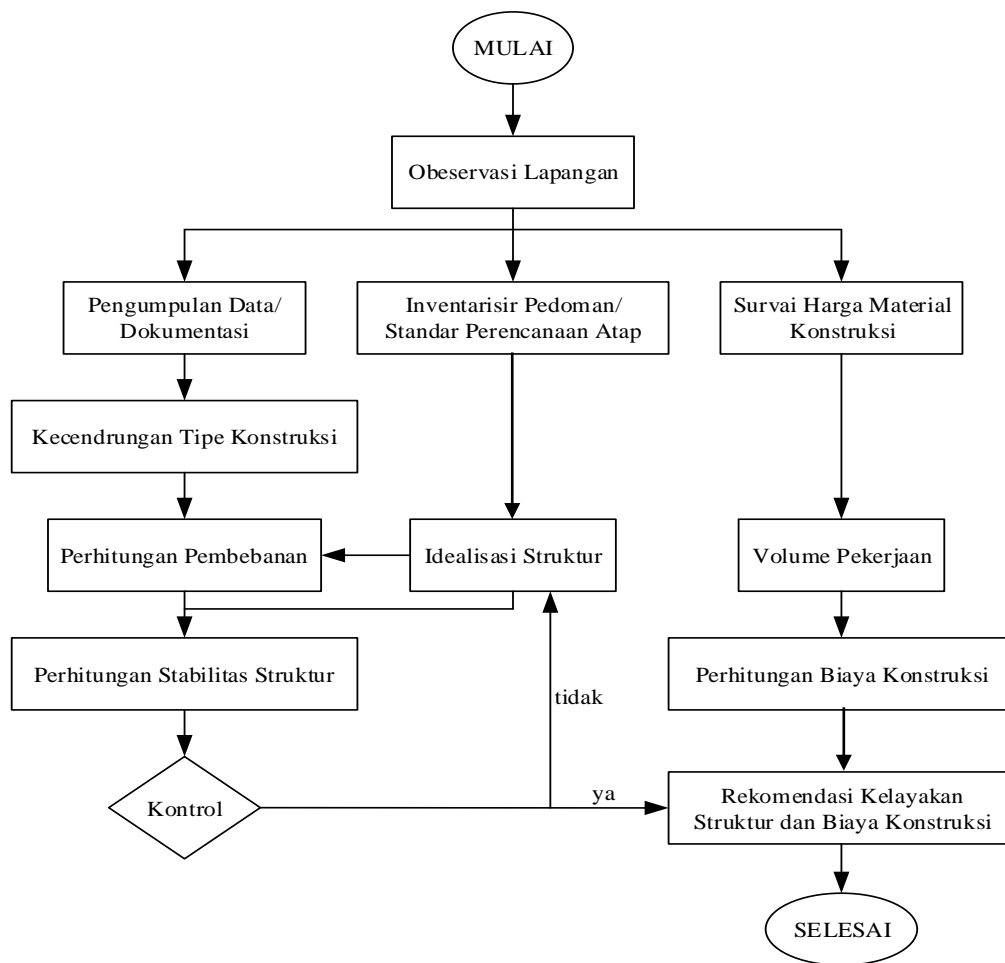
3.1 Jenis Data

Kombinasi data lapangan dan data literatur diperlukan untuk kajian penelitian ini. Data lapangan meliputi jenis dan tipe konstruksi atap bangunan rumah penduduk dalam kawasan perkotaan Kupang yang saat ini sedang dalam tahapan konstruksi. Nantinya, durasi konstruksi pekerjaan atap konvensional tersebut didata sebagai pembanding dan/atau informasi pendukung penelitian ini. Data sekunder diperoleh tidak saja dari hasil studi literatur namun juga dari berbagai buku pedoman dan/atau standar perencanaan konstruksi atap bangunan gedung di Indonesia.

3.2 Tahapan Penelitian

Jenis dan/atau tahapan penelitian yang direncanakan disajikan pada diagram alir penelitian Gambar 4. Luaran penelitian difokuskan pada aspek kelayakan teknis dan

ekonomi dari penggunaan tipe struktur kuda-kuda dan tipe pelengkung 3 sendi. Kelayakan teknis didasarkan pada nilai stabilitas strukturnya sedangkan kelayakan ekonomi didasarkan pada indikasi penghematan volume material konstruksi dan/atau biaya konstruksi (ongkos kerja tukang). Apabila tahanan tekan terkoreksi maupun tahanan tarik lebih kecil dari nilai yang diijinkan, maka penggunaan dimensi kuda-kuda dan jarak gording pada model pelengkung 3 sendi ini dinyatakan aman (tidak membahayakan keselamatan penggunaannya).



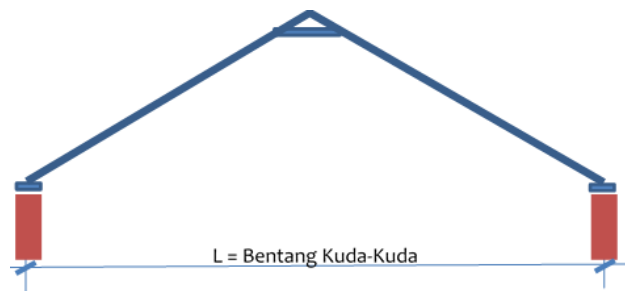
Gambar 4. Diagram alir penelitian.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Tipe Batang Tunggal dan Pemilihan Material Pelengkung 3 Sendi

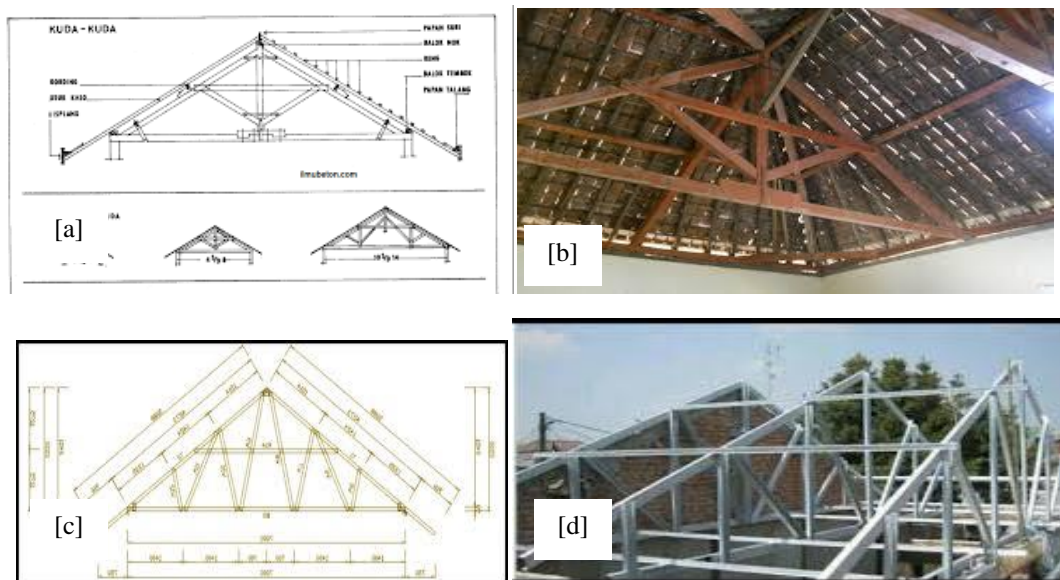
Tipe yang digunakan untuk perencanaan struktur rangka atap kuda-kuda adalah model pelengkung 3 sendi sebagaimana tertera pada Gambar 5. Konstruksi atap

menggunakan kuda-kuda kayu dengan panjang bentang 9 m. Kemiringan atap dipilih 30° karena berhubungan dengan berat beban yang dipikulnya (Meidani, dkk., 2018). Jenis material kayu relatif murah, mudah ditemukan, mudah dikerjakan serta memiliki nilai struktural yang tinggi. Nilai struktural dimaksud adalah memiliki kekuatan tekan dan tarik yang memadai karena beban utama yang dipikulnya adalah tegangan dan lendutan.



Gambar 5. Pemilihan tipe kuda-kuda pelengkung 3 sendi

Model pelengkung 3 sendi ini memungkinkan terjadinya penghematan material dan biaya konstruksi karena dalam model pelengkung 3 sendi ini tidak terdapat elemen batang tarik/tekan (tiang nok dan/atau batang penyokong kaki kuda-kuda) yang biasanya ada pada tipe struktur kuda-kuda konvensional sebagaimana terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 6. Tipe kuda-kuda atap konvensional

4.2 Analisa Pembebanan

1) Gording

Dimensi	b =	4	cm
	h =	12	cm
Jarak antara gording		1,2	m
Beban pada gording:			
Berat sendiri atap seng	=	80	N/m
Beban hidup	=	1000	N
Beban angin	=	450	N/m ²
Beban mati	=	108,8	N/m

Momen terfaktor

$$1,2 D + 1,6 L + 0,8 W_{\text{tekan}}$$

$$M_{ux} = 310,12 \text{ Nm}$$

$$M_{uy} = 519,18 \text{ Nm}$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,8 W_{\text{hisap}}$$

$$M_{ux} = 279,01 \text{ Nm}$$

$$M_{uy} = 519,18 \text{ Nm}$$

Kayu digunakan:

Kode : E20

Mutu : B

Kontrol tegangan lentur:

$$\frac{M_{ux \text{ tekan}}}{\lambda \cdot \phi \cdot M_x'} + \frac{M_{uy \text{ tekan}}}{\lambda \cdot \phi \cdot M_y'} \leq 1,00 \quad \text{hasil} : 0,02$$

$$\frac{M_{ux \text{ hisap}}}{\lambda \cdot \phi \cdot M_x'} + \frac{M_{uy \text{ hisap}}}{\lambda \cdot \phi \cdot M_y'} \leq 1,00 \quad \text{hasil} : 0,02$$

Kontrol lendutan balok:

Lendutan maksimum

$$\Delta_{\text{max}} = L/300 = 4 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\Delta_{\text{tot}} = \text{sqrt}(\Delta x^2 + \Delta y^2) < \Delta_{\text{max}} \quad 2,19 \text{ mm}$$

2) Kuda-kuda

Ukuran balok kuda kuda

	b =	8	cm
	h =	12	cm
Berat sendiri kuda kuda/ titik buhul		299,30	N
Beban akibat gording		34,56	N
Beban terhadap atap		96	N
Beban hidup		1000	N

Tabel 3. Beban angin isap dan angin tekan

Titik	Batang	Panjang (m)	Angin tekan (N)	Angin isap (N)
A	1	2,60	187,06	-374,12
B	2	2,60		-374,12
C	1	2,60	187,06	-374,12
	2	2,60		-374,12

Tabel 4. Beban per titik buhul

Joint	Beban (N)			
	Mati	Hidup	Angin Kiri	Angin Kanan
A	280,21	1000	187,06	
B	280,21	1000		-374,12
C	429,86	1000	187,06	-374,12

Tabel 5. Analisa gaya batang

Batang	Gaya akibat beban (N)			
	Mati	Hidup	Angin	Total
1	-508,53	-1183	0,00	-1691,54
2	-508,53	-1183	866,84	-824,70

Kontrol tahanan tekan terkoreksi:

$$P' = F_c' * A_{gross} = 18,04 \text{ kN} < 50 \text{ kN}$$

Kontrol tahanan tarik:

$$T_u = 1691,54 \text{ N}$$

$$T' = F_t' * A_n > T_u \quad 128019,90 \text{ N}$$

Penggunaan model rangka batang kuda-kuda dengan mutu kayu B, dimensi 8/12 untuk bentang 9 m kemiringan 30° aman untuk digunakan sebagai elemen struktur rangka atap tipe pelengkung 3 sendi. Dengan ketentuan antara lain: jarak antar kuda-kuda diperhatikan sesuai dengan perhitungan, karena berhubungan terhadap dimensi gording (balok) dengan kontrol terhadap lendutan balok yang terjadi.

Karena jumlah elemen struktur rangka kuda-kuda yang digunakan jauh lebih sedikit dari model kuda-kuda atap konvensional (tanpa tiang nok dan rangka pengaku kaki kuda-kuda) maka penggunaan tipe pelengkung 3 sendi ini terindikasi lebih murah dari penggunaan tipe kuda-kuda konvensional. Selain itu, efisiensi biaya konstruksi juga bersumber dari komponen biaya ongkos kerja tukang. Indikasi ini pada dasarnya sejalan dengan hasil studi Pangaribuan (2014) yang membandingkan efisiensi biaya konstruksi kuda-kuda kayu dan baja ringan.

6. PENUTUP

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa penggunaan konstruksi atap berbahan dasar kayu dengan sistem struktur pelengkung 3 sendi merupakan opsi strategis ekonomis karena penggunaan elemen rangka batang yang lebih sedikit dibandingkan dengan model struktur rangka atap kayu maupun baja ringan tipe konvensional, serta model struktur yang sederhana (hanya batang tekan & gording) tersebut terbukti aman dan hemat biaya material maupun ongkos kerja konstruksi.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Awaludin, A. (2005). *Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu*. Biro Penerbit KMTS UGM. Yogyakarta.
- Iswanto, D. (2007). Kajian Terhadap Struktur Rangka Atap Kayu Rumah Tahan Gempa Bantuan P2KP. *Jurnal Ilmiah Perancangan Kota dan Permukiman*, Vol. 6, No. 1 Maret. Yogyakarta.
- Massafra, A., Prati, D., Predari, G., and Gulli, R. (2020). *Wooden Truss Analysis, Preservation Strategies, and Digital Documentation Through Parametric 3D modeling and HBIM Workflow*. *Sustainability*, 2020, 12, 4975, [doi:10.3390/su12124975](https://doi.org/10.3390/su12124975).
- Meidiani, S., Riwayati, S., dan Imriany, D. (2018). Analisa Perbandingan Perencanaan Portal Frame Perletakkan Jepit-Jepit dan Sendi-Sendi dengan Variasi Kemiringan Sudut Atap. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 6, No. 2.
- Pangaribuan, M., R. (2014). Baja Ringan Sebagai Pengganti Kayu dalam Pembuatan Rangka Atap Bangunan Rumah Masyarakat. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol. 2, No. 4.
- Pynkyawati, T., Amiruloh, M., Asvitasari, A., Hakim, N., K., dan Ginanjar, E. (2015). Model Atap Bangunan Ramah Lingkungan Ditinjau dari Pengolahan Air Hujan pada Desain Kampus PT Dahana, Subang-Jawa Barat. *Jurnal Itenas*, Vol. 3, No. 1, <https://ir.lib.uwo.ca/etd/4851>.
- SNI 7973-2013. Spesifikasi Desain untuk Konstruksi Kayu. Badan Standarisasi Nasional (BSNI). Jakarta.
- Stevenson, S. (2017). *Analysis of Framing Failures in Wood-Frames Residential Roofs Under Wind Load*. Electronic Thesis and Dissertation Repository, 4851. The University of Western Ontario.
- Sumarni, S. (2007). *Struktur Kayu*. Lembaga Pengembangan Pendidikan (LPP) UNS dan UPT Penerbitan dan Percetakan UNS (UNS Press). Surakarta.
- Triono, Anggraeni, D., dan Ammar M. (2020). Pemodelan Struktur Rangka Atap Kayu Aula Bentang 15 M. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, Vol. 9, No. 1.
- Wijaya, Micahel dan Pranata, Y.A., 2014, Perancangan Perangkat Lunak Perencanaan Sambungan Kayu Berdasarkan SNI 7973-2013 dengan Alat Sambung Baut, *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no 2, 2014, 143-165. <https://doi.org/10.28932/jts.v10i2.1389>