

EVALUASI GAYA DALAM DAN BIAYA KONSTRUKSI PADA RAFTER BAJA BERBENTUK PELANA DAN LENGKUNG PADA BANGUNAN GUDANG DI BANYUWANGI

M. Shofi'ul Amin¹⁾, Ahmad Faiq Rois²⁾

¹⁾ Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, Hp 082336056463, email:

shofiul@poliwangi.ac.id

²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi, Hp 085236339293, email: ahmadfaiqrois@gmail.com

Abstrak: Saat ini bangunan gudang yang ada di Banyuwangi umumnya hanya menggunakan rafter berbentuk pelana. Pada bangunan gudang bentang panjang beberapa kota di Indonesia sudah menggunakan rafter bentuk lengkung. Penggunaan rafter lengkung dikarenakan bentuk tersebut sangat baik dalam menerima gaya aksial dan cocok digunakan pada bentang yang panjang. Gaya aksial pada rafter bentuk lengkung akan mengurangi momen. Dengan momen pada rafter lebih kecil maka dimensi profil akan lebih kecil. Oleh karena itu agar rafter bangunan gudang lebih kuat dan ekonomis maka perlu adanya analisis struktur dan biaya pada rafter baja berbentuk pelana dengan lengkung. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui yang paling efisien antara rafter baja bentuk pelana dan lengkung. Analisis dilakukan pada gudang dengan dimensi arah X (bentang rafter) = 15, 24 dan 30 meter. Untuk dimensi arah Y (jarak antar rafter) = 6 meter dan dimensi arah Z (tinggi rafter) = 8, 15, 24 dan 30 meter. Analisis struktur menggunakan bantuan program SAP 2000 versi 14.2.2. Hasil analisa didapatkan Gaya dalam pada bangunan gudang bentang 15 dan 24 meter dengan rafter bentuk lengkung sudut pangkal 33° lebih kecil dibanding dengan rafter pelana kemiringan atap 17°. Gaya dalam bangunan gudang bentang 30 meter dengan rafter bentuk lengkung sudut pangkal 17° dan 33° lebih kecil dibanding gudang dengan rafter bentuk pelana kemiringan atap 15°. Semakin panjang bentang bangunan gudang dengan rafter bentuk lengkung biayanya semakin ekonomis dibanding gudang dengan rafter bentuk pelana.

Kata Kunci: Rafter, Gudang, Pelana, Lengkung.

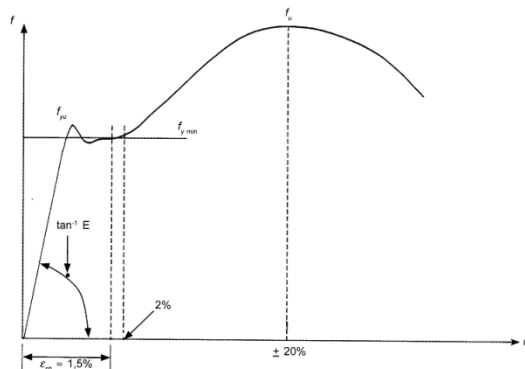
EVALUATION OF INTERNAL FORCE AND COST ON STEEL RAFTER CONSTRUCTION SHAPED ARCH SADDLE AND WAREHOUSE BUILDING IN BANYUWANGI

Abstract: Currently, the existing warehouse in Banyuwangi generally only use a saddle-shaped rafter. In the long-span warehouse building several cities in Indonesia have been using rafter curved shape. The use of curved rafter was caused by a condition that the shape could receive the axial forces properly and is suitably used for long spans. Axial force on a rafter curved shape will reduce the moment. The smaller moment on the rafter will result in a smaller profile dimension. Thus, in order for the building rafter to be stronger and economical, an analysis on structure and cost on steel rafter with a saddle-shaped arch. The purpose of this study is to determine how efficient the steel rafters and curved saddle shape are. The analysis was done on a building with an X direction dimension of 15.24 and 30 meters. Y direction dimension was 6 meters and Z direction dimension was 8, 15, 24 and 30 meters. Structure analysis used SAP 2000 14.2.2 version. The result of analysis showed that internal force in the building with 15 and 24 span with arched rafter of 33° was smaller than saddle rafter with roof declivity of 17°. The force in the building of 30 meter with arched rafter of 17° and 33° angle was smaller than a building with saddle rafter with declivity of 15°. The longer the building spread with arched rafter, the more economical cost it spends being compared to that using saddle rafter.

Keywords: Rafter, Warehouse Building, Saddle, Arch.

I. Pendahuluan

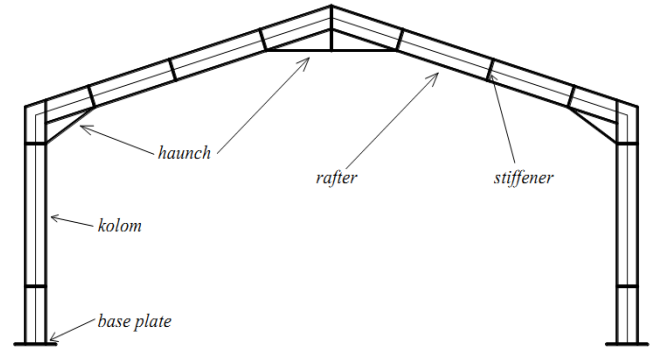
Saat ini di Banyuwangi penggunaan baja sebagai bahan bangunan semakin banyak, terutama pada bangunan gudang. Namun bangunan gudang yang ada di Banyuwangi umumnya hanya menggunakan rafter berbentuk pelana. Lokasi Banyuwangi yang merupakan wilayah gempa zona 4 (SNI 02-1729-2002) mengakibatkan daerah ini rawan terjadi gempa. Hal ini menjadi permasalahan pada bangunan gudang yang mempunyai bentang panjang. Permasalahan utama pada bangunan gudang bentang panjang adalah masalah lendutan pada rafter. Berbeda dengan beberapa kota di Indonesia pada bangunan gudang bentang panjang sudah menggunakan rafter bentuk lengkung. Hal ini disebabkan bentuk lengkung sangat baik dalam menerima gaya aksial dan cocok digunakan pada bentang yang panjang [8]. Gaya aksial pada rafter bentuk lengkung akan mengurangi momen. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk evaluasi nilai efisiensi antara rafter baja bentuk pelana dan lengkung pada bangunan gudang di Banyuwangi ditinjau dari nilai gaya dalam dan biaya konstruksinya. Adapun karakteristik baja dapat dilakukan pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja[9]. **Gambar 1** menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta dengan memberikan laju regangan yang normal. Tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (ϵ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. **Gambar 1** merupakan hasil uji tarik dari suatu benda uji baja yang dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan



Gambar 1. Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ϵ) [9]

Sedangkan bentuk konstruksi gudang juga berpengaruh terhadap gaya-gaya dalam yang ditimbulkan. Pengertian gudang adalah sebuah ruangan yang digunakan untuk menyimpan berbagai macam barang. Hampir setiap bangunan memiliki gudang, misalnya saja gudang pada bangunan pabrik, toko, dan bahkan rumah tinggal. Umumnya struktur bangunan

gudang menggunakan material baja, hal ini karena kebutuhan jarak antar kolom yang jauh sedangkan atap biasanya merupakan atap metal yang ringan. Bangunan gudang umumnya menggunakan konstruksi portal kaku (gable frame). Suatu konstrukai gable frame mempunyai berbagai macam komponen yang berperan dalam menunjang kekuatan strukturnya secara keseluruhan, yaitu antara lain kuda-kuda (rafter), kolom, *base plate*, *haunch*, dan *stiffener*.

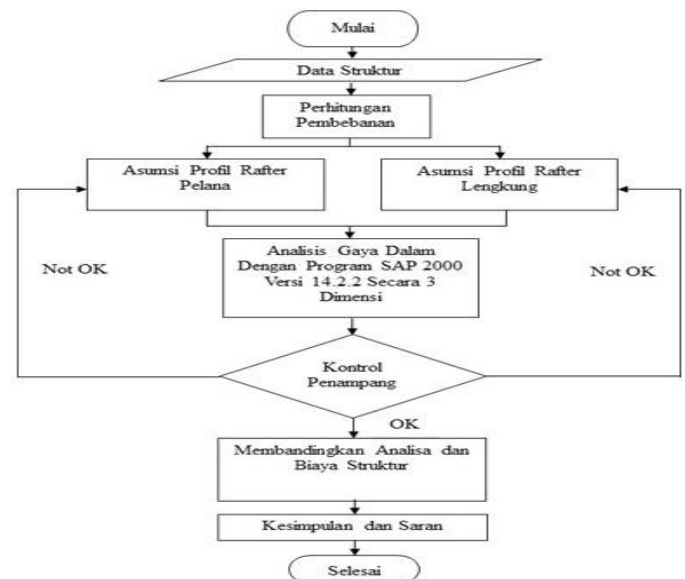


Gambar 2. Bagian-bagian dari Rafter Baja pada Gudang Atap

Bentuk atap pelana terdiri dari dua bidang atap yang bertemu pada garis pertemuan yang disebut dengan bubungan[6]. Bentuk lengkung adalah struktur yang dibentuk oleh elemen garis yang melengkung dan membentang diantara dua titik [8].

II. Metode Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian ini mengikuti alur kegiatan yang ada pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Flow Chart

Data struktur analisis ini sesuai dengan data di bawah ini:

- a. Data Bangunan Gudang:
Lokasi : Banyuwangi
- b. Data Struktur:

Mutu Baja	: BJ 37
Mutu Beton	: 30 MPa
Mutu tulangan	: U-24 (240 MPa)
Jenis tanah	: Lunak
Penutup atap	: Seng (Zincalum)
- c. Analisa dilakukan pada 3 bangunan gudang untuk masing-masing bentuk rafter, dengan spesifikasi **X** (bentang rafter), **Y** (jarak antar rafter), **Z** (tinggi rafter):
 1. Arah X= 15 m, Y= 6 m, Z= 8 m,
 2. Arah X= 24 m, Y= 6 m, Z= 8 m,
 3. Arah X= 30 m, Y= 6 m, Z= 8 m.

III. Hasil dan Pembahasan

Profil yang digunakan

Profil yang digunakan pada bangunan gudang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Profil Yang digunakan Pada Bangunan Gudang Dengan Rafter Bentuk Pelana dan Lengkung

Kode	Rafter	Balok
P ₁₅	WF 200 x 150 x 6 x 9	WF 150 x 75 x 5 x 7
P ₂₄	WF 300 x 200 x 8 x 12	WF 150 x 75 x 5 x 7
P ₃₀	WF 350 x 250 x 9 x 14	WF 150 x 75 x 5 x 7
L ₁₅	WF 200 x 150 x 6 x 9	WF 150 x 75 x 5 x 7
L ₂₄	WF 300 x 200 x 8 x 12	WF 150 x 75 x 5 x 7
L ₃₀	WF 350 x 250 x 9 x 14	WF 200 x 100 x 4,5 x 7

Lant. Tabel 1

Kode	Kolom
P ₁₅	WF 200 x 200 x 8 x 12
P ₂₄	WF 250 x 250 x 8 x 13
P ₃₀	WF 300 x 300 x 9 x 14
L ₁₅	WF 175 x 175 x 7,5 x 11
L ₂₄	WF 250 x 250 x 8 x 13
L ₃₀	WF 300 x 300 x 9 x 14

Keterangan:

- P₁₅ = Gudang dengan rafter bentuk pelana arah x= 15 m,
 P₂₄ = Gudang dengan rafter bentuk pelana arah x= 24 m,

- P₃₀ = Gudang dengan rafter bentuk pelana arah x= 30 m,
 L₁₅ = Gudang dengan rafter bentuk lengkung arah x= 15 m,
 L₂₄ = Gudang dengan rafter bentuk lengkung arah x= 24 m
 L₃₀ = Gudang dengan rafter bentuk lengkung arah x= 30 m,

Nilai Lendutan (*Deflection*)

Lendutan yang terjadi pada elemen rafter dan balok didapat dari hasil analisis SAP 2000 vers.14.2.2 sesuai dengan model yang sudah ditentukan beserta pembebanan sesuai dengan Peraturan Pembebanan Bangunan Untuk Gedung Indonesia. Lendutan elemen rafter dan balok dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perbandingan lendutan elemen rafter dan balok bangunan gudang

Kode	Elemen Rafter (cm)			Elemen Balok (cm)			Ket.
	Panjang	f Ijin	f dari SAP	Panjang	f Ijin	f dari SAP	
P ₁₅	784,27	3,27	1,646	600	2,5	0,27	ok
P ₂₄	1254,8	5,23	2,231	600	2,5	0,41	ok
P ₃₀	1568,5	6,54	2,378	600	2,5	0,43	ok
L ₁₅	784,27	3,27	0,103	600	2,5	0,35	ok
L ₂₄	1273,4	5,31	0,063	600	2,5	0,48	ok
L ₃₀	1591,8	6,63	0,628	600	2,5	0,48	ok

Dari **Tabel 1**, dapat diketahui bahwa lendutan yang terjadi pada elemen rafter gudang bentuk pelana jauh lebih kecil dibanding bentuk pelana. Namun pada elemen balok lendutan bangunan lengkung lebih besar dibanding bentuk pelana.

Nilai Gaya Dalam (*Internal force*)

Nilai gaya dalam bangunan gudang bentang 15 meter dapat dilihat pada **Tabel 3**. Gaya dalam bangunan gudang bentang 24 meter dapat dilihat pada **Tabel 4**. Sedangkan nilai gaya dalam pada bentang 30 meter dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Table 3. Nilai Gaya Dalam Bangunan Gudang Bentang 15 Meter

Kode	Aksial	Geser	Momen
	Kg	Kg	Kg.m
P _{x15, y6, z8, s17}	4577,06	2389,16	7792,37
L _{x15, y6, z8, s33}	3852,58	1584,68	6076,12

Keterangan:

- P x_{15} , y_6 , z_8 , s_{17} Gudang dengan rafter bentuk **pelana** mempunyai bentang arah $x=15$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut kemiringan atap 17° .
- L x_{15} , y_6 , z_8 , s_{33} Gudang dengan rafter bentuk **lengkung** mempunyai bentang arah $x=15$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut pangkal 33° .

Tabel 3 menunjukkan bahwa gaya dalam pada elemen *rafter* gudang berbentuk lengkung dengan sudut pangkal 33° lebih kecil dibanding bentuk pelana, baik gaya aksial, geser dan momen. Pada gudang dengan *rafter* pelana gaya aksialnya 4577,06 kg dan pada gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° gaya aksialnya 3852,58 kg. Pada gudang dengan *rafter* pelana gaya gesernya 2389,16 kg dan pada gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° gaya gesernya 1584,68 kg. Pada gudang dengan *rafter* pelana gaya momennya 7792,37 kg.m dan pada gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° gaya momennya 6076,12 kg.m.

Table 4. Nilai Gaya Dalam Bangunan Gudang Bentang 24 Meter

Kode	Aksial Kg	Geser Kg	Momen Kg.m
P x_{24} , y_6 , z_8 , s_{17}	6693,59	3902,15	15677,40
L x_{24} , y_6 , z_8 , s_{33}	6116,23	3080,99	12799,87

Keterangan:

- P x_{24} , y_6 , z_8 , s_{17} Gudang dengan rafter bentuk **pelana** mempunyai bentang arah $x=24$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut kemiringan atap 17° .
- L x_{24} , y_6 , z_8 , s_{33} Gudang dengan rafter bentuk **lengkung** mempunyai bentang arah $x=24$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut pangkal 33° .

Tabel 4 memperlihatkan nilai gaya dalam pada *rafter* gudang berbentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya dalamnya lebih kecil dibanding bentuk pelana, baik gaya aksial, geser dan momen. Pada gudang dengan *rafter* bentuk pelana gaya aksialnya 6693,59 kg dan pada bentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya aksialnya 6116,23 kg. Pada gudang dengan *rafter* pelana gaya gesernya 3902,15 kg dan pada bentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya gesernya 3080,99 kg. Pada gudang dengan *rafter* pelana gaya momennya 15677,40 kg.m dan pada gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° gaya momennya 12799,87 kg.m.

Table 5. Nilai Gaya Dalam Bangunan Gudang Bentang 30 Meter

Kode	Aksial Kg	Geser Kg	Momen Kg.m
P x_{30} , y_6 , z_8 , s_{15}	9683,19	6360,65	26363,93
L x_{30} , y_6 , z_8 , s_{33}	7690,66	4183,46	17513,81

Keterangan:

- P x_{30} , y_6 , z_8 , s_{15} Gudang dengan rafter bentuk **pelana** mempunyai bentang arah $x=30$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut kemiringan atap 15° .
- L x_{30} , y_6 , z_8 , s_{33} Gudang dengan rafter bentuk **lengkung** mempunyai bentang arah $x=30$ m, $y=6$ m, $z=8$ m, sudut pangkal 33° .

Tabel 5 dapat diketahui bahwa gaya dalam bangunan gudang dengan *rafter* bentuk lengkung dengan sudut pangkal 33° lebih kecil dibanding bentuk pelana kemiringan atap 15° . Pada gudang dengan *rafter* bentuk pelana gaya aksialnya 9683,19 kg dan pada gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya aksialnya 7690,66 kg. Pada gudang dengan *rafter* bentuk pelana gaya gesernya 6360,65 kg dan pada gudang gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya gesernya 4183,46 kg. Pada gudang dengan *rafter* bentuk pelana gaya momennya 26363,93 kg.m dan pada gudang gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° gaya momennya 17513,81 kg.m.

Biaya Konstruksi Struktur Gudang

Biaya konstruksi gudang bentang 15, 24 dan 30 meter dapat dilihat pada **Tabel 6, 7 dan 8** berikut.

Table 6. Biaya Konstruksi Gudang Bentang 15 Meter

Kode	Total Profil (Kg)	Harga Baja/kg (Rp)	Total Biaya (Rp)
P x_{15} , y_6 , z_8 , s_{17}	7629,17	20.900	159.449.747,30
L x_{15} , y_6 , z_8 , s_{33}	6642,45	20.900	138.827.299,30

Tabel 6 menunjukkan bahwa biaya konstruksi gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° dibanding bentuk pelana sudut kemiringan 17° lebih murah. Pada gudang dengan *rafter* pelana biayanya Rp 159.449.747,30 dan gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° biayanya Rp 138.827.299,30. Sehingga gudang dengan *rafter* lengkung sudut pangkal 33° dibanding dengan pelana kemiringan atap 17° lebih murah Rp 20.622.448.

Table 7. Biaya Konstruksi Gudang Bentang 24 Meter

Kode	Total Profil (Kg)	Harga Baja/kg (Rp)	Total Biaya (Rp)
P x_{24} , y_6 , z_8 , s_{17}	13374,07	20.900	279.518.106,14
L x_{24} , y_6 , z_8 , s_{33}	12965,51	20.900	270.979.199,13

Tabel 7 tersebut dapat diketahui bahwa biaya struktur konstruksi gudang dengan *rafter* bentuk lengkung dengan sudut pangkal 33° dibanding bentuk pelana sudut kemiringan atap 17° lebih murah. Bangunan gudang dengan *rafter* bentuk lengkung dengan sudut pangkal 33° harganya Rp 270.979.199,13. Bangunan gudang dengan *rafter* pelana

dengan kemiringan atap 17° adalah Rp 279.518.106,14. Sehingga gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° di banding bentuk pelana kemiringan atap 17° lebih murah Rp 8.538.907,01.

Table 8. Biaya Konstruksi Gudang Bentang 30 Meter

Kode	Total Profil (Kg)	Harga Baja/kg (Rp)	Total Biaya (Rp)
P x_{30} , y_6 , z_8 , s_{15}	19754,73	20.900	412.873.842,12
L x_{30} , y_6 , z_8 , s_{33}	16704,50	20.900	349.124.038,30

Tabel 8 menunjukkan bahwa biaya struktur konstruksi gudang dengan *rafter* bentuk lengkung dengan sudut pangkal 33° dibanding bentuk pelana sudut kemiringan atap 15° lebih murah. Pada gudang dengan *rafter* bentuk pelana kemiringan 15° biayanya Rp 412.873.842,12. Pada gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° biayanya Rp 349.124.038,30. Sehingga gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° di banding bentuk pelana kemiringan atap 15° lebih murah Rp 63.749.803,82.

IV. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

1. Gaya dalam pada bangunan gudang bentang 15 dan 24 meter dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° lebih kecil dibanding gudang dengan *rafter* bentuk pelana kemiringan atap 17° . Gaya dalam bangunan gudang bentang 30 meter dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 17° dan 33° lebih kecil dibanding gudang dengan *rafter* bentuk pelana kemiringan atap 15° .
2. Biaya konstruksi bangunan gudang bentang 15 meter dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° lebih ekonomis Rp 20.622.448 dibanding gudang dengan *rafter* bentuk pelana kemiringan atap 17° . Biaya konstruksi bangunan gudang bentang 24 meter dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° lebih ekonomis Rp 8.538.907,01 dibanding bentuk pelana kemiringan atap 17° . Biaya konstruksi bangunan gudang bentang 30 meter dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 17° di banding bentuk pelana kemiringan atap 15° lebih ekonomis Rp 7.550.616,74. Gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 25° di banding gudang pelana kemiringan atap 15° lebih ekonomis Rp 20.268.906,28 dan Gudang dengan *rafter* bentuk lengkung sudut pangkal 33° di banding bentuk pelana kemiringan atap 15° lebih ekonomis Rp 63.749.803,82. Semakin panjang bentang bangunan gudang dengan *rafter* bentuk lengkung biayanya semakin ekonomis dibanding gudang dengan *rafter* bentuk pelana.

4.2 Saran

Bangunan gudang dengan *rafter* bentuk lengkung dapat dipertimbangkan sebagai pilihan untuk bangunan gudang yang ada di Banyuwangi karena lebih murah dibanding gudang dengan *rafter* bentuk pelana.

Daftar Pustaka

- [1] Haryadi Irawan K, Yusento Lemy, (2004). *Efek Penggunaan Kolom Tengah Pada Bangunan Industri Bentang Lebar*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1, No. 2.
- [2] Ir. v Sunggono kh, (1995). *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung.
- [3] MSN Michael, Sitorus Torang, *Analisis Penahan Tekuk Lateral Pada Balok Baja Proril I*, Jurnal Teknik Sipil USU.
- [4] Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk gedung, 1983.
- [5] Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia, 1984.
- [6] Riswanto Juda, Praptama, dkk, (2005). *Mendirikan Rangka Atap Sistem Kuda Kuda*. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- [7] Sastraatmadja, Ir. a. Soedradjat (1984). *Analisis (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*, Nova, Bandung.
- [8] Schodek, Daniel L. (1991). *Struktur*, PT Eresco Bandung, Bandung.
- [9] Setiawan, Agus, (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*, Erlangga, Jakarta.
- [10] SNI-03-1726-2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*.
- [11] SNI-03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*.
- [12] Sumargo, (2009). *Buku I Bahan Ajar Perancangan Struktur Baja Metode LRFD Elemen Aksial*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- [13] Tamrin, A.G, (2008). *Teknik Konstruksi Bangunan Gedung Jilid 2 Untuk SMK*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta.
- [14] Trisanto Lanneke, Irawan Redrik, (2010). *Kajian Dasar Perencanaan Dan Pelaksanaan Jembatan Pelengkung Beton*, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- [15] Zakariya Riza, (2013). *Perencanaan Konstruksi Baja Bangunan Gudang*, Jurnal Tugas Akhir Universitas Siliwangi, Tasikmalaya..