

PENGARUH *SUSPENDER* TIPE *VERTICAL* DAN *INCLINED* TERHADAP KESTABILAN JEMBATAN GANTUNG

Munawir*¹, Noni Chintya Nasution²

¹Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Aceh

²Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Aceh

e-mail: *¹m_ahwie@yahoo.com, ²nonichintya@gmail.com.

Abstract

Suspender of suspension bridge consists of several types including vertical and inclined suspenders, then the formulation of the problem in this study take into account this differences to analyze how the influence of the suspender type on the behavior of the hanging cable which aims to plan the safety structure of the suspension bridge and determine the behavior of the bridge structure related inner and displacement forces. The benefits of this design is to obtain the structure of a suspension bridge that passable for passenger vehicle for both types of suspenders. The modeled bridge structure is 120 m length and 2.5 m width. Design and analysis of a suspension bridge is using SAP2000 version 14 with reference loading refers to SNI 1725-2016. The maximum axial force on the main cable of inclined suspender is larger than the axial force on the vertical suspender, which respectively is 525.83 kN and 872,661 kN, especially on the load combinations which take into account the effect of wind force, axial force of vertical suspender is greater than the inclined suspender which shows that the tension on the vertical cable is larger due to wind load. Based on the displacement of the truss, it was found that the value of each combination of load deflections on the vertical suspenders was much greater than the inclined suspender which is 384 mm in vertical suspenders and 323 mm in suspended suspenders. $P_u / \phi P_n$ ratio value in the vertical suspender is smaller than the inclined suspender, but the deflection for both types of suspenders has met the permit deflection of $L / 200$. Based on the calculation, it can be concluded that suspension bridges with vertical suspenders are safer to the ultimate load, while the inclined load of inclined type is better because of the deflection on the smaller bridge truss.

Keywords : *Suspension Bridge, Deflection, Capacity Ratio, Inclined Suspender, Vertical Suspender.*

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh lembah yang dalam, sungai, danau, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya dan perlintasan lainnya. Ketersediaan jembatan sebagai salah satu prasarana transportasi sangat menunjang kelancaran pergerakan lalu lintas pada daerah-daerah dan berpengaruh terhadap terciptanya pengembangan wilayah secara terpadu dan menyeluruh. Mengingat pentingnya peranan jembatan, maka harus ditinjau kelayakan konstruksi jembatan tersebut dalam hubungannya dengan klasifikasi jembatan sesuai dengan tingkat pelayanan dan kemampuannya dalam menerima beban. Dalam kaitannya dengan keselamatan maka perlu diperhatikan juga tingkat keamanan dan kenyamanan dalam pemakaian jembatan tersebut. Jembatan gantung merupakan pilihan yang efisien dan efektif sebagai sarana transportasi untuk menyeberangi sungai atau jurang terutama pada daerah terpencil dengan volume dan intensitas lalu lintas rendah. Jembatan gantung memiliki beberapa elemen struktur dominan seperti kabel utama (*main cable*), batang penggantung (*suspender*), gelagar, menara dan blok angkur di mana seluruh beban

lalu lintas dan gaya-gaya yang bekerja pada jembatan gantung dipikul oleh kabel sebagai pemikul utama yang menumpu di atas 2 menara dan 2 pasang blok angkur.

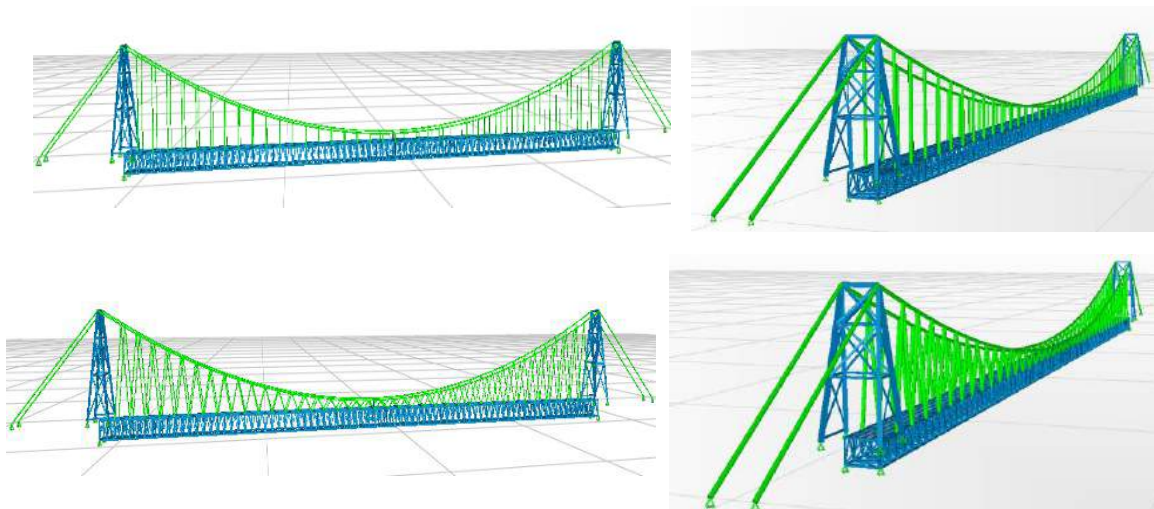
Ada beberapa bentuk *suspender* jembatan gantung diantaranya yaitu *suspender* tipe vertikal (*vertical*) dan *suspender* tipe menyilang (*inclined*) yang memindahkan beban dari dek (*deck*) ke kabel utama karena perbedaan inilah maka dalam kajian ini adalah menganalisa bagaimana pengaruh dari bentuk *suspender* tersebut terhadap perilaku kabel penggantung untuk merencanakan struktur jembatan gantung yang aman dan diketahui bagaimana perilaku struktur jembatan terkait gaya dalam dan *displacement*. Adapun manfaat pada penelitian ini adalah untuk diperoleh struktur jembatan gantung yang dapat dilewati kendaraan tipe mobil penumpang dengan jenis MPV untuk kedua jenis *suspender*.

2. METODE PENELITIAN

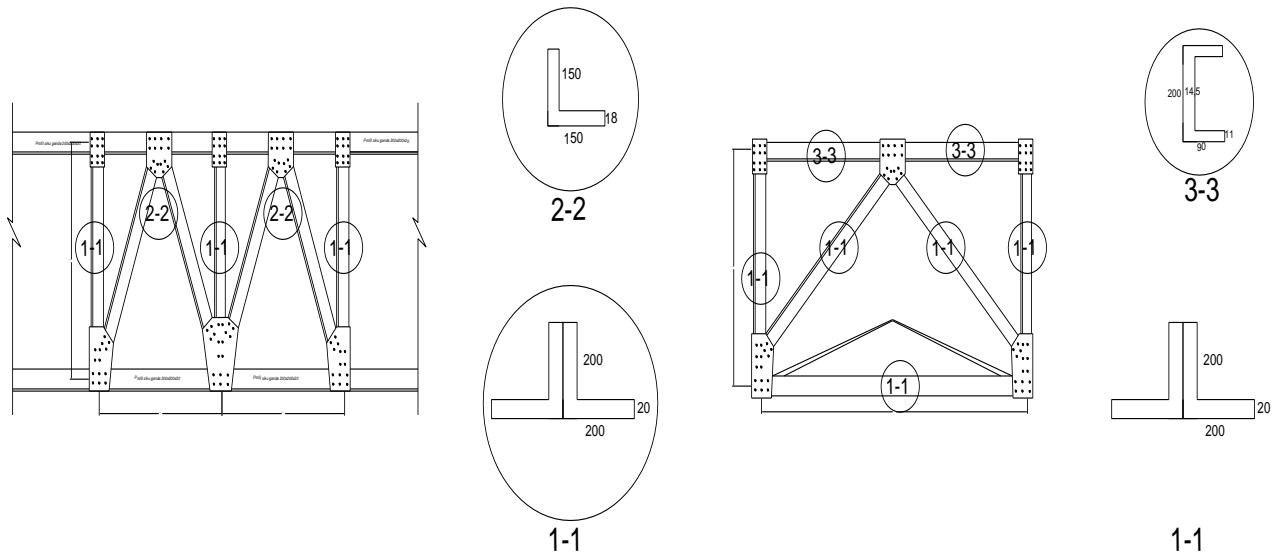
Jembatan yang dikaji pada artikel ini dimodelkan sebagai jembatan gantung (*suspension bridge*) dengan lantai kendaraan (*deck*) dipikul oleh rangka baja (*steel truss*) yang bebannya diteruskan ke kabel utama (*main cable*) melalui kabel penghubung (*suspender*). Analisis struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 dimana besarnya beban yang diperhitungkan dan kombinasi bebannya mengacu kepada SNI 1726 : 2016 [1] dan RSNI 03-2833-201X [2]

2.1 Pemodelan Struktur

Struktur jembatan dimodelkan sebagai struktur jembatan gantung dengan panjang 120 m, lebar 2,5 m dan tinggi menara 12 m. Data geometri jembatan gantung mengacu pada data yang sudah diperiksa keamanannya dengan perhitungan manual yang mengacu pada SNI Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki [3]. Desain struktur kabel pada perencanaan ini terdiri atas 2 jenis *suspender* yaitu *vertical* dan *inclined* dengan tipe rangka pengaku *stiffening truss*. Jumlah kabel batang penggantung pada *suspender* tipe *vertical* adalah sebanyak 40 masing-masing 20 kabel pada sisi kiri dan kanan, pada *suspender* tipe *inclined* sebanyak 38 pada sisi kiri dan sisi kanan. Untuk jarak antar *suspender* yang digunakan adalah sama yaitu 3 meter. kabel utama dan *backstay* dihitung berdasarkan gaya tarik T maksimum [3] dengan sudut *backstay* yang digunakan adalah $36,18^\circ$; panjang bentang kiri dan kanan adalah 16,5 m dan ukuran minimum sag tengah adalah 1,1 m. Untuk pemodelan struktur jembatan gantung dapat dilihat Gambar 1 dan detail *stiffening truss* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1 Pemodelan Jembatan Gantung *Suspender* Tipe *Vertical* *Suspender* Tipe *Inclined*.



Gambar 2 Detail *Stiffening Truss* Jembatan Gantung Tipe *Suspender Vertical* dan *Inclined*

2.2 Dimensi Struktur

Material dan propertis untuk menara, *truss* dan plat lantai yang digunakan untuk setiap tipe *suspender vertical* dan *suspender tipe inclined* adalah sama. Dimensi profil dan mutu penampang ditentukan berdasarkan hasil perhitungan setelah proses input beban dilakukan dengan rasio kapasitas tidak lebih dari 0,95.

Tabel 1 Ukuran Penampang yang Direncanakan.

No	Tipe Elemen Struktur	Ukuran Penampang	Jenis Profil	Jenis Material
1	Menara	W14 x 109	Profil I	BJ 41
2	Ikatan Angin Menara	W8 x 31	Profil I	BJ 41
3	Gelagar memanjang	W8 x 24	Profil I	BJ 41
4	Gelagar Melintang	250.90.14,5	Profil C	BJ 55
		150.150.18	Profil L Siku ganda	BJ 55
		200.200.20	Profil L Siku ganda	BJ 55
		150.150.18	Profil L Siku Tunggal	BJ 55
5	Kabel Utama	Diameter <i>Strand</i> 15,2 mm	Kabel	7-wire strand ASTM a 416-06 Grade 270
6	<i>Suspender</i>	Diameter <i>Strand</i> 11,3 mm	Kabel	7-wire strand ASTM a 416-06 Grade 270

2.3 Beban Rencana

Besarnya beban yang bekerja pada jembatan yang ditinjau serta kombinasi pembebanan yang diperhitungkan mengacu kepada SNI 1725 : 2016 [1]. Kombinasi beban dibedakan untuk tinjauan pada kondisi ultimate dan layan (*service*). Adapun kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut :

➤ Kombinasi Pembebanan ULS :

$$\begin{aligned} \text{Kuat I (K1)} &= 1,10 MS + 1,8 (TT + TD + TB) \dots\dots\dots (1) \\ \text{Kuat II (K2)} &= 1,10 MS + 1,4 (TT + TD + TB) \dots\dots\dots (2) \\ \text{Kuat III (K3)} &= 1,10 MS + 1,40 EW_S \dots\dots\dots (3) \\ \text{Kuat IV (K4)} &= 1,10 MS \dots\dots\dots (4) \\ \text{Kuat V (K5)} &= 1,10 MS + 0,40 EW_S + 1,00 EW_L \dots\dots\dots (5) \\ \text{Ekstrem I (E1)} &= 1,10 MS + 0,5 (TT + TD + TB) + 1,00 EQ \dots\dots\dots (6) \\ \text{Ekstrem II (E2)} &= 1,10 MS + 0,50 (TT + TD + TB) \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

➤ Kombinasi Pembebanan SLS :

$$\begin{aligned} \text{Daya Layan I (DL1)} &= 1,00 MS + 1,00 (TT + TD + TB) + 0,30 EW_S + 1,00 EW_L \dots (8) \\ \text{Daya Layan II (DL2)} &= 1,00 MS + 1,30 (TT + TD + TB) \dots\dots\dots (9) \\ \text{Daya Layan III (DL3)} &= 1,00 MS + 0,80 (TT + TD + TB) \dots\dots\dots (10) \\ \text{Daya Layan IV (DL4)} &= 1,00 MS + 0,70 EW_S \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

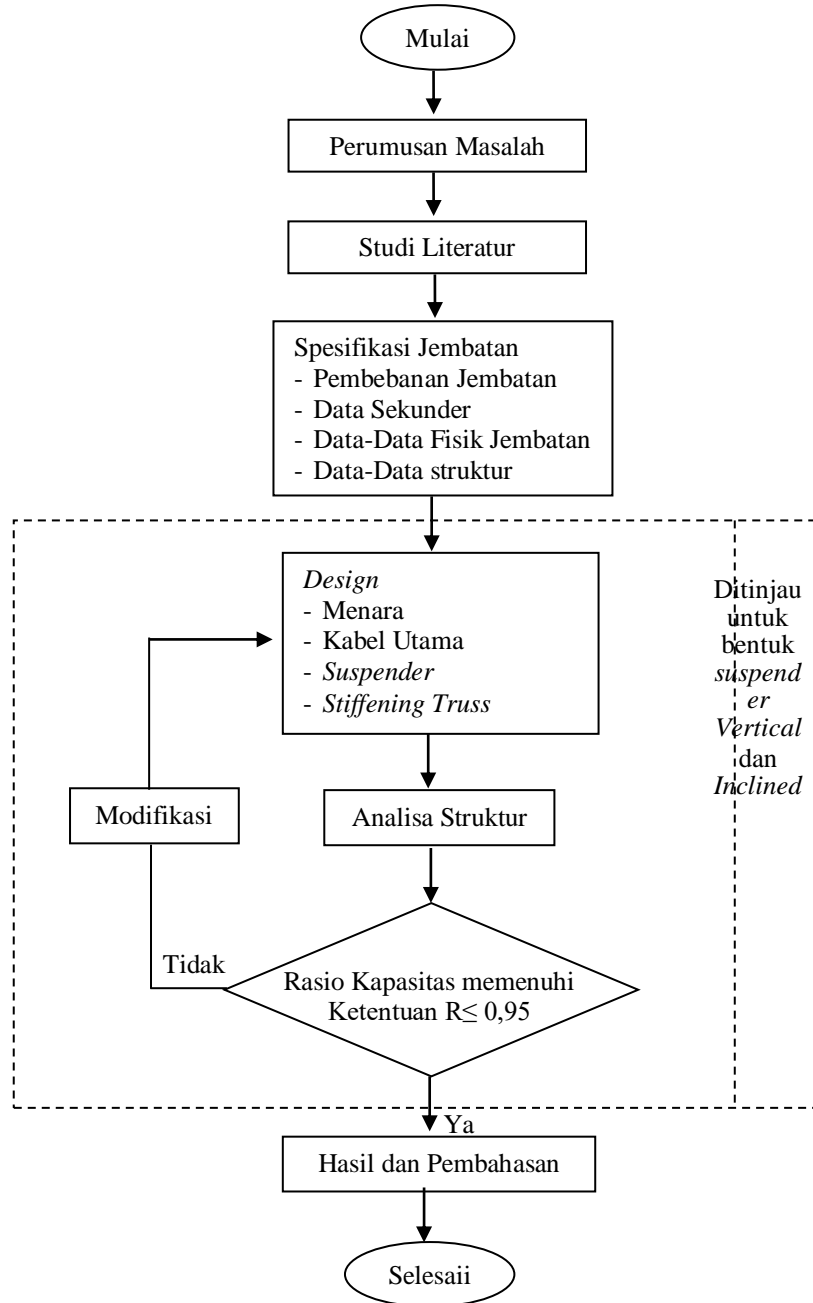
Dimana :

- MS : Beban Mati
- TT : Beban Kendaraan
- TD : Beban Lajur
- TB : Beban Rem
- EW_S : Beban Angin Struktur
- EW_L : Beban Angin Kendaraan.
- EQ : Beban Gempa

Adapun beban yang diperhitungkan adalah beban mati sebesar 1270,98 kN untuk *suspender vertical* dan 1374,816 kN untuk *suspender inclined*, beban kendaraan 8,125 kN, beban lajur BTR 13,68 kN/m, beban lajur BTG 4,94 kN, gaya akibat rem pada semua jalur jembatan sebesar 87,02 kN, beban angin diamsusikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar 90 hingga 126 km/jam [1], beban angin pada kendaraan 0,9157 kN/m dan beban gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) [2].

2.4 Analisa Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan *software* SAP2000 terhadap kedua model jembatan yang ditinjau dengan mengacu kepada bagan alir (*flow chart*) sebagai berikut:



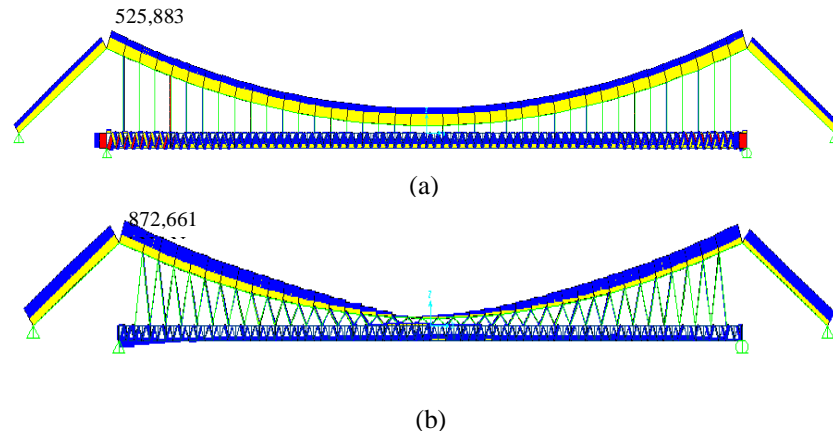
Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspek yang dikaji dari hasil dengan program SAP2000 adalah gaya aksial yang terjadi, tegangan pada kabel *backstay*, *displacement* dan rasio kapasitas. Analisis struktur dilakukan untuk masing-masing kombinasi beban.

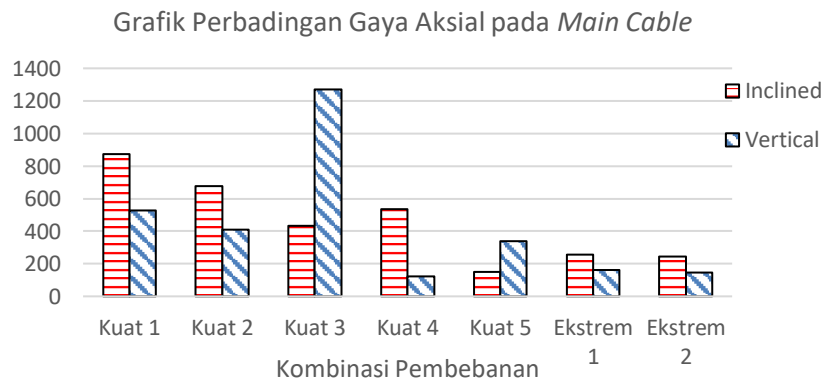
3.1 Gaya Aksial

Gaya aksial yang muncul pada *main cable* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Gaya Aksial pada *Main Cable* (a) *Suspender Vertical* (b) *Suspender Inclined*

Berdasarkan gambar 3 dan 4 dapat dilihat perbedaan gaya aksial pada *main cable* yang dialami elemen struktur jembatan menurut jenis *suspender* yang digunakan. Pada kombinasi pembebanan kuat I jembatan dengan *suspender vertical* diperoleh besar gaya aksial maksimum pada *main cable* adalah 525,83 kN dan *suspender inclined* adalah 872,661 kN. Gaya aksial maksimum tersebut masing-masing terletak pada bentang kiri *main cable*. Untuk perbandingan nilai gaya aksial pada *main cable* pada setiap kombinasi beban dapat lihat pada grafik 1.



Gambar 4 Perbandingan Gaya Aksial pada *Main Cable* untuk Setiap Kombinasi

Pada grafik tersebut terlihat perbandingan nilai gaya aksial pada setiap jenis kombinasi beban. Pada kombinasi beban kuat 1, kuat 2, kuat 4, ekstrem 1 dan ekstrem 2 nilai gaya aksial pada *main cable suspender inclined* jauh lebih besar dibanding *suspender vertical*. Sedangkan pada kombinasi beban kuat 3 dan kuat 5 gaya aksial *suspender vertical* jauh lebih besar dibanding *suspender inclined*, hal ini menunjukkan bahwa tegangan pada *suspender vertical* lebih besar akibat beban angin yang bekerja pada jembatan.

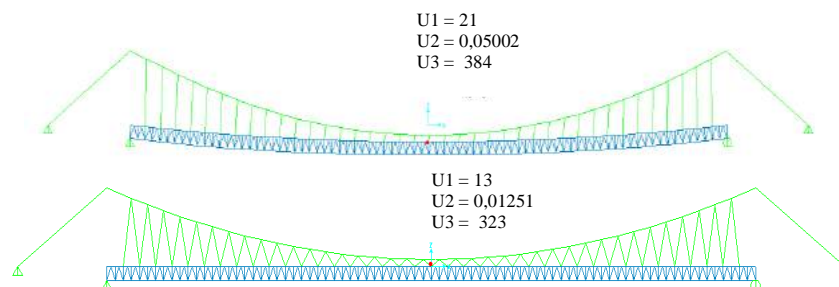
3.2 Displacement

Displacement yang ditimbulkan pada setiap kombinasi daya layan dapat dilihat tabel dibawah ini:

Tabel 2 *Displacement Suspender tipe Vertical dan Inclined*

Kombinasi Pembebanan	Vertical			Inclined		
	Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
DL I	2,1	0,005	38,3	1,3	0,0012	32,2
DL II	15	0,32	323	13	0,2	225
DL III	9	0,2	190	8	0,13	130
DL IV	0,1	0,3	0,1	0,2	0,23	0,3

Berdasarkan tabel 2 didapatkan nilai perpindahan (*displacement*) maksimum dari *truss* pada setiap kombinasi beban layan pada arah X, Y, dan Z. Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa nilai pada setiap kombinasi pembebanan lendutan pada *suspender vertical* jauh lebih besar dari *suspender inclined*. Perpindahan maksimum terjadi untuk setiap *suspender* terjadi pada tengah bentang seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

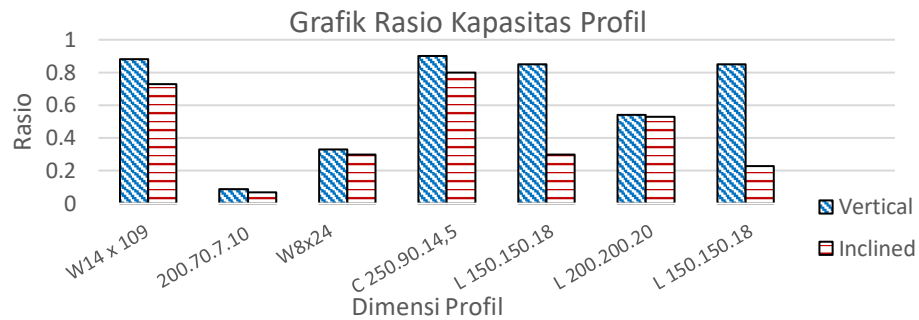


Gambar 5 *Displacement yang Terjadi pada Suspender Vertical dan Inclined*

Berdasarkan gambar di atas bentang tengah memiliki gaya lendutan maksimum sebesar 384 mm untuk *suspender* tipe *vertical* dan 323 mm untuk *suspender* tipe *inclined*. Hasil tersebut memenuhi lendutan izin sebesar $L/200$ meter.

3.3 Rasio Kapasitas

Nilai rasio kapasitas pada perencanaan ini diambil berdasarkan nilai maksimum dari masing-masing penampang pada satu titik *joint* yang sama pada menara dan juga *truss*. Berdasarkan hasil perhitungan melalui SAP2000 rasio kapasitas profil dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Rasio Kapasitas Pu / ØPn

3.4 Joint Reaction

Hasil *joint reaction* pada perencanaan ini merupakan *sample* yang diambil pada satu titik *joint* yang sama pada menara, *truss* dan kabel untuk *suspender vertical* dan *inclined*.

a. Joint reaction pada menara

Joint reaction pada menara dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3 *Joint Reaction* di Menara

Kombinasi Pembebanan	Vertical			Inclined		
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
Kuat I	24,15	-9,38	240,92	34,78	-17,39	208,70
Kuat II	-24,15	-9,38	212,56	27,05	-13,53	162,32
Kuat III	-11,59	5,08	66,03	-43,17	21,59	-259,02
Kuat IV	-24,15	-9,38	113,29	25,64	-12,84	153,89
Kuat V	-29,65	-8,77	141,70	-4,33	2,16	-25,95
Ekstrem I	-26,55	-10,29	159,32	-25,93	-8,14	155,59
Ekstrem II	-24,15	-9,38	148,74	9,66	-4,83	57,97
Max	24,15	5,08	240,92	34,78	21,59	208,70
Min	-29,65	-10,29	66,03	-43,17	-17,39	-259,02

Berdasarkan tabel 3 dapat lihat bahwa nilai maksimum pada *joint reaction* di menara pada arah X adalah 24,15 kN untuk *suspender* tipe *vertical* pada kombinasi beban Kuat I dan 34,78 kN untuk *suspender* tipe *vertical* pada kombinasi beban kuat I. Sedangkan untuk arah Y nilai maksimum untuk *suspender vertical* adalah 5,08 kN pada kombinasi beban kuat III, dan pada *suspender inclined* sebesar 21,59 kN pada kombinasi beban kuat III. Untuk arah Z nilai maksimum pada *suspender vertical* adalah 240,92 kN pada kombinasi beban kuat I, dan pada *suspender inclined* adalah 208,70 pada kombinasi beban kuat I.

b. Joint Reaction pada Truss

Untuk nilai *joint reaction* di *truss* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4 *Joint Reaction* di Truss

Kombinasi Pembebanan	Vertical			Inclined		
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
Kuat I	0,713	90,19	458,37	13,31	50,66	369,59
Kuat II	0,555	70,148	356,51	1,433	39,403	287,45
Kuat III	192,376	30,23	213,54	54,93	110,86	117,79

Kuat IV	-1,906	39,818	216,56	92,028	6,595	119,363
Kuat V	-3,28	-513,347	-644,28	58,775	36,798	92,12
Ekstrem I	-4,496	22,834	124,66	-144,33	-6,42	-5,79
Ekstrem II	0,198	25,053	127,32	138,367	14,072	102,66
Max	192,376	90,19	458,37	138,37	110,86	369,59
Min	-4,496	-513,35	-644,28	-144,33	-6,42	-5,79

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai maksimum pada *joint reaction* di *truss* pada arah X adalah 192,376 kN untuk *suspender* tipe *vertical* pada kombinasi beban Kuat III dan 138,37 kN untuk *suspender* tipe *inclined* pada kombinasi beban kuat I. Sedangkan untuk arah Y nilai maksimum untuk *suspender vertical* adalah 90,19 kN pada kombinasi beban kuat I, dan pada *suspender inclined* sebesar 110,86 kN pada kombinasi beban kuat III. Untuk arah Z nilai maksimum pada *suspender vertical* adalah 458,37 kN pada kombinasi beban kuat I, dan pada *suspender inclined* adalah 369,59 pada kombinasi beban kuat I.

c. *Joint Reaction* di Kabel

Untuk nilai *Joint reaction* pada kabel dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 *Joint Reaction* di Kabel

Kombinasi Pembebanan	<i>Vertical</i>			<i>Inclined</i>		
	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)	F _x (kN)	F _y (kN)	F _z (kN)
Kuat I	-91,05	0,0002	-66,21	-14,10	-0,0002	-520,38
Kuat II	-70,82	0,0002	-51,49	-80,04	0,0042	-162,32
Kuat III	-11,59	105,08	66,03	-53,19	110,76	117,51
Kuat IV	-58,71	0,0002	-7,41	-85,80	0,0006	-27,10
Kuat V	-346,01	0,0004	-251,60	-99,53	0,6350	-72,28
Ekstrem I	-47,24	-0,1340	-33,28	-158,27	0,3270	-114,16
Ekstrem II	-25,29	0,0001	-18,39	-205,29	0,0015	-149,26
Max	-11,59	105,08	66,03	-14,10	110,76	117,51
Min	-346,01	-0,1340	-251,60	-205,29	-0,0002	-520,38

Berdasarkan tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai maksimum pada *joint reaction* di kabel pada arah X adalah -11,59 kN untuk *suspender* tipe *vertical* pada kombinasi beban Kuat III dan -14,10 kN untuk *suspender* tipe *inclined* pada kombinasi beban kuat I. Sedangkan untuk arah Y nilai maksimum untuk *suspender vertical* adalah 105,08 kN pada kombinasi beban kuat III, dan pada *suspender inclined* sebesar 110,76 kN pada kombinasi beban kuat III. Untuk arah Z nilai maksimum pada *suspender vertical* adalah 66,03 kN pada kombinasi beban kuat III, dan pada *suspender inclined* adalah 117,51 kN pada kombinasi beban kuat III.

3.5 *Perbandingan Dimensi Elemen dan Output Jembatan*

Perbandingan dimensi elemen dan *output* pada *suspender* tipe *vertical* dan *suspender* tipe *inclined* dapat dilihat pada tabel 6. Hasil tersebut didapatkan berdasarkan analisis memakai SAP2000 versi 14.

Tabel 6 Perbandingan elemen dan output *suspender* tipe *vertical* dan *inclined*

Parameter Perbandingan			Tipe <i>Suspender</i>	
			<i>Vertical</i>	<i>Inclined</i>
Ukuran Jembatan	Panjang Bentang Kiri	m	16,5	16,5
	Panjang Bentang Tengah	m	120	120
	Panjang Bentang Kanan	m	16,5	16,5
	Lebar Menara	m	5,25	5,25
	Tinggi Menara	m	12	12
	Jumlah Segmen Kiri	m	-	-
	Jumlah Segmen Tengah	bh	40	76
	Jumlah Segmen Kanan	m	-	-
	Ketinggian Kabel di Tengah Bentang	m	1,1	1,1
Dimensi Elemen Struktur	Menara		W14x109	W14x109
	Gelagar Memanjang		W8x24	W8x24
	Kabel Utama	mm	15,2	15,2
	<i>Suspender</i>	mm	11,3	11,3
	Berat <i>Suspender</i>	kN	25,99	36,79
Output	Aksial Kabel Utama	kN	525,83	872,661
	Aksial Kabel <i>Backstay</i>	kN	677,49	930,97
	Lendutan Maksimum	mm	384	323

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada jembatan dengan *suspender vertical* diperoleh gaya aksial maksimum pada *main cable* lebih kecil dibanding gaya aksial pada *suspender Inclined* yaitu 525,83 kN untuk *suspender vertical* dan 872,661 kN untuk *suspender inclined*, namun pada beban angin gaya aksial *suspender vertical* lebih besar dibanding pada *suspender vertical*. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan pada kabel *vertical* lebih besar akibat beban angin.
2. Lendutan yang terjadi akibat kombinasi beban layan didapat bahwa nilai *suspender vertical* lebih besar dari pada *suspender inclined* untuk setiap kombinasi beban layan. Namun demikian, nilai lendutan pada kedua *suspender* yang ditinjau untuk semua kombinasi beban sudah memenuhi lendutan izin sebesar $L/200$.
3. Dengan perhitungan beban yang sama, besar profil dan mutu material yang digunakan pada menara, *truss* dan kabel yang sama, didapatkan nilai ratio $P_u / \phi P_n$ pada *suspender* tipe *vertical* lebih besar dibandingkan dengan *suspender inclined*. Berdasarkan hasil analisis ratio dari kedua *suspender* memenuhi kapasitas ratio yang diizinkan yaitu $< 0,95$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum, 2010, *Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- [2] Standar Nasional Indonesia, 2016, *Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Rancangan Standar Nasional Indonesia, 2013, *Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa*. Badan Standarisasi Nasional.