REVIEW STRUKTUR ATAS JEMBATAN PESAWANGAN MANADO DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MIDAS CIVIL

Kleofas R. R. Mekel[1], I Gede Y. Kafrain[1,*], Fenny Moniaga[1]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik De La Salle Manado
e-mail: ikafrain@unikadelasalle.ac.id

Abstrak—Dalam melaksanakan peninjauan kembali struktur atas jembatan Pesawangan Manado dengan menggunakan software Midas Civil (2022 V1.2) untuk dapat mengetahui tingkat keamanan struktur atas jembatan Pesawangan Manado yang sudah jadi. Pembebanan beban mati terbesar jembatan Pesawangan Manado terdapat pada total keseluruhan beban mati dengan nilai 45.52 kN/m. Untuk beban hidup terbesar terdapat pada beban lajur lalu lintas dengan pembebanan sebesar 16.43 kN/m, dan untuk pengaruh aksi alam yang sangat berpengaruh terhadap struktur yaitu beban akibat gempa. Serta kombinasi pembebanan paling berpengaruh atau terbesar pada jembatan pesawangan Manado terdapat pada kombinasi kuat 1. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan software Midas Civil dengan gaya tarik kawat prategang di lapangan sebesar 73.46% UTS atau sebesar 1366.356 MPa, didapatkan hasil kehilangan prategang maksimum sebesar 22.8% atau 1054.82 MPa lebih dari kehilangan prategang di lapangan sebesar 20% maka, Kawat prategang masih bisa mengalami kehilangan prategang sebesar 2.8% dari hasil kehilangan prategang di lapangan. Selain itu, kawat prategang yang digunakan juga masih aman terhadap batas tegangan dengan rasio 0.8. Berdasarkan hasil peninjauan pada Midas Civil, didapatkan rata-rata rasio perbandingan antara lendutan aktual dan lendutan izin mendapatkan hasil rata-rata sebesar 0.130973 < 1. Maka struktur balok girder pada jembatan Pesawangan Manado dikategorikan aman terhadap lendutan. Selain itu, dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap momen didapatkan hasil sebesar 0.3534 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado aman terhadap momen. Selain itu, dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap geser didapatkan hasil sebesar 0.0816 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado aman terhadap geser. Karena struktur tambahan memiliki spesifikasi yang sama persis, maka tingkat keamanan struktur tambahan pada sisi sebelahnya memiliki tingkat keamanan yang sama.

***Kata Kunci* – *Girder* prategangan, rasio keamanan, Midas Civil**

I. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan suatu infrastruktur yang sangat penting dalam hal menghubungkan jaringan jalan untuk keberlangsungan dan kelancaran mobilitas pada suatu daerah, sehingga dapat meningkatkan ekonomi pada suatu daerah. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang terbagi atas dua bagian sama seperti konstruksi bangunan lainnya yang memiliki dua bagian, yaitu bangunan atas dan bangunan bawah. Ada sedikit perbedaan antara konstruksi gedung dan jembatan karena pada bangunan atas jembatan berfungsi untuk menanggung beban lalu lintas yang terdistribusi pada pelat lantai, kemudian disalurkan ke *girder* sampai ke struktur bawah, begitu juga dengan beban pejalan kaki. Bangunan bawah memiliki fungsi sebagai penyalur beban dari struktur atas ke tanah dan menahan beban-beban yang bekerja pada struktur atas.

Jembatan yang menggunakan beton prategang (Prestress Concrete Bridge) merupakan suatu konstruksi beton yang di tegangkan dengan bantuan kabel baja yang memiliki tujuan untuk memberikan suatu gaya yang berlawanan dengan arah deformasi jembatan, sehingga dapat mengurangi lendutan atau deformasi dan dapat menahan beban yang bekerja di atasnya. Jembatan jenis ini digunakan untuk variasi bentang 20 – 40 meter.

Pada proses perancangan suatu struktur terutama struktur jembatan beton prategang, harus melalui proses analisis struktur yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur dari spesifikasi jembatan yang akan di desain terhadap pembebanan yang bekerja pada struktur. Seiring berjalannya waktu, perkembangan metode analisis struktur telah bertumbuh begitu pesat yang di mana sampai saat ini pengembangan alat bantu dalam menganalisis struktur atau aplikasi analisis struktur sudah begitu banyak seperti, MIDAS, TEKLA STRUCTURAL DESIGNER, ETABS, dan lain sebagainya dalam pembangunan struktur atas pada jembatan Pesawangan Manado, belum ada yang melakukan peninjauan kembali terhadap kekuatan struktur atas yang sudah jadi. Oleh sebab itu pada penelitian ini, peneliti akan melakukan peninjauan kembali struktur atas jembatan Pesawangan Manado dengan menggunakan *software* Midas Civil (2022 V1.2) agar dapat mengetahui tingkat keamanan struktur atas jembatan Pesawangan Manado yang sudah jadi terhadap pembebanan yang bekerja diatas-Nya berdasarkan

desain komponen struktur atas jembatan yang sudah diterapkan di lapangan. Pemilihan aplikasi Midas Civil sebagai aplikasi analisis pada penelitian ini juga dikarenakan, aplikasi Midas Civil memiliki keuntungan dapat menganalisis langsung kehilangan gaya prategang dibandingkan aplikasi lain.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan

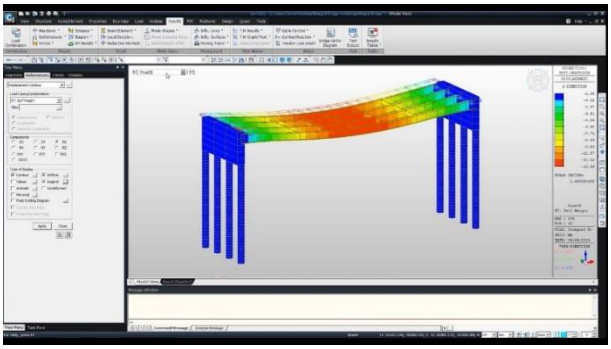
Jembatan merupakan suatu infrastruktur yang sangat penting dalam hal menghubungkan jaringan jalan yang terputus oleh danau, sungai, lembah/jurang, laut, maupun jalan kereta api dan jalan raya. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang terbagi atas dua bagian sama seperti konstruksi bangunan lainnya yang memiliki dua bagian, yaitu bangunan atas dan bangunan bawah [1].

Jembatan Prategang

Jembatan beton pratekan merupakan suatu konstruksi beton yang di tegangkan dengan bantuan kabel baja yang memiliki tujuan untuk memberikan suatu gaya yang berlawanan dengan arah deformasi jembatan, sehingga dapat mengurangi lendutan atau deformasi dan dapat menahan beban yang bekerja di atasnya. Jembatan jenis ini digunakan untuk variasi bentang 20 – 40 meter. Beton pratekan menjadi solusi untuk mengatasi besarnya deformasi yang timbul pada struktur dengan bentang yang besar. Sistem kabel terdiri dari kabel (wire, strand, bar), selongsong dan angkur (angkur hidup, angkur mati) [2].

Midas Civil (2022 V1.2) pada Perhitungan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang

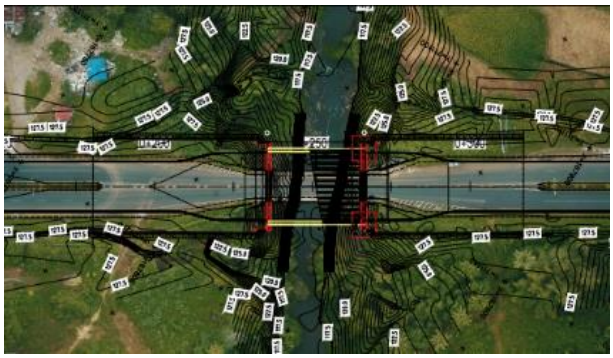
Aplikasi analisis struktur yang sangat mudah mendesain dan menganalisis struktur jembatan salah satunya aplikasi MIDAS Civil. Aplikasi ini dibuat menggunakan program Visual C++ yang dapat dioperasikan sangat mudah dan cepat untuk memodelkan, mendesain, dan menganalisis struktur jembatan. Kelebihan dari penggunaan aplikasi ini yaitu, dapat digunakan secara wizard dan dapat menganalisis secara langsung kehilangan gaya prategang yang terjadi.



Gambar 1. Midas Civil 2022 v1.2
Sumber: https://images.app.goo.gl/bGgFKADRpKSFTxQc7

III. METODE PENELITIAN

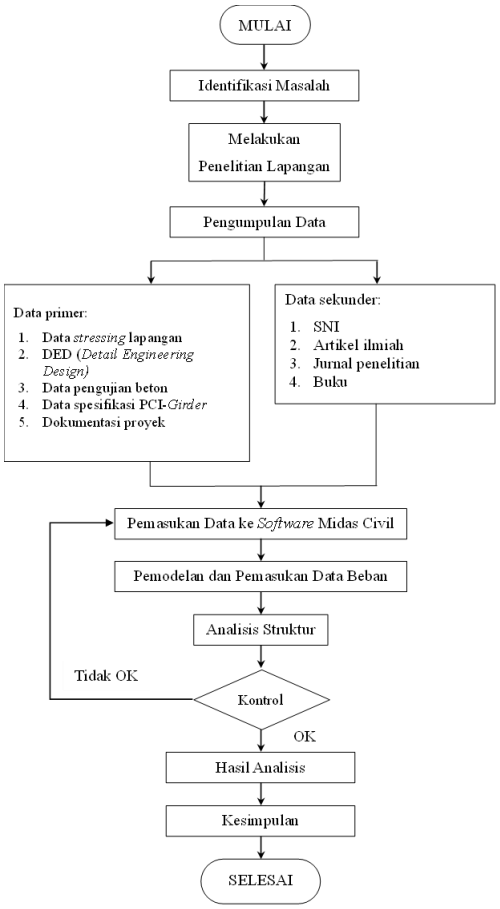
Pada penelitian ini dilaksanakan selama masa kerja praktik pada bulan Juli sampai dengan Agustus Tahun 2023 yang berlokasi di jembatan Pesawangan pada ruas Ruas jalan Ring Road II, Kota Manado. Jembatan Pesawangan ini merupakan Salah satu jalan yang merupakan jalur mobilisasi masyarakat yang ada di kecamatan Mapanget dan sekitarnya yaitu Ruas jalan Ring Road II, Kota Manado.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Gambar DED Jembatan Pesawangan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengelolaan data dengan menggunakan bantuan aplikasi Midas Civil (2022 v1.2) untuk analisis struktur bagian atas jembatan beton prategang. Pada pengumpulan data, peneliti mengumpulkan data primer dengan cara melakukan pengamatan secara langsung pada proses pelaksanaan pekerjaan struktur atas, sehingga mendapatkan data stressing lapangan, data spesifikasi PCI-*girder*, data pengujian beton, DED (Detail Engineering Design), dan dokumentasi lapangan. Sedangkan untuk data sekunder, sumber data yang dikumpulkan oleh penulis terdiri dari SNI (Standar Nasional Indonesia), Jurnal penelitian, artikel penelitian, dan buku yang memuat kasus atau masalah yang penulis butuh kan untuk dipelajari dan diteliti.

A. Bagan Alir

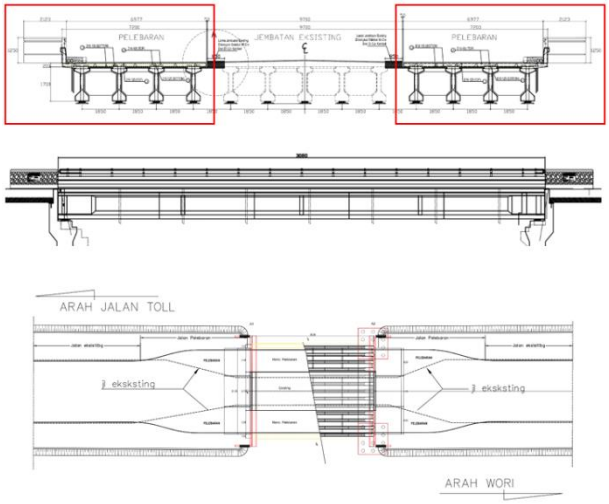


Gambar 3. Bagan Alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Perencanaan Geometri Struktur

Data Jembatan

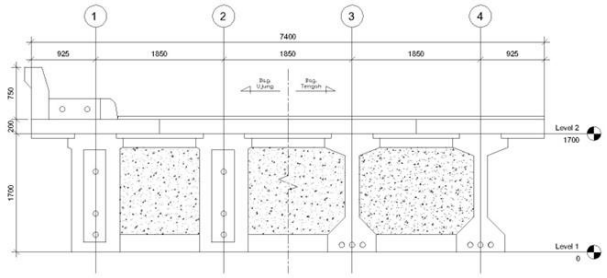


Gambar 4. Gambar Tampak Jembatan

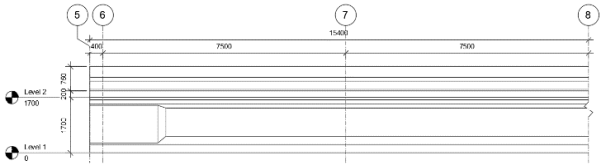
Untuk dimensi jembatan secara keseluruhan memiliki dimensi dan geometri struktur sebagai berikut:

- Panjang jembatan (L) = 30.80 m
- Lebar total jembatan (b') = 24.10 m
- Lebar badan jalan jalur kiri = 10.80 m
- Jarak antar *girder* (s) = 1.85 m
- Jarak antar diafragma (a) = 7.50 m
- Jumlah *girder* (n_g) = 13 bh
- Jumlah diafragma/baris (n_d) = 10 bh
- Tipe jalan = 2 Jalur, 4 Lajur

Data Jembatan yang dianalisis



Gambar 5. Tampak depan dua bagian



Gambar 6. Tampak samping

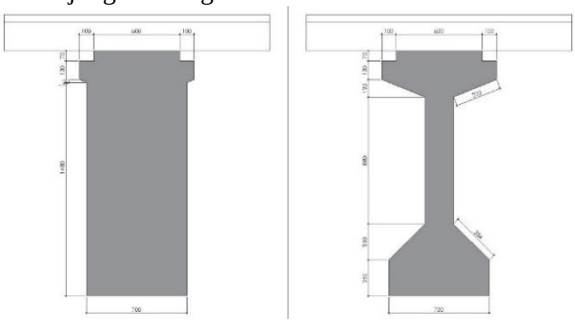
Jembatan yang diteliti merupakan jembatan yang sudah selesai dibangun dengan panjang jembatan (L) = 30.80 m, dan lebar total jembatan yang dilebarkan (b) = 7.40 m dari sisi terluar jembatan sampai pada batas sambungan antara jembatan eksisting dengan jembatan baru. Untuk dimensi jembatan baru pada sisi sebelahnya memiliki dimensi yang sama atau simetris.

Geometri struktur:

- Panjang jembatan (L) = 30.80 m
- Lebar total jembatan (b') = 7.40 m
- Lebar badan jalan (b1) = 6.15 m
- Lebar trotoar (b2) = 1.25 m
- Jarak antar *girder* (s) = 1.85 m
- Jarak antar diafragma (a) = 7.50 m
- Jumlah *girder* (n_g) = 4.00 bh
- Jumlah diafragma/baris (n_d) = 3.00 bh

a. Dimensi *girder*

Girder ujung dan tengah



Gambar 6. Dimensi *girder*

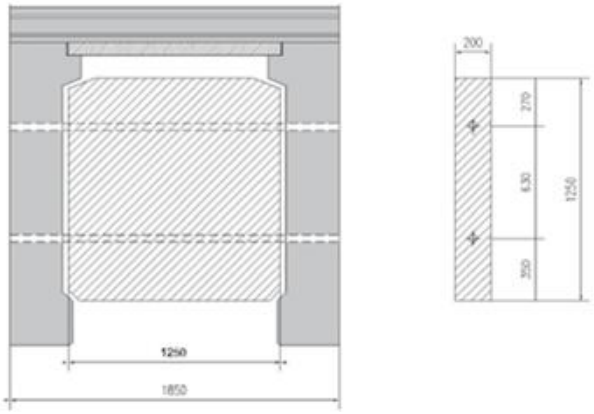
Tabel 1. Dimensi *girder*

No.	DIMENSI		Luas Tampang A (m^2)	Jarak terhadap alas y (m)	Statis Momen A * y (m^3)
	Tinggi h (m)	Lebar b (m)			
***GIRDER* BAGIAN UJUNG**					
1	0.070	0.600	0.0420	1.6650	0.0699
2	0.130	0.800	0.1040	1.5650	0.1628
3	0.020	0.050	0.0010	1.4733	0.0007
4	1.480	0.700	1.0360	0.7400	0.7666
Σ	1.700		1.0743		1.0001
***GIRDER* BAGIAN TENGAH**					
1	0.070	0.600	0.0420	1.6650	0.0699
2	0.130	0.800	0.1040	1.5650	0.1628
3	0.120	0.300	0.0180	1.4600	0.0263
4	1.250	0.200	0.2500	0.8750	0.2188
5	0.250	0.250	0.0313	0.3333	0.0104
6	0.250	0.700	0.1750	0.1250	0.0219
Σ	1.700		0.6203		0.5100

Volume *girder* = 21.84 m^3 → Volume satu bentangan *girder*

b. Dimensi diafragma

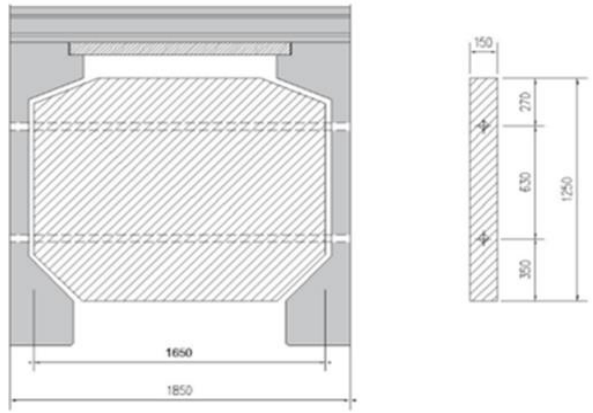
Diafragma ujung



Gambar 7. Dimensi diafragma ujung

Panjang L = 1.250 m
Lebar b = 0.200 m
Tinggi h = 1.250 m
Luas A = 0.25 m^2
Volume V = 0.30 m^3

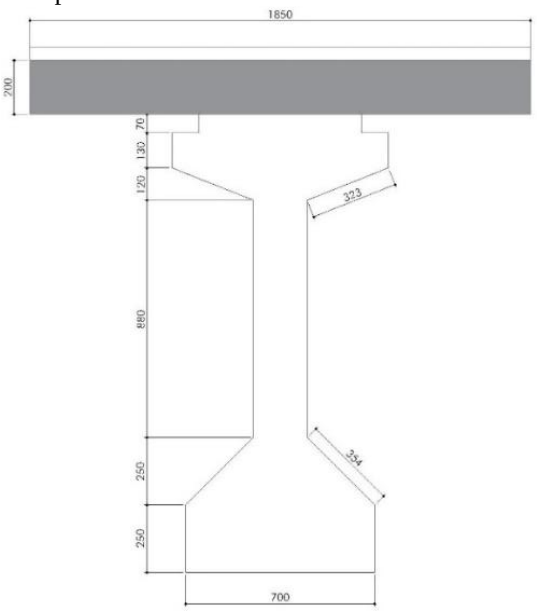
Diafragma tengah



Gambar 8. Dimensi diafragma Tengah

Panjang L = 1.650 m
Lebar b = 0.150 m
Tinggi h = 1.250 m
Luas A = 0.1875 m^2
Volume V = 0.38 m^3

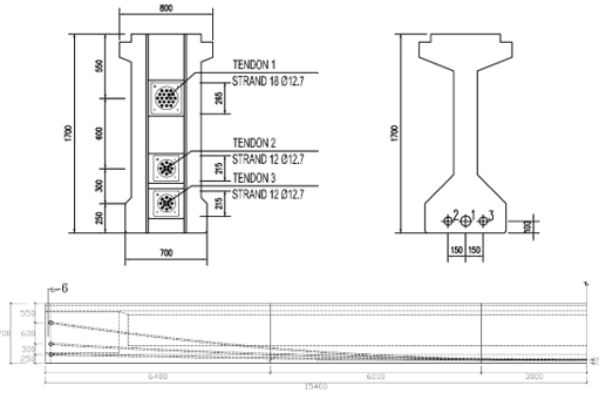
c. Dimensi pelat lantai



Gambar 9. Dimensi pelat lantai

Panjang L = 30.80 m → *Mengikuti panjang jembatan*
Lebar b = 1.85 m → *Lebar pembagian slab di atas satu girder*
Tebal t = 0.20 m
Luas A = 56.98 m^2
Volume V = 11.40 m^3

d. Koordinat tendon



Gambar 10. Koordinat tandon
Sumber: Gambar DED Jembatan Pesawangan

Tabel 2. Koordinat tendon untuk Midas Civil

T1			T2			T3		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0	-750	0	0	-1350	0	0	-1650
1000	0	-864	1000	14	-1399	1000	-14	-1666
2000	0	-989	2000	29	-1453	2000	-29	-1684
3000	0	-1106	3000	43	-1502	3000	-43	-1701
4000	0	-1213	4000	56	-1549	4000	-56	-1716
5000	0	-1312	5000	70	-1591	5000	-70	-1730
6000	0	-1401	6000	83	-1629	6000	-83	-1743
7000	0	-1481	7000	95	-1663	7000	-95	-1754
8000	0	-1553	8000	107	-1694	8000	-107	-1765
9000	0	-1615	9000	117	-1721	9000	-117	-1774
10000	0	-1668	10000	125	-1744	10000	-125	-1781
11000	0	-1713	11000	133	-1763	11000	-133	-1788
12000	0	-1748	12000	143	-1778	12000	-143	-1793
13000	0	-1774	13000	146	-1789	13000	-146	-1796
14000	0	-1791	14000	149	-1796	14000	-149	-1799
15000	0	-1799	15000	150	-1800	15000	-150	-1800
15400	0	-1800	15400	150	-1800	15400	-150	-1800

B. Data Mutu Material

a. Data material beton *girder* dan diafragma (SNI 1726:2016)
Mutu beton fc' = 45
Modulus elastisitas beton Ec = 31528,56 MPa
Possion rasio beton υ = 0,2
Berat jenis beton W_c = 2.400 kg/m^3

b. Data material beton pelat lantai (SNI 1726:2016)
Mutu beton fc' = 24,9
Modulus elastisitas beton Ec = 23452.95 MPa
Possion rasio beton υ = 0,2
Berat jenis beton W_c = 2.400 kg/m^3

c. Data material besi tendon atau kabel strand (SNI 1726:2016)
Mutu strand = A53
Modulus elastisitas Es = 199950 MPa
Berat jenis strand W_s = 7.861 kg/m^3

C. Pembebanan Struktur

Pada penelitian ini, peneliti melakukan perhitungan pembebanan secara manual mengikuti standar pembebanan yang berdasarkan SNI 1725:2016 dikarenakan adanya keterbatasan standar atau design code yang hanya mengacu pada standar luar negeri di aplikasi Midas Civil v22.

a. Beban mati

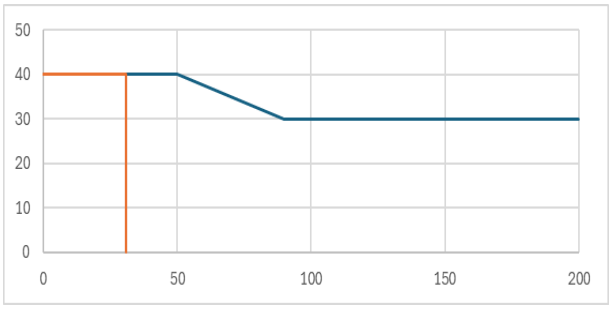
Tabel 3. Rekap beban mati

BEBAN	Volume m^3	Beban kN/m
Beban mati sendiri (MS)		
- Girder	21.84	18.09
- Diafragma	0.38	1.23
- Deck slab	2.70	2.10
- Slab	11.40	9.25
Total (MS) :		***30.67***
Beban mati tambahan (MA)		
- Barrier	6.04	4.90
- Trotoar	8.63	7.00
- Aspal	2.85	2.04
- Genangan air	2.85	0.91
Total (MA) :		***14.85***
Total beban mati :		***45.52***

b. Beban hidup

1) Beban pejalan kaki (TP)
Lebar trotoar, (b) = 1.00 m
Panjang bentang trotoar, (L) = 30.80 m
Beban pejalan kaki, (Q_{TP}) = 5.00 kN/m^2

2) Beban lajur (TD)
Pada perhitungan beban lajur, harus memperhitungkan atau memperhatikan FBD (Faktor Beban Dinamis). Untuk jembatan dengan bentang 30.8 m, memiliki Faktor Beban Dinamis (FDB) sebesar 40%.



Gambar 11. Faktor beban dinamis

Beban kendaraan yang berupa beban lajur "D" terdiri dari (Beban Terbagi Rata) BTR dan (Beban Garis) BGT. BTR mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang bentang L = 30.8 m yang dibebani lalu-lintas dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

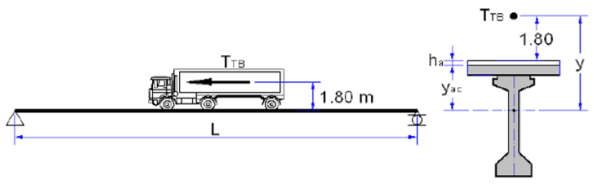
- q = 9.0 kPa → untuk L ≤ 30
- q = 9.0 x (0.5 + $\frac{15}{L}$) kPa → untuk L > 30

Jadi,

- q = 9.0 x (0.5 + $\frac{15}{30.8}$) = 8.9 kPa ≈ 8.9 kN/m^2
- p = 49.00 kN/m *(SNI 1725:2016, Pasal 8.3.1)*
- Q_{TD} = 8.9 x 1.85 = 16.43 kN/m
- P_{TD} = (1 + 40%) x 49 x 1.85 = 126.91 kN

3) Gaya rem (TB)
Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1.80 m di atas lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan sebagai berikut:

- TB1 = 25% → dari berat gandar truk desain
- TB2 = 5% → dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR



Gambar 12. Gaya rem

Jadi,

- Panjang bentang *Girder*, L = 30.80 m

- Jumlah *Girder* pada area b1, n_{girder} = 4.00 bh
- Jarak antara *Girder*, s = 1.85 m
- Lebar area jalan, B1 = 6.15 m
- TTB 1 = 0,25 * BG = 56.3 kN
- TTB 2 = 0.05 * (TT + TD_{BTR}) = 25.8 kN
- TTB = 56.3 kN
- TTB per meter = TTB / L = 1.8 kN/m → *Input Midas*
- Tebal plat lantai, h_o = 0.20 m
- Tebal aspal+lapisan overlay, h_a = 0.05 m
- Lengan momen, y = 1.8 + h_o + h_a + y_{ac} = 3.43 m
- Beban momen gaya rem, M = TTB*y =193.22 kNm

c. Aksi lingkungan

1) Beban gempa

Beban gempa pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* yang diterbitkan oleh Litbang Puskim yaitu RSA2019 untuk mencari nilai respons spektrum gempa.[7]

Penentuan kelas situs tanah:

$$\bar{N} = \frac{30}{1.69} = 17.80$$

Nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ($\bar{N}$) yang didapatkan pada perhitungan di atas maka, berdasarkan kriteria kelas situs tanah dari SNI 1726:2019. Perolehan tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata atau $\bar{N}$ = 17.80 berada pada situs tanah sedang atau SC yang di mana lebih dari 15 dan kurang dari 50.

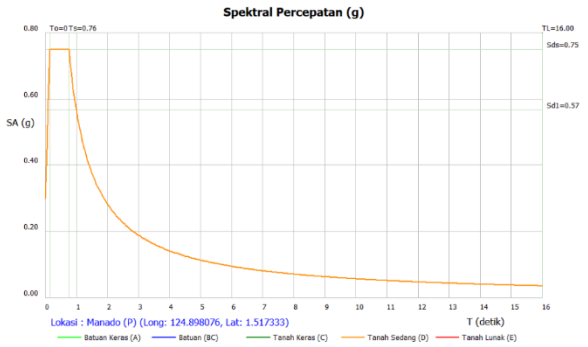
Penentuan respon spektrum gempa:

- Nama Kota : Manado (P)
- Bujur/Longitude : 124.898076 Degrees
- Lintang/Latitude : 1.517333 Degrees
- Kelas Situs : SD - Tanah Sedang

Dari data di atas, koordinatnya dimasukkan ke dalam aplikasi RSA 2019 sehingga mendapatkan hasil berikut:[7]

- PGA = 0.464543 g
- PGAm = 0.527469 g
- C_{Rs} = 0.000000
- C_{R1} = 0.000000
- S_s = 1.033852 g
- S_1 = 0.462947 g
- T_L = 16.000000 detik
- F_a = 1.086459
- F_v = 1.837053
- S_{ms} = 1.123238 g
- S_{m1} = 0.850459 g
- S_{ds} = 0.748825 g
- S_{d1} = 0.566972 g
- T_0 = 0.151430 detik
- T_s = 0.757149 detik

Berikut ini merupakan hasil respons spektrum yang didapatkan dari aplikasi RSA2019 [7].



Gambar 13. Grafik respon spektrum

Tabel 4. Respon spektrum gempa

Waktu Getar T (sec)	Nilai Getar SA (g)	
0.000	0.2995	
0.151	0.749	T0
0.757	0.749	Ts
1.000	0.567	
2.000	0.284	
3.000	0.189	
4.000	0.142	
5.000	0.113	
6.000	0.095	
7.000	0.081	
8.000	0.071	
9.000	0.063	
10.000	0.057	
11.000	0.052	
12.000	0.047	
13.000	0.044	
14.000	0.041	
15.000	0.038	
16.000	0.035	

2) Beban angin

Untuk perhitungan beban angin arah horizontal pada penelitian ini dihitung sebagai berikut:

Keterangan:

- Koefisien serat, C_w = 1.2
- Kecepatan angin rencana, W_w = 35 m/detik

Sehingga:

- $T_{EWh} = 0.0012\ x\ 1.2\ x\ 35^2$ = 1.764 kN/m

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2.00 m di atas lantai jembatan. Sehingga:

- h = 2.00 m, dan jarak antar roda x = 1.75 m.
- Panjang bentang, L = 30.80 m
- Beban transfer angin ke lantai

$$Q_{EWh} = \frac{1}{2} x \frac{2.00}{1.75} x 1.764 = 1.01 \text{ kN/m}$$

3) Pengaruh temperatur

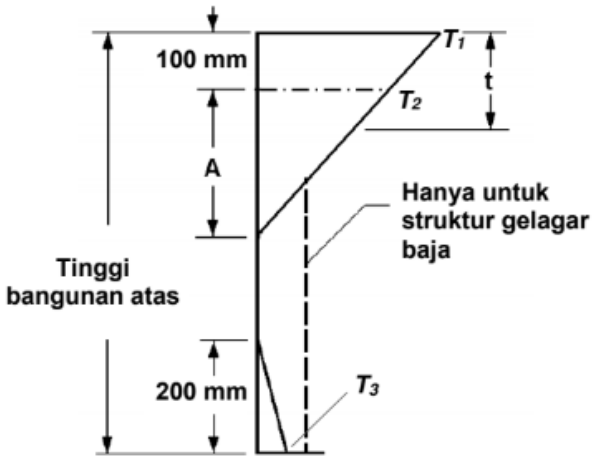
Pada penelitian ini, pengaruh temperatur tetap atau temperatur pada elemen struktur, dan pengaruh temperatur

gradien. Untuk temperatur tetap mengacu pada Tabel 18, SNI 1725:2016 dengan data seperti Tabel 5 [5].

Tabel 5. Temperatur nominal rata-rata jembatan

Temperatur jembatan rata-rata nominal		
Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
	°C	°C
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15	40
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15	40
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15	45

Berdasarkan Tabel 5, temperatur jembatan rata-rata nominal untuk jembatan tipe bangunan atasnya menggunakan lantai beton di atas gelagar atau boks beton. Maka temperatur jembatan rata-rata minimum sebesar 15°C, sedangkan untuk temperatur jembatan rata-rata maksimum sebesar 40°C. Temperatur rata-rata dijadikan sebagai temperatur tetap struktur atau (EUn). Sedangkan untuk temperatur gradien pada penelitian ini, pengaruh gradien mengacu pada SNI 1725:2016 yang mengatur gradasi pengaruh temperatur seperti pada Gambar 14:

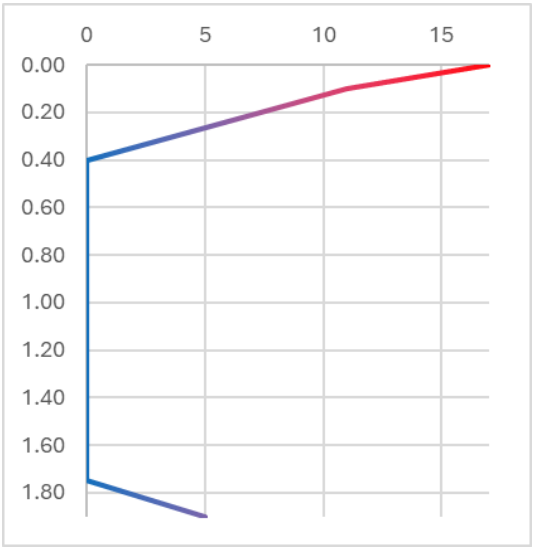


Gambar 14. Gradien temperatur vertikal

Lokasi jembatan yang terletak pada ketinggian lebih dari 500 m di atas permukaan laut sehingga T1 sebesar 17°C, T2 sebesar 11°C, dan T3 sebesar 5°C. Dalam pengaplikasian gradien temperatur di Midas Civil, harus menghitung gradasi temperatur pada setiap jarak t dari T1 sampai 0°C dengan grafik seperti:

Tabel 6. Koordinat gradasi

Tinggi	T	Tinggi	T	Tinggi	T
0.00	17	0.80	0	1.55	0
0.10	11	0.85	0	1.60	0
0.15	0	0.90	0	1.65	0
0.20	0	0.95	0	1.70	0
0.25	0	1.00	0	1.75	0
0.30	0	1.05	0	1.90	5
0.35	0	1.10	0		
0.40	0	1.15	0		
0.45	0	1.20	0		
0.50	0	1.25	0		
0.55	0	1.30	0		
0.60	0	1.35	0		
0.65	0	1.40	0		
0.70	0	1.45	0		
0.75	0	1.50	0		



Gambar 15. Grafik gradasi temperatur

D. Analisis dan Kontrol

a. Pemanjangan tendon

Tabel 7. Selisish pemanjangan tendon

No.	Nama Tendon	Besaran Pemanjangan Tendon					
		Lapangan		Perhitungan		Selisih	
		Awal (mm)	Akhir (mm)	Akhir (mm)	Awal (mm)	Akhir (mm)	Awal (mm)
Girder A							
1	GAT1	202.3	0	198.2282	0	4.0718	0
2	GAT2	204.2	0	201.8346	0	2.3654	0
3	GAT3	205.8	0	203.8351	0	1.9649	0
Girder B							
4	GBT1	202.3	0	198.2282	0	4.0718	0
5	GBT2	204.2	0	201.8346	0	2.3654	0
6	GBT3	205.8	0	203.8351	0	1.9649	0
Girder C							
7	GCT1	202.3	0	198.2282	0	4.0718	0
8	GCT2	204.2	0	201.8346	0	2.3654	0
9	GCT3	205.8	0	203.8351	0	1.9649	0
Girder D							
10	GDT1	202.3	0	198.2282	0	4.0718	0
11	GDT2	204.2	0	201.8346	0	2.3654	0
12	GDT3	205.8	0	203.8351	0	1.9649	0

Sumber: Hasil stressing record dan perhitungan Midas Civil

Berdasarkan selisih perpanjangan tendon pada Tabel 7 didapatkan selisih terbesar sebesar 4.0718 mm atau sebesar 4.072%. Berdasarkan *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (9th Edition)* untuk panjang tendon lebih dari 15 m selisih antara perhitungan dan lapangan harus kurang dari 5%.[8] Jadi perpanjangan tendon hasil perhitungan dan lapangan masih memenuhi kategori yang ditentukan *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (9th Edition)*.

b. Kehilangan prategang tendon

Kehilangan prategang dalam penelitian ini dianalisis langsung oleh *software* Midas Civil dan *output* dari hasil analisis di kontrol berdasarkan persyaratan pada AASHTO LRFD 9th.

1) Data kabel prategang

Kekuatan Ultimit, f_{pu} = 1860 MPa
Kekuatan luluh, 90% f_{pu}, f_{py} = 1674 MPa
Kekuatan dongkrak, 73.46% f_{pj} = 1366.356 MPa
Kekuatan Jacking Awal, 70.00% f_{pi} = 1302 MPa

2) *Immediate Loss*

Kehilangan Akibat Gesekan

Rotasi setengah balok di tengah:
$\alpha_m = 2(e_m-e_{sp})/(0.5*L_{s1})$ = 0.111
Rotasi setengah balok di ujung:
$\alpha_e = 4(e_m-e_{sp})/(0.5*L_{s1})$ = 0.222
Koefisien goyangan, K = 6.60.E-04 1/m
Koefisien gesekan, μ = 0.2
Kehilangan gesekan tendon,

- *Middle*, $\Delta fp_{Fm} = fpj*[1-e^{-(K*xmid+\mu*\alpha m)}]$ = 43.528 MPa
- *End*, $\Delta fp_{Fe} = fpj*[1-e^{-(K*xend+\mu*\alpha e)}]$ = 85.670 MPa

Tegangan tendon yang tersisa,

- *Middle*, $fp_{Fm} = fpj - \Delta fp_{Fm}$ = 1322.828 MPa
- *End*, $fp_{Fe} = fpj - \Delta fp_{Fe}$ = 1280.686 MPa

Persamaan kehilangan frinction,

- $a1 = (fp_{Fe} - fpj)/L_{s1}$ = -2.781 MPa
- $b1 = fpj$ = 1366.356 MPa
- $fpF(x) = a1(x) + b1$ = -2.8x+1366.356
- fpF(15) = 1324.634 MPa

Kehilangan Pengaturan Jangkar

Kehilangan tegangan slip jangkar,
$\Delta fL = \Delta fp_{Fm}$ = 43.528 MPa
Jarak kehilangan pengaturan jangkar,

- $x_{pA} = \sqrt{(E_{ps}*\Delta_A*L_{s1} / 2*\Delta_{fL})}$ = 20.605 m

Kehilangan prategang akibat slip,

- $\Delta f_{pA} = 2*\Delta_{fL}*x_{pA}/0.5*L_{s1}$ = 116.479 MPa

Tegangan tendon yang tersisa,

- *Middle*, $fp_{A0} = fpj - \Delta f_{pA}$ = 1249.877 MPa
- *End*, $fp_{Ax} = fpj - \Delta_{fpA}/2$ = 1308.117 MPa

Persamaan kehilangan akibat slip,

- $a2 = (fp_{Ax} - fp_{A0})/x_{pA}$ = 2.827
- $b2 = fp_{A0}$ = 1249.877
- $fp_{A(x)} = a2*x + b2$ = 2.9x+1249.9 MPa

Pemendekan elastis

Modulus Elastisitas Baja Prategang,
$E_p = E_{ps}$ = 200000 MPa
Modulus bagian,
$E_{c'} = \max(E_{ci}, E_{c1})$ = 33242.539
Tendon-beton modular rasio, $n_i = E_p/E_{c'}$ = 6.016
Tegangan pada beton pada tingkat tendon,

- $\sigma_{cp} = -(-Pj/A_c - Pj*e_m^2/I_c + MSW_{mid}*e_m/I_c)$ = 23.313 MPa
- $N_{tendon} = 3+ n_{c1}/n_{c3} + n_{c2}/n_{c3}$ = 5.500

Kehilangan pemendekan elastis tendon

- $\Delta f_{pE} = [(N_{tendon}-1)/2*N_{tendon}]*n_i*\sigma_{cp}$ =57.378 MPa

3) *Time Dependent Loss*

Kehilangan Prategang karena Relaksasi Baja

AASHTO bagian 5.9.5.3, kehilangan relaksasi dapat diambil sebagai:

- 17 MPa untuk untaian relaksasi rendah
- 70 MPa untuk untaian yang menghilangkan stres

atau sesuai dengan rekomendasi produsen untuk jenis atau untaian lain.
Kehilangan relaksasi, Δ_{fpR} = 17.0 MPa

Kehilangan prategang karena Susut Beton

Kelembaban relatif sekitar tahunan rata-rata, H_u = 70
Faktor koreksi untuk kelembaban relatif,
$\gamma_h = 1.7 - 0.01*H_u$ = 1
Faktor koreksi untuk beton tertentu,
$\gamma_{st} = 35/(7+f_{ci\ girder})$ = 0.77
Kekuatan pada saat transfer prastres
Kehilangan akibat susut,
$\Delta f_{pCR} = 10*fpi_{mid}*A_{ps}/A_c*\gamma_h*\gamma_{st}$ = 57.2 MPa

Kehilangan Prategang karena Penyusutan Beton

Kehilangan prategang akibat penyusutan,
$\Delta f_{pSR} = 83\ MPa*\gamma_h*\gamma_{st}$ = 64.20 MPa
Total *time-dependent loss*,
$\Delta f_{pTL} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSR}$ = 138.35 MPa
Regangan setelah kerugian tergantung waktu,
fpe(x) = fpi(x) - ΔfpTL
Support x0 = 0 fpe(0) = -
Segment 1 xs1 = 5 fpe(5) = 1054.15 MPa
Segment 2 xs2 = 10 fpe(10) = 1054.37 MPa
Segment 3 xs3 = 15 fpe(15) = 1054.60 MPa
Middle xmid = 15.4 fpe(15.4) = 1054.82 MPa
Tetap kekuatan tendon,
$Pe_{mid} = fpe_{mid}*A_{ps}$ = 4373.11 kN
Tetap kekuatan tendon pada segmen,
$Pe_{seg} = fpe_{seg}*A_{ps}$ = 4372.18 kN
Tegangan akhir total pada tendon rentang,
$fpe_{sb} = fpe_{mid}$ = 1054.82 MPa
Tegangan awal total pada untaian,
$fpi_{sb} = fpi_{mid}$ = 1193.19 MPa

4) *Tendon Stress after Losses*

Persentase total kehilangan prategang pada tendon,

- $\%\Delta p = 1-fpe_{sb}/fpj$=22.80%

Periksa asumsi kehilangan prategang,

- Cek %Δp > %Δs = 22.80% > 20% OK

Tegangan awal total pada untaian,

$fpi_{sb} = fpi_{mid}$ = 1193.19 MPa
Tegangan akhir total pada tendon,
$fpe_{sb} = fpe_{mid}$ = 1054.82 MPa
Total gaya awal dalam untaian,
$P_i = fpi_{sb} * A_{ps}$ = 4946.76 kN
Total gaya akhir balok sederhana,
$P_{eff} = fpe_{sb} * A_{ps}$ = 4373.11 kN

5) Kontrol Tegangan Kabel Prategang
Kehilangan prategang di lapangan,
%Δs = 20%
Gaya prategang yang efektif,
$fp_{eff} = (1-\%\Delta s) * f_{pi}$ = 1041.600 MPa
Kontrol tegangan,
$fp_{eff} < 70\% f_{pu}$ = 1041.6 < 1302.0 = OK
Rasio tegangan aktual terhadap batas tegangan
- 1041.6/1302.0 = 0.8 < 1 OK

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *software* Midas Civil dengan gaya tarik kawat prategang di lapangan sebesar 73.46% UTS atau sebesar 1366.356 MPa, didapatkan hasil kehilangan prategang maksimum sebesar 22.8% atau 1054.82 MPa lebih dari kehilangan prategang di lapangan sebesar 20% maka, Kawat prategang masih bisa mengalami kehilangan prategang sebesar 2.8% dari hasil kehilangan prategang di lapangan. Selain itu, kawat prategang yang digunakan juga masih aman terhadap batas tegangan dengan rasio 0.8.

c. Gaya dalam

1) Lendutan
Dari hasil analisis menggunakan bantuan *software* Midas Civil, didapatkan hasil perhitungan dan rasio perbandingan antara lendutan aktual terhadap batasan lendutan dapat di lihat sebagai berikut:

Tabel 8. Rasio perbandingan lendutan

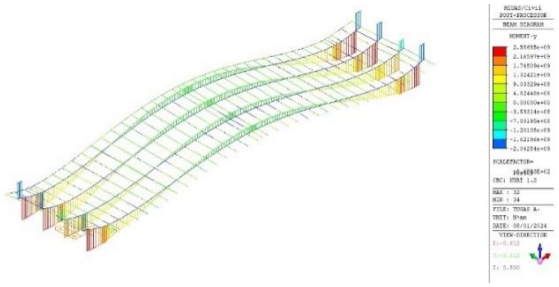
Kombinasi	Lendutan Aktual	Batas Lendutan L/240	Kontrol <L/240	Rasio
Kuat 1.1	0.0063	0.128333333	OK	0.049091
Kuat 2.1	0.0059	0.128333333	OK	0.045974
Kuat 3.1	0.0085	0.128333333	OK	0.066234
Kuat 4.1	0.0025	0.128333333	OK	0.019481
Kuat 5.1	0.0066	0.128333333	OK	0.051429
Ektrem 1	0.1230	0.128333333	OK	0.958753
Extrem 2	0.0166	0.128333333	OK	0.129584
Layan 1.1	0.0234	0.128333333	OK	0.182026
Layan 2.1	0.0216	0.128333333	OK	0.168312
Layan 3.1	0.0231	0.128333333	OK	0.179844
Layan 4.1	0.0207	0.128333333	OK	0.161065
Fatik (TD&TR)	0.0031	0.128333333	OK	0.024234
Kuat 1.2	0.0184	0.128333333	OK	0.143688
Kuat 2.2	0.0168	0.128333333	OK	0.131143
Kuat 3.2	0.0139	0.128333333	OK	0.108156
Kuat 4.2	0.0094	0.128333333	OK	0.073083
Kuat 5.2	0.0130	0.128333333	OK	0.101221
Layan 1.2	0.0060	0.128333333	OK	0.046753
Layan 2.2	0.0055	0.128333333	OK	0.042779
Layan 3.2	0.0053	0.128333333	OK	0.041221
Layan 4.2	0.0034	0.128333333	OK	0.026361
			Rata-rata :	0.130973

Setelah di analisis, rata-rata rasio perbandingan antara lendutan aktual dan lendutan izin mendapatkan hasil rata-rata sebesar 0.130973 < 1. Maka struktur balok *girder* pada jembatan Pesawangan Manado dikategorikan aman terhadap lendutan.

2) Momen
Pada penelitian ini, di dapatkan hasil momen paling maksimal pada kombinasi pembebanan kuat 1 dengan hasil sebagai berikut:
Untuk batas momen,
- Mu < φ Mn
- 2586852019 MPa < 0.8 x 9146769676 MPa
- 2586852019 MPa < 7317415741 MPa
- Kontrol = OK

Tabel 9. Hasil momen terbesar

Kombinasi	Cek	Muy (N*mm)	Mcr (N*mm)	Mny (N*mm)	φ Mny (N*mm)	Rasio (Muy/φMn
Kuat 1.2	OK	2586852019	6167406962	9146769676	7317415741	0.3534



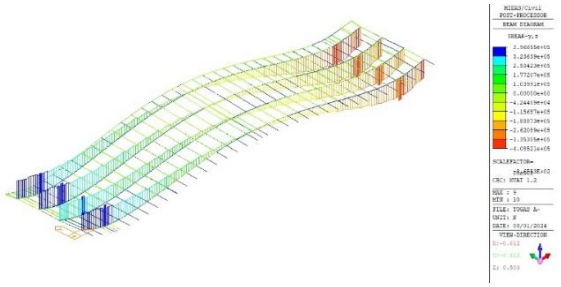
Gambar 16. Diagram momen terbesar

Dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap momen didapatkan hasil sebesar 0.3534 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado aman terhadap momen.

3) Geser
Pada penelitian ini, di dapatkan hasil geser paling maksimal pada kombinasi pembebanan kuat 1 dengan hasil sebagai berikut:
Untuk batas geser,
- Vu < φ Vn
- 396855 MPa < 0.9 x 5406147.853 MPa
- 396855 MPa < 4865533.068 MPa
- Kontrol = OK

Tabel 10. Hasil geser terbesar

Kombinasi	Cek	Vu (N)	Vn (N)	φ Vn (N)	Rasio (Vu/φVn)
Kuat 1.2	OK	396855	5406147.853	4865533.068	0.0816



Gambar 17. Diagram geser terbesar

Dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap geser didapatkan hasil sebesar 0.0816 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado aman terhadap geser.

V.KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapatkan dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembebanan beban mati terbesar jembatan Pesawangan Manado terdapat pada total keseluruhan beban mati dengan nilai 45.52 kN/m. Untuk beban hidup terbesar terdapat pada beban lajur lalu lintas dengan pembebanan sebesar 16.43 kN/m, dan untuk pengaruh aksi alam yang sangat berpengaruh terhadap struktur yaitu beban akibat gempa. Serta kombinasi pembebanan paling berpengaruh atau terbesar pada jembatan pesawangan Manado terdapat pada kombinasi kuat 1.
2. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *software* Midas Civil dengan gaya tarik kawat prategang di lapangan sebesar 73.46% UTS atau sebesar 1366.356 MPa, didapatkan hasil kehilangan prategang maksimum sebesar 22.8% atau 1054.82 MPa lebih dari kehilangan prategang di lapangan sebesar 20% maka, Kawat prategang masih bisa mengalami kehilangan prategang sebesar 2.8% dari hasil kehilangan prategang di lapangan. Selain itu, kawat prategang yang digunakan juga masih aman namun memiliki tingkat keamanan yang rendah terhadap batas tegangan dengan rasio 0.8.
3. Berdasarkan hasil peninjauan pada Midas Civil, didapatkan rata-rata rasio perbandingan antara lendutan aktual dan lendutan izin mendapatkan hasil rata-rata sebesar 0.130973 < 1. Maka struktur balok *girder* pada jembatan Pesawangan Manado dikategorikan memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap lendutan. Selain itu, dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap momen didapatkan hasil sebesar 0.3534 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap momen. Selain itu, dari hasil yang didapatkan, untuk rasio keamanan struktur terhadap geser didapatkan hasil sebesar 0.0816 < 1 yang berarti struktur balok prategang pada jembatan Pesawangan Manado memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap geser. Karena struktur tambahan memiliki spesifikasi yang sama persis, maka tingkat keamanan struktur tambahan pada sisi sebelahnya memiliki tingkat keamanan yang sama dengan hasil uji struktur jembatan baru yang ditinjau.

B. Saran

Adapun saran yang penulis sarankan untuk pembaca dan penulis selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlu adanya peninjauan kembali menggunakan aplikasi lainnya seperti Tekla Structural Design.
2. Peneliti selanjutnya perlu meneliti tingkat keamanan pelat lantainya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur serta rasa terima kasih patut penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan penyertaanya sehingga penulis dapat melakukan penelitian yang bisa terselesaikan dengan baik.

Pada penelitian ini, tentunya ada pihak-pihak yang selalu mendukung, menopang, membina, dan membantu penulis dalam penelitian ini. Oleh karena itu sebagai penulis, dengan segala rasa hormat dan syukur penulis ucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang ikut serta membantu.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Bagus, "MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN LEMAH IRENG 1 DI TOL SEMARANG-SOLO MENGGUNAKAN SISTEM CABLE-STAYED BRIDGE DENGAN A-TOWER TIPE SEMI- FAN," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.

[2] H. Silaban, "Evaluasi Perhitungan Struktur atas Jembatan Beton Prategang di Sibolga," Universitas Medan Area, 2019. [Online]. Available: https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/10950

[3] Direktorat Jendral Bina Marga, *Manual Perancangan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan*. Direktorat Jendral Bina Marga, 2011.

[4] M. Miranda, R. Suryanita, and E. Yuniarto, "Analisis Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Box Girder," *Sainstek (e-Journal)*, vol. 7, no. 2, pp. 62–72, 2019, doi: 10.35583/js.v7i2.18.

[5] BSN (Badan Standardisasi Nasional), *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.

[6] BSN (Badan Standardisasi Nasional), *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.

[7] Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, "RSA 2019." Kementerian PUPR, 2019. [Online]. Available: https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/