



ANALISA KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726-2019 PADA GEDUNG KOMISI PEMILIHAN UMUM PROVINSI PAPUA MENGGUNAKAN METODE PUSHOVER

Muhammad Rafly G. Rahayaan¹, Ardi Azis Sila², dan Andung Yunianta³

^{1*} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{2,3*} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{1*}rafly728@gmail.com, ^{2*}ardi.azis.sila@gmail.com, ^{3*}andung.ay@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Pada awal tahun 2023 telah terjadi gempa berkekuatan 5,4 magnitudo yang menyebabkan beberapa infrastruktur bangunan di Kota Jayapura mengalami dampak kerusakan. Gedung yang memiliki sifat ketahanan akan bencana gempa mengutamakan keamanan pada pergeseran bangunan dan kinerjanya yang sudah tersistematis. Konsep *Pushover* adalah sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur saat mengalami pengaruh gempa. Tujuan dari penelitian adalah mengetahui nilai *base shear* dan *displacement* dari kedua arah sumbu x dan y pada gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi Papua, serta mengetahui level kemampuan struktur berdasarkan ATC-40. Program Analisis struktur yang digunakan adalah ETABS V20 dengan pemodelan gedung 5 lantai menggunakan pembebanan gempa (*Response Spectrum*) berdasarkan SNI 1726-2019. Dari hasil analisa nilai *base shear* sebesar 9991,0946 kN untuk arah sumbu x dan 5960,9857 kN untuk arah sumbu y, sedangkan nilai simpangan (*displacement*) sebesar 15,622 mm untuk arah Sumbu x dan 23,124 mm untuk arah sumbu y. Pada hasil analisa *Pushover* didapatkan hasil level kinerja struktur gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi papua termasuk kategori IO (*Immediate Occupancy*) dengan nilai hasil 0,00141008 pada arah x dan 0,00140117 pada arah y.

Kata Kunci: Gempa Bumi, *Performanced Based Design*, *Pushover*, ATC-40

ABSTRACT

Based on data from the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG). At the beginning of 2023, there was an earthquake with a magnitude of 5.4 which caused damage to several building infrastructures in Jayapura City. Buildings that have earthquake resistance characteristics prioritize safety in building shifts and their systematic performance. The *Pushover* concept is a means to determine the capacity of a structure when it is affected by an earthquake. The purpose of this study was to determine the value of base shear and displacement from both directions of the x and y axes in the General Elections Commission building of Papua Province and to determine the level of structural capability based on ATC-40. The structural analysis program used is ETABS V20 with modeling of a 5-story building using earthquake loading (*Response Spectrum*) based on SNI 1726-2019. From the analysis results, the base shear value is 9991.0946 kN for the x-axis direction and 5960.9857 kN for the y-axis direction, while the displacement value is 15.622 mm for the x-axis direction and 23.124 mm for the y-axis direction. In the *Pushover* analysis results, the results of the performance level of the Papua Provincial Election Commission building structure are included in the IO (*Immediate Occupancy*) category with a result value of 0.00141008 in the x direction and 0.00140117 in the y direction.

Keywords: Earthquake, *Performance Based Design*, *Pushover*, ATC-40



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), pada 2 Januari 2023 sampai 9 Februari 2023 daerah wilayah Kota Jayapura telah mengalami gempa susulan sebanyak 1.079 kali dengan 132 kejadian yang dapat dirasakan penduduk wilayah Kota Jayapura. Gempa yang terjadi pada 9 Februari 2023 memiliki kekuatan gempa sebesar 5,4 Magnitudo, akibat dari adanya gempa bumi ini memberikan dampak kerusakan, terutama pada bangunan umum, perumahan dan perkantoran di sekitaran Kota Jayapura.

Seiring dengan adanya bencana gempa berkembangnya perencanaan pembangunan di setiap wilayah Indonesia dalam menanggulangi dampak gempa bumi pada gedung untuk kemaslahatan manusia. *Static Nonlinear Pushover Analysis* merupakan metode analisis yang mementingkan kemampuan bangunan pasca gempa. Berdasarkan penjelasan tersebut penulis mencoba menganalisa struktur beton bertulang pada gedung Komisi Pemilihan umum Provinsi Papua menggunakan metode *Pushover* yang didasari ketahanan gempa SNI 1726-2019 dengan bertujuan mengetahui nilai *base shear* dan *displacement* serta hasil kinerja gedung yang dipakai adalah *ATC-40*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Bencana gempa merupakan pergerakan lempeng secara mendadak yang menimbulkan gelombang seismik pada lempeng bumi. Dampak yang dihasilkan bersifat destruktif pada gedung dan non gedung, korban jiwa dan juga menimbulkan tsunami. Bencana ini sampai sekarang belum bisa di prediksi.

2.2 Perhitungan Bangunan Tahan Gempa

Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726: 2019 merupakan pedoman dalam merencanakan ketahanan gempa pada struktur bangunan gedung dan non gedung, adapun persyaratan yang perlu dianalisis untuk mengetahui kinerja struktur.

a) Kontrol Periode Fundamental

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (1)$$

Keterangan :

T_a : Periode pendekatan

H_n : Tinggi keseluruhan Gedung (m)

b) Kontrol Gaya Geser Dasar dan Penskalaan Gaya

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \quad (2)$$

Keterangan

C_s : koefisien respons seismik

SDS : Percepatan desain periode pendek

R : Koefisien modifikasi respons

I_e : Faktor keutamaan gempa

$$\text{Faktor Skala arah} = \frac{100\% V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \quad (3)$$

c) Pengaruh P-Delta

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (4)$$

Keterangan :

θ : Koefisien stabilitas

P_x : Total pembebanan vertical

Δ : Simpangan pada tiap lantai, terjadi secara serentak

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

I_e : Faktor keutamaan hunian
 V_x : Gaya seismic, pada tingkat atas
 H_{sx} : Tinggi antar lantai
 C_d : faktor defleksi

2.3 Metode *Pushover*

Metode *pushover* adalah metode yang cara kinerjanya dengan analisa non linier atau dinamis. Sesuai dengan peraturan gempa tahun 2002, analisa *Pushover* adalah memberi desain beban dorong terhadap struktur yang dipengaruhi oleh gempa rencana secara berangsur-angsur hingga struktur sampai pada batas plastis (pelelehan). Metode *Pushover* memiliki tujuan dalam menilai kemampuan struktur pasca gempa yang direncanakan sehingga dapat mengetahui poin-poin penting seperti nilai daktilitas, hasil kemampuan struktur saat terjadi gempa, kurva kapasitas dan mempresentasikan kelelahan pada bagian struktur bangunan yang terjadi (Pranata, 2006).

Tabel 1. Level Kinerja ATC-40

Tingkat Kinerja ATC-40				
Kriteria	<i>IO</i>	<i>DC</i>	<i>LS</i>	<i>SS</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 - 0,015	<i>no limit</i>	<i>no limit</i>

(Sumber : ATC-40, 1996)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi gedung yang ditinjau merupakan gedung Komisi Pemilihan Umum Provinsi Papua yang berlokasi di Jl. Holtekamp, Muara Tami, Kota Jayapura. Fungsi bangunan ini sebagai perkantoran daerah yang memiliki 4 lantai dengan luas bangunan adalah 5.875 m².



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

3.2 Prosedur Pengumpulan Data

Bagian tahapan ini melingkupi sebagai berikut :

- Tahapan studi literatur dengan mencari dan mempelajari sumber dari buku pedoman, jurnal ilmiah dan berbagai sumber internet yang berhubungan dengan analisa kinerja struktur dan metode *Pushover*.
- Tahapan studi dokumen yang didapatkan langsung yaitu berupa data sekunder mengenai data umum spesifikasi dan material struktur gedung yang dianalisis.

3.3 Metode Analisis Data

Prosedur analisis data melingkupi sebagai berikut :

- Menghitung pembebanan gravitasi dan gempa sesuai pedoman SNI 1727-2019 yang digunakan.
- Membuat pemodelan struktur melalui alat bantu aplikasi *ETABS* sesuai data sekunder gedung yang telah didapatkan.
- Mengecek Persyaratan gedung berupa kontrol simpangan, P-Delta, partisipasi massa dan penskalaan gempa (SNI 1726-2019).
- Menganalisa dan menentukan level kinerja struktur metode pushover berdasarkan ATC-40

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kontrol Periode Fundamental

Analisis dilakukan secara manual mengingat adanya perbedaan peraturan pada program *ETABS*. Periode fundamental (T) pada arah yang dihasilkan tidak disyaratkan apabila hasil perkalian koefisien untuk batasan periode tidak lebih atau kurang.

Tabel 2. Nilai Periode Fundamental

Arah	Tipe Struktur	Tinggi Gedung (m)	Tmin Ta	Tmax Cu*Ta	ETABS Tc
Sumbu X	SRPMK	20	0,6907	0,967	0,889
Sumbu Y	SRPMK	20	0,6907	0,967	0,781

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari tabel diatas kontrol periode yang digunakan adalah nilai Tc arah x = 0,889, dan arah y = 0,781 yang didapatkan dari hasil Analisis ETABS

4.2 Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil analisis dari program ETABS yang mengikuti persyaratan SNI 1726-2019 mengenai penentuan ragam getar alami menghasilkan nilai sebagai berikut.

Tabel 3. Partisipasi Massa Gedung

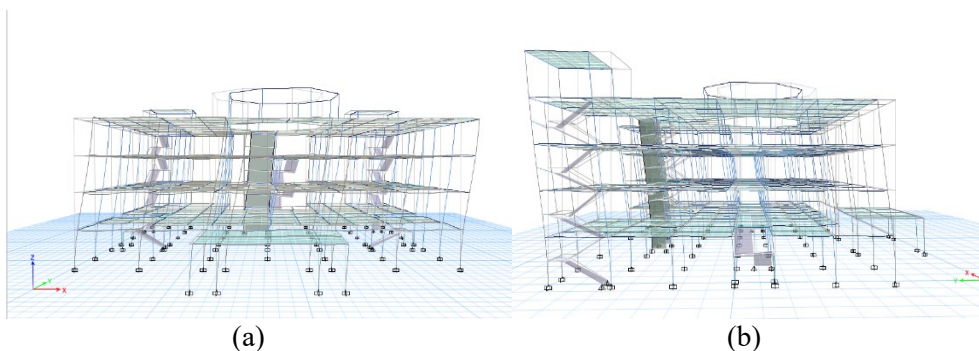
Ragam	Periode	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0,8890	0,2639	0,0173	0,2639	0,0173
2	0,7810	0,0073	0,7358	0,2712	0,7531
3	0,5420	0,5077	0,0001	0,7789	0,7532
4	0,2870	0,0458	0,0018	0,8247	0,7550
5	0,2450	0,0028	0,1298	0,8274	0,8849
6	0,2210	0,0667	0,0014	0,8941	0,8862
7	0,2020	0,0002	0,0033	0,8943	0,8895
8	0,1940	0,0078	0,0001	0,9021	0,8896
9	0,1800	0,0030	0,0000	0,9051	0,8896
10	0,1790	0,0001	0,0001	0,9052	0,8898
11	0,1780	0,0002	0,0002	0,9053	0,8900

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

12	0,1740	0,0000	0,0244	0,9053	0,9144
13	0,1660	0,0078	0,0001	0,9132	0,9145
14	0,1640	0,0016	0,0119	0,9148	0,9264
15	0,1610	0,0089	0,0041	0,9236	0,9305
16	0,1600	0,0032	0,0001	0,9268	0,9306
17	0,1510	0,0000	0,0021	0,9268	0,9327
18	0,1470	0,0001	0,0004	0,9269	0,9332
19	0,1450	0,0002	0,0043	0,9271	0,9374
20	0,1420	0,0031	0,0001	0,9302	0,9375

(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Dari hasil partisipasi massa pada tabel diatas dapat dilihat ragam getar alami dari hasil *output* program analisis ETABS pada kedua tampilan gedung dibawah ini.



Gambar 2. Ragam Alami Struktur Arah X (a), dan Ragam Alami Struktur Arah Y (b)
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

4.3 Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan hasil yang didapat kontrol gaya geser menampilkan nilai-nilai sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai Kontrol Gaya Geser

Arah	Cs	Cs Max	Cs Min	Cs Pakai
Sumbu X	0,1000	0,1139	0,0352	0,1000
Sumbu Y	0,1000	0,1297	0,0388	0,1000

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai Cs yang didapatkan tidak kurang dari Cs min dan tidak melewati Cs Max sehingga nilai Cs dapat dipakai.

Tabel 5. Nilai hasil Vstatik dan Vdinamik

Arah	Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Kontrol
Arah X	5553,3682	3292,6333	Tidak Memenuhi
Arah Y	5553,3682	4204,5703	Tidak Memenuhi

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Pada tabel diatas dapat dijelaskan bahwa nilai V_{statik} tidak memiliki nilai yang sama dengan $V_{dinamik}$ yang tidak memenuhi syarat, sehingga perlu dilakukan penskalaan, hal ini dikarenakan dalam persyaratan SNI 1726-2019 nilai V_{statik} harus sama dengan $V_{dinamik}$.

Tabel 6. Nilai Hasil Penskalaan V_{statik} dan $V_{dinamik}$

Arah	V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Kontrol
Arah X	5553,3682	5553,3682	Memenuhi
Arah Y	5553,3682	5553,3682	Memenuhi

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Setelah dilakukan penskalaan dapat dilihat nilai V_{statik} dan nilai $V_{dinamik}$ sudah sama, sehingga untuk penskalaan sudah memenuhi syarat.

4.4 *Displacement* dan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan hasil *output* program bantu *ETABS* didapatkan nilai *displacement* pada arah x dan arah y, sehingga dapat mengetahui nilai *elastic drift*, *inelastic drift* serta batas atau *drift limit* sebagai berikut.

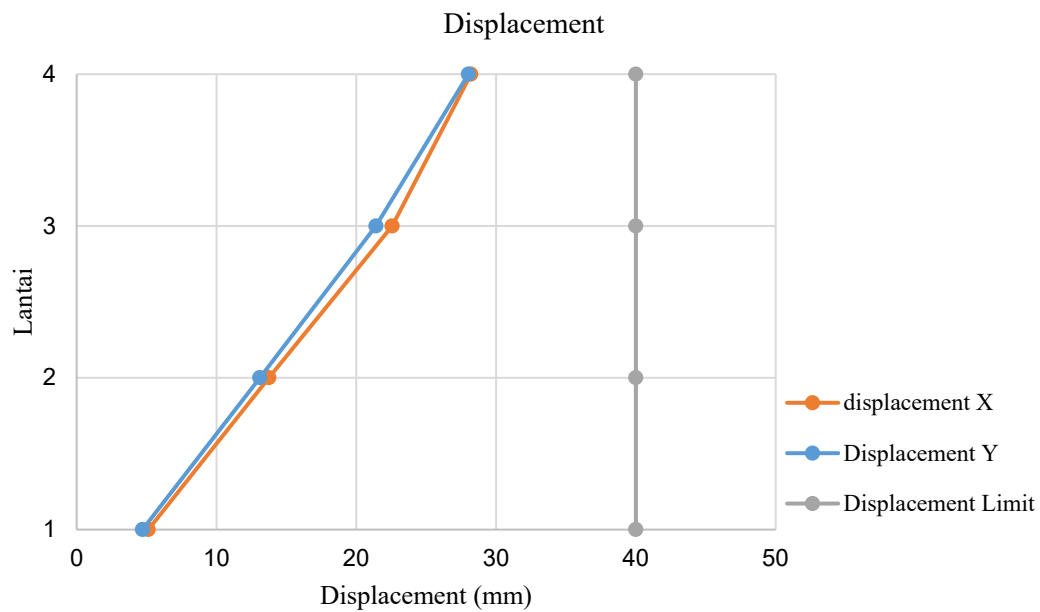
Tabel 7. Nilai *Displacement* dan Simpangan Antar Lantai

Lantai	<i>Displacement</i>		<i>Elastic Drift</i>		<i>h</i> <i>tinggi</i> <i>lantai</i>	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Drift</i> <i>Limit</i>
	δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{ex}	δ_{ey}		Δ_x	Δ_y	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	
4	28,2016	28,0235	5,634	6,614	4000	30,989	36,376	61,538
3	22,5671	21,4097	8,815	8,304	4000	48,482	45,671	61,538
2	13,7523	13,1059	8,632	8,399	4000	47,476	46,195	61,538
1	5,1203	4,7068	5,120	4,707	4000	28,162	25,888	61,538

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

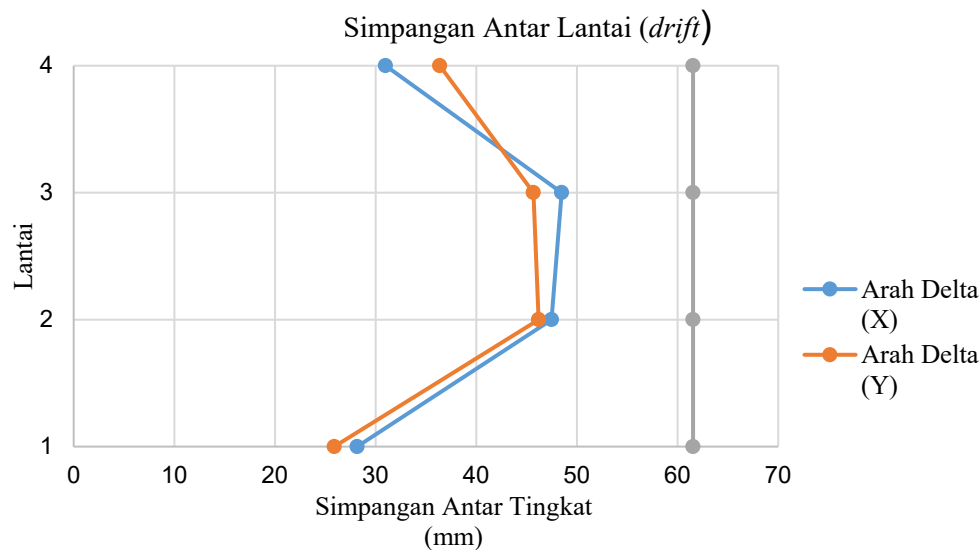
Dari tabel diatas dapat diketahui grafik *Displacement* dan *inelastic drift* arah x dan y sebagai berikut.

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 3. Grafik *Displacement* arah x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari hasil grafik diatas dapat diketahui bahwa *displacement* pada arah x dan arah y meningkat dari tiap-tiap lantai dan tidak melewati batas atau *limit displacement* sehingga *displacement* pada gedung dapat dikatakan memenuhi syarat.



Gambar 4. Grafik Simpangan Antar Lantai (*Drift*) x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada arah x mengalami peningkatan simpangan sampai pada lantai ke-3 dan mengalami penurunan pada lantai ke-4, sedangkan pada arah y meningkatnya simpangan hanya sampai di lantai ke-2 dan mengalami penurunan dari lantai ke-3 dan lantai 4. Berdasarkan hasil simpangan pada arah x dan arah y tidak melewati batas atau *drift limit* sehingga dapat dikatakan memenuhi syarat.

4.5 Pengaruh P-Delta

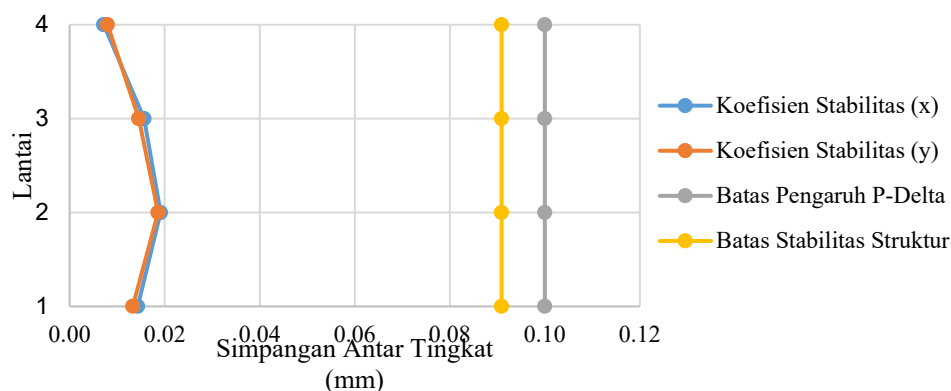
Berdasarkan hasil yang didapatkan pada nilai *inelastic* dan *story forces* yang didapatkan dari nilai *output* ETABS maka dapat dilihat nilai koefisien stabilitas θ pada tabel sebagai berikut.

Tabel 8. Nilai Hasil pengaruh P-Delta

Lantai	<i>Inelastic Drift</i>		<i>Story Forces</i>			<i>h</i> (mm)	Koefisien Stabilitas		Batas P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}
	Δ_x	Δ_y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y		
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)					
4	30,989	36,376	10128,7	1985,5	2097,5	4000	0,0072	0,0080	0,1	0,0909
3	48,482	45,671	27202,6	3822,9	3878,6	4000	0,0157	0,0146	0,1	0,0909
2	47,476	46,195	44295,5	4993,2	4995,9	4000	0,0191	0,0186	0,1	0,0909
1	28,162	25,888	61754,0	5516,3	5466,8	4000	0,0143	0,0133	0,1	0,0909

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan hasil nilai koefisien stabilitas yang didapatkan dari perhitungan P-Delta dari nilai *inelastic drift* dan nilai *story force* (P , V_x dan V_y) yang sebelumnya didapatkan melalui hasil analisis program ETABS.



Gambar 5. Grafik P-Delta arah x dan arah y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

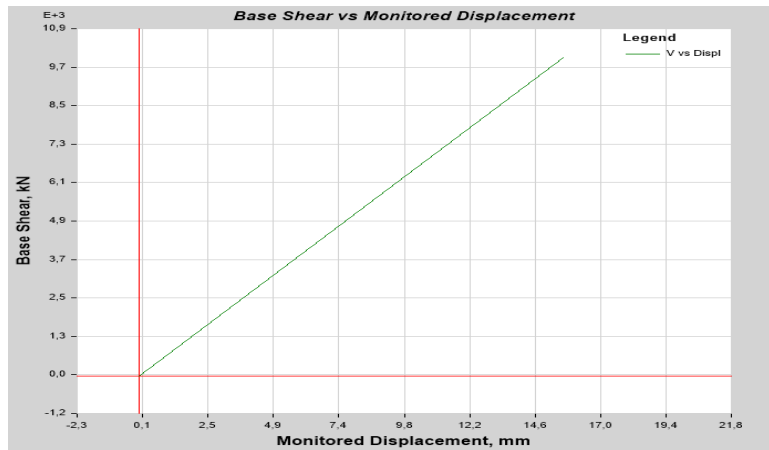
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai koefisien stabilitas pada arah x dan arah y mengalami kenaikan pada lantai ke-1 dan lantai ke-2 tetapi pada lantai ke-3 dan ke-4 mulai mengalami penurunan nilai koefisien stabilitas dari hasil kedua arah tersebut juga tidak melampaui

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

batas pengaruh P-Delta dan batas stabilitas struktur sehingga persyaratan P-Delta pada gedung dapat dikatakan aman.

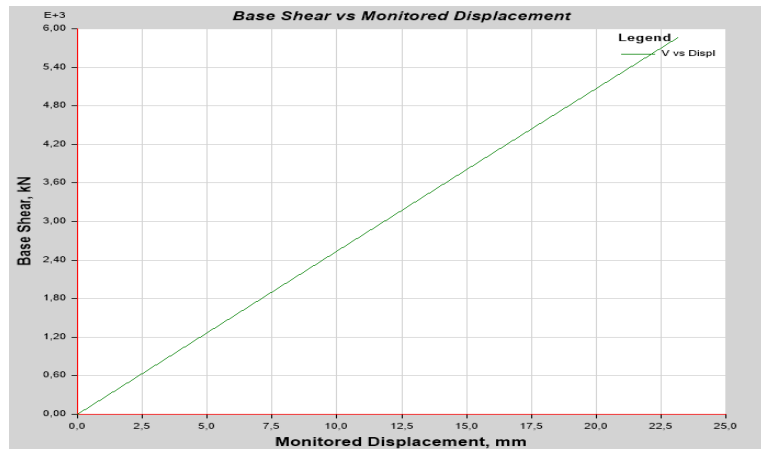
4.6 Pushover

Hasil analisis pushover terdiri dari kurva kapasitas pada gedung yang dihasilkan dari *output* program analisis ETABS sebagai berikut.



Gambar 6. Kurva Kapasitas Arah x
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Pada gambar kurva diatas dapat diketahui nilai kurva kapasitas arah sumbu x memiliki nilai simpangan (*Base Shear*) adalah 9991,9046 kN dan nilai simpangan y yang didapatkan adalah 15,622 mm.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah y
(Sumber : Hasil Analisis ETABS, 2023)

Pada gambar kurva diatas dapat diketahui nilai kurva kapasitas arah sumbu y memiliki nilai simpangan (*Base Shear*) adalah 5860,9857 kN dan nilai simpangan y yang didapatkan adalah 23,124 mm.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on
Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

4.7 Kinerja Struktur ATC-40

Berdasarkan ketentuan ATC-40 level kinerja struktur dapat ditentukan dari perbandingan nilai perpindahan terhadap tinggi struktur yaitu 20000 mm dibagi dengan nilai *drift* arah x = 26,8765 mm dan nilai *drift* arah y = 33,3804 mm, sehingga hasil dari perhitungan tersebut dapat menentukan level kinerja sesuai pada tabel 1.

Tabel 9. Nilai *maximum total drift* dan penentuan kinerja struktur

Arah	<i>Maximum Total Drift</i> (mm)	Level kinerja struktur
Arah x	0,001343825	<i>immediate Occupancy</i>
Arah y	0,001674020	<i>immediate Occupancy</i>

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Pada tabel diatas dapat dijelaskan bahwa nilai *maximum total drift* pada arah x = 0,001343825, dan arah y = 0,001674020 apabila dikategorikan berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur berada dalam kondisi *immediate Occupancy*.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan selama dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai gaya geser yang dapatkan pada sumbu arah x menghasilkan 9991,0946 kN dan nilai simpangan (*Roof Displacement*) didapatkan 15,622 mm, sedangkan nilai gaya geser (*Base Shear*) yang dapatkan pada sumbu arah y menghasilkan 5960,9857 kN dan nilai simpangan (*Roof Displacement*) didapatkan 23,124 mm. Dari hasil tersebut diketahui nilai *base shear* x lebih besar daripada *base shear* y, sedangkan nilai Simpangan (*Roof Displacement*) pada sumbu x lebih kecil dari pada sumbu y, sehingga nilai hasil batas simpangan tidak melewati 61,538 mm dan masih dibatas aman.
2. Level kinerja pada gedung Komisi Pemilihan Umum berdasarkan ATC-40 adalah *Immediate Occupancy* atau dimana bila terjadi gempa keadaan struktur masih kuat dan kaku seperti kondisi awal, sistem pemikul gaya masih mampu menahan gaya gempa dengan nilai *Max Drift Total* yang diperoleh pada arah x = 0,00141008 dan arah y = 0,00140117.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Ainnurohman, 2019. “Analisa Perbandingan Kinerja Gedung Struktur Beton Bertulang 9 Lantai Dengan SNI 03-1726-2012 Dan SNI 03-1726-2019 Menggunakan Metode *Pushover*.”
- American Society of Civil Engineer, 2016. “Minimum Design Load for Buildings And Other Structures. ASCE 7-16”
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Beton Bertulang untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 2847:2019). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (SNI 1727:2020). Jakarta: Standar Nasional Indonesia
- Comartin, C. D., Niewiarowski, R. W., Freeman, S. A., & Turner, F. M. (2000). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings: a practical overview of the ATC 40 Document. Earthquake Spectra*, 16 (1), 241-261.
- Fatmawati Anisa, Wisnumurti, Ari Wibowo. 2014. “Analisa Pushover Untuk Performanced Based Design”
- Irianto, I., Mabui, D. S., & Sila, A. A. (2022). Durability of Residual Strength on Ac-Wc Mixture Using Bottom Ash As Fine Aggregate



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- Irianto, I., Reny, R., Franky, E. L., Mabui, D. S., Holong Sitorus, P., Mansur, M., ... & Ardi, A. S. (2022). Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-16 dengan tema" Resilience Of Construction Industry In Post-Pandemic Era".
- Marsa A. Tyarpratama, 2017. “Analisis Statik Non-Linier Pushover pada optimasi. Desain Gedung Pendidikan Bersama FKUB Dengan Variasi Konfigurasi Dinding Geser”. Universitas Brawijaya.
- Tavio, Usman Wijaya, 2018. “Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performanced Based Design)”
- Yunianta, A., Astari, M. D., Rochmawati, R., Sila, A. A., Widiati, I. R., Lapian, F. E. P., & Mabui, D. S. S. (2022). Pengujian Tanah Di Laboratorium. TOHAR MEDIA.



PERBANDINGAN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN BAJA PADA GEDUNG ASRAMA BARAK BUJANG POLRESTA JAYAPURA 3 LANTAI MENGGUNAKAN METODE LRFD

Sardiman^{1*}, Ardi Azis Sila^{2*}, dan Milla Dwi Astari^{3*}

^{1*}Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Yapis Papua

^{2,3*}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Yapis Papua

Email: ^{1*}dhimanfath105@gmail.com, ^{2*}ardi.azis.sila@gmail.com, ^{3*}mdwiastari@gmail.com

ABSTRAK

Bangunan barak bujang menjadi subjek yang tepat untuk analisis komparatif antara beton bertulang dan struktur baja, di Kota Jayapura yang merupakan gedung panjang 41 meter dan lebar 11 meter, dimana gedung ini dikhususkan untuk para anggota baru yang akan tinggal di gedung tersebut. Tujuan penelitian ini adalah melakukan perbandingan dua struktur beton bertulang dan baja menggunakan metode LRFD analisis bantuan software SAP2000. Menurut hasil analisis SAP2000, rasio gaya geser beton bertulang dan baja masing-masing adalah 4649.47 kN dan 1.277 kN. Perpindahan rata-rata sambungan struktur beton arah X adalah 6.9152 mm, dan struktur baja adalah 5.7382 mm, Perpindahan sambungan struktur beton arah Y adalah 4.9525 mm, dan perpindahan sambungann baja struktur adalah 4.4595 mm. Momen lentur struktur beton dan struktur baja masing-masing sebesar -368,104 kNm dan -32,949 kNm. Karena struktur beton lebih berat daripada struktur baja, gaya geser pondasi dan gaya momen lentur struktur beton lebih besar daripada gaya struktur baja.

Kata kunci : Perbandingan, Struktur Baja , Struktur Beton, LRFD

ABSTRACT

The bachelor barracks building is the right subject for a comparative analysis between reinforced concrete and steel structures, in Jayapura City which is a building with a length of 41 meters and a width of 11 meters, where this building is specifically for new members who will live in the building. The purpose of this research is to compare two reinforced concrete and steel structures using the LRFD analysis method with the help of SAP2000 software. According to the results of the SAP2000 analysis, the shear force ratios of reinforced concrete and steel are 4649.47 kN and 1.277 kN, respectively. The average displacement of the concrete structure in the X direction is 6.9152 mm, and that of the steel structure is 5.7382 mm, The displacement of the concrete structure in the Y direction is 4.9525 mm, and the displacement of the steel structure is 4.4595 mm. The bending moments of concrete structures and steel structures are -368.104 kNm and -32.949 kNm respectively. Because concrete structures are heavier than steel structures, the sound shear forces and bending moment forces of concrete structures are greater than those of steel structures.

Keywords : Comparison, Steel Structure, Concrete Structure, LRFD



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Industri bangunan telah melonjak seiring kemajuan dalam material dan penerapan struktur di era modern saat ini. Komposisi struktur telah berkembang pesat, mengarah pada penciptaan fitur mengesankan yang bermanfaat untuk keperluan bangunan. Insinyur sipil selalu meningkatkan efisiensi perencanaan dan perilaku struktur untuk mencapai hasil yang hemat biaya dan memenuhi standar aspek layanan. Aspek-aspek ini melalui pengembangan berkelanjutan. Sebagai bahan studi perbandingan gedung Barak Bujang yang berlokasi di Jayapura dengan luas wilayah tersebut sekitar $\pm 1.353\text{m}^2$, dimana merupakan asrama polisi POLRESTA Jayapura yang direncanakan menggunakan struktur baja dengan metode LRFD SNI-03-1829.

Menjaga dari kurangnya kekuatan struktural dan mengantisipasi beban berlebih adalah pertimbangan utama yang mendapat banyak perhatian melalui LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Metode ini secara efektif memperhitungkan berbagai faktor seperti kondisi batas, faktor hambatan, dan faktor beban. Secara khusus, faktor resistensi sangat penting untuk memastikan kekuatan struktural yang cukup, sambil mengantisipasi beban berlebih dilakukan dengan menggunakan faktor beban. Pada akhirnya, persamaan yang merangkum pendekatan ini dirumuskan $\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i$.

Kondisi geografis Provinsi Papua yang sebagian besar merupakan dataran tinggi dengan banyaknya gunung, perbukitan serta memiliki banyak sungai menjadi suatu tantangan tersendiri. Sehingga diperlukannya rancangan, pelaksanaan serta pemeliharaan yang diperhitungkan secara akurat dengan tetap memperhitungkan standar pembangunan yang resmi di Indonesia guna menciptakan infrastruktur yang efisien, efektif dan sesuatu dengan fungsinya masing-masing.

Dalam beberapa tahun ini pembangunan di Provinsi Papua sedang gencar-gencarnya dilaksanakan dengan tujuan agar terciptanya pembangunan yang merata. Pada saat ini Kepolisian Resor Kota sedang melakukan pembangunan barak bujang yang berada di kawasan Jalan Ahmad Yani, Kelurahan Gurabesi, Jayapura Utara, Kota Jayapura. Dimana proses pelaksanaan pembangunannya sendiri terdapat berbagai macam kendala yang disebabkan oleh factor geografis seperti terdapat batuan-batuan dalam ukuran besar di area pembangunan, yang dimana menyebabkan proses pembangunan terlambat dari jadwal.

Studi kasus pada penelitian ini yaitu Gedung Barang Bujang Polresta Jayapura. Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan struktur beton bertulang dengan baja akan tetapi tidak dibahas secara spesifik, dikarenakan adanya kekurangan data-data Sekunder yang dimiliki hanya menggunakan asumsi-asumsi desain tertentu. Pasalnya, Provinsi Papua termasuk wilayah yang dilalui Ring of Fire (wilayah dengan gempa sedang hingga kuat), yang masuk dalam kategori zona seismik 5. Standar analisis ini berpedoman pada tata gempa cara perencanaan ketahan gempa untuk gedung SNI 03-1726-2019 dan metode LRFD SNI-03-1829.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menjaga dari kurangnya kekuatan struktural dan mengantisipasi beban berlebih adalah pertimbangan utama yang mendapat banyak perhatian melalui LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Cara ini secara efektif memperhitungkan berbagai faktor seperti kondisi batas, faktor hambatan, dan faktor beban. Secara khusus, faktor resistensi sangat penting untuk memastikan kekuatan struktural yang cukup, sambil mengantisipasi beban berlebih dilakukan dengan menggunakan faktor beban. Pada akhirnya, persamaan yang merangkum pendekatan ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i$$

Berbagai kondisi ditunjukkan oleh I, dengan Q_i mewakili efek beban nominal, dan di mana $\sum$ menunjukkan jumlah. Sehubungan dengan beban Q_i yang sedang dievaluasi, γ mewakili faktor beban. Dari batas terluar muncul $\gamma_i Q_i$. Kekuatan elemen yang dihasilkan dikenal sebagai R_n dan mencakup



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

kekuatan nominal. Ditinjau adalah jenis faktor ketahanan struktur, dilambangkan dengan ϕ . Kekuatan struktural terencana, ϕR_n , adalah kekuatan yang ditunjuk.

Penunjukan komponen atau sistem resistif ditampilkan di sebelah kiri, sedangkan beban yang diperkirakan akan didukung ditampilkan di sebelah kanan untuk memastikan struktur yang aman. Untuk menentukan kekuatan yang dirancang, pengurangan kekuatan (ϕ) dikalikan dengan harga nominal resistensi (R_n) pada sisi kekuatan. Pada sisi beban, jumlah beban terfaktor ($\sum \gamma_i Q_i$) diperoleh dengan mengalikan berbagai pengaruh beban, seperti beban mati, beban salju, dan beban hidup (Q_i), dengan faktor beban lebih (γ_i).

Perencanaan bangunan sering menggunakan strategi yang dikenal sebagai LRFD, atau Desain Faktor Beban dan Perlawanan. Ini memperhitungkan faktor ketahanan material dan faktor beban, dengan tujuan untuk memastikan bahwa setiap elemen struktural mengalami tekanan di bawah ambang batas yang dianggap diperbolehkan. Sederhananya, kapasitas kekuatan setiap elemen dibagi dengan faktor keamanan harus melebihi beban kerja.

2.1 Gaya Geser

Pengaruh gaya geser statik pada struktur dianalisis secara terpisah pada kedua arah tegak lurus. Gaya lateral statis harus diterapkan ke setiap lantai secara bersamaan selama setiap pemeriksaan. Untuk tujuan analisis, kekuatan lateral tiap lapisan dihitung sebagai berikut:

$$F_x = 0,01 W_x$$

F_x gaya geser x yang diterapkan pada tanah, L_x kontribusi beban total (D) dari struktur yang bekerja pada lapisan.

2.2 Berat Seismik Efektif

Bobot seismik efektif struktur (W) harus mewakili semua *dead load* dan beban lain yang tercantum dibawah ini:

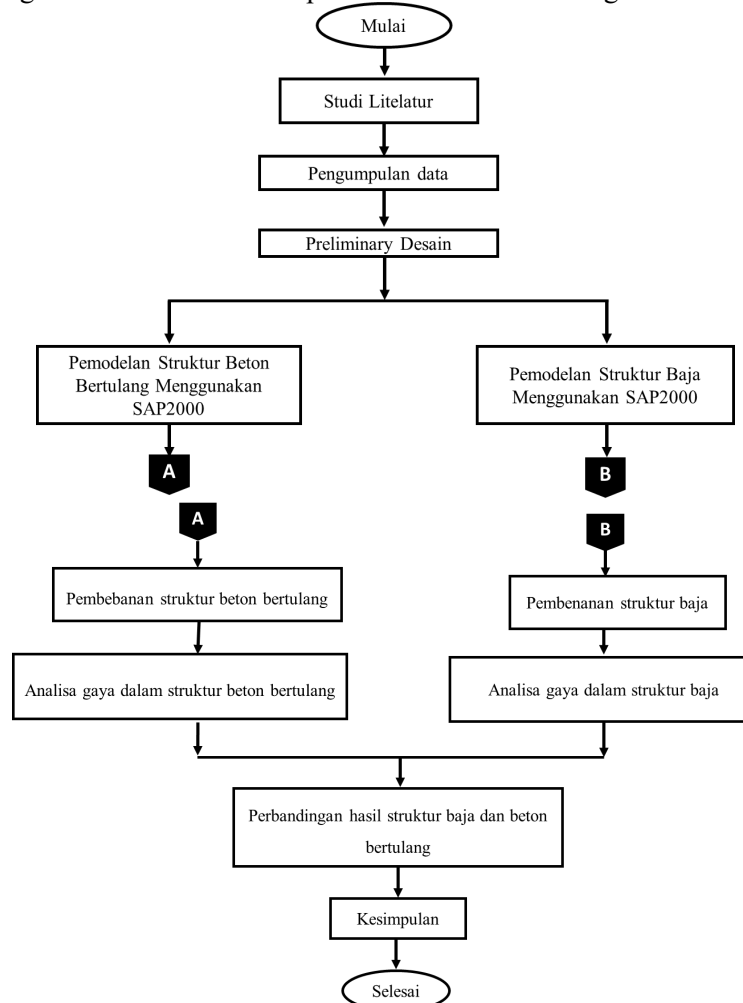
1. Tercanngkupinya daerah yang dipakai penyimpanan: sekurang-kurangnya 25 persen beban yang bekerja pada (beban tarik di lantai garasi umum dan tempat parkir terbuka dan beban penyimpanan tidak boleh kelebihan 5 persen dari massa seismik efektif tanah tidak boleh dipertimbangkan).
2. Apabila lantai pemuatan mencakup bagian, bisa diasumsikan lebih besar antara bobot aktual sekat/muatan luas *floor* minimal 0,48 KN/m².
3. Peralatan permanen dari berat operasional total itu sendiri
4. Berat lanskap taman atap dan lahan lainnya serta beban lainnya.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

3. METODELOGI PENELITIAN

Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 1 Diagram Alir
(Sumber : Dokumen.Pribadi, 2023)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Informasi Struktur Bangunan

Analisis struktural dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Hasil perhitungan SAP memberikan tiga keluaran struktural: perpindahan umum struktur bangunan, gaya geser alas struktur bangunan, dan momen lentur. Bangunan studi kasus untuk penelitian ini adalah asrama barak bujang polresta jayapura. Berikut ini Tabel 1.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Tabel 10 Data Bangunan Baja dan Beton

No	Data Bangunan	
1	Fungsi Gedung	Asrama
2	Tinggi Bangunan	12.25 m
3	Jenis Struktur	Baja & Beton
4	Sistem Struktur	SRPMM & SRMPK
5	Jenis tanah	Tanah Sedang
6	Mutu Beton (f_c)	275 Mpa
7	Mutu Baja (f_y)	370 Mpa
8	Mutu Baja (F_y)	240 Mpa

(Sumber : CV. Muria Skylen,2023)

4.2 Modeling Struktur Baja dan Beton Bertulang

Pada dasarnya hasil yang ditampilkan pada program SAP 2000 bukanlah hasil mutlak seperti kondisi real di lapangan akan tetapi masih berupa pendekatan yang dimana intuisi dari seorang engineer memiliki peran besar dalam menghasilkan output yang lebih valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Secara garis besar pengguna dituntut melakukan pemodelan yang cukup mempresentasikan kondisi real di lapangan agar hasil dapat dijadikan tolak ukur.

4.3 Pembebanan

Beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa yang masing-masing didistribusikan ke struktur bangunan utama.

4.4 Kategori gempa dasar

Tentukan faktor prioritas bangunan, bangunan itu sendiri berfungsi dalam hal tempat tinggal atau asrama. Kelas Risiko IV Faktor Prioritas Bangunan dan Gempa (I_e) 1,50. Menggunakan program bantuan desain spektra Indonesia terbaru yang tersedia di <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, klasifikasi situs dan percepatan batuan untuk kota Jayapura ditentukan dan hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 2 *Respon Spectra Desain*

Kelas Situs	Tanah Sedang (SD)
PGA	0.6
SS	1.5
S1	0.6159
TO	0.0947
Ts	0.4736
Sds	1.2000
Sd1	0.5683

(Sumber : rsa.ciptakarya, 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

4.5 Perhitungan periode getar

Struktur rangka baja pemikul momen menengah

$$T_a = C_t \times h^2$$

$$T_a = 0,0466 \times 7,42$$

$$T_a = 0,3459 \text{ detik}$$

Struktur rangka beton pemikul momen khusus

$$T_a = C_t \times h^2$$

$$T_a = 0,0466 \times 18,51$$

$$T_a = 0,8626 \text{ detik}$$

4.6 Gaya geser dasar sismik

Struktur rangka beton

$$C_s = \text{SDS}/(R/I_e) \cdot 1.2000 / (8/1,0) = 1.5000$$

$$C_{s\max} = \text{SD1}/T (R/I_e) = 0,5683/1.120(8/1,0) = 0.0634 \text{ (struktur beton)}$$

$$C_{s\min} = 0,044 \times \text{SDS} \times I_e \geq 0,01 = 0,044 \times 0,77 \times 1,0 = 0,03 > 0,01$$

$$C_{s\min} = 0,03 < C_s = 0,0634 < C_{s\max} = 0,1500$$

$$\text{Jadi nilai } C_s = 0,0634$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser total } V &= C_s \times W \\ &= 0,0634 \times 24323 \\ &= 1542.77 \text{ kN} \end{aligned}$$

Struktur rangka baja

$$C_s = \text{SDS}/(R/I_e) \cdot 1.2000 / (8/1,0) = 0.2400$$

$$C_{s\max} = \text{SD1}/T (R/I_e) = 0,5683/0,484(8/1,0) = 0.2347 \text{ (struktur baja)}$$

$$C_{s\min} = 0,044 \times \text{SDS} \times I_e \geq 0,01 = 0,044 \times 0,77 \times 1,0 = 0,03 > 0,01$$

$$C_{s\min} = 0,03 < C_s = 0,2347 < C_{s\max} = 0,2400$$

$$\text{Jadi nilai } C_s = 0,2347$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser total } V &= C_s \times W \\ &= 0,2347 \times 24323 \\ &= 5709.75 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.7 Perbandingan nilai Geser Dasar Struktur Beton dan Baja

Nilai gaya lateral alas dinamik harus lebih besar dari nilai gaya lateral alas statis. Apabila *value* gaya lateral alas dinamik lebih kecil daripada gaya lateral alas statis, *factor* skala harus dikalikan. Nilai geser dasar dinamis dari hasil analisis SAP2000 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 di bawah ini.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Tabel 3 Nilai Gaya Geser dasar Struktur Beton

Base Shear	Dinamik(Vb)	Statik (Vs)	Faktor Skala	kontrol
	Geser Dasar	Geser Dasar	Vs/Vb	(Vb) $\geq$ 100%Vs
	(kN)	(kN)		
arah x	4649.47	4586.24	1.0	OK
arah y	4649.67	4586.24	1.0	OK

(Sumber : SAP 2000, 2023)

Tabel 4 Gaya Geser Dasar Struktur Baja

Base Shear	Dinamik(Vb)	Statik (Vs)	Faktor Skala	kontrol
	Geser Dasar	Geser Dasar	Vs/Vb	(Vb) $\geq$ 100%Vs
	(kN)	(kN)		
arah x	1673.13	1.277	0.0	OK
arah y	1432.41	1.277	0.0	OK

(Sumber : SAP 2000, 2023)

Penskalaan gaya Vdinamis yang dipersyaratkan oleh SNI 1726:2019, menghasilkan nilai gaya geser dasar yang diperoleh dari tabel tersebut di atas. Nilai ini melampaui Vstatic, menjadikannya lebih besar.

4.8 Perbandingan *Joint Displacement* Struktur Beton Dan Baja

Simpangan antar tingkat didapatkan dari hasil analisis program SAP2000 dengan cara pilih menu *Display - Show Table - Results - Displacement - Joint Displacement*. Untuk detail simpangan antar tingkat beserta tabel dan grafiknya sebagai berikut:

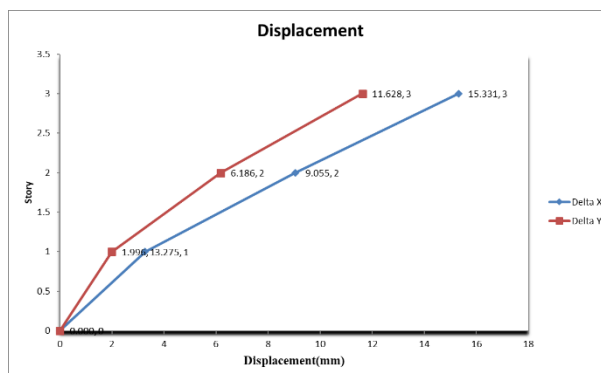
Tabel 5 Joint Displacement Struktur Beton

Story	<i>Displacement</i>	
	δe_x	δe_y
	(mm)	(mm)
3	15.331	11.628
2	9.055	6.186
1	3.275	1.996
0	0.000	0.000

(Sumber : SAP 2000,2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

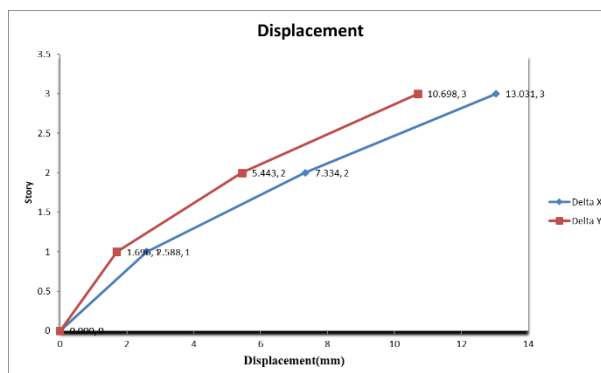


Gambar 2 Grafik Joint Displacement Struktur Beton
(Sumber : SAP 2000, 2023)

Tabel 6 Joint Displacement Struktur Baja

Story	Displacement	
	δe_X	δe_Y
	(mm)	(mm)
3	13.031	10.698
2	7.334	5.443
1	2.588	1.696
0	0.000	0.000

(Sumber : SAP 2000, 2023)



Gambar 3 Grafik Joint Displacement Struktur Baja
(Sumber : SAP 2000, 2023)

Deviasi lantai desain (Δ) akan ditentukan dengan menghitung perbedaan lendutan pada pusat massa antara permukaan atas dan bawah yang dipertimbangkan. Batasan deviasi tingkat dipersyaratkan oleh SNI gempa 1726:2019 bisa dilihat hasilnya sebagai berikut:



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on
Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Tabel 7 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur Beton

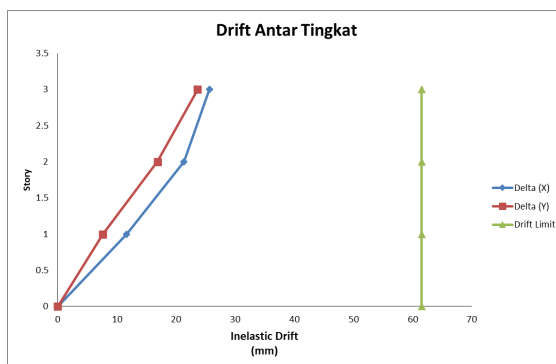
Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
3	15.331	11.628	6.276	5.442	4000	34.518	29.931	61.538	OK
2	9.055	6.186	5.780	4.190	4000	31.790	23.045	61.538	OK
1	3.275	1.996	3.275	1.996	4000	18.013	10.978	61.538	OK
0	0.000	0.000	0.000	0.000	4000	0.000	0.000	61.538	OK

(Sumber : SAP 2000, 2023)

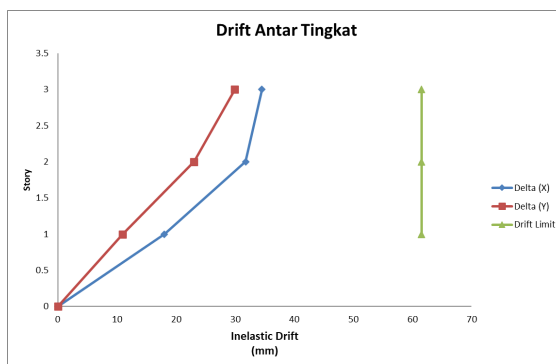
Tabel 8 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Lantai Struktur Baja

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y		Δ_x	Δ_y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
3	13.031	10.698	5.697	5.255	4000	31.334	28.903	61.538	OK
2	7.334	5.443	4.746	3.747	4000	26.103	20.609	61.538	OK
1	2.588	1.696	2.588	1.696	4000	14.234	9.328	61.538	OK
0	0.000	0.000	0.000	0.000	4000	0.000	0.000	61.538	OK

(Sumber : SAP 2000, 2023)



Gambar 4 Grafik Drift Antar Lantai Struktur Beton



Gambar 5 Grafik Drift Antar Lantai Struktur Baja



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Bisa disimpulkan pada tabel 7 dan 8 terlihat bahwa struktur dari keduanya aman mulai dari *story* 1, 2, dan 3. Maka dari itu konstruksi sudah sesuai dengan peraturan saat ini, tidak perlu menambah dimensi kolom struktur beton dan baja.

4.9 Perbandingan *Moment* Lentur

Tabel 9 Element Force - Frame Nomor 22 Struktur Beton Dan Baja

Jenis Struktur	V2 (momen tumpuan)	M3 (momen lapangan)
	(kN)	(kN-m)
Struktur Beton	-484.187	-368.103
struktur Baja	-0.754	-32.949

(Sumber : SAP 2000, 2023)

Nilai awal yang umum untuk elemen balok dalam konstruksi bangunan merupakan value (gaya geser searah tali api 2) dan value M3 (*moment* lentur di sekitar tali api 3). Hasil yang dapat dibaca secara umum untuk tumbukan adalah P (gaya normal), nilai M2 dan M3 saat merancang rangka pokok dan value V2 dan V3 saat merancang penampang. Terpaut halnya pengukuran sendi (perpindahan atau pergerakan dan reaksi), aksis lokal elemen tubuh atau akar bergantung pada penempatan atau deskripsi elemen itu sendiri.

5. KESIMPULAN

Menurut hasil analisis dengan bantuan *software* SAP 2000 maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perpindahan rata-rata sambungan struktur beton arah X adalah 6.9152 mm, dan struktur baja adalah 5.7382 mm, Perpindahan sambungan struktur beton arah Y adalah 4.9525 mm, dan perindahaan sambungann baja struktur adalah 4.4595 mm.
2. Rasio geser pondasi beton bertulang dan baja masing-masing adalah 4649.47 kN dan 1.277 kN
3. Perhitungan simpangan lantai pada struktur beton dan struktur baja aman berdasarkan SNI 1726-2019 karena memenuhi syarat simpangan ijin, sehingga tidak diperlukan pembesaran dimensi kolom.
4. Momen lentur struktur beton dan struktur baja masing-masing sebesar -368,104 kNm dan -32,949 kNm.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardi A. S. dan Adri R., 2019, Analisis Perbandingan Struktur Baja dan Struktur Beton Akibat Gempa Kuat (Studi Kasus Gedung Hotel Fame Jayapura), Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Yapis Papua, Papua.
- Agus Setiawan., 2008, Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1727-2002) PT. Erlangga, Jakarta.
- American Institute of Steel Construction (AISC). (2010). Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois: AISC.
- American Concrete Institute (ACI). (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary. Farmington Hills, Michigan: ACI.
- Applied Technology Council. 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Redwood City, CA: Applied Technology Council. Seismic Safety Commisionsion, (1 November 1996), 334.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- Bungale S. Taranath. (2010). Reinforced Concrete Design of Tall Buildings. New York, USA: CRC Press.
- Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Superstructures. (2010). Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation.
- Salmon, Charles G and John E. Johnson. 1995 . Struktur Baja Desain dan Perilaku 2 Edisi Ketiga. Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta
- SNI-1726. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1729. 2019. Tata Cara Perencanaan Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Nasional.
- SNI-2847. 2013. Persyaratan Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03 - 1729 - 20 Tentang Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia (BSNI)
- SNI 1729-2020 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Indonesia (BSNI)
- Stensil. 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Sudarsana, I K. 2017. “Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Tidak Beraturan Dengan PuskimPU. (2022). Desain Spektra Indonesia. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Permukiman.



PERENCANAAN JEMBATAN SUNGAI SANGPIAK DENGAN MENGUNAKAN STRUKTUR BAJA

Parea Rusan Rangan¹, Bastian A Ampangallo², Zain Patongloan³, Pendi Sulli, Royanto K⁴.

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja
pareausanrangan68@gmail.com, bastianartanto@gmail.com, zainpatongloan@gmail.com,
pendisulli@gmail.com, yantoroy086@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan adalah suatu struktur yang berfungsi sebagai lintasan untuk memperpendek jarak dengan menyeberang suatu rintangan tanpa menutup rintangan itu sendiri. Rintangan yang dimaksud dapat berupa sungai, jalan raya atau lembah. Salah satu peningkatan sarana transportasi yang akan dilakukan khususnya jembatan adalah pembangunan Jembatan Sungai Sangpiak, Kecamatan Awan Rantekarua, Kabupaten Toraja Utara. Pada Jembatan Sungai Sangpiak akan direncanakan jembatan baja komposit dengan menggunakan metode LRFD. Untuk melakukan suatu perencanaan, khususnya Jembatan Sungai Sangpiak, terlebih dahulu mengetahui dan merencanakan prosedur penelitian dan metode penelitian yang akan digunakan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh data perencanaan Jembatan Sungai Sangpiak dengan bentang 20 meter dan lebar 6 meter, dimana struktur bangunan atas jembatan meliputi sandaran menggunakan profil Q 2”=5,8 cm, trotoar menggunakan mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 240 MPa, plat lantai jembatan menggunakan mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 240 MPa, gelagar jembatan (balok utama/gelagar melintang menggunakan BJ- 55, profil IWF 600.200.11.17, dan balok anak/ gelagar memanjang menggunakan BJ-55, profil IWF 400.200.8.13). Shear conector yang digunakan ¼ L sampai tengah bentang yaitu 2D10, dan sambungan gelagar menggunakan baut 7/8 inci =22,2 mm. Sedangkan ukuran struktur bawah bangunan jembatan meliputi perencanaan abutmen dengan dimensi yaitu tinggi abutment 9 meter, bentang abutmen 7 meter, dan lebar 4 meter.

Kata kunci: (Abutmen, Baja, Gelagar, Jembatan)

ABSTRACT

The bridge is a structure that functions as a path to shorten the distance by crossing an obstacle without closing the obstacle itself. The obstacles in question can be rivers, roads or valleys. One of the improvements in transportation facilities that will be carried out, especially the bridge, is the construction of the Sangpiak River Bridge, Awan Rantekarua District, North Toraja Regency. On the Sangpiak River Bridge, a composite steel bridge will be planned using the LRFD method. To carry out a plan, especially the Sangpiak River Bridge, first know and plan the research procedures and methods for use. Based on the results of the research conducted, the planning data for the Sangpiak River Bridge with a span of 20 meters and a width of 6 meters were obtained, where the superstructure of the bridge includes the backrest using a profile Q 2” = 5.8 cm, the sidewalks are using 25 MPa concrete quality, the quality of the reinforcement 240 MPa, bridge floor plates using 25 MPa concrete quality, 240 MPa reinforcement quality, bridge girders (main beams/transverse girders using BJ-55, IWF profile 600.200.11.17, and joists/longitudinal girders using BJ-55, IWF profile 400.200 8.13). The shear connector used is ¼ L to the middle of the span, which is 2D10, and the girder connection



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

uses 7/8 inch bolts = 22.2 mm. While the size of the structure under the bridge building includes abutment planning with the dimensions of the abutment height of 9 meters, abutment span of 7 meters, and a width of 4 meters. Head of abutment (25 Mpa concrete quality, 320 Mpa reinforcement quality), abutment body and abutment foot (25 Mpa concrete quality, 320 Mpa reinforcement quality). From the results of abutment stability control, values that meet the requirements (Safe) are obtained, namely: stability against overturning (longitudinal direction / X direction is $1.65 > 1.5$, transverse direction / Y direction is $14.463 > 1.5$), and stability against shear (longitudinal / X direction is $3.184 > 1.5$, transverse / Y direction is $24.415 > 1.5$).

Keywords: *Abutment, Girder, LRFD, Frame of Steel, Bridge*

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api, dan lain-lain. Perencanaan teknik jembatan dan penggantian jembatan merupakan salah satu upaya meningkatkan prasarana transportasi, sehingga evaluasi lalu lintas di sekitar jembatan diperlukan sebagai langkah awal suatu perencanaan teknik yang cermat hingga menghasilkan detail desain jembatan yang tepat dan efisien untuk memenuhi standar yang ditetapkan. Keberadaan jembatan saat ini terus mengalami perkembangan, dari bentuk sederhana sampai yang paling kompleks, demikian juga bahan-bahan yang digunakan mulai dari bambu, kayu, beton, dan baja. Penggunaan bahan baja untuk saat-saat sekarang maupun di masa mendatang, untuk struktur jembatan akan memberikan keuntungan yang berlebih terhadap perkembangan serta kelancaran sarana transportasi antar daerah maupun antar pulau yang ada di seluruh Indonesia.

Pada Jembatan Sungai Sangpiak yang menghubungkan antara Kecamatan Rindingallo dengan Kecamatan Awan Rantekarua yang terletak di Dusun Sangpiak, Desa Sangpiak, Kecamatan Awan Rantekarua, Kabupaten Toraja Utara. Jembatan Sungai Sangpiak mempunyai panjang bentang 20 meter dengan lebar 6 meter yang dilalui oleh kendaraan dengan muatan cukup besar akan menyebabkan kerusakan pada struktur atas dan struktur bawah jembatan sehingga perlu kami tinjau dan merencanakan kembali. Jembatan sungai Sangpiak juga banyak dilalui oleh kendaraan yang bermuatan berat sehingga perlu diperhatikan ketelitian pada plat jembatan dan abutmen sebagai penopang struktur atas pada jembatan agar dapat memenuhi standar kekuatan yang dibutuhkan. (Parea Rusan Rangan, dkk. 2021, Perbandingan Perencanaan Jembatan To'kanna Nanggala Menggunakan Box Culvert Dan Gelagar Profil Baja). Masalah jembatan ini sudah tidak layak atau tidak mampu untuk menopang kendaraan yang bermuatan berat karena struktur atasnya menggunakan plat kayu sehingga didesain ulang bersama dengan struktur bawah untuk mengantisipasi terjadinya retakan pada abutmen jika stuktur atasnya telah diganti dengan beban yang berat.

Panjang jembatan yang direncanakan adalah 20 meter dengan lebar 6 meter. Menggunakan standard RSNI 1725-2016, tentang perencanaan struktur baja untuk jembatan, RSNI T-03-2005, tentang standar perencanaan struktur baja untuk jembatan., SNI 2833-2016, tentang peraturan beban gempa, RSNI T-12-2004, tentang perencanaan struktur beton plat lantai dan abutmen pada jembatan., perencanaan struktur baja dengan metode LRFD (berdasarkan SNI 03-1729-2002), tidak menghitung bangunan pelengkap, tidak membahas tentang metode pelaksanaan dan waktu pelaksanaan, perhitungan menggunakan bantuan software perhitungan struktur (SAP 2000).

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian yang dilakukan dalam penulisan ini terletak di Desa Sangpiak, Dusun Sangpiak, Kecamatan Awan Rantekarua, Kabupaten Toraja Utara. Waktu penelitian dilakukan selama 6 hari, mulai pada tanggal 16 juni sampai 22 juni 2022.



Gambar 2 Jembatan Sungai Sangpiak

Tahapan Penelitian

Dalam merencanakan suatu struktur jembatan perlu diketahui tahap-tahap dan analisis apa yang akan digunakan. Adapun tahap penelitian yang digunakan antara lain:

1. Pengumpulan Data

a. Data Fisik

- Panjang jembatan = 20 m
- Lebar jembatan = 5 m
- Tinggi jembatan dari permukaan air sungai = 13 m
- Lebar sungai = 12 m
- Tinggi abutmen = 9 m

b. Data Pondasi

- Pondasi langsung

Pondasi langsung adalah pondasi yang langsung berdiri pada tanah yang keras tanpa melalui perantara tiang atau sumuran, pondasi langsung digunakan bila lapisan tanah pondasi yang telah diperhitungkan mampu memikul beban-beban diatasnya, terletak pada lokasi yang dangkal dari tanah setempat, (SNI 03-3446-1994 tentang “Tata Cara Perencanaan Teknis Pondasi Langsung Untuk Jembatan”).

2. Analisa Lalu Lintas (LHR)

Lalu lintas harian rata-rata (LHR) adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh data tersebut dikenal dua jenis lalu lintas harian rata-rata yaitu Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) dan Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). Dalam menganalisa LHR pada Jembatan Sungai Sangpiak dilaksanakan selama 6 hari, dan pada analisa tersebut didapat hasil dari Jumlah Kendaraan Tiap Jenis (kend) adalah 1608 kendaraan dan Jumlah Kendaraan (smp) adalah 874 smp, maka dapat ditentukan lebar jembatan pada tabel berikut berdasarkan “SE Menteri PUPR No 07-SE-M-2015 Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan” :



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Tabel 1 Penentuan Lebar dan Kelas Jembatan

LHR	Lebar Jembatan (m)	Jumlah Jalur
LHR < 2000	3,5 – 4,5	1
2000 < LHR < 3000	4,5 – 6,0	2
3000 < LHR < 8000	6,0 – 7,0	2
8000 < LHR < 20000	7,0 – 14,0	4
LHR > 20000	> 14,0	> 4

Berdasarkan Lebar Lalu Lintas

- Kelas A = 1,0 + 7,0 + 1,0 meter
- Kelas B = 0,5 + 6,0 + 0,5 meter
- Kelas C = 0,5 + 3,5 + 0,5 meter

3. Tahap pengolahan data atau analisa data.

Langka yang dilakukan dalam tahap ini adalah mengola data-data yang suda di kumpulan, agar dapat mengetahui awal perencanaan jembatan.

4. Tahap perencanaan struktur atas jembatan dengan menggunakan metode Load And Resistance Factor Design (LRFD) dan bantuan software SAP2000

- Material baja $B_j = 55$
- Elastisitas baja = 210000 Mpa
- Tegangan leleh $f_y = 410$ Mpa
- Kuat tarik batas $F_u = 550$ Mpa
- Gelagar menggunaka propil IWF
 - Bidang diagonal Beam = 300x300x10x15
 - Gelagar melintang IWF = 600x200x11x17
 - Gelagar memanjang IWF = 400x200x8x13
 - Profil ikatan angin atas/bawah L= 100x100x10

➤ Material beton plat lantai = 25 Mpa

➤ Ketebalan plat lantai = 20 cm

➤ B_j beton = 400

➤ Elastisitas beton = 23500 Mpa

5. Tahap perencanaan struktur bawah jembatan

➤ Abutment

Perhitungan abutmen dilakukan dengan menentukan seluruh beban yang bekerja pada abutmen pada arah vertikal dan arah horizontal baik ke arah memanjang sumbu jembatan maupun ke arah tegak lurus terhadap sumbu jembatan. Adapun beban yang bekerja adalah :

- Akibat berat sendiri abutmen



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- Akibat urugan tanah
- Beban rem
- Beban angin
- Beban gempa
- Beban akibat gaya gesekan
- Beban stuktur atas dan struktur bawah

Kemudian langkah selanjutnya dapat menentukan stabilitas terhadap geser dan penentuan pada penulangan abutmen.

➤ pondasi langsung

Langka yang dilakukan dalam tahap ini yaitu terlebih dahulu menghitung beban yang akan melewati jembatan seperti beban sendiri, beban mati tambahan dan lain sebagainya. Kemudian menghitung dan mendesain struktur bangunan atas jembatan dan struktur bangunan bawah jembatan.

6. Tahap kesimpulan dan saran.

Langka yang dilakukan adalah dengan menyimpulkan hasil penelitian dan memberikan saran yang berhubungan dengan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Jembatan Sungai Sangpiak memerlukan analisa terhadap aspek lalu lintas untuk menentukan lebar jembatan yang mampu melayani peningkatan arus lalu lintas berdasarkan jenis dan fungsinya.

Pengumpulan data volume lalu lintas atau banyaknya kendaraan yang lewat pada garis pengamatan dilakukan dengan cara mencatat semua kendaraan yang melewati semua garis injak melintang. Perhitungan lalu lintas dalam penelitian ini dilakukan selama beberapa jam per hari dari jam 08.00 (pagi) – 17.00 (sore) WITA.

Jumlah total dari keseluruhan kendaraan, selanjutnya sesuai dengan ketentuan jumlah masing-masing volume kendaraan tersebut dikonversi dalam satuan mobil pengemudi (smp) sebagai berikut :

Tabel 2. Satuan Mobil Pengemudi (SMP)

no	Jenis kendaraan	EMP
1	Kendaraan berat (HV)	1,3
2	Kendaraan ringan (LV)	1
3	Sepeda motor (MC)	0,5
4	Kendaraan lambat (UM)	1

Sumber : MKJI 1997

Analisa LHR Kendaraan / SMP

Dari analisa Jembatan Sungai Sangpiak dapat ditemukan beberapa fakta perhitungan pengguna jalan seperti jumlah sepeda motor (MC) x (0,5 smp) : 100, pejalan kaki, jumlah kendaraan ringan (LV) x (1 smp) : 100, seperti angkutan umum, bus besar, bus mini, pick up, mobil pribadi dan jumlah kendaraan berat (HV) x (1,3 smp), seperti truk besar, truk tengki, truk gandeng, tleiler, truk as 3, maka dari itu dapat disimpulkan hasil analisa LHR sebagai berikut dengan rumus dan tersusun dalam tabel adalah sebagai berikut.

Θ = jumlah kendaraan x kombinasi pengguna ruang jalan (emp)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Tabel 3 LHR volume lalu lintas pada jembatan sangpiak

No	Klasifikasi kendaraan	Jumlah kendaraan tiap jenis (kend)	Komposisi pengguna ruang jalan (emp)	Jumlah kendaraan (smp)
1	Kendaraan bermotor	1468	0,5	734
2	Kendaraan ringan	140	1	140
3	Kendaraan berat	0	1,3	0
4	Kendaraan tak bermotor	0	0	0
Total		1608		874

Dari tabel 3. Volume lalu lintas dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$\Theta = \frac{N}{T}$$

Dengan :

- Total jumlah kendaraan (smp) = 874 smp
 - Waktu pengamatan pada jembatan sangpiak selama 9 jam, dalam 6 hari = 54 jam
- Jadi hasil volume lalu lintas yaitu :

$$\Theta = \frac{N}{T} = \frac{874 \text{ smp}}{54 \text{ jam}}$$

$$= 16,19 \text{ smp/jam}$$

Sehingga ditemukan rata-rata volume lalu lintas yaitu 16,19 smp/jam

Spesifikasi Bangunan

1. Nama Jembatan : Jembatan Sungai Sangpiak
2. Jenis Jembatan : Rangka Baja Model Warren
3. Kelas jembatan : Arteri Kelas III
4. Panjang jembatan : 20 meter (2 x 10 meter)
5. Lebar jembatan : 6 meter
6. Lebar lantai kendaraan : 5 Meter
7. Lebar trotoar : 2 x 0,5 Meter
8. Tipe jembatan : Rangka Baja Tipe Warren
9. Jarak antara gelagar melintang : 4 Meter
10. Jarak antara gelagar memanjang : 1,25 Meter
11. Tebal plat beton : 20 cm



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Spesifikasi Konstruksi

a.a Ukuran yang digunakan yaitu:

- Tebal lapis aspal : 5 cm
- Tebal plat lantai kendaraan : 20 cm
- Air hujan : 5 cm
- Pipa sandaran : $\varnothing$ 76,3 (3 inchi)

a.b Berat jenis

- Berat baja (W_s) : 77 kN / m³
- Berat Beton Bertulang (W_c) : 25 kN / m³
- Berat Lapisan Aspal (W_a): 22 kN / m³
- Berat Jenis Air (W_w): 9,8 kN / m³

Data Baja

a. Mutu Baja (BJ = 55)

1. Tegangan Leleh Baja (f_y): 410 Mpa
2. Tegangan Dasar ($f_s = f_y / 1,5$): 273 Mpa
3. Modulus Elastis Baja (E_s): 210000 Mpa

b. Profil Baja Gelagar Melintang (WF = 600x200x11x17)

1. Berat Profil Baja (W_{profil}): 1272 kg
2. Tinggi (d) : 600 mm
3. Lebar (b) : 200 mm
4. Tebal Badan (t_w) : 11 mm
5. Tebal Sayap (t_f) : 17 mm
6. Luas Penampang (A): 13440 mm²
7. Tahanan Momen (W_x): 2590000 mm³
8. Momen Inersia (I_x): 776000000 mm⁴

c. Profil Baja Gelagar Memanjang (WF = 400x200x8x13)

1. Berat Profil Baja (W_{profil}) : 792 kg
2. Tinggi (d) : 400 mm
3. Lebar (b) : 200 mm
4. Tebal Badan (t_w) : 8 mm
5. Tebal Sayap (t_f) : 13 mm
6. Luas Penampang (A) : 8410 mm²
7. Tahanan Momen (W_x): 1190000 mm³
8. Momen Inersia (I_x): 237000000 mm⁴

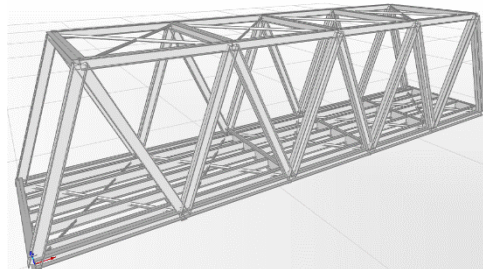
Data Mutu Beton (K-300)

1. Kuat Tekan Beton ($f_c' = 0,83 \times \frac{K}{10}$): 24,9 Mpa
2. Modulus Elastis Beton ($E_c = 4700\sqrt{f_c'}$) : 23453 Mpa
3. Angka Poisson (μ) : 0,2
4. Modulus Geser ($G = E_c / [2 \times (1 + \mu)]$) : 9772,1 Mpa
5. Koefisien Muai Panjang Untuk Beton (α) : 1,0E-05 Mpa



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Perencanaan Struktur Atas Jembatan



Gambar 2. Perencanaan Jembatan

Data Perencanaan

$$\begin{aligned} f_c &= 25 \text{ Mpa} \\ \gamma_c &= 2500 \text{ kg/m}^3 \\ f_y &= 410 \text{ Mpa} \\ \phi &= 0,8 \text{ mm} \\ d &= h - P - \frac{1}{2} \cdot \phi \text{ tulangan} \\ &= 200 - 30 - \frac{1}{2} \times 12 = 164 \text{ mm} \end{aligned}$$

Analisa SAP200

Tabel 4. Kombinasi Pembebanan

No	Kombinasi Pembebanan	Total Momen Ultimit Plat Lantai Kendaraan Mu	
		Mu TUMPUAN	Mu LAPANGAN
1	Kombinasi Kuat I	310,08 kNm	80,6 kNm
2	Kombinasi Kuat II	296,8 kNm	71,8 kNm
3	Kombinasi Kuat III	247,8 kNm	41 kNm
4	Kombinasi Kuat IV	247,8 kNm	41 kNm
5	Kombinasi Kuat V	266 kNm	41,4 kNm
6	Kombinasi Ekstrem I	17,5 kNm	11 kNm
7	Kombinasi Ekstrem II	235,6 kNm	51 kNm
8	Kombinasi Daya Layan I	227,9 kNm	57,2 kNm
9	Kombinasi Daya Layan II	210,4 kNm	46,2 kNm
10	Kombinasi Daya Layan III	182,4 kNm	28,6 kNm
11	Kombinasi Daya Layan IV	26,25 kNm	16,5 kNm

Kontrol Lendutan Plat

$$\begin{aligned} K - 300 &= f_c' = 24,9 \text{ Mpa} \\ Bf - 55 &= f_y = 410 \text{ Mpa} \\ E &= 200000 \text{ Mpa} \\ E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c'} = 23452,95 \text{ Mpa} \\ h &= 200 \text{ mm} \\ d' &= 40 \text{ mm} \\ b &= 6000 \text{ mm} \\ d &= h - d' = 200 \text{ mm} - 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm} \\ A_s &= 6336 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

$$L_X = 2,0 \text{ m}$$

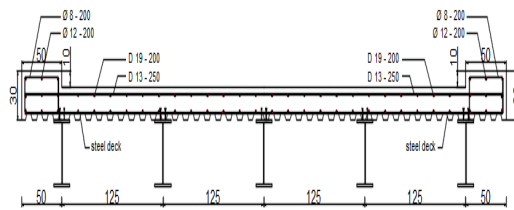
$$P_{TT} = 62,2 \text{ kN}$$

$$Q = MS + MA$$

$$= 30 \text{ kN/m} + 1,59 \text{ kN/m}$$

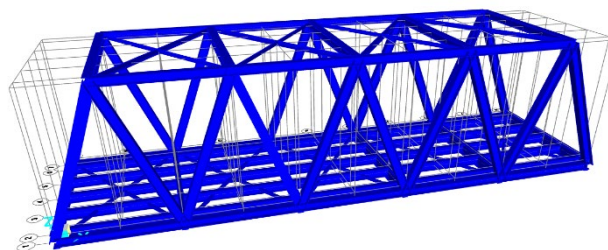
$$= 31,59 \text{ KN/m}$$

$$\delta_{Total} < \frac{L_X}{410} = 0,00675 \text{ mm} < 8,33 \text{ mm} \dots\dots \text{Ok}$$



Gambar 3. Penulangan Pelat Lantai Jembatan

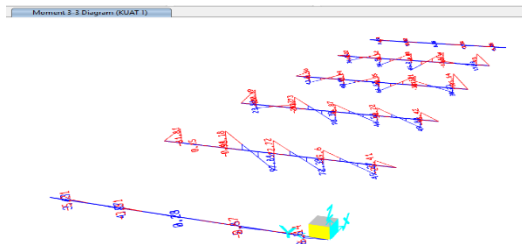
Perhitungan Gelagar Memanjang Dan Melintang



Gambar 4. Pemodelan Gelagar Memanjang dan Melintang

Kontrol Dimensi Gelagar Melintang

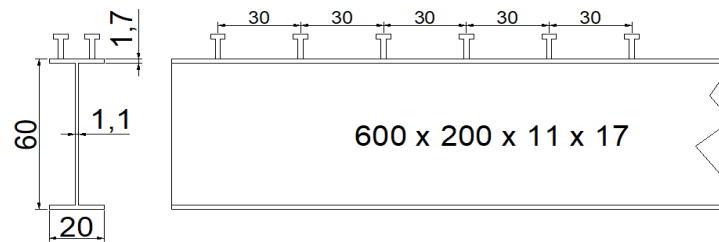
Untuk menentukan momen gelagar melintang dapat diinput dari program bantu SAP2000 seperti pada gambar berikut :



Gambar 5. Momen Pada Gelagar Melintang

$$M_u = 97,84 \text{ kN.m} = 978400 \text{ kg.cm}$$

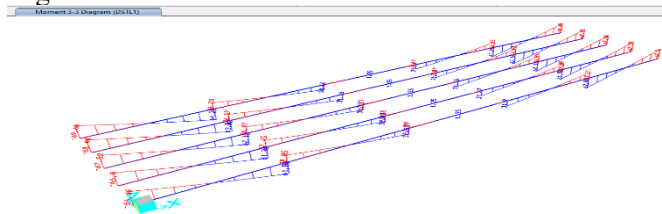
“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 6. Pemasangan Stud Pada Gelagar Melintang

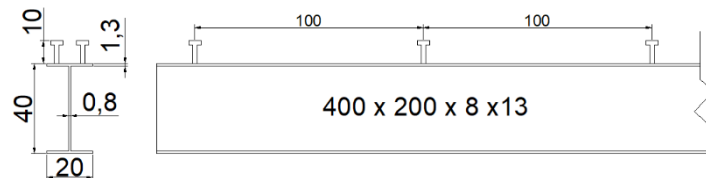
Kontrol Dimensi Gelagar Memanjang

Untuk menentukan momen gelagar memanjang dapat diinput dari program bantu iSAP2000 seperti pada gambar berikut:



Gambar 7. Momen Pada Gelagar Memanjang

$$\text{Total } M_u = 64,25 \text{ kN.m} = 642500 \text{ kg.m}$$



Gambar 8. Pemasangan Stud Pada Gelagar Memanjang

Perencanaan Gelagar Induk

Perencanaan Dimensi Batang Tekan

- a. Direncanakan menggunakan Dimensi Batang Profil WF 300 x 300 x 10 x 15

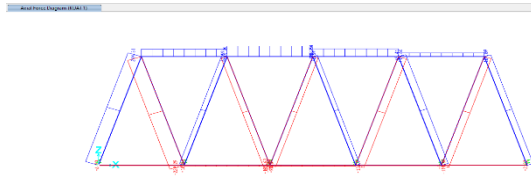
$$\begin{aligned} A &= 119,8 \text{ cm}^2 \\ h &= 300 \text{ mm} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ I_x &= 20400 \text{ cm}^4 \\ t_w &= 10 \text{ mm} \\ I_y &= 6750 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat kekakuan nominal batang tekan berdasarkan LRFD, $\phi_c \cdot P_n \geq P_u$

Untuk penentuan gaya aksial maksimum pada batang tekan dapat diinput dari program bantu SAP2000 seperti pada gambar berikut :



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 9. Gaya Aksial Maksimum Pada Batang Tekan

Dari hasil analisa SAP2000 v.21 didapat gaya aksial maksimum
 $P_u = 229,29 \text{ Kn} = 22929 \text{ Kg}$

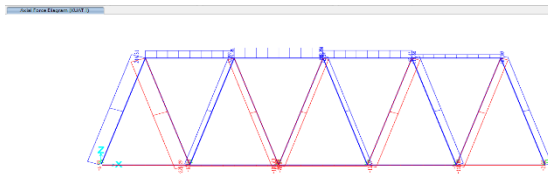
Perencanaan Dimensi Batang Tarik

b. Direncanakan menggunakan Dimensi Batang Profil WF 300 x 300 x 10 x 15

$$\begin{aligned} A &= 119,8 \text{ cm}^2 \\ h &= 300 \text{ mm} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ I_x &= 20400 \text{ cm}^4 \\ t_w &= 10 \text{ mm} \\ I_y &= 6750 \text{ cm}^4 \\ t_f &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat kekakuan nominal batang tarik berdasarkan LRFD, $\phi_c \cdot P_n \geq P_u$

Untuk penentuan gaya aksial maksimum pada batang tarik dapat diinput dari program bantu SAP2000 seperti pada gambar berikut :

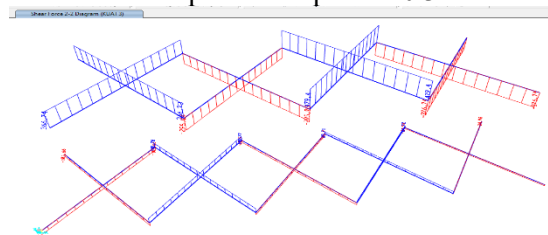


Gambar 10. Gaya Aksial Maksimum Pada Batang Tarik

Dari hasil analisa SAP2000 v.21 didapat gaya aksial maksimum
 $P_u = 214,51 \text{ Kn} = 21451 \text{ Kg}$

Perencanaan Ikatan Angin

Untuk menentukan gaya aksial pada ikatan angin dapat diinput dari program bantu SAP2000 seperti pada gambar berikut dan sesuai pada Tampilan 10.3 :



Gambar 11. Gaya Aksial Pada Ikatan Angin

Perencanaan dimensi ikatan angin

Direncanakan menggunakan Dimensi Batang Profil L 100 x 100 x 10

$$A = 19,2 \text{ cm}^2$$



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

$$\begin{aligned}h &= 100 \text{ mm} \\b &= 100 \text{ mm} \\I_x = I_y &= 177 \text{ cm}^4 \\t &= 10 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat kekakuan nominal batang tekan berdasarkan LRFD, $\phi_c \cdot P_n \geq P_u$

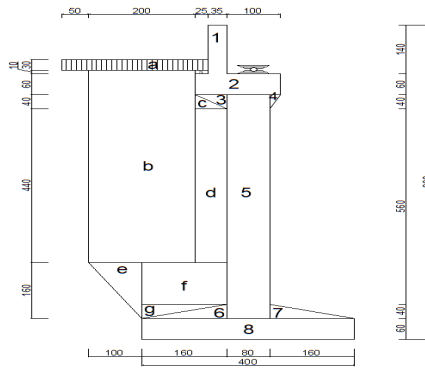
Dari hasil analisa SAP2000 v.21 didapat gaya aksial maksimum

$$P_u = 376,74 \text{ Kn} = 37674 \text{ Kg}$$

Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

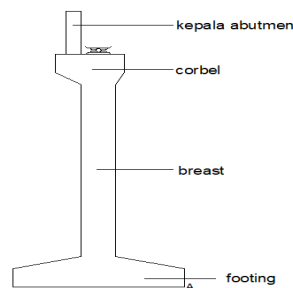
a. Akibat berat sendiri abutmen

Untuk memudahkan perhitungan, maka sketsa abutmen tersebut dibagi-bagi menjadi beberapa segmen (bagian), seperti pada gambar berikut :



Gambar 12. Pembagian Segmen Abutmen

Penulangan Abutmen



Gambar 13. Bagian-Bagian Abutmen



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Penulangan Kepala Abutmen

Beban-beban yang bekerja pada kepala abutmen (bagian I) disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 5. Pembebanan Kepala Abutmen

Nama Beban	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
Beban Gempa	63,81	1,7	108,477
Beban Sendiri Abutmen	85,75	1,7	145,775
Total	149,56		254,252

Tabel 6. Perhitungan Penulangan Kepala Abutmen

Nama	Nilai
Momen rencana ultimate, M_u	254,252 kNm
Mutu beton, F_c'	20 Mpa
Mutu baja, Tegangan leleh baja, F_y	320 Mpa
Tebal beton, h	500 mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d'	50 mm
Faktor bentuk distribusi tegangan beton, β_1	0,85
$\rho_1 = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times F_c'}{F_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$	0,029
Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,6
Tebal efektif, $d = h - d'$	450 mm
Lebar yang ditinjau, b	800 mm
Momen nominal rencana, $M_n = \frac{M_u}{\phi}$	423,753 kNm
Faktor tahanan momen, $R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2}$	2,62 Mpa
Rasio tulangan, $\rho_{purlu} = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right)$	0,0089
Rasio tulangan, $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$	0,0044



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Penulangan Corbel

Pada saat penggantian bearing pad (elastometric), corbel direncanakan mampu menahan *jacking force* yang terdiri dari berat sendiri struktur atas, beban mati tambahan, dan beban lalu lintas.

Eksentrisitas, $e = 0,33$

Beban-beban yang bekerja pada corbel (bagian II) disajikan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 7. Pembebanan Corbel

Nama Beban	Berat (kN)	Berat (kN)	Eksentrisitas (m)	Momen (kNm)
Beban Sendiri Struktur Atas	927.361	927,361	0,33	306,03
Beban Lajur D	19,6	19,6	0,33	6,47
Beban Muatan T	460	460	0,33	151,8
Beban Genangan Air	47,78	47,78	0,33	15,77
Total	1454,741	1454,741		480,07

Penulangan Breast Wall

Tabel 8. Pembebanan Breast Wall

Nama Beban	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
Beban Segmen Kepala Abutmen	149,56	0,8	119,65
Beban Corbel	1454,741	0,4	581,9
Tekanan Tanah (T_{TA1} dan T_{TA2})	172,29	1	172,29
	1292,19	0,67	865,77
Berat Sendiri (3-5)	924	0,4	369,6
Beban Gempa (3-5)	304,92	0,4	121,97
Total	4297,701		2231,18

Tabel 9. Perhitungan Penulangan Breast Wall

Nama	Nilai
Momen rencana ultimate, M_u	2231,18 kNm
Mutu beton, F_c'	20 Mpa
Mutu baja, Tegangan leleh baja, F_y	320 Mpa
Tebal beton, h	800 mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d'	50 mm
Faktor bentuk distribusi tegangan beton, β_1	0,85



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

$\rho_1 = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times F'_c}{F_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$	0,029
Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,6
Tebal efektif, $d = h - d'$	750 mm
Lebar yang ditinjau, b	800 mm
Momen nominal rencana, $M_n = \frac{M_u}{\phi}$	3718,633 kNm
Faktor tahanan momen, $R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2}$	8,3 Mpa
Rasio tulangan, $\rho_{purlu} = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right)$	0,045
Rasio tulangan, $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$	0,0044

Penulangan Footing

Tabel 10. Pembebanan Footing

Nama Beban	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
Beban (I-III)	1602,72	1	1602,72
Beban Sendiri (6-8)	532	1	532
Beban Gempa (6-8)	175,56	1	175,56
Total	2310,28		2310,28

Tabel 11. Perhitungan Penulangan Footing

Nama	Nilai
Momen rencana ultimate, M_u	2310,28 kNm
Mutu beton, F'_c	20 Mpa
Mutu baja, Tegangan leleh baja, F_y	320 Mpa
Tebal beton, h	600 mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d'	50 mm
Faktor bentuk distribusi tegangan beton, β_1	0,85
$\rho_1 = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times F'_c}{F_y} \left(\frac{600}{600 + F_y} \right)$	0,029
Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,6
Tebal efektif, $d = h - d'$	550 mm



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

Lebar yang ditinjau, b	1000 mm
Momen nominal rencana, $M_n = \frac{M_u}{\phi}$	3850,467 kNm
Faktor tahanan momen, $R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2}$	12,73 Mpa
Rasio tulangan, $\rho_{purlu} = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right)$	0,0531
Rasio tulangan, $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$	0,0044

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data dan perhitungan pada perencanaan struktur jembatan rangka baja dengan menggunakan metode LRFD (studi kasus : Jembatan Sungai Sangpiak, Kecamatan Awan Rantekarua) di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur atas jembatan rangka baja Sungai Sangpiak menggunakan metode LRFD. Perencanaan struktur atas jembatan Sangpiak meliputi: (railing (profil Q 2”= 80 m), trotoar (mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 240 MPa), plat lantai jembatan (mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 140 MPa), gelagar jembatan (gelagar melintang menggunakan bj- 55, propil IWF 600 x 200 x 11 x 17 dan gelagar memanjang menggunakan BJ-55, propil IWF 400 x 200 x 8 x 13), gelagar induk menggunakan (BJ-55, profil IWF 300 x 300 x 10 x 15), ikatan angina menggunakan BJ-55, profil 100 x 100 x 10), shear conector yang digunakan ½ L sampai tengah bentangan yaitu (25 cm), sambungan gelagar menggunakan baut $\phi 22 = A307 = 2,222$ cm.
2. Struktur bawah jembatan Sungai Sangpiak direncanakan menggunakan beton bertulang. Perencanaan struktur bawah jembatan Sungai Sangpiak meliputi perhitungan abutmen dengan dimensi yaitu tinggi abutmen 9 m dan lebar 4 m, kepala abutmen mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 320 MPa), badan abutmen dan kaki abutmen (mutu beton 25 MPa, mutu tulangan 320 MPa). Dari hasil kontrol stabilitas abutmen diperoleh nilai yang memenuhi syarat (Aman) yaitu: stabilitas terhadap guling (arah memanjang / arah X adalah $1,65 > 1,5$, arah melintang / arah Y adalah $14,463 > 1,5$), dan stabilitas terhadap geser (arah memanjang / arah X adalah $3,184 > 1,5$, arah melintang / arah Y adalah $24,415 > 1,5$).

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Iqbal Manu, Ir, Dipl, Heng, MIHT, 1995, Dasar-Dasar perencanaan Jembatan Beton Bertulang, PT Mediatama Saptakarya, DPU.
- Agus, Setiawan. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD* Jakarta: Penerbit: Erlangga.
- Anonim, 2004, *Peraturan Muatan Jembatan*, SK-SNI-T-02, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Anonim, *Perkuatan Struktur dan Lantai Jembatan Rangka Baja*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Asiyanto. 2005. *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional, *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan RSNI T-03-2005*, Jakarta
- Davis, H, E, 1982, *The Testing of Engineering Materials*, Mc Graw Hill Inc., Auckland



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 1981, Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan
- Nasution Thamrin, *Modul 1 Pengenalan Jembatan Baja*, 2012
- Parea Rusan Rangan, 2019. Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan Beton Prategang, *Journal Dynamic Saint*, Volume 4, Nomor1, halaman 782-787.
- Parea Rusan Rangan, Hernita Matana, 2021. Perbandingan Perencanaan Jembatan To’kanna Nanggala Menggunakan Box Culvert Dan Gelagar Profil Baja, *Journal Dynamic Saint*, Volume 6, Nomor 1, halaman 53-59.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) T-02-2005. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia 1725-2016. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*.
- Ruslan Hariono Ir. 1981, *Mengenal Jembatan Komposit*.
- Santoso Fajar, 2009, *Tinjauan Bangunan Bawah (Abutmen) Jembatan Karang Kecamatan Karangpandan Kabupaten Karanganyar*.
- Setiawan, Agus. 2013. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. (Berdasarkan SNI 03-1729-2002), Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Siswanto, 1999, *Perencanaan Struktur Bawah Jembatan*, Yogyakarta.
- SNI 1725 : 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan* Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- SNI 2833 : 2016 *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa* Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- Standar Bangunan Atas Jembatan Tipe Komposit No.003/PTJ/ST/BM/1977
- Struyk, J, H; Van Der Veen; dan Soemargono, 1995. *Jembatan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Mutohar, “*Jembatan*”, Beta Offset, Yogyakarta, 2007.



ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN *BASE ISOLATION* TERHADAP BEBAN GEMPA PADA GEDUNG KANTOR GUBERNUR PROVINSI PAPUA

Febian Muhammad Nur¹, Ardi Azis Sila², dan Andung Yunianta³

^{1*} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{2,3*} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua

^{1*}febian422@gmail.com, ^{2*}ardi.azis.sila@gmail.com, ^{3*}andung.ay@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2022 tercatat telah terjadi gempa bumi sebanyak 192 kali dengan kekuatan lebih dari 5 Mag. Akibat dari adanya gempa bumi di Indonesia, banyak sekali infrastruktur yang mengalami kerusakan. Konsep utama Base Isolation adalah untuk memisahkan bagian bawah bangunan dari tanah sehingga efek gempa pada bangunan dapat dikurangi. High Damping Rubber Bearing terbuat dari lapisan karet alam atau sintetis dengan resiko redaman dengan batang timah bulat di tengahnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara sistem struktur fix base dan base isolation terhadap base shear, displacement, drift dan level kinerja struktur. Metode yang digunakan adalah analisis statik ekuivalen dengan mengambil studi kasus Gedung Kantor Gubernur Provinsi Papua. Pemodelan struktur menggunakan aplikasi ETABS V20 dengan 2 bentuk model yaitu model 1 struktur 10 lantai menggunakan fix base, dan model 1 struktur 10 lantai menggunakan base isolation. Hasil dari analisis pada penelitian ini adalah struktur base isolation dapat mereduksi dampak gempa yang terjadi dari struktur bawah ke struktur atas. Nilai displacement pada base isolation relatif lebih besar tetapi drift yang terjadi dapat lebih kecil hingga 82,82% arah x dan 83,35% arah y. Dan untuk level kinerja struktur antara sistem struktur fix base dan sistem struktur base isolation masuk ke dalam kategori immediate occupancy.

Kata Kunci: *Fix base, Base Isolation, High Damping Rubber Bearing, Analisis Pushover*

ABSTRACT

Based on data from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) in 2022, there have been 192 earthquakes recorded with a magnitude of more than 5 on the Richter scale. As a result of the earthquake in Indonesia, a lot of infrastructure was damaged. The main concept of Base Isolation is to separate the lower part of the building from the ground so that the effects of earthquakes on the building can be reduced. High Damping Rubber Bearings are made of layers of natural or synthetic rubber with damping risk with a round lead rod in the middle. The purpose of this study is to determine the comparison between fixed base and base isolation structural systems concerning base shear, displacement, drift, and structural performance levels. The method used is an equivalent static analysis by taking a case study of the Papua Province Governor's Office Building. Structural modeling uses the ETABS V20 application with 2 model forms, namely model 1 10-floor structure using fixed base, and model 1 10-floor structure using base isolation. The results of the analysis in this study are that the base isolation structure can reduce the impact of earthquakes that occur from the lower structure to the upper structure. The displacement value in the base isolation is relatively higher, but the drift that occurs can be smaller, up to 82.82% in the x direction and 83.35% in the y direction. And for the level of structural performance between the fixed base structure system and the base isolation structure system, it is included in the immediate occupancy category.

Keywords: *Fix Base, Base Isolation, High Damping Rubber Bearing, Pushover Analysis*

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

1. PENDAHULUAN

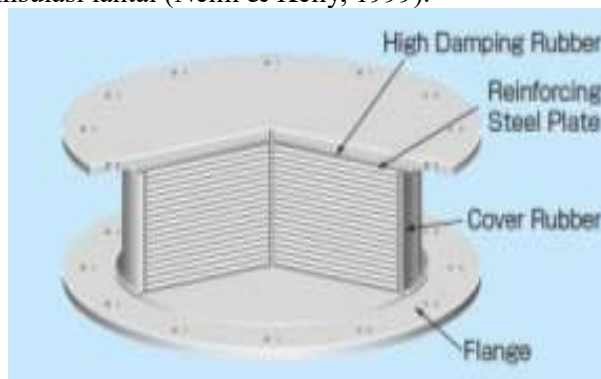
Berdasarkan sumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada tahun 2022 tercatat gempa bumi telah terjadi sebanyak 192 kali dengan kekuatan lebih dari 5 SR. Dengan 3 gempa terbesar pernah melanda Indonesia pada tahun 2022 yaitu di Selat Sunda (14 Jan. skala 6,6), gempa Barat Daya Sumatera (18 Nov. skala 6,7) dan gempa Tanimbar Islands (09 Jan. skala 7,5). Akibat dari adanya gempa bumi di Indonesia, banyak sekali infrastruktur yang mengalami kerusakan, terutama bangunan perumahan dan perkantoran di daerah tersebut. Gempa bumi menjadi salah satu perhatian dalam perencanaan atau pembangunan rumah dan gedung perkantoran menahan beban seismik itu sendiri guna mengurangi korban jiwa dan kerugian material.

Base Isolation merupakan sistem yang relatif baru diperkenalkan di Indonesia meskipun banyak negara seperti Jepang dan Selandia Baru telah menggunakannya sejak lama. Konsep utama dari *Base Isolation* adalah untuk memisahkan bagian bawah bangunan dari tanah sehingga efek gempa pada bangunan dapat dikurangi. *High Damping Rubber Bearing* adalah *isolator* yang umum digunakan di banyak negara maju. Alat ini terletak pada struktur bawah bangunan. *High Damping Rubber Bearing* tersusun dari lapisan karet murni atau sintetis dengan peredam batang timah bulat di tengahnya.

Pada pengerjaan tugas akhir ini, penulis mengevaluasi pengaruh dari penambahan isolasi dasar berjenis *High Damping Rubber Bearing* pada Gedung Gubernur Provinsi Papua. Sistem struktur *fix base* diterapkan pada bangunan gedung kantor tersebut perlu perlindungan karena letak bangunan di Papua dan berada pada pinggir pantai. Kemudian akan dilihat level kinerja struktur tersebut sejauh mana penggunaan dari *base isolation* dapat bekerja dengan menggunakan metode analisis *pushover*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

High Damping Rubber Bearing (HDRB) menggunakan energi rekayasa kimia untuk menciptakan sifat yang berbeda dari Natural Rubber Bearing (NRB). HDRB dapat menurunkan hingga 20% pada tegangan geser 100%. Nilai modulus geser yang bervariasi dengan regangan geser yang ada, menciptakan loop histeresis sehingga menghasilkan nilai rasio redaman yang tinggi. Jenis isolasi seismik ini biasanya tidak memerlukan perangkat peredam tambahan. Berikut perhitungan yang digunakan dalam desain insulasi lantai (Neim & Kelly, 1999).



Gambar 9. *High Damping Rubber Bearing*

(Sumber : www.researchgate.net, diakses 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- a. Kekakuan horizontal struktur

$$K_H = W \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

K_H = Kekakuan struktur

W = Berat per struktur kolom

T = Periode getar rancana

- b. Estimasi Luasan HDRB

$$K_H = \frac{G \times A}{tr} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

K_H = Kekakuan elastomer

G = Modulus geser dari elastomer

A = Luasan elastomer

tr = Ketebalan total dari elastomer

Sehingga didapatkan penjabaran rumus sebagai berikut.

$$K_H = K_H$$

$$W \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{G \times A}{tr}$$

$$A = \frac{W \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{G \times A} \times tr \dots\dots\dots (3)$$

- c. Diameter HDRB

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

A = Luasan elastomer

D = Diameter elastomer

- d. Perpindahan Rencana

$$D_D = \frac{9,81}{4\pi^2} \cdot \frac{S_{M1}T}{\beta} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

S_{M1} = Parameter percepatan spektra gempa

T = Periode

β = Koefisien numerik yang terkait dengan redaman efektif

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian kali untuk menjawab tujuan yang ingin dicapai maka diperlukan kerangka tahapan prosedur yang perlu dilakukan yang dijelaskan sebagai berikut.

- a. Data Struktur

Bangunan yang ditinjau merupakan Gedung Kantor Gubernur Provinsi Papua yang memiliki struktur utama hampir seluruhnya terbuat dari bahan beton bertulang yang memiliki kuat tekan sebesar 30 MPa, ketinggian gedung 43,25 m (1 semi basement + 8 lantai + 1 atap), panjang bangunan 72,0 m, lebar bangunan 44,2 m dengan mutu baja tulangan yang digunakan BJTS 42 dan BJTS 52.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

b. Dimensi Elemen Struktur

Perencanaan dimensi elemen struktur berdasarkan pada *shop drawing* pada proyek tersebut. Adapun dimensi dari kolom, balok dan plat lantai dapat dilihat pada Gambar 1-3.

Tabel 11. Dimensi Balok

Tipe Balok	l pakai (mm)	t pakai (mm)	Dimensi (cm)
B2A4	250	400	25/40
B35A	300	550	30/55
B36	300	600	30/60
B45	400	500	40/50
B46	400	600	40/60
B47	400	700	40/70
B4A5	450	500	45/50
B4A7	450	700	45/70
B55	500	500	50/50
B57	500	700	50/70
B59	500	900	50/90
B75	700	500	70/50
B77	700	700	70/70
B79	700	900	70/90

(Sumber : Data PT. PP (Persero) Tbk, 2023)

Tabel 12. Dimensi Kolom

Tipe Kolom	p pakai (mm)	l pakai (mm)	Dimensi (cm)
K1-1	900	900	90/90
K2-1	800	800	80/80
K2-2	800	800	80/80
B45	800	500	80/80
B46	800	600	80/80
B47	800	800	80/80
B4A5	800	800	80/80

(Sumber : Data PT. PP (Persero) Tbk, 2023)

Tabel 13. Dimensi Plat Lantai

Kode Plat Lantai	Tipe Pelat	Tebal Plat Lantai (cm)
S153	Slab Plat	150
S200	Slab Plat	200
S251	Slab Plat	250

(Sumber : Data PT. PP (Persero) Tbk, 2023)

c. Pemodelan Gedung

Gedung dengan bentuk geometri bangunannya seragam dengan terdapat perbedaan pada bagian dasar struktur. Model 1 merupakan sistem struktur kaku atau tanpa peredam seismik (*fix base*) dan model 2 merupakan sistem struktur fleksibel dengan peredam seismik (*Base Isolation*). Kedua gedung diberikan pembenanan yang sama yaitu berdasarkan SNI 1727-2020 dan pembebanan gempa berdasarkan SNI 1726-2019.

“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

d. Spesifikasi *Base Isolation*

Jenis dari *base isolation* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) berdasarkan dari brosur promosi yang dimiliki oleh Bridgestone dengan tipe MVBR - 0468 (X0-6R).

Tabel 14. Spesifikasi HDRB

Uraian	HDRB 800	HDRB 1200	HDRB 1400
Compressive Stiffnes (kN/m)	3.510.000	7.860.000	10.700.000
Initial Stiffness (kN/m)	9.230	20.700	28.300
Equivalent Damping Ratio	0,24	0,24	0,24
Charateristic Strenght (kN)	127	285	389

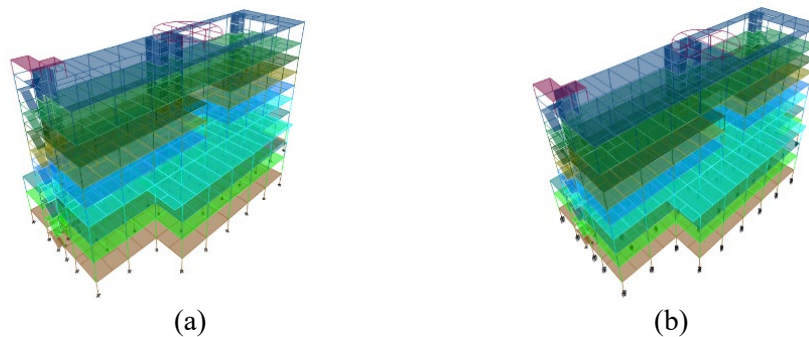
(Sumber : Bridgestone, diakses 2023)

e. Analisis

Proses analisis yang digunakan adalah metode statis ekuivalen dengan bantuan aplikasi ETABS V20. Pada analisis ini meninjau perilaku struktur antara lain *displacement*, *drift* dan *base shear*. Serta melakukan analisis statis nonlinear untuk menentukan level kinerja struktur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan hasil ini, gedung yang menggunakan stuktur *fix base* selanjutnya kita sebut sebagai model 1 dan gedung dengan struktur *base isolation* selanjutnya kita sebut sebagai model 2. Berikut ini merupakan Gambar 2 yang menunjukkan model 3D struktur gedung *fix base* dan struktur gedung *base isolation*.



Gambar 10. Struktur Gedung 3D (a) *Fix Base* dan (b) *Base Isolation*
(Sumber : Hasil Pemodelan ETABS, 2023)

a. Desain *Base Isolation*

Untuk parameter-parameter dari desain *base isolation* didapatkan rekapan hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

1) Kekakuan aktual

$$K_H^A = 4,762 \text{ MN/m}$$

$$K_H^B = 3,499 \text{ MN/m}$$

$$K_H^C = 1,557 \text{ MN/m}$$

2) Kekakuan struktur



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

- $K_H = 213,276 \text{ MN/m}$
 $T = 5,748 \text{ detik}$
- 3) Perpindahan rencana
 $D_D = 0,506 \text{ m}$
- 4) Gaya geser di atas struktur isolasi
 $V_S = 53.983,32 \text{ kN}$
- 5) Gaya geser di bawah struktur isolasi
 $V_B = 107.966,64 \text{ kN}$
- b. Periode (T)
 Dari analisis yang telah dilakukan menggunakan bantuan program aplikasi ETABS diperoleh hasil periode fundamental antara struktur dengan sistem *fix base* dan struktur dengan sistem *base isolation* adalah sebagai berikut :
- $T_{fix \text{ base}} = 1,75 \text{ detik}$
 $T_{base \text{ isolation}} = 5,01 \text{ detik}$
- Berdasarkan hasil di atas didapatkan bahwa periode fundamental struktur *base isolation* lebih besar daripada *fix base*. Hal ini dikarenakan struktur *base isolation* lebih fleksibel dalam bergerak sehingga pergerakan struktur ketika terjadi gempa menjadi lebih lama untuk mencapai 1 periode getaran.
- c. Partisipasi Massa

Dari analisis yang telah dilakukan menggunakan bantuan program aplikasi ETABS diperoleh hasil partisipasi massa untuk struktur *fix base* dan *base isolation* ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 15. Partisipasi Massa (a) *fix base* dan (b) *base isolation*

Mode	<i>Fix Base</i>			<i>Base Isolation</i>		
	Periode Sec	Sum UX	Sum UY	Periode Sec	Sum UX	Sum UY
1	1,745	0,3649	0,0021	5,01	0,526	0,758
2	1,396	0,3732	0,6252	3,94	0,529	0,762
3	1,221	0,6543	0,6321	3,53	0,768	0,767
4	0,550	0,7386	0,6329	1,83	0,852	0,767
5	0,421	0,7702	0,7774	1,48	0,854	0,882
6	0,415	0,8350	0,8273	1,39	0,878	0,886
7	0,305	0,8436	0,8277	1,29	0,899	0,886
8	0,278	0,8645	0,8301	1,17	0,899	0,894
9	0,236	0,8653	0,8651	1,12	0,899	0,898
10	0,230	0,8785	0,8658	1,02	0,915	0,898
11	0,224	0,8847	0,8765	0,82	0,915	0,925
12	0,194	0,8899	0,8866	0,78	0,922	0,926
13	0,187	0,9032	0,8867	0,75	0,932	0,926
14	0,156	0,9037	0,8868	0,60	0,943	0,929
15	0,153	0,9043	0,9092	0,59	0,943	0,944



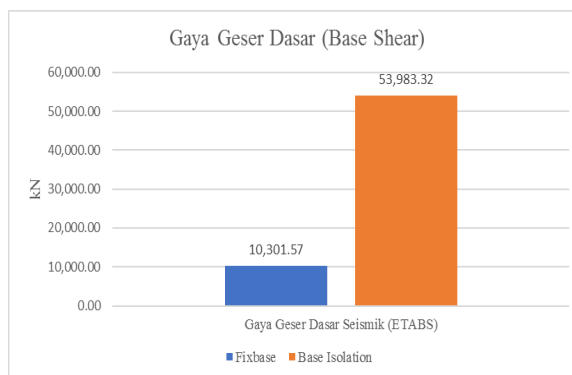
“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

(Sumber : Rekapitan ETABS, 2023)

Berdasarkan hasil perhitungan permodelan numerik menggunakan ETABS didapatkan bahwa struktur telah mendapatkan hasil yang memenuhi dalam ketentuan yakni mencakup lebih dari 90% pada mode ke-11. Sehingga partisipasi massa pada sistem struktur *base isolation* lebih cepat dibandingkan dengan sistem struktur *fix base*.

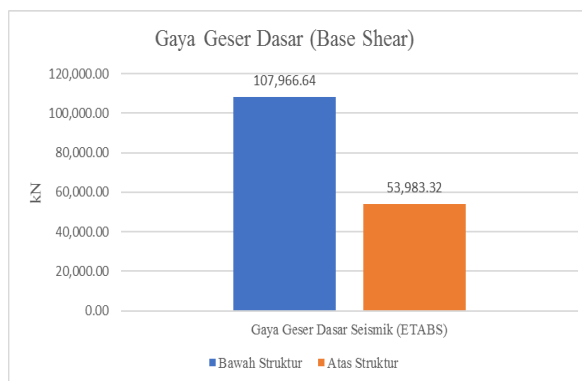
d. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya mendapatkan perbedaan *V base shear* pada sistem struktur *fix base* dan sistem struktur *base isolation* ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 11. Gaya Geser Dasar (1)
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan 5 kali lipat dari gaya geser rencana. Hal ini diakibatkan oleh struktur dengan sistem isolasi dimaknai sebagai struktur yang dapat menahan gaya geser lebih tinggi dari yang terjadi. Tetapi, *base isolation* mampu memperkecil gaya geser dasar pada sistem struktur terisolasi yang kemudian disalurkan menuju struktur atas bangunan.



Gambar 12. Gaya Geser Dasar (2)
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan dari hasil pada Gambar 5, nilai gaya geser pada struktur di atas *base isolation* mengalami pengurangan nilai sebesar :



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

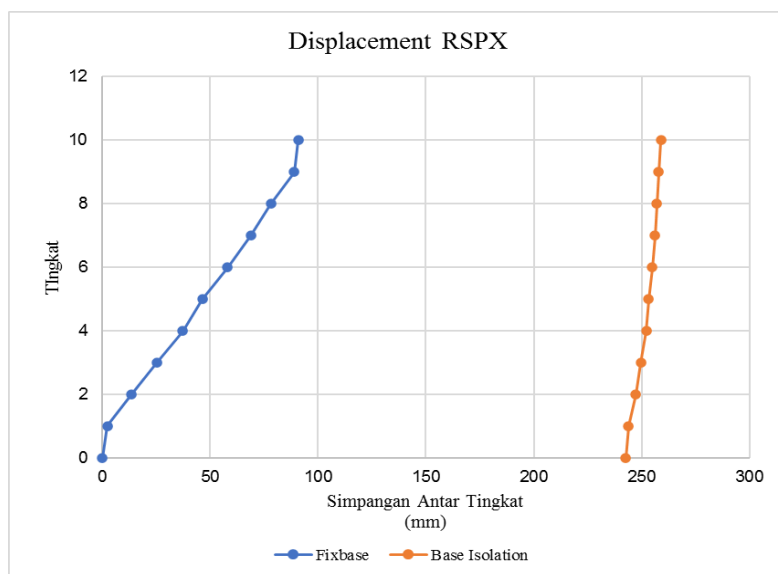
$$\frac{V_{atas} - V_{bawah}}{V_{bawah}} \times 100\% = \frac{107.966,64 - 53.983,32}{53.983,32} = 50\%$$

Hal ini membuktikan bahwa *base isolation* mampu memperkecil gaya gempa yang terjadi pada gaya geser yang direncanakan sesuai struktur dengan sistem terisolasi. Gaya geser yang digunakan dalam perencanaan masih lebih besar sistem struktur *base isolation* terhadap sistem struktur *fix base* yaitu pada 19,08%.

Merujuk pada SNI 1726-2019 pasal 12.5.4.3 menyebutkan bahwa, nilai V_s isolasi dasar harus lebih besar daripada struktur terjepit di dasar, Sehingga nilai V_s pada struktur *base isolation* telah memenuhi syarat.

e. *Displacement*

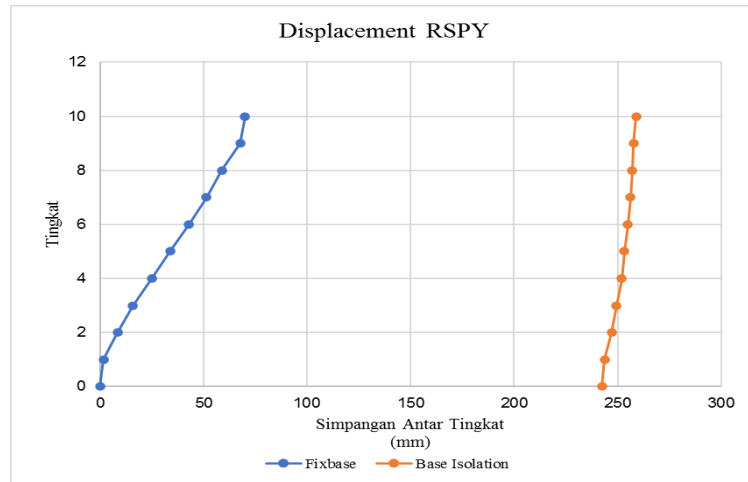
Berdasarkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 didapatkan hasil perbedaan yaitu terjadi kenaikan nilai displacement pada struktur *base isolation* memiliki nilai yang lebih kecil daripada struktur *fix base*. Tetapi pada lantai basement struktur *base isolation* menghasilkan simpangan yang lebih tinggi dibandingkan struktur *fix base* dan ini wajar sebab karakter dari *base isolation* yang fleksibel dalam bergerak jika mendapatkan beban gempa. Hal ini menjelaskan gaya geser gempa diredam terlebih dahulu oleh *base isolation* sebelum diteruskan pada bangunan atas.



Gambar 13. Grafik Perbandingan *Displacement RSP X*
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



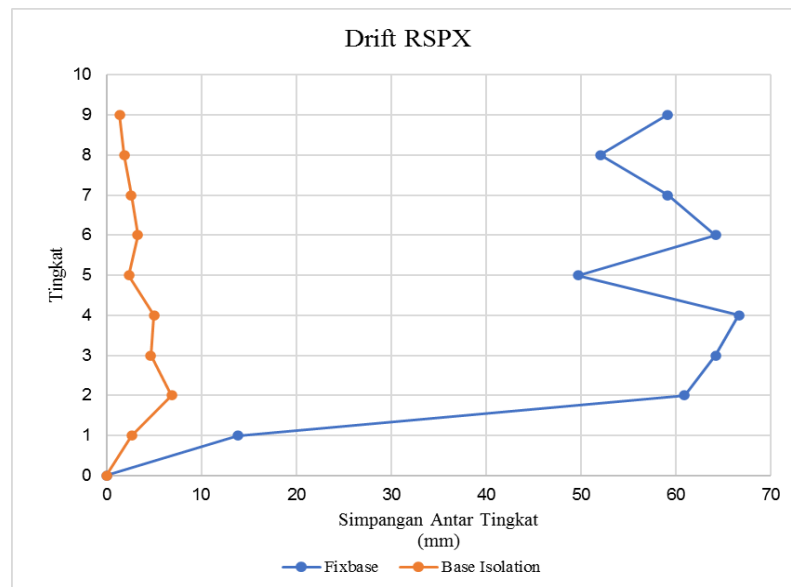
“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 14. Grafik Perbandingan *Displacement RSP Y*
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

f. *Drift* Antar Lantai

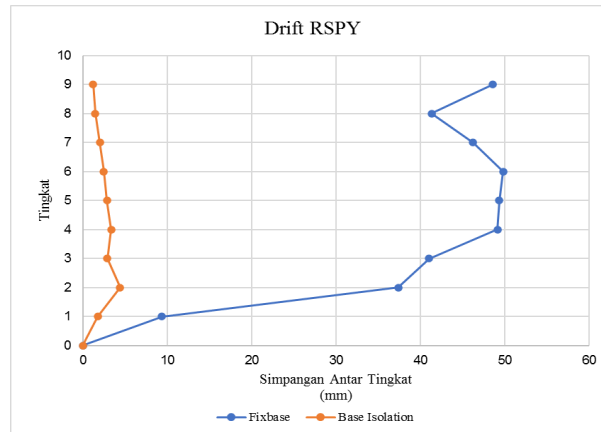
Berdasarkan pada perhitungan yang dilakukan dalam analisis mendapatkan perbedaan *drift* pada sistem struktur *fix base* dan sistem struktur *base isolation* dinyatakan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 15. Grafik Perbandingan *Drift RSP X*
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”



Gambar 16. Grafik Perbandingan *Drift* RSP Y
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan gambar di atas didapatkan *drift* pada struktur yang menggunakan sistem *base isolation* memiliki nilai yang lebih kecil pada setiap lantainya. Hal ini menjelaskan bahwa *base isolation* dapat memperkecil nilai *drift* yang terjadi. Sehingga perbandingan *drift* terbesar secara keseluruhan untuk sistem struktur *base isolation* terhadap *fix base* ditinjau dari arah gempa adalah pada lantai 9 yaitu :

Arah x = 97,67%

Arah y = 97,50%



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

g. Level Kinerja Struktur

Berdasarkan dari analisis, didapatkan perbandingan dari hasil level kinerja struktur antara sistem *fix base* dan sistem *base isolation* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 16. Hasil Level Kinerja Struktur

Model	Perpindahan Maks (m)		Tinggi Gedung (m)	Ratio		Tingkat Kinerja Struktur
	X	Y		X	Y	
<i>Fix Base</i>	0,06744	0,09425	43,25	0,00156	0,00218	IO
<i>Base Isolation</i>	0,05434	0,08315	43,25	0,00126	0,00192	IO

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

5. KESIMPULAN

Setelah pemaparan hasil analisis pada penelitian ini. Maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut :

- a. Perbandingan nilai *base shear*, nilai *displacement* dan nilai *drift* dengan sistem struktur gedung yang menerapkan sistem struktur *fix base* dan sistem struktur *base isolation* Gedung Kantor Gubernur Provinsi Papua adalah sebagai berikut :
 - 1) *Base Shear* yang terjadi pada struktur dapat direduksi sebesar 50%. Dengan gaya geser (*base shear*) rencana gedung dengan system struktur *base isolation* menghasilkan nilai yang lebih tinggi daripada sistem struktur *fix base*. Dengan peningkatan nilai gaya geser sistem struktur *base isolation* berbanding dengan sistem struktur *fix base* adalah 19,08%.
 - 2) *Displacement* yang terjadi untuk sistem struktur *base isolation* berbanding dengan sistem struktur *fix base* terjadi peningkatan yaitu 185,20% pada arah x dan 210,62% pada arah y.
 - 3) *Drift* pada bangunan dengan sistem struktur *fix base* dan *base isolation* mengalami selisih terbesar pada lantai 9 yaitu 57,73 mm arah x dan 47,33 mm arah y. Atau dengan kata lain *base isolation* dan mengurangi *drift* yang terjadi sebesar 82,82% arah x dan 83,35% arah y.
- b. Perbandingan level kinerja antara sistem struktur gedung *fix base* dengan sistem struktur gedung *base isolation* Kantor Gubernur Provinsi Papua pada Gedung Kantor Gubernur Provinsi Papua dengan acuan FEMA 356 analisa pushover adalah sebagai berikut :
 - 1) Level kinerja struktur *fix base* mendapatkan hasil yaitu masuk ke dalam kategori IO (*Immidiata Occupancy*) yang dimana apabila setelah terjadi gempa tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur, komponen nonstruktur masih berada pada tempatnya dan Sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat kembali digunakan setelah terjadi gempa dan tidak perlu perbaikan khusus.
 - 2) Level kinerja struktur Base Isolation mendapatkan hasil yaitu masuk ke dalam kategori IO (*Immidiata Occupancy*) yang dimana apabila setelah terjadi gempa tidak terjadi kerusakan yang berarti pada struktur, komponen non struktur masih berada pada tempatnya dan Sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat kembali digunakan setelah terjadi gempa dan tidak perlu perbaikan khusus.



“Technological Innovation for Infrastructure and building Development on Soft Soil to Achieve Sustainable Development Goals (SDG)”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2020 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (SNI 1723:2020). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Beton Bertulang untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 2847:2019). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- FEMA 356. 2000. *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington : Federal Emergency Management Agency.
- Firmansjah, Jodi. 2001. “Usulan Structural Reduction Factor (R) dan Structural Overstrength (Ω_o) untuk SNI1726-1988”. Bandung: HAKI Vol. 2.
- Hamdi, F., Lopian, F. E. P., Tumpu, M., Mabui, D. S. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., & Rangan, P. R. (2022). Teknologi Beton. Tohar Media.
- Irianto, I., Mabui, D. S., Andung, Y., Lopian, F. E., Iis Roin, W., Reny, R., ... & Astari, M. D. (2022). HaKI Buku dan Jurnal.
- Jangid, R. S., and J. M. Kelly. "Base isolation for near-fault motions." *Earthquake engineering & structural dynamics* 30.5 (2001): 691-707.
- Mwafy, A. M., and Amr S. Elnashai. "Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings." *Engineering structures* 23.5 (2001): 407-424.
- Mwafy. Elnasai. 2001. “Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings”. *Engineering Structures* 23, 407–424.
- Naeim, Farzad, and James M. Kelly. *Design of seismic isolated structures: from theory to practice*. John Wiley & Sons, 1999.
- Oguz S. 2005. “Evaluation of Pushover Analysis Procedures for Frame Structures”. Turkey : Middle East Technical University.
- Ricky, Vicky. 2013. “Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Akibat Beban Gempa Padang”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Trevor E Kelly. 2001. *Base Isolation of Structures-Design Guidelines*. New Zealand: Holmes Consulting Group.