

STUDI DERAJAT STABILITAS ABUTMEN JEMBATAN JALAN RAYA DENGAN STRUKTUR ATAS BETON BERTULANG JEMBATAN 6 ROAD 1 SUNGAI SUBOLI

Muhammad Ilmi Yaqin¹, Pujo Priyono², Arief Alihudien³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : muhammadilmiyaqin@gmail.com

² Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : pujopriyono@unmuhjember.ac.id

³ Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
Email : Ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas analisa stabilitas abutment jembatan jalan raya dengan struktur atas beton bertulang, yang berlokasi di Jembatan 6 Road 1, Sungai Suboli, Halmahera Timur, Maluku Utara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan stabilitas struktur antara jembatan dengan beton bertulang dan jembatan dengan beton prategang. Metode yang digunakan adalah metode studi literatur dengan pendekatan data sekunder yang dianalisis berdasarkan data teknis perencanaan dan hasil perhitungan stabilitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi balok T yang digunakan memiliki lebar 0,8 meter dan tinggi 1,2 meter. Perubahan struktur atas dari beton prategang menjadi beton bertulang menyebabkan peningkatan berat sendiri struktur sebesar 96,4%. Dampak dari perubahan ini terhadap stabilitas guling menunjukkan peningkatan sebesar 24,4% pada kombinasi pembebahan 2. Namun, terjadi penurunan stabilitas guling pada kombinasi pembebahan 1, 3, 4, dan 5 dengan rata-rata penurunan sebesar 16,5%. Sementara itu, stabilitas geser mengalami peningkatan pada kelima kombinasi pembebahan dengan rata-rata kenaikan sebesar 10%. Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan jenis beton pada struktur atas jembatan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas abutment, baik dari sisi stabilitas guling maupun stabilitas geser, sehingga perlu dipertimbangkan secara matang dalam proses perencanaan struktur jembatan.

Kata Kunci: abutment, beton bertulang, jembatan, stabilitas guling, stabilitas geser

Abstract

This research analyzes the stability of a highway bridge abutment with a reinforced concrete superstructure, located at Bridge 6 Road 1, Suboli River, East Halmahera, North Maluku. The objective of this study is to compare the structural stability between bridges using reinforced concrete and those using prestressed concrete. The method employed is a literature-based approach using secondary data, which is analyzed based on technical design information and stability calculations. The results show that the T-beam used has dimensions of 0.8 meters in width and 1.2 meters in height. Changing the superstructure from prestressed concrete to reinforced concrete increases the structure's self-weight by 96.4%. This change leads to a 24.4% increase in overturning stability under load combination 2. However, a decrease in overturning stability is observed in load combinations 1, 3, 4, and 5, with an average decrease of 16.5%. Meanwhile, sliding stability improves across all five load combinations, with an average increase of 10%. This study indicates that the type of concrete used in the bridge superstructure significantly affects the abutment's stability, in terms of both overturning and sliding resistance, and should be carefully considered in bridge structural design

Keywords: abutment, reinforced concrete, bridge, overturning stability, sliding stability

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur transportasi merupakan komponen vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, serta mobilitas sosial masyarakat. Jalan dan jembatan merupakan bagian penting dari sistem transportasi darat yang memiliki fungsi utama dalam memperlancar pergerakan barang, jasa, dan manusia. Keandalan fungsi tersebut sangat ditentukan oleh kondisi geometrik, kekuatan struktur, serta kesesuaian kapasitas dengan volume lalu lintas yang terus meningkat. Oleh karena itu, pembangunan dan peningkatan kualitas jalan dan jembatan menjadi bagian dari prioritas strategis nasional yang mana telah diatur dalam Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan.

Jembatan 6 Road 1 yang berlokasi di Sungai Suboli, Halmahera Timur, merupakan salah satu infrastruktur penghubung dalam jaringan hauling road. Jembatan ini memiliki panjang bentang 25 meter dan tinggi 8,5 meter dari muka air rencana 100 tahunan. Awalnya direncanakan menggunakan struktur atas beton prategang, namun setelah mempertimbangkan aspek efisiensi biaya dan pelaksanaan, serta kondisi hidrologis setempat, struktur atas dengan beton bertulang dipilih sebagai alternatif. Meskipun beton bertulang membutuhkan dimensi lebih besar, pilihan ini dinilai lebih memungkinkan secara teknis.

Perubahan jenis struktur atas ini berdampak pada beban vertikal yang diteruskan ke fondasi, sehingga berpengaruh terhadap stabilitas abutmen. Salah satu aspek penting dalam evaluasi stabilitas adalah momen penahan terhadap gaya guling dan daya dukung tanah terhadap gaya geser. Meningkatnya berat struktur dapat memperbesar momen penahan, namun juga dapat memengaruhi faktor keamanan daya dukung tanah.

dari latar belakang itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis tingkat stabilitas abutmen jembatan dengan struktur atas beton bertulang, dengan studi kasus pada Jembatan 6 Road 1, Sungai Suboli, Halmahera Timur, Maluku Utara.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dirancang untuk memberikan kerangka kerja yang sistematis dalam menganalisis stabilitas abutmen jembatan jalan raya dengan struktur atas beton bertulang. Fokus utama penelitian adalah mengevaluasi pengaruh perubahan jenis struktur atas dari beton prategang ke beton bertulang terhadap stabilitas abutmen, baik dari sisi stabilitas guling maupun geser, dengan studi kasus pada Jembatan 6 Road 1 di Sungai Suboli, Halmahera Timur, Maluku Utara.

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan data sekunder yang diperoleh dari dokumen teknis, laporan perencanaan, dan referensi pendukung. Metodologi yang diterapkan terbagi dalam tiga tahapan utama, pertama dengan studi literatur, kedua dengan pengumpulan data, dan terakhir analisis data dan evaluasi hasil.

Tahap awal penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh dasar teori serta konsep-konsep teknis yang relevan dengan topik. Literatur yang digunakan mencakup buku referensi teknik sipil, jurnal ilmiah, pedoman perencanaan jembatan (seperti SNI dan RSNI), serta peraturan pemerintah terkait infrastruktur jalan dan jembatan, termasuk Undang-Undang No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Studi ini bertujuan memperkuat pemahaman peneliti terhadap aspek perencanaan struktur atas jembatan, stabilitas abutmen, dan faktor-faktor teknis yang memengaruhinya.

Data yang digunakan merupakan data sekunder, yang dikumpulkan dari instansi terkait dan juga dari konsultan perencana proyek meliputi:

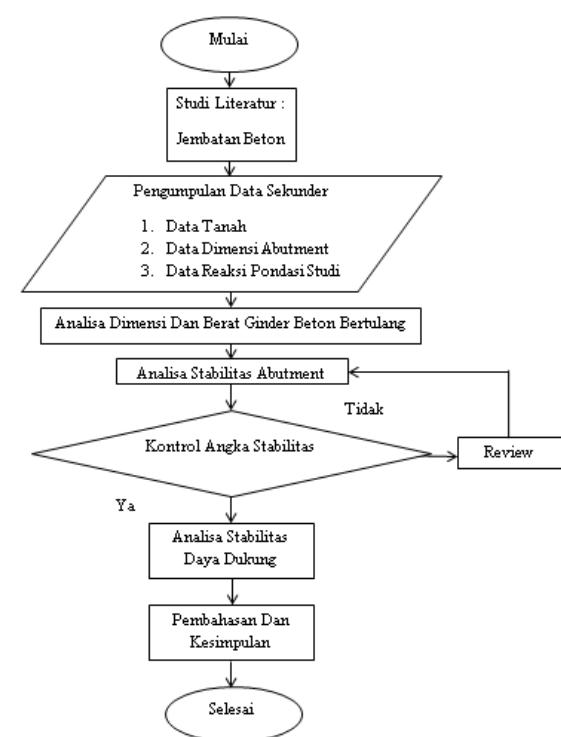
- Gambar perencanaan jembatan (layout, penampang melintang, dimensi struktur atas dan bawah)
- Data teknis tanah dan hasil investigasi geoteknik (jenis tanah, sudut geser dalam, kohesi, dan berat jenis)
- Data hidrologi dan muka air banjir rencana (debit ulang 100 tahunan)
- Kombinasi beban yang digunakan dalam desain (beban mati, hidup, angin, dan gempa)

Data ini digunakan untuk melakukan simulasi dan perhitungan ulang pada struktur jembatan dengan pendekatan beton bertulang.

Analisis struktur dilakukan untuk mengevaluasi performa struktur atas dan pengaruhnya terhadap stabilitas abutmen. Fokus utama berada pada analisis:

- Stabilitas terhadap guling, dengan menghitung momen penahan akibat berat sendiri struktur dan reaksi tumpuan.
- Stabilitas terhadap geser, dengan membandingkan gaya horizontal dan kapasitas geser tanah di bawah fondasi abutmen.

Analisis dilakukan untuk lima kombinasi pembebanan sesuai ketentuan perencanaan. Perbandingan dilakukan antara struktur beton bertulang dan struktur beton prategang, dengan melihat perbedaan nilai berat sendiri, momen penahan, dan faktor keamanan (safety factor) terhadap guling dan geser.

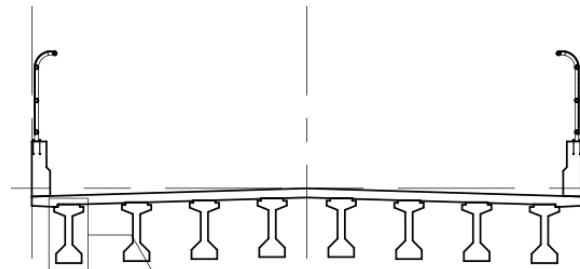


Gambar 1. Flowchart Penelitian
Sumber: Diolah Penulis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Stabilitas Abutment Rencana

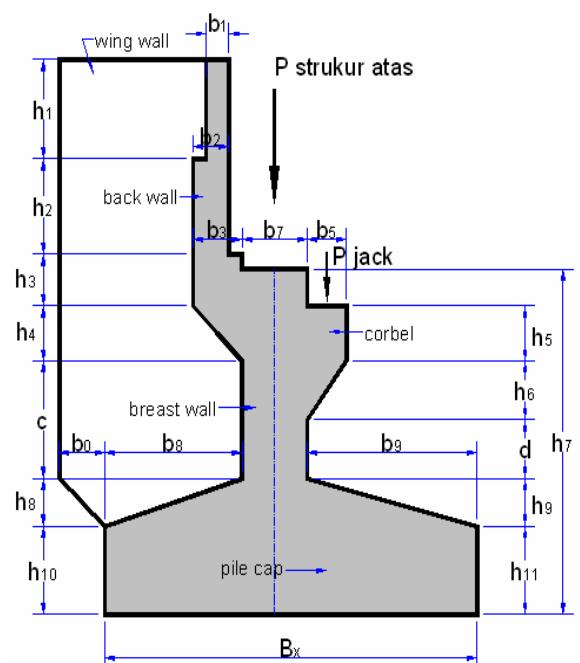
Pada bagian ini di lakukan analisa terkait abutment dengan struktur atas beton prategang, atau analisa yang dilakukan sesuai dengan rencana awal di bangunannya jembatan.



Gambar 2. Struktur Atas Rencana Beton Pratekan

Sumber : Dokumen Pengajuan Izin Pembangunan Jembatan Sungai Suboli

Spesifikasi pada jembatan menggunakan beton K 350 dengan spesifikasi baja tulangan U-40 yang tegangan leleh bajanya diangka $f_y = 400$ mpa. Memiliki bentang jembatan 25 m dan jumlah girder 8 buah.



Gambar 3. Notasi Bagian Abutment
Sumber: SNI 1725:2016

Tabel 1. Data Struktur Bawah Abutment

NOTASI	(m)	NOTASI	(m)	KETERANGAN	NOTASI	(m)
$h_1=$	0.8	$b_1=$	0.35	Panjang Abutment	$B_Y=$	13.0
$h_2=$	1.3	$b_2=$	0.55	Tebal Wing-Wall	$h_w=$	0.25
$h_3=$	0.7	$b_3=$	0.50		TANAH TIMBUNAN	
$h_4=$	0.75			Berat Volume	$w_s=$	17.2 kN/m^3
$h_5=$	0.75	$b_5=$	0.50	Sudut Gesek	$\phi=$	35 °
$h_6=$	0.6			Kohesi	$c=$	0
$h_7=$	3.72	$b_7=$	1.00		TANAH DASAR ABUTMENT	
$h_8=$	0.3	$b_8=$	2.15		$w_s=$	17.2 kN/m^3
$h_9=$	0.3	$b_9=$	2.35		$\phi=$	35 °
$h_{10}=$	0.6	$b_{10}=$	0.50		$c=$	0
$h_{11}=$	0.8				BAHAN STRUKTUR	
$c=$	1.87	$B_x=$	5.50	Mutu Beton	K- 350	
$d=$	1.47			Mutu Baja Tulangan	U- 40	

Sumber: SNI 1725:2016

Setelah memiliki data yang diperlukan selanjutnya bisa diproses analisa untuk mengetahui beban apa saja yang bekerja .

1. Berat Sendiri Struktur Atas

Untuk mendapatkan nilainya dilakukan penjumlahan dari beban beban berikut :

- Slab = 1290 kN
- Deck slab = 382.2 kN
- Trotoar = 396 kN
- Balok pracetak = 2291 kN
- Diafragma = 191.9 kN

Yang mana jika dijumlahkan nilai berat sendiri struktur atas sebesar 4551 kN. Dan nilai beban pada abutment akibat dari ini bisa dihitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{MS} = \frac{1}{2} \times W_{MS} = 2275.5 \text{ kN}$$

Eksntrisitas beban terhadap pondasi bisa dihitung dengan rumus :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Selanjutnya untuk momen pada pondasi akibat berat sendiri struktur atas di hitung dengan :

$$- M_{MS} = P_{MS} \times e = -227.552 \text{ kNm}$$

2. Berat Sendiri Struktur Bawah

Memiliki data data sebagai berikut :

- Dengan berat beton : $w_c = 24 \text{ kN/m}$
- Kemudian Berat tanah timbunan sebesar : $w_s = 17.2 \text{ kN/m}^3$
- Lebar : $B_y = 13 \text{ m}$
- 2 x tebal wing wall = 0.5 m

$$- b_{12} = 1.85 \text{ m}$$

$$- b_{13} = 1.65 \text{ m}$$

$$- h_{13} = 4.62 \text{ m}$$

$$- H = 6.32 \text{ m}$$

Didapatkan nilai $P_{MS} = 6743 \text{ kN}$

$$M_{MS} = -7017.626 \text{ kNm}$$

Dan jika di total maka didapatkan hasil:

$$P_{MS} = 2275 + 6743 = 9018 \text{ kN}$$

$$M_{MS} = -227.552 + -7017.626 = -7245 \text{ kNm}$$

3. Beban Mati Tambahan

Untuk mendapatkan nilai beban mati tambahan dilakukan penjumlahan dari beban beban berikut :

- Lap aspal + overlay = 591.25 kN
- Railing,lights dll = 25 kN
- Instalasi ME = 5 kN
- Air hujan = 161.88 kN

Yang mana jika dijumlahkan nilai beban mati tambahan sebesar 783.13 kN. Dan nilai beban pada abutment akibat ini bisa dihitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{MA} = \frac{1}{2} \times W_{MA} = 391.56 \text{ kN}$$

Eksntrisitas beban terhadap pondasi bisa dihitung dengan rumus :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Momen pada pondasi di hitung dengan :

$$- M_{MA} = P_{MA} \times e = -39.16 \text{ kNm}$$

4. Tekanan Tanah (TA)

Pada area tanah yang berada di belakang dinding abutment yang menerima beban dari lalu lintas, perlu dipertimbangkan tambahan

beban berupa beban merata yang ekuivalen dengan ketebalan tanah, sebagai akibat dari pengaruh kendaraan di atasnya, berikut rumus untuk mencari nilai tekanan tanah:

- $T_{TA} = (0.6 \times wa) \times H \times Ka \times By$
- $T_{TA} = \frac{1}{2} \times H^2 \times ws \times Ka \times By$

Dari rumus diatas nantinya akan di dapatkan hasil sebagai berikut :

- $T_{TA} = 440.31 \text{ kN}$
- $T_{TA} = 2318.98 \text{ kN}$
- Dengan total = 2759.3 kN
- $M_{TA} = 1391.39 \text{ kNm}$
- $M_{TA} = 4885.33 \text{ kNm}$
- Dengan total = 6276.72 kNm

5. Beban Lajur D (TD)

Beban kendaraan yang dikategorikan sebagai beban lajur 'D' berasal dari dua jenis komponen, yaitu beban merata dan beban garis. Yang mana nilai UDL dinyatakan dengan intensitas q (kPa), yang besarnya ditentukan oleh panjang total bentang lalu lintas yang menerima beban.

$$\begin{aligned} - W_{TD} &= (q \times L \times (5,5 + b)/2) + (p \times \\ &\quad DLA \times (5,5 + b)/2) \\ &= 1323.49 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dan nilai beban lajur D bisa dihitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{TD} = \frac{1}{2} \times W_{TD} = 661.7 \text{ kN}$$

Eksntrisitas beban terhadap pondasi :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Momen pada pondasi akibat beban lajur D dihitung dengan :

$$- M_{TD} = P_{TD} \times e = -66.17 \text{ kNm}$$

6. Beban Pedestrian / Pejalan Kaki (TP)

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai luas area trotoar yang didukung abutment bisa dicari dengan cara :

$$- A = b2 \times L/2 \times n = 27.5 \text{ m}^2$$

Untuk nilai Beban merata pada pedestrian dicari dengan cara :

$$- q = 5 \cdot 0.033 \times (A-10) = 4.42 \text{ kPa}$$

Dan nilai beban akibat pejalan kaki bisa dihitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{Tp} = A \times q = 121.62 \text{ kN}$$

Eksntrisitas beban terhadap pondasi dihitung dengan rumus:

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Dan nilai momen pada pondasi akibat dari beban pedestrian bisa dicari dengan cara:

$$- M_{Tp} = P_{Tp} \times e = -12.16 \text{ kNm}$$

7. Gaya Rem

Dampak dari gaya rem akibat lalu lintas dihitung sebagai gaya memanjang yang bekerja sejajar arah lintasan kendaraan, dan diasumsikan bekerja pada permukaan lantai jembatan. Oleh karena itu, besarnya gaya tersebut perlu dihitung dengan persyaratan berikut:

- Untuk panjang bentang kurang dari 80 meter, gaya rem TTB bernilai tetap sebesar 250 kN.
 - Jika panjang bentang berada antara 80 hingga 180 meter, gaya rem dihitung dengan rumus: 250 ditambah 2,5 dikalikan selisih antara Lt dan 80.
 - Sementara itu, untuk panjang bentang lebih dari 180 meter, nilai gaya rem TTB dianggap konstan sebesar 500 kN
- Selanjutnya diapatkan hasil :

- Gaya rem sebesar : $T_{TB} = 250 \text{ kN}$
- Lengan terhadap pondasi akibat gaya rem : $Y_{TB} = 6.32 \text{ m}$
- Dan momen pada pondasi akibat gaya rem : $M_{TB} = 1580 \text{ kNm}$

8. Pengaruh Temperature

Dalam memperkirakan tegangan dan deformasi struktur akibat perubahan suhu, digunakan nilai selisih temperatur yang setara dengan setengah selisih antara temperatur rata-rata maksimum dan minimum. Dalam hal ini, temperatur maksimum rata-rata adalah 40°C, sedangkan temperatur minimum rata-rata adalah 15°C. Sehingga perhitungan perbedaan temperatur adalah sebagai berikut:

$$- \Delta T = (T_{max} - T_{min})/2 = 12.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai koefisien muai panjang (thermal expansion coefficient) untuk material beton digunakan sebesar $\alpha = 0.00001$ per derajat Celsius. Sementara itu, modulus elastisitas beton yang digunakan dalam perencanaan bernilai sebesar 23452.95 MPa. Pada sistem penumpu, digunakan tumpuan elastomeric dengan kekakuan geser sebesar 1500 kN/m. Panjang total girder dalam struktur ini adalah 25 meter dan didukung oleh 8 tumpuan

elastomeric, yang masing-masing berada di bawah setiap girder. Sehingga gaya pada abutment akibat pengaruh temperature sebesar:

$$- T_{ET} = 18.75 \text{ kN}$$

Dan lengan terhadap pondasi sebesar :

$$- Y_{ET} = 3.72 \text{ m}$$

Dan momen yang dihasilkan pada pondasi akibat gaya temperature :

$$- M_{ET} = 69.75 \text{ kNm}$$

9. Beban Angin

Angin yang meniup bidang samping jembatan

$$- T_{EW1} = 40.20 \text{ kN}$$

$$- Y_{EW} = 5.47 \text{ m}$$

$$- M_{EW} = 219.87 \text{ kNm}$$

$$- Y'_{EW} = 4.37 \text{ m}$$

$$- M'_{EW} = 175.65 \text{ kNm}$$

Angin yang meniup kendaraan

$$- T_{EW2} = 22.05 \text{ kN}$$

$$- Y_{EW} = 5.62 \text{ m}$$

$$- M_{EW} = 123.92 \text{ kNm}$$

$$- Y'_{EW} = 4.52 \text{ m}$$

$$- M'_{EW} = 99.66 \text{ kNm}$$

Baban angina total pada abutment

$$- T_{EW} = 62.25 \text{ kN}$$

$$- M_{EW} = 343.79 \text{ kNm}$$

$$- M'_{EW} = 275.32 \text{ kNm}$$

Transfer beban angin ke lantai jembatan

$$- P_{EW} = 25.2 \text{ kN}$$

$$- M_{EW} = -25.2 \text{ kNm}$$

10. Gaya Gempa

Nilai gaya horisontal akibat gempa arah melintang jembatan ditetapkan sebesar 2697.470 kN, yang menghasilkan momen terhadap pondasi sebesar 10182.499 kNm. Selain itu, terdapat tekanan tanah dinamis sebagai respons terhadap gaya seismik lateral, yang dihitung menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} - T_{EQ} &= 1/28H^2 \times w_s \times \Delta K_{aG} \times B_y \\ &= 1978.425 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lengan momen terhadap pondasi diasumsikan berada pada titik 2/3 dari tinggi H, yaitu sebesar 4.2 m. Maka momen yang dihasilkan oleh tekanan lateral akibat gempa tersebut adalah sebesar $M_{EQ} = 8335.765 \text{ kNm}$.

11. Gesekan Pada Perletakan FB

Gaya gesek yang terjadi pada perletakan (T_{FB}) memiliki nilai sebesar 480.076 kN. Gaya ini menghasilkan momen terhadap pondasi dengan lengan momen sejauh 3.72 meter, sehingga momen yang terjadi pada pondasi adalah sebesar 1785.881 kNm. Sementara itu, apabila ditinjau terhadap dinding penahan (breast wall), lengan momen yang digunakan adalah 2.62 meter. Dengan demikian, momen yang bekerja pada breast wall akibat gaya gesek tersebut adalah sebesar 1257.798 kNm.

B. Kombinasi Pembebanan

Dilanjutkan dengan kombinasi pembebanan untuk perencanaan tegangan kerja. Dimana hasil dari ke 5 kombinasi sebagai berikut :

Kombinasi 1

$$- P = 10585.25 \text{ kN}$$

$$- T_x = 3239.38 \text{ kN}$$

$$- T_y = 0$$

$$- M_x = 699.94 \text{ kNm}$$

$$- M_y = 0$$

Kombinasi 2

$$- P = 10610.45 \text{ kN}$$

$$- T_x = 4987.73 \text{ kN}$$

$$- T_y = 62.25 \text{ kN}$$

$$- M_x = 8827.30 \text{ kNm}$$

$$- M_y = 343.79 \text{ kNm}$$

Kombinasi 3

$$- P = 10610.45 \text{ kN}$$

$$- T_x = 3489.38 \text{ kN}$$

$$- T_y = 62.25 \text{ kN}$$

$$- M_x = 2277.42 \text{ kNm}$$

$$- M_y = 343.79 \text{ kNm}$$

Kombinasi 4

$$- P = 10610.45 \text{ kN}$$

$$- T_x = 3508.13 \text{ kN}$$

$$- T_y = 62.25 \text{ kN}$$

$$- M_x = 2347.17 \text{ kNm}$$

$$- M_y = 343.79 \text{ kNm}$$

Kombinasi 5

$$- P = 9801.89 \text{ kN}$$

$$- T_x = 4080.02 \text{ kN}$$

$$- T_y = 2697.47 \text{ kN}$$

$$- M_x = 8984.17 \text{ kNm}$$

$$- M_y = 10182.45 \text{ kNm}$$

C. Kontrol Stabilitas Guling Geser Rencana

1. Kontrol Stabilitas Guling

Setelah mendapatkan nilai saat melakukan kombinasi pembebanan, selanjutnya bisa di dapatkan untuk nilai SF nya dengan cara mencari nilai M_{px} dengan rumus :

$$- M_{px} = P \times (Bx/2) \times (1+k)$$

Setelah itu untuk mendapatkan nilai SF nya dilanjutkan dengan rumus :

$$- SF = M_{px}/M_x$$

Maka di dapatkan hasil untuk nilai SF nya sebagai berikut :

Arah X

- Kombinasi 1 = 41.6
- Kombinasi 2 = 4.1
- Kombinasi 3 = 17.9
- Kombinasi 4 = 17.4
- Kombinasi 5 = 4.5

Arah Y

- Kombinasi 1 = -
- Kombinasi 2 = 249.8
- Kombinasi 3 = 279.8
- Kombinasi 4 = 279.8
- Kombinasi 5 = 9.3

Dari hasil diatas semua kombinasi masih tergolong aman karena nilai SF > 2.2

2. Kontrol Stabilitas Geser

Setelah mendapatkan nilai saat melakukan kombinasi pembebanan, selanjutnya bisa di dapatkan untuk nilai SF nya dengan cara mencari nilai H dengan rumus :

$$- H = (c \times Bx \times By + P \times \tan\phi) \times (1+k)$$

Setelah itu untuk mendapatkan nilai SF nya dilanjutkan dengan rumus :

$$- SF = H/T_x$$

Maka di dapatkan hasil untuk nilai SF nya sebagai berikut :

Arah X

- Kombinasi 1 = 2.3
- Kombinasi 2 = 1.9
- Kombinasi 3 = 3.0
- Kombinasi 4 = 3.0
- Kombinasi 5 = 2.5

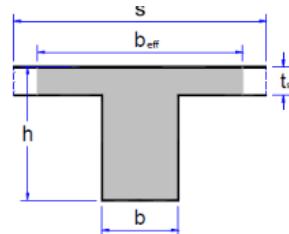
Arah Y

- Kombinasi 1 = -
- Kombinasi 2 = 149.2
- Kombinasi 3 = 167.1
- Kombinasi 4 = 167.1

- Kombinasi 5 = 3.8

Dari hasil diatas semua kombinasi masih tergolong aman karena nilai SF > 1.1

D. Perencanaan Balok T



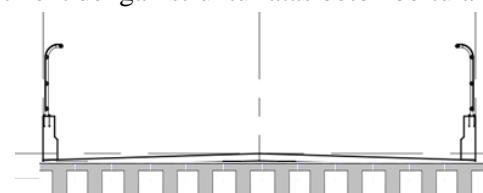
Gambar 4. Balok T

Sumber: SNI 1725:2016

Balok T yang digunakan memiliki dimensi lebar badan (b) sebesar 0.8 meter dan tinggi total (h) sebesar 1.2 meter. Untuk menentukan lebar efektif pelat (b_{eff}), digunakan pendekatan berdasarkan tiga kriteria, yaitu seperempat panjang bentang ($L/4 = 6.25$ m), jarak antar balok ($S = 1$ m), dan dua belas kali tebal pelat ($12 \times h_0 = 2.40$ m). Dari ketiga nilai tersebut, dipilih nilai terkecil, yaitu 1 meter, sebagai lebar efektif pelat (b_{eff}).

E. Analisis Beban Abutment Beton Bertulang

Pada bagian ini di lakukan analisa terkait abutment dengan struktur atas beton bertulang.



Gambar 5. Struktur Atas Rencana Beton Bertulang

Sumber : Pengolahan Data

Struktur jembatan ini dirancang menggunakan beton mutu tinggi dengan spesifikasi K-350, yang menunjukkan kuat tekan karakteristik beton sebesar 35 MPa. Baja tulangan yang digunakan adalah tipe U-40, dengan nilai tegangan leleh (f_y) sebesar 400 MPa. Jembatan ini memiliki bentang utama sepanjang 25 meter dan didukung oleh 12 balok utama sebagai elemen struktural pembawa beban.

1. Berat Sendiri Struktur Atas

Untuk mendapatkan nilai berat sendiri struktur atas dilakukan penjumlahan dari beban beban berikut :

- Slab = 1290 kN
- Trotoar = 396 kN
- Balok pracetak = 7128 kN
- Diafragma = 122.1 kN

Yang mana jika dijumlahkan nilai berat sendiri struktur atas sebesar 8937 kN. Dan nilai beban pada abutment akibat berat sendiri bisa di hitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{MS} = \frac{1}{2} \times W_{MS} = 4468.548 \text{ kN}$$

Dengan eksntrisitas beban terhadap pondasi :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

menghasilkan Momen pada pondasi akibat berat sendiri struktur atas sebesar :

$$- M_{MS} = P_{MS} \times e = -446.855 \text{ kNm}$$

2. Berat Sendiri Struktur Bawah

Memiliki data sebagai berikut :

- Berat beton : $w_c = 24 \text{ kN/m}$
- Berat tanah timbunan : $w_s = 17.2 \text{ kN/m}^3$
- Lebar : $B_y = 13 \text{ m}$
- $2 \times$ tebal wing wall = 0.5 m
- $b_{12} = 1.85 \text{ m}$
- $b_{13} = 1.65 \text{ m}$
- $h_{13} = 4.62 \text{ m}$
- $H = 6.32 \text{ m}$

Didapatkan nilai $P_{MS} = 6747 \text{ kN}$

$$M_{MS} = -7021.413 \text{ kNm}$$

Dan jika di total antara keduanya maka didapatkan hasil:

$$P_{MS} = 4468 + 6747 = 11215 \text{ kN}$$

$$M_{MS} = -446.85 + -7021.41 \\ = -7268.26 \text{ kNm}$$

3. Beban Mati Tambahan

Untuk mendapatkan nilai beban mati tambahan dilakukan penjumlahan dari beban beban berikut :

- Lap aspal + overlay = 591.69 kN
- Railing, lights dll = 25 kN
- Instalasi ME = 5 kN
- Air hujan = 161.88 kN

Yang mana jika dijumlahkan nilai beban mati tambahan sebesar 783.67 kN. Dan nilai

beban pada abutment bisa di hitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{MA} = \frac{1}{2} \times W_{MA} = 391.83 \text{ kN}$$

Dengan eksntrisitas beban terhadap pondasi sebesar :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Maka momen yang dihasilkan pada pondasi sebesar :

$$- M_{MA} = P_{MA} \times e = -39.18 \text{ kNm}$$

4. Tekanan Tanah (TA)

- $T_{TA} = (0.6 \times w_a) \times H \times K_a \times B_y$
- $T_{TA} = \frac{1}{2} \times H^2 \times w_s \times K_a \times B_y$

Dari rumus diatas nantinya akan di dapatkan hasil sebagai berikut :

- $T_{TA} = 440.59 \text{ kN}$
- $T_{TA} = 2320.42 \text{ kN}$
- Dengan total = 2761 kN
- $M_{TA} = 1392.252 \text{ kNm}$
- $M_{TA} = 4888.353 \text{ kNm}$
- Dengan total = 6280.6 kNm

5. Beban Lajur D (TD)

$$- W_{TD} = q \times L \times (5.5 + b) / 2 + p \times DLA \\ \times (5.5 + b) / 2 \\ = 1323.97 \text{ kN}$$

Dan nilai beban lajur D bisa di hitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{TD} = \frac{1}{2} \times W_{TD} = 661.99 \text{ kN}$$

Dengan eksntrisitas beban terhadap pondasi sebesar :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Sehingga menghasilkan Momen pada pondasi akibat beban lajur D sebesar :

$$- M_{TD} = P_{TD} \times e = -66.20 \text{ kNm}$$

6. Beban Pedestrian / Pejalan Kaki (TP)

Luas area trotoar yang didukung oleh abutment :

$$- A = b2 \times L/2 \times n = 27.5 \text{ m}^2$$

Untuk beban merata pada pedestrian bisa di cari dengan rumus :

$$- q = 5 \times 0.033 \times (A-10) = 4.42 \text{ kPa}$$

Dan nilai akibat pejalan kaki bisa di hitung menggunakan rumus berikut :

$$- P_{Tp} = A \times q = 121.62 \text{ kN}$$

Dengan eksntrisitas sebesar :

$$- e = -Bx/2 + b8 + b7/2 = -0.1 \text{ m}$$

Sehingga menghasilkan momen sebesar :

$$- M_{Tp} = P_{Tp} \times e = -12.16 \text{ kNm}$$

7. Gaya Rem

Untuk panjang bentang kurang dari 80 meter, gaya rem TTB bernilai tetap sebesar 250 kN. Jika panjang bentang berada antara 80 hingga 180 meter, gaya rem dihitung dengan rumus: 250 ditambah 2,5 dikalikan selisih antara Lt dan 80. Sementara itu, untuk panjang bentang lebih dari 180 meter, nilai gaya rem TTB dianggap konstan sebesar 500 kN.

Sehingga dapat menghasilkan nilai sebagai berikut :

- Gaya rem : $T_{TB} = 250$ kN
- Dengan Lengan terhadap pondasi akibat gaya rem sebesar : $Y_{TB} = 6.32$ m
- Sehingga Momenya sebesar:
 $M_{TB} = 1580$ kNm

8. Pengaruh Temperature

Dalam memperkirakan tegangan dan deformasi struktur akibat perubahan suhu, digunakan nilai selisih temperatur yang setara dengan setengah selisih antara temperatur rata-rata maksimum dan minimum. Dalam hal ini, temperatur maksimum rata-rata adalah 40°C , sedangkan temperatur minimum rata-rata adalah 15°C . Sehingga perhitungan perbedaan temperatur adalah sebagai berikut:

$$- dT = (T_{\text{mak}} - T_{\text{min}})/2 = 12.5^{\circ}\text{C}$$

Nilai koefisien muai panjang (thermal expansion coefficient) untuk material beton digunakan sebesar $\alpha = 0.00001$ per derajat Celsius. Sementara itu, modulus elastisitas beton yang digunakan dalam perencanaan bernilai sebesar 23452.95 MPa. Pada sistem penumpu, digunakan tumpuan elastomeric dengan kekakuan geser sebesar 1500 kN/m.

Panjang total girder dalam struktur ini adalah 25 meter dan didukung oleh 12 tumpuan, yang masing-masing berada di bawah setiap girder. Sehingga gaya pada abutment akibat pengaruh temperature sebesar:

- $T_{ET} = 28.125$ kN
- Dan lengan terhadap pondasi sebesar :
 $- Y_{ET} = 3.72$ m
- Dan momen yang dihasilkan pada pondasi akibat gaya temperature :
 $- M_{ET} = 104.625$ kNm

9. Beban Angin

Angin yang meniup bidang samping jembatan

- $T_{EW1} = 40.20$ kN
- $Y_{EW} = 5.47$ m
- $M_{EW} = 219.87$ kNm
- $Y'_{EW} = 4.37$ m
- $M'_{EW} = 175.65$ kNm

Angin yang meniup kendaraan

- $T_{EW2} = 22.05$ kN
- $Y_{EW} = 5.62$ m
- $M_{EW} = 123.92$ kNm
- $Y'_{EW} = 4.52$ m
- $M'_{EW} = 99.66$ kNm

Baban angina total pada abutment

- $T_{EW} = 62.25$ kN
- $M_{EW} = 343.79$ kNm
- $M'_{EW} = 275.32$ kNm

Dan transfer beban angin ke lantai jembatan sebesar:

- $P_{EW} = 25.2$ kN
- $M_{EW} = -25.2$ kNm

10. Gaya Gempa

Nilai gaya horisontal akibat gempa arah melintang jembatan ditetapkan sebesar 3327.294 kN, yang menghasilkan momen terhadap pondasi sebesar 14142.467 kNm. Selain itu, terdapat tekanan tanah dinamis sebagai respons terhadap gaya seismik lateral, yang dihitung menggunakan rumus:

$$- T_{EQ} = 1/28H^2 \times w_s \times \Delta K_{aG} \times B_y \\ = 1979.647 \text{ kN}$$

Lengan momen terhadap pondasi diasumsikan berada pada titik $2/3$ dari tinggi H , yaitu sebesar 4.2 m. Maka, momen yang dihasilkan oleh tekanan lateral akibat gempa tersebut adalah sebesar $M_{EQ} = 8340.914$ kNm.

11. Gesekan Pada Perletakan FB

Gaya gesek yang terjadi pada sistem perletakan struktur jembatan (FB) tercatat sebesar 874.868 kN. Gaya ini menghasilkan momen terhadap pondasi, dengan lengan momen sejauh 3.72 meter, sehingga diperoleh momen pada pondasi sebesar 3254.510 kNm.

Apabila ditinjau terhadap breast wall, lengan momen yang digunakan adalah 2.62 meter, yang menghasilkan momen sebesar 2292.155 kNm. Nilai-nilai ini penting dalam

mengevaluasi pengaruh gempa terhadap elemen-elemen penahan beban horizontal pada struktur bawah jembatan.

F. Kombinasi Pembebaan

Dilanjutkan dengan kombinasi pembebaan untuk perencanaan tegangan kerja. Dimana hasil dari ke 5 kombinasi sebagai berikut :

Kombinasi 1

- $P = 12782.95 \text{ kN}$
- $T_x = 3635.88 \text{ kN}$
- $T_y = 0$
- $M_x = 1949.30 \text{ kNm}$
- $M_y = 0$

Kombinasi 2

- $P = 12808.15 \text{ kN}$
- $T_x = 4990.65 \text{ kN}$
- $T_y = 62.25 \text{ kN}$
- $M_x = 8613.19 \text{ kNm}$
- $M_y = 343.79 \text{ kNm}$

Kombinasi 3

- $P = 12808.15 \text{ kN}$
- $T_x = 3885.88 \text{ kN}$
- $T_y = 62.25 \text{ kN}$
- $M_x = 3526.78 \text{ kNm}$
- $M_y = 343.79 \text{ kNm}$

Kombinasi 4

- $P = 12808.15 \text{ kN}$
- $T_x = 3914 \text{ kN}$
- $T_y = 62.25 \text{ kN}$
- $M_x = 3631.41 \text{ kNm}$
- $M_y = 343.79 \text{ kNm}$

Kombinasi 5

- $P = 11999.95 \text{ kN}$
- $T_x = 4565.72 \text{ kN}$
- $T_y = 3327.29 \text{ kN}$
- $M_x = 11825.40 \text{ kNm}$
- $M_y = 14142.47 \text{ kNm}$

G. Kontrol Stabilitas Guling Geser Beton Bertulang

1. Kontrol Stabilitas Guling

Setelah mendapatkan nilai saat melakukan kombinasi pembebaan, selanjutnya bisa di dapatkan untuk nilai SF nya dengan cara mencari nilai M_{px} dengan rumus :

$$- M_{px} = P \times (B_x/2) \times (1+k)$$

Setelah itu untuk mendapatkan nilai SF nya dilanjutkan dengan rumus :

$$- SF = M_{px}/M_x$$

Maka di dapatkan hasil untuk nilai SF nya sebagai berikut :

Arah X

- Kombinasi 1 = 18
- Kombinasi 2 = 5.1
- Kombinasi 3 = 14
- Kombinasi 4 = 13.6
- Kombinasi 5 = 4.2

Arah Y

- Kombinasi 1 = -
- Kombinasi 2 = 301.7
- Kombinasi 3 = 337.9
- Kombinasi 4 = 337.9
- Kombinasi 5 = 8.2

Dari hasil diatas semua kombinasi masih tergolong aman karena nilain SF > 2.2

2. Kontrol Stabilitas Geser

Setelah mendapatkan nilai saat melakukan kombinasi pembebaan, selanjutnya bisa di dapatkan untuk nilai SF nya dengan cara mencari nilai H dengan rumus :

$$- H = (c \times B_x \times B_y \times P \times \tan\phi) \times (1+k)$$

Setelah itu untuk mendapatkan nilai SF nya dilanjutkan dengan rumus :

$$- SF = H/T_x$$

Maka di dapatkan hasil untuk nilai SF nya sebagai berikut :

Arah X

- Kombinasi 1 = 2.5
- Kombinasi 2 = 2.2
- Kombinasi 3 = 3.2
- Kombinasi 4 = 3.2
- Kombinasi 5 = 2.8

Arah Y

- Kombinasi 1 = -
- Kombinasi 2 = 180.1
- Kombinasi 3 = 201.7
- Kombinasi 4 = 201.7
- Kombinasi 5 = 3.8

Dari hasil diatas semua kombinasi masih tergolong aman karena nilain SF > 1.1

Dari perhitungan stabilitas arah X dan Y disini didapatkan bahwa nilai SF arah Y lebih besar dibandingkan arah X dikarenakan arah Y menerima gaya horizontal lebih kecil, sedangkan arah X menjadi arah dominan dari tekanan tanah dan gempa sehingga stabilitasnya lebih kritis, selain itu dimensi

pondasi arah Y lebih panjang, sehingga memiliki momen dan daya dukung lebih besar untuk menahan guling ataupun geser.

H. Stabilitas Jembatan

Dari hasil perhitungan sebelumnya didapatkan beberapa hasil yakni stabilitas guling jembatan beton pratekan rencana dan stabilitas guling jembatan beton bertulang dan juga stabilitas geser jembatan beton pratekan rencana dan stabilitas geser jembatan beton bertulang, yang kemudian di peroleh suatu pembahasan yakni terdapat penambahan nilai angka stabilitas guling sebesar $5,1-4,1/4,1 = 24,4\%$ di saat kombinasi dua, akan tetapi terjadi penurunan nilai angka stabilitas guling saat kombinasi 1,3,4 dan 5, yakni dengan rata-rata dari ke lima kombinasi akan penurunan sebesar 16,5%.

Tabel 2. Rata – Rata Stabilitas Guling

SF GULING BETON	SF GULING RENCANA	KETERANGAN	DEVIASI	
18.0	41.6	>2.2 (AMAN)	-56.7	%
5.1	4.1	>2.2 (AMAN)	24.4	%
14.0	17.9	>2.2 (AMAN)	-21.8	%
13.6	17.4	>2.2 (AMAN)	-21.8	%
4.2	4.5	>2.2 (AMAN)	-6.7	%
		RATA-RATA	-16.5	%

Sumber : Pengolahan Data

Kemudian diperoleh suatu pembahasan yakni terdapat penambahan nilai angka stabilitas geser sebesar $2,2-1,9/1,9 = 15,8\%$ di saat kombinasi dua, dan di saat kombinasi 5, yakni sebesar $2,8-2,5/2,5 = 12\%$. dan kombinasi 3 yakni $3,2-3,0/3,0 = 6,7\%$. Dan kalau dibuat rata-rata dari kelima kombinasi akan terjadi suatu peningkatan stabilitas geser 10% .

Tabel 3. Rata – Rata Stabilitas Geser

SF GESER BETON	SF GESER RENCANA	KETERANGAN	DEVIASI	
2.5	2.3	>1.1 (AMAN)	8.7	%
2.2	1.9	>1.1 (AMAN)	15.8	%
3.2	3.0	>1.1 (AMAN)	6.7	%
3.2	3.0	>1.1 (AMAN)	6.7	%
2.8	2.5	>1.1 (AMAN)	12.0	%
		RATA-RATA	10.0	%

Sumber : Pengolahan Data

Jadi Perubahan menjadi gelagak beton bertulang, akan menambahkan berat sendiri

struktur atas (MS) sebesar $(8937-4551)/4551 = 96,4\%$.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan struktur atas beton bertulang terhadap stabilitas abutmen jembatan jalan raya, dengan studi kasus pada Jembatan 6 Road 1 di Sungai Suboli, Halmahera Timur. Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

Pertama, perubahan struktur atas dari beton prategang menjadi beton bertulang menyebabkan peningkatan berat sendiri struktur (MS) secara signifikan, yaitu sebesar 96,4%. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik antara beton bertulang dan beton prategang, di mana beton bertulang memerlukan dimensi balok yang lebih besar untuk mencapai kekakuan dan kekuatan yang setara. Dalam penelitian ini, dimensi balok T yang digunakan adalah lebar 0,8 meter dan tinggi 1,2 meter.

Kedua, dari sisi stabilitas guling, ditemukan adanya peningkatan sebesar 24,4% pada kombinasi pembebanan 2. Hal ini menunjukkan bahwa dalam kondisi beban tertentu, peningkatan berat struktur memberikan kontribusi terhadap kenaikan momen penahan terhadap gaya guling. Namun, pada kombinasi beban lainnya (kombinasi 1, 3, 4, dan 5), justru terjadi penurunan nilai stabilitas guling dengan rata-rata penurunan sebesar 16,5%. Penurunan ini diduga disebabkan oleh dominasi gaya horizontal, seperti gaya gesekan dan beban gempa, yang mengurangi efektivitas momen penahan akibat peningkatan berat sendiri.

Ketiga, stabilitas geser menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 10% pada seluruh kombinasi pembebanan. Hal ini mengindikasikan bahwa bertambahnya berat struktur turut meningkatkan gaya gesek antara pondasi dan tanah dasar, sehingga ketahanan terhadap gaya geser menjadi lebih baik.

Secara keseluruhan, penggunaan beton bertulang pada struktur atas memiliki dampak positif terhadap stabilitas geser, namun

memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap stabilitas guling. Oleh karena itu, pemilihan jenis struktur atas perlu mempertimbangkan kondisi beban dominan dan karakteristik tanah agar diperoleh desain yang aman dan efisien.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan keterbatasan data dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan studi di masa mendatang. Pertama, diperlukan studi lanjutan yang berfokus pada optimisasi desain abutmen, baik dari segi dimensi, material, maupun konfigurasi struktural, agar diperoleh stabilitas maksimum dengan efisiensi biaya yang optimal.

Kedua, untuk memperoleh hasil analisis yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi lapangan, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan data tanah hasil investigasi langsung di lokasi proyek. Penggunaan data primer seperti hasil uji sondir (CPT) atau boring akan memberikan gambaran lebih tepat mengenai karakteristik tanah dasar, sehingga perhitungan stabilitas abutmen, termasuk daya dukung, gaya geser, dan potensi deformasi, dapat dilakukan secara lebih realistik dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Penerapan kedua saran tersebut diharapkan dapat meningkatkan keakuratan dan keandalan desain abutmen jembatan di berbagai kondisi geoteknik dan pembebahan yang kompleks.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Berliandho, A. F., Lalan, H., & Andraini, J. (2022). Tinjauan ulang abutment jembatan Aia Sariak Sungai Kapur Solok Selatan. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 5(3). P-ISSN 2615-4617, E-ISSN 2615-7152. Universitas Ekasakti.
- Delvia, V. E., & Sakti, P. (2022). *Abutment stability analysis of earthquake load at Wawolatoma Bridge, Latoma Sub-District, Konawe Regency*. SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, 20(1), 339–346. P-ISSN 2407-0939, E-ISSN 2721-2041. Universitas Lakidende.
- Gumelar, A., Suryadi, A., & Rochman, T. (2023). Perencanaan ulang struktur jembatan beton bertulang Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang. *JOS-MRK*, 4(2), 91–101. ISSN 2722-9203. Politeknik Negeri Malang.
- Hariyanto, B., Alpid, Rosdiyani, T., & Abadi, M. K. (2024). Studi kasus analisis daya dukung abutment terhadap beban Jembatan Sukadana 1 Kecamatan Kasemen. *Journal of Sustainable Civil Engineering*, 6(2), September. Universitas Banten Jaya.
- Mauliana, Y., & Saputra, F. W. (2024). Studi perbandingan metode pembebahan struktur bangunan atas jembatan beton bertulang. Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 5(2), Januari. E-ISSN 2715-7296. Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai.
- Masagala, A. A., & Wicaksono, B. (2023). Perencanaan ulang struktur atas jembatan *Warren Truss* menggunakan *suspension bridge*: Studi kasus Jembatan Sebio, Sendangdawung, Kecamatan Kangkung, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. *Jurnal RENOVASI: Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil*, 8(1), April. P-ISSN 2443-3187, E-ISSN 2961-9599. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Mohammad, J. S., Zhafira, T., Hermawan, A. B., & Widorini, T. (2023). Analisis perbandingan mutu beton fc 30 & fc 40 pada struktur abutment dan pier proyek Jembatan Wonokerto Demak. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 96–103. E-ISSN 2614-4344, P-ISSN 2476-8928. Universitas Semarang.
- Pujiyanto, Muslich, Y., & As'ad, S. (2017). Kajian pergeseran (displacement) abutmen jembatan ordinari jalan raya di atas pondasi sumuran pengaruh gempa (Studi kasus runtuhnya Jembatan Boompa'i Keerom Papua pasca gempa). Prosiding SNATIF Ke-4 Tahun 2017. ISBN 978-602-1180-50-1. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Rashidi, M., Zhang, C., Ghodrat, M., Kempton, S., Samali, B., Akbarnezhad, A., & Zhu, L. (2018). *Bridge abutment movement and approach settlement — A case study and*

- scenario analysis. International Journal of Structural Stability and Dynamics, 18(8), 1840011 (20 pages). World Scientific Publishing Company.*
- Sapulete, C. A. (2020). Analisis pembebanan jembatan menggunakan standar pembebanan SNI 1725:2016 (Studi kasus jembatan di Kabupaten Pegunungan Arfak). *Volume 9(1)*. ISSN 2302-3457. Institute Sains dan Teknologi Indonesia Manokwari.
- Saputra, A. I., & Dharmawansyah, D. (2023). Analisis kestabilan abutment Jembatan Leppu II Kab. Sumbawa. *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 6(2), 136–142. ISSN 2621-0940, ISSN 2829-2758. Universitas Teknologi Sumbawa.
- Siswanto, W. F. D., Nugroho, M. W., Sundari, T., & Yulianto, T. (2025). Evaluasi kekuatan abutment terhadap daya dukung tanah pada jembatan dengan metode Terzaghi. *Jurnal Media Konstruksi*, 10(1), April 2025. Universitas Hasyim Asy'ari, Jombang.
- Suriyadi, Simbolon, R. H. T., & Hasibuan, M. H. M. (2025). Evaluasi desain struktur abutmen Jembatan Aek Simaila akibat beban gempa dengan respon spektra berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016. *Aurelia: Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 4(1), Januari. E-ISSN 2964-2493, P-ISSN 2962-0430. Universitas Islam Sumatera Utara.
- Syahira, N. A. (2023). Perbedaan peraturan pembebanan jembatan RSNI T 02 2005 dan SNI 1725 2016. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 2(3), 41–56. E-ISSN 2963-5454, P-ISSN 2963-5012. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Tri Hartanto, & Kurniawan, A. M. (2018). Perhitungan struktur dan volume bangunan abutment jembatan beton (Studi kasus Jembatan Beton Bertulang di Desa Jolosutro Blitar). *Jurnal Qua Teknika*, 8(1), 1–10. P-ISSN 2088-2424; E-ISSN 2527-3892. Universitas Islam Blitar.
- Winangun, I. K. A. C., Wiraga, I. W., & Jaya, I. M. (2023). Analisis stabilitas eksternal abutment pada Jembatan Penatih, 2. ISSN 2985-3192. Politeknik Negeri Bali.
- Yasin, M., Yanti, G., & Megasari, S. W. (2019). Analisis abutment Jembatan Sei Busuk, Kabupaten Siak Sri Indrapura, Provinsi Riau. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 52–62. Universitas Lancang Kuning.
- Yunus, M., & Syahdinar, Z. F. (2019). *Stability analysis of Aifa Bridge abutment in Fafurwar District, Bintuni Bay Regency, West Papua Province. EPI International Journal of Engineering*, 2(2), 162–171. P-ISSN 2615-5109, E-ISSN 2621-0541. *Polytechnic State of Fakfak*.
- Zahera, N., Mochtar, I. B., & Satrya, T. R. (2021). Pemecahan masalah stabilitas abutment dan oprit jembatan di atas tanah lunak menggunakan relieving platform. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(3), 311–322. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zhafira, T., Alaika, R., Sutarno, & Agus, M. (2025). Analisis perencanaan jembatan beton prategang di kawasan Rumah Menteri IKN Penajam Kalimantan Timur. *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*, 9(1), Maret. P-ISSN 2549-6379, E-ISSN 2549-6387. Universitas Semarang.