

Analisis Konstruksi Substruktur Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri di Kota Tengah Kabupaten Kampar

Ahmad Kurnain¹, Muhammad Yazid², Rahmat Tisnawan³, Doni Rinaldi Basri⁴, Puspa Ningrum⁵

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Abdurrah Pekanbaru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10 Oktober 2025

Revised: 5 November 2025

Accepted: 30 November 2025

Keywords:

Abutment
Bangunan bawah jembatan
Stabilitas
Faktor Keamanan
Sungai Rokan Kiri

Published by

Impressio : Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Penelitian ini membahas perencanaan teknis bangunan bawah jembatan, khususnya abutment pada Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri di Kota Tengah, Kabupaten Kampar. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur dan studi desain, dengan pengumpulan data primer berupa hasil sondir, data tanah, topografi, serta hidrografi aliran sungai. Analisis dilakukan terhadap beban yang bekerja pada abutment, meliputi beban vertikal, beban horizontal, serta tekanan tanah lateral. Faktor keamanan terhadap geser (SF_{geser}) dan guling (SF_{guling}) dihitung untuk memastikan stabilitas konstruksi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa abutment yang direncanakan memenuhi kriteria keamanan yang dipersyaratkan, baik terhadap gaya geser maupun gaya guling, sesuai dengan standar peraturan Departemen Pekerjaan Umum. Dengan demikian, rancangan bangunan bawah jembatan ini dapat dinyatakan layak secara teknis dan aman digunakan dalam mendukung beban lalu lintas di atasnya.

This study discusses the technical planning of bridge substructures, particularly the abutment of the Steel Truss Bridge over the Rokan Kiri River in Kota Tengah, Kampar Regency. The research methods employed include a literature review and design study, with primary data collection consisting of cone penetration test (CPT) results, soil data, topographic data, and river flow hydrology data. The analysis focuses on the loads acting on the abutment, including vertical loads, horizontal loads, and lateral earth pressure. Safety factors against sliding (SF_{sliding}) and overturning ($SF_{\text{overturning}}$) are calculated to ensure the structural stability of the abutment. The calculation results indicate that the planned abutment meets the required safety criteria against both sliding and overturning forces in accordance with the standards set by the Ministry of Public Works. Therefore, the design of the bridge substructure can be considered technically feasible and safe to support traffic loads above it.

Corresponding Author:

Ahmad Kurnain

Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Abdurrah Pekanbaru

Email: ahmad.kurnain@univrab.ac.id

PENDAHULUAN

Dalam menunjang program pembangunan yang berlangsung secara berkelanjutan, sektor perhubungan memegang peranan yang sangat penting dalam memperlancar mobilitas orang dan distribusi barang. Jaringan komunikasi dan transportasi yang semakin baik memungkinkan arus informasi dan distribusi menyebar lebih cepat dari satu wilayah ke wilayah lainnya, sehingga mendorong keterpaduan pembangunan antar daerah (Rosik & Wojcik, 2022; Tomasz & Goliszek, 2023). Optimalisasi fungsi sektor perhubungan hanya dapat dicapai apabila prasarana dan sarana pendukung berada dalam kondisi yang baik dan andal. Pada sektor perhubungan darat, jalan merupakan infrastruktur utama yang menghubungkan antarwilayah, baik yang melintasi lereng, kawasan pegunungan, lembah, maupun sungai (PUPR, 2022; Zhang et al., 2021). Keberadaan jaringan jalan yang memadai tidak hanya

meningkatkan mobilitas masyarakat, tetapi juga berperan strategis dalam mendorong pertumbuhan ekonomi regional serta memperkuat konektivitas nasional (Asian Development Bank, 2021; Chen et al., 2020).

Dalam konteks tersebut, pembangunan jembatan menjadi elemen yang sangat penting untuk menjamin kesinambungan fungsi jalan. Proses pembangunan jembatan memerlukan tahapan yang komprehensif, mulai dari studi kelayakan hingga perencanaan teknis, dengan tujuan menghasilkan konstruksi yang kuat, aman, nyaman, dan ekonomis (AASHTO, 2020; Gimsing & Georgakis, 2012). Salah satu aspek krusial dalam perencanaan jembatan adalah bangunan bawah atau substruktur, karena bagian ini berfungsi menyalurkan beban dari bangunan atas (superstruktur) ke tanah dasar melalui sistem pondasi (Das & Sobhan, 2021; Kim et al., 2021). Kualitas perencanaan substruktur sangat menentukan umur layan jembatan, kestabilan terhadap beban lalu lintas, serta ketahanan struktur terhadap pengaruh lingkungan seperti erosi, banjir, dan gempa bumi (AASHTO, 2020; Kim et al., 2021). Oleh karena itu, pemilihan tipe pondasi, baik pondasi dangkal maupun dalam, penggunaan material konstruksi, serta metode pelaksanaan harus disesuaikan dengan kondisi geoteknik setempat, kapasitas daya dukung tanah, dan faktor keamanan sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku (Badan Standarisasi Nasional, 2019; Das & Sobhan, 2021).

Salah satu infrastruktur penting di Provinsi Riau adalah Jembatan Sungai Rokan Kiri yang terletak di Kota Tengah, Kabupaten Kampar. Jembatan ini berfungsi sebagai penghubung vital antarwilayah dan memiliki bangunan atas berupa rangka baja yang dirancang oleh Trasfiyeld PTY. LTD Australia dengan total panjang bentang 85 meter yang terbagi menjadi dua segmen, yaitu 40 meter dan 45 meter. Pemilihan struktur rangka baja didasarkan pada pertimbangan kekuatan, efisiensi konstruksi, serta kemampuannya dalam menahan beban lalu lintas yang relatif tinggi (AISC, 2022; Saghafi et al., 2021). Namun demikian, keandalan bangunan atas tersebut sangat bergantung pada kemampuan bangunan bawah, khususnya abutment, dalam memikul dan menyalurkan beban secara aman ke tanah dasar.

Permasalahan utama yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini adalah sejauh mana bangunan bawah atau abutment yang direncanakan oleh konsultan perencana mampu memikul beban bangunan atas berupa rangka baja yang dirancang oleh Trasfiyeld PTY. LTD Australia, serta apakah desain substruktur tersebut telah sesuai dan dapat diterapkan berdasarkan ketentuan perencanaan teknis dan standar yang berlaku. Sejalan dengan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode perencanaan bangunan bawah jembatan yang mendukung bangunan atas rangka baja dengan memperhatikan aspek kekuatan, kestabilan, dan keamanan sesuai standar perencanaan jembatan modern (Barker & Puckett, 2013; AASHTO, 2020). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menyusun tahapan perencanaan bangunan bawah jembatan secara sistematis agar proses perencanaan menjadi lebih efisien, terstruktur, dan mudah dipahami, serta dapat dijadikan acuan dalam perencanaan proyek sejenis (Ryall et al., 2010; Kumar & Solanki, 2019). Evaluasi kesesuaian desain bangunan bawah terhadap bangunan atas, baik dari sisi teknis maupun umur rencana, juga dilakukan untuk memastikan jembatan dapat berfungsi secara optimal selama masa pelayanan yang telah ditetapkan (Poulos & Davis, 1980; Badan Standarisasi Nasional, 2016).

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dari sisi ilmiah dengan menambah wawasan dan memperkaya literatur terkait perencanaan bangunan bawah jembatan rangka baja. Dari sisi praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi teknis bagi perencana, pelaksana, maupun pengelola jembatan dalam merancang dan mengevaluasi substruktur jembatan. Selain itu, secara sosial, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata bagi masyarakat pengguna jalan dan jembatan di Kota Tengah, Kabupaten Kampar, khususnya dalam meningkatkan aspek keamanan dan kenyamanan berlalu lintas.

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada analisis konstruksi bangunan bawah Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri di Kota Tengah, Kabupaten Kampar, dengan fokus utama pada perencanaan abutment atau kepala jembatan. Kajian difokuskan untuk memastikan bahwa abutment yang direncanakan mampu berfungsi secara optimal dalam menopang bangunan atas jembatan. Analisis meliputi perhitungan kapasitas daya dukung, evaluasi kestabilan terhadap beban lalu lintas, serta pengaruh kondisi geoteknik setempat, sehingga keamanan, kenyamanan, dan umur rencana jembatan

dapat terjamin sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku (AASHTO, 2020; Badan Standarisasi Nasional, 2019; Das & Sobhan, 2021; Kim et al., 2021).

KAJIAN TEORI

Bangunan Atas Jembatan

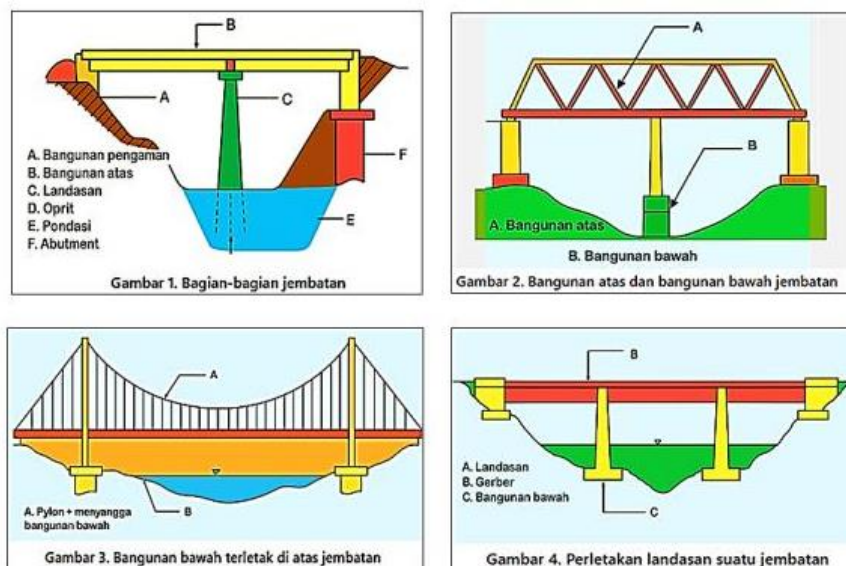
Jembatan merupakan salah satu bangunan pelengkap jalan yang berfungsi menghubungkan ruas jalan yang terpisah oleh rintangan, seperti sungai, lembah, maupun badan jalan lainnya (Gimsing & Georgakis, 2012). Secara umum, jembatan terdiri dari enam bagian pokok, yaitu: bangunan atas, bangunan bawah, landasan, pondasi, oprit, dan bangunan pengaman jembatan. Dari keenam bagian tersebut, terdapat empat komponen yang selalu ada dalam setiap jembatan, yaitu bangunan atas, bangunan bawah, pondasi, dan oprit (lihat Gambar 1) (AASHTO, 2020).

Bangunan atas (superstructure) sesuai dengan namanya terletak di bagian atas sebagai kelanjutan dari badan jalan (lihat Gambar 2). Struktur bangunan atas dapat berupa beton bertulang, kayu, rangka baja, kabel, atau material lain yang disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas serta kondisi geografis setempat (AASHTO, 2020; Saghafi et al., 2021).

Bangunan Bawah Jembatan

Bangunan bawah (substructure) merupakan bagian yang terletak di bawah konstruksi jembatan. Fungsinya adalah meneruskan beban dari bangunan atas akibat lalu lintas, angin, maupun beban gempa menuju pondasi, kemudian disalurkan ke tanah dasar (lihat Gambar 3) (Das & Sobhan, 2021; Kim et al., 2021).

Secara umum, antara bangunan atas dan bangunan bawah dipisahkan oleh plat landas (bearing plate) yang berfungsi sebagai perantara distribusi beban. Namun, pada kasus khusus seperti jembatan dengan sistem Gerber, plat landas dapat terletak pada bangunan atas (lihat Gambar 4) (AASHTO, 2020).



Gambar (1), (2), (3), (4)

Oprit Jembatan

Oprit merupakan timbunan yang terletak di belakang abutment dan berfungsi sebagai penghubung antara badan jalan dengan lantai jembatan (Das & Sobhan, 2021). Oprit harus memenuhi kriteria teknis sebagai badan jalan, baik dari segi kepadatan, kemiringan, maupun kestabilan tanah timbunan. Apabila proses penimbunan tidak dilakukan secara sempurna, dapat terjadi penurunan tanah (*settlement*) yang mengakibatkan perbedaan elevasi antara lantai jembatan dan timbunan oprit. Kondisi tersebut berpotensi merusak *expansion joint* akibat benturan roda kendaraan (AASHTO, 2020; Kim et al., 2021). Oleh karena

itu, dalam kondisi tertentu diperlukan bangunan pengaman tambahan, seperti dinding penahan atau perkuatan geotekstil, untuk menjaga kestabilan oprit (Koerner, 2021).

Bangunan Pengaman

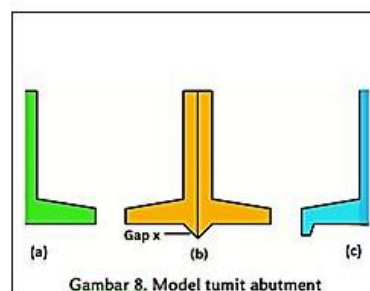
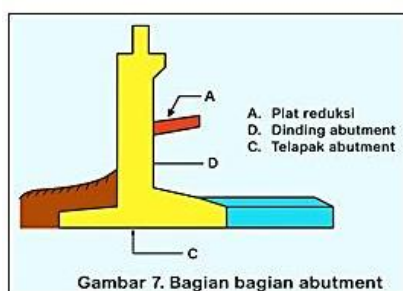
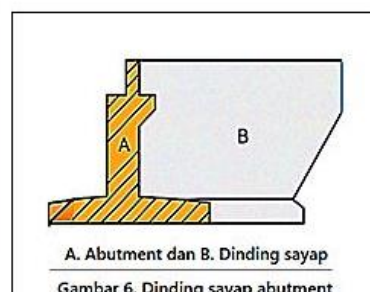
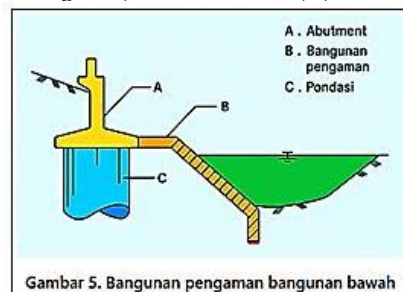
Bangunan pengaman berfungsi melindungi jembatan dari pengaruh eksternal, terutama akibat perubahan aliran sungai. Faktor dominan yang sering terjadi adalah *scouring* (penggerusan tanah dasar dan tebing sungai) akibat terjangkan arus secara terus-menerus (Melville & Coleman, 2000). Apabila *scouring* tidak signifikan, bangunan pengaman tidak selalu diperlukan. Namun, pada kondisi sungai dengan arus deras, keberadaan bangunan pengaman seperti bronjong, krib, atau *revetment* sangat penting untuk menjaga stabilitas jembatan (lihat Gambar 6) (AASHTO, 2020; PUPR, 2022).

Abutment

Abutment terletak di ujung jembatan dan berfungsi sebagai penahan tanah timbunan oprit sekaligus menopang beban bangunan atas (superstructure) (AASHTO, 2020). Umumnya abutment dilengkapi dengan dinding sayap (*wing wall*) dan talud penahan, yang berfungsi menahan tekanan tanah lateral secara tegak lurus terhadap sumbu jembatan (lihat Gambar 7) (Das & Sobhan, 2021).

Dalam perencanaan abutment, faktor utama yang harus diperhatikan adalah **tekanan tanah lateral**. Semakin tinggi abutment, semakin besar tekanan tanah yang bekerja. Untuk mengurangi gaya tersebut, dapat digunakan **plat tambahan (counterfort)** pada dinding abutment sehingga distribusi beban tanah lebih merata (AASHTO, 2020). Selain itu, abutment juga menerima **beban vertikal akibat lalu lintas** serta **beban horizontal akibat rem kendaraan, gempa, maupun tekanan air**.

Jika digunakan pondasi langsung, sering kali koefisien keamanan terhadap gaya geser tidak mencukupi. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan desain pondasi dengan tumit (*heel footing*) atau pondasi tiang pancang yang ditanam sebagian pada telapak abutment, sehingga kapasitas geser dan momen tahanan meningkat (lihat Gambar 8) (Badan Standarisasi Nasional, 2019; Das & Sobhan, 2021).



Gambar (5), (6), (7), (8)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan pada tinjauan perencanaan bangunan bawah (substructure) Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri yang terletak di Kota Tengah, Kabupaten Kampar. Metode penelitian yang digunakan disusun secara sistematis melalui pendekatan studi literatur dan studi desain yang saling melengkapi. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai referensi ilmiah, buku teks, serta standar teknis yang relevan sebagai dasar konseptual dan metodologis dalam perencanaan. Kajian ini

mencakup prinsip-prinsip mekanika dan mekanika teknik yang digunakan untuk menghitung gaya, momen, serta distribusi beban pada struktur jembatan (Goodno & Gere, 2021; Hibbeler, 2020), serta teori dan aplikasi teknik pondasi yang berkaitan dengan perencanaan pondasi dangkal maupun pondasi tiang pada bangunan jembatan (Das & Sobhan, 2021). Selain itu, penelitian ini juga mengacu pada peraturan dan standar perencanaan yang berlaku, khususnya SNI 1725:2016 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Jembatan dan pedoman Bridge Management System (BMS) yang digunakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, guna memastikan kesesuaian desain dengan ketentuan nasional yang berlaku (Badan Standardisasi Nasional, 2016; Kementerian PUPR, 2021).

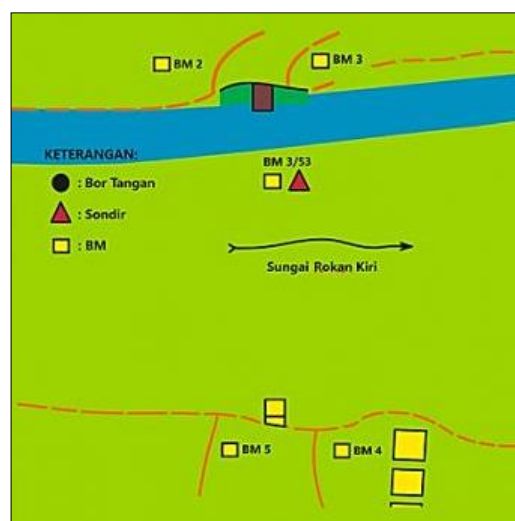
Studi desain dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis data lapangan serta dokumen teknis yang mendukung proses perencanaan. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lokasi penelitian, yang meliputi data kondisi tanah, hasil uji sondir, data topografi, serta informasi hidrografi seperti arah dan karakteristik aliran Sungai Rokan Kiri. Data sekunder dikumpulkan dari gambar rencana jembatan, dokumen perencanaan terdahulu, serta laporan teknis terkait yang digunakan sebagai acuan dalam analisis dan perhitungan. Seluruh data tersebut kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kemampuan abutment dalam memikul dan menyalurkan beban bangunan atas ke tanah dasar secara aman. Melalui pendekatan metodologis ini, penelitian diharapkan mampu menghasilkan rancangan abutment yang memenuhi kriteria kekuatan, keamanan, dan kelayakan teknis sesuai dengan standar nasional maupun internasional.

HASIL PENELITIAN

Survei Topografi

Survei topografi dilakukan untuk mengetahui kondisi situasi daerah, meliputi profil sungai, lokasi jembatan, elevasi bangunan bawah (substructure), serta ketinggian oprit. Data topografi diperlukan untuk menentukan titik lokasi yang tepat bagi perletakan bangunan bawah jembatan serta sebagai dasar dalam perencanaan geometrik konstruksi (Ghilani & Wolf, 2012; Kavanagh & Mastin, 2020).

Pengukuran topografi difokuskan pada lokasi As jembatan, dengan titik-titik pengukuran ditempatkan pada posisi strategis sesuai kebutuhan analisis teknis. Data yang diperoleh berupa kontur lahan, elevasi muka air, lebar sungai, dan kemiringan lereng. Informasi ini digunakan untuk mendukung perencanaan abutment, pondasi, serta struktur penghubung antara jalan dan jembatan (AASHTO, 2020; PUPR, 2022).



Gambar 9. Titik pengukuran dan penyelidikan tanah

Pengukuran Khusus Jembatan

Ruang lingkup pengukuran mencakup:

- Sepanjang 100 meter ke arah kiri dan kanan dari badan sungai.
- Sepanjang 50 meter ke arah kiri dan kanan dari jalur jalan yang menuju jembatan.

Pengukuran Titik Kontrol Horizontal

Pengukuran titik kontrol horizontal pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode poligon dan rangkaian segitiga. Pemilihan metode ini disesuaikan dengan kondisi lapangan, khususnya lebar Sungai Rokan Kiri yang mencapai lebih dari 100 meter, sehingga diperlukan teknik pengukuran yang mampu menjaga ketelitian dalam penentuan koordinat titik (Ghilani & Wolf, 2012; Kavanagh & Mastin, 2020).

Titik kontrol ditetapkan pada jarak antar titik antara 50–100 meter, dengan memanfaatkan patok Kilometer (KM) dan *Bench Mark* (BM) yang terdapat di sisi jalan sebagai titik acuan. Koordinat dari patok-patok tersebut digunakan sebagai referensi dasar untuk keperluan pengukuran berikutnya. Tujuan utama dari penetapan titik kontrol adalah untuk menambah jumlah titik referensi dalam proses penentuan kembali sumbu jalan yang telah direncanakan sebelumnya. Dengan demikian, akurasi geometrik dapat terjaga dan hasil perencanaan konstruksi jembatan dapat sesuai dengan kondisi lapangan.

Selain itu, dilakukan juga pengukuran profil melintang jalan hingga jarak 50 meter ke kiri dan kanan jalan dari sumbu. Pada ruas jalan yang berbentuk tikungan, pengukuran dilakukan sejauh 50 meter dari sisi dalam tikungan, dengan tetap menggunakan sumbu jalan sebagai garis acuan utama (AASHTO, 2020; PUPR, 2022).

Titik-titik yang diukur meliputi:

- As jalan
- Tepi jalan
- Tepi saluran
- Pagar jalan

Sedangkan untuk profil melintang sungai, pengukuran dilakukan pada setiap titik poligon dan patok BM (Benchmark) yang dipasang di sepanjang alur Sungai Rokan Kiri.

Data Struktur Pembebanan

Pekerjaan teknis pembangunan jembatan diawali dengan penyelidikan lapangan dan pengumpulan data sekunder dari instansi terkait, yang mencakup:

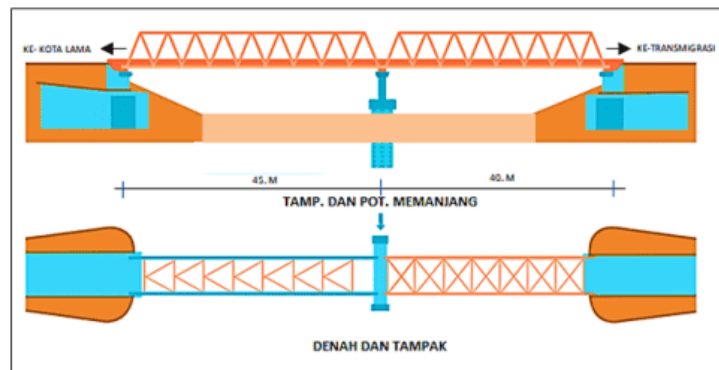
- Penyelidikan pendahuluan
- Pengukuran topografi
- Penyelidikan hidrologi dan lingkungan
- Penyelidikan tanah dan sumber material

Seluruh data tersebut dimaksudkan untuk menunjang pekerjaan tahap berikutnya sehingga diperoleh hasil yang optimal pada pelaksanaan konstruksi bangunan bawah.

Dalam penelitian ini, lokasi penyelidikan dilaksanakan di kawasan pemukiman transmigrasi Kota Tengah dengan rincian sebagai berikut:

- **W.P.P** : XIIIb Kota Tengah
- **Desa** : Kota Lama
- **Kecamatan** : Kunto Darusalam
- **Kabupaten** : Kampar
- **Provinsi** : Riau

Jembatan yang direncanakan terletak di atas **Sungai Rokan Kiri, Kecamatan Kota Tengah, Kabupaten Kampar**. Perhitungan beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan mengacu pada **ketentuan pembebanan jembatan** yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya.



Gambar 10. Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri



Gambar 11. Jembatan Rangka Baja

Beban-beban tersebut meliputi beban mati, beban hidup, serta beban tambahan lain yang relevan sesuai dengan **Standar Perencanaan Jembatan Jalan Raya**. Seluruh gaya yang bekerja kemudian **dikonversikan ke dalam bentuk numerik** untuk memudahkan proses analisis struktur. Hasil konversi ditampilkan dalam **Tabel 3** berikut:

Tabel 3 Muatan Akibat Konstruksi
Bangunan Atas Jembatan

Truss Type	DL	LL	MT	WL TL	EQ (L) WD	EQ (H)
C 40	485	350	835	36 28	680 95	275
C 45	550	370	920	42 30	720 110	315

Besarnya gaya-gaya yang bekerja pada struktur jembatan dinyatakan dalam satuan **Kilonewton (kN)**, dengan konversi **1 kN = 102 kg**. Lokasi pembangunan jembatan berada pada wilayah dengan klasifikasi **gempa zona III**. Adapun jenis-jenis beban yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

- **DL (Dead Load)** : Beban mati
- **MT (Maximum Total)** : Beban total maksimum
- **TR (Traffic)** : Beban lalu lintas kendaraan
- **LL (Live Load)** : Beban hidup
- **WL (Wind Load)** : Beban angin
- **EQ (Earthquake Load)** : Beban gempa

Perhitungan

Analisis struktur abutment Jembatan Sungai Rokan Kiri terdiri atas **dua buah abutment** dan **satu buah pilar**. Namun, dalam perhitungan ini hanya dianalisis **satu abutment**, sedangkan abutment lainnya dianggap memiliki kondisi yang sama, dan pilar tidak dihitung.

Fokus analisis perhitungan abutment adalah pada **kekuatan dan kestabilan terhadap guling dan geser**, sehingga abutment mampu menahan seluruh gaya yang bekerja, baik secara total maupun per bagian.

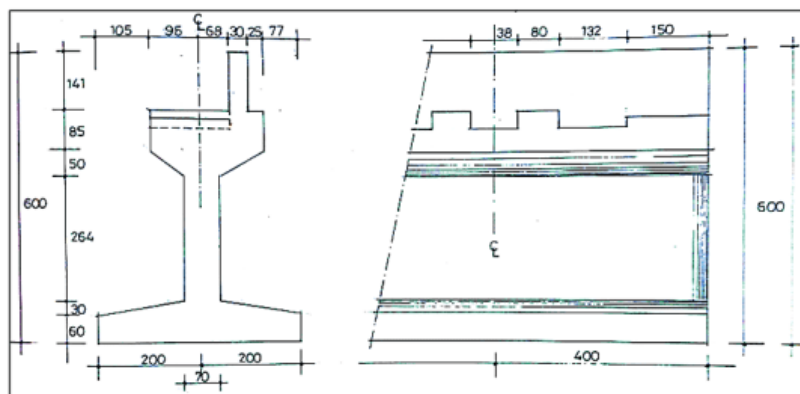
Dalam pelaksanaan pekerjaan, abutment yang digunakan adalah **tipe gravitasi, solid/masif**, dengan bentuk menyerupai huruf “T” terbalik. Abutment ini selain berfungsi sebagai penahan tanah dan beban mati, juga berfungsi sebagai penopang kestabilan struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan dimensi dan berat sendiri yang cukup besar untuk menjamin kestabilannya.

- Dimensi Abutment

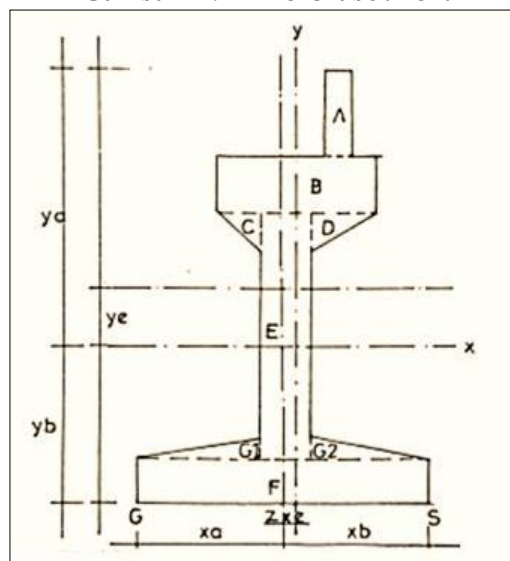
Perencanaan dimensi abutment disusun secara khusus agar mampu menahan beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal maupun lateral. Dimensi abutment mencakup:

- Lebar dasar (*base width*)
- Tinggi total abutment
- Tebal dinding (*stem thickness*)
- Panjang sayap (*wing wall length*)
- Kedalaman pondasi

Perincian detail dimensi disajikan pada gambar rencana dan tabel perhitungan (lihat Tabel 4 dan Gambar 5).



Gambar 12. Dimensi abutment



Gambar 13. Titik berat abutment

Tabel 4. Tiik berat abutment terhadap titik (S)

BAGIAN	UKURAN		LUAS (A)M ²	LUAS THD. TITIK . S. (d)	A . d
	TINGGI	LEBAR			
A	1,410	0,300	0,423	1,170	0,495
B	0,850	2,100	1,785	1,860	3,320
C	0,500	0,600	0,150	2,650	0,397
D	0,500	0,600	0,150	1,045	0,156
E	3,440	0,700	2,408	1,670	4,021
F	0,300	4,000	2,400	2,000	4,800
G1	0,300	1,650	0,247	0,825	0,203
G2	0,300	1,650	0,247	3,175	0,784
JUMLAH			7,810		14,178

$$x_b = \frac{14,178}{7,810} = 1,815 \text{ meter}$$

$$x_a = 4,000 - 1,815 = 2,184 \text{ meter}$$

$$x_e = 0,184 \text{ meter}$$

Tabel 5. Statis moment terhadap sisi bawah

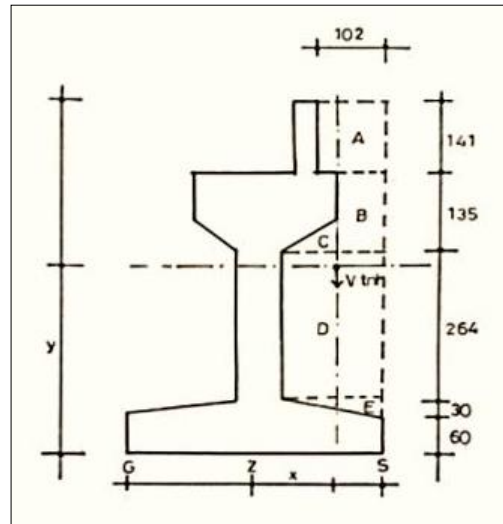
BAGIAN	UKURAN		LUAS (A)M ²	LENGAN THD. SISI BAWAH (d)	A . d
	TINGGI	LEBAR			
A	1,410	4,300	0,423	5,045	2,134
B	0,850	2,100	1,785	3,665	6,542
C	0,500	0,600	0,150	2,990	0,448
D	0,500	0,600	2,408	2,220	5,345
E	3,440	0,700	2,400	0,300	0,722
F	0,600	4,000	2,400	0,300	0,722
G1	0,300	1,650	0,247	0,600	0,148
G2	0,300	1,650	0,247	0,600	0,148
JUMLAH			7,810		15,937

$$y_b = \frac{15,937}{7,810} = 2,040 \text{ meter}$$

$$y_a = 6,000 - 2,040 = 3,959 \text{ meter}$$

$$y_e = 0,959 \text{ meter}$$

Titik berat dibelakang abutment



Gambar 13. Titik berat tanah dibelakang abutment

Tabel 6. Berat tanah dibelakang abutment

BAGIAN	LUAS (M) ²	JARAK GAYA TERHADAP TITIK . Z	Mx	JARAK THD DASAR ABT.	My
A	1,438	1,490	2,142	5,854	8,418
B	1,039	1,615	1,678	4,465	8,641
C	0,137	0,790	0,108	3,790	0,521
D	5,280	1,175	6,204	2,220	11,721
E	0,300	1,175	6,552	0,750	0,225
	8,705		11,246		28,512

$$x = \frac{11,246}{8,705} = 1,291 \text{ meter dari titik Z}$$

$$y = \frac{28,512}{8,705} = 3,275 \text{ meter dari titik abutment}$$

$$y = 3,275 \text{ meter}$$

- Pembebanan

Dalam perencanaan Abutment Jembatan Sungai Rokan Kiri, beban-beban yang diperhitungkan mengacu pada:

1. Peraturan Jembatan Jalan Raya No. 12/1970,
2. Peraturan Berat Bahan Bangunan dan Konstruksi, serta
3. Standar *Steel Bridging for Indonesia*.

Adapun data pembebanan yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah sebagai berikut:

Data Umum:

- Berat jenis tanah timbun = 1,80 ton/m³
- Berat jenis beton = 2,50 ton/m³
- Sudut geser tanah timbun (ϕ) = 30°

Jenis Beban yang Diperhitungkan:

- **Beban vertikal**

- **Beban horizontal arah y** (sejajar sumbu jembatan)
- **Beban horizontal arah x** (tegak lurus sumbu jembatan)
- **Momen arah y**
- **Momen arah x**

A. Beban Vertikal

1. **Berat sendiri abutment**
 $V.Abt = 7,810 \times 8,000 = 156,200 \text{ ton}$
2. **Berat tanah di belakang abutment**
 $V.Tanah = 8,705 \times 8,000 \times 1,800 = 125,354 \text{ ton}$
3. **Beban mati rangka atas**
 - VDL C45 (1 tumpuan) = $550 \times 0,102 = 56,100 \text{ ton}$
 - VDL C45 (2 tumpuan) = $550 \times 0,102 \times 2 = 112,200 \text{ ton}$
4. **Beban hidup rangka atas**
 - VLL C45 (1 tumpuan) = $370 \times 0,102 = 37,740 \text{ ton}$
 - VLL C45 (2 tumpuan) = $370 \times 0,102 \times 2 = 75,480 \text{ ton}$

B. Beban Horizontal Arah y

(Sejajar sumbu jembatan – akibat tekanan tanah aktif)

- Berat jenis tanah (γ) = $1,800 \text{ ton/m}^3$
- q = beban merata 60 cm di atas lantai: $q = 0,6 \times 1,800 = 1,080 \text{ ton/m}$
- Sudut geser tanah (ϕ) = 30°
- Kohesi (C) = 0
- Tinggi total tanah (H) = $6,000 \text{ m}$
- Tinggi perletakan = $4,090 \text{ m}$
- Koefisien tekanan tanah aktif (K_a):

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

$$= \tan^2 (45 - 30/2)$$

$$= \tan^2 (45 - 15)$$

$$= \tan^2 30^\circ$$

$$= 0,333$$
- Tekanan tanah aktif (P_a): $P_a = 0,5 \times K_a \times \gamma \times H^2$

$$= 0,5 \times 0,333 \times 1,080 \times 6,000^2$$

$$= 0,5 \times 0,333 \times 1,080 \times 36,000$$

$$= 69,672 \text{ ton}$$

Rumus gaya akibat beban merata (q)

- **Gaya per satuan panjang dinding** (mis. per meter memanjang dinding):

$$P'_{qa} = q \cdot K_a \cdot H$$

- **Gaya total untuk panjang dinding L :**

$$P_{qa} = q \cdot K_a \cdot H \cdot L$$

Keterangan:

- q = beban merata di permukaan (mis. ton/m^2 atau kN/m^2)
- K_a = koefisien tekanan tanah aktif
- H = tinggi dinding/tinggi tanah yang ditahan (m)
- L = panjang segmen dinding yang dihitung (m)

Beban Lalu Lintas dari Rangka Atas (T)

- $TLY = 50 \times 0,102 \times 2$

$$= 10,200 \text{ ton}$$

Beban Horizontal Arah X (Tegak Lurus Sumbu Jembatan)

- Beban Angin dari Rangka Atas (W)

$$WLH = 110 \times 0,102 \times 1$$

$$= 11,200 \text{ ton}$$

- Beban Gempa dari Rangka Atas (E)

$$ELx = 315 \times 0,102 \times 1$$

$$= 32,130 \text{ ton}$$

Beban Gempa pada Abutment (E)

Hgx = $156,200 \times 0,14$ **Titik kerja gaya** $P'qa$ pada dinding berada di ketinggian $H/2$ dari dasar (karena distribusi tekanannya seragam: $\sigma_h = qKa$)

Akibat Beban Merata (q)

- $Pqa = q \times Ka \times H \times L$
 $= 1.080 \times 0,448 \times 6,00 \times 8$
 $= 23,224 \text{ ton}$

Beban Gempa pada Abutment (E) - 0,14 (Region III)

- $Hgy = G \times E$
 $= 156,200 \times 0,14$
 $= 21,868 \text{ ton}$

Beban Angin dari Rangka Atas (W)

- $WLY = 42 \times 0,102 \times 2$
 $= 8,568 \text{ ton}$

Beban Gempa dari Rangka Atas (E)

- $ELY = 720 \times 0,102 \times 2$
 $= 146,880 \text{ ton}$
- **Beban Lalu Lintas dari Rangka Atas**
 $= 21,868 \text{ ton}$

Koefisien kejut (K)

Secara umum, koefisien kejut ditulis:

$$K = 1 + \frac{20}{40 + L}$$

dimana:

K = koefisien kejut

L = panjang bentang jembatan (m)

$$K = 1 + \frac{20}{40 + L}$$

$$= 1 + \frac{20}{40 + L} = 1 + \frac{20}{40 + 45} = 1 + \frac{20}{85} = 1 + 0,235294... = 1,235294 \text{ ton}$$

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis perencanaan bangunan bawah Jembatan Rangka Baja Sungai Rokan Kiri di Kota Tengah, Kabupaten Kampar, dapat disimpulkan bahwa substruktur berupa abutment tipe T terbalik masif telah direncanakan dengan mempertimbangkan berbagai beban yang bekerja, meliputi beban mati, beban hidup, tekanan tanah lateral, gaya rem, serta pengaruh aliran sungai. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,91 telah memenuhi dan melampaui nilai minimum yang dipersyaratkan, yaitu 2,0, sehingga struktur dinyatakan aman terhadap potensi guling. Faktor keamanan terhadap geser sebesar 1,56 juga lebih besar dari batas minimum 1,5, yang menandakan bahwa abutment memiliki kestabilan yang memadai terhadap gaya geser. Selain itu, tekanan tanah yang terjadi pada pondasi sebesar 9,31 ton/m² masih berada di bawah daya dukung izin tanah sebesar 15 ton/m², sehingga pondasi dinyatakan aman dalam menyalurkan beban ke tanah dasar.

Secara keseluruhan, hasil analisis ini menunjukkan bahwa abutment yang direncanakan telah memenuhi persyaratan stabilitas dan keamanan konstruksi sesuai dengan standar perencanaan jembatan yang berlaku di Indonesia, khususnya pedoman Bridge Management System (BMS) 1992 dan standar Departemen Pekerjaan Umum.

Meskipun hasil perencanaan menunjukkan tingkat keamanan yang memadai, beberapa hal masih perlu diperhatikan untuk meningkatkan keandalan struktur dalam jangka panjang. Pemeriksaan lapangan atau investigasi tanah disarankan untuk dilakukan secara lebih luas dan mendalam guna memastikan kesesuaian antara daya dukung tanah aktual dengan hasil analisis teoritis yang digunakan dalam perencanaan. Selain itu, monitoring deformasi abutment secara berkala setelah konstruksi perlu dilakukan untuk mengantisipasi potensi penurunan diferensial, mengingat kondisi tanah aluvial di sekitar Sungai Rokan Kiri yang berpotensi mengalami perubahan sifat mekanis. Pada penelitian selanjutnya, analisis dapat dikembangkan dengan menggunakan metode elemen hingga atau finite element method (FEM) agar interaksi tanah dan struktur dapat dimodelkan secara lebih rinci dan realistis. Di samping itu, aspek hidrologi dan potensi gerusan sungai (scour) juga perlu ditinjau secara lebih komprehensif untuk memastikan umur layanan jembatan yang lebih panjang serta efisiensi biaya pemeliharaan di masa mendatang.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus ditujukan kepada **PT. Yodya Karya, Jakarta**, selaku pelaksana, serta **PT. Jack & Brothers Corp.** sebagai Consulting Services atas bantuan, bimbingan, dan kerja sama yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada **Muhammad Yazid, Rahmat Tisnawan, Doni Rinaldi Basri** dan **Puspa Ningrum** atas kontribusi dan partisipasi yang sangat berarti dalam penyusunan penelitian ini.

REFERENSI

- AASHTO. (2020). *LRFD Bridge Design Specifications* (9 ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AISC. (2022). *Specification for Structural Steel Buildings*. <https://www.aisc.org/globalassets/product-files-not-searched/publications/standards/a360-22w.pdf>
- Asian Development Bank. (2021). *ANNUAL REPORT 2021: TOWARD S GREEN AND INCLUSIVE RECOVERY*. <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/788046/adb-annual-report-2021.pdf>
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Beban Minimum untuk Perancangan Jembatan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan dan Non-Bangunan*. BSN.
- Barker, R. S., & Puckett, J. A. (2013). *Design of Highway Bridges: An LRFD Approach* (3 ed.). Wiley.
- Chen, H., Haynes, K. E., Zhou, Y., & Dai, Z. (2020). High speed Rail and China's New Economic Geography: impact assessment from the regional science perspective. *Eurasian Geography and Economics*, 62(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15387216.2020.1742181>
- Das, B., & Sobhan, K. (2021). Prediction of ultimate bearing capacity of circular foundation on sand layer of limited thickness using artificial neural network. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 15(10). <https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1645437>
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2012). *ELEMENTARY SURVEYING AN INTRODUCTION TO GEOMATICS* (13 ed.). Pearson.
- Gimsing, N. J., & Georgakis, C. T. (2012). *Cable Supported Bridges: Concept and Design*. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119978237>
- Goodno, B. J., & Gere, J. M. (2021). *Mechanics of Materials, Enhanced Edition*. Cengage.
- Hibbeler, R. C. (2020). *STRUCTURAL ANALYSIS* (10 ed.). Pearson.
- Kavanagh, B. F., & Mastin, T. B. (2020). *Surveying Principles and Applications* (9 ed.).

- Kim, C.-W., Feng-Liang, Z., Chang, K.-C., McGetrick, P. J., & Goi, Y. (2021). Ambient and Vehicle-Induced Vibration Data of a Steel Truss Bridge Subject to Artificial Damage. *Journal of Bridge Engineering*, 26(7). [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001730](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001730)
- Kumar, B. S. P., & Solanki, P. M. (2019). Role of Bridge Substructure in Load Transfer Mechanism. *International Journal of Structural Engineering*, 6(3).
- Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publications. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:9\(875](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:9(875)
- Poulos, H. G., & Davis, E. H. (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley.
- PUPR, K. (2022). *Statistik Sektor Konstruksi Indonesia 2022*. KEMENTRIAN PUPR.
- Rosik, P., & Wojcik, J. (2022). Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. *Sustainability*, 15(548). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15010548>
- Ryall, M. J., Parke, G. A., & Harding, J. E. (2010). *The Manual of Bridge Engineering*. ICE Publishing.
- Saghafi, H., Nikbakht, A., Mohammadi, R., & Zarouchas, A. (2021). The Thickness Effect of PSF. *Materials*, 14(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14133469>
- Tomasz, K., & Goliszek, S. (2023). New Transport Infrastructure and Regional Development of Central and Eastern Europe. *Sustainability*, 15(6). <https://doi.org/DOI:10.3390/su15065263>
- Zhang, J., Zhang, R., Xu, J., & Wang, J. (2021). Infrastructure Investment and Regional Economic Growth: Evidence from Yangtze River Economic Zone. *Land*, 10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land10030320>