Kholilurrohman Kholilurrohman

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON U...

Quick Submit

Quick Submit

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Document Details

Submission ID
trn:oid:::1:3615365484

Submission Date
Jul 22, 2026, 12:11 PM GMT+7

Download Date
Jul 22, 2026, 12:17 PM GMT+7

File Name
Kholilurrohman_1472400086_Tesis.pdf

File Size
2.1 MB

127 Pages

24,600 Words

142,665 Characters

20% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Internet sources

Exclusions

- 1 Excluded Source

Top Sources

0% Internet sources
5% Publications
19% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

Replaced Characters
23 suspect characters on 10 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

0% Internet sources
5% Publications
19% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1 Student papers
Sultan Agung Islamic University 15%

2 Student papers
Universitas Airlangga <1%

3 Student papers
Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia <1%

4 Student papers
LL Dikti IX Turnitin Consortium <1%

5 Student papers
Sekolah Tinggi Teknologi Garut <1%

6 Publication
Wafi Sofwan Nadi, Titin Sundari, Meriana Wahyu Nugroho, Rahma Ramadhani. "R... <1%

7 Student papers
Universitas Atma Jaya Yogyakarta <1%

8 Publication
Jhordy Rodríguez, Saif Aldabagh, M. Shahria Alam. "Low-cycle fatigue performanc... <1%

9 Student papers
Rektorat (ADM) <1%

10 Student papers
Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada <1%

11 Student papers
Udayana University <1%

12 Student papers
UPN Veteran Jawa Timur <1%

13 Publication
Mulyadi Mulyadi, M. Ichwanul Yusup, Bambang Hariyanto. "PERENCANAAN STRU... <1%

14 Student papers
Walters State Community College <1%

15 Publication
Junsheng Su, Xu Wang, Dianqi Wu, Jiajun Li, Hao Gao, Yongkang Miao, Xiaomeng ... <1%

16 Student papers
iGroup <1%

17 Student papers
Universitas Mercu Buana <1%

18 Student papers
FAKULTAS TEKNIK <1%

19 Student papers
Universitas Diponegoro <1%

20 Publication
Yanyan Li, Kai Wu, Jin Pan, Chuan Zhao, Fengliang Wang, Baowei Zhang, Qinghua ... <1%

21 Student papers
Universitas Djuanda <1%

22 Publication
Haris Kawarizmi, Apriansyah Apriansyah. "Komparasi Gaussian Plume Model dan ... <1%

23 Student papers
Universitas Negeri Yogyakarta <1%

24 Student papers
Xavier University <1%

25 Publication
M Rizky Eko Yulianto, Michella Beatrix. "Penerapan Metode PDM dan PERT Pada P... <1%

26 Publication

Shaohua He, Xu Huang, Huaqian Zhong, Zhiyong Wan, Gao Liu, Haohui Xin, Youy... <1%

27 Student papers

Universitas Negeri Jakarta <1%

28 Publication

Yopi Setiawan. "PENGARUH KONSENTRASI SUKROSA DAN LAMA FERMENTASI TER... <1%

29 Student papers

Universitas Pendidikan Indonesia <1%

30 Publication

Haolei Wang, Tao Sun, Chen Tang, Jiejun Wang. "Experimental and numerical inv... <1%

31 Publication

Layla Kumala Rizki, Indriyani Puluhulawa. "PERANCANGAN STRUKTUR ATAS JEMB... <1%

32 Publication

Maryya Ulva, Nor Hidayati, Decky Rochmanto. "Analisis Studi Perbandingan Biay... <1%

33 Publication

Sri Anardani, Andi Rahman Putera, Muh Nur Luthfi Azis, Surya Kharisma Octavian... <1%

34 Student papers

Syntax Corporation <1%

35 Student papers

Universitas Andalas <1%

36 Student papers

Universitas Respati Indonesia <1%

37 Publication

Zulfani S, Alamsyah Alamsyah, Indriyani Puhululawa. "KELEMANTAN DENGAN TIP... <1%

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

TESIS

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Guna Mencapai Gelar Magister Teknik Sipil

diajukan oleh :

KHOLILURROHMAN

NIM : 1472400086

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

TAHUN 2026

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

TESIS

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Guna Mencapai Gelar Magister Teknik Sipil

diajukan oleh :

KHOLILURROHMAN

NIM : 1472400086

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

TAHUN 2026

TESIS

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

diajukan oleh :

KHOLILURROHMAN

NIM : 1472400086

Disetujui untuk diuji :

Surabaya, 19 Juni 2026

Dosen Pembimbing 1 :

Dr. Ir. Budi Witjaksana,S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng. ……

Dosen Pembimbing 2 :

Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T. …….

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

2026

TESIS

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

diajukan oleh :

KHOLILURROHMAN

NIM : 1472400086

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan dinyatakan lulus

pada ujian Tesis Program Studi Magister Teknik Sipil

Program Pascasarjana Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2026

Tim Penguji

Ketua	:	Dr. Ir. Budi Witjaksana,S.T., M.T.,IPU., ASEAN Eng	…….
Anggota	:	Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T.	…….
Anggota	:	Dr. Ir. Andi Patriadi, S.T., M.T.	…….

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya	Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Dr. Ir. Ar. R.A. Retno Hastijanti, MT,. IPU,. IAI,. APEC Eng.	Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T.
NPP. 20440.91.0218	NPP. 20430.13.0621

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : KHOLILURROHMAN

NIM : 1472400086

Alamat : Jl. Rajawali II no. 76 Sampang

Telepon / HP : 08113402022

Menyatakan bahwa 'TESIS" yang saya buat untuk memenuhi persyaratan kelulusan Magister Teknik Sipil – Fakultas Teknik – Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya dengan judul :

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

2 Adalah hasil karya sendiri, dan bukan 'Duplikasi' dari karya orang lain.

Selanjutnya apabila dikemudian hari terdapat klaim dari pihak lain, maka bukan menjadi tanggung jawab pembimbing dan atau Pengelola Program tetapi menjadi tanggung jawab saya sendiri.

Atas hal tersebut saya bersedia menerima sanksi, sesuai dengan hukum atau aturan yang berlaku di Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan pihak manapun.

Surabaya, 27 Juni 2026

Hormat saya,

KHOLILURROHMAN

UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA

BADAN PERPUSTAKAAN
Jl. SEMOLOWARU 45 SURABAYA
TELP. 031 593 1800 (Ext. 311)
e-mail : perpus@untag-sby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai Civitas Akademik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kholilurrohman
NBI/NPM : 1472400086
Fakultas : Teknik
Program Studi : Magister Teknik Sipil
Jenis Karya : ~~Skripsi~~/Tesis/~~Disertasi/Laporan Penelitian/Praktek~~

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** ***(Nonexclusive Royalty-Free Right)*** atas karya saya yang berjudul:

ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*

Dengan **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** ***(Nonexclusive Royalty-Free Right),*** Badan Perpustakaan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya berhak menyimpan, mengalih media atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, mempublikasikan karya ilmiah saya selama tetap tercantum.

Dibuat di : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Pada Tanggal : 27 Juni 2026

Yang Menyatakan,

KHOLILURROHMAN

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul : **ANALISIS MUTU DAN WAKTU PEKERJAAN JEMBATAN BUNGUR PAMEKASAN MENGGUNAKAN TULANGAN BETON *ULTRA HIGH STRENGTH STEEL (UHSS)*** sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana strata 2 (S2) pada Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.

Dalam menyusun tesis ini penulis merasakan mendapatkan bantuan dari berbagai pihak berupa pengarahan, perhatian dan bimbingan. Oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Budi Witjaksana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng, selaku Dosen Pembimbing 1 atas bimbingannya selama ini sampai selesai
2. Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 atas bimbingannya selama ini sampai selesai.

   Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada

3. Dr. Harjo Seputro, S.T.,M.T, selaku Rektor Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
4. Dr. Ir. Ar. R.A. Retno Hastijanti, MT, IPU, IAI, APEC Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
5. Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T, selaku Kaprodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
6. Bapak dan Ibu Dosen yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas bimbingannya selama penulis mengikuti perkuliahan.
7. Para staf tata usaha baik umum dan akademik atas bantuannya yang telah memberikan informasi kepada penulis selama ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Magister Teknik Sipil pada umumnya khususnya angkatan 44 tahun 2025 / 2026 yang selalu mendorong untuk menyelesaikan kuliah dan tesis ini.

9. Rekan – rekan kerja dan staf yang telah memberikan dukungan dan saran, serta data yang diperlukan dalam penyelesaian tesis ini.
10. Lebih khusus saya tujukan terima kasih kepada kedua orang tua saya Abi Drs. H. M. Syamhari, M.M. (Alm.) dan Umi Hj. Zainiyah, S.Ag. Saya tujukan juga terimakasih saya kepada kedua orang mertua saya Abi H. Moh Haris, S.T., M.T. dan umi Hj. Krtimatus Zahroh, S.Pd. serta Istri saya tercinta dr. Nandasari Estetyka, putra tersayang Abraham Wistara Avicenna yang telah senantiasa memberikan dukungan baik secara doa dan semangatnya maupun secara materi, sehingga penulis mampu menyelesaikan masa studi dan tugas akhir ini tepat waktu.

    Akhirnya semoga tesis ini ada manfaatnya

Surabaya, 27 Juni 2026

KHOLILURROHMAN

ABSTRAK

Kholilurrohman, 2026

Analisis Mutu Dan Waktu Pekerjaan Jembatan Bungur Pamekasan Menggunakan Tulangan Beton *Ultra High Strength Steel (UHSS)*

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Budi Witjaksana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T.

Jembatan Bungur Pamekasan merupakan bagian dari jaringan jalan provinsi yang membutuhkan mutu struktur andal dan waktu pelaksanaan yang efisien. Penelitian ini bertujuan membandingkan mutu struktur gelagar balok T dengan tulangan konvensional BJTS 420B dan tulangan *Ultra High Strength Steel (UHSS)*, menghitung efisiensi kebutuhan tulangan, serta membandingkan durasi pekerjaan antara metode *cast in situ* dan *Accelerated Bridge Construction*.

Metode penelitian menggunakan studi kasus kuantitatif deskriptif berdasarkan data geometri jembatan, material, pembebanan, dan jadwal pekerjaan. Struktur dianalisis pada bentang 15,00 m dengan beton K-500 atau f'c = 41,50 MPa, tulangan konvensional fy = 420 MPa, dan tulangan UHSS fy = 700 MPa. Analisis waktu untuk rumusan masalah kedua dilakukan dengan metode PERT melalui penentuan waktu optimis, paling mungkin, dan pesimis, perhitungan waktu harapan, varians, lintasan kritis, serta probabilitas penyelesaian proyek.

Hasil analisis menunjukkan tulangan konvensional memerlukan 29-D25 dengan kapasitas momen ultimit 3.898 kNm, sedangkan UHSS memerlukan 17-D25 dengan kapasitas 3.810,93 kNm dan tetap memenuhi momen rencana 3.702,46 kNm. Berat tulangan 6 gelagar berkurang dari 17.473,61 kg menjadi 9.933,21 kg atau efisien 43,15%. Berdasarkan PERT, durasi harapan metode cast in situ adalah 48,50 hari, sedangkan metode *Accelerated Bridge Construction* adalah 26,17 hari. Penghematan durasi harapan sebesar 22,33 hari atau 46,05%. Lintasan kritis cast in situ adalah A-B-C-D-E-F-G-H-I, sedangkan lintasan kritis *Accelerated Bridge Construction* adalah A-B-E-F-G-H-I.

Kata kunci: *Accelerated Bridge Construction*, PERT, gelagar balok T, *Ultra High Strength Steel*.

ABSTRACT

Kholilurrohman, 2026

Analysis of Quality and Construction Time for the Bungur Bridge Project in Pamekasan Using Ultra-High-Strength Steel (UHSS) Reinforcement

Advisor Lecturer 1 : Dr. Ir. Budi Witjaksana, ST., MT., IPU., ASEAN Eng.

Advisor Lecturer : 2 Dr. Ir. Hanie Teki Tjendani, S.T., M.T.

Bungur Bridge in Pamekasan is part of the provincial road network that requires reliable structural quality and efficient construction time. This study aims to compare the structural quality of the T-girder using conventional BJTS 420B reinforcement and Ultra High Strength Steel (UHSS), calculate reinforcement efficiency, and compare the construction duration between the cast-in-situ method and Accelerated Bridge Construction.

This research applied a descriptive quantitative case-study method based on bridge geometry, material data, loading data, and construction schedules. The analyzed structure had a span of 15.00 m, K-500 concrete or f'c = 41.50 MPa, conventional reinforcement with fy = 420 MPa, and UHSS reinforcement with fy = 700 MPa. The second research problem on construction duration was analyzed using the PERT method by defining optimistic, most likely, and pessimistic durations, calculating expected time, variance, critical path, and completion probability.

The results show that conventional reinforcement requires 29-D25 bars with an ultimate moment capacity of 3,898 kNm, while UHSS requires 17-D25 bars with a capacity of 3,810.93 kNm and still satisfies the design moment of 3,702.46 kNm. The reinforcement weight for six girders decreases from 17,473.61 kg to 9,933.21 kg, or 43.15% efficiency. Based on PERT, the expected duration of the cast-in-situ method is 48.50 days, while the Accelerated Bridge Construction method is 26.17 days. The expected duration saving is 22.33 days, or 46.05%. The critical path of cast-in-situ is A-B-C-D-E-F-G-H-I, while the Accelerated Bridge Construction critical path is A-B-E-F-G-H-I.

Keywords: *Accelerated Bridge Construction, PERT, T-girder, Ultra High Strength Steel.*

32

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **vi**
ABSTRAK ..... **viii**
ABSTRACT ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 8
1.3. Tujuan Penelitian 8
1.4. Manfaat Penelitian 8
1.5. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian 9
1.6. Asumsi Penelitian 10
1.7. Definisi Istilah atau Operasional / Terminologi 11
1.8. Sistematika Penulisan 11
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA **13**
2.1. Penelitian Terdahulu 13
2.2. Dasar Teori 22
2.2.1. Konsep Dasar Struktur Beton Bertulang 23
2.2.2. Beton 23
2.2.3. Baja Tulangan Konvensional 25
2.2.4. Baja Tulangan Ultra High Strength Steel (UHSS) 25
2.2.5. Pembebanan Jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 26
2.2.6. Beban Truk "T" (TT) 27
2.2.7 Beban Rem (TB) 27
2.2.8 Beban Angin (EW) 27
2.2.9 Beban Gempa (EQ) 28
2.2.10 Perencanaan Girder Beton Pracetak 28
2.2.11 Analisis Kapasitas Geser 29
2.2.12 Kontrol Lendutan 30
2.2.14. Metode PERT (Program Evaluation and Review Technique) 31
BAB 3 METODE PENELITIAN **33**
3.1. Bagan Alir Penelitian 33
3.2. Subyek Penelitian 34
3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian 34

3.4. Instrumen Penelitian 34
3.4.1. Perangkat Keras (Hardware) 34
3.4.2. Perangkat Lunak (Software) 34
3.5. Prosedur Pengumpulan Data 35
3.5.1. Pengumpulan Data Jembatan Bungur 35
3.5.2. Pengumpulan Data Standar dan Referensi 35
3.5.3. Instrumen Pengumpulan Data 36
3.6. Teknik Analisis Data. 36
3.6.1. Analisis Struktur 36
3.6.2. Analisis waktu 39
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 41
4.1. Deskripsi Data 41
4.1.1. Perhitungan Struktur Konvensional (BjTS 420) 42
4.1.2. Perhitungan Struktur Menggunakan Tulangan Beton UHSS 60
4.1.3. Analisis Waktu Menggunakan Metode PERT 79
4.2. Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur dan Waktu 89
4.3. Pembahasan Hasil terhadap Tujuan Penelitian 90
4.4. Pembahasan Hasil terhadap Tujuan Penelitian 91
4.4 Interpretasi Hasil Penelitian 93
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 95
5.1. Kesimpulan 95
5.2. Saran 95
DAFTAR PUSTAKA 97
LAMPIRAN 101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....18
Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan).....19
Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan).....20
Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan).....21
Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan).....22
Tabel 4.1 Data Dasar Jembatan Bungur.....41
Tabel 4.2 Beban berat sendiri pada Girder Balok T BjTS 420.....43
Tabel 4.3 Beban mati tambahan pada Girder Balok T BjTS 420.....44
Tabel 4.4 Kombinasi Momen Ultimate Balok T BjTS 420.....49
Tabel 4.5 Kombinasi Geser Ultimate Balok T BjTS 420.....51
Tabel 4.6 Momen Akibat Beban Mati dan Beban Hidup Balok T BjTS 420.....56
Tabel 4.7 Lendutan Akibat Beban Kombinasi Balok T BjTS 420.....58
Tabel 4.8 Beban berat sendiri pada Girder UHSS.....62
Tabel 4.9 Beban mati tambahan pada Girder UHSS.....63
Tabel 4.10 Kombinasi Momen Ultimate Girder UHSS.....68
Tabel 4.11 Kombinasi Momen Ultimate Girder UHSS.....70
Tabel 4.12 Momen Akibat Beban Mati dan Beban Hidup Girder UHSS.....75
Tabel 4.13 Lendutan Akibat Beban Kombinasi Girder UHSS.....77
Tabel 4.14 Data Aktivitas PERT Metode Cast in situ.....79
Tabel 4.14 Data Aktivitas PERT Metode Cast in situ (lanjutan).....80
Tabel 4.15 Data Aktivitas PERT Metode Accelerated Bridge Construction.....81
Tabel 4.16 Data Aktivitas PERT Metode *Accelerated Bridge Construction* (lanjutan).....82
Tabel 4.17 Hasil Forward Pass, Backward Pass, dan Slack PERT.....84
Tabel 4.18 Hasil Forward Pass, Backward Pass, dan Slack PERT (lanjutan).....85
Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Analisis PERT.....86
Tabel 4.20 Rekapitulasi Hasil Analisis Mutu dan Waktu Berbasis PERT.....89
Tabel 4.21 Rekapitulasi Hasil Analisis Mutu dan Waktu Berbasis PERT (lanjutan).....90
Tabel 4.22 Interpretasi Hasil Utama Penelitian.....91
Tabel 4.23 Interpretasi Hasil Utama Penelitian (lanjutan).....92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian 33
Gambar 4.1 Bagian jembatan tulangan UHSS 42
Gambar 4.2 Bidang Momen BjTS 420..... 50
Gambar 4.3 Bidang Geser BjTS 420..... 52
Gambar 4.4 Gambar Penulangan Balok T BjTS 420 59
Gambar 4.5 Bagian jembatan tulangan UHSS 60
Gambar 4.6 Bidang Momen Girder UHSS 69
Gambar 4.7 Bidang Geser Girder UHSS..... 71
Gambar 4.8 Gambar Penulangan Balok T BjTS 420 78
Gambar 4.9 Jaringan Kerja PERT Metode Cast in situ..... 83
Gambar 4.10 Jaringan Kerja PERT Metode Accelerated Bridge Construction .. 83
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Durasi Harapan PERT..... 87
Gambar 4.12 Kurva Probabilitas Penyelesaian Berdasarkan PERT 88
Gambar 4.13 Grafik Kontribusi Varians pada Lintasan Kritis..... 88

9

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infrastruktur jembatan merupakan bagian penting dari jaringan transportasi karena menjadi titik penghubung yang menentukan kesinambungan pergerakan kendaraan, distribusi barang, akses pelayanan publik, serta konektivitas antarkawasan. Pada wilayah kepulauan dan pesisir seperti Madura, keberadaan jembatan tidak hanya berfungsi sebagai struktur fisik yang melintasi sungai atau saluran, tetapi juga sebagai simpul pelayanan jalan provinsi. Kerusakan atau terganggunya fungsi satu jembatan dapat menimbulkan dampak berantai terhadap kelancaran lalu lintas, biaya perjalanan, keselamatan pengguna jalan, dan efektivitas pemeliharaan jaringan jalan di sekitarnya.

Jembatan Bungur di Kabupaten Pamekasan merupakan salah satu jembatan pada ruas Bts. Kota Pamekasan-Sotabar yang masuk dalam wilayah pelayanan UPT Pengelolaan Jalan dan Jembatan Pamekasan. Data pemeriksaan rutin jembatan tahun 2026 menunjukkan bahwa Jembatan Bungur memiliki panjang 15,00 m dan satu bentang. Data tersebut menempatkan Jembatan Bungur sebagai objek yang cukup relevan untuk diteliti karena termasuk jembatan bentang pendek yang lazim ditemukan pada jaringan jalan provinsi, namun tetap membutuhkan mutu struktur dan mutu pelaksanaan yang baik agar fungsi layanannya terjaga.

Permasalahan pertama yang menjadi dasar penelitian adalah retaknya gelagar induk pada jembatan bungur pamekasan sehingga membutuhkan adanya peningkatan mutu jembatan. Dalam konteks struktur beton bertulang, mutu pekerjaan tidak hanya dinilai dari tercapainya kekuatan beton atau hasil akhir yang tampak rapi, tetapi juga dari kesesuaian desain tulangan, kecukupan kapasitas lentur dan geser, pengendalian retak, kemudahan pengecoran, serta minimnya potensi cacat seperti *honeycomb*, segregasi, dan rongga di sekitar tulangan. Kepadatan tulangan yang terlalu tinggi sering menimbulkan kesulitan pemadatan beton di lapangan, terutama pada elemen dengan dimensi terbatas. Pada pekerjaan jembatan bentang pendek, masalah ini menjadi penting karena ruang kerja terbatas, waktu penutupan jalan sering harus ditekan, dan kualitas pengecoran harus tetap terkendali.

Tulangan beton konvensional seperti BJTS 420B telah banyak digunakan dalam konstruksi beton bertulang di Indonesia karena ketersediaannya luas, ketentuan desainnya dikenal baik, dan harga satuannya lebih mudah dipastikan melalui dokumen standar harga. Akan tetapi, perkembangan material konstruksi memungkinkan penggunaan tulangan dengan kekuatan leleh lebih tinggi. *Ultra High Strength Steel* atau *UHSS* menawarkan kekuatan leleh yang jauh lebih besar daripada tulangan konvensional. Kekuatan yang lebih tinggi membuka peluang pengurangan jumlah atau luas tulangan yang diperlukan untuk mencapai kapasitas yang sama. Pengurangan jumlah batang dapat meningkatkan jarak antarbatang, memudahkan pengecoran, dan berpotensi memperbaiki mutu pelaksanaan.

Kendati demikian, penerapan *UHSS* tidak dapat diterima hanya berdasarkan asumsi bahwa material lebih kuat selalu lebih baik. Material berkekuatan tinggi perlu dianalisis dari sisi daktilitas, perilaku retak, panjang penyaluran, kompatibilitas dengan beton, serta batasan standar yang berlaku. Pada beberapa sistem desain, penggunaan tulangan berkekuatan tinggi memerlukan kehati-hatian karena tegangan layan yang lebih tinggi dapat mempengaruhi lebar retak dan deformasi. Dengan demikian, penelitian ini memposisikan *UHSS* bukan semata sebagai pengganti langsung tulangan konvensional, melainkan sebagai alternatif material yang harus diuji melalui parameter mutu struktur dan mutu pelaksanaan.

Permasalahan kedua adalah kebutuhan pengendalian waktu pekerjaan. Pekerjaan rehabilitasi atau penggantian struktur atas jembatan pada jalan provinsi sering menimbulkan gangguan lalu lintas karena sebagian atau seluruh badan jalan harus dibatasi. Metode *cast in situ* memerlukan tahapan pembongkaran, pemasangan perancah, bekisting, pembesian, pengecoran, *curing*, pembongkaran perancah, dan pekerjaan akhir. Tahapan ini relatif panjang karena sebagian besar pekerjaan basah dilakukan di lokasi. Durasi *curing* beton menjadi salah satu komponen waktu yang tidak mudah dipangkas tanpa konsekuensi terhadap mutu.

Metode *Accelerated Bridge Construction* menawarkan pendekatan berbeda. Prinsip metode ini adalah memindahkan sebanyak mungkin pekerjaan dari lokasi jembatan ke tempat fabrikasi yang lebih terkendali, kemudian memasang elemen prefabrikasi dalam durasi penutupan jalan yang lebih singkat. Pada jembatan bentang pendek seperti Jembatan Bungur, pendekatan ini dapat dilakukan melalui penggunaan girder pracetak, panel pelat lantai, sambungan

cepat, pekerjaan grouting atau closure pour yang terencana, serta manajemen lalu lintas yang disiapkan sebelum pekerjaan utama dimulai. Pendekatan ini sejalan dengan kebutuhan pelayanan jalan provinsi karena tujuan utama bukan hanya mempercepat proyek, tetapi juga meminimalkan dampak terhadap pengguna jalan.

Keterkaitan antara *UHSS* dan *Accelerated Bridge Construction* menarik untuk dikaji karena keduanya mempunyai orientasi yang saling mendukung. *UHSS* berpotensi mengurangi kepadatan tulangan dan memperbaiki kemudahan pengerjaan elemen beton, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* berpotensi mengalihkan pekerjaan ke lingkungan fabrikasi yang lebih terkendali dan memperpendek durasi penutupan lapangan. Kombinasi keduanya dapat memberikan kontribusi pada mutu dan waktu secara bersamaan. Dalam konteks tesis ini, *UHSS* dianalisis sebagai inovasi material, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* dianalisis sebagai inovasi metode pelaksanaan.

Data pendukung dari survei kondisi jalan Link 119 juga menunjukkan bahwa wilayah kerja UPT PJJ Pamekasan memiliki kebutuhan pemeliharaan infrastruktur yang nyata. Data tersebut mencatat kerusakan permukaan jalan dengan variasi jenis seperti agregat lepas, agregat lepas disertai retak, retak memanjang, lubang, retak tepi, dan kombinasi kerusakan lain. Walaupun data survei jalan bukan pengganti inspeksi detail jembatan, data tersebut menggambarkan bahwa koridor pelayanan tempat Jembatan Bungur berada memerlukan pengelolaan infrastruktur berbasis kondisi. Jembatan yang baik harus didukung oleh ruas jalan yang terpelihara, dan sebaliknya pekerjaan jembatan perlu direncanakan agar tidak menambah gangguan pelayanan pada koridor yang sudah memiliki kebutuhan pemeliharaan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa material berkekuatan tinggi pada beton bertulang semakin banyak dikaji. (Aldabagh et al., 2022) meneliti kinerja *low-cycle fatigue* tulangan berkekuatan tinggi pada kolom jembatan beton. (Wang et al., 2023) mengkaji perilaku kolom beton yang diperkuat tulangan 700 MPa. (He et al., 2024) membahas kinerja retak pada jembatan komposit HSS-UHPC di daerah momen negatif. Sementara itu, penelitian mengenai *Accelerated Bridge Construction* menekankan pentingnya prefabrikasi, sambungan cepat, dan pengurangan pekerjaan lapangan. (Kenarkoohi et al., 2024) menunjukkan bahwa prefabrikasi elemen dan sambungan merupakan inti dari percepatan konstruksi

jembatan. Literatur tersebut memberi landasan bahwa material tinggi dan metode cepat sama-sama relevan untuk pengembangan konstruksi jembatan.

Namun, penelitian terdahulu umumnya masih berdiri pada jalur kajian masing-masing. Sebagian penelitian fokus pada perilaku material atau elemen beton bertulang dengan tulangan berkekuatan tinggi. Sebagian lainnya fokus pada percepatan pelaksanaan jembatan melalui prefabrikasi. Masih terbatas penelitian yang menggabungkan analisis mutu struktur, kebutuhan tulangan *UHSS*, dan analisis waktu pelaksanaan *Accelerated Bridge Construction* pada kasus jembatan daerah di Indonesia. Gap ini menjadi dasar kebaruan penelitian, terutama karena objek penelitian adalah Jembatan Bungur Pamekasan yang berada dalam konteks pelayanan jalan provinsi dan dikelola oleh instansi daerah dengan kebutuhan pemeliharaan nyata.

Kebaruan penelitian ini tidak terletak pada pengembangan material baru, tetapi pada integrasi pemilihan material *UHSS* dan metode *Accelerated Bridge Construction* untuk menyelesaikan masalah mutu dan waktu pada pekerjaan jembatan bentang pendek. Pendekatan ini penting karena keputusan teknis di lapangan tidak dapat hanya didasarkan pada kuat leleh material atau kecepatan pemasangan. Keputusan harus memperhatikan kapasitas, kelayanan, konstruktabilitas, urutan pekerjaan, kebutuhan lalu lintas, kesiapan fabrikasi, pengendalian sambungan, serta risiko pelaksanaan.

Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk menjawab kebutuhan praktis dan akademik. Secara praktis, hasil penelitian dapat membantu penyusunan alternatif pekerjaan Jembatan Bungur yang lebih efisien dari sisi waktu tanpa mengabaikan mutu. Secara akademik, penelitian ini memperkaya kajian tentang penerapan *UHSS* dan *Accelerated Bridge Construction* pada pekerjaan jembatan di Indonesia. Analisis dilakukan dengan membandingkan skenario tulangan konvensional dan *UHSS*, kemudian membandingkan jadwal metode *cast in situ* dan *Accelerated Bridge Construction*. Hasil akhirnya diharapkan memberikan rekomendasi teknis yang dapat dipertimbangkan oleh perencana, pelaksana, dan pengelola jalan provinsi.

Pokok pikiran pertama dalam latar belakang ini adalah adanya masalah nyata pada objek dan lingkungan pelayanannya. Jembatan Bungur merupakan bagian dari jaringan jalan provinsi yang membutuhkan mutu layanan berkelanjutan. Data pemeriksaan rutin dan data survei kondisi jalan menunjukkan

bahwa pengelolaan infrastruktur di wilayah Pamekasan perlu dilakukan dengan dasar data, bukan hanya berdasarkan perkiraan visual. Masalah tersebut menuntut solusi yang dapat meningkatkan keandalan struktur sekaligus menjaga kelancaran pelayanan lalu lintas.

Sebagai alternatif teknologi yang relevan, *UHSS* menjawab persoalan teknis tentang kapasitas dan kepadatan tulangan, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* menjawab persoalan pelaksanaan tentang durasi lapangan dan gangguan lalu lintas. Keduanya tidak boleh dipahami secara terpisah karena kualitas akhir pekerjaan jembatan sangat dipengaruhi oleh interaksi antara desain material dan metode pelaksanaan. Material yang baik dapat gagal memberi manfaat jika metode pelaksanaannya tidak terkendali, sementara metode cepat dapat menimbulkan risiko mutu jika tidak didukung desain dan detail sambungan yang memadai.

Perlunya penelitian yang menghasilkan perbandingan terukur. Penelitian ini tidak hanya menyatakan bahwa *UHSS* lebih kuat atau *Accelerated Bridge Construction* lebih cepat, tetapi menghitung kebutuhan tulangan, kapasitas lentur, kapasitas geser, berat tulangan, durasi pekerjaan, dan penghematan waktu. Dengan perbandingan tersebut, rekomendasi yang dihasilkan menjadi lebih argumentatif dan dapat ditelusuri. Hal ini penting untuk tesis teknik sipil karena kesimpulan harus ditopang oleh data, rumus, dan pembahasan yang dapat diverifikasi.

Kondisi jembatan pada jalan provinsi berbeda dengan struktur gedung yang umumnya berada pada lingkungan lebih terkendali. Jembatan menerima beban kendaraan yang bersifat bergerak, berulang, dan berubah menurut perkembangan lalu lintas. Beban berulang dapat mempercepat munculnya retak pada daerah tarik, memperbesar deformasi, dan menurunkan kenyamanan pengguna. Apabila retak tidak ditangani atau tidak dipertimbangkan dalam desain ulang, air dan zat agresif dapat masuk ke dalam beton dan mempercepat korosi tulangan.

Lingkungan Madura yang relatif dekat dengan udara laut juga perlu diperhatikan. Paparan garam, kelembaban, dan variasi temperatur dapat mempengaruhi durabilitas beton bertulang. Pada struktur jembatan, durabilitas sama pentingnya dengan kekuatan awal. Struktur yang kuat pada saat selesai dibangun belum tentu memiliki mutu layanan baik apabila detail sambungan,

selimut beton, pemadatan, drainase, dan perlindungan tulangan tidak terkendali. Oleh sebab itu, penelitian tentang mutu pekerjaan jembatan harus memasukkan aspek material dan konstruktabilitas.

Penggunaan tulangan berkekuatan tinggi dapat memberi keuntungan pada pengurangan kuantitas tulangan, tetapi pengurangan tersebut perlu dikelola agar tidak mengorbankan syarat minimum tulangan dan pola keruntuhan. Desain balok beton bertulang harus tetap mengarah pada perilaku yang daktail, sehingga keruntuhan tidak terjadi secara tiba-tiba. Dalam penelitian ini, perbandingan dilakukan pada skenario yang tetap memenuhi kontrol kapasitas lentur dan geser. Kebutuhan tulangan tidak diambil hanya dari hasil pembagian gaya oleh kuat leleh, tetapi juga melalui kontrol kapasitas penampang.

Metode *Accelerated Bridge Construction* juga perlu disesuaikan dengan kondisi proyek. Pada jembatan kecil, *Accelerated Bridge Construction* tidak selalu harus menggunakan peralatan sangat mahal seperti self-propelled modular transporter. Alternatif yang lebih sederhana dapat berupa penggunaan gelagar pracetak, panel pelat pracetak, sambungan basah yang cepat mengeras, serta pengaturan pekerjaan malam atau window time tertentu. Dengan demikian, *Accelerated Bridge Construction* bukan sekadar teknologi mahal, tetapi pendekatan perencanaan yang memindahkan pekerjaan kritis dari lokasi ke tempat yang lebih terkendali.

Dalam manajemen pekerjaan jembatan, waktu tidak hanya dimaknai sebagai jumlah hari kalender proyek. Waktu juga mencakup lama gangguan lalu lintas, lama penggunaan alat berat di lokasi, lama pekerja berada di area berisiko, serta lama akses masyarakat dibatasi. Oleh karena itu, perbandingan antara metode *cast in situ* dan *Accelerated Bridge Construction* pada penelitian ini disajikan dalam dua bentuk, yaitu durasi kalender dan durasi gangguan langsung di lokasi. Perbedaan ini membantu melihat manfaat *Accelerated Bridge Construction* secara lebih tepat.

Penelitian tentang percepatan konstruksi jembatan juga harus memperhatikan risiko. Pekerjaan yang dipercepat tanpa kesiapan desain, shop drawing, fabrikasi, logistik, dan inspeksi mutu dapat menimbulkan keterlambatan baru di lapangan. Pada metode *Accelerated Bridge Construction*, pekerjaan fabrikasi harus selesai sebelum tahap pembongkaran utama dimulai. Sambungan antar elemen harus dirancang agar mampu mentransfer gaya dengan baik dan tidak

menjadi titik lemah. Karena itu, jadwal *Accelerated Bridge Construction* dalam penelitian ini disertai pembahasan prasyarat pelaksanaan.

Bagi UPT PJJ Pamekasan, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan teknis awal dalam mempertimbangkan alternatif rehabilitasi atau penggantian elemen struktur atas jembatan. Penerapannya tetap harus didukung gambar rencana detail, data lalu lintas, hasil inspeksi struktur, uji mutu material, dan analisis biaya yang sesuai standar harga terbaru. Tesis ini tidak menggantikan dokumen perencanaan konstruksi, tetapi dapat menjadi dasar akademik untuk memahami manfaat dan konsekuensi penggunaan *UHSS* dan *Accelerated Bridge Construction*.

Pada tingkat kebijakan teknis, penggunaan metode yang mempercepat pekerjaan sangat relevan karena pemeliharaan jembatan sering harus dilakukan di tengah keterbatasan anggaran dan tuntutan layanan publik. Keterlambatan pekerjaan jembatan dapat menimbulkan biaya sosial yang tidak selalu tertulis dalam RAB, seperti waktu tempuh tambahan, konsumsi bahan bakar, risiko antrean, dan penurunan kenyamanan pengguna. Dengan mengurangi durasi pekerjaan di lokasi, *Accelerated Bridge Construction* dapat membantu menekan biaya tidak langsung yang ditanggung masyarakat.

Dari sisi akademik, penelitian ini memperkuat kebutuhan integrasi antara rekayasa struktur dan manajemen konstruksi. Pada kurikulum teknik sipil konsentrasi infrastruktur, kajian struktur, material, biaya, dan waktu sebaiknya tidak dipisahkan secara kaku. Keputusan desain struktur akan mempengaruhi metode pelaksanaan, dan metode pelaksanaan akan mempengaruhi mutu hasil akhir. Oleh karena itu, judul tesis ini menempatkan mutu dan waktu sebagai dua variabel utama yang dianalisis secara bersamaan.

Akhirnya, latar belakang ini menegaskan bahwa Jembatan Bungur merupakan studi kasus yang relevan karena mewakili jembatan bentang pendek pada jaringan jalan provinsi dengan kebutuhan pemeliharaan nyata. Penggunaan *UHSS* diharapkan dapat meningkatkan mutu teknis melalui kapasitas dan pengurangan kepadatan tulangan, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* diharapkan dapat mempercepat pekerjaan melalui prefabrikasi dan pengurangan pekerjaan basah di lokasi. Kombinasi keduanya menjadi dasar analisis yang akan dibahas pada bab-bab selanjutnya.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1) Bagaimana perbandingan mutu struktur dan efisiensi kebutuhan tulangan gelagar induk balok T Jembatan Bungur antara penggunaan tulangan beton konvensional BJTS 420B dan tulangan beton *Ultra High Strength Steel (UHSS)*?
2) Berapa perbandingan durasi pelaksanaan pekerjaan Jembatan Bungur antara metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction* berdasarkan metode PERT, lintasan kritis, dan peluang penyelesaian pekerjaan, serta berapa besar penghematan waktu yang dapat diperoleh?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1) Menganalisis perbandingan mutu struktur dan efisiensi kebutuhan tulangan gelagar induk balok T Jembatan Bungur antara penggunaan tulangan beton konvensional BJTS 420B dan tulangan beton *Ultra High Strength Steel (UHSS)*.

2) Membandingkan durasi pelaksanaan pekerjaan Jembatan Bungur antara metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction* menggunakan metode PERT, menentukan lintasan kritis dan peluang penyelesaian pekerjaan, serta menghitung besar penghematan waktu yang dapat diperoleh.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan dapat memberikan manfaat kepada :

1) Bagi Mahasiswa / Peneliti

Penelitian ini memberikan kesempatan bagi peneliti untuk mendalami secara komprehensif bidang rekayasa struktur beton bertulang, khususnya yang berkaitan dengan material inovatif *Ultra High Strength Steel (UHSS)*. Kompetensi ini menjadi bekal berharga bagi peneliti dalam menjalani karir profesional sebagai insinyur sipil atau akademisi di masa depan.

2) Bagi Institusi / Akademik

Penelitian ini membuka peluang bagi penelitian-penelitian lanjutan yang dapat dilakukan oleh mahasiswa S2 berikutnya, mahasiswa S1 (tugas akhir), atau

dosen peneliti di lingkungan UNTAG Surabaya. Beberapa topik penelitian lanjutan yang potensial yaitu, Analisis perilaku ikatan (bond strength) antara tulangan *UHSS* dan beton mutu tinggi, serta Studi eksperimental ketahanan korosi tulangan *UHSS* dalam lingkungan air payau. Dengan adanya penelitian ini, UNTAG Surabaya memiliki "bibit" penelitian yang dapat dikembangkan lebih lanjut, sehingga produktivitas penelitian di lingkungan Program Studi Teknik Sipil dapat terus meningkat.

3) Bagi Pelaksana Proyek / Praktisi

Penelitian ini akan menghasilkan rekomendasi teknis yang dapat digunakan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur dalam menetapkan standar atau pedoman penggunaan tulangan *UHSS* untuk jembatan di wilayah pesisir, yang dapat diadopsi dalam revisi SNI atau pedoman teknis terkait dan menyediakan masukan bagi para praktisi konstruksi (kontraktor, konsultan pengawas, project manager).

1.5. Batasan dan Ruang Lingkup Penelitian

ini dibatasi pada aspek-aspek berikut:

1) Penelitian hanya difokuskan pada analisis struktur atas jembatan (upper structure) yang meliputi girder utama tipe T-girder sesuai kondisi eksisting Jembatan Bungur. Struktur bawah (substructure) seperti abutment, pilar, dan pondasi tidak dianalisis dalam penelitian ini.
2) Tidak dilakukan pengujian laboratorium *(no laboratory testing)* terhadap material atau model struktur fisik. Seluruh analisis berbasis pada data sekunder dan pemodelan komputasional.
3) Material beton yang digunakan dalam analisis adalah beton mutu K-500 (setara dengan kuat tekan f'c = 41,5 MPa).
4) Tulangan *UHSS* yang dianalisis memiliki spesifikasi sebagai berikut: kuat leleh (yield strength, fy) = 790 MPa, modulus elastisitas (Es) = 200.000 MPa, dan regangan leleh (εy) = 0,004. Spesifikasi ini mengacu pada standar ASTM A1035/A1035M untuk baja tulangan berkekuatan tinggi.
5) Tulangan konvensional yang digunakan sebagai pembanding memiliki spesifikasi sesuai SNI 2052:2017 dengan mutu BJTS 40 (fy = 400 MPa, fu = 560 MPa, Es = 200.000 MPa).
6) Standar dan peraturan yang digunakan dalam perhitungan struktur adalah:

- SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan
- SNI 7833:2012 tentang Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Jembatan
- SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton
- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (sebagai pelengkap untuk analisis penampang beton bertulang)
- RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan
- Standar Satuan Harga Dinas PU Bina Marga Provinsi Jawa Timur UPT PJJ Pamekasan.

7) Parameter Keluaran: Parameter kinerja struktur yang dianalisis dibatasi pada:

- Kapasitas lentur nominal (Mn) dan ultimit (Mu)
- Kapasitas geser nominal (Vn) dan ultimit (Vu)
- Lendutan elastik (δ) pada kondisi beban layan

1.6. Asumsi Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, digunakan beberapa asumsi dasar sebagai landasan untuk mendukung proses analisis, yaitu sebagai berikut::

1) Dimensi penampang, beban, dan parameter material mengikuti data perhitungan yang digunakan dalam proposal dan dokumen analisis struktur.
2) Jumlah gelagar yang digunakan dalam perhitungan berat tulangan total adalah enam buah.
3) Panjang batang tulangan utama dihitung mengikuti panjang bentang 15,00 m; kehilangan akibat pemotongan, panjang kait, dan overlap belum dimasukkan secara rinci.
4) Produktivitas pekerjaan jadwal merupakan asumsi rencana akademik berdasarkan urutan pekerjaan jembatan bentang pendek dan tidak menggantikan time schedule kontrak.
5) Metode *Accelerated Bridge Construction* diasumsikan menggunakan elemen pracetak yang telah lolos inspeksi mutu sebelum pekerjaan pembongkaran utama dimulai.

1.7. Definisi Istilah atau Operasional / Terminologi

Mutu pekerjaan dalam penelitian ini adalah tingkat pemenuhan persyaratan teknis struktur dan konstruktabilitas pekerjaan yang diukur melalui kapasitas lentur, kapasitas geser, lendutan, kebutuhan tulangan, jarak antar tulangan, dan kemudahan pelaksanaan.

UHSS adalah baja tulangan berkekuatan sangat tinggi yang dalam penelitian ini dimodelkan dengan kuat leleh 700 MPa. *Accelerated Bridge Construction* adalah metode percepatan pekerjaan jembatan dengan memindahkan pekerjaan kritis dari lokasi ke tempat fabrikasi dan meminimalkan waktu konstruksi di lokasi. *Cast in situ* adalah metode pelaksanaan beton bertulang yang sebagian besar proses pembesian, bekisting, pengecoran, dan curing dilakukan langsung di lokasi jembatan.

1.8. Sistematika Penulisan

Bab 1 berisi pendahuluan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan, asumsi, definisi istilah, dan sistematika penulisan. Bab 2 berisi kajian pustaka, penelitian terdahulu, dasar teori, rumus-rumus perhitungan, dan kerangka berpikir penelitian. Bab 3 menjelaskan metode penelitian, sumber data, instrumen, prosedur pengumpulan data, dan teknik analisis. Bab 4 menyajikan analisis data dan pembahasan, meliputi perhitungan struktur konvensional dan *UHSS*, perbandingan berat tulangan, jadwal *cast in situ*, jadwal *Accelerated Bridge Construction*, grafik perbandingan, serta interpretasi hasil. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2
KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang material *Ultra High-Strength Steel* (*UHSS*) dan metode *Accelerated Bridge Construction* telah berkembang dalam bidang rekayasa struktur dan manajemen konstruksi. Berbagai studi eksperimental dan numerik telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi material berkekuatan tinggi pada jembatan, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* digunakan sebagai dasar perencanaan dan pengendalian jadwal pekerjaan konstruksi. Beberapa hasil penelitian terdahulu yang bisa digunakan sebagai acuan/dasar dari penelitian ini sebagai berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh (S. Aldabagh et al., 2022) adalah bahwa kode desain yang ada saat ini (seperti ACI 318) masih membatasi penggunaan tulangan berkekuatan tinggi (*High-Strength Steel*/HSS) untuk aplikasi seismik karena kekhawatiran tentang kinerja *low-cycle fatigue* yang tidak memadai, padahal material seperti *ASTM A1035 Grade 690/700* (fy ≥ 690 MPa) telah tersedia secara komersial dan menawarkan potensi pengurangan jumlah tulangan yang signifikan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi metode eksperimental dan numerik, di mana program uji *low-cycle fatigue* dilakukan pada tulangan *Grade 700* di bawah pembalikan regangan siklik untuk mengkalibrasi konstanta model fatigue-life yang ada, kemudian dilanjutkan dengan analisis numerik menggunakan model *cumulative damage* pada kolom jembatan beton bundar yang didominasi lentur dengan variasi tingkat daktilitas perpindahan (2, 4, dan 6), jenis gempa *(crustal dan subduction)*, serta rasio jarak hoop terhadap diameter tulangan longitudinal (4 dan 6). Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa tulangan *ASTM A1035 Grade 700* menunjukkan kinerja *low-cycle fatigue* yang memadai untuk gempa kerak bumi hingga tingkat daktilitas perpindahan 2, dan kode desain yang ada terbukti terlalu restriktif dalam melarang penggunaan HSS; sebagai alternatif, penelitian ini mengusulkan penerapan batasan tertentu pada tingkat daktilitas perpindahan dan rasio jarak hoop terhadap diameter tulangan longitudinal untuk mempromosikan penggunaan tulangan HSS yang aman dan efisien pada kolom jembatan beton.

Penelitian yang dilakukan oleh (Eltahawy et al., 2009) yang dipublikasikan dalam jurnal *Engineering Structures* adalah bahwa meskipun tulangan *Grade 700*

(fy = 700 MPa) telah tersedia, masih terbatas informasi tentang perilaku lentur balok beton bertulang yang menggunakan material tersebut, terutama dalam hal kapasitas momen, lebar retak, dan defleksi pada kondisi beban layan, sehingga diperlukan studi eksperimental untuk memvalidasi apakah ketentuan desain yang ada untuk tulangan konvensional masih berlaku untuk tulangan berkekuatan tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental laboratorium dengan menguji delapan spesimen balok beton bertulang hingga runtuh, yang terdiri dari balok kontrol dengan tulangan Grade 420 (fy = 420 MPa) dan balok dengan tulangan *Grade 700* (fy = 700 MPa) dengan variasi rasio tulangan dan kuat tekan beton, serta mengukur parameter kapasitas momen ultimit, pola retak, lebar retak, dan defleksi pada setiap tingkat pembebanan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa balok dengan tulangan *Grade 700* mampu mencapai kapasitas momen yang setara dengan balok *Grade 420* namun dengan luas tulangan yang hanya 60 persen dari yang diperlukan pada balok *Grade 420*; lebar retak pada balok *Grade 700* ditemukan lebih besar dibandingkan balok Grade 420 pada tingkat beban layan yang sama namun masih berada di bawah batas yang diizinkan oleh kode desain untuk lingkungan terlindung (0,3 mm); serta rasio tulangan yang lebih rendah pada balok *Grade 700* memudahkan proses pengecoran dan mengurangi risiko terjadinya *honeycomb* serta segregasi agregat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Jingfeng et al., 2023) dari *Southeast University*, Tiongkok, yang dipublikasikan dalam jurnal *Structures* (Elsevier) adalah bahwa meskipun teknologi produksi baja tulangan dengan kekuatan leleh di atas 600 MPa telah tersedia secara komersial, penerapannya dalam praktik rekayasa masih sangat terbatas karena aturan dalam kode desain yang ada (seperti *ACI 318* yang membatasi kekuatan leleh tulangan maksimum hingga 550 MPa dan *Eurocode 2* yang hanya berlaku untuk tulangan dengan kekuatan leleh antara 400 MPa hingga 600 MPa) masih konservatif, sehingga diperlukan penelitian untuk mengkaji perilaku kolom beton bertulang dengan tulangan 700 MPa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dan numerik, dengan menguji 12 kolom beton bertulang persegi (dimensi 250 x 250 x 750 mm) yang diperkuat dengan tulangan HSR700 di bawah pembebanan aksial, membandingkannya dengan kolom yang menggunakan tulangan konvensional dengan variasi rasio tulangan longitudinal (ρl) dan rasio volume tulangan transversal (ρsh), serta dilanjutkan dengan pemodelan numerik elemen hingga menggunakan Abaqus untuk analisis parametrik. Kesimpulan dari penelitian ini

adalah bahwa penggunaan HSR700 secara signifikan meningkatkan kapasitas beban dan kemampuan deformasi kolom beton bertulang dibandingkan dengan tulangan konvensional; tingkat pemanfaatan kekuatan *(strength utilisation)* tulangan longitudinal HSR700 dapat ditingkatkan secara bertahap hingga 29,5 persen ketika rasio volume tulangan transversal meningkat dari 0,67 persen menjadi 1,26 persen;

9 Penelitian dengan judul Analisis Perkuatan Struktur Beton dengan Menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) Terhadap Biaya (Pranata et al., 2022) ini dilatarbelakangi oleh perlunya penambahan lantai pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Kediri akibat keterbatasan lahan, sehingga struktur beton bertulang eksisting harus dievaluasi kemampuannya dalam menahan beban tambahan, yang relevan dengan upaya peningkatan mutu dan efisiensi waktu pada pekerjaan Jembatan Baji Sumenep melalui penggunaan tulangan *Ultra High Strength Steel (UHSS)* yang memiliki kekuatan lebih tinggi dari baja konvensional. Metode yang digunakan meliputi evaluasi kuat nominal struktur berdasarkan SNI terbaru, pemodelan beban dengan program ETABS untuk mendapatkan kuat perlu, serta perhitungan perkuatan lentur dan geser menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) mengacu pada *ACI 440.2R-08*, yang kemudian dihitung biaya perkuatan berdasarkan volume kebutuhan dan harga satuan pekerjaan. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa perkuatan lentur balok diperlukan pada lantai 6 sebanyak 29 strip CFRP Tape (10 m^2) dan perkuatan geser pada lantai 1 dan 6 sebanyak 17 CFRP Wrap (6 m^2), dengan biaya total Rp38.239.799,36; hal ini mengindikasikan bahwa pada pekerjaan Jembatan Baji Sumenep, penggunaan material bermutu tinggi seperti *UHSS* berpotensi mengurangi kebutuhan perkuatan tambahan serta mengoptimalkan mutu dan waktu pelaksanaan dibandingkan dengan beton konvensional yang memerlukan perkuatan eksternal.

15 Penelitian dengan judul *Seismic performance of UHPC-HSC composite hollow bridge piers reinforced with high-strength steel bars* (Su et al., 2025) dilatarbelakangi oleh perlunya pengembangan sistem struktur jembatan tahan gempa yang lebih efisien dengan memanfaatkan material berkekuatan tinggi untuk mengurangi berat sendiri dan meningkatkan kapasitas deformasi. Metode yang digunakan adalah uji eksperimental siklik pada pilar komposit berongga yang terbuat dari *Ultra-High Performance Concrete* (UHPC) dan *High-Strength Concrete* (HSC) dengan tulangan *High-Strength Steel*, serta validasi melalui

analisis numerik yang merujuk pada 64 studi terkait. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa pilar komposit berongga UHPC-HSC dengan tulangan HSS memiliki kinerja seismik yang unggul dibandingkan pilar konvensional, dengan tulangan HSS terbukti tahan terhadap *fatigue* dan *buckling* pada struktur beton kekuatan tinggi, sehingga sangat relevan untuk penerapan pada struktur atas Jembatan Bungur yang memerlukan ketahanan terhadap beban dinamis.

Penelitian dengan judul E*xperimental Characterization of Ultrahigh-Performance Concrete Bridge Deck System* (Saleem Muhammad et al., 2015) dilatarbelakangi oleh tantangan dalam pembangunan dan penggantian dek jembatan yang memerlukan sistem konstruksi cepat dengan durabilitas tinggi, terutama pada jembatan dengan volume lalu lintas padat. Metode yang digunakan adalah uji eksperimental fatik dan statik pada sistem dek UHPC yang diperkuat dengan tulangan HSS, termasuk pengujian sambungan lidah-dan-alur antar panel prefabrikasi. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa sistem dek UHPC dengan tulangan HSS mampu menahan 2 juta siklus pembebanan berulang dengan kekuatan sisa 47% lebih tinggi dari beban target, serta koneksi lidah-dan-alur terbukti efektif mentransfer beban antar panel, sehingga memberikan acuan bagi desain alternatif Jembatan Bungur yang mengutamakan kecepatan pelaksanaan dan durabilitas jangka panjang.

Penelitian dengan judul *A Super Lightweight UHPC-HSS Deck Panel for Movable Bridges* (Ghasemi et al., 2016) dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan dek jembatan yang sangat ringan untuk jembatan bergerak (movable bridges) dan jembatan dengan keterbatasan kapasitas pondasi, yang tidak dapat dipenuhi oleh dek beton konvensional dengan tulangan biasa. Metode yang digunakan adalah uji lentur pada 5 spesimen dek UHPC dengan tulangan HSS untuk mengoptimalkan ketebalan, berat, dan kapasitas beban. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa optimasi desain dek UHPC-HSS menghasilkan ketebalan total hanya 102 mm dengan berat dek $\leq 1{,}0$ kN/m² untuk bentang stringer 1,2 m, membuktikan bahwa kombinasi UHPC dan HSS menghasilkan struktur ultra-ringan yang memenuhi persyaratan daktilitas dan kelayanan, sehingga relevan untuk optimalisasi berat struktur atas Jembatan Bungur yang berdampak pada efisiensi pondasi.

Penelitian dengan judul *Durable UHPC Columns with High-Strength Stee* (Aboukifa et al., n.d.) dilatarbelakangi oleh kebutuhan kolom jembatan yang tahan lama di lingkungan agresif dan zona seismik tinggi, di mana tulangan konvensional rentan terhadap korosi dan memiliki daktilitas terbatas. Metode

yang digunakan adalah uji confinement pada silinder UHPC dan uji siklik pada kolom skala penuh dengan variasi tulangan HSS Grade 100 (fy=690 MPa) dan tulangan konvensional sebagai pembanding. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa model confinement Mander perlu dimodifikasi untuk UHPC, dan tulangan HSS Grade 100 efektif menggantikan tulangan konvensional dengan rasio volume lebih rendah, menghasilkan kolom UHPC-HSS dengan daktilitas sangat baik serta rekomendasi desain praktis untuk aplikasi lapangan, sehingga menjadi acuan langsung untuk perencanaan pilar Jembatan Bungur jika dikombinasikan dengan beton mutu tinggi.

Penelitian dengan judul *Low-cycle fatigue performance of high-strength steel rebars in concrete bridge columns (Earthquake Engineering and Structural Dynamics)* (S. M. Aldabagh, 2021) ini dilatarbelakangi oleh perlunya identifikasi kondisi di mana tulangan *HSS Grade 550* dan *Grade 700* dapat mencapai kinerja seismik yang sebanding dengan tulangan benchmark *Grade 420*. Metode yang digunakan adalah pemodelan numerik kolom jembatan beton bundar yang dikekang dengan baik pada berbagai tingkat daktilitas perpindahan (2, 4, dan 6), jenis gempa *(crustal dan subduction),* serta rasio jarak *hoop* terhadap diameter tulangan longitudinal (4 dan 6). Kesimpulan penelitian menegaskan bahwa kode desain yang ada terlalu restriktif, dan mengusulkan penerapan batasan tertentu pada tingkat daktilitas perpindahan serta rasio jarak *hoop* untuk mempromosikan penggunaan tulangan HSS yang aman dan efisien, sehingga memberikan panduan bagi desain tulangan Jembatan Bungur di wilayah dengan potensi gempa.

Penelitian dengan judul *Cracking performance in the hogging moment region of HSS-UHPC continuous composite girder bridges* (He et al., 2024) dilatarbelakangi oleh tantangan kinerja retak pada daerah momen negatif dari jembatan girder komposit kontinu, di mana beton konvensional rentan terhadap retak tarik yang dapat mengurangi kekakuan dan durabilitas struktur. Metode yang digunakan adalah uji eksperimental pada delapan balok komposit baja-beton skala reduksi yang menggunakan *High Strength Steel* (HSS) dan *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) dengan variasi ketebalan dan lebar slab UHPC serta derajat sambungan geser pada antarmuka baja-beton. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa balok komposit HSS-UHPC yang dibebani momen negatif memiliki kinerja retak yang sangat baik, dengan peningkatan lebar slab dari 450 mm menjadi 550 mm mampu meningkatkan momen retak awal, kekakuan lentur, dan daktilitas lentur masing-masing sebesar 33,4%, 20,5%, dan 39,8%.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
1	S. Aldabagh et al. (2022)	*Low-cycle fatigue performance of high-strength steel rebars in concrete bridge columns (Earthquake Engineering and Structural Dynamics)*	Kombinasi eksperimental (uji low-cycle fatigue tulangan Grade 700 di bawah pembalikan regangan siklik) dan numerik.	Tulangan ASTM A1035 Grade 700 memiliki kinerja low-cycle fatigue memadai untuk gempa kerak bumi hingga daktilitas perpindahan 2; kode desain yang ada terlalu restriktif;
2	Eltahawy et al. (2009)	*Flexural behavior of concrete beams reinforced with high-strength steel bars (Grade 700) (Engineering Structures)*	Eksperimental laboratorium: pengujian 8 spesimen balok beton bertulang hingga runtuh, membandingkan balok kontrol Grade 420 (fy=420 MPa) dengan balok Grade 700 (fy=700 MPa),	Balok Grade 700 mencapai kapasitas momen setara dengan Grade 420 dengan luas tulangan hanya 60%; lebar retak lebih besar namun masih batas izin; rasio tulangan rendah memudahkan pengecoran dan mengurangi risiko honeycomb

Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan)

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
3	Jingfeng et al. (2023)	*Mechanical investigation and design of axially-loaded concrete columns reinforced with grade 700 MPa reinforcing bars (Structures, Elsevier)*	Eksperimental (12 kolom beton persegi 250x250x750 mm dengan tulangan HSR700 di bawah pembebanan aksial) dan numerik	Penggunaan HSR700 meningkatkan kapasitas beban dan deformasi kolom; tingkat pemanfaatan kekuatan tulangan longitudinal meningkat hingga 29,5% ketika ρsh naik dari 0,67% ke 1,26%;
4	Pranata et al. (2022)	Analisis Perkuatan Struktur Beton dengan Menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* dan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* Terhadap Biaya	Evaluasi kuat nominal berdasarkan SNI, perhitungan perkuatan lentur dan geser dengan CFRP mengacu ACI 440.2R-08	Perkuatan lentur balok lantai 6: 29 strip CFRP Tape (10 m^2); perkuatan geser lantai 1 dan 6: 17 CFRP Wrap (6 m^2); biaya total Rp38.239.799,36;

Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan)

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
5	Su et al. (2025)	*Seismic performance of UHPC-HSC composite hollow bridge piers reinforced with high-strength steel bars*	Uji eksperimental siklik pada pilar komposit berongga UHPC-HSC dengan tulangan HSS,	Pilar komposit berongga UHPC-HSC dengan tulangan HSS memiliki kinerja seismik unggul dibanding pilar konvensional; tulangan HSS tahan terhadap fatigue dan buckling
6	Saleem, M.A. & Mirmiran , A. (2015)	*Experiment-al Characterization of Ultrahigh-Performance Concrete Bridge Deck System*	Uji eksperimental fatik dan statik pada sistem dek UHPC dengan tulangan HSS, termasuk pengujian sambungan lidah-dan-alur antar panel prefabrikasi	Sistem dek UHPC-HSS mampu menahan 2 juta siklus pembebanan berulang dengan kekuatan sisa 47% lebih tinggi dari beban target; koneksi lidah-dan-alur efektif mentransfer beban antar panel

Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan)

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
7	Ghase-mi et al. (2016)	*A Super Lightweight UHPC-HSS Deck Panel for Movable Bridges*	Uji lentur pada 5 spesimen dek UHPC dengan tulangan HSS untuk optimasi ketebalan, berat, dan kapasitas beban	Optimasi desain menghasilkan ketebalan total 102 mm dengan berat dek ≤1,0 kN/m²; kombinasi UHPC dan HSS menghasilkan struktur ultra-ringan yang memenuhi daktilitas dan kelayanan
8	Aboukifa et al. (2019)	*Durable UHPC Columns with High-Strength Steel*	Uji confinement pada silinder UHPC dan uji siklik pada kolom skala penuh dengan variasi tulangan HSS Grade 100 (fy=690 MPa) dibanding tulangan konvensional	Model confinement Mander perlu dimodifikasi untuk UHPC; tulangan HSS Grade 100 efektif menggantikan tulangan konvensional dengan rasio volume lebih rendah; menghasilkan kolom UHPC-HSS

Sumber : Olahan Peneliti, 2026

Tabel 2.1 Peneltian Terdahulu (lanjutan)

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
9	S. M. Aldabagh (2021)	*Low-cycle fatigue performance of high-strength steel rebars in concrete bridge columns (Earthquake Engineering and Structural Dynamics)*	Pemodelan numerik kolom jembatan beton bundar yang dikekang dengan baik pada variasi daktilitas perpindahan (2,4,6), jenis gempa (crustal/subduction), rasio jarak hoop (4 dan 6)	Kode desain yang ada terlalu restriktif; diusulkan batasan pada tingkat daktilitas perpindahan dan rasio jarak hoop untuk penggunaan HSS yang aman dan efisien; memberikan panduan desain tulangan di wilayah potensi gempa
10	Khan, M.A. (2015)	*Accelerated Bridge Construction: Best Practices and Techniques*	Studi literatur dan best practices	Landasan teoritis implementasi metode *Accelerated Bridge Construction* untuk Jembatan Bungur

Sumber: *Olahan Peneliti*, 2026

2.2. Dasar Teori

Bagian ini menyajikan landasan teoritis yang menjadi dasar analisis dalam penelitian ini. Teori-teori yang diuraikan meliputi konsep dasar struktur beton bertulang untuk jembatan, karakteristik material beton dan baja tulangan (khususnya *UHSS*), metode pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725:2016,

teori perencanaan girder beton pracetak, konsep *Accelerated Bridge Construction*, serta rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan.

2.2.1. Konsep Dasar Struktur Beton Bertulang

Beton bertulang merupakan material komposit yang menggabungkan sifat-sifat beton yang kuat terhadap tekanan dengan baja tulangan yang kuat terhadap tarikan. Prinsip dasar dari struktur beton bertulang adalah bahwa beton dan baja tulangan bekerja sama secara komposit untuk menahan beban yang bekerja pada struktur. Kolaborasi ini dimungkinkan oleh tiga faktor utama: (1) adanya lekatan (bond) antara permukaan baja tulangan dengan beton di sekitarnya, (2) nilai koefisien muai panas beton dan baja yang hampir sama (sekitar 10^{-5} sampai 10^{-6} per °C), dan (3) reaksi kimia pada permukaan baja tulangan yang menciptakan lapisan pasif yang melindungi dari korosi.

Dalam perencanaan struktur beton bertulang, terdapat dua kondisi batas yang harus dipenuhi, yaitu kondisi batas ultimit (*Ultimate Limit State* - ULS) dan kondisi batas layan (*Serviceability Limit State* - SLS). Kondisi batas ultimit berkaitan dengan kekuatan struktur dalam menahan beban maksimum sebelum mengalami keruntuhan, meliputi kapasitas lentur, kapasitas geser, dan kapasitas aksial. Kondisi batas layan berkaitan dengan kinerja struktur pada kondisi pembebanan normal sehari-hari.

2.2.2. Beton

Kuat tekan beton (f'c) merupakan parameter terpenting dalam perencanaan struktur beton. Kuat tekan beton ditentukan berdasarkan uji tekan pada silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 28 hari, sesuai dengan SNI 1974:2011.

$$f_c' = \frac{P_{max}}{A_c} \quad \text{..... (2.1)}$$

di mana:

- f'c = kuat tekan beton (MPa)
- Pmax = beban maksimum yang dapat ditahan (N)
- Ac = luas penampang silinder (mm²)

Modulus elastisitas beton (Ec) merupakan parameter yang menggambarkan hubungan tegangan-regangan beton pada daerah elastis.

SNI 2847:2019 memberikan rumus empiris untuk menghitung modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \quad \text{..... (2.2)}$$

(Ec dan f'c dalam satuan MPa)

Untuk beton dengan berat jenis (wc) yang berbeda, digunakan rumus:

$$E_c = 0{,}043 \times w_c^{1{,}5} \times \sqrt{f_c'} \quad \text{..... (2.3)}$$

(wc dalam kg/m³, f'c dalam MPa)

Modulus keruntuhan beton (fr) atau modulus of rupture adalah kuat tarik lentur beton yang digunakan dalam perhitungan lendutan jangka panjang dan lebar retak.

$$f_r = 0{,}7\sqrt{f_c'} \quad \text{..... (2.4)}$$

(SNI 2847:2019)

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi L d} \quad \text{..... (2.5)}$$

di mana:

- fsp = kuat tarik belah beton (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- L = panjang silinder (mm)
- d = diameter silinder (mm)

Regangan beton pada saat mencapai kuat tekan maksimum (εc') adalah sekitar 0,002 hingga 0,003.

$$\varepsilon_c' = \frac{1{,}7 f_c'}{E_c} \quad \text{..... (2.6)}$$

Hubungan tegangan-regangan beton untuk analisis penampang dapat didekati dengan berbagai model, salah satunya adalah parabola Hognestad:

Rumus 2.7 - Hubungan Tegangan-Regangan Beton (Hognestad)

$$f_c = f_c' \left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^2 \right] \quad \text{..... (2.7)}$$

untuk εc ≤ ε0, dan:

$$f_c = f_c'[1 - 0{,}15\left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_0}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_0}\right)]$$

untuk ε0 < εc ≤ εcu

di mana ε0 adalah regangan pada saat kuat tekan maksimum (≈0,002) dan εcu adalah regangan ultimit beton (≈0,003).

2.2.3. Baja Tulangan Konvensional

Baja tulangan konvensional yang umum digunakan di Indonesia adalah baja tulangan dengan mutu BJTS 40 (fy = 400 MPa) sesuai SNI 2052:2017. Sifat mekanis utama baja tulangan meliputi:

$E_s = 200.000$ Mpa …….…... (2.8)
(nilai standar untuk semua mutu baja tulangan)

$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{200.000} = 0{,}002$……...……(2.9)
$\varepsilon_{su} \approx 0{,}1$ hingga $0{,}15(10\% - 15\%)$……...……(2.10)
Hubungan tegangan-regangan baja tulangan dapat dimodelkan sebagai elastis-perfectly plastic:

$f_s = E_s \times \varepsilon_s$untuk $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y$
$f_s = f_y$untuk $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ ……(2.11)

2.2.4. Baja Tulangan *Ultra High Strength Steel (UHSS)*

Ultra High Strength Steel (UHSS) merupakan baja tulangan dengan kuat leleh tinggi (800-1200 MPa) yang memiliki keunggulan dalam hal kapasitas dan ketahanan korosi. Spesifikasi teknis *UHSS* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada ASTM A1035/A1035M.

$f_{y,UHSS} = 800$ Mpa ……(2.12)
(batas bawah untuk Kelas 800)

$\varepsilon_{y,UHSS} = \frac{f_{y,UHSS}}{E_s} = \frac{800}{200.000} = 0{,}004$……...……(2.13)
UHSS tidak memiliki daerah leleh yang jelas (yield plateau) seperti baja konvensional, sehingga kuat leleh didefinisikan pada regangan offset 0,2% (proof stress).

$f_{u,UHSS} \geq 1{,}15 \times f_{y,UHSS} = 920$ Mpa.....(2.14)
(untuk Kelas 800)

$\frac{f_u}{f_y} \geq 1{,}15$.....(2.15)
(nilai ini lebih rendah dibanding baja konvensional yang mencapai 1,4, mengindikasikan daktilitas yang lebih terbatas)

2.2.5. Pembebanan Jembatan berdasarkan SNI 1725:2016

SNI 1725:2016 tentang "Pembebanan untuk Jembatan" merupakan standar nasional yang mengatur jenis-jenis beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan. Beban-beban tersebut meliputi:

A. Beban Mati (MS - Dead Load)

Beban mati adalah beban yang berasal dari berat sendiri struktur jembatan dan elemen-elemen non-struktural yang bersifat permanen.

$Q_{MS} = \gamma_c \times A_c + \gamma_s \times A_s$ .....(2.16)
di mana:

- γc = berat jenis beton (24 kN/m³ untuk beton normal, 14-19 kN/m³ untuk beton pracetak dengan agregat ringan)
- Ac = luas penampang beton (m²)
- γs = berat jenis baja (78,5 kN/m³)
- As = luas penampang baja (m²)

Beban mati tambahan meliputi berat lapisan aspal, trotoar, railing, dan utilitas.

$Q_{MA} = \gamma_{aspal} \times t_{aspal} \times b_{jalan} + \gamma_{beton} \times A_{trotoar} + q_{railing}$.....(2.17)

B. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT). Intensitas BTR bergantung pada panjang bentang jembatan.

- Beban Terbagi Rata (BTR) - Bentang L ≤ 30 m

$q = 9{,}0$ kPa .....(2.18)

- Beban Terbagi Rata (BTR) - Bentang L > 30 m

$$q = 9{,}0 \times \left(0{,}5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad \text{.....(2.19)}$$

di mana L adalah panjang bentang (m), dengan nilai q minimum 3,0 kPa.

- Beban Garis (BGT)

BGT diambil sebesar 49 kN/m yang bekerja pada lebar kontak 0,5 m (intensitas 98 kN/m').

$$p = 49 \text{ kN/m} \quad \text{.....(2.20)}$$

- Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk BGT

Untuk pembebanan truk "T", faktor beban dinamis diberikan sebagai fungsi panjang bentang:

FBD untuk pembebanan nominal lajur "D" (BGT):

a. $FBD = 1 + \frac{40}{L+40}$ (dalam persen, maksimum 30%) .....(2.21)

2.2.6. Beban Truk "T" (TT)

Beban truk "T" adalah beban kendaraan berat dengan konfigurasi sumbu tertentu yang dianggap paling kritis.

- Gandar depan: 50 kN (2 roda dengan bidang kontak 0,2 m × 0,5 m)
- Gandar tengah: 200 kN (2 roda dengan bidang kontak 0,35 m × 0,5 m)
- Gandar belakang: 200 kN (2 roda dengan bidang kontak 0,35 m × 0,5 m)

Jarak antar gandar: 4,0 m (depan-tengah) dan 4,0-9,0 m (tengah-belakang).

2.2.7 Beban Rem (TB)

Gaya rem diperhitungkan sebesar 5% dari beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis dalam satu lajur.

$$T_{TB} = 0{,}05 \times (q \times L + p) \quad \text{.....(2.21)}$$

(q dalam kN/m, L dalam m, p dalam kN)

2.2.8 Beban Angin (EW)

Beban Angin pada Struktur

$$W_{EW} = 0{,}0006 \times V_w^2 \times A_b \times C_d \quad \text{.....(2.22)}$$

di mana:

- Vw = kecepatan angin rencana (m/s) → minimum 25 m/s
- Ab = luas area yang terkena angin (m²)
- Cd = koefisien seret (1,3 untuk jembatan rangka, 1,2 untuk jembatan gelagar)

2.2.9 Beban Gempa (EQ)

Gaya Geser Dasar Gempa

$V_{EQ} = C_{SM} \times I \times W_t$ ……(2.23)

di mana:

- CSM = koefisien respons gempa elastis maksimum
- I = faktor kepentingan (1,0 - 1,5)
- Wt = berat total struktur jembatan (kN)

- Percepatan respons spektral

$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$ ……..…(2.24)

di mana SMS adalah parameter respons percepatan pada periode pendek.

2.2.10 Perencanaan Girder Beton Pracetak

Girder pracetak merupakan elemen struktur yang dicetak di lokasi *precast yard* dan kemudian diangkut ke lokasi proyek untuk dipasang. Keuntungan penggunaan girder pracetak meliputi kontrol kualitas yang lebih baik, percepatan waktu pelaksanaan, dan minimalisasi gangguan lalu lintas.

A. Analisis Penampang Balok T (T-Girder)

Untuk balok T, lebar efektif flens (be) ditentukan berdasarkan persyaratan SNI 2847:2019.

- Lebar Efektif Flens Balok T

- Untuk balok dalam: be ≤ L/4
- Untuk balok tepi: be ≤ bw + (L/12)
- be ≤ bw + 6hf (hf = tebal flens)

- be ≤ jarak antar pusat balok (untuk balok interior)

  dengan L adalah panjang bentang balok.

  Jika c ≤ hf (garis netral berada di dalam flens), maka balok dianalisis sebagai balok persegi dengan lebar be.

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0{,}85 \times f_c' \times b_e}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{.....(2.25)}$$

2.2.11 Analisis Kapasitas Geser

SNI 2847:2019 memberikan ketentuan untuk perhitungan kuat geser nominal (Vn) sebagai jumlah kontribusi beton (Vc) dan tulangan geser (Vs).

- Kuat Geser Beton (Vc)

Untuk komponen yang hanya dibebani geser dan lentur:

$$V_c = 0{,}17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \text{.....(2.26)}$$

di mana:

- λ = faktor modifikasi beton (1,0 untuk beton normal)
- bw = lebar badan (mm)
- d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

Untuk komponen yang memikul gaya aksial tekan (Nu):

$$V_c = 0{,}17\left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \text{ .....(2.27)}$$

- Kuat Geser Tulangan (Vs)

Untuk tulangan geser vertikal (sengkang):

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \text{ .....(2.28)}$$

di mana:

- Av = luas tulangan geser dalam jarak s (mm²)
- fyt = kuat leleh tulangan geser (MPa)
- s = jarak antar sengkang (mm)

- Batasan Kuat Geser Maksimum

SNI 2847:2019 membatasi kuat geser maksimum untuk mencegah keruntuhan geser getas:

$$V_s \leq 0{,}66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \quad \text{.....(2.29)}$$

- Jumlah Tulangan Geser Minimum

Luas tulangan geser minimum harus memenuhi:

$$A_{v,min} = 0{,}062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{b_w \times s}{f_{yt}} \quad \text{.....(2.30)}$$

Namun tidak boleh kurang dari:

$$A_{v,min} = \frac{0{,}35 \times b_w \times s}{f_{yt}} \quad \text{.....(2.31)}$$

2.2.12 Kontrol Lendutan

Lendutan pada girder jembatan dibatasi untuk menjamin kenyamanan pengguna dan mencegah kerusakan pada komponen non-struktural.

- Lendutan Elastis Maksimum untuk Balok Sederhana (Beban Terpusat)

$$\delta_{max} = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I} \quad \text{.....(2.32)}$$

- Lendutan Elastis Maksimum untuk Balok Sederhana (Beban Merata)

$$\delta_{max} = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} \quad \text{.....(2.33)}$$

2.2.13 *Accelerated Bridge Construction*

Accelerated Bridge Construction adalah pendekatan konstruksi jembatan yang menggunakan perencanaan, desain, material, dan metode pelaksanaan inovatif untuk mengurangi waktu konstruksi di lokasi. Komponen utama *Accelerated Bridge Construction* meliputi prefabricated bridge elements and systems, metode pengangkatan atau pemasangan cepat, sambungan berkinerja tinggi, perencanaan logistik, dan pengaturan lalu lintas. Pada jembatan bentang pendek, *Accelerated Bridge Construction* dapat diterapkan tanpa teknologi yang terlalu kompleks melalui penggunaan girder pracetak dan panel pelat pracetak.

2.2.14. Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)

Program Evaluation and Review Technique (PERT) adalah metode analisis jaringan kerja yang digunakan untuk merencanakan dan mengevaluasi pekerjaan yang memiliki ketidakpastian durasi. Berbeda dengan perhitungan deterministik yang hanya menggunakan satu durasi, PERT menggunakan tiga estimasi waktu pada setiap kegiatan, yaitu waktu optimis (a), waktu paling mungkin (m), dan waktu pesimis (b).

Dalam penelitian ini, PERT digunakan untuk menjawab rumusan masalah kedua, yaitu membandingkan durasi pekerjaan Jembatan Bungur antara metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction*. Durasi paling mungkin (m) diambil dari durasi rencana pekerjaan, sedangkan durasi optimis dan pesimis ditetapkan berdasarkan kemungkinan percepatan dan risiko keterlambatan masing-masing kegiatan.

t_e = (a + 4m + b) / 6 ..... (2.34)

t_e adalah waktu harapan kegiatan; a adalah waktu optimis; m adalah waktu paling mungkin; b adalah waktu pesimis.

sigma_i^2 = ((b - a) / 6)^2 ..... (2.35)

sigma_i^2 adalah varians durasi kegiatan yang menunjukkan tingkat ketidakpastian waktu.

ES_i = maks(EF pendahulu) ..... (2.36)

ES_i adalah waktu mulai paling awal kegiatan i

EF_i = ES_i + t_ei ..... (2.37)

EF_i adalah waktu selesai paling awal kegiatan i.

LF_i = min(LS penerus) ..... (2.38)

LF_i adalah waktu selesai paling lambat tanpa menunda durasi proyek.

LS_i = LF_i - t_ei ..... (2.39)

LS_i adalah waktu mulai paling lambat kegiatan i.

Slack_i = LS_i - ES_i = LF_i - EF_i ..... (2.40)

Slack menunjukkan kelonggaran waktu. Kegiatan dengan slack = 0 berada pada lintasan kritis.

TE = Σ t_e pada lintasan kritis ..... (2.41)

TE adalah durasi harapan proyek berdasarkan jumlah waktu harapan pada lintasan kritis.

sigma_p = sqrt(Σ sigma_i^2 pada lintasan kritis) ..... (2.42)

sigma_p adalah simpangan baku durasi proyek berdasarkan varians kegiatan pada lintasan kritis.

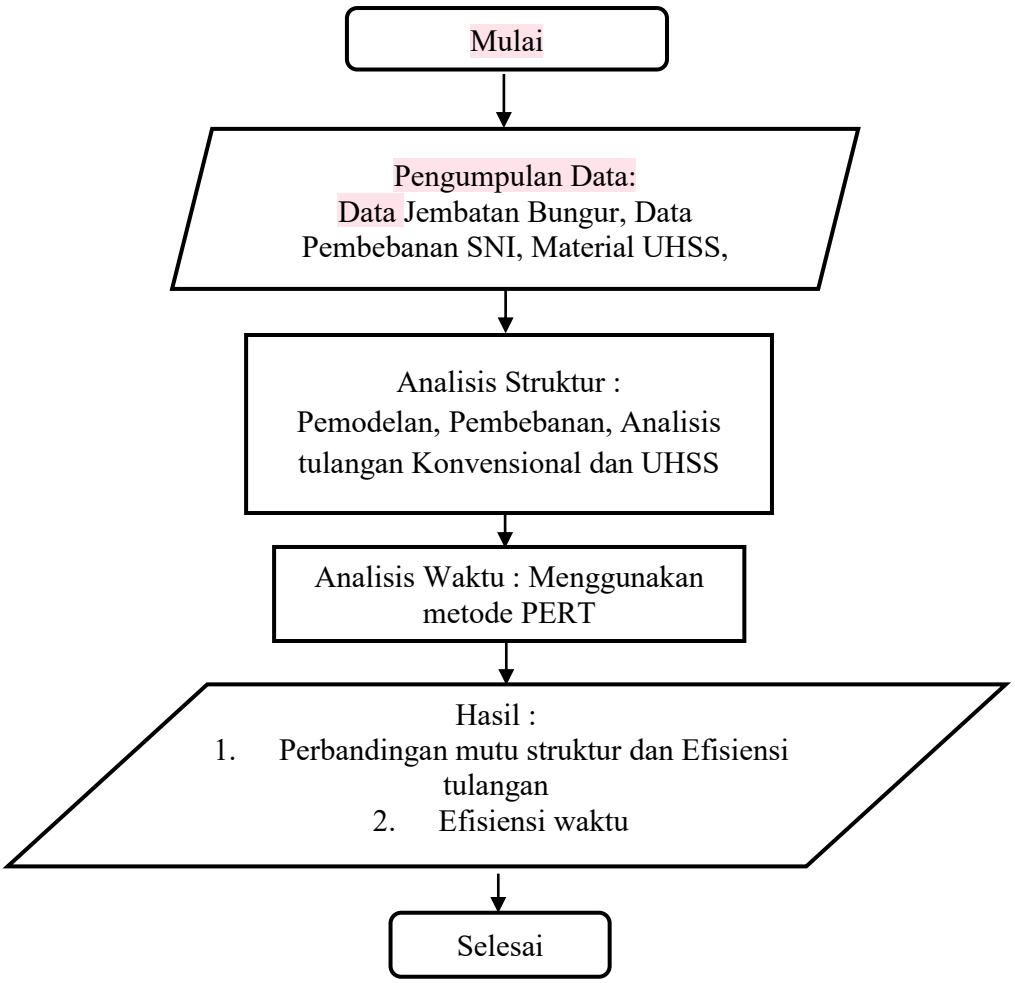
Z = (T_target - TE) / sigma_p ..... (2.43)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

33

Bagan alir mengenai tahapan penelitian yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Diagram alir penelitian yang disajikan pada Gambar 3.1 dirancang sebagai pedoman pelaksanaan penelitian yang sistematis, logis, dan terstruktur sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

3.2. Subyek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah struktur atas Jembatan Bungur yang terletak di Kabupaten Pamekasan, Provinsi Jawa Timur. Adapun ruang lingkup subjek penelitian adalah girder jembatan yang berfungsi menyalurkan beban dari lantai kendaraan ke struktur bawah. Tipe girder yang dianalisis adalah T-girder beton bertulang pracetak sesuai dengan kondisi eksisting jembatan.

Penelitian ini tidak melibatkan subjek manusia (responden) karena tidak dilakukan survei persepsi, wawancara, atau kuesioner. Seluruh analisis berbasis pada data sekunder dan pemodelan komputasional.

3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian

Jembatan Bungur, Kabupaten Pamekasan, Provinsi Jawa Timur. Jembatan ini melintasi Sungai Bungur dan merupakan akses penting penghubung antar wilayah di Kabupaten Pamekasan.

3.4. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), dan instrumen pendukung lainnya.

3.4.1. Perangkat Keras (Hardware)

1. Unit Komputer: Spesifikasi minimum yang digunakan adalah prosesor Intel Core i7 atau setara, RAM 16 GB, dan ruang penyimpanan 512 GB SSD untuk menjalankan software analisis struktur dan manajemen proyek.
2. Perangkat Pendukung: Printer, scanner, eksternal hard drive untuk backup data.

3.4.2. Perangkat Lunak (Software)

29

1. Microsoft Word 2019: Digunakan untuk membuat laporan.
2. Microsoft Excel 2019: Digunakan untuk perhitungan struktur manual, dan rekapitulasi data.

3. AutoCAD 2025: Digunakan untuk visualisasi geometri penampang girder dan detail penulangan (jika diperlukan).
4. Mendeley Desktop: Digunakan untuk manajemen referensi dan sitasi dengan gaya APA Style 7th edition.

22

3.5. Prosedur Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu data yang diperoleh dari dokumen, laporan, publikasi, dan sumber-sumber lain yang telah tersedia. Prosedur pengumpulan data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

3.5.1. Pengumpulan Data Jembatan Bungur

1. Permohonan Data: Peneliti mengajukan surat permohonan izin penelitian dan pengambilan data ke Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur UPT Pengelolaan Jalan dan Jembatan (PJJ) Pamekasan.
2. Pengumpulan Dokumen Teknis: Setelah izin diperoleh, peneliti mengumpulkan dokumen-dokumen teknis terkait Jembatan Bungur, meliputi:
   - Spesifikasi teknis material (mutu beton, mutu baja tulangan eksisting)
   - Laporan hasil survei dan inspeksi kondisi jembatan Januari 2026 (termasuk dokumentasi foto keretakan)
   - Data RAB (Rencana Anggaran Biaya) untuk pekerjaan rehabilitasi (jika tersedia)
   - Data jadwal pelaksanaan (*time schedule*) rencana rehabilitasi (jika tersedia)

3.5.2. Pengumpulan Data Standar dan Referensi

1. Seluruh standar SNI yang relevan (SNI 1725:2016, SNI 7833:2012, SNI 2052:2017, SNI 2847:2019) diunduh dari website resmi Badan Standardisasi Nasional (BSN) atau sumber legal lainnya.
2. Peneliti melakukan pencarian (searching) pada basis data ilmiah seperti Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, dan Portal Garuda.
3. Data teknis *UHSS* (kuat leleh 800 MPa, kuat tarik 1000 MPa, modulus elastisitas, komposisi kimia) dikumpulkan dari ASTM A1035/A1035M dan publikasi pabrikan material.

3.5.3. Instrumen Pengumpulan Data

Untuk memudahkan pengumpulan dan pencatatan data, peneliti menyiapkan form pencatatan data (*data collection form*) yang mencakup:

1. Form Data Geometri Jembatan: Mencakup panjang bentang, lebar jembatan, dimensi girder (tinggi, lebar badan, lebar flens, tebal flens), tebal pelat lantai, dimensi diafragma.
2. Form Data Material: Mencakup mutu beton (f'c), mutu baja tulangan (fy), spesifikasi *UHSS* yang digunakan.
3. Form Data RAB: Mencakup rincian volume pekerjaan, harga satuan, dan biaya total untuk setiap item pekerjaan rehabilitasi.
4. Form Data Jadwal: Mencakup durasi normal setiap kegiatan, hubungan ketergantungan antar kegiatan (predecessor-successor), serta sumber daya yang digunakan.

3.6. Teknik Analisis Data.

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dalam dua bagian utama, yaitu analisis struktur dan analisis waktu pelaksanaan dengan metode *Accelerated Bridge Construction*.

3.6.1. Analisis Struktur

Dalam penelitian ini, Rumus 2.1 sampai dengan Rumus 2.33 digunakan sebagai dasar perhitungan teknis untuk menganalisis mutu struktur gelagar Jembatan Bungur, baik pada skenario tulangan konvensional BJTS 420B maupun pada skenario tulangan *Ultra High Strength Steel (UHSS)*. Rumus-rumus tersebut digunakan secara berurutan mulai dari penentuan sifat material, pembebanan jembatan, kapasitas penampang, kapasitas geser, sampai kontrol lendutan. Dengan demikian, hasil perhitungan struktur dapat menunjukkan apakah gelagar memenuhi persyaratan kekuatan dan kelayanan.

Rumus 2.1 digunakan untuk menentukan kuat tekan beton berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dan luas penampangnya. Dalam penelitian ini, kuat tekan beton menjadi dasar penetapan mutu beton K-500 atau f'c = 41,50 MPa. Nilai tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan parameter beton lainnya, seperti modulus elastisitas, modulus keruntuhan, dan kapasitas tekan beton pada penampang gelagar.

Rumus 2.2 dan Rumus 2.3 digunakan untuk menghitung modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas menunjukkan tingkat kekakuan beton terhadap perubahan bentuk akibat beban. Nilai ini berpengaruh langsung terhadap perhitungan lendutan gelagar. Semakin besar modulus elastisitas, semakin kaku elemen struktur sehingga lendutan yang terjadi menjadi lebih kecil.

Rumus 2.4 dan Rumus 2.5 digunakan untuk memperkirakan kuat tarik beton, baik dalam bentuk modulus keruntuhan maupun kuat tarik belah. Meskipun gaya tarik utama pada beton bertulang dipikul oleh baja tulangan setelah beton retak, kuat tarik beton tetap diperlukan untuk memahami perilaku awal retak dan kondisi layan struktur.

Rumus 2.6 dan Rumus 2.7 digunakan untuk menjelaskan hubungan tegangan dan regangan beton. Rumus ini menjadi dasar dalam memahami perilaku beton pada kondisi elastis sampai mendekati ultimit. Pada analisis penampang beton bertulang, regangan beton digunakan untuk menentukan posisi garis netral, blok tekan beton, serta keseimbangan gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan.

Rumus 2.8 sampai dengan Rumus 2.11 digunakan untuk menjelaskan sifat mekanis baja tulangan konvensional. Rumus-rumus tersebut digunakan untuk menentukan modulus elastisitas baja, regangan leleh, kuat leleh, dan hubungan tegangan-regangan baja. Pada skenario konvensional, kuat leleh baja menjadi dasar perhitungan kebutuhan luas tulangan tarik dan kapasitas lentur gelagar.

Rumus 2.12 sampai dengan Rumus 2.15 digunakan untuk menjelaskan karakteristik baja tulangan *UHSS*. Rumus-rumus tersebut membedakan perilaku *UHSS* dari baja tulangan konvensional, terutama karena *UHSS* memiliki kuat leleh lebih tinggi namun perlu dikontrol dari sisi daktilitas, lebar retak, dan perilaku layan. Dalam penelitian ini, rumus tersebut mendukung pemilihan parameter *UHSS* sehingga pengurangan jumlah tulangan tetap memenuhi kapasitas struktur yang disyaratkan.

Rumus 2.16 sampai dengan Rumus 2.20 digunakan untuk menghitung beban utama pada jembatan, yaitu beban mati, beban mati tambahan, dan beban lalu lintas. Beban mati berasal dari berat sendiri gelagar, pelat lantai, dan diafragma, sedangkan beban mati tambahan berasal dari elemen nonstruktural seperti lapisan aspal, trotoar, railing, dan genangan air. Beban lalu lintas dihitung agar struktur mampu memikul beban kendaraan selama umur layan jembatan.

Rumus 2.21 digunakan untuk menghitung gaya rem kendaraan. Gaya rem perlu diperhitungkan karena kendaraan tidak hanya menghasilkan beban vertikal, tetapi juga gaya horizontal akibat perlambatan. Pada struktur jembatan, gaya rem dapat menimbulkan tambahan momen dan gaya geser yang harus dimasukkan ke dalam kombinasi pembebanan.

Rumus 2.22 digunakan untuk menghitung beban angin pada struktur jembatan. Beban angin diperhitungkan terhadap bidang struktur dan kendaraan yang terkena angin. Dalam penelitian ini, beban angin menjadi salah satu beban lateral yang mempengaruhi momen dan gaya geser pada gelagar.

Rumus 2.23 dan Rumus 2.24 digunakan untuk menghitung pengaruh gempa pada struktur jembatan. Perhitungan ini bertujuan memastikan bahwa gelagar tetap aman terhadap pengaruh beban dinamis akibat percepatan tanah. Nilai gaya gempa kemudian dimasukkan ke dalam kombinasi pembebanan ultimit untuk memperoleh momen dan gaya geser rencana.

Rumus 2.25 digunakan untuk menganalisis penampang balok T atau T-girder. Rumus ini membantu menentukan apakah garis netral berada di dalam flens atau melewati badan gelagar. Penentuan ini penting karena mempengaruhi cara perhitungan kapasitas lentur nominal penampang.

Rumus 2.26 sampai dengan Rumus 2.31 digunakan untuk menghitung kapasitas geser gelagar. Kapasitas geser terdiri atas kontribusi beton dan kontribusi tulangan geser. Rumus tersebut digunakan untuk memastikan bahwa gaya geser ultimit akibat kombinasi beban masih lebih kecil daripada kapasitas geser yang tersedia. Dalam penelitian ini, rumus geser digunakan untuk membandingkan kebutuhan sengkang pada gelagar konvensional dan gelagar *UHSS*.

Rumus 2.32 dan Rumus 2.33 digunakan untuk menghitung lendutan elastis pada balok sederhana akibat beban terpusat dan beban merata. Lendutan dihitung agar gelagar tidak hanya kuat terhadap beban ultimit, tetapi juga memenuhi syarat kelayanan. Hasil lendutan maksimum dibandingkan dengan lendutan izin untuk mengetahui apakah struktur masih memenuhi kenyamanan dan keamanan layan.

3.6.2. Analisis waktu

Analisis waktu dilakukan dengan menyusun Work Breakdown Structure (WBS) pekerjaan jembatan, menentukan hubungan ketergantungan antar kegiatan, menetapkan tiga estimasi waktu PERT, menghitung durasi harapan dan varians setiap kegiatan, serta menentukan lintasan kritis melalui forward pass dan backward pass.

Tahapan analisis waktu adalah sebagai berikut: (1) mengidentifikasi kegiatan metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction*; (2) menetapkan predecessor dan successor; (3) menentukan durasi optimis (a), paling mungkin (m), dan pesimis (b); (4) menghitung te dan varians; (5) menghitung ES, EF, LS, LF, dan slack; (6) menentukan lintasan kritis; (7) menghitung probabilitas penyelesaian dengan Z-score; dan (8) membandingkan durasi harapan serta penghematan waktu antara metode cast in situ dan *Accelerated Bridge Construction*.

Pada metode cast in situ, jaringan kerja disusun berurutan karena pekerjaan utama dilakukan di lokasi dan memiliki ketergantungan kuat antara pembongkaran, bekisting, pembesian, pengecoran, curing, dan pekerjaan akhir. Pada metode *Accelerated Bridge Construction*, beberapa kegiatan dapat berjalan paralel, terutama fabrikasi elemen pracetak dan persiapan site, sehingga analisis PERT diperlukan untuk memperlihatkan pengaruh paralelisasi terhadap lintasan kritis.

Durasi yang digunakan dalam PERT bersifat akademik dan tidak menggantikan jadwal kontrak. Namun, hasilnya dapat digunakan untuk memahami sensitivitas waktu, risiko keterlambatan, peluang pencapaian target, dan manfaat percepatan metode *Accelerated Bridge Construction* pada pekerjaan Jembatan Bungur.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Deskripsi Data

Bab ini menyajikan analisis data dan pembahasan berdasarkan data pemeriksaan rutin Jembatan Bungur, data survei kondisi jalan Link 119, parameter struktur, perhitungan tulangan konvensional dan *UHSS*, serta perbandingan jadwal metode *cast in situ* dan *Accelerated Bridge Construction*. Pembahasan diarahkan untuk menjawab tiga rumusan masalah penelitian, yaitu mutu struktur, penerapan *Accelerated Bridge Construction*, dan penghematan waktu.

Tabel 4.1 Data Dasar Jembatan Bungur

Uraian	Data
Nama jembatan	Jembatan Bungur
Ruas	Bts. Kota Pamekasan - Sotabar (35.118)
Lokasi	KM Surabaya 138+635
Panjang jembatan	15,00 m
Jumlah bentang	1 bentang
Tanggal pemeriksaan	22 Januari 2026
Instansi pengelola	UPT Pengelolaan Jalan dan Jembatan Pamekasan

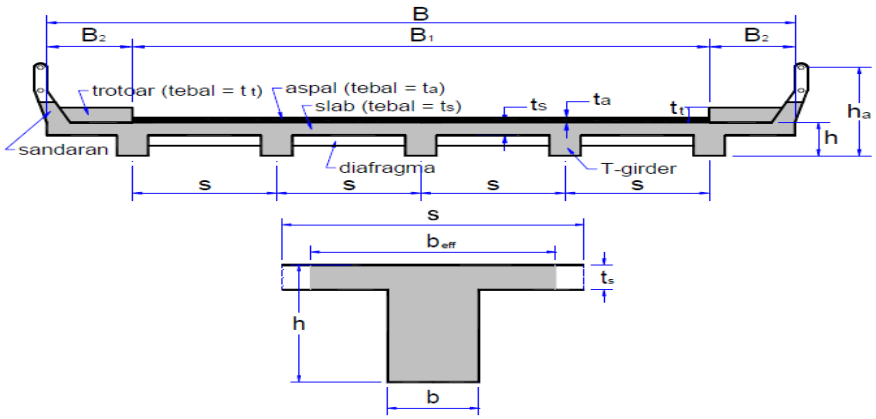
Sumber: Laporan Pemeriksaan Rutin Jembatan Tahun 2026 Wilayah Pamekasan, diolah peneliti, 2026

Data tersebut menunjukkan bahwa Jembatan Bungur merupakan jembatan bentang pendek. Jembatan bentang pendek sangat cocok untuk dianalisis dengan metode *Accelerated Bridge Construction* karena elemen struktur atas dapat dibuat sebagai unit pracetak yang relatif mudah diangkut dan dipasang. Kondisi ini juga

membuat penggunaan *UHSS* menarik karena pengurangan jumlah tulangan dapat meningkatkan kualitas fabrikasi gelagar.

4.1.1. Perhitungan Struktur Konvensional (BjTS 420)

A. Data Struktur Atas



Gambar 4.1 Bagian jembatan tulangan UHSS

Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026

Panjang bentang jembatan	L	=	15,00	m
Lebar jalan (jalur lalu-lintas)	B1	=	7,00	m
Lebar trotoar	B2	=	1,00	m
Lebar total jembatan	B	=	9,00	m
Jarak antara Girder	s	=	2,50	m
Dimensi Girder :	b	=	0,60	m
	H	=	1,00	m
Dimensi Diafragma :	bd	=	0,30	m
	hd	=	0,50	m
Tebal slab lantai jembatan	ts	=	0,20	m
Tebal lapisan aspal + overlay	ta	=	0,10	m
Tinggi genangan air hujan	th	=	0,05	m
Tinggi bidang samping	ha	=	1,45	m
Jumlah balok diafragma sepanjang L,	nd	=	5	bh
Jarak antara balok diafragma,	sd	=	3	m

B. Material Struktur

Mutu beton :	K	- 500	
Kuat tekan beton,	fc'	= 41,50	MPa
Modulus elastik,	Ec	= 30277,6	MPa
Angka poisson	u	= 0,20	
Modulus geser	G	= 12616	MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	α	= 1,0,E-05	°C
Untuk baja tulangan dengan, Ø > 12 mm :	U -	42	
Tegangan leleh baja,	fy	= 420	Mpa
Untuk baja tulangan dengan Ø ≤ 12 mm :	U -	24	
Tegangan leleh baja,	fy	= 240	Mpa
Specific Gravity :			
Berat beton bertulang,	wc	= 25,0	kN/m^3
Berat beton tidak bertulang	w'c	= 24,0	kN/m^3
Berat aspal padat,	wa	= 22,0	kN/m^3
Berat jenis air,	ww	= 9,80	kN/m^3

C. Analisis Beban

1. Berat Sendiri (MS)

Faktor beban ultimit : KMS = 1,2

Berat sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap.

Panjang bentang Girder,	L	=	15,00	m
Berat satu balok diafragma,	Wd	=	5,625	kN
Jumlah balok diafragma sepanjang bentang L,	nd	=	5	bh
Beban diafragma pada Girder,	Qd	=	1,875	kN/m

Tabel 4.2 Beban berat sendiri pada Girder Balok T BjTS 420

Jenis	b	h	Berat	Beban
	(m)	(m)	(kN/m3)	(kN/m)
plat lantai	2,50	0,20	25,00	12,50
Girder	0,60	0,80	25,00	12,00
Diafragma			Qd =	1,88
			Q_{MS} =	26,38

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat berat sendiri (MS) :

VMS	=	1/2 x QMS x L	=	197,813	kN
MMS	=	1/8 x QMS x L^2	=	741,797	kNm

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Faktor beban ultimit : KMA = 2

Beban mati tambahan *(superimposed dead load)*, adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti :

1) Penambahan lapisan aspal *(overlay)* di kemudian hari,

2) Genangan air hujan jika sistim drainase tidak bekerja dengan baik,

Panjang bentang Girder, L 15,00 m

Tabel 4.3 Beban mati tambahan pada Girder Balok T BjTS 420

No	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m3)	Beban (kN/m)
1	Lap.Aspal+overlay	2,5	0,10	22,00	5,50
2	Air hujan	2,5	0,05	9,80	1,23
Beban mati tambahan :				QMA =	6,73

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat beban tambahan (MA) :

VMA	=	1/2 x QMA x L	=	50,438	kN
MMA	=	1/8 x QMA x L^2	=	189,141	kNm

D. Beban Lalu Lintas

4.1. Beban Lajur "D" (TD)

Faktor beban ultimit : KTD = 1,8

Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (Uniformly Distributed Load), UDL dan beban garis (Knife Edge Load), KEL seperti pd Gambar 1. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yg besarnya tergantung pd panjang bentang L yg dibebani lalu-lintas seperti Gambar 2 atau dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

q	=	8,0	kPa	untuk L ≤ 30
q	=	8.0 x (0.5 + 15 / L)	kPa	untuk L > 30

Untuk panjang bentang, L= 15 m		q	=	8,00	kPa
KEL mempunyai intensitas,		p	=	44,00	kN/m

Faktor beban dinamis (Dinamic Load Allowance) untuk KEL diambil sebagai berikut :

DLA	=	0,40	untuk	$L \leq 50$ m
DLA	=	0.4 - 0.0025 x (L - 50)	untuk	$50 < L < 90$ m
DLA	=	0,30	untuk	$L \geq 90$ m

Jarak antara girder		s	=	2,50	m
		DLA	=	0,40	

Beban lajur pada Girder, QTD = 20,00 kN/m

PTD = (1 + DLA) x p x s = 154,00 kN

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban lajur "D" :

VTD	=	1/2 x (QTD x L + PTD)	=	227,0	kN
MTD	=	1/8 x QTD x L^2 + 1/4 x PTD x L	=	1140,0	kNm

4.2. BEBAN TRUK "T" (TT)

Faktor beban ultimit :	KTT	=	1,8	
Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya,	T	=	100	kN

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil,DLA = 0,40

Beban truk "T" : PTT = (1 + DLA) x T =			140,00	kN
	a =		5,00	m
	b =		5,00	m
Panjang bentang Girder,	L =		15	m

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban truk "T" :

VTT	=	[9/8 x L - 1/4 x a + b] / L x PTT	=	192,5	kN
MTT	=	VTT x L/2 - PTT x b	=	743,8	kNm

Gaya geser dan momen yang terjadi akibat pembebanan lalu-lintas, diambil yg memberikan pengaruh terbesar terhadap T-Girder di antara beban "D" dan beban "T".

Gaya geser maksimum akibat beban, T	VTT	=	192,5	kN
Momen maksimum akibat beban, D	MTD	=	1140	kNm

E. Gaya Rem (TB)

Faktor beban ultimit : KTB = -

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

Gaya rem, HTB =	250	untuk Lt ≤ 80 m
Gaya rem, HTB =	250 + 2.5x(Lt - 80)	untul 80 < Lt < 180 m
Gaya rem, HTB =	500	untuk Lt ≥ 180 m

Panjang bentang Girder,	L	=	15,00	m
Jumlah Girder,	n girder	=	6	bh
Gaya rem,	HTB	=	250	kN
Jarak antara Girder,	s	=	2,50	m

Gaya rem untuk Lt ≤ 80 m : TTB =HTB / ngirder= 41,67 kN

Gaya rem juga dapat diperhitungkan sebesar 5% beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis.

Gaya rem, TTB = 5 % beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis,

QTD	=	q x s	=	20,00	kN/m
PTD	=	p x s	=	110,00	kN

TTB = 0.05 x (QTD x L + PTD) = 20,50 kN < 50,00 kN

Diambil gaya rem, TTB = 50,00 kN

Lengan thd. Titik berat balok, y = 1.80 + ta + h/2 = 2,40 m

Beban momen akibat gaya rem, M = TTB x y = 120,0 kNm

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem :

VTB	= M / L	=	8,00 kN
MTB	= 1/2 x M	=	60,00 kNm

F. Beban Angin (EW)

Faktor beban ultimit : KEW = -

Gaya angin tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat beban

angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus :

TEW = 0.0012 x Cw x $(Vw)^2$ kN/m^2 Cw = 1,2

Kecepatan angin rencana, Vw = 35 m/det

Beban angin tambahan yang meniup bidang samping kendaraan :

TEW = 0.0012 x Cw x $(Vw)^2$ = 1,764 kN/m^2

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi

2.00 m di atas lantai jembatan. h = 2,00 m

Jarak antara roda kendaraan x x = 1,75 m

Beban akibat transfer beban angin ke lantai jembatan,

QEW = ½ x h / x TEW = 1,008 kN/m

Panjang bentang Girder, L = 15,00 m

Gaya geser dan momen pada Girder akibat beban angin (EW) :

VEW = 1/2 x QEW x L = 7,56 kN

MEW = 1/8 x QEW x L^2 = 28,35 kNm

G. Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur, diperhitungkan terhadap gaya yang timbul akibat pergerakan temperatur (temperatur movement) pada tumpuan (elastomeric bearing) dengan perbedaan temperatur sebesar :

DT = 20 °C

Koefisien muai panjang untuk beton, α = 1,0,E-05 °C

Panjang bentang Girder, L = 15,00 m

Shear stiffness of elastomeric bearing, k = 15000 kN/m

Temperatur movement, d = 0,0030 m

Gaya akibat temperatur movement, FET = k x d = 45,00 kN

Tinggi Girder h = 1,00 m

Eksentrisitas, e = h/2 = 0,50 m

Momen akibat pengaruh temperatur, M = FETxe = 22,50 kNm

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur (ET) :

VET = M/L = 1,50 kN

MET = M = 22,50 kNm

H. Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar 0.10 x g (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekivalen.

Koefisien beban gempa horisontal :

Kh = C x S

Kh = Koefisien beban gempa horisontal,

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah setempat
S = Faktor tipe struktur yg berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :
T = 2 x p x √ [Wt / (g x KP)]
Wt = Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan
KP = kekakuan struktur yang merupakan gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan.
g = percepatan gravitasi bumi, g = 9,81 m/det2

13 Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan :

	Wt	= QMS + QMA		
Berat sendiri,	QMS	=	26,38	kN/m
Beban mati tambahan,	QMA	=	6,73	kN/m
1 Panjang bentang,	L	=	15,00	m
Berat total, Wt = (QMS + QMA)xL		=	496,5	kN
Ukuran Girder, b = 0,60	m ; h	=	1,00	m
Momen inersia penampang Girder,	I	= 1/12 x b x h^3 = 0,05		m^4
Modulus elastik beton,	Ec	=	23453	Mpa
	Ec	=	23452953	kPa
1 Kekakuan lentur Girder,	Kp	= 48x EcxI/L^3	=16678	kN/m
Waktu getar, T=2xpx√[Wt/(gxKP)]		=	0,3461	detik

Kondisi tanah dasar termasuk sedang (medium).

Lokasi wilayah gempa Wilayah	=	2	
Koefisien geser dasar, C	=	0,1	

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton beton bertulang, maka faktor tipe struktur dihitung dengan rumus, S = 1.0 x F
dengan, F = 1.25 - 0.025 x n dan F harus diambil ≥ 1
F = faktor perangkaan,
n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi struktur.

Untuk nilai, n = 1 maka : n	=	1	
F = 1.25 - 0.025 x n	=	1,225	
1 Faktor tipe struktur, S = 1.0 x F	=	1,225	
Koefisien beban gempa horisontal, Kh = CxS	=	0,123	

turnitin Page 70 of 132 - Integrity Submission Submission ID trn:oid:::1:3615365484

Koefisien beban gempa vertikal, Kv = 50% x Kh = 0,061
Diambil koefisien gempa vertikal, Kv = 0,061
Gaya gempa vertikal, TEQ = Kv x Wt = 30,411 kN
Beban gempa vertikal, QEQ = TEQ / L = 2,027 kN/m
Gaya geser dan momen pada Girder akibat gempa vertikal (EQ) :
VEQ = 1/2 x QEQ x L = 15,205 kN
MEQ = 1/8 x QEQ x L^2 = 57,020 kNm

I. Kombinasi Beban Ultimate

Kombinasi beban ultimit dilakukan dengan mengalikan setiap momen beban nominal dengan faktor beban yang sesuai. Beban yang diperhitungkan meliputi berat sendiri struktur (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur "D" (TD/TT), gaya rem (TB), beban angin (EW), pengaruh temperatur (ET), dan beban gempa (EQ). Dalam analisis ini digunakan tiga kombinasi pembebanan untuk memperoleh kondisi pembebanan paling kritis yang akan digunakan sebagai dasar perencanaan kapasitas lentur gelagar.

Tabel 4.4 Kombinasi Momen Ultimate Balok T BjTS 420

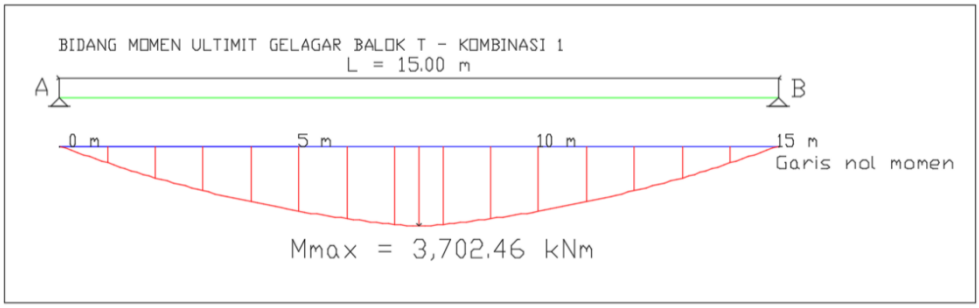
Kombinasi Beban Ultimate				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis	Faktor Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
1	MS	1,20	741,80	890,16	890,16	890,16
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2,00	189,14	378,28	378,28	378,28
3	Beban Lajur "D" (TD/TT)	2,00	1140,00	2280,00	2280,00	2280,00
4	Gaya rem (TB)	2,00	60,00	120,00	120,00	0
5	Beban angin (EW)	1,20	28,35	34,02	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	22,50	0	27,00	0
7	Beban gempa (EQ)	1,00	57,02	0	0	57,02
				3702,46	3695,44	3605,46

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

turnitin Page 70 of 132 - Integrity Submission Submission ID trn:oid:::1:3615365484

Berdasarkan Tabel 4.3, diperoleh momen ultimit total pada Kombinasi 1 sebesar 3.702,46 kNm, Kombinasi 2 sebesar 3.695,44 kNm, dan Kombinasi 3 sebesar 3.605,46 kNm. Nilai momen ultimit terbesar terjadi pada Kombinasi 1, yaitu kombinasi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur "D", gaya rem, dan beban angin. Kontribusi momen terbesar pada kombinasi tersebut berasal dari beban lajur "D" sebesar 2.280,00 kNm, diikuti oleh berat sendiri sebesar 890,16 kNm, beban mati tambahan sebesar 378,28 kNm, gaya rem sebesar 120,00 kNm, dan beban angin sebesar 34,02 kNm.

Dengan demikian, Kombinasi 1 ditetapkan sebagai kombinasi pembebanan yang mengendalikan (*governing load combination*) dengan momen ultimit rencana sebesar 3.702,46 kNm. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis dan perencanaan kapasitas lentur gelagar balok T menggunakan tulangan konvensional BJTS 420. Distribusi momen akibat kombinasi pembebanan yang mengendalikan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.2, dengan momen maksimum terjadi pada daerah tengah bentang gelagar.



Gambar 4.2 Bidang Momen BjTS 420
Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026

Gambar 4.2 menunjukkan distribusi momen lentur ultimit pada gelagar balok T dengan panjang bentang **15,00 m** akibat Kombinasi 1. Nilai momen pada kedua tumpuan, yaitu titik A dan titik B, bernilai nol dan meningkat secara bertahap menuju bagian tengah bentang. Momen lentur maksimum terjadi pada daerah tengah bentang dengan nilai sebesar **3.702,46 kNm**. Pola tersebut menunjukkan bahwa bagian tengah gelagar merupakan daerah yang menerima pengaruh lentur positif paling besar sehingga menjadi bagian kritis dalam perencanaan tulangan tarik utama.

Nilai momen ultimit maksimum tersebut selanjutnya digunakan sebagai momen rencana, M_u, dalam perhitungan kapasitas lentur penampang gelagar balok T. Kapasitas lentur yang dihasilkan oleh tulangan konvensional BJTS 420 harus memenuhi persyaratan bahwa momen kapasitas penampang lebih besar atau sama dengan momen ultimit yang bekerja, sehingga keamanan struktur terhadap kegagalan lentur dapat terpenuhi. Gambar bidang momen tersebut juga menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan, jumlah, dan penempatan tulangan longitudinal pada gelagar.

Setelah diperoleh nilai momen ultimit akibat kombinasi pembebanan, tahap berikutnya adalah menentukan gaya geser ultimit yang bekerja pada gelagar induk balok T. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan gaya geser akibat masing-masing jenis beban dengan faktor beban ultimit yang sesuai. Jenis pembebanan yang diperhitungkan meliputi berat sendiri struktur (MS), beban mati tambahan (MA), beban lajur "D" (TD/TT), gaya rem (TB), beban angin (EW), pengaruh temperatur (ET), dan beban gempa (EQ). Selanjutnya, masing-masing beban disusun dalam tiga kombinasi pembebanan untuk memperoleh gaya geser terbesar yang digunakan sebagai dasar perencanaan tulangan geser gelagar. Hasil perhitungan kombinasi gaya geser ultimit disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5 Kombinasi Geser Ultimate Balok T BjTS 420

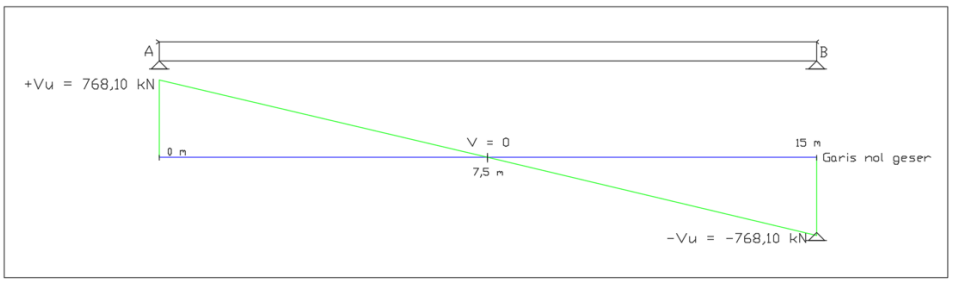
Kombinasi Beban Ultimate				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis	Faktor Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
1	Berat Sendiri (MS)	1,30	197,81	257,16	257,16	257,16
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2,00	50,44	100,88	100,88	100,88
3	Beban Lajur "D" (TD/TT)	2,00	192,50	385,00	385,00	385,00
4	Gaya rem (TB)	2,00	8,00	16,00	16,00	0
5	Beban angin (EW)	1,20	7,56	9,07	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	1,50	0	1,80	0
7	Beban gempa (EQ)	1,00	15,21	0	0	15,21
				768,10	760,83	758,24

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Berdasarkan Tabel 4.4, gaya geser ultimit total yang dihasilkan oleh Kombinasi 1 adalah sebesar 768,10 kN, Kombinasi 2 sebesar 760,83 kN, dan Kombinasi 3 sebesar 758,24 kN. Dengan demikian, gaya geser ultimit terbesar terjadi pada Kombinasi 1, sehingga kombinasi tersebut ditetapkan sebagai kombinasi pembebanan yang menentukan (*governing load combination*) dalam perencanaan kapasitas geser gelagar.

Pada Kombinasi 1, kontribusi gaya geser terbesar berasal dari beban lajur "D" sebesar 385,00 kN, diikuti oleh berat sendiri struktur sebesar 257,16 kN, beban mati tambahan sebesar 100,88 kN, gaya rem sebesar 16,00 kN, dan beban angin sebesar 9,07 kN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa beban lalu lintas memberikan pengaruh paling dominan terhadap gaya geser ultimit gelagar. Oleh karena itu, nilai gaya geser ultimit sebesar 768,10 kN digunakan sebagai gaya geser rencana, V_u, dalam pemeriksaan kapasitas geser beton dan perencanaan tulangan geser gelagar BJTS 420.

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada Tabel 4.4, Kombinasi 1 menghasilkan gaya geser ultimit terbesar sebesar 768,10 kN. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menggambarkan distribusi gaya geser sepanjang gelagar balok T dengan panjang bentang 15,00 m. Penggambaran bidang gaya geser diperlukan untuk mengetahui lokasi bagian gelagar yang menerima gaya geser maksimum serta menentukan daerah kritis yang membutuhkan tulangan geser. Distribusi gaya geser ultimit sepanjang bentang gelagar ditunjukkan pada gambar bidang geser berikut.



Gambar 4.3 Bidang Geser BjTS 420

Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026

Gambar bidang geser menunjukkan bahwa gaya geser maksimum positif terjadi di sekitar tumpuan A sebesar +768,10 kN. Nilai gaya geser tersebut berkurang secara linier menuju tengah bentang dan mencapai nilai nol pada jarak

sekitar 7,50 m dari tumpuan. Setelah melewati tengah bentang, arah gaya geser berubah menjadi negatif dan terus meningkat secara absolut hingga mencapai nilai maksimum sebesar −768,10 kN di sekitar tumpuan B. Nilai positif dan negatif menunjukkan perbedaan arah gaya geser, sedangkan besar gaya geser maksimum pada kedua sisi tumpuan tetap sama. Nilai gaya geser rencana sebesar 768,10 kN juga dicantumkan dalam bagian analisis struktur pada tesis.

Pola distribusi tersebut menunjukkan bahwa daerah di sekitar kedua tumpuan merupakan bagian gelagar yang paling kritis terhadap kegagalan geser. Oleh karena itu, kebutuhan tulangan geser atau sengkang harus diperiksa terutama pada daerah dekat tumpuan. Kapasitas geser penampang yang berasal dari kontribusi beton dan tulangan geser harus lebih besar daripada gaya geser ultimit yang bekerja. Sementara itu, semakin mendekati tengah bentang, gaya geser semakin kecil sehingga kebutuhan tulangan geser dapat disesuaikan dengan ketentuan jarak maksimum dan tulangan minimum yang dipersyaratkan dalam standar perencanaan.

J. Tulangan Lentur

Momen rencana ultimit Girder,			Mu	=	3702	kNm
Mutu beton :	K -	500	fc'	=	41,5	Mpa
Mutu baja tulangan :	U -	42	fy	=	420	Mpa
Tebal slab beton,			ts	=	200	mm
Lebar badan Girder,			b	=	600	mm
Tinggi Girder,			h	=	1000	mm
Lebar sayap T-Girder			L/4	=	3000	mm
			s	=	2500	mm
			12 x ts	=	2400	mm

Diambil lebar efektif sayap T-Girder,

beff = 2000 mm ; beff = 2400 mm

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton,

d' = 150 mm ; d' = 150 mm

Modulus elastis baja,	Es	=	2.00E+05	MPa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	b1	=	0,768	
rb = b1x 0.85 x fc'/ fy x 600/(600+fy)		=	0,037943	
Rmax = 0.75 x rb x fy x [1-1/2 x 0.75 x rb x fy / (0.85 x fc')]				
		=	9,927191	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	f	=	0,80	

Tinggi efektif T-Girder,	d = h - d'	=	850	mm
Momen nominal rencana,	Mn = Mu/f	=	4628,1	kNm
Faktor tahanan momen,	Rn = Mn x 106 / (beff x d2)	=	2,669015	

Rasio tulangan yang diperlukan :

r = 0.85 x fc' / fy x [1 - √ (1 – 2 x Rn / (0.85 x fc'))] = 0,006615

Rasio tulangan minimum,	rmin = 1.4 / fy	=	0,003333	
Luas tulangan yang diperlukan,	As = r x beff x d	=	13495	mm^2

Diameter tulangan yang digunakan, D - 25 mm

	As1 = p/4 x D2	=	491	mm^2
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n = As / As1	=	27,49	

Digunakan tulangan, 29- D 25

	As = As1 x n	=	14235	mm^2
Tebal selimut beton,	td	=	40	mm
Diameter sengkang yang digunakan,	ds	=	13	mm
Jumlah tulangan tiap baris,	nt	=	10	

Jarak bersih antara tulangan,

X = (b - nt x D - 2 x td - 2 x ds) / (nt - 1) = 27,11 mm

SNI 03-2847 >25mmOK

Untuk menjamin agar Girder bersifat daktail, maka tulangan tekan diambil 30% tulangan tarik, sehingga : As' = 30% x As = 4271 mm^2

Digunakan tulangan, 12- D 25

K. Kontrol Kapasitas Momen Ultimate

Tebal slab beton,	ts	=	200	mm
Lebar efektif sayap,	beff	=	2400	mm
Lebar badan Girder,	b	=	600	mm
Tinggi Girder,	h	=	1000	mm
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	=	150	mm
Tinggi efektif T-Girder,	d = h - d'	=	850	mm
Luas tulangan,	As	=	14235	mm^2
Kuat tekan beton,	fc'	=	41,5	Mpa
Kuat leleh baja,	fy	=	420	MPa

Untuk garis netral berada di dalam sayap T-Girder, maka : Cc > Ts

Gaya internal tekan beton pada sayap,

Cc = 0.85 x fc' x beff x ts	=	16932000	N	
Gaya internal tarik baja tulangan, Ts = Asxfy	=	5978844	N	
Cc > Ts Garis netral di dalam sayap				
a	=	70,62	mm	
Jarak garis netral, c = a / b1	=	91,96	mm	
Regangan pada baja tulangan tarik,				
es = 0.003 x (d - c) / c	=	0,025		
Momen nominal, Mn=Asxfyx(d-a/2)x10-6	=	4870,9	kNm	
Kapasitas momen ultimit, Ø Mn	=	3898	kNm	
> Mu	=	3703	kNm	

Øx Mn lebih besar 5,28% dibanding Mu

L. Tulangan Geser

Gaya geser ultimit rencana,	Vu	=	768,1	kN
Mutu beton : K - 500	fc'	=	41,5	MPa
Mutu baja tulangan: U - 42	fy	=	420	MPa
Faktor reduksi kekuatan geser,	f	=	0,75	
Lebar badan Girder,	b	=	600	mm
Tinggi efektif Girder,	d	=	850	mm
Kuat geser nominal beton,	Vc	=	547,57	kN
	f x Vc	=	410,68	kN
	f x Vs	=	357,4	kN
Gaya geser yang dipikul tulangan geser,	Vs	=	476,5	kN

Kontrol dimensi Girder terhadap kuat geser maksimum :

	Vsmax	=	2190	kN

Digunakan sengkang berpenampang : D-13

Luas tulangan geser sengkang,	Av	=	132,7	mm^2

Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

	S	=	99,43	mm

Digunakan sengkang, D13 - 90

Pada badan girder dipasang tulangan susut minimal dengan rasio tulangan,

	rsh	=	0,001	
Luas tulangan susut,	Ash	=	510	mm^2

Diameter tulangan yang digunakan, D13 - mm

Jumlah tulangan susut yang diperlukan, n = Ash / (p /4 x D2) = 3,84

Digunakan tulangan, 4 – D 13

M. Lendutan Balok

Mutu beton : K - 500	fc'	=	41,5	MPa
Mutu baja tulangan: U - 42	fy	=	420	MPa
Modulus elastis beton,	Ec = 4700 x √ fc'	=	3027	MPa
Tinggi balok,	h	=	1,00	m
Lebar balok,	b	=	0,60	m
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	=	0,15	m
Tinggi efektif balok,	d = h - d'	=	0,85	m
Luas tulangan balok,	As	=	0,0142	m^2
Inersia brutto penampang balok,	Ig = 1/12 x b x h^3	=	0,05	m^4
Modulus keruntuhan lentur beton,	fr = 0.7 x √ fc' x 10^3	=	4509	kPa
Nilai perbandingan modulus elastis,	n = Es / Ec	=	6,6	
	n x As	=	0,094	m^2
Jarak garis netral terhadap sisi atas beton,	c = n x As / b	=	0,157	m

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton :

Icr	= 1/3 x b x c^3 + n x As x (d - c)^2	=	0,04597	m4
	yt = h/2	=	0,50	m
Momen retak :	Mcr = fr x Ig / yt	=	450,943	Nmm

Tabel 4.6 Momen Akibat Beban Mati dan Beban Hidup Balok T BjTS 420

No.	Jenis Beban	Momen (kNm)
1	Berat sendiri (MS)	741,80
2	Beban mati tambahan (MA)	189,14
3	Beban lalulintas (TD/TT)	1140,00
4	Gaya rem (TB)	60,00
	M_{D+L} =	2130,94

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan

Ie = (Mcr / MD+L)^3 x Ig + [1 - (Mcr / MD+L)^3] x Icr		=	0,046	m4
Panjang bentang balok,	L	=	15,00	m

N. Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

Beban akibat berat sendiri,	QMS	=	26,38	kN/m
Lendutan akibat berat sendiri (MS) :				
dMS = 5/384 x QMS x L^4 / (Ec x Ie)		=	0,01248	m

O. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Beban akibat berat sendiri, QMA = 6,73 kN/m

Lendutan akibat berat sendiri (MS) :

dMA = 5/384xQMSxL^4 / (EcxIe) = 0,00318 m

P. Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" : Beban terpusat, PTD = 154,00 kN

Beban merata, QTD = 20,00 kN/m

Lendutan akibat beban lajur "D" (TD) :

dTD = 1/48x PTDxL^3 / (EcxIe)+ 5/384xQTDxL^4 / (EcxIe) = 0,0172 m

Q. Lendutan Akibat Gaya Rem (TB)

Momen akibat gaya rem, MTB = 60,00 kNm

Lendutan akibat gaya rem (TB) :

dTB = 0.0642 x MTB x L^2 / (EcxIe) = 0,0006 m

R. Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

Beban akibat transfer beban angin pada kendaraan,

QEW = 1,008 kN/m

Lendutan akibat beban angin (EW) :

dEW = 5/384xQEWxL^4 / (EcxIe) = 0,0005 m

S. Lendutan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Momen akibat temperatur movement, MET = 22,50 kNm

Lendutan akibat pengaruh temperatur (ET) :

dET = 0.0642 x MET x L^2 / (EcxIe) = 0,0002 m

T. Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

Beban gempa vertikal, QEQ = 2,027 kN/m

Lendutan akibat beban gempa (EQ) :

dEQ = 5/384xQEQxL^4 / (EcxIe) = 0,0010 m

Lendutan maksimum dmaks = L/240 = 0,063 m

Setelah pemeriksaan kapasitas lentur dan kapasitas geser dilakukan, tahap berikutnya adalah melakukan kontrol lendutan gelagar pada kondisi beban layan. Pemeriksaan lendutan diperlukan untuk memastikan bahwa gelagar tidak hanya memenuhi persyaratan kekuatan, tetapi juga memenuhi persyaratan kelayanan,

kenyamanan pengguna, dan tidak mengalami deformasi berlebihan. Perhitungan dilakukan berdasarkan sifat penampang retak, modulus elastisitas beton, momen inersia efektif, dan panjang bentang gelagar sebesar 15,00 m. Lendutan dihitung untuk setiap jenis beban, yaitu berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur "D", gaya rem, beban angin, pengaruh temperatur, dan beban gempa.

Nilai lendutan dari setiap jenis beban selanjutnya dijumlahkan sesuai dengan susunan Kombinasi 1, Kombinasi 2, dan Kombinasi 3. Hasil kombinasi lendutan tersebut dibandingkan dengan lendutan maksimum yang diizinkan, yaitu sebesar $L/240$. Untuk bentang gelagar 15,00 m, lendutan izin yang diperoleh adalah sebesar 0,063 m. Rekapitulasi lendutan akibat masing-masing kombinasi pembebanan disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.7 Lendutan Akibat Beban Kombinasi Balok T BjTS 420

No.	Jenis Beban	Kom-1	Komb -2	Komb-3
		kNm	kNm	kNm
1	Berat sendiri (MS)	0,013	0,0123	0,013
2	Beban mati tambahan (MA)	0,003	0,003	0,003
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	0,017	0,0172	0,017
4	Gaya rem (TB)	0,001	0,001	0
5	Beban angin (EW)	0,001	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	0	0,0002	0
7	Beban gempa (EQ)	0	0	0,001
		0,034	0,0338	0,034

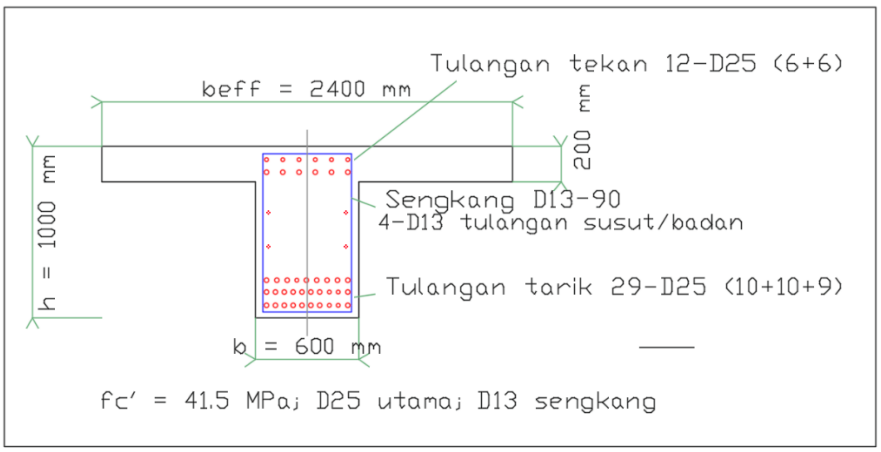
Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Berdasarkan Tabel 4.6, lendutan total pada Kombinasi 1 adalah sebesar 0,034 m, Kombinasi 2 sebesar 0,0338 m, dan Kombinasi 3 sebesar 0,034 m. Lendutan terbesar terjadi pada Kombinasi 1 dan Kombinasi 3 dengan nilai yang sama, yaitu sebesar 0,034 m atau 34 mm. Nilai tersebut masih lebih kecil daripada lendutan izin sebesar 0,063 m atau 63 mm. Dengan demikian, gelagar balok T menggunakan tulangan konvensional BJTS 420 dinyatakan memenuhi persyaratan kelayanan terhadap lendutan.

Beban lajur "D" memberikan kontribusi lendutan terbesar, yaitu sekitar 0,017–0,0172 m, diikuti oleh berat sendiri struktur sebesar 0,0123–0,013 m dan beban mati tambahan sebesar 0,003 m. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa

beban lalu lintas dan berat sendiri merupakan komponen pembebanan yang paling dominan terhadap deformasi vertikal gelagar. Meskipun demikian, lendutan maksimum yang terjadi hanya sekitar 53,97% dari batas lendutan yang diizinkan, sehingga masih tersedia selisih terhadap batas izin sebesar 0,029 m.

Berdasarkan hasil analisis kapasitas lentur, kapasitas geser, dan kontrol lendutan, selanjutnya ditentukan susunan penulangan gelagar balok T menggunakan baja tulangan konvensional BJTS 420. Detail penulangan disusun dengan mempertimbangkan kebutuhan tulangan tarik pada daerah momen positif, tulangan tekan, tulangan susut pada badan gelagar, serta tulangan geser berupa sengkang. Susunan penulangan tersebut harus mampu menahan momen ultimit rencana sebesar 3.702,46 kNm dan gaya geser ultimit yang bekerja, sekaligus memenuhi ketentuan jarak dan penempatan tulangan agar proses pengecoran dapat dilaksanakan dengan baik. Detail penulangan penampang gelagar balok T ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Gambar Penulangan Balok T BjTS 420

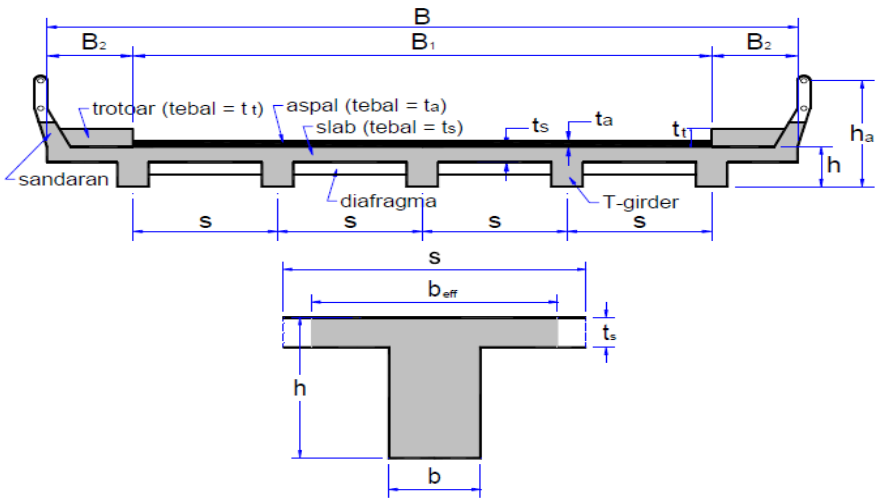
Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026

Gambar 4.4 menunjukkan detail penulangan gelagar balok T konvensional dengan lebar efektif sayap, b_{eff}, sebesar 2.400 mm, lebar badan gelagar sebesar 600 mm, tinggi gelagar sebesar 1.000 mm, dan tebal pelat lantai sebesar 200 mm. Beton yang digunakan memiliki kuat tekan f_c'sebesar 41,5 MPa, sedangkan tulangan utama menggunakan diameter D25 dan tulangan sengkang menggunakan diameter D13.

Tulangan tarik utama ditempatkan pada bagian bawah penampang sebanyak 29-D25, yang disusun dalam tiga lapis dengan konfigurasi 10+10+9 batang. Tulangan tekan pada bagian atas digunakan sebanyak 12-D25 dengan susunan 6+6 batang. Pada badan gelagar digunakan tulangan susut sebanyak 4-D13, sedangkan kebutuhan tulangan geser dipenuhi menggunakan sengkang D13-90, yaitu sengkang berdiameter 13 mm dengan jarak pemasangan 90 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas momen ultimit penampang dengan susunan penulangan tersebut sebesar 5,28% lebih besar daripada momen ultimit rencana, sehingga penampang memenuhi persyaratan kekuatan lentur.

Susunan tulangan tarik yang lebih banyak pada bagian bawah penampang menunjukkan bahwa bagian tersebut merupakan daerah yang menerima tegangan tarik utama akibat momen positif di tengah bentang. Sementara itu, penggunaan sengkang D13-90 diperlukan untuk meningkatkan kapasitas geser dan mengendalikan terbentuknya retak diagonal, khususnya pada daerah dekat tumpuan yang menerima gaya geser terbesar.

4.1.2. Perhitungan Struktur Menggunakan Tulangan Beton UHSS



Gambar 4.5 Bagian jembatan tulangan UHSS

Sumber : Data Olahan Peneliti, 2026

A. Data Struktur Atas

Panjang bentang jembatan	L	=	15,00	m
Lebar jalan (jalur lalu-lintas)	B1	=	7,00	m
Lebar trotoar	B2	=	1,00	m
Lebar total jembatan	B1+2 x B2	=	9,00	m
Jarak antara Girder	s	=	2,50	m
Dimensi Girder :	b	=	0,60	m
	h	=	1,00	m
Dimensi Diafragma :	bd	=	0,30	m
	hd	=	0,50	m
Tebal slab lantai jembatan	ts	=	0,20	m
Tebal lapisan aspal + overlay	ta	=	0,10	m
Tinggi genangan air hujan	th	=	0,05	m
Tinggi bidang samping	ha	=	1,45	m
Jumlah balok diafragma sepanjang L,	nd	=	5	bh
Jarak antara balok diafragma,	sd = L/nd	=	3	m

B. Bahan Struktur

Mutu beton : K - 500

Kuat tekan beton,	fc'=0.83xK /10	=	41,50	MPa
Modulus elastik,	Ec= 4700 x √ fc'	=	30277,63	MPa
Angka poisson	u	=	0,20	
Modulus geser	G =Ec/ [2x(1+u)]	=	12616	MPa
Koefisien muai beton	α	=	1E-05	°C

Mutu Baja :

Untuk baja tulangan dengan Ø > 12 mm : U -70				
Tegangan leleh baja,	fy = Ux10	=	700	Mpa
Untuk baja tulangan dengan Ø ≤ 12 mm : U - 42				
Tegangan leleh baja,	fy = Ux10	=	420	Mpa

Specific Gravity :

Berat beton bertulang,	wc	=	25,00	kN/m^3
Berat beton normal	w'c	=	24,00	kN/m^3

Berat aspal padat, wa = 22,00 kN/m^3
Berat jenis air, ww = 9,80 kN/m^3

C.Analisis Beban

1. Berat Sendiri (MS)

Faktor beban ultimit : KMS = 1,2

Berat sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Beban berat sendiri balok diafragma pada Girder dihitung sbb.:

Panjang bentang Girder, L = 15 m
Berat satu balok diafragma, Wd = bd x (hd - ts) x s x wc = 5,6 kN
Jumlah balok diafragma sepanjang bentang L, nd = 5 bh
Beban diafragma pada Girder, Qd = nd x Wd / L = 1,9kN/m

Tabel 4.8 Beban berat sendiri pada Girder UHSS

Jenis	b (m)	h (m)	Berat (kN/m^3)	Beban (kN/m)
plat lantai	2,50	0,20	25,00	12,50
Girder	0,60	0,80	25,00	12,00
Diafragma			Qd =	1,88
			Q_{MS} =	26,38

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat berat sendiri (MS) :
VMS = 1/2 x QMS x L = 197,813 kN
MMS = 1/8 x QMS x L^2 = 741,797 kNm

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Faktor beban ultimit : KMA = 2

Beban mati tambahan *(superimposed dead load)*, adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti :

1) Penambahan lapisan aspal *(overlay)* di kemudian hari,
2) Genangan air hujan jika sistim drainase tidak bekerja dengan baik,
Panjang bentang Girder, L 15,00 m
Beban mati tambahan pada Girder

Tabel 4.9 Beban mati tambahan pada Girder UHSS

No	Jenis	Lebar (m)	Tebal (m)	Berat (kN/m^3)	Beban (kN/m)
1	Lap.Aspal+overlay	2,5	0,10	22,00	5,50
2	Air hujan	2,5	0,05	9,80	1,23
Beban mati tambahan :				QMA =	6,73

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat beban tambahan (MA) :
VMA = 1/2 x QMA x L = 50,438 kN
MMA = 1/8 x QMA x L^2 = 189,141 kNm

D. Beban Lalu Lintas

4.1. Beban Lajur "D" (TD)
Faktor beban ultimit : KTD = 1,8
Beban kendaraan yg berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (Uniformly Distributed Load), UDL dan beban garis (Knife Edge Load), KEL seperti pd Gambar 1. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yg besarnya tergantung pd panjang bentang L yg dibebani lalu-lintas seperti Gambar 2 atau dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

q = 8,0 kPa untuk L ≤ 30
q = 8.0 x (0.5 + 15 / L) kPa untuk L > 30
Untuk panjang bentang, L= 15 m q = 8,00 kPa
KEL mempunyai intensitas, p = 44,00 kN/m
Faktor beban dinamis (Dinamic Load Allowance) untuk KEL diambil sebagai berikut :

DLA = 0,40 untuk L ≤ 50 m
DLA = 0.4 - 0.0025 x (L - 50) untuk 50 < L < 90 m
DLA = 0,30 untuk L ≥ 90 m
Jarak antara girder s = 2,50 m
Untuk panjang bentang, DLA = 0,40
Beban lajur pada Girder, QTD = 20,00 kN/m

PTD = 154,00 kN

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban lajur "D" :

VTD = 1/2 x (QTD x L + PTD) = 227,0 kN

MTD = 1/8 x QTD x L^2 + 1/4 x PTD x L = 1140,0 kNm

4.2. BEBAN TRUK "T" (TT)

Faktor beban ultimit : KTT = 1,8

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya,

T = 100 kN

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil,DLA = 0,40

Beban truk "T" : PTT = (1 + DLA) x T = 140,00 kN

Panjang bentang Girder, L =15 m

Gaya geser dan momen pada T-Gider akibat beban truk "T" :

VTT = [9/8 x L - 1/4 x a + b] / L x PTT = 192,5 kN

MTT = VTT x L/2 - PTT x b = 743,8 kNm

Gaya geser dan momen yang terjadi akibat pembebanan lalu-lintas, diambil yg memberikan pengaruh terbesar terhadap T-Girder di antara beban "D" dan beban "T".

Gaya geser maksimum akibat beban, T VTT = 192,5 kN

Momen maksimum akibat beban, D MTD = 1140 kNm

E. Gaya Rem (TB)

Faktor beban ultimit : KTB = -

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

Gaya rem, HTB = 250 untuk Lt ≤ 80 m

Gaya rem, HTB = 250 + 2.5x(Lt - 80) untul 80 < Lt < 180 m

Gaya rem, HTB = 500 untuk Lt ≥ 180 m

Panjang bentang Girder, L = 15,00 m

Jumlah Girder, n girder = 6 bh

Gaya rem, HTB = 250 kN

Jarak antara Girder, s = 2,50 m

Gaya rem untuk Lt ≤ 80 m : TTB =HTB / ngirder= 41,67 kN
Gaya rem juga dapat diperhitungkan sebesar 5% beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis.
Gaya rem, TTB = 5 % beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis,

QTD	=	q x s	=	20,00	kN/m		
PTD	=	p x s	=	110,00	kN		
TTB = 0.05 x (QTD x L + PTD) =				20,50	kN <	50,00	kN
Diambil gaya rem,					TTB =	50,00	kN
Lengan thd. Titik berat balok,		y = 1.80 + ta + h/2			=	2,40	m
Beban momen akibat gaya rem		M = TTB x y			=	120	KNm

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem :

VTB	= M / L	=	8,00 kN
MTB	= 1/2 x M	=	60,00 kNm

F. Beban Angin (EW)

Faktor beban ultimit : KEW = -
Gaya angin tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat beban angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus :
TEW = 0.0012 x Cw x $(Vw)^2$ kN/m^2 Cw = 1,2
Kecepatan angin rencana, Vw = 35 m/det
Beban angin tambahan yang meniup bidang samping kendaraan :
TEW = 0.0012 x Cw x $(Vw)^2$ = 1,764 kN/m^2
Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi
2.00 m di atas lantai jembatan. h = 2,00 m
Jarak antara roda kendaraan x x = 1,75 m
Beban akibat transfer beban angin ke lantai jembatan,
QEW = ½ x h x TEW = 1,008 kN/m
Panjang bentang Girder, L = 15,00 m
Gaya geser dan momen pada Girder akibat beban angin (EW) :

VEW = 1/2 x QEW x L	=	7,56 kN
MEW = 1/8 x QEW x L^2	=	28,35 kNm

G. Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur, diperhitungkan terhadap gaya yang timbul akibat pergerakan temperatur (temperatur movement) pada tumpuan (elastomeric bearing) dengan perbedaan temperatur sebesar :

	DT =	20	°C
Koefisien muai panjang untuk beton,	α =	1,0,E-05	°C
Panjang bentang Girder,	L =	15,00	m
Shear stiffness of elastomeric bearing,	k =	15000	kN/m
Temperatur movement,	d = α x DT x L =	0,0030	m
Gaya akibat temperatur movement,	FET = k x d =	45,00	kN

Tinggi Girder	h =	1,00	m
Eksentrisitas,	e = h/2	= 0,50	m
Momen akibat pengaruh temperatur,	M = FET x e	= 22,50	kNm

Gaya geser dan momen pada Girder akibat pengaruh temperatur (ET) :

VET = M/L	=	1,50	kN
MET = M	=	22,50	kNm

H. Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar 0.10 x g (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekivalen.

Koefisien beban gempa horisontal :

Kh = C x S

Kh = Koefisien beban gempa horisontal,

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah setempat

S = Faktor tipe struktur yg berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

T = 2 x p x √ [Wt / (g x KP)]

Wt = Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

KP = kekakuan struktur yang merupakan gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan.

g = percepatan gravitasi bumi, g = 9,81 m/det^2

Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan :

	Wt	= QMS + QMA		
Berat sendiri,	QMS	=	26,38	kN/m
Beban mati tambahan,	QMA	=	6,73	kN/m
Panjang bentang,	L	=	15,00	m
Berat total, Wt = (QMS + QMA)xL		=	496,5	kN
Ukuran Girder, b = 0,60	m ; h	=	1,00	m
Momen inersia penampang Girder,	I	= 1/12 x b x h^3 = 0,05		m^4
Modulus elastik beton,	Ec	=	23453	Mpa
	Ec	=	23452953	kPa
Kekakuan lentur Girder,	Kp	=48x EcxI/L^3	=16678	kN/m
Waktu getar, T=2xpx√[Wt/(gxKP)]		=	0,3461	detik

Kondisi tanah dasar termasuk sedang (medium).

Lokasi wilayah gempa	Wilayah	=	2	
Koefisien geser dasar,	C	=	0,1	

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton beton bertulang, maka faktor tipe struktur dihitung dengan rumus, S = 1.0 x F

dengan, F = 1.25 - 0.025 x n dan F harus diambil ≥ 1

F = faktor perangkaan,

n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi struktur.

Untuk nilai, n = 1 maka :	n	=	1	
F = 1.25 - 0.025 x n		=	1,225	
Faktor tipe struktur,	S = 1.0 x F	=	1,225	
Koefisien beban gempa horisontal,	Kh = CxS	=	0,123	
Koefisien beban gempa vertikal,	Kv = 50% x Kh	=	0,061	
Diambil koefisien gempa vertikal,	Kv	=	0,061	
Gaya gempa vertikal,	TEQ = Kv x Wt	=	30,411	kN

Beban gempa vertikal,	QEQ = TEQ / L	=	2,027	kN/m

Gaya geser dan momen pada Girder akibat gempa vertikal (EQ) :

VEQ	= 1/2 x QEQ x L	=	15,205	kN
MEQ	= 1/8 x QEQ x L^2	=	57,020	kNm

I. Kombinasi Beban Ultimate

Setelah seluruh momen akibat masing-masing jenis pembebanan diperoleh, tahap berikutnya adalah menentukan momen ultimit yang bekerja pada

gelagar balok T dengan tulangan *Ultra High Strength Steel* (UHSS). Momen akibat berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur "D", gaya rem, beban angin, pengaruh temperatur, dan beban gempa dikalikan dengan faktor beban sesuai kombinasi pembebanan yang digunakan.

Penggunaan tulangan UHSS memengaruhi kapasitas penampang dalam menahan beban, tetapi tidak mengubah besarnya beban luar yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu, kombinasi momen ultimit tetap ditentukan berdasarkan kondisi pembebanan jembatan. Tiga kombinasi pembebanan dianalisis untuk memperoleh momen ultimit terbesar yang selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan tulangan lentur UHSS. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.10 Kombinasi Momen Ultimate Girder UHSS

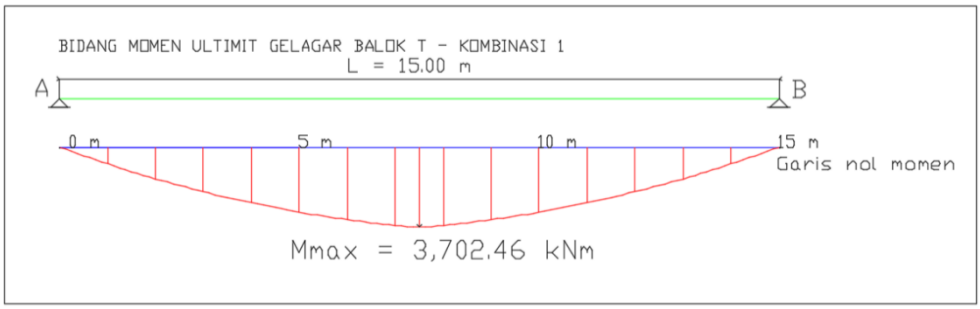
Kombinasi Beban Ultimate				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis	Faktor Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
1	MS	1,20	741,80	890,16	890,16	890,16
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2,00	189,14	378,28	378,28	378,28
3	Beban Lajur "D" (TD/TT)	2,00	1140,00	2280,00	2280,00	2280,00
4	Gaya rem (TB)	2,00	60,00	120,00	120,00	0
5	Beban angin (EW)	1,20	28,35	34,02	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	22,50	0	27,00	0
7	Beban gempa (EQ)	1,00	57,02	0	0	57,02
				3702,46	3695,44	3605,46

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Berdasarkan Tabel 4.9, diperoleh momen ultimit total sebesar 3.702,46 kNm pada Kombinasi 1, 3.695,44 kNm pada Kombinasi 2, dan 3.605,46 kNm pada Kombinasi 3. Momen ultimit terbesar terjadi pada Kombinasi 1 sehingga kombinasi tersebut ditetapkan sebagai kombinasi pembebanan yang menentukan (*governing load combination*).

Pada Kombinasi 1, kontribusi momen terbesar berasal dari beban lajur "D" sebesar 2.280,00 kNm, diikuti oleh berat sendiri sebesar 890,16 kNm, beban mati tambahan sebesar 378,28 kNm, gaya rem sebesar 120,00 kNm, dan beban angin sebesar 34,02 kNm. Dominannya beban lajur "D" menunjukkan bahwa beban lalu lintas memberikan pengaruh terbesar terhadap kebutuhan kapasitas lentur gelagar.

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan pada Tabel 4.9, Kombinasi 1 menghasilkan momen ultimit terbesar sebesar 3.702,46 kNm. Nilai tersebut digunakan untuk menggambarkan distribusi momen lentur sepanjang gelagar balok T dengan panjang bentang 15,00 m. Penggambaran bidang momen bertujuan mengetahui lokasi momen maksimum dan bagian penampang yang menjadi daerah kritis dalam perencanaan tulangan lentur UHSS.



Gambar 4.6 Bidang Momen Girder UHSS

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa momen lentur bernilai nol pada tumpuan A dan tumpuan B, kemudian meningkat secara bertahap menuju tengah bentang. Momen lentur maksimum terjadi pada jarak sekitar 7,50 m dari tumpuan atau tepat di tengah bentang, dengan nilai sebesar 3.702,46 kNm.

Pola bidang momen tersebut merupakan pola momen positif atau *sagging moment*, sehingga serat bagian bawah gelagar mengalami tegangan tarik, sedangkan serat bagian atas mengalami tegangan tekan. Oleh karena itu, tulangan tarik utama UHSS ditempatkan pada bagian bawah penampang gelagar, terutama pada daerah tengah bentang yang menerima momen maksimum.

Nilai momen ultimit maksimum pada gambar tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan luas tulangan tarik UHSS dan pemeriksaan kapasitas momen penampang. Dalam perhitungan tesis, momen rencana tersebut

dianalisis menggunakan beton K-500 dengan $f_c' = 41{,}5$MPa dan baja tulangan UHSS dengan $f_y = 700$MPa.

Selain harus memenuhi persyaratan kapasitas lentur, gelagar balok T dengan tulangan UHSS juga harus diperiksa terhadap gaya geser ultimit. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan gaya geser akibat setiap jenis pembebanan dengan faktor beban ultimit yang sesuai. Jenis beban yang diperhitungkan meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban lajur "D", gaya rem, beban angin, pengaruh temperatur, dan beban gempa.

Gaya geser dari masing-masing beban kemudian dijumlahkan berdasarkan tiga kombinasi pembebanan. Hasil kombinasi tersebut digunakan untuk menentukan gaya geser rencana terbesar yang harus mampu ditahan oleh kontribusi beton dan tulangan geser.

Tabel 4.11 Kombinasi Momen Ultimate Girder UHSS

Kombinasi Beban Ultimate				Komb-1	Komb-2	Komb-3
No.	Jenis	Faktor Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
1	Berat Sendiri (MS)	1,20	197,81	237,38	237,38	237,38
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2,00	50,44	100,88	100,88	100,88
3	Beban Lajur "D" (TD/TT)	2,00	192,50	385,00	385,00	385,00
4	Gaya rem (TB)	2,00	8,00	16,00	16,00	0
5	Beban angin (EW)	1,20	7,56	9,07	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	1,50	0	1,80	0
7	Beban gempa (EQ)	1,00	15,21	0	0	15,21
				748,32	741,05	738,46

Sumber *: Data Olahan Peneliti, 2026*

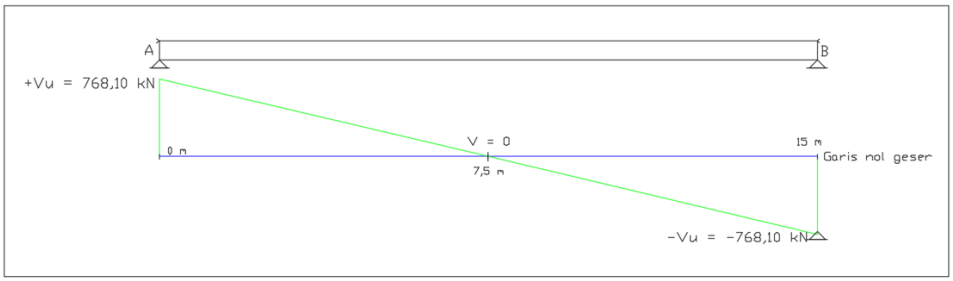
Berdasarkan Tabel 4.10, diperoleh gaya geser ultimit total sebesar 748,32 kN pada Kombinasi 1, 741,05 kN pada Kombinasi 2, dan 738,46 kN pada Kombinasi 3. Kombinasi 1 menghasilkan gaya geser terbesar sehingga ditetapkan

sebagai kombinasi pembebanan yang menentukan dalam perencanaan kapasitas geser gelagar UHSS.

Pada Kombinasi 1, kontribusi gaya geser terbesar berasal dari beban lajur "D" sebesar 385,00 kN, diikuti oleh berat sendiri sebesar 237,38 kN, beban mati tambahan sebesar 100,88 kN, gaya rem sebesar 16,00 kN, dan beban angin sebesar 9,07 kN. Hasil tersebut kembali menunjukkan bahwa beban lalu lintas merupakan komponen pembebanan yang paling dominan terhadap respons struktur gelagar.

Dengan demikian, gaya geser sebesar 748,32 kN digunakan sebagai gaya geser ultimit rencana, V_u, dalam pemeriksaan kapasitas geser beton dan penentuan kebutuhan tulangan sengkang pada gelagar dengan tulangan UHSS. Nilai $M_u = 3.702{,}46$kNm dan $V_u = 748{,}32$kN juga digunakan sebagai parameter awal dalam perhitungan tulangan lentur dan geser UHSS.

Berdasarkan hasil kombinasi gaya geser pada Tabel 4.10, Kombinasi 1 menghasilkan gaya geser ultimit terbesar sebesar 748,32 kN. Nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menggambarkan perubahan gaya geser sepanjang bentang gelagar. Bidang gaya geser diperlukan untuk mengetahui lokasi gaya geser maksimum dan menentukan daerah yang paling kritis terhadap terbentuknya retak diagonal. Distribusi gaya geser ultimit gelagar UHSS ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7 Bidang Geser Girder UHSS
Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa gaya geser maksimum positif terjadi pada daerah di sekitar tumpuan A sebesar +748,32 kN. Nilai gaya geser kemudian berkurang secara linier menuju tengah bentang dan mencapai nilai nol pada jarak

sekitar 7,50 m dari tumpuan. Setelah melewati tengah bentang, arah gaya geser berubah menjadi negatif dan mencapai nilai maksimum sebesar −748,32 kN pada daerah di sekitar tumpuan B.

Tanda positif dan negatif menunjukkan perbedaan arah gaya geser pada masing-masing sisi gelagar, sedangkan nilai absolut gaya geser maksimum pada kedua tumpuan tetap sama. Pola tersebut menunjukkan bahwa daerah dekat tumpuan merupakan bagian gelagar yang paling kritis terhadap kegagalan geser. Oleh karena itu, pemeriksaan kapasitas geser dan kebutuhan sengkang harus difokuskan pada daerah tersebut.

Gaya geser ultimit sebesar 748,32 kN selanjutnya digunakan untuk memastikan bahwa kapasitas geser yang berasal dari beton dan tulangan sengkang lebih besar daripada gaya geser yang bekerja. Penentuan diameter dan jarak sengkang dilakukan agar penampang memiliki kapasitas yang mencukupi serta mampu mengendalikan perkembangan retak diagonal.

I. Tulangan Lentur

Momen rencana ultimit Girder,	Mu	=	3702,46	kNm
Mutu beton : K - 500	fc'	=	41,5	Mpa
Mutu baja tulangan : U - 70	fy	=	700	Mpa
Tebal slab beton,	ts	=	200	mm
Lebar badan Girder,	b	=	600	mm
Tinggi Girder,	h	=	1000	mm
Lebar sayap T-Girder	L/4	=	3000	mm
	s	=	2500	mm
	12 x ts	=	2400	mm
Diambil lebar efektif sayap T-Girder,	beff	=	2400	mm
Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	=	150	mm
Modulus elastis baja,	Es	=	2.00E+05	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	b1	=	0,768	
rb = b1x 0.85 x fc'/ fy x 600/(600+fy)		=	0,017862	
Rmax = 0.75xrbxfyx[1-1/2x0.75xrbxfy/(0.85xfc')]		=	8,131207	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	f	=	0,80	
Tinggi efektif T-Girder,	d = h - d'	=	850	mm
Momen nominal rencana,	Mn = Mu/f	=	4628	kNm
Faktor tahanan momen, Rn = Mn x 106 / (beff x d2)		=	2,669015	

		Rn < Rmax		OK
Rasio tulangan yang diperlukan :				
r = 0.85 x fc' / fy x [1 - √ (1 – 2 x Rn / (0.85 x fc'))]		=		0,003969
Rasio tulangan minimum,	rmin = 1.4 / fy	=		0,002
Luas tulangan yang diperlukan,As = r x beff x d		=		8097,16 mm^2
Diameter tulangan yang digunakan, D 25mm				
	As1 = p/4 x D^2	=	490,87	mm^2
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n = As / As1	=		16,50
Digunakan tulangan, 17 – D 25				
	As	=		8344,9 mm^2
Tebal selimut beton,	td	=		40 mm
Diameter sengkang yang digunakan,	ds	=		13 mm
Jumlah tulangan tiap baris,	nt	=		9
Jarak bersih antara tulangan,	X	=		33,625 mm
SNI 03 2847	> 25 mm		OK	

Untuk menjamin agar Girder bersifat daktail, maka tulangan tekan diambil 30% tulangan tarik, sehingga : As' = 30% x As = 2503,5 mm^2

Digunakan tulangan, 6 – D 25

J. Kontrol Kapasitas Momen Ultimate

Tebal slab beton,	ts	=	200	mm
Lebar efektif sayap,	beff	=	2400	mm
Lebar badan Girder,	b	=	600	mm
Tinggi Girder,	h	=	1000	mm
Jarak pusat tulangan	d'	=	150	mm
Tinggi efektif T-Girder,	d	=	850	mm
Luas tulangan,	As	=	8345	mm^2
Kuat tekan beton,	fc'	=	41,5	Mpa
Kuat leleh baja,	fy	=	700	MPa

Untuk garis netral berada di dalam sayap T-Girder, maka : Cc > Ts

Gaya internal tekan beton pada sayap,

	Cc	=	16932000	N
Gaya internal tarik baja tulangan,	Ts	=	5841399	N
	a	=	69,00	mm
Jarak garis netral,	c	=	89,84	mm
Regangan pada baja tulangan tarik,	es	=	0,0254	

Momen nominal,	Mn	=	4763,666	kNm
Kapasitas momen ultimit,	ØMn	=	3810,932	kNm

ØMn lebih besar 2,93% dibanding Mu

K. Tulangan Geser

Gaya geser ultimit rencana,	Vu	=	748,32	kN
Mutu beton : K – 500 Kuat tekan beton,	fc'	=	41,5	MPa
Mutu baja tulangan: U -70 Kuat leleh baja,	fy	=	700	MPa
Faktor reduksi kekuatan geser,	Ø	=	0,75	
Lebar badan Girder,	b	=	600	mm
Tinggi efektif Girder,	d	=	850	mm
Kuat geser nominal beton,	Vc	=	547,574	kN
	Ø Vc	=	410,681	kN
	Ø Vs	=	337,641	kN
Gaya geser yang dipikul tulangan geser,	Vs	=	450,188	kN

Kontrol dimensi Girder terhadap kuat geser maksimum :

	Vsmax	=	2190,297	kN

Dimensi balok memenuhi persyaratan kuat geser

Digunakan sengkang berpenampang : D-13

Luas tulangan geser sengkang,	Av	=	132,732	mm^2

Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan :

	S	=	175,428	mm

Digunakan sengkang, D 13 - 150

Pada badan girder dipasang tulangan susut minimal dengan rasio tulangan,

	rsh	=	0,001	
Luas tulangan susut,	Ash	=	510	mm^2

Diameter tulangan yang digunakan, D-13 mm

Jumlah tulangan susut yang diperlukan,	n	=	3,84	

Digunakan tulangan, 4 – D 13

L. Lendutan Balok

Mutu beton : K – 500 Kuat tekan beton,	fc'	=	41,5	MPa
Mutu baja tulangan : U – 70 Kuat leleh baja,	fy	=	700	MPa
Modulus elastis beton,	Ec	=	30278	MPa
Modulus elastis baja,	Es	=	2 E+05	MPa
Tinggi balok,	h	=	1,00	m

Lebar balok,	b	=	0,60	m
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	=	0,15	m
Tinggi efektif balok,	d	=	0,85	m
Luas tulangan balok,	As	=	0,008345	m^2
Inersia brutto penampang balok,	Ig	=	0,05	m^4
Modulus keruntuhan lentur beton,	fr	=	4509,435	kPa
Nilai perbandingan modulus elastis,	n	=	6,6	
	n x As	=	0,055	m^2
Jarak garis netral terhadap sisi atas beton,	c	=	0,092	m

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung sbb. :

	Icr	=	0,03184	m^4
	yt	=	0,50	m

Momen retak : Mcr = fr x Ig / yt = 450,943 Nmm

Tabel 4.12 Momen Akibat Beban Mati dan Beban Hidup Girder UHSS

No.	Jenis Beban	Momen (kNm)
1	Berat sendiri (MS)	741,80
2	Beban mati tambahan (MA)	189,14
3	Beban lalulintas (TD/TT)	1140,00
4	Gaya rem (TB)	60,00
	M_{D+L} =	2130,94

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan

Ie = (Mcr / MD+L)^3 x Ig + [1 - (Mcr / MD+L)^3] x Icr = 0,032 m^4

Panjang bentang balok, L = 15,00 m

M. Lendutan Akibat Berat Sendiri (Ms)

Beban akibat berat sendiri, QMS = 26,38 kN/m

Lendutan akibat berat sendiri (MS) :

dMS = 5/384 x QMS x L^4 / (Ec x Ie) = 0,01794 m

N. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Beban akibat berat sendiri, QMA = 6,73 kN/m

Lendutan akibat berat sendiri (MS) :

dMA = 5/384 x QMA x L^4 / (Ec x Ie) = 0,00457 m

O. Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" : Beban terpusat, PTD = 154,00 kN

Beban merata, QTD = 20,00 kN/m

Lendutan akibat beban lajur "D" (TD) :

dTD = 1/48 x PTD x L^3 / (Ec x Ie) + 5/384 x QTD x L^4 / (Ec x Ie) = 0,02478 m

P. Lendutan Akibat Gaya Rem (TB)

Momen akibat gaya rem, MTB = 60,00 kNm

Lendutan akibat gaya rem (TB) :

dTB = 0.0642 x MTB x L^2 / (EcxIe) = 0,00089

Q. Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

Beban akibat transfer beban angin pada kendaraan, QEW = 1,008 kN/m

Lendutan akibat beban angin (EW) :

dEW = 0,0007 m

10.4.5. LENDUTAN AKIBAT PENGARUH TEMPERATUR (ET)

Momen akibat temperatur movement, MET = 22,50 kNm

Lendutan akibat pengaruh temperatur (ET) :

dET = 0,00034 m

10.4.6. LENDUTAN AKIBAT BEBAN GEMPA (EQ)

Beban gempa vertikal, QEQ = 2,027 kN/m

Lendutan akibat beban gempa (EQ) :

dEQ = 0,0014 m

Lendutan maksimum dmaks = L/240 = 0,0625 m

Setelah kebutuhan tulangan lentur dan tulangan geser gelagar UHSS diperoleh, tahap selanjutnya adalah melakukan pemeriksaan lendutan pada kondisi beban layan. Pemeriksaan ini bertujuan memastikan bahwa gelagar tidak hanya memenuhi persyaratan kekuatan, tetapi juga memenuhi persyaratan kelayanan sehingga deformasi vertikal yang terjadi tidak mengganggu kenyamanan pengguna maupun fungsi struktur jembatan.

Lendutan dihitung akibat masing-masing jenis pembebanan, yaitu berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban lajur “D”, gaya rem, beban angin,

pengaruh temperatur, dan beban gempa. Nilai lendutan tersebut kemudian dijumlahkan sesuai susunan Kombinasi 1, Kombinasi 2, dan Kombinasi 3. Hasil lendutan total selanjutnya dibandingkan dengan batas lendutan izin sebesar $L/240$. Untuk panjang bentang 15,00 m, diperoleh lendutan maksimum yang diizinkan sebesar 0,0625 m atau 62,50 mm.

Tabel 4.13 Lendutan Akibat Beban Kombinasi Girder UHSS

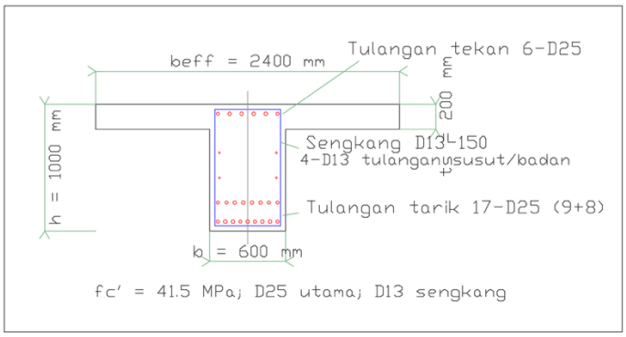
No.	Jenis Beban	Kom-1	Komb -2	Komb-3
		kNm	kNm	kNm
1	Berat sendiri (MS)	0,0179	0,0179	0,0179
2	Beban mati tambahan (MA)	0,0046	0,0046	0,0046
3	Beban lajur "D" (TD/TT)	0,0248	0,0248	0,0248
4	Gaya rem (TB)	0,0009	0,0009	0
5	Beban angin (EW)	0,0007	0	0
6	Pengaruh Temperatur (ET)	0	0,0003	0
7	Beban gempa (EQ)	0	0	0,0014
		0,0489	0,0485	0,0487

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel, diperoleh lendutan total sebesar 0,0489 m pada Kombinasi 1, 0,0485 m pada Kombinasi 2, dan 0,0487 m pada Kombinasi 3. Lendutan terbesar terjadi pada Kombinasi 1, yaitu sebesar 0,0489 m atau 48,90 mm. Nilai tersebut masih lebih kecil daripada lendutan izin sebesar 0,0625 m atau 62,50 mm. Dengan demikian, gelagar balok T menggunakan tulangan UHSS dinyatakan memenuhi persyaratan kelayanan terhadap lendutan untuk seluruh kombinasi pembebanan.

Pada seluruh kombinasi, kontribusi lendutan terbesar berasal dari beban lajur “D” sebesar 0,0248 m, diikuti oleh berat sendiri struktur sebesar 0,0179 m dan beban mati tambahan sebesar 0,0046 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa beban lalu lintas merupakan komponen yang paling dominan terhadap deformasi vertikal gelagar. Lendutan maksimum yang terjadi mencapai sekitar 78,24% dari

batas lendutan izin, sehingga masih tersedia selisih keamanan lendutan sebesar 0,0136 m atau 13,60 mm.



Gambar 4.8 Gambar Penulangan Balok T BjTS 420
Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.8 menunjukkan detail penulangan gelagar balok T UHSS dengan lebar efektif sayap, b_{eff}, sebesar 2.400 mm, lebar badan gelagar sebesar 600 mm, tinggi gelagar sebesar 1.000 mm, dan tebal pelat lantai sebesar 200 mm. Beton yang digunakan memiliki kuat tekan $f_c' = 41{,}5$MPa, sedangkan tulangan utama menggunakan batang D25 dan tulangan sengkang menggunakan batang D13.

Tulangan tarik utama ditempatkan pada bagian bawah penampang sebanyak 17-D25, yang disusun dalam dua lapis dengan konfigurasi 9+8 batang. Tulangan tekan pada bagian atas digunakan sebanyak 6-D25. Pada badan gelagar digunakan tulangan susut sebanyak 4-D13, sedangkan tulangan geser menggunakan sengkang D13-150, yaitu sengkang berdiameter 13 mm dengan jarak pemasangan 150 mm.

Hasil analisis menunjukkan bahwa susunan penulangan UHSS tersebut menghasilkan kapasitas momen ultimit sebesar 3.810,93 kNm, atau sekitar 2,93% lebih besar daripada momen ultimit rencana sebesar 3.702,46 kNm. Dengan demikian, susunan tulangan tarik 17-D25, tulangan tekan 6-D25, dan sengkang D13-150 dinyatakan memenuhi persyaratan kapasitas struktur.

4.1.3. Analisis Waktu Menggunakan Metode PERT

PERT dipilih karena pekerjaan jembatan memiliki ketidakpastian durasi yang dipengaruhi oleh kesiapan alat, kondisi lapangan, cuaca, ketersediaan material, proses inspeksi mutu, serta koordinasi lalu lintas.

Durasi paling mungkin (m) mengacu pada durasi rencana kegiatan yang sebelumnya digunakan dalam analisis jadwal. Durasi optimis (a) menunjukkan kondisi apabila pekerjaan berjalan lebih lancar daripada rencana, sedangkan durasi pesimis (b) menunjukkan kondisi apabila terdapat hambatan lapangan. Dengan demikian, hasil yang diperoleh tidak hanya berupa total durasi, tetapi juga lintasan kritis, kelonggaran waktu, varians, simpangan baku, dan peluang penyelesaian pekerjaan.

Tabel 4.14 Data Aktivitas PERT Metode Cast in situ

Kode	Kegiatan	Pendahulu	a hari	m hari	b hari	te hari	Varian
A	Persiapan, mobilisasi, dan rambu lalu lintas	-	2	3	4	3,00	0,11
B	Pembongkaran struktur atas	A	4	5	7	5,17	0,25
C	Perancah dan bekisting gelagar/pelat	B	6	7	9	7,17	0,25
D	Pembesian gelagar dan pelat lantai	C	6	8	10	8,00	0,44

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Tabel 4.14 Data Aktivitas PERT Metode Cast in situ (lanjutan)

Kode	Kegiatan	Pendahulu	a hari	m hari	b hari	te hari	Varians
E	Pengecekan tulangan dan persiapan cor	D	1	2	3	2,00	0,11
F	Pengecoran struktur atas	E	1	2	3	2,00	0,11
G	Curing beton lapangan	F	12	14	17	14,17	0,69
H	Bongkar perancah dan perapihan sambungan	G	3	4	5	4,00	0,11
I	Aspal, marka, railing, dan pembukaan lalu lintas	H	2	3	4	3,00	0,11

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Berdasarkan Tabel 4.2, metode cast in situ memiliki sembilan kegiatan yang membentuk rangkaian berurutan. Seluruh kegiatan saling bergantung sehingga keterlambatan satu kegiatan akan langsung mempengaruhi kegiatan berikutnya. Durasi harapan total lintasan adalah 48,50 hari, sedikit lebih besar daripada durasi deterministik 48 hari karena beberapa kegiatan memiliki rentang pesimis yang cukup besar, terutama curing beton lapangan dan pembesian.

Kegiatan curing beton lapangan mempunyai ketidakpastian tertinggi karena dipengaruhi oleh pencapaian mutu beton, kondisi cuaca, dan kesiapan

pembongkaran perancah. Oleh sebab itu, kegiatan ini menjadi salah satu komponen penting dalam pengendalian jadwal cast in situ.

Tabel 4.15 Data Aktivitas PERT Metode Accelerated Bridge Construction

Kode	Kegiatan	Pendahulu	a hari	m hari	b hari	te hari	Varians
A	Shop drawing, persetujuan material, dan metode kerja	-	2	3	4	3,00	0,11
B	Fabrikasi girder/panel pracetak di luar lokasi	A	9	11	13	11,00	0,44
C	Persiapan site dan manajemen lalu lintas	A	2	3	4	3,00	0,11
D	Pembongkaran struktur atas eksisting	C	2	3	4	3,00	0,11
E	Pengangkatan pemasangan girder pracetak	B,D	1	2	3	2,00	0,11

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

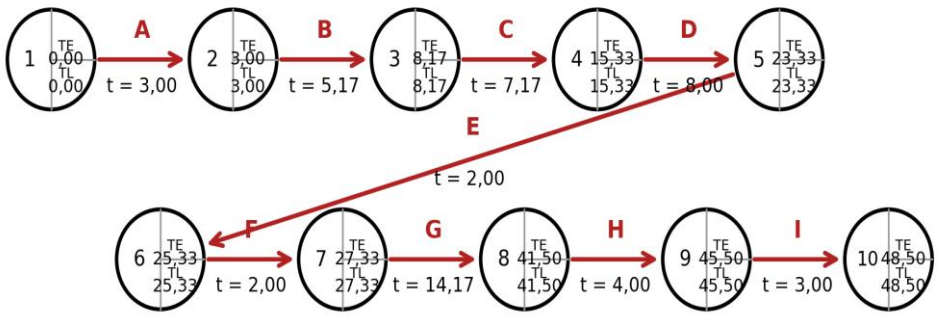
Tabel 4.16 Data Aktivitas PERT Metode *Accelerated Bridge Construction* (lanjutan)

Kode	Kegiatan	Pendahulu	a hari	m hari	b hari	te hari	Varian
F	Pemasangan panel pelat dan diafragma cepat	E	2	3	4	3,00	0,11
G	Closure pour/grouting sambungan	F	2	3	5	3,17	0,25
H	Curing cepat dan inspeksi sambungan	G	1	2	3	2,00	0,11
I	Aspal, marka, railing, dan pembukaan lalu lintas	H	1	2	3	2,00	0,11

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Pada metode *Accelerated Bridge Construction*, kegiatan fabrikasi elemen pracetak dan persiapan site tidak harus seluruhnya menunggu pekerjaan lapangan utama. Hubungan ketergantungan ini membuat jaringan kerja *Accelerated Bridge Construction* lebih efisien daripada cast in situ. Durasi harapan jalur kritis *Accelerated Bridge Construction* adalah 26,17 hari dengan jalur kritis A-B-E-F-G-H-I.

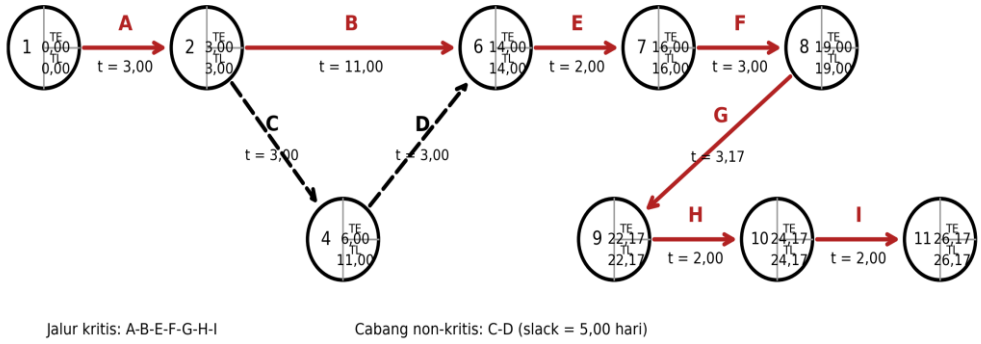
Kegiatan C dan D pada metode *Accelerated Bridge Construction* tetap penting karena menjadi syarat sebelum pemasangan girder pracetak, tetapi keduanya memiliki slack sekitar 5 hari. Artinya, keterlambatan kecil pada kegiatan persiapan site dan pembongkaran belum langsung menunda proyek selama kegiatan tersebut selesai sebelum kegiatan E dimulai.



Gambar 4.9 Jaringan Kerja PERT Metode Cast in situ

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa seluruh kegiatan cast in situ berada pada satu rangkaian linier sehingga semua kegiatan memiliki slack nol.



Gambar 4.10 Jaringan Kerja PERT Metode Accelerated Bridge Construction

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa metode *Accelerated Bridge Construction* memiliki cabang paralel pada kegiatan fabrikasi dan persiapan site. Cabang fabrikasi menjadi pengendali utama karena durasinya lebih panjang daripada cabang persiapan site dan pembongkaran.

Tabel 4.17 Hasil Forward Pass, Backward Pass, dan Slack PERT

Metode	Kode	ES	EF	LS	LF	Slack	Status
Cast in situ	A	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	Kritis
Cast in situ	B	3,00	8,17	3,00	8,17	0,00	Kritis
Cast in situ	C	8,17	15,33	8,17	15,33	0,00	Kritis
Cast in situ	D	15,33	23,33	15,33	23,33	0,00	Kritis
Cast in situ	E	23,33	25,33	23,33	25,33	0,00	Kritis
Cast in situ	F	25,33	27,33	25,33	27,33	0,00	Kritis
Cast in situ	G	27,33	41,50	27,33	41,50	0,00	Kritis
Cast in situ	H	41,50	45,50	41,50	45,50	0,00	Kritis

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Tabel 4.18 Hasil Forward Pass, Backward Pass, dan Slack PERT (lanjutan)

Metode	Kode	ES	EF	LS	LF	Slack	Status
Cast in situ	I	45,50	48,50	45,50	48,50	0,00	Kritis
ABC	A	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	Kritis
ABC	B	3,00	14,00	3,00	14,00	0,00	Kritis
ABC	C	3,00	6,00	8,00	11,00	5,00	Non-kritis
ABC	D	6,00	9,00	11,00	14,00	5,00	Non-kritis
ABC	E	14,00	16,00	14,00	16,00	0,00	Kritis
ABC	F	16,00	19,00	16,00	19,00	0,00	Kritis
ABC	G	19,00	22,17	19,00	22,17	0,00	Kritis
ABC	H	22,17	24,17	22,17	24,17	0,00	Kritis
ABC	I	24,17	26,17	24,17	26,17	0,00	Kritis

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Forward pass digunakan untuk memperoleh ES dan EF, sedangkan backward pass digunakan untuk memperoleh LS dan LF. Kegiatan dengan slack nol ditetapkan sebagai kegiatan kritis karena tidak memiliki kelonggaran waktu. Pada cast in situ seluruh kegiatan kritis, sedangkan pada *Accelerated Bridge Construction* kegiatan C dan D tidak kritis karena memiliki slack lima hari.

Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Analisis PERT

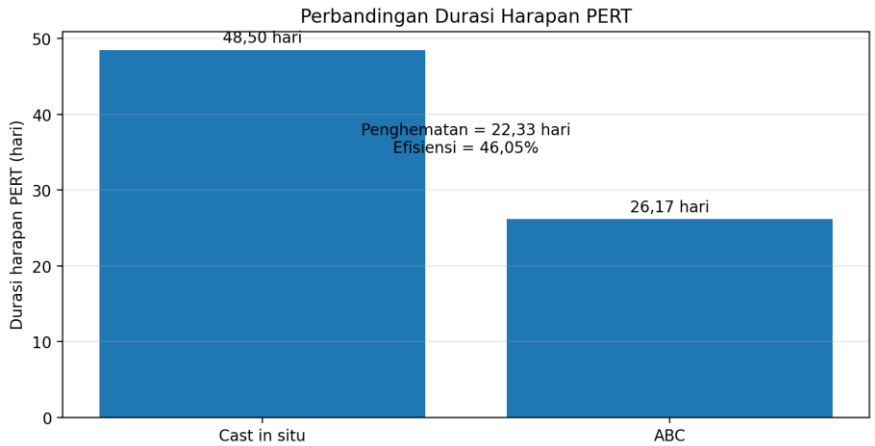
Parameter	Cast in situ	ABC	Interpretasi
Durasi harapan PERT (TE)	48,50 hari	26,17 hari	ABC lebih cepat 22,33 hari
Lintasan kritis	A-B-C-D-E-F-G-H-I	A-B-E-F-G-H-I	ABC memindahkan sebagian pekerjaan ke luar jalur kritis
Varians proyek	2,19	1,25	Varians dihitung dari aktivitas kritis
Simpangan baku proyek	1,48 hari	1,12 hari	ABC memiliki ketidakpastian jalur kritis lebih kecil
Peluang selesai sesuai target awal	36,79% pada 48 hari	44,07% pada 26 hari	Target sama dengan rencana deterministik relatif menantang
Peluang selesai dengan buffer	99,09% pada 52 hari	94,95% pada 28 hari	Buffer kecil
Efisiensi durasi harapan	-	46,05%	Efisiensi dihitung terhadap TE cast in situ

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Hasil PERT menunjukkan bahwa durasi harapan metode cast in situ adalah 48,50 hari, sedangkan metode *Accelerated Bridge Construction* adalah 26,17 hari. Dengan demikian, penghematan durasi harapan adalah 22,33 hari atau 46,05%. Nilai ini menunjukkan bahwa manfaat *Accelerated Bridge Construction* bukan hanya berasal dari pengurangan jumlah hari secara deterministik, tetapi juga dari perubahan struktur jaringan kerja yang memungkinkan sebagian kegiatan berlangsung paralel.

Pada target 48 hari, peluang penyelesaian cast in situ adalah 36,79%. Nilai ini lebih rendah dari 50% karena durasi harapan PERT (48,50) sedikit lebih besar daripada target deterministik 48 hari. Apabila target diberi buffer menjadi 52 hari, peluang meningkat menjadi 99,09%. Dengan demikian, cast in situ memerlukan buffer waktu yang lebih besar untuk mencapai tingkat keyakinan tinggi.

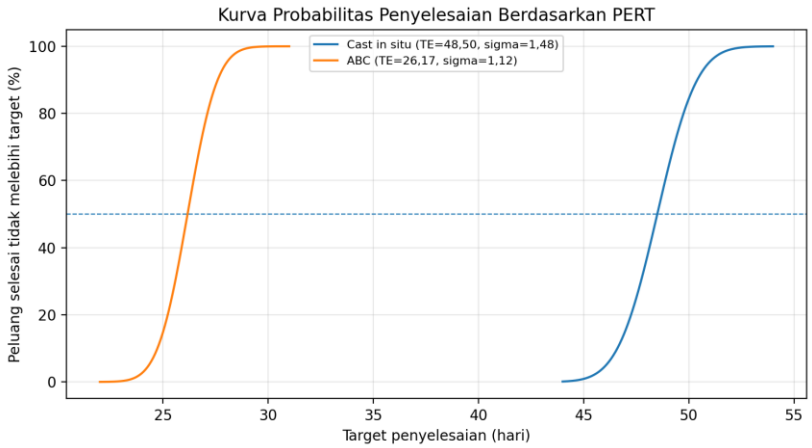
Pada metode *Accelerated Bridge Construction*, peluang penyelesaian tepat pada target 26 hari adalah 44,07%, sedangkan peluang penyelesaian pada 28 hari menjadi 94,95%. Artinya, tambahan buffer sekitar dua hari sudah menghasilkan peluang penyelesaian yang tinggi karena simpangan baku jalur kritis *Accelerated Bridge Construction* lebih kecil daripada cast in situ.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Durasi Harapan PERT

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

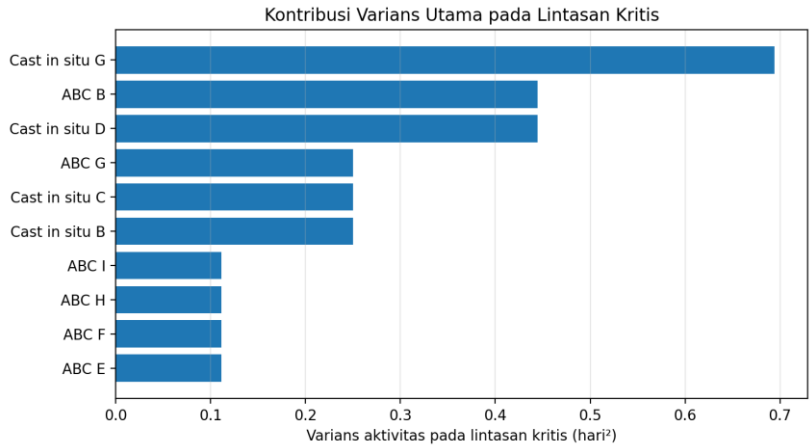
Gambar 4.11 menunjukkan selisih durasi harapan antara metode *cast in situ* dan metode PERT didapatkan penghematan 22,33 hari atau efisiensi sebesar 46,05%



Gambar 4.12 Kurva Probabilitas Penyelesaian Berdasarkan PERT

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa peningkatan target penyelesaian beberapa hari di atas durasi harapan akan meningkatkan peluang penyelesaian secara signifikan.



Gambar 4.13 Grafik Kontribusi Varians pada Lintasan Kritis

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa sumber ketidakpastian terbesar pada cast in situ berasal dari curing beton lapangan, sedangkan pada *Accelerated Bridge Construction* berasal dari fabrikasi girder/panel pracetak dan closure pour/grouting sambungan.

4.2. Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur dan Waktu

Hasil temuan penelitian dimulai dari rekapitulasi pembebanan adalah kombinasi beban, momen ultimit rencana terbesar diperoleh pada Kombinasi 1 sebesar 3.702,46 kNm.

Tabel 4.20 Rekapitulasi Hasil Analisis Mutu dan Waktu Berbasis PERT

Indikator	Konvensional / Cast in situ	UHSS / ABC	Interpretasi
Tulangan tarik	29-D25	17-D25	UHSS mengurangi 12 batang tulangan tarik
Kapasitas momen ultimit	3.898 kNm	3.810,93 kNm	Keduanya lebih besar dari Mu = 3.702,46 kNm
Sengkang	D13-90	D13-150	UHSS memungkinkan jarak sengkang lebih renggang
Berat tulangan 6 gelagar	17.473,61 kg	9.933,21 kg	Penghematan 43,15%

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Tabel 4.21 Rekapitulasi Hasil Analisis Mutu dan Waktu Berbasis PERT (lanjutan)

Indikator	Konvensional / Cast in situ	UHSS / ABC	Interpretasi
Durasi harapan PERT	48,50 hari	26,17 hari	Penghematan 22,33 hari
Peluang dengan target rencana	36,79% pada 48 hari	44,07% pada 26 hari	Target tanpa buffer relatif menantang
Peluang dengan buffer	99,09% pada 52 hari	94,95% pada 28 hari	Buffer meningkatkan keyakinan penyelesaian

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Rekapitulasi tersebut menunjukkan bahwa perubahan material dari tulangan konvensional menjadi UHSS tetap memenuhi syarat kapasitas struktur, sedangkan perubahan metode dari cast in situ menjadi *Accelerated Bridge Construction* memberikan keuntungan waktu yang kuat menurut PERT. Kombinasi UHSS dan *Accelerated Bridge Construction* tidak hanya mengurangi jumlah tulangan, tetapi juga mengurangi durasi harapan proyek dan menurunkan ketidakpastian pada jalur kritis.

4.3. Pembahasan Hasil terhadap Tujuan Penelitian

Tujuan pertama penelitian ini adalah menganalisis perbandingan mutu struktur dan efisiensi kebutuhan tulangan gelagar induk balok T Jembatan Bungur antara penggunaan tulangan konvensional BJTS 420B dan tulangan UHSS. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua skenario memenuhi kontrol lentur, geser, dan lendutan. Penggunaan UHSS menurunkan jumlah tulangan tarik dari 29-D25 menjadi 17-D25 dan menurunkan berat tulangan total 6 gelagar sebesar 43,15%.

Tujuan kedua penelitian ini adalah membandingkan durasi pelaksanaan pekerjaan Jembatan Bungur antara metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction* menggunakan PERT. Berdasarkan perhitungan PERT, durasi harapan cast in situ sebesar 48,50 hari, sedangkan durasi harapan *Accelerated Bridge Construction* sebesar 26,17 hari. Penghematan durasi harapan sebesar 22,33 hari atau 46,05%.

Perbedaan paling penting antara kedua metode terletak pada bentuk jaringan kerja. Metode cast in situ bersifat linier sehingga semua kegiatan menjadi kritis. Sebaliknya, metode *Accelerated Bridge Construction* memiliki kegiatan yang dapat berjalan paralel, terutama fabrikasi elemen pracetak dan persiapan site. Karena itu, *Accelerated Bridge Construction* tidak hanya lebih cepat secara durasi, tetapi juga lebih baik dalam mengelola risiko keterlambatan karena tidak semua aktivitas berada pada jalur kritis.

Dari sisi probabilitas, target 48 hari pada cast in situ memiliki peluang penyelesaian 36,79%, sedangkan target 26 hari pada *Accelerated Bridge Construction* memiliki peluang 44,07%. Apabila target diberi buffer menjadi 52 hari untuk cast in situ dan 28 hari untuk *Accelerated Bridge Construction*, peluang penyelesaian meningkat menjadi 99,09% dan 94,95%. Hasil ini menunjukkan pentingnya buffer waktu pada pekerjaan jembatan, terutama pada kegiatan kritis yang memiliki varians besar.

4.4. Pembahasan Hasil terhadap Tujuan Penelitian

Tabel 4.22 Interpretasi Hasil Utama Penelitian

Aspek	Temuan	Makna Teknis
Mutu struktur	Konvensional dan UHSS memenuhi kapasitas lentur, geser, dan lendutan	UHSS layak sebagai alternatif material berdasarkan asumsi desain

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Tabel 4.23 Interpretasi Hasil Utama Penelitian (lanjutan)

Aspek	Temuan	Makna Teknis
Konstruktabilitas	Tulangan UHSS lebih sedikit dan sengkang lebih renggang	Pemasangan tulangan dan pengecoran berpotensi lebih mudah
Durasi	TE *Accelerated Bridge Construction* 26,17 hari lebih cepat daripada TE cast in situ 48,50 hari	*Accelerated Bridge Construction* memberikan efisiensi waktu 46,05%
Risiko jadwal	*Accelerated Bridge Construction* memiliki cabang non-kritis dengan slack 5 hari	Keterlambatan kecil pada persiapan site/pembongkaran tidak langsung menunda proyek
Kegiatan sensitif	Curing beton pada cast in situ dan fabrikasi pada *Accelerated Bridge Construction* memberi kontribusi varians besar	Pengendalian mutu dan kesiapan fabrikasi menjadi fokus pengawasan

Sumber : *Data Olahan Peneliti, 2026*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan UHSS memberikan keuntungan utama pada aspek efisiensi material dan konstruktabilitas, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* memberikan keuntungan utama pada aspek waktu. PERT memperjelas bahwa keuntungan waktu *Accelerated Bridge Construction* terjadi karena adanya perubahan jaringan kerja, bukan sekadar pengurangan durasi tiap kegiatan.

Dalam skenario cast in situ, seluruh kegiatan berada pada lintasan kritis. Artinya, keterlambatan pada pembongkaran, bekisting, pembesian, pengecoran, curing, atau pekerjaan akhir akan langsung menunda penyelesaian proyek.

Kegiatan curing beton lapangan perlu menjadi perhatian karena memiliki varians paling besar dan tidak mudah dipercepat tanpa memperhatikan mutu beton.

Dalam skenario *Accelerated Bridge Construction*, kegiatan fabrikasi elemen pracetak menjadi kegiatan kritis yang sangat menentukan. Apabila fabrikasi terlambat, pemasangan girder dan pekerjaan lanjutan akan tertunda. Namun, karena persiapan site dan pembongkaran memiliki slack, pengendalian waktu *Accelerated Bridge Construction* dapat difokuskan pada kesiapan shop drawing, produksi pracetak, mutu sambungan, dan logistik pengangkatan.

Secara keseluruhan, kombinasi *UHS*S dan *Accelerated Bridge Construction* layak dipertimbangkan sebagai alternatif teknis pada pekerjaan Jembatan Bungur. UHSS memberikan efisiensi berat tulangan sebesar 43,15%, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* berdasarkan PERT memberikan efisiensi durasi harapan sebesar 46,05%. Penerapannya tetap memerlukan desain detail, shop drawing, inspeksi mutu, pengendalian sambungan, dan manajemen lalu lintas yang matang.

4.4 Interpretasi Hasil Penelitian

Dalam skenario cast in situ, seluruh kegiatan berada pada lintasan kritis. Artinya, keterlambatan pada pembongkaran, bekisting, pembesian, pengecoran, curing, atau pekerjaan akhir akan langsung menunda penyelesaian proyek.

Dalam skenario *Accelerated Bridge Construction*, kegiatan fabrikasi elemen pracetak menjadi kegiatan kritis yang sangat menentukan. Apabila fabrikasi terlambat, pemasangan girder dan pekerjaan lanjutan akan tertunda. Namun, karena persiapan site dan pembongkaran memiliki slack, pengendalian waktu *Accelerated Bridge Construction* dapat difokuskan pada kesiapan shop drawing, produksi pracetak, mutu sambungan, dan logistik pengangkatan.

UHSS memberikan efisiensi berat tulangan sebesar 43,15%, sedangkan *Accelerated Bridge Construction* berdasarkan PERT memberikan efisiensi durasi harapan sebesar 46,05%. Penerapannya tetap memerlukan desain detail, shop drawing, inspeksi mutu, pengendalian sambungan, dan manajemen lalu lintas yang matang.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, kesimpulan yang dapat didapatkan adalah sebagai berikut.

1. Perbandingan mutu struktur dan efisiensi kebutuhan tulangan gelagar induk balok T Jembatan Bungur adalah tulangan konvensional sebanyak 29-D25 dengan kapasitas momen ultimit 5,28% lebih besar dari momen ultimit rencana. Tulangan *UHSS* memerlukan 17-D25 dengan kapasitas momen ultimit 2,93% lebih besar dari momen ultimit rencana. Penggunaan *UHSS* memberikan efisiensi berat tulangan sebesar 43,15%.
2. Perbandingan durasi pelaksanaan pekerjaan Jembatan Bungur antara metode cast in situ dan metode *Accelerated Bridge Construction* menggunakan PERT. Berdasarkan perhitungan PERT, durasi harapan cast in situ sebesar 48,50 hari, sedangkan durasi harapan *Accelerated Bridge Construction* sebesar 26,17 hari. Penghematan durasi harapan sebesar 22,33 hari atau 46,05%.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap struktur bawah jembatan, seperti abutment, pilar, dan pondasi, karena penelitian ini hanya dibatasi pada struktur atas jembatan berupa gelagar utama tipe T-girder.

2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian laboratorium terhadap material UHSS dan beton mutu K-500, khususnya untuk mengetahui perilaku lekatan antara tulangan dan beton, pola retak, daktilitas, lendutan aktual, serta kapasitas geser pada kondisi pembebanan berulang.

3. Penggunaan tulangan UHSS pada pekerjaan jembatan perlu dikaji lebih lanjut dari aspek detail penyaluran dan sambungan tulangan, seperti panjang penyaluran, panjang lewatan, kait, serta pengaruhnya terhadap perilaku retak dan daktilitas struktur.

4. Analisis PERT sebaiknya dikembangkan dengan data lapangan aktual, misalnya catatan produktivitas, catatan cuaca, waktu tunggu material, waktu inspeksi, dan waktu mobilisasi alat, sehingga nilai optimis, paling mungkin, dan pesimis menjadi lebih representatif.

5. Pada penerapan metode *Accelerated Bridge Construction*, kegiatan fabrikasi girder/panel pracetak harus dikendalikan sejak tahap shop drawing, persetujuan material, inspeksi produksi, pengujian mutu, dan kesiapan transportasi, karena kegiatan tersebut berada pada lintasan kritis PERT.

6. Perencanaan jadwal konstruksi sebaiknya tidak hanya menampilkan bar chart, tetapi juga jaringan kerja PERT, lintasan kritis, slack, dan probabilitas penyelesaian. Dengan demikian, pengambil keputusan dapat menentukan kebutuhan buffer waktu dan prioritas pengawasan secara lebih objektif.

DAFTAR PUSTAKA

Aboukifa, Mahmoud, Moustafa, Mohamed A, Itani, Ahmad M, Naeimi, & Negar. (2019). *Durable UHPC Columns with High-Strength Steel*. Retrieved https://orcid.org/0000-0002-

Aldabagh, S. M. (2021). *Performance-based seismic design and assessment of concrete bridge piers reinforced with high-strength steel rebar*. https://open.library.ubc.ca/collections/24/items/1.0401360

Aldabagh, S., Rodríguez, J., & Alam, M. S. (2022). Low-cycle fatigue performance of high-strength steel rebars in concrete bridge columns. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *51*(5), 1115–1132. https://doi.org/10.1002/eqe.3607

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7833:2012 tentang Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk jembatan*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 2052:2017 tentang Baja tulangan beton*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Jakarta: BSN.

Eltahawy, R., Hassan, T., El-Wahed, O., & Rizkalla, S. (2009, April). *FLEXURAL BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH HIGH STRENGTH STEEL REINFORCING BARS*.

Fadillah, Iskandar, & Miswar, K. (2018). Tinjauan perencanaan struktur atas jembatan beton bertulang Gampong Alue Lhok Kecamatan Darul Aman Kabupaten Aceh Timur. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 1(1). https://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/JSST/article/view/919/0

Fereig, S. M. (1994). Preliminary design of precast prestressed concrete box girder bridges. *PCI Journal*, 39(3), 82-90. https://trid.trb.org/view/413804

Ghasemi, S., Zohrevand, P., Mirmiran, A., Xiao, Y., & Mackie, K. (2016). A super lightweight UHPC–HSS deck panel for movable bridges. *Engineering Structures*, *113*, 186–193. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.01.046

Hartono, B., & Wijaya, A. (2019). Evaluasi kapasitas struktur jembatan akibat penurunan mutu baja tulangan. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 14(2), 89-102. https://doi.org/10.22146/jrsl.45678

He, S., Lv, B., Huang, X., Zou, L., & Zhou, D. (2024). Cracking performance in the hogging moment region of HSS-UHPC continuous composite girder bridges. *Structures*, *61*, 106081. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106081

Jingfeng, W., Ziming, H., Shen, Q., Guoqiang, L., & Zhenghu, H. (2023). Mechanical investigation and design of axially-loaded concrete columns reinforced with grade 700 MPa reinforcing bars. *Structures*. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:254440954

Kusuma, A., Rahardjo, S., & Susanto, H. (2021). Experimental study on flexural behavior of concrete beams reinforced with ultra high strength steel bars. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 15(3), 245-260. https://doi.org/10.1186/s40069-021-00456-7

Mauliana, Y., & Saputra, F. W. (2024). Studi perbandingan metode pembebanan struktur bangunan atas jembatan beton bertulang. *Jurnal Akselerasi*, 5(2). https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/akselerasi/article/view/10189

Mulyono, T., Setiawan, B., & Pratama, R. (2020). Analisis kerusakan jembatan beton bertulang di wilayah pesisir. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 27(2), 145-158. https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.2.5

Pranata, D. R., Witjaksana, B., & Tjendani, H. T. (2022). Analisis Perkuatan Struktur Beton dengan Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp), dan Glass Fiber Reinforced Polymer (Gfrp) Terhadap Biaya. *Senakama: Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa*, *1*(1), 35–45.

Santoso, B., & Pramono, A. (2022). Durability performance of ultra high strength steel reinforcement in marine environment. *Construction and Building Materials*, 345, 127890. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127890

Saleem Muhammad, Amir, M., Jun, X., & Kevin, M. (2015). Experimental Characterization of Ultrahigh-Performance Concrete Bridge Deck System. *Journal of Bridge Engineering*, *20*(9), 04014101. https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000697

Shulhan, M. A., Galuh, D. L. C., & Manek, G. (2024). Menghitung gaya geser dan momen jembatan beton bertulang T-girder menggunakan SNI 1725-2016. *Prosiding SINLIMATEK Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta*. https://seminar.ustjogja.ac.id/index.php/SINLIMATEK/article/view/2003

Su, J., Wang, X., Wu, D., Li, J., Gao, H., Miao, Y., Dai, X., & Yao, C. (2025). *Seismic performance of UHPC-HSC composite hollow bridge piers reinforced with high-strength steel bars*. https://doi.org/10.2139/ssrn.5601912

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

INPUT DATA
FORM ELEMEN YANG MEMERLUKAN TINDAKAN DARURAT
PEMERIKSAAN RUTIN JEMBATAN - BAGIAN KE 1 - TAHUN .....

DATA JEMBATAN

Nama Jembatan	: BUNGUR - (Tipe struktur : Jembatan)			
Lokasi Jembatan	: KM. Sby 138+635			
No Ruas / Nama Ruas	: 118 - Bts. Kota Pamekasan - Sotabar			
- Total Panjang Jembatan	: 15.00 M'	- Jumlah Bentang	: 1	

Elemen-elemen Memerlukan Tindakan Darurat

No	Uraian	
1	Elemen Level 3	- Pilih Elemen Level 3 -
2	Elemen level 4	- Pilih Elemen Level 4 -
3	Lokasi	A/P/B: Pilih A / B No: 0 X: 0 Y: 0 Z: 0
4	Alasan melakukan Tin Darurat / Usulan Pemeriks Detail	
5	Foto	(File Max: 1 MB - format JPG, JPEG, PNG atau GIF)

Contoh Alasan untuk melakukan tindakan darurat :

1. Kerusakan yang berpotensi pada keruntuhan jembatan
2. Pembatasan beban akibat beban berlebih
3. Bencana Alam
4. Bencana Non Alam (kebakaran, tumbuhan bahan berbahaya di atas jembatan)

Isian tindakan darurat yang harus dilakukan di atas jembatan seperti :

a. Pembatasan beban
b. Penyokongan / Sangga (shoring)
c. Penutupan parsial / sebagian (partial closure)
d. Penutupan penuh (full closure)
e. Jalan memutar (detour)
f. Jembatan sementara (temporary bridge)

INPUT DATA

FORM PEMERIKSAAN RUTIN JEMBATAN - BAGIAN KE 1 - TAHUN 2026

KONDISI JEMBATAN

(Tabel A20)

DATA JEMBATAN

Nama Jembatan	: BUNGUR - (Tipe struktur : Jembatan)			
Lokasi Jembatan	: KM. Sby 138+635			
No Ruas / Nama Ruas	: 118 - Bts. Kota Pamekasan - Sotabar			
- Total Panjang Jembatan	: 15.00 M'	- Jumlah Bentang	: 1	

TABEL A20

Tanggal Pemeriksaan Rutin : 22/01/2026

Nama / NIP Pemeriksa : nama Tim survey | NIP

TINDAKAN DARURAT

Apakah tindakan darurat disarankan ? ○ Ya ✓ Tdk

CATATAN

Apakah kondisi jembatan sesuai dengan pemeriksaan inventarisasi terakhir ? ✓ Ya ○ Tdk

- Keterangan :

Apakah kondisi jembatan sesuai dengan pemeriksaan detail terakhir ? ✓ Ya ○ Tdk

- Keterangan :

No	Perlu di Tindak Lanjut	Dokumentasi	Rekomendasi pemeliharaan
1	Gompal Pada Bangunan Atas Jembatan	 gompal pada Sandaran  Gompal Pada Sandaran	Perbaikan Gompal dengan mortar atau adukan semen
2	retak	 Retak Pada Plat Pondasi Sandaran  Retak Pada Tembokm Sayap Jembatan	
3	Gompal dan retak Pada Jalan Akses	 Retak dan Gompal Pada Jalan Akses	Pemeliharaan dan perbaikan jalan akses sangat diperlukan

3	Sumbatan Drainase jembatan	 Sumbatan Pada Drainase Jembatan Kiri  Sumbatan Drainase Jembatan Kanan	pembersihan drainase jembatan terutama disisi kanan dari STA Kecil ke STA besar
4	Kebersihan Jembatan	 Sampah Pada Area Sekitar Jembatan  Tanaman Liar pada area oprit jembatan	Pembersihan umum dari sampah, limbah dan tanaman liar untuk menjaga keutuhan bangunan jembatan
5	Tanah timbunan Oprit Amblas	 Amblas Pada Oprit Jembatan sisi kanan	

INPUT DATA

FORM PEMERIKSAAN RUTIN JEMBATAN - BAGIAN KE 2 - TAHUN .....

KONDISI JEMBATAN

(Tabel A21, Tabel A22 dan Tabel A23)

DATA JEMBATAN			
Nama Jembatan	: BUNGUR - (Tipe struktur : Jembatan)		
Lokasi Jembatan	: KM. Sby 138+635		
No Ruas / Nama Ruas	: 118 - Bts. Kota Pamekasan - Sotabar		
- Total Panjang Jembatan	: 15.00 M'	- Jumlah Bentang	: 1

TABEL A21

KEAMANAN JEMBATAN

Elemen Pemeriksaan	Penjelasan	Data Pemeriksaan Rutin			
		Tidak	Ya	Lokasi	Foto
1 Tanah Timbunan	Keruntuhan, longsor atau amblas		√	(A / P / B) No.	
2 Aliran Sungai	a. Gerusan / degradasi dasar sungai	√		(A / P / B) No.	
	b. Endapan / agradasi	√		(A / P / B) No.	
	c. Benda hanyutan / debris di aliran sungai		√	(A / P / B) No.	
	d. Sisa struktur jembatan lama		√	(A / P / B) No.	
3 Fondasi	a Penurunan atau deformasi	√		(A / P / B) No.	
	b Retak pada bagian pondasi		√	(A / P / B) No.	
	c Kerusakan berupa lepasnya bahan pondasi (gompal, delaminasi, karat atau busuk)	√		(A / P / B) No.	
	d. Lepas / rusaknya sistem perlindungan (cat, galvanis, proteksi katodik)	√		(A / P / B) No.	
4 Bangunan Bawah	a. Pergerakan atau amblasnya Kepala Jembatan / Pilar	√		(A / P / B) No.	
	b. Keretakan bagian tembok sayap, kepala jembatan / pilar		√	(A / P / B) No.	

KEAMANAN JEMBATAN

Elemen Pemeriksaan	Penjelasan	Data Pemeriksaan Rutin			
		Tidak	Ya	Lokasi	Foto
	c. Kerusakan berupa pelepasan bahan (gompal, delaminasi, karat, atau busuk)		√	(A / P / B) No.	
	d. Rembesan air		√	(A / P / B) No.	
	e. Lepas / rusaknya sistem perlindungan (cat, galvanis, proteksi katodik)	√		(A / P / B) No.	
	f. Tidak berfungsinya sistem perkuatan	√		(A / P / B) No.	
5 Bangunan Atas	a. Lendutan berlebihan sewaktu lalu lintas lewat di atas jembatan	√		(A / P / B) No.	
	b. Keretakan bahan bangunan atas		√	(A / P / B) No.	
	c. Kerusakan berupa pelepasan bahan (gompal, delaminasi, karat, atau busuk)		√	(A / P / B) No.	
	d. Lepas / longgar sistem sambungan	√		(A / P / B) No.	
	e. Rusaknya elemen penahan struktur kabel	√		(A / P / B) No.	
	f. Tidak berfungsinya sistem perkuatan	√		(A / P / B) No.	
	g. Pergeseran bangunan atas yang ekstrim	√		(A / P / B) No.	
	h. Lepasnya ikatan penahan gempa	√		(A / P / B) No.	
	i. Sampah pada elemen rangka baja	√		(A / P / B) No.	
	j. Rembesan air bangunan atas		√	(A / P / B) No.	
	k. Rembesan air bagian bawah lantai		√	(A / P / B) No.	
	l. Tidak berfungsi elemen-elemen drainase	√		(A / P / B) No.	
6 Siar Muai	a. Beda tinggi antara elevasi jaan pendekat dengan elevasi lantai jembatan	√		(A / P / B) No.	

INPUT DATA

FORM PEMERIKSAAN RUTIN JEMBATAN - BAGIAN KE 2 - TAHUN .....

KONDISI JEMBATAN

(Tabel A21, Tabel A22 dan Tabel A23)

DATA JEMBATAN			
Nama Jembatan	: BUNGUR - (Tipe struktur : Jembatan)		
Lokasi Jembatan	: KM. Sby 138+635		
No Ruas / Nama Ruas	: 118 - Bts. Kota Pamekasan - Sotabar		
- Total Panjang Jembatan	: 15.00 M'	- Jumlah Bentang	: 1

TABEL A22.1

KESELAMATAN JEMBATAN					
Elemen Pemeriksaan	Penjelasan	Data Pemeriksaan Rutin			
		Tidak	Ya	Lokasi	Foto
1 Sandaran	a. Ketidaklengkapan elemen	☑	☐	(A / P / B) No.	
	b. Longgar / hilang sistem sambungan	☑	☐	(A / P / B) No.	
	c. Kerusakan berupa pelepasan bahan (gompal, deliminasi,karat, atau rusak)	☐	☑	(A / P / B) No.	
2 Rambu dan Tanda	a. Ketidaklengkapan elemen	☑	☐	(A / P / B) No.	
	b. Longgar / hilang sistem sambungan	☑	☐	(A / P / B) No.	
3 Penangkal Petir	a. Ketidaklengkapan elemen	☑	☐	(A / P / B) No.	
	b. Tidak berfungsinya elemen	☑	☐	(A / P / B) No.	
	c. Longgar / hilang sistem sambungan	☑	☐	(A / P / B) No.	
	d. Kerusakan berupa pelepasan bahan (gompal, deliminasi,karat, atau rusak)	☑	☐	(A / P / B) No.	

INPUT DATA

FORM PEMERIKSAAN RUTIN JEMBATAN - BAGIAN KE 2 - TAHUN .....

KONDISI JEMBATAN

(Tabel A21, Tabel A22 dan Tabel A23)

DATA JEMBATAN			
Nama Jembatan	: BUNGUR - (Tipe struktur : Jembatan)		
Lokasi Jembatan	: KM. Sby 138+635		
No Ruas / Nama Ruas	: 118 - Bts. Kota Pamekasan - Sotabar		
- Total Panjang Jembatan	: 15.00 M'	- Jumlah Bentang	: 1

TABEL A23.1

PEMELIHARAAN, REHABILITASI, PENGGANTIAN DAN PEMBANGUNAN

Elemen Pemeriksaan	Penjelasan	Data Pemeriksaan Rutin			
		Tidak	Ya	Lokasi	Foto
1 Pemeliharaan Rutin	a. Pembuatan jalan akses		√	(A / P / B) No.	
	b. Pembersihan secara umum		√	(A / P / B) No.	
	c. Pengecatan sederhana		√	(A / P / B) No.	
	d. Penanganan kerusakan ringan	√		(A / P / B) No.	
2 Pemeliharaan Berkala	a. Pengecatan ulang			(A / P / B) No.	
	b. Penggantian lapisan permukaan			(A / P / B) No.	
	c. Penggantianlantai kayu			(A / P / B) No.	
	d. Penggantian kayu jalur roda kendaraan			(A / P / B) No.	
	e. Pembersihan keseluruhan jembatan			(A / P / B) No.	
	f. Pemeliharaan perletakan / landasan			(A / P / B) No.	
	g. Penggantiansambungan siar-muai			(A / P / B) No.	

KEAMANAN JEMBATAN					
Elemen Pemeriksaan	Penjelasan	Data Pemeriksaan Rutin			
		Tidak	Ya	Lokasi	Foto
	h. Perbaikan keretakan pasangan batu bata	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	i. Penggantian elemen-elemen kecil	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	j. Perbaikan tiang dan sandaran	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	k. Perawatan bagian-bagian yang bergerak	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	l. Perkuatan skala elemen struktural jembatan	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	m. Perbaikan longsor dan erosi tebing	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	n. Perbaikan sederhana bangunan pengaman	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
3 Rehabilitasi	a. Penggantian skala komponen jembatan	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	b. Modifikasi bangunan atas / bawah, fondasi	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	c. Perubahan sistem slar-muai dan perletakan	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
4 Penggantian	a. Bangunan Atas	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
	b. Bangunan Bawah	☐	☐	(A / P / B) No.	☐
5 Pelebaran / Duplikasi Jembatan		☐	☐	(A / P / B) No.	☐

(halaman ini sengaja dikosngkan)

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Kholilurrohman, anak ke 3 dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Banyuanyar 1 Sampang dan lulus pada tahun 2007 Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Sampang dan lulus pada tahun 2010. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMAN 1 Sampang dan diselesaikan pada tahun 2013. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Brawijaya, dan memperoleh gelar Sarjana pada tahun 2018, serta menyelesaikan pendidikan Progam Profesi Insinyur di Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya pada tahun 2026

Pada tahun 2025, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Magister Teknik Sipil di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Selama menempuh pendidikan magister, penulis memiliki ketertarikan pada bidang yang berkaitan dengan perencanaan, pengendalian waktu, dan evaluasi pelaksanaan proyek konstruksi.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik, penulis menyusun tesis dengan judul "Analisis Mutu Dan Waktu Pekerjaan Jembatan Bungur Pamekasan Menggunakan Tulangan Beton *Ultra High Strength Steel (UHSS)*". Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang manajemen proyek konstruksi, serta menjadi bahan pertimbangan dalam upaya meningkatkan efektivitas pengendalian waktu pelaksanaan proyek.