

REVIEW JEMBATAN SUTAMI DI BANDAR LAMPUNG

(Skripsi)

Oleh

AKHMAD DENDI NOSYA



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRAK

REVIEW JEMBATAN SUTAMI DI BANDAR LAMPUNG

Oleh

AKHMAD DENDI NOSYA

Banyak sistem struktur yang tersedia untuk membangun sebuah jembatan. Salah satunya adalah jembatan beton prategang. Penelitian ini bertujuan mereview desain perencanaan jembatan beton prategang menggunakan *software* SAP 2000 ver.14. Metode penelitian ini menggunakan metode elastis pada beton prategang, dan metode ultimit pada desain struktur jembatan yang lain. Sedangkan metode elemen hingga dengan SAP 2000 ver.14 dilakukan pada analisis beban lalu lintas.

Dari hasil analisis, pada gelagar memanjang diperlukan tulangan lentur 12 D13, tulangan kulit 6 Ø13, dan 18 strand 0,5” pada masing-masing tendon. Ada perbedaan dengan pihak perencana yang menggunakan tulangan lentur dibawah kebutuhan ρ_{min} , sedangkan pada strand yang dipakai, telah memenuhi standar perencanaan.

Pelat lantai kendaraan diperlukan tulangan lentur Ø16-200, tulangan susut serta suhu Ø13-250, oleh pihak perencana dipakai tulangan yang lebih rapat, yang disebabkan perubahan faktor reduksi tulangan lentur pada peraturan beton 2013.

Diafragma diperlukan tulangan lentur 2 D28, tulangan kulit 5 Ø13, serta tulangan geser Ø13-500. Ada perbedaan pada tulangan lentur yang dipakai perencana, yang juga disebabkan perubahan faktor reduksi pada peraturan beton 2013, sedangkan pada tulangan geser yang dipakai, telah memenuhi standar perencanaan.

Tiang sandaran diperlukan tulangan lentur Ø19-150 untuk daerah penebalan bawah sandaran, Ø13-150 untuk daerah diatasnya, serta 10 Ø13 tulangan geser, sama dengan perencanaan dari pihak perencana, dengan demikian tulangan yang dipakai telah memenuhi standar perencanaan yang berlaku.

Kesimpulan yang dapat diambil yaitu tulangan yang dipakai pada struktur utama telah memenuhi standar perencanaan, namun ada beberapa tulangan lentur yang digunakan dibawah kebutuhan ρ_{min} /peraturan beton tahun 2013.

Diharapkan akan adanya penelitian lanjutan menggunakan *software* *CSI Bridge*, dan rencana anggaran biayanya.

Kata kunci : jembatan, beton prategang, SAP 2000 ver. 14.

ABSTRACT

REVIEW of SUTAMI BRIDGE IN BANDAR LAMPUNG

By

AKHMAD DENDI NOSYA

Many structural systems are available to build a bridge. One of them is prestressed concrete bridge. The purpose of this research is to review the design of prestressed concrete bridge using SAP 2000 ver. 14 software.

This research uses elastic method on prestressed concrete, and ultimate method on the design of the other structures on the bridge. Whereas finite element analysis (FEA) with SAP 2000 ver.14 is used on traffic load analysis .

From the analysis results, the longitudinal girder requires bending reinforcement of 12 D13, skin reinforcement of 6 Ø13, and 18 strand with dia. of 0.5" in each tendon. There is a difference with existing design which uses bending reinforcement under the minimum requirement, whereas the strand used, meets the recent code.

Slab requires bending reinforcement of Ø16-200, shrinking reinforcement and temperature of Ø13-250, however the existing design used denser reinforcement, this difference is due to changes in the bending reduction factor which follows the recent code of 2013 .

Diaphragms requires bending reinforcement of 2 D28, skin reinforcement of 5 Ø13, and shear reinforcement of Ø13-500. this difference is due to changes in the reduction as well. Whereas in the shear reinforcement used by the existing design has met the recent code.

Barrier wall requires bending reinforcement of Ø19-150 for the thickening area below the wall, Ø13-150 for the above area, and shear reinforcement of 10 Ø13, thus the reinforcement used by the existing design has met the recent code.

The conclusion that can be taken is that the reinforcement used for the main structure component is correct, but some bending reinforcement are used under the need of ρ_{min} and concrete standard of 2013.

Keyword : bridge, prestressed concrete, SAP 2000 ver. 14

REVIEW JEMBATAN SUTAMI DI BANDAR LAMPUNG

Oleh

AKHMAD DENDI NOSYA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

**Judul Skripsi : REVIEW JEMBATAN SUTAMI DI BANDAR
LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : Akhmad Dendi Nosya

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011009

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 001



Ir. Surya Sebayang, M.T.
NIP 19580124 198703 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.



Sekretaris

: Ir. Surya Sebayang, M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T., M.T.

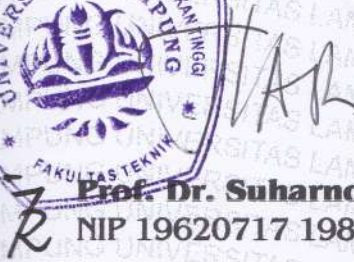


Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Juni 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “*Review Jembatan Sutami*” adalah karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 Juni 2018



Akhmad Dendi Nosya

Persembahan

Alhamdulillahirabbil'alamiin

Kupersembahkan karyaku

Kepada Papa, dan Mama tercinta

Terima kasih Atas segala usaha, kasih sayang, do'a, dan kesabaran yang selalu kalian berikan kepadaku

Kepada Keluargaku tersayang

Udo, dina, darma yang selalu mendukung dan memberikan semangatnya kepadaku

Kepada Sahabat Alfirmart. Abdi, Alfi, Bang Baim, Coco, Deska, Farhan, Rizki, Taufik, Nining, Novi, Aida, Desna, Heni, Uun, Klara, Ulfa, Nanda, Evi. Serta Teman-teman

Angkatan 2014

Terima kasih atas dukungan, perhatian, dan bantuan yang kalian berikan selama ini

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ إِنَّكَ عَفُوٌّ تُحِبُّ الْعَفْوَ فَاعْفُ عَنِّي

“Ya Allah, sesungguhnya Engkau Maha Pemaaf dan senang memaafkan, maka maafkanlah kesalahanku.”

رَبِّ اشْرَحْ لِي صَدْرِي وَيَسِّرْ لِي أَمْرِي وَاحْلُلْ عُقْدَةً مِنْ لِسَانِي
يَفْقَهُوا قَوْلِي

“Ya Rabbku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku”
(QS. Thoha: 25-28)

رَبِّ اجْعَلْنِي مُقِيمَ الصَّلَاةِ وَمِنْ ذُرِّيَّتِي رَبَّنَا وَتَقَبَّلْ دُعَا

“Ya Robbku, jadikanlah aku dan anak cucuku orang yg tetap melaksanakan sholat, Ya Robb kami , perkenankanlah doaku”
(QS. Ibrahim: 40)

مَنْ قَتَلَ نَفْسًا بِغَيْرِ نَفْسٍ أَوْ فَسَادٍ فِي الْأَرْضِ فَكَأَنَّمَا قَتَلَ النَّاسَ
جَمِيعًا وَمَنْ أَحْيَاهَا فَكَأَنَّمَا أَحْيَا النَّاسَ جَمِيعًا

“Barangsiapa yang membunuh seorang manusia, bukan karena orang itu (membunuh) orang lain, atau bukan karena membuat kerusakan dimuka bumi, maka seakan-akan dia telah membunuh manusia seluruhnya. Dan barangsiapa yang memelihara kehidupan seorang manusia, maka seolah-olah dia telah memelihara kehidupan manusia semuanya.”
(QS. Al Maidah: 32)

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, Lampung, pada tanggal 24 Maret 1995, sebagai anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Syafruddin Syateri, dan Ibu Nonizar.

Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Al Azhar 2 Bandar Lampung diselesaikan tahun 2001, Sekolah Dasar (SD) di SDN 3 Kemiling Permai Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 28 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 14 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2014.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) tes tertulis.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten Dosen mata kuliah Analisis Struktur II Tahun Ajaran 2015/16, Analisis Struktur III Tahun Ajaran 2016/2017, Struktur Beton Bertulang I, Struktur Baja II Tahun Ajaran 2016/2017, Praktikum Teknologi Bahan Tahun Ajaran 2017/2018, dan aktif dalam organisasi FOSSI FT dan HIMATEKS Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis juga pernah mengikuti lomba berskala nasional yaitu Lomba Rancang Bendungan Nasional (LRBN) Universitas Mataram tahun 2016.

Pada tahun 2017, penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi II Sidomulyo-Kotabaru selama tiga bulan, serta melakukan Kerja Kuliah Nyata (KKN) di Desa Rejo Basuki, Kecamatan Seputih Raman, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode Januari-Februari 2017.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul *Review* Jembatan Sutami di Bandar Lampung.

SAN WACANA

Puji syukur kehadiran Allah swt. karena atas rahmat, karunia, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**REVIEW JEMBATAN SUTAMI DI BANDAR LAMPUNG**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak. Prof. Dr. Suharno, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil. selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Ir. Surya Sebayang, M.T. selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T. selaku Penguji Utama pada ujian skripsi. Terimakasih untuk masukan dan saran-saran dalam proses penyelesaian skripsi ini.

6. Bapak Ofik Taufik Purwadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Kedua orang tuaku Bapak Syafruddin Syateri dan Ibu Nonizar yang menjadi pengisi semangatku. Terima kasih atas jasa-jasanya, kesabaran, do'a, yang tidak pernah lelah dalam mendidik dan memberikan cinta yang tulus dan ikhlas kepada penulis semenjak kecil.
9. Kakak, adik, dan keluarga besar saya yang selalu memberikan dukungan serta do'a untuk kesuksesan saya dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Teman-teman saya yang selalu memberi semangat saya dalam skripsi ini, terutama skuad Alfirmart tercinta.
11. Seluruh staf PT. Waskita Karya yang telah membantu Penulis selama masa kerja praktik.
12. Untuk Tim Kerja Praktik saya di di Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi II Sidomulyo-Kotabaru, Dedi Vernanda dan Uun Niatika.
13. Teman-teman Teknik Sipil khususnya angkatan 2014 yang sudah banyak membantu dan memberi semangat.
14. Untuk teman-teman KKN desa Rejo Basuki, Kecamatan Seputih Raman, Kabupaten Lampung Tengah, yang telah bersama-sama membangun kekompakan dan memberi kesan serta pengalaman hidup yang tak terlupakan.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. baik dari

segi isi maupun cara penyampaiannya Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun di kemudian hari. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Amin.

Bandar Lampung, Juli 2018

Penulis,

Akhmad Dendi Nosya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR NOTASI	x
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. <i>Outcome/Output</i> Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Rumusan Masalah	4
1.6. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tinjauan Umum	6
2.2. Pembagian Elemen Struktur Jembatan	11
2.3. Perencanaan Jembatan Beton Prategang PCI-Girder	12
III. METODE PENELITIAN	
3.1. Objek Penelitian	35
3.2. Pengumpulan Data	35
3.3. Analisis Data dan Hasil	36
3.4. Prosedur Penelitian	36
3.5. Diagram Alir Penelitian	38
IV. PEMBAHASAN	
4.1. Data Umum Jembatan	39
4.2. <i>Cross Section</i> Balok Girder	41
4.3. Material.....	41
4.4. Perencanaan Tiang Sandaran.....	42
4.5. Perencanaan Diafragma	46
4.6. Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan	50

4.7. <i>Section Analysis</i>	57
4.8. Pembebanan Jembatan pada Balok di Tengah Lajur Kendaraan	60
4.9. Pembebanan Jembatan pada Balok Tepi	74
4.10. Eksentrisitas Tendon, Gaya Prategang, dan Jumlah Strand	83
4.11. Posisi, dan Eksentrisitas Masing-Masing Tendon	85
4.12. Lintasan Inti Tendon	87
4.13. Sudut Angkur	88
4.14. Tata Letak, <i>Trace</i> , dan Elongasi Masing-Masing Tendon	88
4.15. Kehilangan Prategang	90
4.16. Gaya Prategang Efektif	99
4.17. Kontrol Tegangan Pada Penampang	100
4.18. Kontrol Lendutan Pada Penampang	102
4.19. Perhitungan Penulangan Balok Non-Prategang	105
4.20. Perencanaan untuk Kekuatan Lentur, dan Daktilitas	108
4.21. Perencanaan Tulangan Geser	113
4.22. Perhitungan Tulangan Torsi	114
4.23. Perhitungan Senggang Untuk <i>Bursting Force</i>	116
4.24. Perencanaan Bantalan Elastomer Berlapis	117
4.25. Perencanaan <i>Shear Connector</i>	122
4.26. Metode Desain Dengan SAP 2000 ver. 14	123
4.27. Perbandingan Perencanaan Penulangan dari PT. Arkonin	150

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	151
5.2. Saran	153

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Variasi jenis jembatan, dan bentang	10
Tabel 2.2. Lebar jembatan berdasarkan jumlah lajur	15
Tabel 2.3. Kelas Jembatan berdasarkan LHR.	17
Tabel 2.4. Kombinasi Pembebanan berdasarkan SNI 1725, 2016.	20
Tabel 2.5. Koefisien gesek kelengkungan dan <i>wobble</i>	25
Tabel 2.6. Koefisien susut.	27
Tabel 2.7. Nilai faktor relaksasi baja prategang (C)	28
Tabel 2.8. Nilai faktor waktu (J) dan koefisien relaksasi baja prategang (K_{re})... ..	29
Tabel 4.1. Beban mati tambahan.....	51
Tabel 4.2. Perhitungan momen inersia balok prategang.	58
Tabel 4.3. Perhitungan momen inersia balok komposit.....	59
Tabel 4.4. Perhitungan momen akibat beban diafragma.....	61
Tabel 4.5. Rekapitulasi gaya momen dan gaya geser akibat berat sendiri (MS) ..	63
Tabel 4.6. Rekapitulasi gaya momen dan gaya geser akibat berat mati tambahan (MA).....	64
Tabel 4.7. Perhitungan momen maksimum beban truk.....	67
Tabel 4.8. Perhitungan gaya geser maksimum beban truk.....	68
Tabel 4.9. Faktor amplifikasi untuk periode 0,2 detik (F_a)	71
Tabel 4.10. Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)	71

Tabel 4.11. Rekapitulasi momen dan gaya geser pada girder.....	73
Tabel 4.12. Kombinasi pembebanan, dan faktor beban berdasarkan SNI 1725, 2016.....	73
Tabel 4.13. Kombinasi gaya momen maksimum.....	74
Tabel 4.14. Kombinasi gaya geser maksimum	74
Tabel 4.15. Perhitungan momen akibat beban diafragma.....	75
Tabel 4.16. Rekapitulasi gaya momen dan gaya geser akibat berat sendiri (MS).....	77
Tabel 4.17. Rekapitulasi gaya momen dan gaya geser akibat berat mati tambahan (MA).....	78
Tabel 4.18. Perhitungan momen maksimum beban truk.....	79
Tabel 4.19. Perhitungan gaya geser maksimum beban truk.....	80
Tabel 4.20. Rekapitulasi momen dan gaya geser pada girder.....	82
Tabel 4.21. Kombinasi gaya momen maksimum.....	82
Tabel 4.22. Kombinasi gaya geser maksimum	82
Tabel 4.23. Menghitung titik berat tendon.....	84
Tabel 4.24. Hasil perhitungan tendon	85
Tabel 4.25. Eksentrisitas tiap tendon	87
Tabel 4.26. Perhitungan lintasan inti tendon.....	87
Tabel 4.27. Perhitungan sudut ankur.....	88
Tabel 4.28. Tata letak dan <i>trace</i> tendon.....	89
Tabel 4.29. Panjang masing-masing tendon	90
Tabel 4.30. Panjang elongasi masing-masing tendon	91
Tabel 4.31. Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton	96
Tabel 4.32. Total kehilangan prategang.....	99
Tabel 4.33. Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (a).....	111

Tabel 4.34. Perhitungan jarak tulangan geser	114
Tabel 4.35. Perhitungan luas total tulangan geser.....	114
Tabel 4.36. Sengkang sebagai tulangan torsi transversal.....	115
Tabel 4.37. Tul. lentur sebagai tul. torsi longitudinal.	115
Tabel 4.38. Perhitungan sengkang arah vertikal	117
Tabel 4.39. Perhitungan sengkang arah horizontal	117
Tabel 4.40. Rekapitulasi momen dan gaya geser pada girder.....	150
Tabel 4.41. Perbandingan perencanaan penulangan	150

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Jenis-jenis jembatan berdasarkan bahan bangunannya.....	6
Gambar 2.2. Jenis-jenis jembatan berdasarkan fungsinya.....	8
Gambar 2.3. Jenis-jenis jembatan berdasarkan sistem struktur.....	9
Gambar 2.4. Pembagian beban akibat aksi lalu lintas.....	14
Gambar 2.5. Beban lajur (D)	14
Gambar 2.6. Beban truk (T) 500 kN.....	16
Gambar 2.7. Faktor beban dinamis untuk beban truk (T) dan beban lajur (D). ...	17
Gambar 2.8. Beban angin pada jembatan	18
Gambar 2.9. Peta daerah gempa berdasarkan SNI gempa untuk Jembatan.....	19
Gambar 2.10. Beton prategang dengan tendon yang mempunyai eksentrisitas....	20
Gambar 2.11. Diagram tegangan pada beton prategang	21
Gambar 2.12. Ilustrasi kehilangan prategang.....	23
Gambar 2.13. Balok beton prategang dengan tendon melengkung	24
Gambar 2.14. Diagram tegangan dan regangan pada penampang beton prategang.....	31
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	38
Gambar 4.1. Potongan melintang jembatan sutami	39
Gambar 4.2. Potongan memanjang jembatan	39
Gambar 4.3. Tampak atas jembatan sutami	40

Gambar 4.4. Dimensi balok prategang (PC I girder).....	41
Gambar 4.5. Tiang sandaran	43
Gambar 4.6. Penulangan tiang sandaran	46
Gambar 4.7. Penulangan Diafragma.....	50
Gambar 4.8. Beban truk pada pelat	52
Gambar 4.9. Penyebaran beban 1 roda di tengah pelat.....	52
Gambar 4.10. Penyebaran beban 2 roda berdekatan pada tepi bentang.....	53
Gambar 4.11. Titik berat balok prategang	58
Gambar 4.12. Titik berat balok komposit	59
Gambar 4.13. Beban lajur (D).....	65
Gambar 4.14. Intensitas beban merata lajur	65
Gambar 4.15. Faktor beban dinamis (DLA)	66
Gambar 4.16. Beban truk	67
Gambar 4.17. Denah pembebanan	67
Gambar 4.18. Gaya rem akibat kendaraan	68
Gambar 4.19. Beban angin gesekan dengan badan kendaraan	69
Gambar 4.20. Nilai S_s dan S_1 dari <i>website</i> http://www.puskim.pu.go.id	70
Gambar 4.21. Diagram tegangan pada balok prategang	83
Gambar 4.22. Posisi tendon di tumpuan	85
Gambar 4.23. Posisi tendon di tengah bentang	86
Gambar 4.24. Eksentrisitas masing-masing tendon	86
Gambar 4.25. Lintasan inti tendon.....	87
Gambar 4.26. Grafik posisi masing-masing tendon, dan lintasan pada tendon	88
Gambar 4.27. Diagram tegangan pada saat <i>stressing</i>	100

Gambar 4.28. Diagram tegangan pada kondisi beban layan	101
Gambar 4.29. Gelagar akibat pengangkatan	105
Gambar 4.30. Diagram tegangan persegi ekivalen, dan regangan pada girder... ..	111
Gambar 4.31. Pelat angkur, dan sengkang untuk gaya pencair (<i>bursting force</i>) .	116
Gambar 4.32. Perletakan elastomer	121
Gambar 4.33. <i>Shear connector</i>	123
Gambar 4.34. Mengisi kotak <i>Define grid system</i>	124
Gambar 4.35. Model struktur pelat jembatan.....	124
Gambar 4.36. Mengisi data material beton	125
Gambar 4.37. Mengisi data penampang pelat	125
Gambar 4.38. Mendefinisikan beban	126
Gambar 4.39. Mendefinisikan kombinasi beban ultimit pada pelat.....	126
Gambar 4.40. Data berat mati sendiri (MS).....	127
Gambar 4.41. Data beban mati tambahan (MA)	127
Gambar 4.42. Data beban truk (TT) kondisi 1	127
Gambar 4.43. Data beban truk (TT) kondisi 2	128
Gambar 4.44. Data beban truk (TT) kondisi 3	128
Gambar 4.45. Melakukan analisa pada struktur pelat	129
Gambar 4.46. Gaya momen akibat berat sendiri pelat (MS).....	129
Gambar 4.47. Gaya momen akibat beban mati tambahan (MA)	129
Gambar 4.48. Gaya momen akibat beban truk (TT) kondisi 1	130
Gambar 4.49. Gaya momen akibat beban truk (TT) kondisi 2	130
Gambar 4.50. Gaya momen akibat beban truk (TT) kondisi 3	130
Gambar 4.51. Mengisi kotak <i>Define grid system</i>	131

Gambar 4.52. Model struktur balok prategang	131
Gambar 4.53. Mengisi data material beton	132
Gambar 4.54. Mengisi data penampang beton.....	132
Gambar 4.55. Mendefinisikan beban	133
Gambar 4.56. Mendefinisikan kombinasi pembebanan.....	133
Gambar 4.57. Data berat mati sendiri (MS), dan beban mati tambahan (MA)...	134
Gambar 4.58. Data beban lajur (TD), dan beban rem (TB).....	134
Gambar 4.59. Data beban angin (EW), dan beban gempa (EQ).....	135
Gambar 4.60. Merancang jalur beban berjalan	135
Gambar 4.61. Beban truk semi trailer	136
Gambar 4.62. Data beban sumbu truk semi trailer.....	136
Gambar 4.63. Beban truk	137
Gambar 4.64. Data beban sumbu truk.....	137
Gambar 4.65. Menetapkan jenis truk sebagai beban berjalan.....	138
Gambar 4.66. Mendefinisikan beban berjalan truk	138
Gambar 4.67. Memilih tendon pada <i>Line object type</i>	139
Gambar 4.68. kotak <i>define parabolic tendon layout</i>	139
Gambar 4.69. Mengisi koordinat tendon 1.....	140
Gambar 4.70. Kurva parabolik tendon yang telah dibuat	140
Gambar 4.71. Menetapkan gaya yang bekerja pada tendon.....	141
Gambar 4.72. Melakukan analisa pada struktur balok prategang	141
Gambar 4.73. Hasil analisa struktur akibat beban prategang.....	142
Gambar 4.74. Hasil analisa struktur akibat berat balok, dan <i>deck slab</i>	142
Gambar 4.75. Hasil analisa struktur akibat beban diafragma, dan pelat.....	143

Gambar 4.76. Hasil analisa struktur akibat beban mati tambahan.....	143
Gambar 4.77. Hasil analisa struktur akibat beban lajur	144
Gambar 4.78. Hasil analisa struktur akibat beban tiga truk	144
Gambar 4.79. Hasil analisa struktur akibat beban rem	145
Gambar 4.80. Hasil analisa struktur akibat beban angin.....	145
Gambar 4.81. Hasil analisa struktur akibat beban gempa.....	146
Gambar 4.82. Hasil analisa struktur akibat kombinasi beban terbesar	146

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang beton
a	= Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen
A_{ps}	= Luas tendon
A_s	= Luas penampang tulangan
C	= Faktor relaksasi
C_t	= Koefisien rangkai
D	= Diameter nominal strand
D_t	= Diameter selubung tendon
d	= Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal
d_p	= Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat baja prategang
E	= Modulus elastisitas beton
EQ	= Beban gempa
e_s	= Eksentrisitas tendon
E_s	= Modulus elastisitas strand
EW	= Beban angin
f_c	= Tegangan pada beton akibat gaya prategang awal
f_c'	= Kuat tekan beton prategang
f_{ci}'	= Kuat tekan beton prategang pada keadaan awal (saat transfer)
f_{CA}	= Tegangan beton di tumpuan

f_{CB}	= Tegangan beton di tengah bentang
f_{ca}	= Tegangan serat atas balok prategang
f_{cb}	= Tegangan serat bawah balok prategang
f_i	= Eksentrisitas tendon
f_{pu}	= Kuat tarik strand
f_{py}	= Kuat leleh strand
f_s	= Tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan
f_y	= Kekuatan leleh tulangan
h	= Tinggi total girder
h_o	= Tebal pelat lantai jembatan
h_a	= Tebal lapisan aspal
I	= Momen inersia balok prategang
J	= Faktor waktu
K	= Keliling penampang beton
K_{RE}	= Koefisien relaksasi
K_{sh}	= Koefisien susut yang tergantung waktu
k	= Koefisien <i>wobble</i>
L	= Panjang jembatan
M	= Beban momen
MA	= Beban mati tambahan
MS	= Berat sendiri
M_u	= Momen ultimit
n_s	= Jumlah strand
P	= Beban terpusat

P_{b1}	= Beban putus minimal 1 tendon
P_{bs}	= Beban putus minimal 1 strand
P_e	= Gaya prategang efektif
P_i	= Gaya prategang sesaat setelah transfer
P_j	= Gaya prategang yang terjadi akibat <i>jacking</i>
P_t	= Gaya prategang awal
Q	= Beban merata
q	= Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan
RH	= Kelembaban relatif udara
s	= Jarak antar <i>girder</i>
S	= Luas permukaan beton
TB	= Gaya rem
TD	= Beban lajur
th	= Tinggi genangan air hujan
V	= Volume beton
V_c	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton
V_n	= Kekuatan geser nominal
V_s	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser
V_u	= gaya geser terfaktor pada penampang
V_w	= Kecepatan angin rencana
W_a	= Tahanan momen atas
W_{aspal}	= Berat jenis aspal
W_c	= Berat volume beton
W_h	= Berat jenis air hujan

W_b	= Tahanan momen bawah
X	= Jarak yang ditinjau
Y	= Persamaan lintasan tendon
y_a	= Titik berat <i>girder</i> terhadap atas <i>girder</i>
y_b	= Titik berat <i>girder</i> terhadap bawah <i>girder</i>
y_d	= Jarak vertikal antara as ke as tendon di tengah bentang
y_d'	= Jarak vertikal antara as ke as tendon di tumpuan
Z_i'	= Jarak tendon terhadap sisi bawah <i>girder</i> pada tumpuan
Z_o	= Jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah <i>girder</i>
Z_i	= Jarak tendon terhadap sisi bawah <i>girder</i> pada tengah bentang
α	= Sudut kelengkungan pada tendon
Δf_{CR}	= Kehilangan tegangan akibat rangkai pada beton
Δf_{ES}	= Kehilangan tegangan akibat elastis beton
Δf_{RE}	= Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja
Δf_s	= Kehilangan tegangan akibat slip ankur
Δf_{SH}	= Kehilangan tegangan akibat susut pada beton
Δl	= Slip rata-rata
σ_a	= Tegangan pada serat atas
σ_b	= Tegangan pada serat bawah
ε	= Regangan dalam beton
μ	= Koefisien gesek kelengkungan
ω	= Rasio tulangan
δ	= Lendutan

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan adalah salah satu sarana dalam sistem transportasi yang penting, dan berperan dalam kelancaran arus lalu lintas kendaraan. Perkembangan transportasi khususnya jembatan semakin erat kaitannya dengan pertumbuhan ekonomi yang berfungsi untuk memperlancar arus kendaraan sehingga tercipta efisiensi waktu dalam beraktivitas. Oleh karena itu, diperlukan penguasaan teknologi jembatan baik dari aspek perencanaan, peralatan, material, dan juga pada saat proses pelaksanaan.

Banyak sistem struktur yang dapat dipilih dalam membangun sebuah jembatan. Salah satunya adalah sistem jembatan beton prategang. Pada jembatan beton prategang, kekuatan dan kehandalan sebuah jembatan sangat dipengaruhi oleh mutu balok girder. Balok beton prategang adalah suatu struktur beton khusus dengan cara memberi tegangan awal tertentu pada balok dengan arah berkebalikan dengan arah beban luar yang akan bekerja. Gaya prategang diberikan dengan menarik baja mutu tinggi yang bentuknya seperti untaian kabel yang disebut sebagai tendon. Karena baja yang digunakan memiliki kuat tarik tinggi, maka menuntut penggunaan beton dengan kuat tekan tinggi.

Pada saat ini penggunaan jembatan konstruksi beton prategang semakin banyak dipergunakan, karena jembatan ini memberikan kemudahan dalam pelaksanaannya dan memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan jembatan beton yang lain. Hal ini dikarenakan berat baja prategang jauh lebih kecil dibandingkan jumlah berat besi beton biasa, yang tidak lepas dari keberhasilan teknologi pada beton mutu tinggi ($f_c' \geq 40$ MPa), sedangkan baja yang digunakan sebagai pemberi prategang pada beton merupakan baja dengan mutu sangat tinggi yaitu 1720 hingga 1862 MPa atau lebih tinggi lagi (Dedy, 2014). Baja dengan mutu tinggi tersebut akan mengimbangi kehilangan prategang serta mempunyai tegangan sisa yang dapat menahan gaya akibat beban luar.

Salah satu contoh dari penggunaan jembatan dengan konstruksi beton prategang adalah jembatan Sutami yang merupakan jembatan yang berada di ruas jalan Tol Trans Sumatera dengan bentang 40,8 m, sedangkan lebar perkerasan lalu-lintas dari jembatan ini yaitu 23,4 m.

Pada tugas akhir ini dilakukan kontrol ulang penulangan struktur atas jembatan beton prategang Sutami. Untuk mempelajari perencanaan jembatan konstruksi beton prategang yang benar dibutuhkan standar perencanaan perhitungan yang mengacu pada standar yang ada. Sehingga diharapkan akan mendapatkan gambaran yang jelas dan dapat memahami garis besar dari suatu perencanaan jembatan.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan mereview suatu desain perencanaan jembatan beton prategang dengan menggunakan *software* SAP 2000 ver. 14 sehingga dapat digunakan untuk membangun jembatan disuatu wilayah, namun tetap sesuai dengan standar perencanaan jembatan yang berlaku.

1.3. Outcome/Output Penelitian

Adapun *Output* dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan *review* desain suatu jembatan menggunakan program SAP 2000 ver. 14, dengan desain yang ada.
2. Mengetahui perilaku jembatan *prestressed* PCI-Girder saat menerima beban.
3. Mendapatkan gambar perencanaan, dan detail sambungan pada struktur atas suatu jembatan.
4. Mempresentasikan gambar perencanaan yang diperoleh dengan program SAP 2000 ver. 14.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang berupa informasi mengenai perencanaan pada struktur atas (*Superstructures*) suatu jembatan beton prategang (*prestressed*) secara cepat, dan akurat dengan menggunakan bantuan program SAP 2000 ver. 14.

Program tersebut dapat membantu dalam mempercepat proses simulasi, analisa, dan desain yang sebelumnya dilakukan dengan manual serta cukup memakan waktu, dan kurang terjamin ketelitiannya.

1.5. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam analisa ini adalah bagaimana merencanakan konstruksi struktur atas (*Superstructures*) jembatan beton prategang dengan bentang 40,8 m yang kuat dan efisien menggunakan bantuan program SAP 2000 ver. 14?

1.6. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam melakukan analisa ini adalah :

Analisis konstruksi jembatan beton prategang dengan bentang 40,8 m.

1. Struktur yang di analisis hanya pada struktur atas jembatan.
2. Perhitungan pembebanan yang digunakan pada jembatan ini mengacu pada peraturan SNI 1725:2016, kehilangan prategang pada ACI 318-95 dan perhitungan kekuatan strukturnya mengacu pada SNI T-12-2004.
3. Perencanaan ini hanya ditinjau dari aspek keamanan strukturnya, serta tidak dilakukan analisa untuk biaya dan waktu pekerjaan.
4. Untuk analisis perhitungan gempa menggunakan tanah sedang pada daerah gempa yang sesuai dengan kondisi tanah pada jembatan sutami.
5. Perhitungan gaya dalam struktur menggunakan program SAP 2000 ver.

6. Hasil gambar perencanaan berupa gambar penampang dan detail sambungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Jembatan dapat diartikan sebagai konstruksi yang berfungsi sebagai penghubung antar jalan yang melalui suatu rintangan. Rintangan tersebut antara lain berupa jalur lalu lintas pada persimpangan jalan, saluran irigasi, rawa, danau, sungai, laut, jurang, dan sebagainya.

Jenis-jenis dari jembatan sebenarnya cukup banyak, bergantung pada sudut pandang yang diambil. Jika ditinjau dari bahan bangunannya, jenis-jenis jembatan dapat dikelompokkan menjadi:



Gambar 2.1. Jenis jembatan ditinjau dari bahan bangunannya.

1. Jembatan pasangan batu dan batu bata

Merupakan jembatan yang terdiri atas konstruksi antara pasangan batu, serta bata, dapat dilihat pada Gambar 2.1. (1).

2. Jembatan kayu

Jembatan kayu adalah jembatan sederhana yang konstruksi utamanya terbuat dari struktur kayu, dapat dilihat pada Gambar 2.1. (2).

3. Jembatan baja

Jembatan baja adalah jembatan yang umumnya digunakan sebagai jembatan bentang panjang, dengan bahan konstruksi utamanya yaitu struktur baja, dapat dilihat pada Gambar 2.1. (3)

4. Jembatan komposit

Jembatan komposit adalah jembatan yang konstruksi utamanya merupakan perpaduan antara dua bahan berbeda yang umumnya berupa perpaduan dari struktur baja sebagai gelagar, dan beton sebagai pelat dari lantai jembatan, dapat dilihat pada Gambar 2.1. (4)

5. Jembatan beton

Jembatan beton merupakan jembatan yang bahan konstruksi utamanya berupa beton bertulang, umumnya jembatan beton hanya digunakan untuk jembatan berbentang pendek, dengan panjang maksimum 25 m, untuk jembatan dengan bentang yang panjang, dapat digunakan beton prategang. Dapat dilihat pada Gambar 2.1. (5)

Jika ditinjau dari fungsinya, jenis-jenis jembatan dapat dikelompokkan sebagai berikut:



Gambar 2.2. Jenis-jenis jembatan berdasarkan fungsinya.

1. Jembatan darurat

Jembatan darurat yaitu jembatan yang dirancang untuk kepentingan yang bersifat darurat, dan biasanya hanya sementara, dengan kata lain, tidak bersifat permanen dapat dilihat pada Gambar 2.2. (1).

2. Jembatan kereta api

Jembatan kereta api adalah jembatan yang dirancang sebagai perlintasan untuk jalur kereta api, dapat dilihat pada Gambar 2.2. (2).

3. Jembatan jalan raya

Jembatan jalan raya yaitu jembatan yang direncanakan dapat menerima beban lalu lintas, baik berupa kendaraan berat maupun kendaraan ringan, dapat dilihat pada Gambar 2.2. (3).

4. Jembatan penyeberangan orang

Jembatan penyeberangan orang adalah jembatan yang berupa fasilitas untuk pejalan kaki menyeberangi jalan, dapat dilihat pada Gambar 2.2. (4).

Jika ditinjau dari sistem strukturnya, jenis-jenis jembatan dapat dikelompokkan menjadi :



Gambar 2.3. Jenis-jenis jembatan berdasarkan sistem struktur.

1. Jembatan *cable-stayed*

Jembatan *cable-stayed* adalah jembatan yang menggunakan tendon sebagai struktur yang menerima beban dari lalu lintas kendaraan. Pada jembatan ini, tendon langsung menumpu pada tower, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (1)

2. Jembatan pelengkung

Jembatan pelengkung yaitu jembatan yang bentuk strukturnya seperti kurva melengkung, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (2)

3. Jembatan gantung

Jembatan gantung adalah jembatan yang sistem struktur dasarnya kabel tendon utama yang memikul tendon gantung yang menerima beban lalu lintas, dapat dilihat pada Gambar 2.3.(3)

4. Jembatan rangka

Jembatan rangka adalah jembatan yang struktur utamanya terbuat dari baja, bentuk dasarnya adalah segitiga, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (5).

5. Jembatan *box girder*

Jembatan *box girder* adalah jembatan yang struktur utamanya terbuat dari baja ataupun beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.3. (6).

6. Jembatan gelagar

Jembatan gelagar adalah jenis jembatan yang memiliki struktur utama berupa kumpulan gelagar yang bahan utamanya dari beton, baja ataupun komposit antara baja dan beton, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (7).

2.1.1. Jembatan Beton Prategang

Revisi desain jembatan pada skripsi ini adalah jembatan beton prategang, dapat dilihat pada Gambar 2.3. (4). Variasi dari jenis jembatan berdasarkan sistem struktur, beserta bentangnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1. Variasi jenis jembatan, dan bentang.

Jenis Jembatan berdasarkan sistem struktur	Bentang (meter)
Jembatan lengkung (<i>arch bridge</i>)	100 - 300
Jembatan gelagar (<i>beam bridge</i>)	5 - 40
Jembatan <i>cable-stayed</i>	100 - 600
Jembatan gantung (<i>suspension bridge</i>)	1000 - 1400
Jembatan beton prategang (<i>prestressed concrete bridge</i>)	20 - 40
Jembatan rangka (<i>truss bridge</i>)	50 - 100
Jembatan <i>box girder</i>	20 - 40

2.2. Pembagian Elemen Struktur Jembatan

Elemen struktur utama penyusun jembatan dapat dibedakan menjadi tiga, antara lain :

1. Struktur Atas

Struktur atas jembatan adalah struktur yang menerima beban langsung yang meliputi beban mati, hidup, angin, dan gempa. Struktur atas jembatan terdiri dari :

- a. Tiang sandaran
- b. Perkerasan lalu lintas
- c. Pelat lantai kendaraan
- d. Balok diafragma
- d. Balok girder
- e. Tumpuan

2. Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan adalah struktur berfungsi untuk meneruskan seluruh beban yang diterima struktur atas menuju pondasi. Struktur bawah jembatan terdiri dari :

- a. Pangkal Jembatan/*Abutment*
- b. Pilar Jembatan/*Pier*

3. Pondasi

Pondasi pada jembatan adalah struktur yang berfungsi meneruskan seluruh beban yang diterima struktur bawah jembatan ke tanah keras pada bagian bawah jembatan. Jenis-jenis dari pondasi pada jembatan diantaranya sebagai berikut:

- a. Pondasi setempat
- b. Pondasi sumuran
- c. Pondai tiang pancang
- d. Pondasi bor/*bored pile*

2.3. Perencanaan Jembatan Beton Prategang PCI-Girder

Prinsip perencanaan jembatan didasarkan pada batas-batas tertentu yang diterapkan terhadap kekuatan, dan kemampuan suatu bahan bangunan untuk digunakan sebagai struktur bangunan. Pada perhitungan pembebanan, beban akan dikalikan dengan faktor beban, sedangkan pada analisis dari kekuatan pada kapasitas bahan, struktur akan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

2.3.1. Pembebanan Pada Jembatan

Pada perencanaan beton prategang terdapat dua tahap pembebanan yang diperhitungkan, yaitu tahap transfer dan tahap layan. Pada setiap tahap pembebanan tersebut harus dilakukan kontrol terhadap batas-batas tegangan dari penampang girder.

1. Tahap Transfer

Pada tahap transfer, beban yang bekerja adalah berat sendiri struktur, sedangkan beban hidup dianggap belum bekerja. Gaya prategang awal bekerja setelah dilakukan transfer beban/*stressing*. Tegangan awal kabel prategang sendiri dapat diambil sebesar 75 % dari tegangan tarik batas tendon prategang (f_{pu}).

2. Tahap Layan

Tahap layan dimulai ketika beton prategang digunakan sebagai komponen struktur utama jembatan. Pada tahap layan, beban luar yang berupa beban mati, hidup, angin, dan gempa harus diperhitungkan, pada tahap ini juga semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan di dalam analisa strukturnya. Macam-macam beban sendiri terbagi menjadi tiga yang diperhitungkan. Jenis-jenis beban tersebut diantaranya :

1. Beban Akibat Aksi Tetap

Beban aksi tetap terdiri dari berat sendiri struktur, berat mati tambahan, dan beban pengaruh prategang.

a. Berat Sendiri

Berat sendiri adalah beban mati dari elemen struktur suatu jembatan, yang dapat berupa berat girder, berat pelat, berat tiang sandaran, dan berat dari balok diafragma.

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan dapat berupa beban aspal perkerasan, dan air hujan yang merupakan elemen bukan struktural jembatan.

c. Beban Akibat Pengaruh Prategang

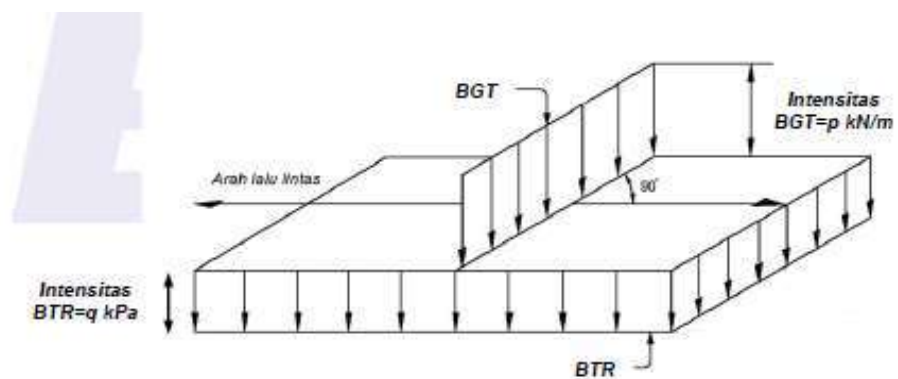
Beban tersebut memberikan perlawanan terhadap beban yang bekerja pada struktur gelagar. Kontrol tegangan akibat gaya prategang harus diperhitungkan pada tahap transfer, dan tahap layan dari pembebanan pada jembatan.

2. Beban Akibat Aksi Lalu Lintas

Merupakan pembebanan pada jembatan yang terdiri atas beban Lajur (D) dan beban Truk (T), serta dipilih yang memberikan pengaruh terbesar.

a. Beban Lajur (D)

Beban lajur "D" terdiri dari beban merata (BTR), dan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Beban lajur (D).

Beban terbagi rata adalah beban yang mempunyai muatan yang besarnya tergantung dari panjang jembatan :

$$\text{Untuk } L \leq 30\text{m, } q = 9,0 \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Untuk } L > 30\text{m, } q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

q = Intensitas beban terbagi rata pada arah memanjang jembatan
(kN/m^2)

L = Panjang total jembatan (meter)

Beban garis dengan muatan p kN/m diletakkan tegak lurus

terhadap arah lalu lintas pada jembatan.

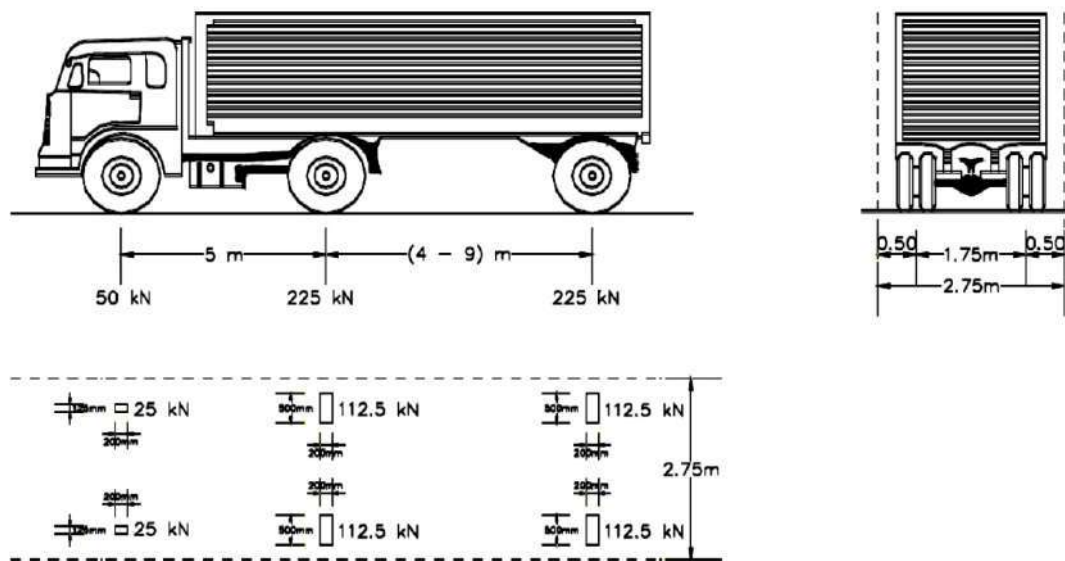
Besarnya beban garis adalah 49,0 kN/m. Jumlah lajur lalu lintas maksimum yang digunakan pada variasi lebar jembatan dapat dilihat dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.2. Lebar jembatan berdasarkan jumlah lajur.

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu lintas Rencana (n)
Satu lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua arah, dengan median	$5500 \leq w < 8000$	2
	$8250 \leq w < 10750$	3
	$11000 \leq w < 13500$	4
	$13750 \leq w < 16250$	5
	$w \geq 16250$	6
CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang.		
CATATAN (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah.		

b. Beban Truk (T)

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai detail lebar susunan dan berat as seperti yang terlihat dalam Gambar 2.6.

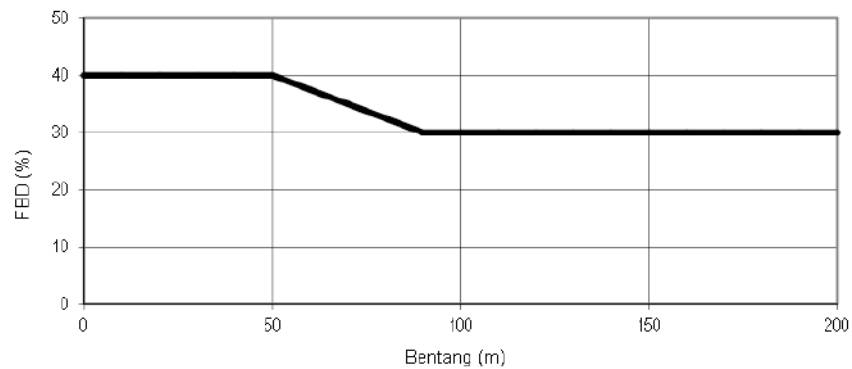


Gambar 2.6. Beban truk (T) 500 kN.

Beban truk (T) adalah satu kendaraan truk semi trailer dengan berat 500 kN dan disebarakan kedalam tiga as yang ditempatkan pada posisi dalam lajur lalu lintas rencana.

Jarak antar 2 as pada belakang truk dapat diubah-ubah antara 4 m hingga 9 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. satu beban truk harus ditempatkan per lajur lalu lintas rencana kendaraan.

Faktor beban dinamis ditentukan berdasarkan panjang bentang jembatan tersebut, seperti terlihat pada grafik berikut ini.



Gambar 2.7. Faktor beban dinamis untuk beban truk (T) dan beban lajur (D).

Kelas jembatan dapat dibedakan berdasarkan lalu lintas harian rata-rata nya, seperti tercantum pada tabel dibawah :

Tabel 2.3. Kelas Jembatan berdasarkan LHR.

Kelas fungsional		Kelas rencana				
		Tipe I : kelas	Tipe II			
			LHR	kelas		
Primer	Arteri	I	Semua lalu lintas	I		
	Kolektor	II	≥ 10.000 < 10.000	I II		
Sekunder	Arteri	II	≥ 20.000 < 20.000	I II		
			Kolektor	NA	≥ 6.000 < 6.000	II III
	Lokal	NA			≥ 500 < 500	III IV

c. Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

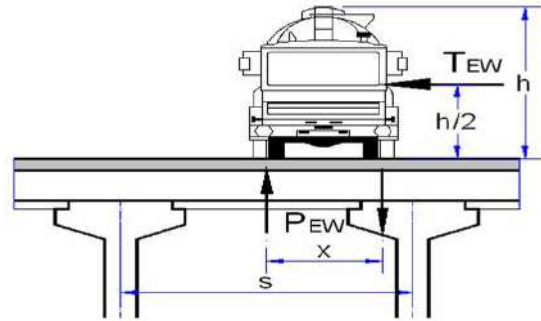
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata,
atau

- 25% dari berat truk semi trailer.

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati, serta berisi lalu lintas kendaraan dengan arah yang sama.

3. Beban Akibat Aksi Lingkungan

a. Beban Angin



Gambar 2.8. Beban angin pada jembatan.

Beban angin diasumsikan sebagai beban yang terdistribusi secara merata pada bidang samping kendaraan yang terekspos oleh angin. Dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1,8 m di atas permukaan jalan.

b. Beban Akibat Gempa

Beban ini diasumsikan sebagai gaya vertikal yang dihitung berdasarkan koefisien respons elastis (C_{sm}) pada tanah jembatan dikali dengan berat struktur ekuivalen (W) yang kemudian dibagi dengan panjang bentang jembatan (L) seperti yang tercantum pada rumus berikut ini:

Besarnya beban dinamis akibat gempa dihitung dengan rumus :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{L} \times W \dots \dots \dots (5)$$

Dengan :

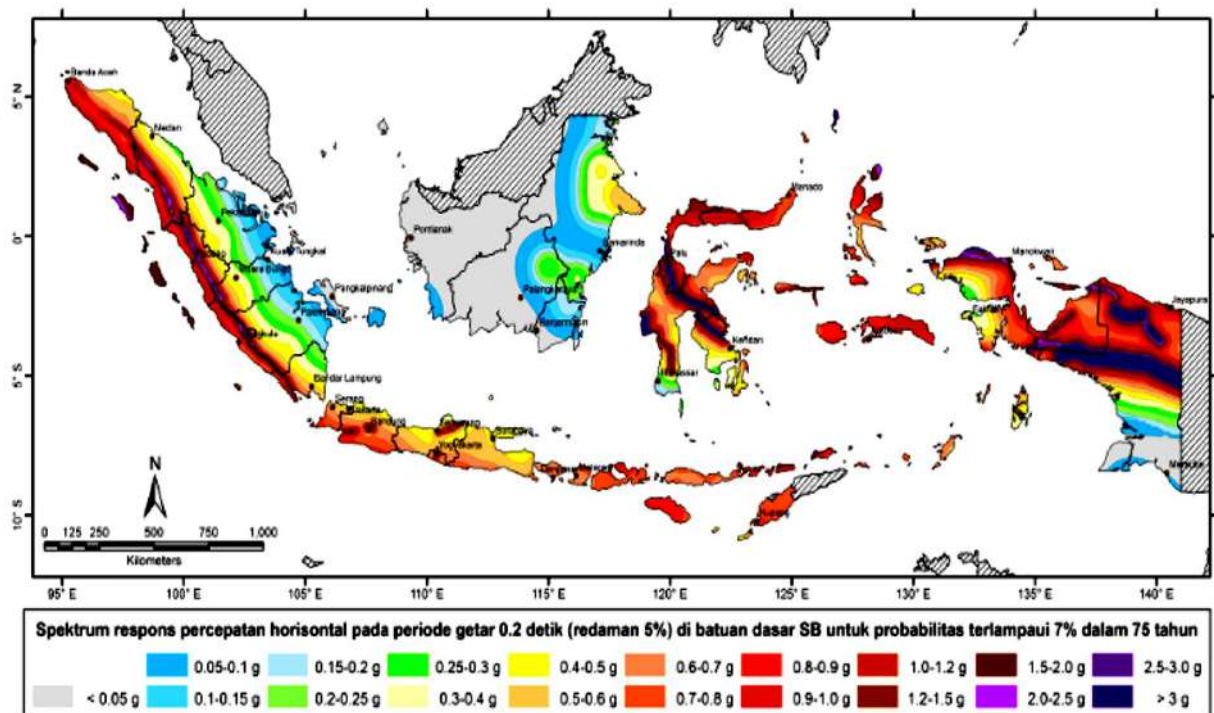
$$E_Q = \text{Gaya gempa vertikal (kN/m)}$$

C_{sm} = Koefisien respons gempa elastis

L = panjang bentang jembatan (m)

W = berat struktur ekivalen (kN)

Koefisien respons elastik (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan yang sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana pada tanah jembatan yang bersumber pada SNI perencanaan gempa untuk jembatan yang dikeluarkan oleh Badan standardisasi nasional tahun 2013 berikut ini :



Gambar 2.9. Peta daerah gempa berdasarkan SNI gempa untuk Jembatan.

Selanjutnya, untuk melihat penggunaan kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1725, 2016 sebagai berikut :

Tabel 2.4. Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1725, 2016.

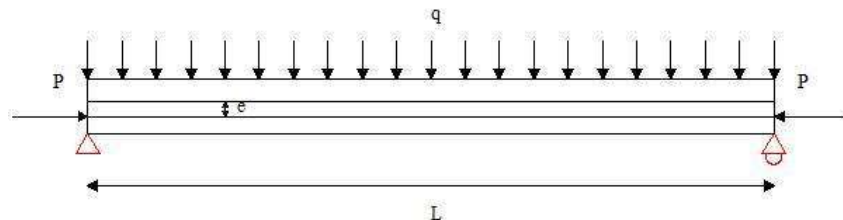
No.	Jenis Beban	Kuat I	Kuat II	Kuat III	Kuat IV	Kuat V	Ekstrem I	Ekstrem II	Layan I	Layan II	Layan III	Layan IV
1	Berat sendiri (MA)	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	1	1	1	1
2	Beban mati tambahan (MS)	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	γ_p	1	1	1	1
3	Beban hidup (TD, TT, TB)	1,8	1,4				γ_{EQ}	0,5	1	1,3	0,8	
4	Beban Angin (EW)					1			1			
5	Beban Gempa (EQ)						1					

2.3.2. Perhitungan Struktur Beton Prategang

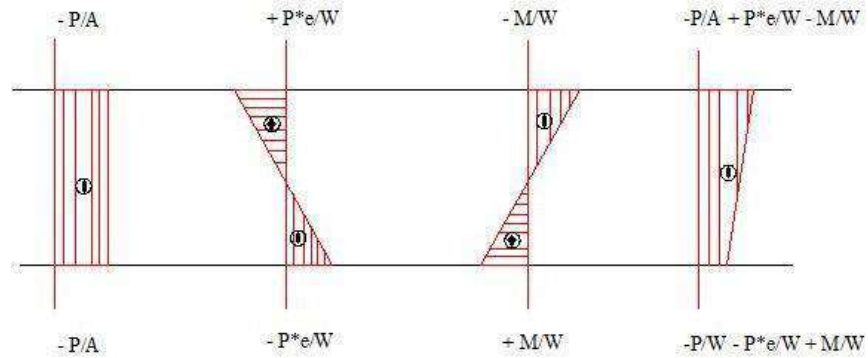
1. Gaya Prategang.

Pemberian gaya prategang pada beton akan menyebabkan penampang beton mengalami tegangan tekan. Tegangan tekan tersebut akan memberikan tegangan lawan terhadap beban luar yang bekerja. Jika gaya prategang bekerja dengan eksentrisitas, hal tersebut memberikan tegangan tambahan akibat dari eksentrisitas tersebut. Sehingga, dengan adanya pengaturan posisi tendon saat pada penampang, akan memberikan tegangan lawan tambahan.

Berikut ini ilustrasi dari tegangan yang terjadi akibat adanya pengaruh dari eksentrisitas gaya prategang pada tendon yang mempengaruhi penampang pada balok prategang.



Gambar 2.10. Beton prategang dengan tendon yang mempunyai eksentrisitas.



Gambar 2.11. Diagram tegangan pada beton prategang.

Berdasarkan asumsi dan gambar diatas diperoleh persamaan tegangan pada balok beton prategang sebagai berikut :

Tegangan serat bawah balok (f_b) :

$$f_b = -\frac{Pe}{A} + \frac{Me.Yb}{I} - \frac{Mn.Yb}{I} = 0 \dots\dots\dots(6)$$

Tegangan serat atas balok (f_a) :

$$f_a = -\frac{Pe}{A} - \frac{Me.Ya}{I} + \frac{Mn.Ya}{I} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

2. Tegangan Izin Beton

Pada (SNI T-12, 2004) Pasal 4.4.1.2. Peraturan Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Tegangan izin pada beton adalah sebagai berikut :

a. Tegangan izin prategang pada kondisi transfer gaya prategang dibatasi pada nilai berikut ini :

- 1) Tegangan serat tekan terluar, sebesar $0,60.f_{ci}'$
- 2) Tegangan serat tarik terluar, sebesar $0,25.\sqrt{f_{ci}'}$

b. Tegangan beton pada kondisi beban layan dibatasi pada nilai berikut ini:

- 1) Tegangan serat tekan terluar sebesar $0,45.f_c'$

3) Tegangan serat tarik terluar sebesar $0,5 \cdot \sqrt{f_c'}$

3. Lintasan Inti Tendon

Untuk menentukan lintasan pada masing-masing tendon yang bekerja pada balok prategang, dapat digunakan rumus berikut ini:

$$Y = \frac{4 \times f_i \times X}{L^2} \times (L - X) \dots\dots\dots(8)$$

Dengan :

Y = Persamaan lintasan tendon

X = Jarak yang ditinjau (m)

L = Panjang bentang jembatan (m)

$f_i = e_s$ = Eksentrisitas tendon (m)

4. Sudut Angkur

Untuk menentukan sudut angkur pada balok prategang dapat digunakan rumus berikut ini :

$$\alpha = \text{ATAN} \frac{dY}{dX} \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{dY}{dX} = \frac{4 \times f_i \times [L - (2 \times X)]}{L^2}$$

Untuk $X = 0$ (posisi angkur di tumpuan), didapat : $\frac{dY}{dX} = \frac{4 \times f_i}{L}$

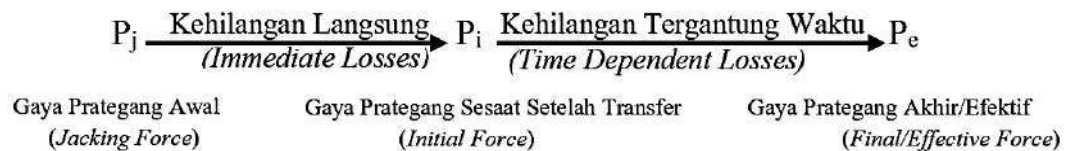
5. Tata Letak dan *Trace* Tendon

Untuk menentukan tata letak dan *trace* tendon dapat digunakan rumus berikut ini :

$$z_i = z_i' - \frac{4 \times f_i \times X}{L^2} \times (L - X) \dots\dots\dots(10)$$

6. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang yaitu berkurangnya gaya yang bekerja dalam tendon pada tahap-tahap pembebanan. Kehilangan prategang pada struktur beton prategang dapat diilustrasikan seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.12. Ilustrasi kehilangan prategang.

Kehilangan prategang langsung atau kehilangan sesaat setelah transfer adalah :

$$P_i = P_j - (\Delta f_{S(\text{short term})} \times P_j) \dots\dots\dots(11)$$

Sedangkan kehilangan prategang akibat pengaruh waktu adalah :

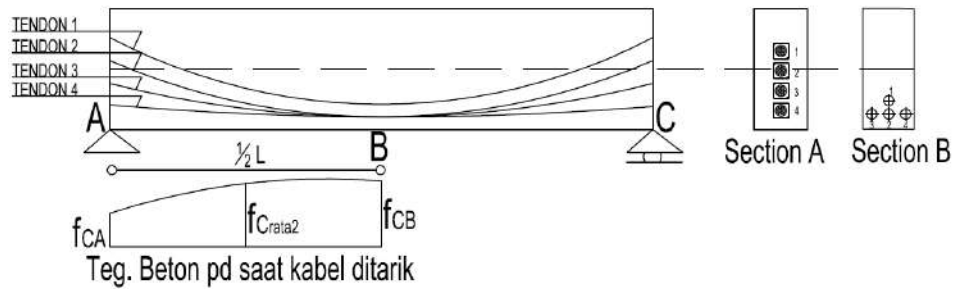
$$P_e = P_j - (\Delta f_{S(\text{long term})} \times P_j) \dots\dots\dots(12)$$

Berikut ini adalah jenis-jenis kehilangan gaya prategang yang perlu diperhitungkan pada struktur beton pascatarik :

a. Perpendekan Elastis Beton (Tendon dengan Lintasan Melengkung)

Pada sebagian besar jembatan dengan balok beton prategang, masing-masing tendon dibuat melengkung dengan eksentrisitas terbesar di tengah bentang. Pada kondisi ini kehilangan prategang akibat deformasi elastis pada beton dapat dihitung dengan memperkirakann tegangan rata-rata beton pada level baja.

Ilustrasi balok girder beton prategang dengan tendon melengkung dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.13. Balok beton prategang dengan tendon melengkung.

Untuk mencari kehilangan gaya prategang untuk masing-masing tendon dapat digunakan rumus berikut ini :

$$\text{Di tengah bentang (B) : } f_{CB(a,b)} = -\frac{P_j}{A} - \frac{P_j \times e_a \times e_b}{I} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Di tumpuan (A) : } f_{CA(a,b)} = -\frac{P_j}{A} - \frac{P_j \times e_a \times e_b}{I} \dots\dots\dots(14)$$

Tegangan rata-rata beton akibat gaya prategang yaitu:

$$f_{C(a,b)} = [f_{CA(a,b)} + \frac{2}{3} \cdot (f_{CB(a,b)} - f_{CA(a,b)})] \dots\dots\dots(15)$$

Sehingga kehilangan prategang pada masing-masing tendon :

$$\Delta f_{ES(a,b)} = n \times f_{C(a,b)} \dots\dots\dots(16)$$

Dengan :

a = Tendon yang mengalami kehilangan prategang

b = Tendon yang mengalami penarikan saat *stressing*

P_j = Gaya prategang saat penarikan tendon (N)

e_a = Eksentrisitas tendon yang mengalami kehilangan prategang (mm)

e_b = Eksentrisitas tendon yang mengalami penarikan (mm)

f_{CB(a,b)} = Tegangan beton pada tengah bentang (MPa)

f_{CA(a,b)} = Tegangan beton pada tumpuan (MPa)

$f_{C(a,b)}$ = Tegangan rata-rata beton akibat gaya prategang (MPa)

b. Kehilangan Prategang akibat Gesekan Tendon

Kehilangan prategang ini terjadi saat tendon dengan selubung tendon bergesekan. Untuk memperkirakan kehilangan prategang tersebut, pada beton pascatarik dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$P_x = P_j \times e^{-\mu \cdot (\alpha + k \cdot Lx)} \dots\dots\dots(17)$$

Dengan :

P_j = Gaya prategang awal (N)

μ = Koefisien gesek kelengkungan

α = Sudut kelengkungan pada tendon (rad)

K = Koefisien *wobble*

$e = 2,7183$

Untuk menentukan koefisien gesek kelengkungan, dan koefisien *wobble* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5. Koefisien gesek kelengkungan dan *wobble*.

Jenis Baja Prategang	Koefisien <i>Wobble</i> (K)	Koefisien friksi (μ)
Tendon di selubung metal fleksibel		
Tendon kawat	0,001 - 0,0015	0,15 - 0,25
Batang mutu tinggi	0,0001 - 0,0006	0,08 - 0,30
Strand 7 kawat	0,0005 - 0,002	0,15 - 0,25
Tendon yang dilapisi <i>mastici</i>		
Tendon kawat dan strand 7	0,001 - 0,002	0,05 - 0,15
Tendon yang dilumasi dahulu		
Tendon kawat dan strand 7	0,0003 - 0,002	0,05 - 0,15

c. Kehilangan Prategang akibat Slip Angkur

Kehilangan prategang akibat slip ankur terjadi saat kawat dilepaskan dari *jacking machine*, lalu ditahan baji pada ankur. Besaran nilai rata-rata panjang slip ankur yaitu 2,5 mm. Untuk memperkirakan kehilangan prategang tersebut dapat digunakan rumus berikut ini :

$$\varepsilon_s = \frac{\Delta l}{L} \dots\dots\dots(18)$$

$$\Delta f_s = \varepsilon_s \times E_s \dots\dots\dots(19)$$

Dengan :

Δl = Slip rata-rata (mm)

L = Panjang bentang jembatan (mm)

E = Modulus elastisitas strand (MPa)

d. Kehilangan Prategang akibat Rangkak pada Beton

Kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh rangkak pada beton merupakan gaya prategang yang tergantung pada waktu yang diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian, rangkak pada beton menyebabkan berkurangnya tegangan pada penampang. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak pada beton prategang dapat diperkirakan dengan rumus berikut ini :

$$\Delta f_{CR} = C_t \times n \times f_c \dots\dots\dots(20)$$

Dengan :

C_t = Koefisien rangkak, 2 (pratarik) dan 1,6 (pascatarik)

f_c = Tegangan pada beton yang melekat pada titik berat tendon akibat gaya prategang awal (MPa)

e. Kehilangan Prategang akibat Susut pada Beton

Penyusutan pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu rasio antara volume beton dan luas permukaan beton, serta kelembaban udara relatif saat akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang.

Kehilangan prategang akibat susut pada beton dapat beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$(\varepsilon_{sh}) = 8,2 \times 10^{-6} \times [1 - 0,06 \times \left(\frac{V}{S}\right)] \times (100 - RH) \dots\dots\dots(21)$$

$$\Delta f_{SH} = \varepsilon_{sh} \times K_{sh} \times E_s \dots\dots\dots(22)$$

Dengan :

ε_{sh} = Regangan susut dalam beton

V = Volume beton (inch)

S = Luas permukaan beton (inch)

RH = Kelembaban relatif udara

K_{sh} = Koefisien susut yang tergantung waktu

E_s = Modulus elastisitas strand (MPa)

Nilai koefisien susut dapat ditentukan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.6. Koefisien susut.

Selisih antara pengecoran dan prategang (hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sh}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

f. Kehilangan Prategang akibat Relaksasi Baja

Relaksasi baja prategang dapat diartikan sebagai kehilangan dari tegangan tendon secara perlahan yang bergantung waktu dan gaya prategang yang diberikan dibawah regangan yang hampir konstan.

Kehilangan prategang akibat relaksasi baja yaitu :

$$\Delta f_{RE} = C \times [K_{RE} - J \times (\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{ES})] \dots\dots\dots(23)$$

Dengan :

K_{RE} = Koefisien relaksasi, J = Faktor waktu, C = Faktor relaksasi

Δf_{SH} = Kehilangan tegangan akibat susut pada beton (MPa)

Δf_{CR} = Kehilangan tegangan akibat rangkai pada beton (MPa)

Δf_{ES} = Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton (MPa)

Nilai koefisien relaksasi dan faktor waktu serta nilai faktor relaksasi dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.7. Nilai faktor relaksasi baja prategang (C).

f_{pi} / f_{pu}	Strand atau kawat <i>stress relieved</i>	Batang <i>stress relieved</i> atau Strand atau kawat relaksasi rendah
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70

Tabel 2.8. Nilai faktor waktu (J) dan koefisien relaksasi baja prategang (K_{re}).

Tipe Tendon	K_{re}	J
Strand atau kawat <i>stress relieved</i> derajat 1860 MPa	138	0,150
Strand atau kawat <i>stress relieved</i> derajat 1720 MPa	128	0,140
Kawat <i>stress relieved</i> derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,130
Strand relaksasi rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Kawat relaksasi rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah derajat 1655 MPa atau 1620 Mpa	30	0,035
Batang <i>stress relieved</i> rendah derajat 1000 Mpa	41	0,050

7. Perencanaan Beton Prategang Berdasarkan Kekuatan dan Beban Terfaktor

Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan antara tegangan dan kompatibilitas regangan.

a. Perencanaan Untuk Kekuatan Lentur

Berdasarkan SNI 2847, 2013 pada pasal 18.7.2. kekuatan lentur penampang beton prategang dapat dihitung dengan metode kekuatan batas seperti pada perencanaan beton bertulang biasa. Dalam perhitungan kekuatan, tegangan pada tendon prategang diambil sebesar f_{ps} . Nilai f_{ps} bisa dihitung dengan metode

kompatibilitas regangan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \dots\dots\dots(24)$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d_p}$$

$$\omega = \frac{\rho \cdot f_y}{f'_c} \rightarrow \rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\omega' = \frac{\rho' \cdot f_y}{f'_c} \rightarrow \rho' = \frac{A_{s'}}{b \cdot d}$$

Dimana :

f_{ps} = Tegangan pada tendon saat penampang mencapai kuat nominalnya (MPa)

f_{pu} = Kuat tarik tendon yang disyaratkan (MPa)

f_y = Kuat leleh tulangan non prategang (MPa)

γ_p = Suatu faktor yang memperhitungkan tipe tendon prategang

$$\text{Untuk : } \frac{f_{py}}{f_u} \geq 0,80 \rightarrow \gamma_p = 0,55$$

$$\text{Untuk : } \frac{f_{py}}{f_u} \geq 0,85 \rightarrow \gamma_p = 0,40$$

$$\text{Untuk : } \frac{f_{py}}{f_u} \geq 0,90 \rightarrow \gamma_p = 0,28$$

d = Jarak dari sekan serat terluar penampang balok ke pusat tulangan tarik non prategang (mm)

d_p = Jarak dari sekan serat terluar penampang balok ke pusat tendon prategang (mm)

ρ_p = Rasio penulangan prategang

A_{ps} = Luas penampang strand baja prategang (mm^2)

b = Lebar efektif flens tekan dari komponen struktur (mm)

A_s = Luas penulangan tarik non-prategang (mm^2)

A_s' = Luas penulangan tekan non-prategang (mm^2)

Untuk menjamin terjadinya leleh pada tulangan non prategang, maka SNI membatasi rasio tulangan prategang dan bukan prategang (indeks tulangan) yang digunakan untuk perhitungan kekuatan momen komponen struktur sebagai berikut :

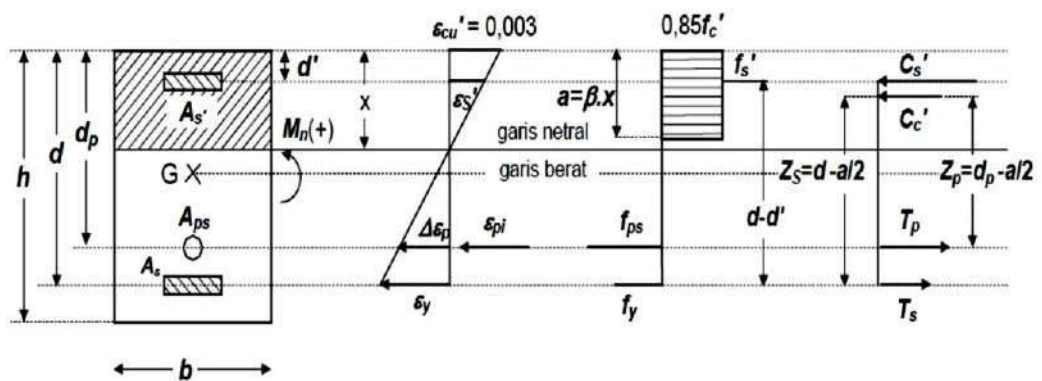
Untuk komponen struktur dengan tulangan prategang :

$$\omega_p + (\omega_w - \omega_w') \frac{d}{d_p} \leq 0,36 \cdot \beta_1 \rightarrow \omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f'_c} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

ω_{pw} , ω_w , dan ω_w' adalah indeks tulangan untuk penampang yang mempunyai flens, dihitung sebagai ω_p , ω , dan ω' dengan b sebesar lebar badan.

Adapun skema tegangan, dan regangan penampang balok prategang dalam keadaan lentur adalah sebagai berikut :



Gambar 2.14. Diagram tegangan dan regangan pada beton prategang.

Keseimbangan gaya pada penampang adalah :

$$C_s' + C_c' = T_p + T_s \dots \dots \dots (26)$$

Dimana :

$$C_s' = A_s' \times f_y' = \text{gaya pada tulangan tekan (N)}$$

$$C_c' = 0,85 \times f'_c \times b \times a = \text{gaya pada daerah tekan beton (N)}$$

$$T_p = A_p \times f_{ps} = \text{gaya pada tendon (N)}$$

$$T_s = A_s \times f_y = \text{gaya pada tulangan tarik (N)}$$

$$a = \text{blok tekan beton (mm)}$$

Apabila penulangan tekan diabaikan, maka momen luar hanya ditahan oleh tulangan tarik dan baja prategang, yaitu sebesar :

$$M_n = T_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (27)$$

Dimana :

$T_s \left(d - \frac{a}{2} \right)$ yaitu momen nominal yang disumbang oleh tulangan tarik.

$T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right)$ yaitu momen nominal yang disumbang oleh baja prategang.

Apabila penampang berupa beton prategang penuh :

$$M_n = T_p' \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (28)$$

b. Perencanaan Balok Terhadap Gaya Geser

Pada SNI T-12, 2004 Pasal 6.8.10 menjelaskan bahwa analisis geser balok prategang harus dilakukan dengan tata cara perencanaan beton berdasarkan kekuatan, dan beban terfaktor.

Kekuatan geser penampang beton didasarkan pada :

$$\Phi V_n = V_u \dots\dots\dots(29)$$

V_u yaitu gaya geser terfaktor, sedangkan (V_n) yaitu kuat geser nominal yang disumbang oleh beton (V_c) ditambah tulangan geser (V_s), kuat geser nominal dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini :

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(30)$$

1) Kuat geser yang disumbang oleh beton prategang

Sumbangan beton terhadap kekuatan geser dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b_w \times d \dots\dots\dots(31)$$

dimana :

b_w = Lebar badan pada beton (mm)

d = Tinggi efektif beton (mm)

2) Kuat geser yang disumbang oleh tulangan geser

Sumbangan tulangan geser terhadap kekuatan geser dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots(32)$$

Dimana (s) merupakan jarak antar tulangan geser.

8. Kontrol Lendutan

Karena adanya eksentrisitas kabel prategang, menyebabkan balok prategang mengalami defleksi keatas. Untuk menentukan nilai lendutan keatas digunakan rumus berikut ini :

$$c = \frac{5}{48} \times \frac{P_j \times e_s \times L^2}{E \times I} \dots\dots\dots(34)$$

dimana :

c = Lendutan ke atas (mm)

P_j = Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* (N)

L = Panjang jembatan (mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

I = Momen inersia balok prategang (mm⁴)

Dalam perencanaan, besarnya defleksi ke atas dan ke bawah harus diperiksa dan dibatasi agar tidak melampaui batas yang diizinkan.

Berdasarkan SNI T-12-2004, batasan dari lendutan yang diakibatkan beban rencana pada daya layan Jembatan Jalan Raya adalah 1/250 bentang.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan dilakukan dengan berbagai tahapan, dimulai dari pengumpulan data, studi literatur, analisis pembebanan, dan analisis kapasitas struktur yang dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP 2000 ver. 14. Desain jembatan menggunakan acuan pembebanan jembatan berdasarkan pembebanan standar SNI 1725, 2016, kombinasi pembebanan terbesar akan digunakan untuk mendesain jembatan PCI-Girder.

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian pada tulisan ini adalah struktur atas jembatan yang menggunakan beton prategang PCI-Girder yang terletak pada ruas Jalan Tol Trans Sumatera yang melewati Jalan Sutami, Bandar Lampung. Panjang bentang jembatan adalah 40,8 m dengan lebar jembatan 25,2 meter dan tinggi bersih jembatan adalah 6 m. Untuk detail dimensi dari objek penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3.

3.2. Pengumpulan Data

Data-data yang akan dikumpulkan pada tugas akhir ini diperoleh dari berbagai literatur yang memuat standar perencanaan yang diterbitkan oleh Dirjen Bina Marga, SNI, ACI, laporan-laporan dan tulisan-tulisan dari penelitian terdahulu,

buku-buku serta *website-website* yang memuat standar perencanaan jembatan, data asumsi, serta literatur-literatur lain yang terkait dengan perencanaan jembatan. Sedangkan, data umum jembatan diperoleh dari P.T. Waskita Karya, selaku pelaksana pekerjaan Jalan Tol Trans Sumatra seksi 2.

3.3. Analisis Data dan Hasil

Analisis dari data-data yang diperoleh akan dilakukan secara manual dan juga dengan bantuan program komputer yang mendukung, sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku. Data pembebanan, dan momen nominal akan dianalisis secara manual, dan dengan bantuan program *Microsoft Excel*, sedangkan perhitungan gaya-gaya dalam seperti momen, gaya geser, dan gaya normal yang bekerja pada jembatan, akan dihitung secara manual ataupun dengan bantuan program *Microsoft Excel*, dan SAP 2000 V.14.

3.4. Prosedur Penelitian

Berikut prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Mengumpulkan data yang diperlukan pada *review* jembatan.
2. Menentukan ukuran pada masing-masing struktur jembatan. Model struktur jembatan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jembatan satu bentang dengan panjang 40,8 meter, yang ditumpu pada elastomer jenis *bearing pad*.
3. Mendefinisikan data struktur
 - a. Data Struktur Atas

Struktur girder menggunakan beton prategang dengan penampang I dimana data dan properti dari penampang diambil langsung dari

spesifikasi produk yang diproduksi oleh produsen beton prategang (PT. WIJAYA KARYA BETON), Struktur lain berupa pelat lantai kendaraan, diafragma, aspal, tiang sandaram dan bagian pelengkap jalan lainnya ditentukan dengan menentukan langsung ukuran, dan data penampang yang digunakan pada proyek pembangunan jembatan sutami.

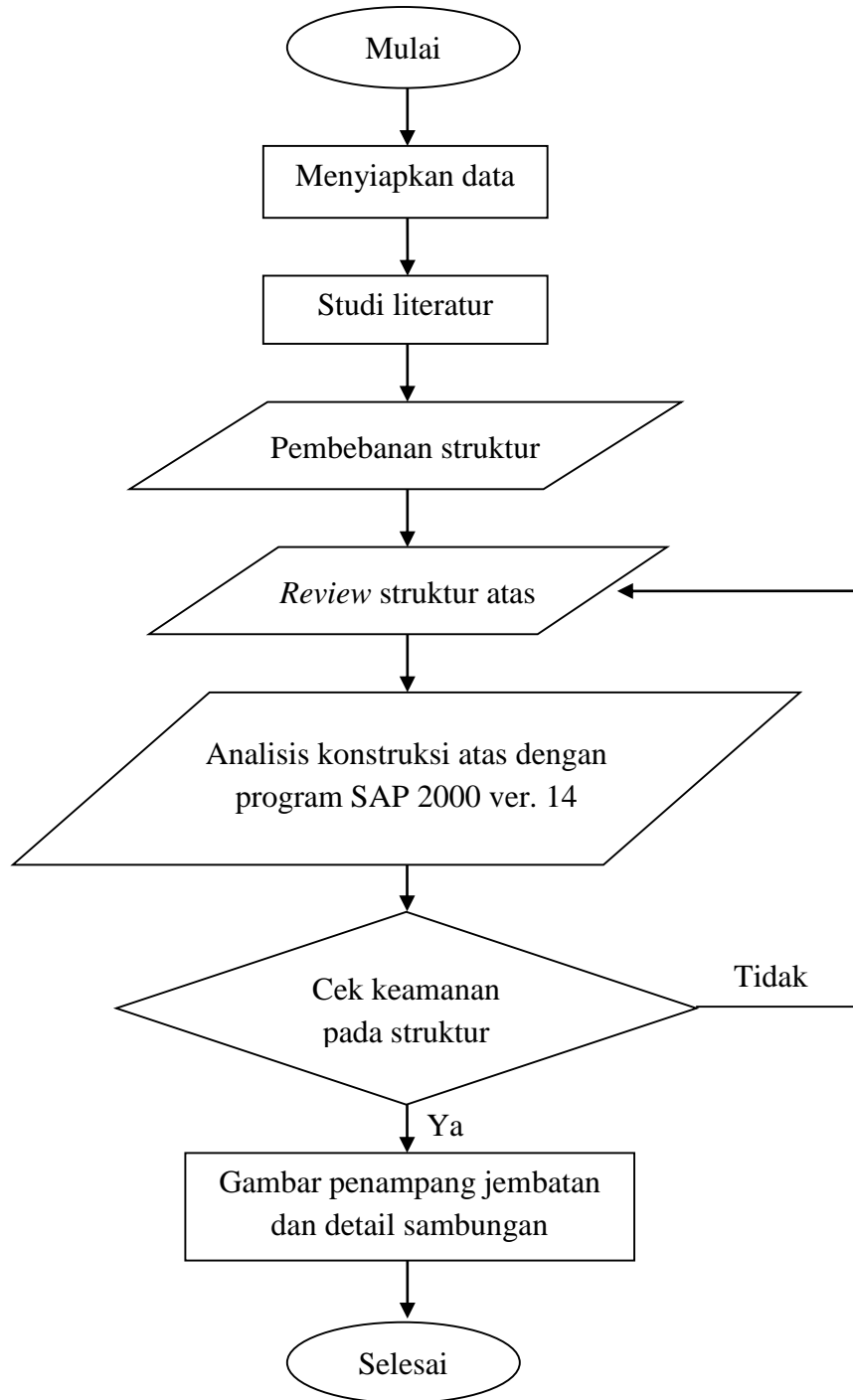
b. Data Material

Untuk struktur girder yang menggunakan beton prategang akan digunakan mutu K-600. Pelat lantai kendaraan yang menggunakan beton dengan mutu K-300. Sedangkan Spesifikasi baja prategang yang digunakan mempunyai tegangan leleh (f_{py}) 1674 MPa, kuat tarik (f_{pu}) 1860 MPa, dan sesuai standar dari ASTM A416.

4. Menghitung pembebanan yang bekerja pada masing-masing struktur jembatan.
5. Menghitung kombinasi pembebanan terbesar yang akan dipakai.
6. Menganalisis terhadap kekuatan struktur atas jembatan yang telah dirancang, sehingga dapat diketahui apakah struktur pada perencanaan sudah memenuhi spesifikasi keamanan atau tidak. Apabila kekuatan struktur tidak cukup dalam menerima beban yang bekerja, maka diperlukan perancangan ulang terhadap material jembatan.
9. Menyimpulkan kekuatan struktur-struktur jembatan yang telah dirancang apakah benar aman, dan mampu menerima beban-beban yang bekerja pada jembatan.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir secara keseluruhan pada proses penelitian ini yaitu:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan *review* desain jembatan sutami ini dapat di tarik kesimpulan bahwa:

1. Dimensi melintang perkerasan jalan kendaraan adalah 23,4 m untuk 2 jalur 2 arah dengan lebar total beserta tiang sandaran adalah 25,2 m.
2. Tiang sandaran diperlukan penulangan $\emptyset 19-150$ untuk daerah penebalan bawah sandaran, $\emptyset 13-150$ untuk daerah diatasnya, serta 10 $\emptyset 13$ untuk tulangan geser. Hal ini sama dengan perencanaan dari PT. Arkonin selaku perencana jembatan sutami, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tulangan yang dipakai telah memenuhi peraturan perencanaan beton tahun 2013.
3. Diafragma menggunakan tulangan lentur 2 D28, dengan tulangan kulit 5 $\emptyset 13$, serta tulangan geser $\emptyset 13-500$. Ada perbedaan perencanaan pada tulangan lentur, dan tulangan geser dari PT. Arkonin yang menggunakan tulangan lentur 2 D25, serta tulangan geser $\emptyset 13-200$.

Perbedaan ini disebabkan adanya perubahan dalam faktor reduksi untuk tulangan lentur pada standar perencanaan beton tahun 2002, dan 2013, sedangkan pada tulangan geser yang dipakai oleh perencana telah memenuhi peraturan perencanaan beton tahun 2013.

4. Pelat lantai kendaraan memiliki tebal 250 mm, penulangan $\emptyset 16-200$ untuk daerah tumpuan, serta lapangan, dan tulangan susut serta suhu $\emptyset 13-250$. Ada perbedaan penulangan dibandingkan dengan perencanaan dari PT. Arkonin yaitu $\emptyset 16-150$ untuk daerah tumpuan, serta lapangan, dan tulangan susut serta suhu $\emptyset 13-200$.

Perbedaan ini juga disebabkan adanya perubahan dalam faktor reduksi untuk tulangan lentur pada peraturan perencanaan beton tahun 2013.

5. Gelagar memanjang digunakan tulangan lentur tarik 12 D13, tulangan lentur tekan 12 D13, tulangan kulit 6 $\emptyset 13$, dan 18 strand 0,5" yang dipasang pada masing-masing tendon.

Hal ini berbeda dengan perencanaan dari PT. Arkonin yang menggunakan tulangan lentur tarik 6 D13, tulangan lentur tekan 6 D13, tulangan kulit 6 $\emptyset 13$, dan 19 strand 0,5" yang dipasang pada masing-masing tendon.

Perbedaan ini disebabkan dalam perhitungan yang telah dilakukan, diperlukan jumlah tulangan lentur yang sesuai dengan p_{min} yaitu 12 D13, namun oleh pihak perencanaan jembatan sutami tidak dipakai jumlah tulangan yang memenuhi kebutuhan p_{min} tersebut, sedangkan pada strand yang dipakai, telah memenuhi peraturan perencanaan yang berlaku.

6. Pada permodelan dengan menggunakan program SAP 2000 ver. 14 bisa dilihat secara visual, bagaimana pola pembebanan maksimum, dan perilaku yang kemungkinan terjadi akibat beban eksternal, sehingga memudahkan perencanaan dalam menentukan kebutuhan tulangan yang digunakan.

5.2. Saran

Dari *review* desain pada jembatan sutami yang telah dilakukan, dapat diberikan saran sebagai berikut :

1. Perlunya pengambilan data yang lebih banyak saat proyek berlangsung, terutama data perhitungan struktur jembatan, serta data laboratorium beton dan tanah pada proyek pembangunan, agar hasil yang didapat lebih komprehensif.
2. Diharapkan akan adanya penelitian lanjutan menggunakan model 3D pada *software* khusus desain jembatan *CSI Bridge*.
3. Diharapkan akan adanya penelitian lanjutan mengenai struktur bawah jembatan sutami, dan rencana anggaran biaya pembangunannya.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute Committee. 1995. *ACI 318: Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. American Concrete Institute (ACI). Farmington Hills.
- Ilham, Noer. 2008. *PERHITUNGAN BALOK PRATEGANG (PCI – GIRDER) JEMBATAN SRANDAKAN KULON PROGO D.I. YOGYAKARTA*. MNI-EC. Yogyakarta
- Ilham, Noer. 2008. *PERHITUNGAN BOX GIRDER BETON PRESTRESS GEJAYAN FLY OVER, YOGYAKARTA*. MNI-EC. Yogyakarta
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. *Pedoman Perancangan Bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Jakarta
- Lin, T. Y. & Burns, Ned. H. 2000. *DESAIN STRUKTUR BETON PRATEGANG*. Binarupa Aksara. Jakarta.
- Nawy, Edward G; alih bahasa, Bambang Suryoatmono. 2001. *BETON PRATEGANG SUATU PENDEKATAN MENDASAR*. Erlangga. Jakarta
- Raju, N. Krishna. 1993. *Beton Prategang Edisi Kedua*. Erlangga. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2016. *Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2005. *Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI T-02-2005)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2013. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (SNI 2833-2013)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia.

Standar Nasional Indonesia (SNI). 2013. *Perencanaan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung* (SNI 2847-2013). Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia.

Universitas Lampung. 2017. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.