

PERANCANGAN STRUKTUR KABEL PADA JEMBATAN GANTUNG

(Skripsi)

Oleh

RESPA ROSE MANGI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

PERANCANGAN STRUKTUR KABEL PADA JEMBATAN GANTUNG

Oleh

RESPA ROSE MANGI

Jembatan adalah struktur konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh rintangan-rintangan. Salah satu tipe jembatan yang digunakan untuk bentang panjang adalah jembatan gantung karena dapat menjangkau bentang yang panjang tanpa pilar ditengahnya. Jembatan gantung terdiri atas pelengkung penggantung dan batang penggantung, dek yang mendukung lalu lintas, serta *pylon* yang menyalurkan beban dari struktur atas ke pondasi. Tugas akhir ini membahas perancangan struktur atas meliputi kabel utama, penggantung, dan dek jembatan gantung.

Jembatan direncanakan dengan tipe *straight backstays*. Bentang total jembatan 450 m dengan bentang tepi 75 m dan bentang utama 300 m. Lebar dek 14 m dengan lantai kendaraan selebar 12 m dan trotoar 1 m. Jembatan diklasifikasikan sebagai kelas jalan II dengan muatan sumbu terberat izin 10 ton. Dek jembatan tersusun atas pelat lantai komposit beton bertulang dan *compodeck*, gelagar memanjang terdiri dari pelat *girder* sebagai gelagar *ribs* dan *box girder* baja, gelagar melintang berupa pelat *girder*, serta kabel VSL 7-wire strand.

Hasil perancangan diperoleh pelat beton setebal 25 cm tulangan D16–200 mm dan *compodeck* setebal 1,2 mm. Gelagar *ribs* berukuran 30x150 cm, tebal *flens* 2 cm dan *web* 0,8 cm. Gelagar melintang berukuran 40x170 cm, tebal *flens* 2,5 cm dan *web* 0,9 cm. *Box girder* berukuran 2x2 m. Kabel utama dan penggantung menggunakan 61 dan 19 7-wire strand. Perhitungan mengacu pada RSNI T-02-2005 untuk pembebanan, SNI 2847-2013 untuk struktur beton, dan SNI 1729-2015 untuk struktur baja. Perencanaan di lapangan harus ditambahkan pengaruh susut rangkak, suhu, gaya rem, serta analisis dinamis terhadap angin dan gempa agar lebih akurat.

Kata kunci: jembatan gantung, kabel, dek jembatan

ABSTRACT

DESIGN OF CABLE STRUCTURE ON THE SUSPENSION BRIDGE

By

RESPA ROSE MANGI

The bridge is a structural construction to connect two separated roads due to the existing obstacles such as deep valleys, rivers, lakes, irrigation channels, railroads, crossroads with different elevation, and others. One of the type that is compatible for long-span bridge is a suspension bridge. The suspension bridge is a bridge consisting of an arch hanger and hanger bars of steel cable, straight section that supports the traffic (bridge deck), and pylon that distributes the loads from the upper structure to the foundation. This final project consists the design of cable structure on the suspension bridge.

The design of cable structures on the suspension bridge includes designing on the main cable, hangers, and bridge deck. The suspension bridge is planned as a side span free or straight backstays type. It has 450 meters total length divided into 3 spans which are two 75 meters side spans and the 300 meters main span. The width of the bridge deck is 14 meters with the 12 meters highway and 1 meter wide sidewalks. The material for the bridge deck is composite between reinforced concrete with compodeck, transverse girder is made from plates girder, while the longitudinal girder consists of ribs girder and steel box girder. The cable structure use VSL 7-wire strand type.

The results of this design is obtained data of loads, dimensions, and strength analysis of each materials that compose the deck structure, cable hangers, and the main cable of the suspension bridge. The calculation using reference code of RSNI T-02-2005 for the bridge loading, SNI 2847-2013 for the concrete structures, and SNI 1729-2015 for the steel structures.

Keywords: suspension bridge, cable, bridge deck

PERANCANGAN STRUKTUR KABEL PADA JEMBATAN GANTUNG

Oleh

RESPA ROSE MANGI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : PERANCANGAN STRUKTUR KABEL PADA JEMBATAN GANTUNG

Nama Mahasiswa : Respa Rose Mangi

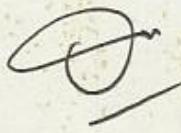
No. Pokok Mahasiswa : 1215011091

Jurusan : Teknik Sipil

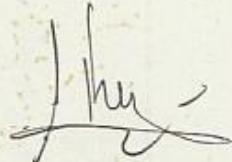
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Bayzoni, S.T., M.T.
NIP. 197305142000031001



Dr. Ir. C Niken DWSBU, M.T.
NIP. 195806131984032003

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197009151995031006

MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua : Bayzoni, S.T., M.T.

Sekretaris : Dr. Ir. C Niken DWSBU, M.T.

Pengaji
Bukan Pembimbing : Dr. Ratna Widyawati, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Juli 2017

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini berjudul "*Perancangan Struktur Kabel pada Jembatan Gantung*" tidak terdapat karya yang pernah diakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang 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, 2017



Respa Rose Mangi

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Manna, Bengkulu Selatan pada tanggal 19 Januari 1995. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Sudaryono dan Ibu Masdalena, anak pertama dari dua bersaudara.

Dengan rahmat Allah SWT penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-kanak Melati Puspa pada tahun 2000, Sekolah Dasar Negeri 2 Tanjung Senang pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama Negeri 4 Bandar Lampung pada tahun 2009 dan Sekolah Menengah Atas Fransiskus Bandar Lampung tahun 2012. Terakhir Penulis tercatat sebagai mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2012.

Pada tahun 2015, penulis melakukan Kerja Praktek pada Proyek Pembangunan *Mass Rapid Transit* Jakarta CP101 dan CP102 di perusahaan PT. Tokyu-Wika *Joint Operation*, pada tahun yang sama penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Toto Makmur, Kecamatan Gunung Terang, Kabupaten Tulang Bawang Barat selama 60 hari. Pada tahun 2016 penulis mengambil skripsi dengan judul Perangcangan Struktur Kabel pada Jembatan Gantung.

Saat menjadi mahasiswa penulis aktif dalam mengikuti organisasi kampus, organisasi yang diikuti adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) pada tahun 2014-2015. Ketika aktif dalam HIMATEKS, penulis menjabat menjadi sekretaris bidang Kesekretariatan.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

*Dengan kerendahan hati dan puji syukur atas kehadirat Allah SWT
kupersembahan skripsi ini kepada:*

*Kedua orang tuaku Ibu Masdalena dan Bapak Sudaryono yang telah
mendoakan,mendidik dan mendukung serta memberi dorongan kepadaku
untuk mencapai keberhasilan*

*Adik-adikkuku Anindita Nur Rachmi dan Sopyan Ilhamsyah yang turut
memeberikan dorongan semangat dan motivasi*

*Sahabat-sahabatku Selvia Rahma Rizkia, Feby Aristia Putri, Amoria Andayana,
Andriyana, Lidya Susanti, Febrian yang telah menemaniku dan memberi
kenangan terindah selama masa perkuliahan*

*Keluargaku yang turut mendoakan, memotivasi, serta memberikan dukungan
kepadaku untuk mencapai keberhasilan*

*Dan kepada dosen-dosen yang telah membimbingku selama menjalankan
perkuliahan*

MOTTO HIDUP

“Sesungguhnya Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah nasibnya.”

(QS. Ar-Rā’id : 11)

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah : 5)

“If you can’t fly, then run. If you can’t run, then walk. If you can’t walk then crawl, but whatever you do, you have to keep moving forward.”

(Martin Luther King Jr.)

“There are more important things in life than winning or lossing a game.”

(Lionel Messi)

SANWACANA



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "***Perancangan Struktur Kabel pada Jembatan Gantung***" adalah merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bayzoni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan kesediaan waktunya untuk sumbangan pemikiran, serta saran dan kritiknya demi kesempurnaan Skripsi.

4. Dr. Ir. C Niken DWSBU, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, motifasi, nasihat dan wejangan.
5. Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pengaji yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penulisan skripsi serta pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
6. Andi Kusnadi, S.T., M.T., M.M., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Orang tua terkasih ibu dan bapak, Masdalena dan Sudaryono yang sangat sabar dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
9. Adik-adikku tercinta Anindita Nur Rachmi dan Sopyan Ilhamsyah yang turut memberikan semangat dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Sahabat tercinta Selvia rahma Rizkia, Feby Aristia Putri, Amoria Andayana, Lidya Susanti, Andriyana, Febrian yang telah berbagi cerita suka dan duka bersama selama menjalani perkuliahan.
11. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2012 yang selama beberapa tahun ini bersama serta berbagi memori, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan.

12. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, serta seluruh pejuang Teknik Sipil, semoga kita semua berhasil menggapai impian. Aamiin.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan khususnya bagi penulis pribadi. Selain itu, penulis berharap dan berdoa semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan dan semangat kepada penulis, mendapatkan ridho dari Allah SWT. Aamiin.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, 2017

Penulis

Respa Rose Mangi

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C.Batasan Masalah.....	4
D.Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A.Jembatan Gantung.....	6
1. Menara (<i>pylon/tower</i>)	8
2. Kabel.....	8
3. <i>Deck</i> Jembatan.....	10
4. Pengangkuran	12
B.Pembebanan Struktur Jembatan	15
1. Berat Sendiri	15
2. Beban Mati Tambahan/Utilitas.....	16
3. Beban Lalu Lintas.....	17
C.Desain Struktur Jembatan	22
1. Trotoar Kerb dan Sandaran.....	22
2. Lantai Kendaraan.....	26
3. Gelagar <i>Ribs</i>	30
4. Gelagar Melintang	39
5. Gelagar <i>Box Girder</i>	48
6. Struktur Komposit	51
7. Struktur Kabel	54
III. METODOLOGI PENELITIAN	59
A.Umum.....	59
B. Alat dan Bahan.....	59
C.Objek Penelitian	61
D.Pendekatan Penelitian	62
E. Prosedur Penelitian.....	62
F. Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>) Penelitian	64

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	67
A.Data Penelitian	67
B.Perencanaan Trotoar.....	69
1. Perencanaan Pelat Lantai Trotoar.....	69
2. Perencanaan Tiang Sandaran Trotoar.....	71
C.Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan	73
1. Pelat Lantai Kendaraan.....	74
2. Perencanaan Pelat Baja Gelombang	78
D.Perencanaan Gelagar <i>Ribs</i>	80
1. Pembebanan Gelagar <i>Ribs</i>	80
2. Perhitungan Dimensi Gelagar <i>Ribs</i>	83
3. Kontrol Lendutan Gelagar <i>Ribs</i>	87
E.Perencanaan Gelagar Melintang	87
1. Pembebanan Gelagar Melintang.....	88
2. Perhitungan Dimensi Gelagar Melintang	93
3. Kontrol Lendutan Gelagar Melintang.....	97
F. Perencanaan <i>Box Girder</i>	97
1. Pembebanan <i>Box Girder</i>	98
2. Perhitungan Dimensi <i>Box Girder</i>	101
3. Kontrol Lendutan <i>Box Girder</i>	109
G.Perencanaan Struktur Komposit.....	109
1. Menghitung Penghubung Gesesr.....	110
2. Kontrol Lendutan Balok Komposit	111
H.Perencanaan Struktur Kabel.....	112
1. Menghitung Panjang Kabel	112
2. Analisis Struktur Kabel	113
3. Gaya yang Bekerja pada Kabel	115
4. Kebutuhan Kabel Penggantung	115
5. Tegangan Horizontal Kabel Utama	116
6. Tegangan Kabel Utama	116
7. Kebutuhan Kabel Utama	117
8. Lendutan Akibat Kabel.....	118
9. Gaya pada <i>Pylon</i>	118
10.Gaya pada <i>Angkur</i>	119
V. KESIMPULAN DAN SARAN	120
A.Kesimpulan	120
B.Saran	121
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN.....	124
A.LEMBAR ASISTENSI	124
B.PERHITUNGAN EXCEL	136
C.TABEL DAN GAMBAR	184

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Faktor beban untuk berat sendiri.....	15
2. Berat isi untuk beban mati	16
3. Faktor beban untuk beban mati tambahan	17
4. Faktor beban akibat beban lajur “D”.....	17
5. Jumlah lajur lalu lintas rencana.....	18
6. Faktor beban akibat pembebahan truk “T”	20
7. Lendutan izin maksimum yang dihitung.....	29
8. Berat mati sendiri lantai trotoar	70
9. Beban hidup lantai trotoar.....	70
10. Pembebahan tiang sandaran trotoar	72
11. Berat mati sendiri lantai kendaraan.....	74
12. Beban mati tambahan lantai kendaraan.....	74
13. Berat mati sendiri gelagar <i>ribs</i>	80
14. Beban mati tambahan gelagar <i>ribs</i>	81
15. Beban terbagi rata gelagar <i>ribs</i>	81
16. Beban garis gelagar <i>ribs</i>	81
17. Berat mati sendiri gelagar melintang	88
18. Beban mati tambahan gelagar melintang	89
19. Beban terbagi rata gelagar melintang.....	90
20. Beban garis gelagar melintang	90

21. Berat mati sendiri <i>box girder</i>	98
22. Beban mati tambahan <i>box girder</i>	99
23. Beban terbagi rata <i>box girder</i>	99
24. Beban garis <i>box girder</i>	100
25. Tegangan geser <i>box girder</i>	103
26. Panjang kabel penggantung.....	113
27. Gaya yang bekerja pada kabel.....	115
28. Kebutuhan kabel penggantung.....	116
29. Tegangan horizontal kabel penggantung	116
30. Tegangan kabel utama.....	117
31. Kebutuhan kabel utama.....	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pencapaian bentang utama untuk jembatan gantung	7
2. Komponen struktur atas jembatan gantung.....	7
3. Tipe menara.....	8
4. Penampang melintang kabel	9
5. Penampang melintang dek	11
6. Pengangkuran <i>gravity</i> jembatan Akashi Kaikyo.....	12
7. Pengangkuran <i>tunnel</i> jembatan George Washington	12
8. Klasifikasi berdasarkan jumlah bentang	13
9. Klasifikasi berdasarkan kontinuitas <i>stiffening girder</i>	14
10. Klasifikasi berdasarkan tipe kabel penggantung.....	14
11. Klasifikasi berdasarkan tipe pengangkuran kabel.....	15
12. Beban lajur “D”	19
13. Penyebaran pembebanan pada arah melintang	20
14. Pembebanan truk “T”	21
15. Luas bidang kontak roda truk.....	21
16. Trotoar kerb dan sandaran.....	22
17. Baja gelombang.....	29
18. Gelagar <i>ribs</i>	30
19. Batasan tekuk torsi lateral	32

20. Batasan tekuk lokal <i>flens</i>	32
21. Batasan tekuk lokal <i>web</i>	32
22. Kondisi batasan balok pelat berdinding penuh	34
23. Gelagar melintang	39
24. Batasan tekuk torsi lateral	41
25. Batasan tekuk lokal <i>flens</i>	41
26. Batasan tekuk lokal <i>web</i>	41
27. Kondisi batas balok pelat berdinding penuh	43
28. Gelagar <i>box girder</i>	48
29. Koefisien tekuk	49
30. Struktur kabel pada bentang utama	54
31. Gaya –gaya yang bekerja pada dek jembatan	55
32. Gaya yang bekerja pada <i>tower</i> jembatan	57
33. Gaya yang bekerja pada angkur jembatan	58
34. Model jembatan gantung.....	61
35. Diagram alir perancangan	64
36. Diagram alir keseluruhan	66
37. Model jembatan gantung.....	68
38. Potongan A-A penampang melintang dek.	68
39. Trotoar.....	69
40. Penulangan trotoar	73
41. Pelat lantai kendaraan	73
42. Beban Truk.....	75

43. Luas bidang kontak kondisi 1	76
44. Luas bidang kontak kondisi 2	76
45. Pelat baja gelombang	78
46. Penulangan pelat lantai kendaraan	79
47. Gelagar <i>ribs</i>	80
48. Pembebanan gelagar <i>ribs</i>	82
49. Bidang lintang gelagar <i>ribs</i>	82
50. Bidang momen gelagar <i>ribs</i>	83
51. Penampang gelagar <i>ribs</i>	83
52. Jarak pengaku vertikal gelagar <i>ribs</i>	85
53. Dimensi pengaku vertikal gelagar <i>ribs</i>	85
54. Dimensi pengaku penahan tumpu gelagar <i>ribs</i>	86
55. Pengaku penahan gaya tumpu gelagar <i>ribs</i>	87
56. Gelagar melintang	88
57. Beban akibat gelagar <i>ribs</i>	89
58. Kondisi 1 beban lajur gelagar melintang	90
59. Bidang lintang gelagar melintang kondisi 1.....	91
60. Bidang momen gelagar melintang kondisi 1.....	91
61. Kondisi 2 beban lajur gelagar melintang	91
62. Bidang lintang gelagar melintang kondisi 2.....	92
63. Bidang momen gelagar melintang kondisi 2.....	92
64. Penampang gelagar melintang	93
65. Jarak pengaku vertikal gelagar melintang.....	94
66. Dimensi pengaku vertikal gelagar melintang.....	95

67. Dimensi pengaku penahan tumpu gelagar melintang	96
68. Pengaku penahan gaya tumpu gelagar melintang	97
69. <i>Box girder</i>	97
70. Beban akibat gelagar melintang	98
71. Pembebanan <i>box girder</i>	100
72. Bidang lintang <i>box girder</i>	100
73. Bidang momen <i>box girder</i>	101
74. Dimensi penampang <i>box girder</i>	101
75. Tegangan lentur <i>box girder</i>	103
76. Tegangan geser <i>box girder</i>	104
77. Koefisien tekuk	104
78. Tegangan lentur per segmen	105
79. Tegangan lentur segmen 1	106
80. Tegangan lentur segmen 2	107
81. Tegangan lentur segmen 3	108
82. Struktur komposit.....	109
83. Kuat lentur nominal balok.....	110
84. Pemasangan <i>stud</i>	111
85. Struktur kabel jembatan gantung	112
86. Pembebanan struktur kabel	113
87. Bidang lintang struktur kabel	114
88. Bidang momen struktur kabel	114
89. Gaya yang bekerja pada kabel.....	115
90. Dimensi kabel.....	118

91. Gaya pada <i>pylon</i>	118
92. Gaya pada angkur.....	119

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan - rintangan seperti lembah yang dalam, jalanan, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Struktur ini memungkinkan kendaraan bermotor, kereta api, maupun pejalan kaki melintas dengan lancar dan aman.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang juga memiliki kondisi alam dimana daratan-daratannya terdapat banyak pegunungan maupun aliran sungai. Maka untuk memaksimalkan hubungan antar wilayah dibutuhkan sebuah prasarana transportasi yang berupa jembatan sebagai penghubung untuk menjangkau daerah yang terisolir. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga terdapat 88.000 buah jembatan di Indonesia yang panjangnya mencapai 1.050 km.

Dari tahun ke tahun perkembangan teknologi jembatan terus mengalami peningkatan yang pesat sejalan dengan bertambahnya kebutuhan prasarana transportasi darat dan air. Hal ini terlihat dari peningkatan kelas beban rencana jembatan, pemahaman teknologi alternatif perencanaan /

pelaksanaan / pemeliharaan bangunan jembatan, serta penggunaan berbagai macam *software* untuk mendukung analisis statis dan dinamis struktur jembatan. Jembatan yang mula-mula hanya berupa struktur sederhana dengan bentang pendek menggunakan material yang memanfaatkan alam sekitar seperti kayu atau akar tumbuhan, kini telah banyak dirancang dalam bentang panjang dengan material yang lebih kokoh seperti baja, beton, maupun komposit.

Perancangan jembatan bentang panjang yang dapat melintasi sungai-sungai besar hingga menjadi penghubung antar pulau merupakan agenda ke depan yang dihadapi pembangunan infrastruktur di Indonesia. Salah satu tipe jembatan yang baik digunakan untuk jembatan bentang panjang adalah jembatan gantung. Jembatan gantung terdiri atas pelengkung penggantung dan batang penggantung dari kabel baja, bagian lurus yang berfungsi mendukung lalulintas (*deck* jembatan), serta *pylon* yang menyalurkan beban dari struktur atas jembatan ke pondasi. Kelebihan dari pemakaian tipe jembatan gantung adalah dapat dibuat untuk bentang panjang tanpa pilar ditengahnya.

Jembatan Kutai Kertanegara merupakan jembatan gantung dengan bentang utama terpanjang di Indonesia yaitu 270 meter, sebelum akhirnya runtuh pada tahun 2011. Terdapat pula Jembatan Barito yang memiliki bentang utama 230 meter dan juga Jembatan Mamberamo 235 meter. Jembatan gantung tertua dan terbesar pada abad ke-18 adalah Jembatan *Menai Straits* di Inggris yang dibangun pada tahun 1825. Struktur jembatan gantung yang pada awalnya masih menggunakan *pylon* dari batu, kabel dari rantai besi,

dan dek dari *stiffening truss* terus mengalami inovasi sampai akhirnya *pylon* dari baja atau beton, kabel baja, dan dek gelagar *box* banyak digunakan pada struktur jembatan gantung sekarang. Jangkauan bentang jembatan gantung juga terus berkembang, tercatat sampai saat ini jembatan gantung dengan bentang utama terpanjang di dunia adalah Jembatan Akashi Kaikyo di Jepang yaitu 1991 meter. Selain jembatan gantung yang telah dibangun, juga terdapat beberapa perencanaan jembatan bentang panjang seperti Jembatan Selat Mesina di Italia, Jembatan Selat Gibraltar yang menghubungkan Spanyol dan Maroko, serta Jembatan Selat Sunda.

Salah satu struktur utama yang sangat penting pada jembatan gantung adalah struktur kabel. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel penggantung (*hanger*) dan kabel utama (*main cable*) yang berfungsi memikul bagian *deck* jembatan. Untuk melakukan perancangan struktur kabel pada jembatan gantung, diperlukan hasil dari perencanaan pada bagian *deck* jembatan terlebih dahulu. Perencanaannya meliputi pembebanan, penentuan dimensi dan analisis kekutan setiap bagian struktur yang menyusun *deck* jembatan gantung yang terdiri dari pelat lantai, gelagar memanjang, dan melintang. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai perancangan struktur kabel pada jembatan gantung.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah mengenai perancangan struktur kabel pada jembatan gantung yang terdiri dari kabel utama (*main cable*) dan

batang penggantung (*hanger*) serta bagian lurus yang mendukung lalu lintas (*deck* jembatan).

C. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini diperlukan batasan sebagai berikut:

1. Jembatan gantung direncanakan sebagai jembatan jenis *side span free* atau *straight backstays* yaitu kabel utama pada bentang tepi tidak terdapat kabel penggantung.
2. Bentang total jembatan adalah 450 meter
3. Panjang bentang utama adalah 300 meter dan panjang bentang tepi adalah 75 meter.
4. Lebar total jembatan adalah 14 meter
5. Lebar lantai kendaraan 12 meter 4 lajur 2 arah dan lebar trotoar 1 meter.
6. Jembatan diklasifikasikan sebagai kelas jalan II.
7. Gelagar memanjang jembatan berupa gelagar *ribs* dan *box girder*.
8. Tinggi ruang bebas jembatan adalah 15 meter.
9. Tinggi *pylon* 40 meter dari lantai jembatan.
10. Pembebanan yang digunakan dalam perancangan berupa beban mati dan beban lalu lintas.
11. Kondisi struktur bawah dan *pylon* jembatan gantung tidak ditinjau.
12. Nilai estetika dan ekonomis tidak diperhitungkan dalam perancangan.
13. Analisis dinamis jembatan gantung tidak diperhitungkan.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang struktur kabel pada jembatan gantung yang memenuhi syarat pembebanan rencana.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum mengenai perancangan struktur kabel pada jembatan gantung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

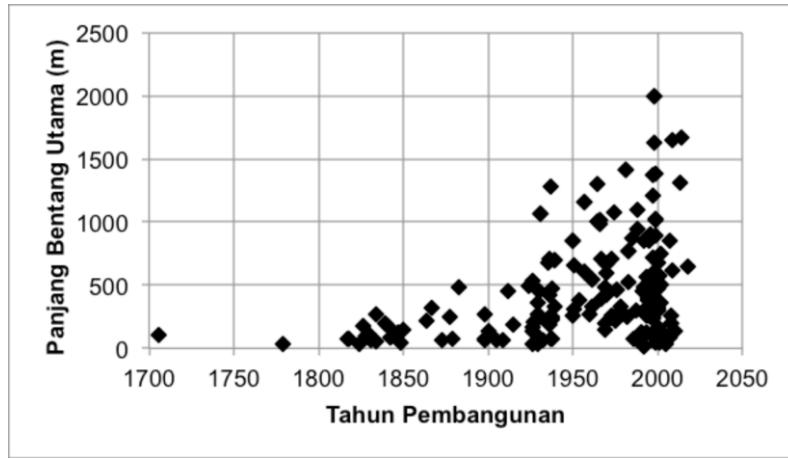
A. Jembatan Gantung

Jembatan gantung adalah sistem struktur jembatan yang menggunakan kabel sebagai pemikul utama beban lalu lintas di atasnya, pada sistem ini kabel utama (*main cable*) memikul beberapa kabel penggantung (*suspension cables/hanger*) yang menghubungkan antara kabel utama dengan gelagar jembatan. Kabel utama dihubungkan pada kedua *tower* jembatan dan memanjang disepanjang jembatan yang berakhir pada pengangkeran pada kedua ujung jembatan untuk menahan pergerakan vertikal dan horizontal akibat beban-beban yang bekerja.

Sistem jembatan ini merupakan salah satu sistem yang mampu mengakomodasi bentang terpanjang dari semua sistem struktur jembatan yang ada. Pertimbangan pemakaian tipe jembatan gantung adalah strukturnya dapat dibuat untuk bentang panjang tanpa menggunakan pilar ditengahnya. Jembatan gantung juga sudah biasa menjadi *landmark* bagi kota-kota besar di dunia, contoh penggunaan sistem jembatan ini adalah jembatan *Golden Gate* San Fransisco Amerika Serikat.

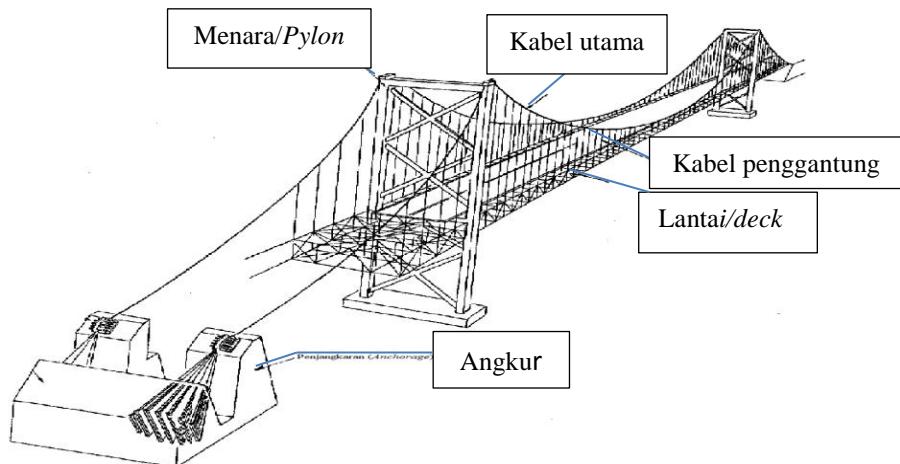
Sampai saat ini jembatan gantung terpanjang yang telah dibangun adalah jembatan *Akashi Kaikyo* di Jepang dengan bentang utama sepanjang 1991

meter. Perkembangan dan distribusi bentang utama untuk jembatan gantung dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pencapaian bentang utama untuk jembatan gantung
(www.structurae.de)

Komponen atau bagian-bagian struktur atas jembatan gantung meliputi lantai (*deck*) jembatan, kabel penggantung (*suspension cables/hanger*), kabel utama (*main cable*), dan menara (*pylon/tower*).



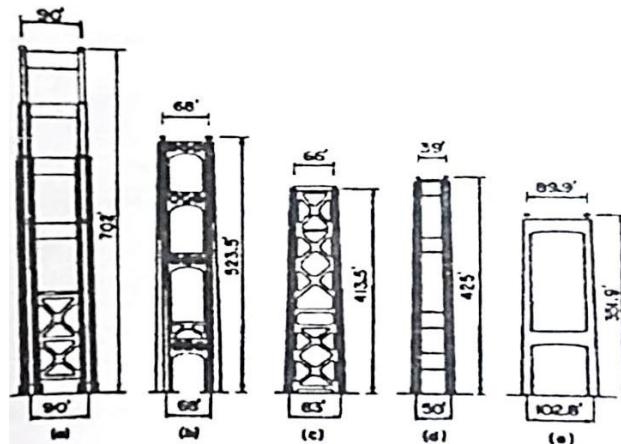
Gambar 2. Komponen struktur atas jembatan gantung
(*Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000*)

1. Menara (*Pylon / Tower*)

Menara pada sistem jembatan gantung akan menjadi tumpuan kabel utama. Beban yang dipikul oleh kabel selanjutnya diteruskan ke menara yang kemudian disebarluaskan ke tanah melalui fondasi. Dengan demikian agar dapat menyalurkan beban dengan baik perlu diketahui pula bentuk atau macam menara yang akan digunakan.

Bentuk menara dapat berupa portal, *multistory*, atau *diagonally braced frame* seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Konstruksi menara tersebut dapat juga berupa konstruksi *cellular*, yang terbuat dari pelat baja lembaran, baja berongga, atau beton bertulang.

Tumpuan menara baja biasanya dapat diasumsikan jepit atau sendi. Sedangkan tumpuan kabel di bagian atas menara, sering digunakan tumpuan rol untuk mengurangi pengaruh ketidakseimbangan menara akibat lendutan kabel.



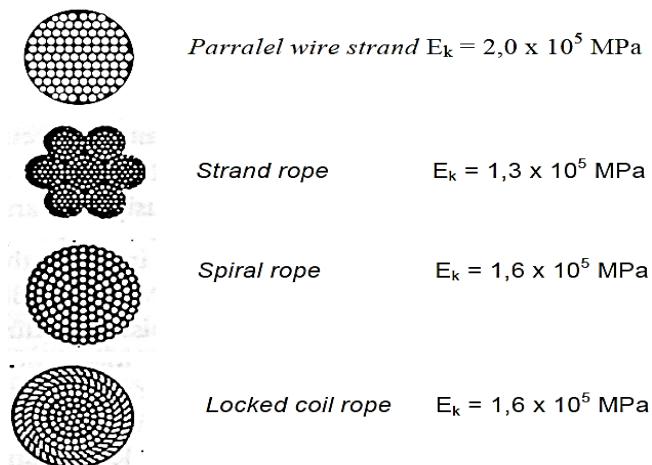
Gambar 3. Tipe menara (*Troitsky*, 1994)

2. Kabel

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan gantung. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama

dan kabel penggantung. Kabel utama (*main cable/suspension cable*) adalah kabel yang berfungsi sebagai penahan kabel penggantung dan menyalurkan beban dari kabel penggantung ke menara (*tower/pylon*). Kabel penggantung (*hanger/suspender*) adalah kabel vertikal/diagonal yang berfungsi sebagai penggantung lantai (*deck*) dan menyalurkan beban dari lantai (*deck*) ke kabel utama.

Kabel dengan inti yang lunak tidak diizinkan digunakan pada jembatan gantung ini, kabel harus memiliki tegangan leleh minimal sebesar 1500 MPa. Kabel pemikul yang digunakan berupa untaian (*strand*) dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum 1800 MPa. Jenis-jenis kabel ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Penampang melintang kabel

(Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02/SE/M/2010)

Karakteristik kabel kaitannya dengan struktur jembatan gantung antara lain:

- Mempunyai penampang yang homogen (seragam) pada seluruh bentang

- b. Tidak dapat menahan momen dan gaya desak
- c. Gaya-gaya dalam yang bekerja selalu merupakan gaya tarik aksial
- d. Bentuk kabel tergantung pada beban yang bekerja padanya
- e. Bila kabel menderita beban terbagi merata, maka wujudnya akan melengkung parabola
- f. Pada jembatan gantung, kabel menderita beban titik sepanjang beban mendatar

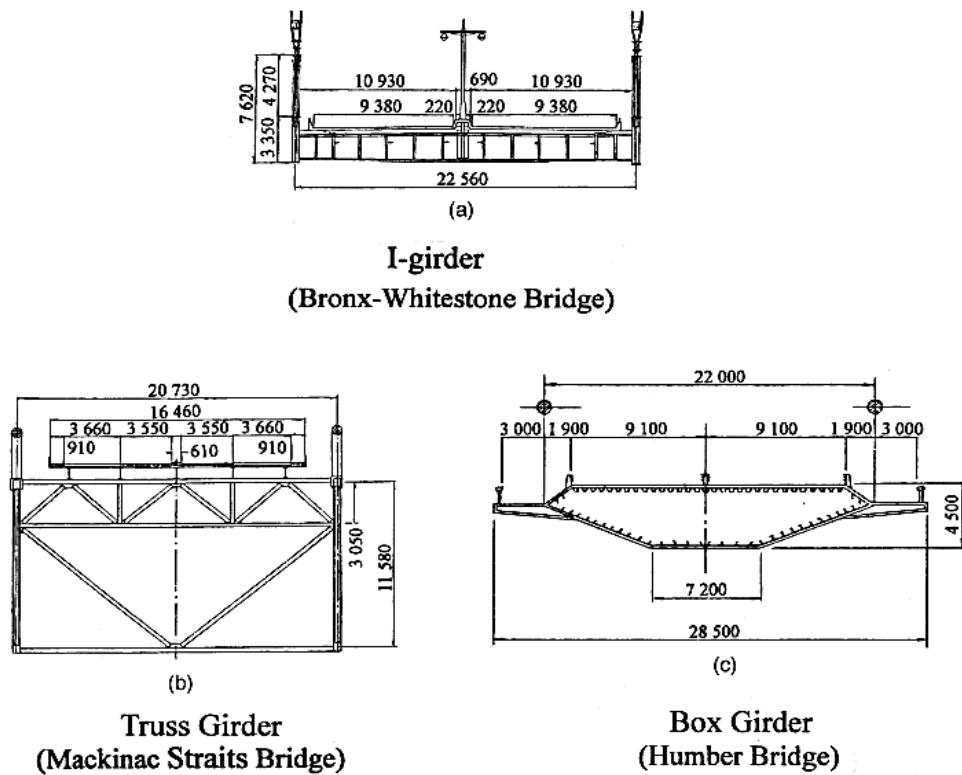
3. *Deck* Jembatan

Sistem lantai (*deck*) merupakan struktur longitudinal yang menyokong dan mendistribusikan beban lalu lintas di atasnya, berperan sebagai penghubung sistem lateral, serta menjamin stabilitas aerodinamis dari struktur. Dalam perencanaan *deck* jembatan perlu mempertimbangkan faktor aliran udara vertikal dan beban mati dari *deck* itu sendiri. Dengan penggunaan sistem lantai (*deck*) dapat menambah kekakuan dari konstruksi jembatan gantung.

Material yang biasanya digunakan pada *deck* (sistem lantai) jembatan berupa beton bertulang dengan berat yang relatif ringan, *deck orthotropic*, atau baja berongga yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja-beton). Pada *deck* (sistem lantai) ini, pengaruh kembang-susut material baja atau beton perlu diperhatikan dengan cermat. Apabila kembang-susut tidak terkontrol akan dapat menyebabkan penambahan tegangan pada struktur *deck* itu sendiri, selain itu dapat pula menimbulkan kerusakan pada konstruksi *deck*. Untuk itu penggunaan

expantion joint sebaiknya diberikan setiap 30-40 m untuk mencegah kerusakan *deck* dan struktur utama (*Troitsky*, 1994).

Sistem lantai (*deck*) dapat berupa *stiffening truss*, *I-girder*, dan *box girder*. Seperti potongan melintang *deck* jembatan yang ditunjukan pada Gambar 5. Pada jembatan gantung bentang panjang, *truss* atau *box girder* yang biasanya digunakan. *I girder* tidak menguntungkan untuk stabilitas aerodinamis. Penggunaan *box girder* kini lebih banyak digunakan karena *truss* memerlukan fabrikasi yang besar dan perawatannya yang sulit.

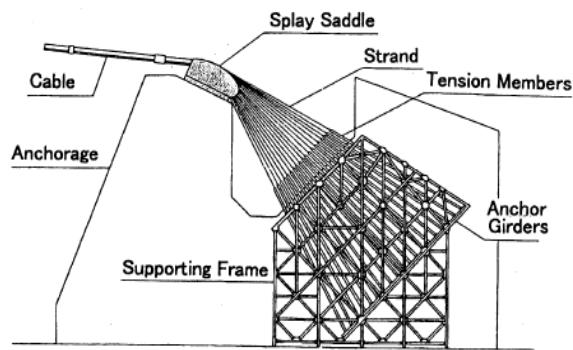


Gambar 5. Penampang melintang dek

(*Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000*)

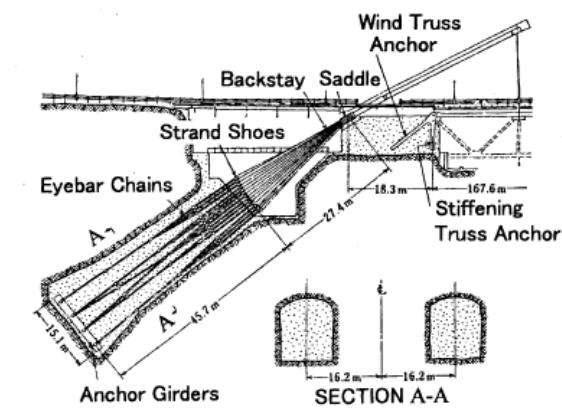
4. Pengangkuran

Pengangkuran jembatan gantung berupa balok beton yang sangat besar yang menjadi angkur kabel utama dan berperan sebagai penyokong akhir sebuah jembatan. Pengangkuran jembatan dapat berupa pengangkuran *gravity* atau *tunnel*. Pengangkuran *gravity* bergantung pada massa angkur itu sendiri untuk menahan tegangan dari kabel utama. Tipe ini sering digunakan pada banyak jembatan gantung. Pengangkuran *tunnel* membawa tegangan dari kabel utama langsung ke dalam tanah. Kondisi geoteknik yang memadai dibutuhkan untuk pengangkuran tipe ini.



Gambar 6. Pengangkuran *gravity* jembatan Akashi Kaikyo

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)



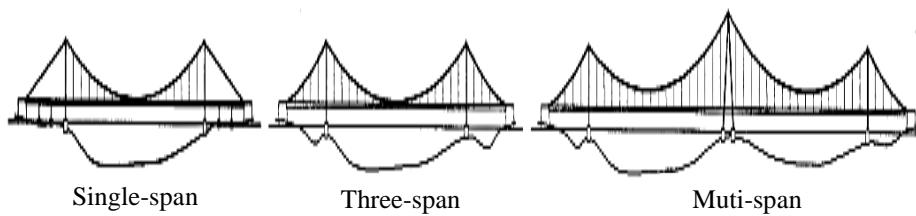
Gambar 7. Pengangkuran *tunnel* jembatan George Washington

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)

Jembatan gantung dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal, yaitu banyaknya bentang, kontinuitas *stiffening girder*, tipe kabel penggantung, dan tipe pengangkuran kabel.

1. Banyaknya Bentang

Jembatan gantung dapat diklasifikasikan menjadi jembatan satu atau tiga bentang dengan dua menara, dan jembatan bentang banyak yang memiliki tiga atau lebih menara. Jembatan gantung dengan tiga bentang adalah yang paling umum digunakan. Pada jembatan dengan bentang banyak, perpindahan horizontal yang terjadi di puncak menara akan lebih besar saat kondisi pembebanan dibandingkan jembatan dengan satu atau tiga bentang, sehingga penanggulangan untuk mengendalikan perpindahan tersebut merupakan hal yang penting.

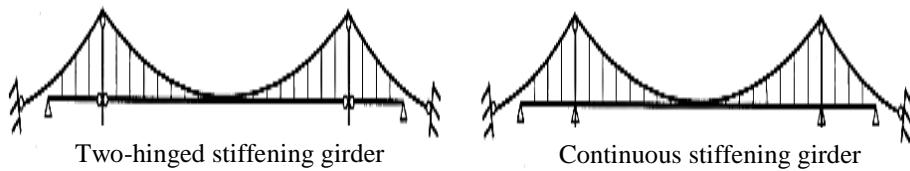


Gambar 8. Klasifikasi berdasarkan jumlah bentang

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)

2. Kontinuitas *Stiffening Girder*

Stiffening girder secara khusus diklasifikasikan menjadi tipe dua tumpuan atau menerus. *Stiffening girder* dengan dua tumpuan biasanya digunakan untuk jembatan-jembatan jalan raya. Untuk jembatan-jembatan kombinasi jalan raya dan rel kereta api, *girder* menerus lebih sering digunakan untuk memastikan kelancaran jalannya kereta.

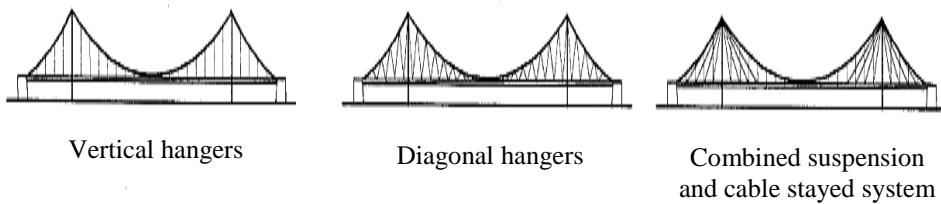


Gambar 9. Klasifikasi berdasarkan kontinuitas *stiffening girder*

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)

3. Tipe Kabel Penggantung

Kabel penggantung pada jembatan gantung bisa berupa kabel vertikal atau diagonal. Umumnya, kebanyakan kabel penggantung pada jembatan gantung adalah kabel vertikal. Kabel penggantung diagonal telah digunakan pada beberapa jembatan gantung, salah satunya pada jembatan Severn, untuk menambah redaman dari struktur yang tergantung. Terkadang, kabel penggantung vertikal dan diagonal dikombinasikan untuk menambah kekakuan.

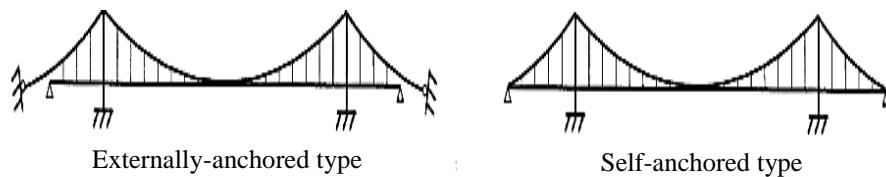


Gambar 10. Klasifikasi berdasarkan tipe kabel penggantung

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)

4. Tipe Pengangkuran Kabel

Pengangkuran diklasifikasikan menjadi pengangkuran pada bagian luar dari jembatan, dan pengangkuran pada jembatannya sendiri. Pengangkuran pada jembatannya sendiri berarti kabel utama disatukan dengan *stiffening girder* sebagai sistem pengangkuran, sehingga tekanan axial diterima oleh *girder*.



Gambar 11. Klasifikasi berdasarkan tipe pengangkuran kabel

(Harazaki, I., S. Suzuki, dan A. Okukawa, 2000)

B. Pembebanan Struktur Jembatan

Standar pembebanan untuk jembatan di Indonesia menggunakan peraturan RSNI T-02-2005. Standar ini menggunakan acuan normatif dari SNI 03-1725-1989, tentang tata cara perencanaan pembebanan jembatan jalan raya, SNI 03-2833-1992, tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan jalan raya, dan Pd. T-04-2004-B, tentang pedoman perencanaan beban gempa untuk jembatan. Pada tugas akhir ini beban-beban yang direncanakan bekerja pada struktur terdiri dari:

1. Berat Sendiri

Tabel 1. Faktor beban untuk berat sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN		
	K	K	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, aluminium	1,0	1,1
	Beton pra cetak	1,0	1,2
	Beton dicor di tempat	1,0	1,3
	Kayu	1,0	0,7

Sumber: RSNI T-02-2005

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen - elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini

adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Tabel 2. Berat isi untuk beban mati

No	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Masa (kg/m ³)
1	Campuran aluminium	26.7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
3	Besi tuang	71.0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18.8 – 22.7	1920 – 2320
6	Aspal beton	22.0	2240
7	Beton ringan	12.25 – 19.6	1250 – 2000
8	Beton	22.0 – 25.0	2240 – 2560
9	Beton prategang	25.0 – 26.0	2560 – 2640
10	Beton bertulang	23.5 – 25.5	2400 – 2600
11	Timbal	111	11400
12	Lempung lepas	12.5	1280
13	Batu pasang	23.5	2400
14	Neoprin	11.3	1150
15	Pasir kering	15.7 – 17.2	1600 – 1760
16	Pasir basah	18.0 – 18.8	1840 - 1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Baja	77.0	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (keras)	11.0	1120
21	Air murni	9.8	1000
22	Air garam	10.0	1025
23	Besi tempa	75.5	7680

Sumber: RSNI T-02-2005

2. Beban Mati Tambahan / Utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 3. Faktor beban untuk beban mati tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	K	K		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Keadaan Umum Keadaan khusus	1,0 (1) 1,0	2,0 1,4	0,7 0,8
CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber: RSNI T-02-2005

3. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya, Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana.

a. Beban lajur “D”

Jalur lalu lintas mempunyai lebar minimum 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Faktor beban akibat beban lajur “D”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	K	K
Transien	1,0	1,8

Sumber: RSNI T-02-2005

Tabel 5. Jumlah lajur lalu lintas rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n_1)
Satu lajur	4,0 – 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 – 8,25 11,3 – 15,0	2 (3) 4
Banyak arah	8,25 – 11,25 11,3 – 15,0 15,1 – 18,75 18,8 – 22,5	3 4 5 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.	
CATATAN (3)	Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.	

Sumber: RSNI T-02-2005

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

1) Beban Terbagi Rata (BTR)

Mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L sebagai berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

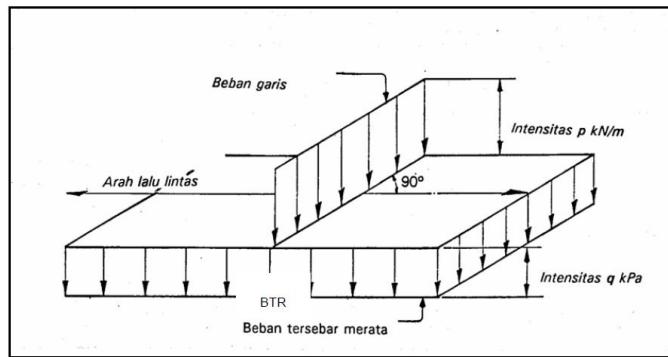
keterangan :

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

2) Beban Garis (BGT)

Dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

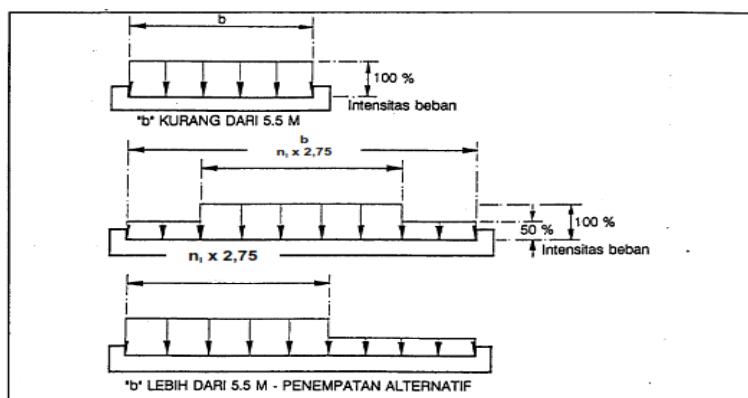


Gambar 12. Beban lajur “D” (RSNI T-02-2005)

Penyebaran beban “D” pada arah melintang disusun sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” pada arah melintang harus sama. Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban “D” harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100%.
- 2) Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban “D” harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_1) yang berdekatan (Tabel 5), dengan intensitas 100%. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_1 \times 2,75 p$ kN, kedua-duanya bekerja berupa strip pada jalur selebar $n_1 \times 2,75$ m.
- 3) Lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban “D”

tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dan jalur dengan intensitas sebesar 50%. Susunan pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 13.



Gambar 13. Penyebaran pembebanan pada arah melintang
(RSNI T-02-2005)

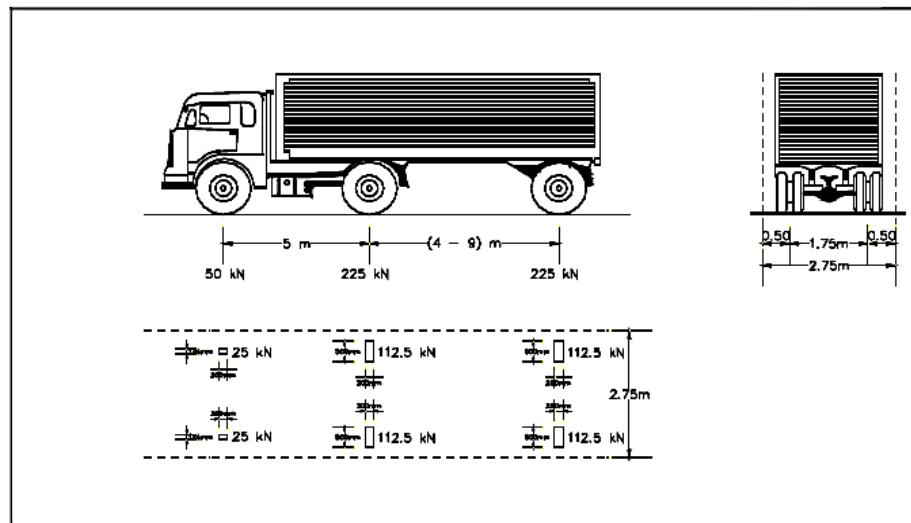
b. Pembelan truk “T”

Tabel 6. Faktor beban akibat pembelan truk “T”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_s;;TT;$	$K_u;;TT;$
Transien	1,0	1,8

Sumber: RSNI T-02-2005

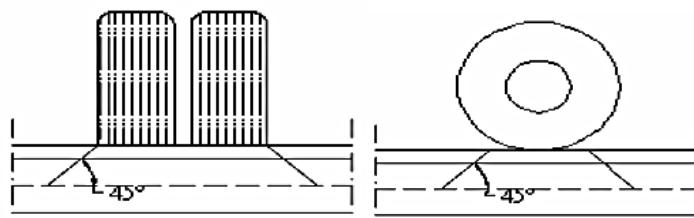
Pembelan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 2.20 Berat dari masing-masing as disebarluaskan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 14. Pembebanan truk "T" (RSNI T-02-2005)

Distribusi beban pada lantai akibat beban roda truk, $T = 11,25$ ton.

Bidang kontak roda terhadap pelat lantai yang ditinjau adalah sebesar 45° dari bagian aspal yang bersinggungan langsung dengan roda sampai ke setengah tebal pelat lantai kendaraan.



Gambar 15. Luas bidang kontak roda truk

Bidang kontak pada sumbu pelat:

$$tx = \text{lebar roda ganda} + (2 \times \text{lebar bidang kontak roda})$$

$$ty = \text{panjang roda ganda} + (2 \times \text{panjang bidang kontak})$$

Penyebaran beban T :

$$T' = \frac{T}{tx \cdot ty}$$

Luas pelat lantai yang ditinjau:

$$Lx = \text{lebar pelat lantai yang ditinjau.}$$

Ly = panjang pelat lantai yang ditinjau.

Menghitung koefisien momen:

Untuk memperoleh nilai koefisien momen F_{xm} dapat diperoleh dari nilai tx/L_x dan ty/L_y pada Tabel *Bittner* yang dicantumkan di dalam lampiran.

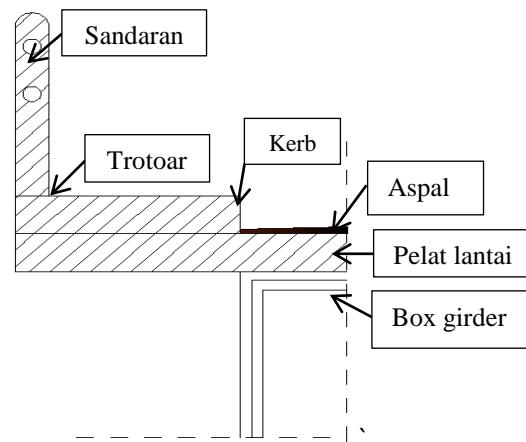
Momen maksimum akibat beban truk:

$$M_T = F_{xm} \times T' \times tx \times ty$$

C. Desain Struktur Jembatan

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai perancangan struktur kabel pada jembatan gantung. Struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama (*main cable*) dan kabel penggantung (*hanger*). Struktur ini berfungsi untuk memikul beban dari dari *deck* yang direncanakan sebagai beban mati dan beban lalu lintas. Berikut ini merupakan struktur jembatan gantung yang terdiri dari:

1. Trotoar Kerb dan Sandaran



Gambar 16. Trotoar kerb dan sandaran

Menurut *Supriyadi* dan *Muntohar* (2007), konstruksi trotoar harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m^2 . Pengaruh beban hidup trotoar pada kekuatan gelagar diperhitungkan sebesar 60%.

Kerb yang terdapat pada tepi-tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horizontal ke arah melintang jembatan sebesar $500 \text{ kg/m}'$ yang bekerja pada puncak kerb yang bersangkutan atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan apabila kerb yang bersangkutan lebih tinggi dari 25 cm.

Tiang-tiang sandaran pada setiap tepi trotoar harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal sebesar $100 \text{ kg/m}'$, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoar. Perencanaan struktur trotoar terdiri dari perencanaan pelat lantai trotoar dan tiang sandaran trotoar.

Pelat lantai trotoar direncanakan sebagai pelat beton kantilever satu arah. Langkah – langkah untuk menganalisis tulangan pelat lentur satu arah (SNI 03-2847-2013) :

- 1) Menentukan nilai dari selimut beton, diameter tulangan, dan tinggi efektif balok (d).
- 2) Menghitung pembebanan seperti yang telah dijelaskan di atas.
- 3) Menghitung ρ_b , ρ_{\min} , dan ρ_{\max} :

$$\rho_b = \beta \cdot \frac{0,85f'c}{fy} \cdot \frac{600}{600+fy}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{fy} > \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,003+fy/E_s}{0,003+\epsilon_t} \cdot \rho_b$$

keterangan:

$$\beta = 0,85 \text{ (jika } f'c \leq 28 \text{ MPa)}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f'c - 28}{7} \text{ (jika } 28 \text{ MPa} \leq f'c \leq 56 \text{ MPa)}$$

$$\beta = 0,65 \text{ (jika } f'c > 56 \text{ MPa)}$$

4) Menghitung momen nominal (M_n), (R_n) dan rasio penulangan beton :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c}$$

5) Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan utama (As)} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\text{Jarak tulangan utama (s)} = \frac{\frac{1}{4}\pi \cdot D^2 \cdot b}{As}$$

$$\text{Luas tulangan susut suhu (Ass)} = 0,0018 \cdot b \cdot h$$

Selain tulangan lentur, pada pelat lantai trotoar juga direncanakan tulangan torsi dengan mengasumsikan dimensi kolom sepanjang tumpuan yang menerima torsi. Langkah – langkah untuk menganalisis tulangan torsi (SNI 03-2847-2013) :

1) Pengaruh torsi diabaikan jika torsi terfaktor (Tu) <

$$\phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \sqrt{f'c} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

2) Dimensi penampang harus memenuhi syarat:

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot ph}{1,7 A_0 h^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vc}{b \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'c} \right)$$

3) Torsi nominal:

$$Tn = \frac{2.Ao.At.fyt}{s} \cot\theta$$

4) Tulangan torsi minimum:

$$(Av + 2At) = 0,062\sqrt{f'c} \frac{bw.s}{fy}, \text{ tetapi tidak boleh kurang dari } (1/3.bw.s)/fy$$

5) Tulangan torsi longitudinal minimum:

$$At_{min} = \frac{0,42\sqrt{f'c}Acp}{fy} - \left(\frac{At}{s}\right)ph\left(\frac{fy}{fy}\right)$$

Setelah melakukan perencanaan pada pelat lantai trotoar, dilakukan perhitungan tulangan tiang sandaran yang terdiri dari tulangan lentur dan geser. Langkah – langkah untuk menganalisis tulangan lentur tiang sandaran (SNI 03-2847-2013) :

- 1) Menentukan nilai dari selimut beton, diameter tulangan, dan tinggi efektif beton (d).
- 2) Menghitung pembebanan seperti yang telah dijelaskan di atas.
- 3) Menghitung ρ_b , ρ_{min} , dan ρ_{maks} :

$$\rho_b = \beta \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \cdot \frac{600}{600+fy}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{fy} > \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{maks} = \frac{0,003 + fy/Es}{0,003 + \epsilon_t} \cdot \rho_b$$

keterangan:

$$\beta = 0,85 \text{ (jika } f'c \leq 28 \text{ MPa)}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f'c - 28}{7} \text{ (jika } 28 \text{ MPa} \leq f'c \leq 56 \text{ MPa)}$$

$$\beta = 0,65 \text{ (jika } f'c > 56 \text{ MPa)}$$

4) Menghitung momen nominal (Mn), (Rn) dan rasio penulangan beton :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c}$$

5) Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan lentur (As)} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\text{Jumlah tulangan lentur (n)} = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

Langkah – langkah untuk menganalisis tulangan sengkang tiang sandaran (SNI 03-2847-2013) :

1) Menghitung nilai Vc:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

2) Tulangan sengkang dibutuhkan jika:

$$V_u > 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$$

3) Jarak maksimum antar tulangan:

$$s_{\text{maks}} = 1/2d \leq 600 \text{ mm}$$

4) luas tulangan minimum:

$$A_{V_{\min}} = 2/4 \cdot \pi \cdot D^2$$

5) Jarak antar tulangan:

$$s = \frac{Av \cdot f_y}{\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b}$$

2. Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan jembatan merupakan pelat komposit yang terdiri dari pelat beton dan pelat *compodeck*.

a. Desain pelat beton

Pelat beton direncanakan sebagai pelat lentur satu arah. Struktur pelat satu arah didefinisikan sebagai pelat yang didukung pada tepi yang berhadapan sedemikian rupa sehingga lentur timbul hanya dalam satu arah saja, yaitu pada arah tegak lurus terhadap arah dukungan tepi. Semua beban hidup diterima oleh pelat kemudian disalurkan ke gelagar. Beban bekerja pada pelat satu arah diperlakukan sebagaimana layaknya sebuah balok persegi dengan tingginya (t) setebal pelat dan lebarnya (b) adalah satu satuan panjang. Apabila diberikan beban merata, pelat melendut membentuk kelengkungan satu arah, dan oleh karenanya timbul momen lentur pada arah tersebut.

Langkah – langkah untuk menganalisis tulangan pelat lentur satu arah (SNI 03-2847-2013) :

- 1) Menentukan nilai dari selimut beton, diameter tulangan, dan tinggi efektif balok (d).
- 2) Menghitung pembebanan berdasarkan RSNI T-02-2005. Beban yang bekerja pada pelat beton berupa berat mati sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup lalu lintas berupa beban truk.
- 3) Menghitung ρ_b , ρ_{min} , dan ρ_{maks} :

$$\rho_b = \beta \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} > \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{maks} = \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,003 + \epsilon_t} \cdot \rho_b$$

keterangan:

$$\beta = 0,85 \text{ (jika } f'c \leq 28 \text{ MPa)}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \cdot \left(\frac{f'c - 28}{7} \right) \text{ (jika } 28 \text{ MPa} \leq f'c \leq 56 \text{ MPa})$$

$$\beta = 0,65 \text{ (jika } f'c > 56 \text{ MPa)}$$

- 4) Menghitung momen nominal (M_n), (R_n) dan rasio penulangan beton :

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c}$$

- 5) Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan utama (As)} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$\text{Jarak tulangan utama (s)} = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2 \cdot b}{As}$$

$$\text{Luas tulangan susut suhu (Ass)} = 0,0018 \cdot b \cdot h$$

- 6) Kontrol lendutan pelat:

$$\text{Momen inersia positif (I}_e\text{)} = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr}$$

$$\text{Momen retak (M}_{cr}\text{)} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

$$\text{Lendutan akibat beban mati dan hidup (\delta}_e\text{)} = \frac{5}{384} Q \cdot L x^4 / (E_c \cdot I_e)$$

Lendutan total tidak boleh melebihi batasan yang ditetapkan berdasarkan SNI 03-2847-2013.

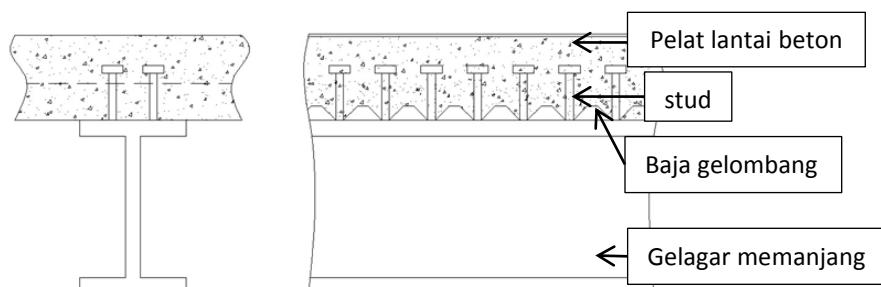
Tabel 7. Lendutan izin maksimum yang dihitung

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas lendutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Lendutan seketika akibat beban hidup L	l/180
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.		l/360
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup)	l/480
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.		l/240

Sumber: SNI 03-2847-2013

Tulangan pokok lentur pelat satu arah dipasang pada arah tegak lurus terhadap dukungan. Karena analisis dan perencanaan dilakukan untuk setiap satuan lebar pelat, maka jumlah penulangan juga dihitung untuk setiap satuan lebar tersebut.

b. Desain *deck* baja gelombang (*Compodeck*)



Gambar 17. Baja gelombang

Fungsi *deck* baja pada umumnya sebagai bekisting saat pelat beton dicetak sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Arah dari *deck* baja gelombang biasanya diletakkan tegak lurus balok penopangnya.

Sebelum aksi komposit dilakukan analisis kekuatan baja gelombang sebagai berikut:

1) Mencari momen lawan, $wx = I/y$

2) Menghitung tegangan rencana baja gelombang, $\sigma = M/wx$

keterangan:

wx = momen lawan

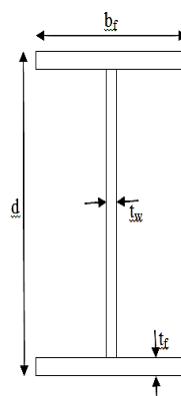
I = inersia baja gelombang

σ = tegangan baja gelombang

M = momen

3) Tegangan rencana harus kurang dari tegangan izin.

3. Gelagar *Ribs*



Gambar 18. Gelagar *ribs*

Gelagar *ribs* untuk jembatan menggunakan balok pelat berdinding penuh (pelat *girder*). Gelagar *ribs* berfungsi menahan semua beban yang bekerja di atasnya yang berasal dari pelat lantai kemudian menyalurkannya ke gelagar melintang.

Langkah – langkah untuk mencari dimensi gelagar *ribs* :

- 1) Menghitung pembebanan berdasarkan RSNI T-02-2005. Beban yang bekerja pada gelagar *ribs* berupa beban pelat, berat mati sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup lalu lintas berupa beban lajur.
- 2) Menentukan tinggi gelagar *ribs* (*d*) :

$$\frac{L}{12} < d < \frac{L}{10}$$

keterangan :

L = jarak antar gelagar melintang

- 3) Menentukan dimensi *web* gelagar *ribs* :

$$h = d - 2 t_f$$

$$\frac{h}{t_w} \geq \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$$

keterangan :

h = tinggi *web* gelagar *ribs*
t_w = tebal *web* gelagar *ribs*
t_f = tebal *flens* gelagar *ribs*
f_y = tegangan leleh profil baja *A_w*

- 4) Menghitung luas *flens* gelagar *ribs* (*A_f*) dan berat sendiri gelagar (*w*) :

$$A_f = \frac{Mu}{0.9 h f_y} - \frac{A_w}{6}$$

$$Q = (A_f + A_w) \cdot \gamma_{girder}$$

keterangan :

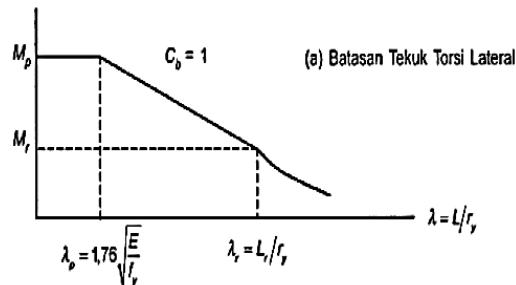
A_w = luas *web* gelagar *ribs*
 $\gamma_{girder} = 7,85 \text{ t/m}^3$

- 5) Menghitung momen ultimit (*M_u*) dengan ditambah *Q*

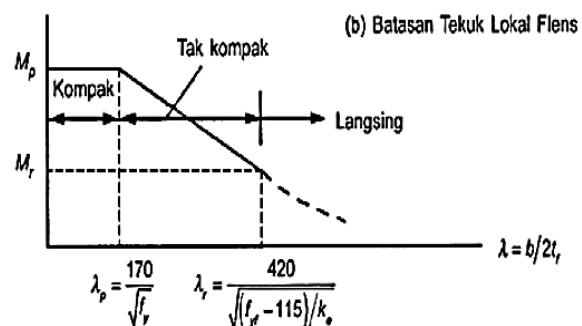
- 6) Menghitung ulang *A_f*, lalu mengitung lebar *flens* gelagar *ribs* (*b_f*) :

$$b_f = \frac{A_f}{t_f}$$

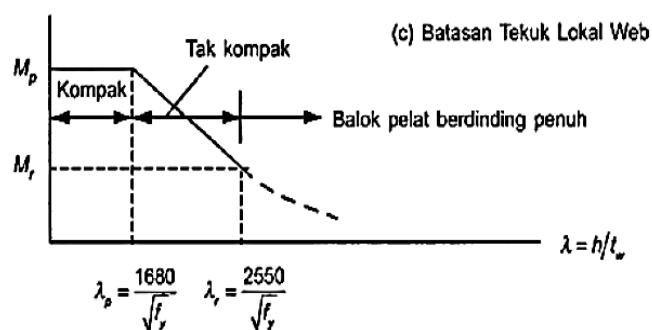
- 7) Menentukan nilai M_n untuk komponen struktur lentur berdasarkan tiga macam kondisi batas, yaitu tekuk torsi lateral, tekuk lokal *flens*, dan tekuk lokal *web*. Nilai M_n yang terkecil dari ketiganya adalah nilai yang menentukan besarnya kuat momen nominal:



Gambar 19. Batasan tekuk torsi lateral



Gambar 20. Batasan tekuk lokal *flens*



Gambar 21. Batasan tekuk lokal *web*

- a) Tipe keruntuhan tekuk torsi lateral

$$\lambda_G = \frac{L}{r_T}$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\lambda_r = 4,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

keterangan:

L = panjang bentang tak terkekang

r_T = jari-jari girasi pada pelat sayap ditambah sepertiga bagian web yang mengalami tekan

➢ Jika $\lambda_G < \lambda_p$, keruntuhan yang terjadi akibat leleh, sehingga:

$$f_{cr} = fy$$

➢ Jika $\lambda_p < \lambda_G < \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral inelastis, sehingga:

$$f_{cr} = C_b \cdot f_y \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_G - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq fy$$

➢ Jika $\lambda_G > \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral elastis, sehingga:

$$f_{cr} = f_c \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2$$

$$f_c = \frac{C_b \cdot f_y}{2} \leq fy$$

b) Tipe keruntuhan tekuk lokal *flens*

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$$\lambda_p = 0,83 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{k_e E}{fy}}$$

$$k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$$

keterangan:

$$0,35 \leq k_e \leq 0,763$$

➢ Jika $\lambda_G < \lambda_p$, keruntuhan yang terjadi akibat leleh, sehingga:

$$f_{cr} = f_y$$

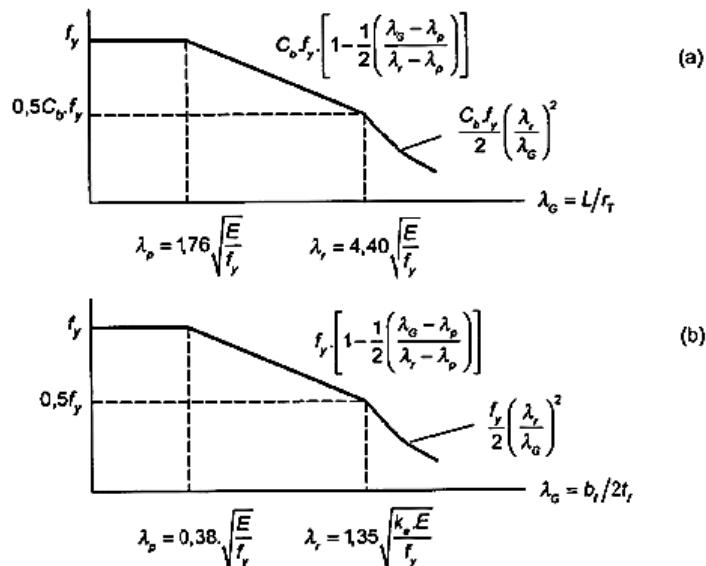
➢ Jika $\lambda_p < \lambda_G < \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral inelastis, sehingga:

$$f_{cr} = C_b \cdot f_y \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_G - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq f_y$$

➢ Jika $\lambda_G > \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral elastis, sehingga:

$$f_{cr} = f_c \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2$$

$$f_c = \frac{f_y}{2}$$



Gambar 22. Kondisi batasan balok pelat berdinding penuh

Analisis tahanan lentur gelagar *ribs* :

$$Mn_{lama} = \frac{Mu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,9$$

$$a_w = \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} < 10$$

$$R_{pg} = 1 - \left[\frac{a_w}{(1200 + 300a_w)} \right] \left[\frac{h}{t_w} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq 1,0$$

$$Mn_{baru} = R_{pg} Fcr Sx > Mn_{lama}$$

keterangan :

Mn = momen nominal penampang

R_{pg} = faktor reduksi kekuatan lentur

Sx = modulus penampang

Analisis tahanan geser gelagar *ribs* :

$$Vn_{lama} = \frac{Vu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,9$$

untuk badan dengan pengaku transversal

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

$$= 5 \text{ bila } a/h > 3,0 \text{ atau } a/h > [\frac{260}{h/t_w}]^2$$

$$\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$C_v = 1,5 \frac{k_v \cdot E}{(h/t_w)^2 \cdot f_y}$$

$$Vn_{baru} = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[C_v + \frac{1-C_v}{1,15 \sqrt{1+(a/h)^2}} \right] > Vn_{lama}$$

keterangan :

V_n = gaya geser nominal penampang

a = jarak bersih antara pengaku transversal

Interaksi geser – lentur gelagar *ribs* diperiksa jika :

$$\frac{0,6 V_n}{M_n} \leq \frac{V_u}{M_u} \leq \frac{V_n}{0,75 M_n}$$

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

Perhitungan pengaku vertikal:

Agar gelagar *ribs* dapat menahan gaya tekan yang timbul akibat aksi medan tarik, maka dibutuhkan pelat pengaku dengan mencoba ukuran panjang (b_s) dan tebal (t_s).

$$1) A_s > A_{s\min} = 0,5 \cdot A_w \cdot D \cdot (1 - C_v) \cdot \left[\frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right]$$

keterangan:

$D = 1$ (karena dipakai sepasang pengaku)

$$2) I_s \geq I_{s\min} = b \cdot t_w^3 \cdot j$$

$$j = \frac{2,5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0,5$$

keterangan:

b = nilai terkecil dari dimensi a dan h

$$3) \frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Sedangkan untuk panjang pelat pengaku vertikal (h_s) pada gelagar *ribs*, yaitu :

$h_s = h - \text{ukuran las antara } flens \text{ dan } web - c$

keterangan :

$$4 \cdot t_w \leq c < 6 \cdot t_w$$

Pengaku penahan gaya tumpu:

Bagian web dari pelat berdinding penuh yang menerima beban terpusat harus diperiksa terhadap kuat leleh, kuat tekuk dukung, kuat tekuk lateral serta kuat tekuk lenturnya.

1) Kuat leleh web

- a) Bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih besar dari tinggi balok:

$$R_n = f_y t_w (5k + lb)$$

- b) Bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih kecil atau sama dengan tinggi balok:

$$R_n = f_y t_w (2,5k + lb)$$

keterangan:

k = jarak dari muka terluar dari sayap ke kaki badan dari sudut
 lb = panjang tumpuan (tidak kurang dari k)

2) Kuat tekuk dukung web

- a) Bila beban terpusat dikenakan pada jarak lebih dari $d/2$ dari ujung balok:

$$R_n = 0,80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{lb}{d} \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot tf}{tw}}$$

- b) Bila beban terpusat dikenakan pada jarak kurang dari $h/2$ dari ujung balok:

Untuk $lb/d \leq 0,2$

$$R_n = 0,40 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{lb}{d} \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot tf}{tw}}$$

Untuk $lb/d \geq 0,2$

$$R_n = 0,40tw^2 \left[1 + \left(\frac{4lb}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E.fy.tf}{tw}}$$

keterangan:

d = tinggi nominal total dari penampang

3) Kuat tekuk lateral web

a) Untuk flens yang dikekang terhadap rotasi dan hanya dihitung bila

$$(h/tw)/(L/bf) \leq 2,3$$

$$R_n = \frac{Cr.tw^3.tf}{h^2} \left[1 + 0,4 \left(\frac{h/tw}{Lb/bf} \right)^3 \right]$$

b) Untuk flens yang tidak dikekang terhadap rotasi dan hanya dihitung bila $(h/tw)/(L/bf)$:

$$R_n = \frac{Cr.tw^3.tf}{h^2} \left[0,4 \left(\frac{h/tw}{Lb/bf} \right)^3 \right]$$

keterangan:

$$Cr = 6,6 \cdot 10^6 \text{ jika } Mu < My$$

$$= 3,3 \cdot 10^6 \text{ jika } Mu < My$$

4) Kuat tekuk lentur web

$$R_n = \frac{24,08.tw^3}{h} \sqrt{E.fy}$$

Tahanan tumpu dari sebuah pengaku penahan gaya tumpu diambil sebesar:

$$\emptyset R_n = 0,75(1,8.fy.Apb)$$

keterangan:

Apb = luas penampang pengaku penahan gaya tumpu

Lebar pengaku pada setiap sisi web harus diambil lebih besar dari sepertiga lebar flens dikurangi setengah tebal web, sedangkan tebal

pengaku harus diambil lebih tebal dari setengah tebal flens serta memenuhi syarat kelangsungan:

$$\frac{bs}{ts} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

Pengaku penahan gaya tumpu dipasang sepasang setinggi pelat web, penampang yang dihitung sebagai batang tekan adalah penampang melintang dari pengaku ditambah dengan 12.tw (untuk panel ujung) dan 25.tw (untuk panel dalam).

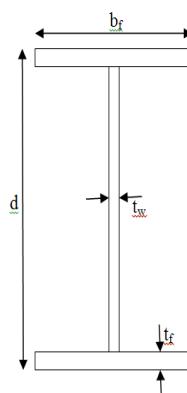
Lendutan yang terjadi pada gelagar *ribs* tidak melebihi :

$$\Delta_{maks} = \frac{1}{800} L$$

keterangan :

L = jarak antar kabel

4. Gelagar Melintang



Gambar 23. Gelagar melintang

Gelagar melintang mempunyai bentang sepanjang antar *box girder*. Sedangkan jarak antar gelagar melintang sama dengan jarak antar kabel. Gelagar melintang menahan semua gaya yang berada di atasnya yang berasal dari beban aspal, pelat beton, pelat *compodeck*, dan beban gelagar *ribs* kemudian menyalurkannya ke struktur *box girder*.

Untuk pembebanan pada gelagar melintang dihitung berdasarkan RSNI T-02-2005. Beban yang bekerja terdiri dari beban pelat, beban gelagar *ribs*, berat sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup lalu lintas berupa beban lajur. Langkah - langkah mencari dimensi gelagar melintang :

- 1) Mencoba tinggi gelagar (*d*), tebal *fleks* (*t_f*), lebar *fleks* (*b_f*)
- 2) Menentukan tebal *web* gelagar melintang :

$$h = d - 2 t_f$$

$$\frac{h}{t_w} \geq \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$$

keterangan :

h = tinggi *web* gelagar melintang
t_w = tebal *web* gelagar melintang
f_y = tegangan leleh profil baja

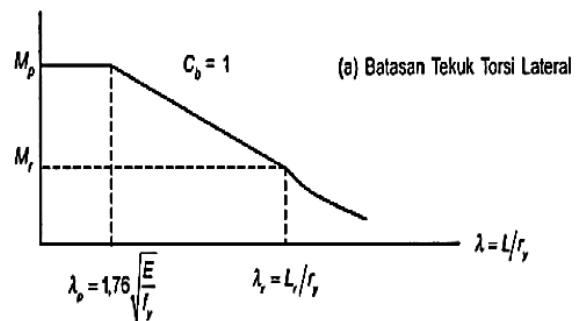
- 3) Menentukan berat sendiri gelagar melintang (*Q*) :

$$Q = (A_f + A_w) \cdot \gamma_{girder}$$

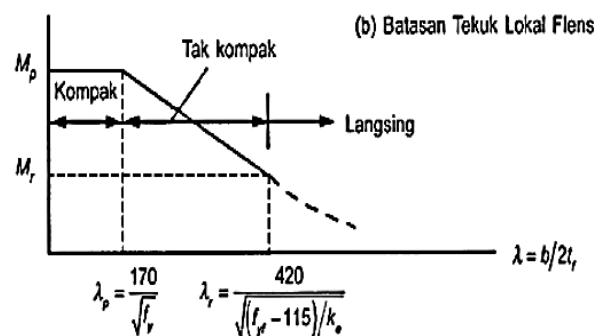
keterangan :

A_w = luas *web* gelagar melintang
 $\gamma_{girder} = 7,85 \text{ t/m}^3$

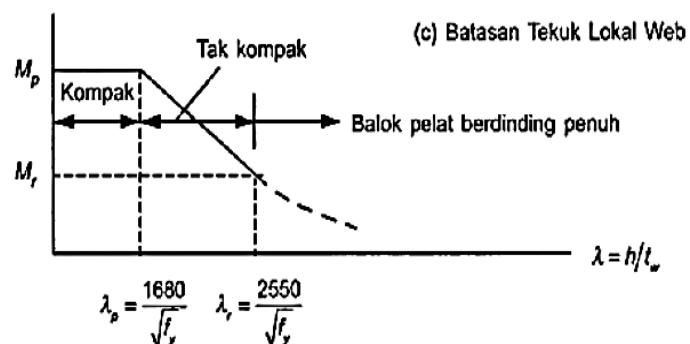
- 4) Menghitung ulang momen ultimit (*M_u*) dengan ditambah *Q*
- 5) Menentukan nilai *M_n* untuk komponen struktur lentur berdasarkan tiga macam kondisi batas, yaitu tekuk torsional, tekuk lokal flens, dan tekuk lokal web. Nilai *M_n* yang terkecil dari ketiganya adalah nilai yang menentukan besarnya kuat momen nominal:



Gambar 24. Batasan tekuk torsi lateral



Gambar 25. Batasan tekuk lokal flens



Gambar 26. Batasan tekuk lokal web

a) Tipe keruntuhan tekuk torsi lateral

$$\lambda_G = \frac{L}{r_T}$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 4,40 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

keterangan:

L = panjang bentang tak terkekang

r_T = jari-jari girasi pada pelat sayap ditambah sepertiga bagian web yang mengalami tekan

➢ Jika $\lambda_G < \lambda_p$, keruntuhan yang terjadi akibat leleh, sehingga:

$$f_{cr} = fy$$

➢ Jika $\lambda_p < \lambda_G < \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral inelastis, sehingga:

$$f_{cr} = C_b \cdot f_y \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_G - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq fy$$

➢ Jika $\lambda_G > \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral

elasstis, sehingga:

$$f_{cr} = f_c \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2$$

$$f_c = \frac{C_b \cdot f_y}{2} \leq fy$$

b) Tipe keruntuhan tekuk lokal *flens*

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$$\lambda_p = 0,83 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

$$\lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{k_e E}{fy}}$$

$$k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$$

keterangan:

$$0,35 \leq k_e \leq 0,763$$

➢ Jika $\lambda_G < \lambda_p$, keruntuhan yang terjadi akibat leleh, sehingga:

$$f_{cr} = f_y$$

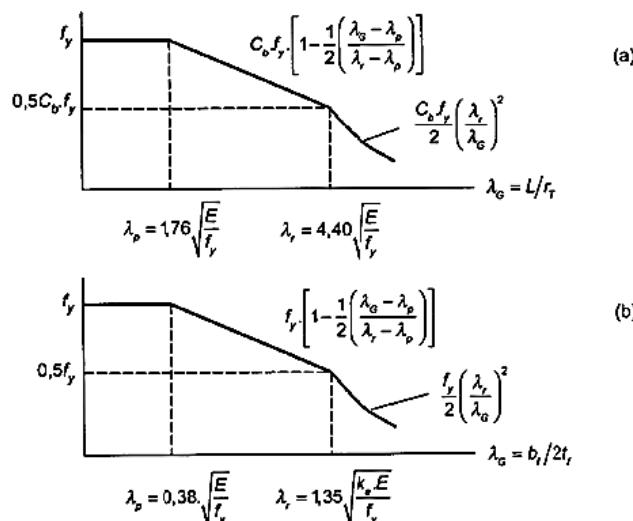
➢ Jika $\lambda_p < \lambda_G < \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral inelastis, sehingga:

$$f_{cr} = C_b \cdot f_y \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda_G - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq f_y$$

➢ Jika $\lambda_G > \lambda_r$, keruntuhan yang terjadi akibat tekuk torsional lateral elastis, sehingga:

$$f_{cr} = f_c \cdot \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2$$

$$f_c = \frac{f_y}{2}$$



Gambar 27. Kondisi batasan balok pelat berdinding penuh

Analisis tahanan lentur gelagak melintang :

$$M_{n_{lama}} = \frac{Mu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,9$$

$$a_w = \frac{h \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} < 10$$

$$R_{pg} = 1 - \left[\frac{a_w}{(1200 + 300a_w)} \right] \left[\frac{h}{t_w} - 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \right] \leq 1,0$$

$$Mn_{baru} = R_{pg} Fcr Sx > Mn_{lama}$$

keterangan :

Mn = momen nominal penampang

R_{pg} = faktor reduksi kekuatan lentur

Sx = modulus penampang

Analisis tahanan geser gelagar melintang :

$$Vn_{lama} = \frac{V_u}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,9$$

untuk badan dengan pengaku transversal

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

$$= 5 \text{ bila } a/h > 3,0 \text{ atau } a/h > [\frac{260}{h/t_w}]^2$$

$$\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$C_v = 1,5 \frac{k_v \cdot E}{(h/t_w)^2 \cdot f_y}$$

$$Vn_{baru} = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \left[C_v + \frac{1-C_v}{1,15 \sqrt{1+(a/h)^2}} \right] > Vn_{lama}$$

keterangan :

V_n = gaya geser nominal penampang

a = jarak bersih antara pengaku transversal

Interaksi geser – lentur gelagar melintang diperiksa jika :

$$\frac{0,6 V_n}{M_n} \leq \frac{V_u}{M_u} \leq \frac{V_n}{0,75 M_n}$$

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

Agar gelagar melintang dapat menahan gaya tekan yang timbul, maka dibutuhkan pelat pengaku dengan mencoba ukuran panjang (b_s) dan tebal (t_s). Lalu memeriksa penampang :

$$1) As > As_{min} = 0,5 \cdot A_w \cdot D \cdot (1 - C_v) \cdot \left[\frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1+(a/h)^2}} \right]$$

dengan $D = 1$ (karena dipakai sepasang pengaku)

$$2) Is \geq Is_{min} = b \cdot t_w^3 \cdot j$$

$$j = \frac{2,5}{(a/h)^2} - 2 \geq 0,5$$

keterangan:

b = nilai terkecil dari dimensi a dan h

$$3) \frac{b_s}{t_s} < 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Sedangkan untuk panjang pelat pengaku vertikal (h_s) pada gelagar melintang, yaitu :

$$h_s = h - \text{ukuran las antara } lens \text{ dan } web - c$$

keterangan :

$$4 \cdot t_w \leq c < 6 \cdot t_w$$

Pengaku penahan gaya tumpu:

Bagian web dari pelat berdinding penuh yang menerima beban terpusat harus diperiksa terhadap kuat leleh, kuat tekuk dukung, kuat tekuk lateral serta kuat tekuk lenturnya.

1) Kuat leleh web

a) Bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih besar dari tinggi balok:

$$R_n = f_y t_w (5k + lb)$$

- b) Bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih kecil atau sama dengan tinggi balok:

$$R_n = f_y t_w (2,5k + lb)$$

keterangan:

k = jarak dari muka terluar dari sayap ke kaki badan dari sudut
 lb = panjang tumpuan (tidak kurang dari k)

2) Kuat tekuk dukung web

- a) Bila beban terpusat dikenakan pada jarak lebih dari $d/2$ dari ujung balok:

$$R_n = 0,80t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{lb}{d} \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E.fy.tf}{tw}}$$

- b) Bila beban terpusat dikenakan pada jarak kurang dari $h/2$ dari ujung balok:

Untuk $lb/d \leq 0,2$

$$R_n = 0,40t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{lb}{d} \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E.fy.tf}{tw}}$$

Untuk $lb/d \geq 0,2$

$$R_n = 0,40t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4lb}{d} - 0,2 \right) \left(\frac{tw}{tf} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E.fy.tf}{tw}}$$

keterangan:

d = tinggi nominal total dari penampang

3) Kuat tekuk lateral web

- a) Untuk flens yang dikekang terhadap rotasi dan hanya dihitung bila $(h/tw)/(L/bf) \leq 2,3$

$$R_n = \frac{Cr \cdot tw^3 \cdot tf}{h^2} \left[1 + 0,4 \left(\frac{h/tw}{Lb/bf} \right)^3 \right]$$

- b) Untuk flens yang tidak dikekang terhadap rotasi dan hanya dihitung bila $(h/tw)/(L/bf)$:

$$R_n = \frac{cr \cdot tw^3 \cdot tf}{h^2} \left[0,4 \left(\frac{h/tw}{Lb/bf} \right)^3 \right]$$

keterangan:

$$Cr = 6,6 \cdot 10^6 \text{ jika } Mu < My$$

$$= 3,3 \cdot 10^6 \text{ jika } Mu < My$$

- 4) Kuat tekuk lentur web

$$R_n = \frac{24,08 \cdot tw^3}{h} \sqrt{E \cdot fy}$$

Tahanan tumpu dari sebuah pengaku penahan gaya tumpu diambil sebesar:

$$\emptyset R_n = 0,75(1,8 \cdot fy \cdot Apb)$$

keterangan:

Apb = luas penampang pengaku penahan gaya tumpu

Lebar pengaku pada setiap sisi web harus diambil lebih besar dari sepertiga lebar flens dikurangi setengah tebal web, sedangkan tebal pengaku harus diambil lebih tebal dari setengah tebal flens serta memenuhi syarat kelangsungan:

$$\frac{bs}{ts} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}}$$

Pengaku penahan gaya tumpu dipasang sepasang setinggi pelat web, penampang yang dihitung sebagai batang tekan adalah penampang melintang dari pengaku ditambah dengan $12 \cdot tw$ (untuk panel ujung) dan $25 \cdot tw$ (untuk panel dalam).

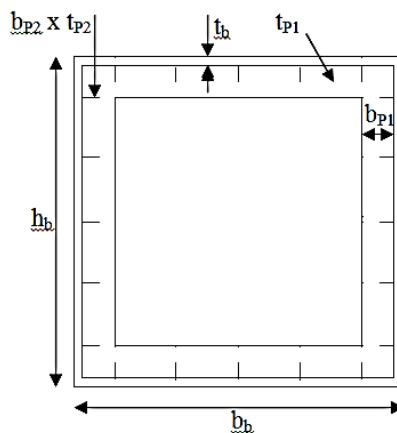
Lendutan yang terjadi pada gelagar melintang tidak melebihi :

$$\Delta_{maks} = \frac{1}{800} L$$

keterangan :

L = jarak antar kabel

5. Gelagar Box Girder



Gambar 28. Gelagar *box girder*

Gelagar *box girder* dapat berbentuk persegi panjang atau trapesium.

Dalam perencanaan *box girder*, beban terdiri dari berat sendiri, beban mati tambahan, pelat beton, pelat *compodeck*, gelagar melintang dan beban trotoar. Untuk menentukan dimensinya, perbandingan tinggi gelagar (d) dengan bentang utama jembatan bervariasi antara $\frac{1}{70}$ sampai dengan $\frac{1}{300}$. Untuk pembebanan pada gelagar harus disesuaikan dengan aksi – aksi yang terkait sesuai dengan RSNI T-02-2005.

Menghitung inersia penampang *box girder*:

Titik berat profil, $\bar{y} = \sum Y_i A / \sum A$

Inersia profil, $I_x = \sum I_{xi} + \sum A \cdot (Y_i - \bar{y})^2$

keterangan:

\bar{y} = jarak profil ke titik berat
 A = luas profil yang ditinjau
 I_x = Inersia profil

Analisis lentur penampang *box girder*:

$$\text{Tegangan rencana profil, } \sigma = \frac{M.y}{I_x}$$

keterangan:

σ = tegangan lentur profil
 M = momen lentur

Analisis geser penampang *box girder*:

$$\tau = \frac{V.s}{I_x.b}$$

keterangan:

τ = tegangan geser profil
 V = gaya geser
 s = statis momen
 b = lebar profil yang ditinjau

Analisis tekuk penampang *box girder*:

Analisis tekuk profil *box girder* dilakukan berdasarkan *Design of Steel Plate and Box Girders* oleh S.F Stieler.

Menentukan koefisien tekuk:

Case	Loading	
1	Compressive stresses, varying as a straight line. $0 \leq \psi \leq 1$	
2	Compressive and tensile stresses; varying as a straight line and with the compression predominating. $-1 < \psi < 0$	
3	Compressive and tensile stresses; varying as a straight line, with equal edge values, $\psi = -1$ or with predominantly tensile stresses. $\psi < -1$	

Gambar 29. Koefisien tekuk

Kasus 1:

$$\alpha \geq 1, \text{ maka } k = \frac{8,4}{\psi+1,1}$$

$$\alpha < 1, \text{ maka } k = \left[\alpha + \frac{1}{\alpha} \right]^2 \left[\frac{2,1}{\psi+1,1} \right]$$

Kasus 2:

$$k = [(1 + \Psi)k'] - (\Psi k'') + [10\Psi(1+\Psi)]$$

k' koefisien tekuk untuk $\Psi = 0$ (kasus1)

k'' koefisien tekuk untuk $\Psi = -1$ (kasus3)

Kasus 3:

$$\alpha \geq 2/3, \text{ maka } k = 23,9$$

$$\alpha < 2/3, \text{ maka } k = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6\alpha^2$$

$$\text{Tegangan kritis, } \sigma_c = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1-v^2) \cdot \frac{b^2}{t}}$$

Menentukan koefisien tekuk geser:

1) Pelat tumpuan sederhana pada 4 sisi

$$\alpha \leq 1 : k_s = 4,00 + \frac{5,43}{\alpha^2}$$

$$\alpha \geq 1 : k_s = 5,43 + \frac{4,00}{\alpha^2}$$

2) Pelat di jepit pada 4 sisi

$$\alpha \leq 1 : k_s = 5,60 + \frac{8,98}{\alpha^2}$$

$$\alpha \geq 1 : k_s = 8,98 + \frac{5,60}{\alpha^2}$$

3) Pelat tumpuan sederhana pada 2 sisi dan 2 sisi di jepit

$$\alpha \leq 1 : k_s = 5,61 + \frac{8,98}{\alpha^2} - 1,99\alpha$$

$$\alpha \geq 1 : k_s = 8,98 + \frac{5,60}{\alpha^2} - \frac{1,99}{\alpha^2}$$

$$\text{Tegangan kritis geser, } \tau_c = k_s \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - v^2) \cdot \frac{b^2}{t}}$$

$$\text{Tegangan pembanding, } \sigma_{lk} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\left[\frac{1+\Psi}{4} \right] \left[\frac{\sigma}{\sigma_c} \right] + \sqrt{\left[\frac{3-\Psi}{4} \cdot \frac{\sigma}{\sigma_c} \right]^2 + \left[\frac{\tau}{\tau_c} \right]^2}}$$

$$\text{Tegangan batas, } \sigma_p = f_y / 1,32$$

Jika $\sigma_{lk} < \sigma_p$, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk elastis

$$\text{Tekuk elastis, } \vartheta_B = \frac{\sigma_{lk}}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \geq DFB$$

Jika $\sigma_{lk} > \sigma_p$, maka tekuk yang terjadi adalah tekuk inelastis, untuk tekuk inelastis hasil tegangan σ_{lk} di kurangi menjadi σ_{lkR} .

$$\text{Tekuk inelastis, } \vartheta_B = \frac{\sigma_{lkR}}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \geq DFB$$

Faktor nilai beban yang diizinkan:

$$\text{Kasus 1: } DFB = 1,7 + 0,175(\Psi-1)$$

$$\text{Kasus 2: } DFB = 1,5 + 0,125(\Psi-1)$$

$$\text{Kasus 3: } DFB = 1,35 + 0,05(\Psi-1)$$

Lendutan yang terjadi pada gelagar *box girder* tidak melebihi :

$$\Delta_{maks} = \frac{1}{800} L$$

keterangan :

L = jarak antar kabel

6. Struktur Komposit

Langkah – langkah untuk menganalisis struktur komposit beserta kebutuhan penghubung :

1) Merencanakan dimensi dek baja gelombang:

Tinggi maksimum dek baja $hr < 75\text{mm}$

Lebar rata-rata minimum dek baja gelombang $w_r > 50$

Tebal pelat minimum diukur dari tepi atas dek baja = 50 mm

Diameter maks *stud* = 20mm

2) Menghitung kuat lentur komposit:

a) Jika $a < t_s$, maka :

$$M_u = \emptyset \cdot A_{s\text{profil}} \cdot f_y \left(\frac{d}{2} - t_{\text{beton}} - \frac{a}{2} \right)$$

b) Jika $a > t_{\text{beton}}$, maka :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b_E \cdot t_{\text{beton}}$$

$$C_s = 0,5 \cdot (A_{s\text{profil}} \cdot f_y - C_c)$$

$$M_u = C_c \cdot d_1 + C_s \cdot d_2$$

keterangan :

$$\emptyset = 0,85$$

d = tinggi profil

a = tinggi tegangan beton pada balok komposit

C_c = gaya yang bekerja pada beton

C_s = gaya yang bekerja pada baja

d_1 = jarak C_c ke titik berat komposit

d_2 = jarak C_s ke titik berat komposit

c) Memeriksa balok komposit terhadap geser :

$$V_u = \emptyset \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot h \cdot t_w$$

keterangan :

$$\emptyset = 0,9$$

h = tinggi efektif profil

t_w = tebal badan profil

d) Menghitung gaya geser akibat profil gelagar *ribs* :

$$V_n = A_{s\text{profil}} \cdot f_y$$

e) Menghitung luas 1 *stud*

f) Menghitung faktor reduksi *stud* :

$$\gamma_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \cdot \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \cdot \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1 \right] \leq 1$$

keterangan :

γ_s = faktor reduksi *stud*

N_r = jumlah penghubung geser pada setiap gelombang

H_s = tinggi penghubung geser

h_r = tinggi nominal gelombang dek baja

w_r = lebar efektif gelombang dek baja

g) Menghitung kuat geser satu buah *stud* :

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{f'c \cdot E_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot f_u$$

keterangan :

A_{sa} = luas satu *stud*

E_c = modulus elastisitas beton

f_u = tegangan putus *stud*

R_g = koefisien untuk menghitung defek group

R_p = faktor efek posisi untuk pake geser (*shear stud*)

h) Menghitung jumlah *stud* untuk tiap $\frac{1}{2}$ bentang :

$$N = \frac{V_h}{Q_n}$$

keterangan:

V_h = gaya geser horizontal

Q_n = kuat geser nominal

3) Kontrol lendutan :

a) Sebelum beton mengeras:

$$\triangleright \text{ Akibat beban mati, } \Delta 1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q \cdot L^4}{E \cdot I_x}$$

$$\triangleright \text{ Akibat beban hidup selama konstruksi, } \Delta 2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q \cdot L^4}{E \cdot I_x}$$

b) Setelah beton mengeras:

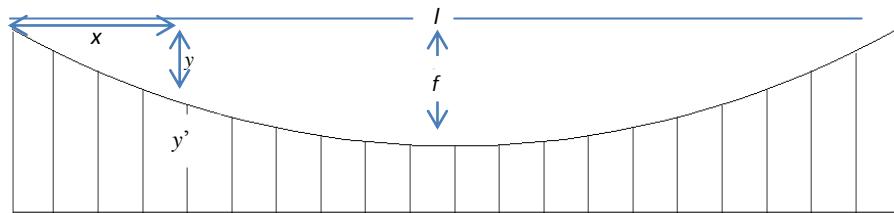
$$I_{eff} = I_s + (I_{ts} - I_s) \sqrt{\frac{\sum Q_n}{C_f}}$$

$$\text{Akibat beban lalu lintas, } \Delta 3 = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q \cdot L^4}{E \cdot I_x} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot I_x}$$

7. Struktur Kabel

Struktur kabel yang digunakan pada desain utama jembatan gantung ini terdiri dari kabel utama (*suspension cable*) dan kabel penggantung (*hanger*).

a. Kabel utama (*suspension cable*)



Gambar 30. Struktur kabel pada bentang utama

Kabel utama jembatan gantung yang direncanakan berbentuk parabola dengan tipe *side span free*. Jembatan gantung dengan tipe ini tidak menggunakan kabel penggantung pada bentang luarnya (*backstays*). Langkah - langkah dalam merencanakan kabel utama (*main cable*) menurut *Supriyadi* dan *Muntohar* (2007):

1) Rasio fokus kabel utama:

$$n = \frac{f}{l}$$

keterangan:

$$n = \text{rasio fokus } \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12} \right)$$

f = kedalaman lengkungan/simpangan kabel (*sag*) di tengah bentang

l = panjang bentang utama

2) panjang kabel utama:

- Panjang kabel utama di bentang utama

$$L = l \left(1 + \frac{8}{3} n^2 \right)$$

- Panjang kabel utama di bentang samping

$$2L_1 = 2l_1 \sec \alpha$$

keterangan:

l_1 = panjang bentang samping

α = sudut kemiringan kabel backstays terhadap lantai jembatan

b. Kabel penggantung (*hanger*)

Kabel penggantung (*hanger*) dalam desain jembatan gantung ini menggunakan tipe vertikal. Jarak antar kabel penggantung berkisar antara 6 - 22 meter. Langkah - langkah dalam merencanakan kabel penggantung (*hanger*):

Menghitung panjang kabel penggantung:

$$y = 4f \frac{x}{l^2} (l - x)$$

$$y' = h_{pylon} - y$$

keterangan:

y = jarak vertikal koordinat dari tumpuan

x = jarak horizontal koordinat dari tumpuan

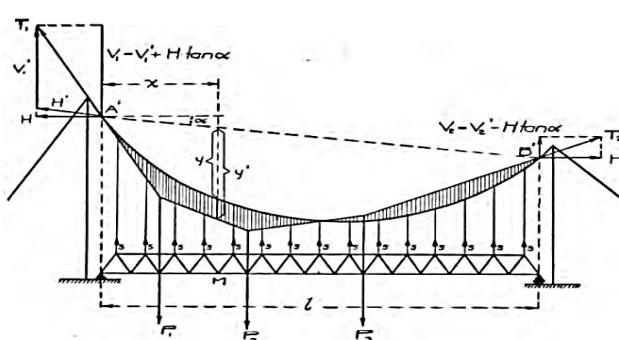
l = panjang bentang utama

f = sag pada tengah bentang

y' = panjang kabel penggantung

h_{pylon} = tinggi menara dari lantai jembatan (1,6-2,3f)

c. Gaya yang bekerja pada kabel



Gambar 31. Gaya –gaya yang bekerja pada dek jembatan

1) Tegangan horizontal pada kabel:

$$H = M/y$$

keterangan:

M = momen pada tiap titik kabel
y = sag pada tiap titik kabel

2) Tegangan T pada kabel:

- Pada kabel dibentang utama adalah:

$$T_1 = H \cdot \sec \alpha$$

keterangan:

α = sudut antara T_1 terhadap H

- Pada kabel di bentang samping adalah:

$$T_2 = H \cdot \sec \phi$$

keterangan:

ϕ = sudut antara T_2 terhadap H

3) Menghitung kebutuhan kabel:

$$\sigma' = \frac{P}{A}$$

keterangan:

σ' = tegangan ijin tarik maksimum kabel
A = diameter penampang kabel

d. Lendutan pada deck

Lendutan pada deck dikurangi faktor N akibat kabel:

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3I}{Af^2} \cdot \frac{l'}{l} \cdot (1 + 8n^2)$$

keterangan:

A = luas penampang kabel utama

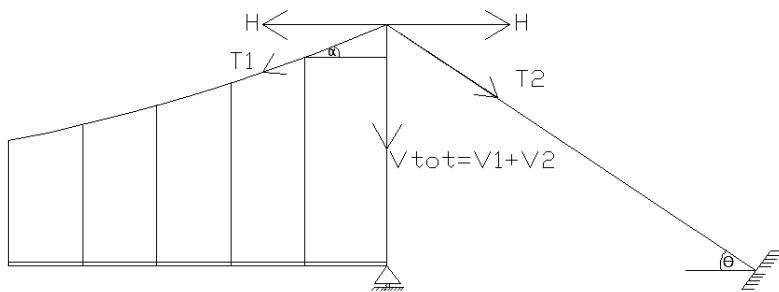
α = sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel

Nilai dari lendutan yang terjadi pada dek jembatan gantung adalah:

$$d = \frac{5}{384} \left(1 - \frac{8}{5N}\right) \frac{Ql^4}{EI}$$

e. Gaya yang bekerja pada *tower*

Gaya yang bekerja pada *tower* dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Gaya yang bekerja pada *tower* jembatan

Gaya – gaya tersebut disalurkan kabel pada *tower*. Pada bentang utama terjadi gaya T_1 dan pada bentang samping terjadi gaya T_2 . Jika diperhitungkan terhadap sudut kabel maka gaya horizontal pada bentang utama sama dengan bentang samping agar terjadi keseimbangan, sehingga tidak terjadi gaya horizontal dan hanya terjadi gaya aksial ke tekan vertikal ke bawah pada *tower*, yaitu:

$$V = T_1 \cdot \sin \alpha + T_2 \cdot \sin \theta$$

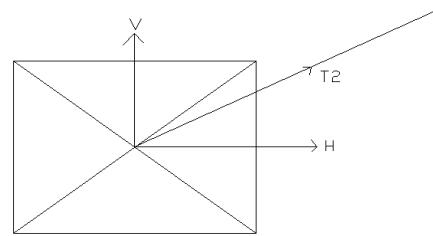
keterangan:

α = sudut antara T_1 terhadap H

θ = sudut antara T_2 terhadap H

f. Gaya yang bekerja pada *angkur*

Gaya yang bekerja pada *angkur* dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 33. Gaya yang bekerja pada *angkur* jembatan

Angkur memikul beban vertikal dan beban horizontal yang berdasar dari tegangan T_2 pada kabel:

$$\text{Gaya vertikal, } V = T_2 \cdot \cos \phi$$

$$\text{Gaya horizontal, } H = T_2 \cdot \sin \phi$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Umum

Metodologi penelitian merupakan tata cara atau prosedur yang dijadikan acuan dalam proses penelitian. Dalam penelitian mengenai perancangan struktur kabel pada jembatan gantung ini, metodologi penelitian didahului dengan melakukan studi literatur untuk memperoleh data-data yang selanjutnya akan digunakan pada proses perancangan dan analisis.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Komputer atau laptop.

Dalam penelitian ini laptop yang digunakan adalah laptop *Toshiba Satellite L745*.

- b. *Mouse* dan *Keyboard*.

- c. Perangkat lunak atau *software*. *Software* yang dipakai dalam perancangan struktur atas jembatan gantung, yaitu Autocad 2007, program *Microsoft Word* 2010, dan program *Microsoft Excel* 2010.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari peraturan – peraturan yang berkaitan dengan perancangan jembatan gantung, yaitu: RSNI T-02-2005 mengenai standar pembebanan untuk jembatan, SNI 2847-2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung , SNI 1729-2015 mengenai spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, peraturan PU dan Bina Marga. Adapun bahan-bahan untuk perancangan struktur atas jembatan gantung adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 450 meter
2. Panjang bentang utama : 300 meter
3. Panjang bentang samping : 75 meter
4. Lebar jembatan : 14 meter
5. Lebar jalur lalu lintas : 12 meter
6. Lebar trotoar : 1 meter
7. Tinggi bebas jembatan : 15 meter
8. Tinggi *pylon* dari lantai jembatan : 40 meter
9. Tipe pengkabelan : *side span free / Backstays*
10. Mutu gelagar box : BJ-41
11. Mutu gelagar *ribs* : BJ-41
12. Mutu gelagar melintang : BJ-41
13. Kabel baja : VSL 7-wire strand
14. Tebal pelat beton : 200 mm
15. Tebal aspal : 50 mm
16. Mutu tulangan lantai dan trotoar : BJTD-40

17. Mutu beton lantai dan trotoar : 25 Mpa
18. Tinggi trototar dari lantai jembatan : 25 cm
19. Tinggi tiang sandaran : 90 cm
20. Pipa sandaran : 2 buah pipa ($d = 3$ inchi)
21. Jarak antar tiang sandaran : 2 m

Total panjang bentang jembatan gantung adalah:

$L = 1,5 l$ untuk bentang samping tanpa penggantung

$L = 2 l$ untuk bentang samping dengan penggantung

keterangan:

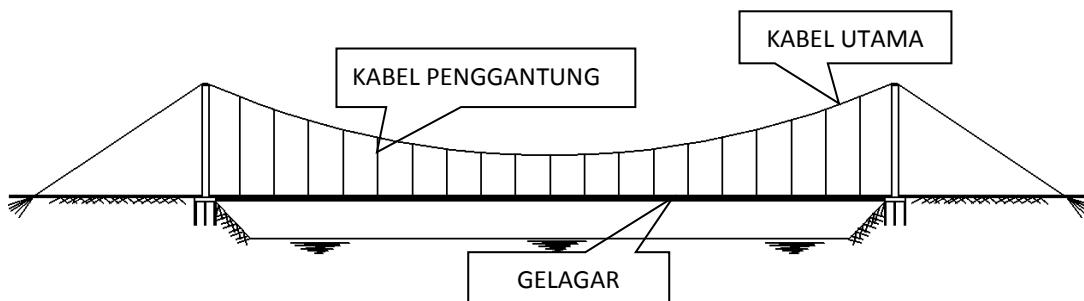
L = panjang total bentang jembatan

l = panjang bentang utama jembatan

(Irawan, R., L.Tristanto, T. Virlanda, 2011).

C. Objek Penelitian

Data penelitian menjelaskan mengenai objek yang akan diteliti. Objek dari penelitian ini yaitu struktur kabel pada jembatan gantung yang terdiri dari dek jembatan, kabel penggantung, dan kabel utama seperti yang terlihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Model jembatan gantung

D. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif karena hasil yang didapatkan berupa angka ataupun bilangan yaitu merupakan hasil dari analisis struktur jembatan dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*.

E. Prosedur Penelitian

Berikut merupakan prosedur yang dilakukan dalam perancangan struktur kabel pada jembatan gantung:

1. Melakukan studi literatur:

Peneliti menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan objek penelitian yaitu struktur kabel pada jembatan gantung. Studi literatur dilakukan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan peraturan-peraturan terkait.

2. Menentukan spesifikasi jembatan:

Menentukan spesifikasi jembatan berdasarkan peraturan PU dan Bina Marga meliputi tipe dan dimensi jembatan gantung yang akan di analisis.

3. Pembebaan rencana:

Pembebaan rencana menggunakan peraturan yang tercantum dalam RSNI T02-2005 mengenai standar pembebaan untuk jembatan. Adapun beban yang digunakan adalah:

- a. Berat sendiri
- b. Beban mati tambahan / utilitas

c. Beban lalu lintas

4. *Preliminary design:*

Preliminary design meliputi perencanaan dek jembatan yang terdiri dari: gelagar melintang, gelagar memanjang, pelat lantai, dan trotoar, serta struktur kabel yang terdiri dari: kabel penggantung dan kabel utama. Perencanaan berdasarkan SNI 2847-2013 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan SNI 1729-2015 mengenai spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

5. Pemodelan jembatan

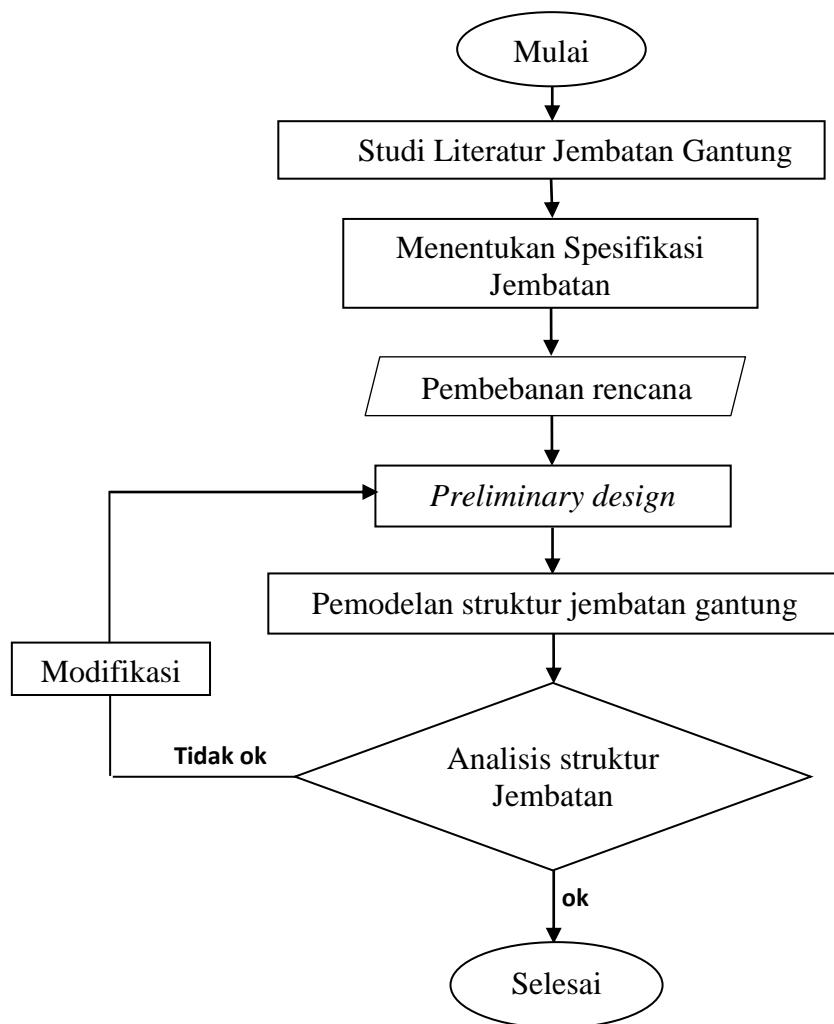
Tahap awal sebelum melakukan analisis struktur adalah dengan membuat desain atau model dari struktur yang akan dianalisis. Pemodelan jembatan gantung menggunakan data-data yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya pada *preliminary design* dan pembebanan rencana.

6. Analisis struktur

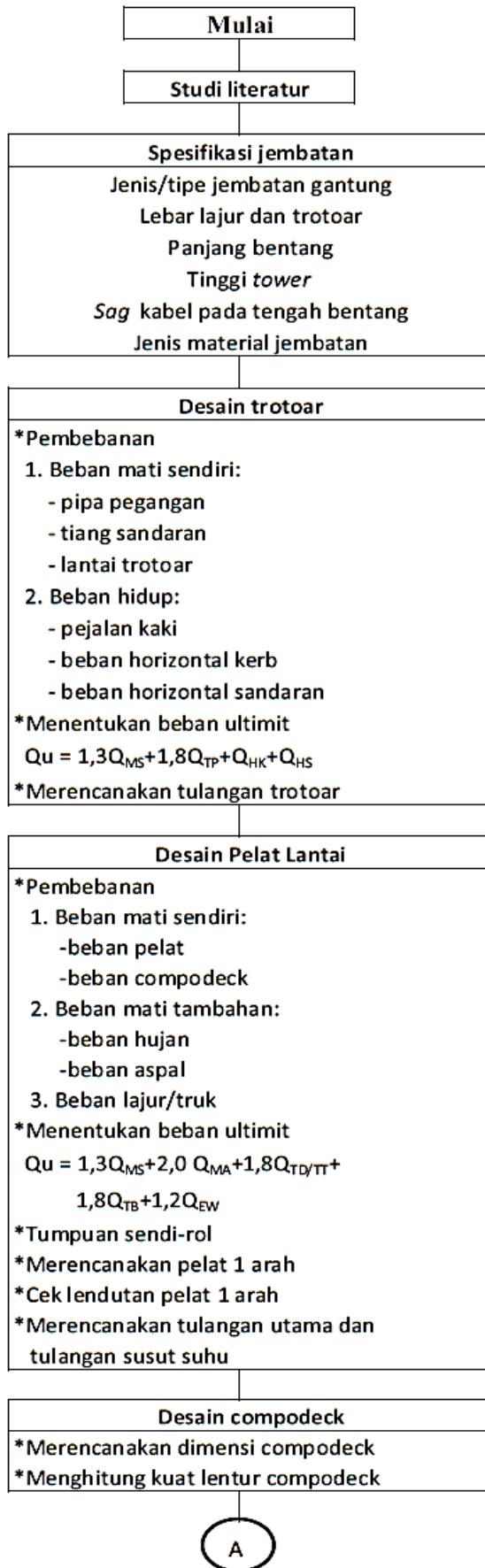
Dari pemodelan struktur yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, dilakukan analisis struktur untuk menentukan momen, geser, tegangan aksial, dan lendutan yang terjadi pada dek dan struktur kabel jembatan gantung. Jika hasil analisis telah sesuai maka perancangan struktur kabel dinyatakan dapat memenuhi syarat pembebanan rencana dan penelitian selesai, namun jika tidak maka akan dilakukan modifikasi ulang dari tahap *preliminary design*.

F. Diagram Alir (*Flow Chart*) Penelitian

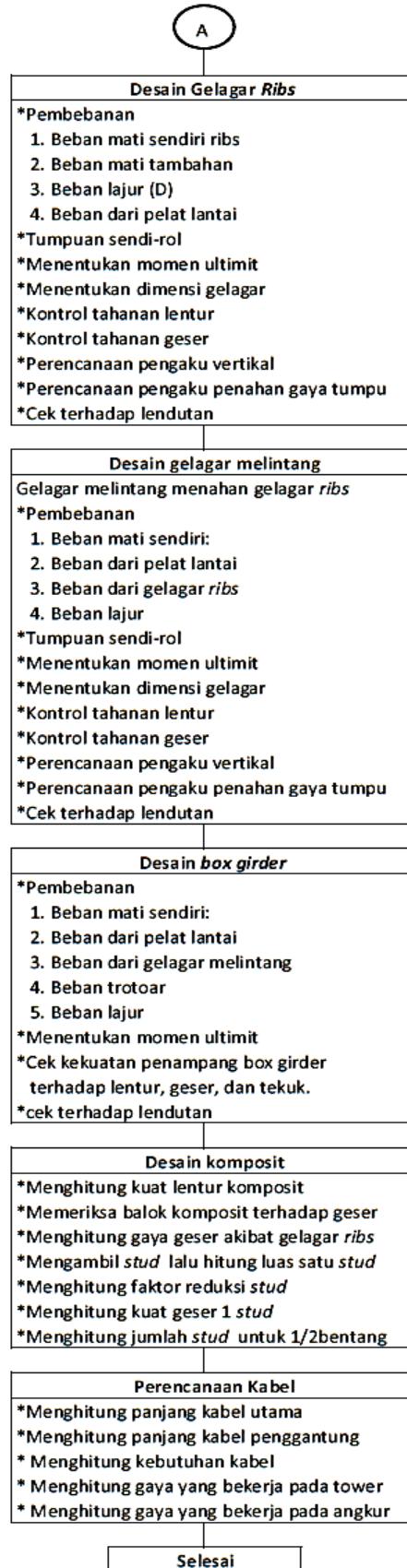
Berikut ini adalah gambar diagram alir perancangan struktur kabel pada jembatan gantung:



Gambar 35. Diagram alir perancangan



A



Gambar 36. Diagram alir keseluruhan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari perencanaan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Trotoar jembatan menggunakan pipa sandaran sebanyak 2 buah dengan diameter 3", lantai trotoar selebar 1 m menggunakan tulangan utama D16–200 mm dengan tulangan susut suhu D13–300 mm, serta tiang sandaran dengan ukuran panjang 15 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 90 cm setiap jarak 2 m menggunakan tulangan utama 4P-10 mm dan tulangan sengkang P8-90 mm.
2. Pelat lantai kendaraan komposit terdiri dari pelat *compodeck* dan beton bertulang. Pelat *compodeck* dengan tebal 1,2 mm memiliki tegangan maksimum sebesar $1290 \text{ kg/cm}^2 < 1876 \text{ kg/cm}^2$ (tegangan izin). Pelat beton bertulang dengan tebal 200 mm menggunakan tulangan utama D16–200 mm dan tulangan susut suhu D13–300 mm, dengan lendutan maksimum sebesar $4,38 \text{ mm} < 8,33 \text{ mm}$ (lendutan izin).
3. Gelagar memanjang *ribs* menggunakan pelat *girder* dengan ukuran lebar 30 cm, tinggi 150 cm, tebal *flens* 2 cm dan tebal *web* 0,8 cm dengan lendutan maksimum sebesar $8,92 \text{ mm} < 18,75 \text{ mm}$ (lendutan izin).

4. Gelagar melintang menggunakan pelat *girder* dengan ukuran lebar 40 cm, tinggi 170 cm, tebal *flens* 2,5 cm dan tebal *web* 0,9 cm dengan lendutan maksimum sebesar $2,69 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$ (lendutan izin).
5. Gelagar memanjang *box girder* mempunyai ukuran $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ dengan tebal 20 mm dengan lendutan maksimum sebesar $0,7 \text{ mm} < 18,75 \text{ mm}$ (lendutan izin).
6. *Shear connector* dengan diameter $\frac{3}{4}'' \times 10 \text{ cm}$ digunakan sebanyak 54 buah per 15 m pada gelagar memanjang jembatan.
7. Kabel utama yang digunakan adalah jenis paralel *VSL 7-wire strand* dengan jumlah 61 *strand*, sedangkan pada kabel penggantung digunakan *VSL 7-wire strand* dengan jumlah 19 *strand*.
8. Pylon jembatan direncanakan untuk menahan gaya vertikal sebesar $94,65 \cdot 10^6 \text{ kg}$.
9. Angkur jembatan direncanakan untuk menahan gaya vertikal sebesar $60,07 \cdot 10^6 \text{ kg}$ dan gaya horizontal sebesar $112,65 \cdot 10^6 \text{ kg}$.

B. Saran

Dari perencanaan yang telah dilakukan, dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan penelitian jembatan gantung dengan tipe bentang, tipe kabel, maupun material yang berbeda.
2. Harus ditambahkan berbagai jenis beban hidup dalam penelitian agar diperoleh hasil pembebanan yang lebih akurat pada perencanaan di lapangan.

3. Harus dilakukan analisis dinamis pada perencanaan di lapangan agar dapat diketahui perilaku dinamis struktur jembatan gantung.
4. Dapat dilakukan penelitian yang lebih spesifik untuk struktur pylon maupun struktur bawah jembatan gantung.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. RSNI-T-03-2005 *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional BSN. Jakarta. 132 hlm.
- Anonim. SNI-03-1729-2015 *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Badan Standarisasi Nasional BSN. Jakarta. 242 hlm.
- Anonim. SNI-03-2847-2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional BSN. Jakarta. 255 hlm.
- Harazaki, I., O. Atsushi, dan S. Suzuki. 2000. *Bridge Engineering Handbook: Suspension Bridges*. CRC Press. Boca Raton. 36 hlm.
- Hardono, S., G. Sukmara, dan A. Surviyanto. 2015. *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. Kementerian Pekerjan Umum. Jakarta. 44 hlm.
- Irawan, R., L. Tristanto, dan T. Virlanda. 2008. *Perencanaan Teknis Jembatan Gantung*. Kementerian Pekerjaan Umum. Bandung. 88 hlm.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Erlangga. Jakarta. 341 hlm.
- Steinman, D. B. 1922. *A Practical Treatise On Suspension Bridge*. Braunworth & Co. New York City. 204 hlm.
- Stiemer, S. F. 2007. *Design Of Steel Plate and Box Girders*. UBC. Columbia. 58 hlm.
- Supriyadi, B. dan A.S. Muntohar. 2007. *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta. 231 hlm.
- Tristanto, L., R. Setiati, dan R. Irawan. RSNI-T-02-2005 *Standar Pembebaan untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional BSN. Jakarta. 63 hlm.
- Vis, W. C. dan K. Gideon. 1993. *Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang*. Erlangga. Jakarta. 60 hlm.