

TUGAS AKHIR

**PEMODELAN JEMBATAN CABLE STAYED MENGGUNAKAN
APLIKASI MIDAS CIVIL**

***MODELLING OF CABLE STAYED BRIDGE USING MIDAS
CIVIL SOFTWARE***

**NUR FIKRI RAMDHANI ARIFIN
D011 18 1010**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PEMODELAN JEMBATAN CABLE STAYED MENGGUNAKAN APLIKASI MIDAS
CIVIL**

Disusun dan diajukan oleh:

NUR FIKRI RAMDHANI ARIFIN

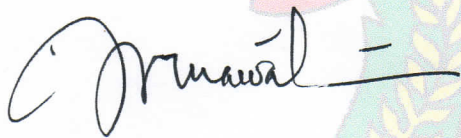
D011 18 1010

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 16 November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

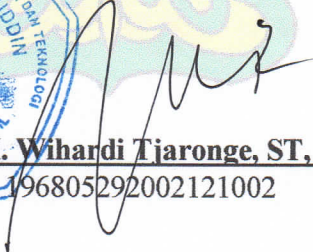


Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT
NIP: 197206192000122001



Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST, M.Eng.Sc
NIP: 197607072005011002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Nur Fikri Ramdhani Arifin, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Pemodelan Jembatan Cable Stayed Menggunakan Aplikasi MIDAS CIVIL**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, September 2022

Yang membuat pernyataan,



Nur Fikri Ramdhani Arifin
NIM: D011 18 1010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pemodelan Jembatan Cable Stayed Menggunakan Midas Civil**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. **Ibu Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Bapak Dr. Eng. Ardy Arsyad, S.T., M.Sc**, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan, dan nasihat-nasihat beliau yang membangun pribadi penulis serta kesabaran beliau dapat menghadapi kualitas keilmuan penulis.
5. **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen Laboratorium Riset Rekayasa dan Perkuatan Struktur. Berkat beliau atas segala ilmu, dan nasihat-nasihat beliau yang membangun pribadi penulis. Semoga segala kebaikan dan kemudahan dalam hajatnya Allah limpahkan kepada beliau.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Arifin B.** dan ibunda **Andi Nur Afiah** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan dan

kebaikan selama ini, baik secara moral maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Saudari **Nadia Nur Afifa** yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini
3. Saudara-saudari seperjuangan **Fiqih, Radix, Samuel, Charlie, Ica, Fitri, Yuqni, Ipa, Upe, Yusriah, Asihana, Wana, dan Melani** yang senantiasa banyak memberikan dukungan serta saling mengingatkan menuju ke jalan kebaikan.
4. Rekan-rekan di **Laboratorium Struktur dan Bahan, Hari, Yusril, Fiqih, Kak Hasan ST., Nadia, Hikari, Hamrul, Ricky, Juna, Wanda dan Yana** yang memberikan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur, Hari, Radix, Fiqih, Wana, Fitri, Kinah, Innah dan Yuqni** yang senantiasa membantu selama proses penyusunan serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Kanda **Teguh Priono, S.T.**, yang senantiasa membantu penulis dan juga membimbing penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
7. Saudara-saudari **TRANSISI 2019**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2018** yang senantiasa memberikan warna yang begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, September 2022

Nur Fikri Ramdhani Arifin

ABSTRAK

Jembatan adalah infrastruktur yang dibangun untuk memberikan akses kepada pejalan kaki, kendaraan dan kereta api untuk melewati jurang dan rintangan seperti sungai, rel kereta api, dan jalan raya tanpa menghalangi jalur yang ada di bawahnya. Jembatan juga biasanya dibangun untuk mengatasi rintangan yang sulit atau tidak mungkin dilewati di antara dua medan. Oleh karena itu, jembatan menjadi bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat penting bagi kelancaran lalu lintas.

Tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan balok gelagar, kabel dan pylon untuk jembatan serta menentukan jenis pembebanan yang akan digunakan pada jembatan *cable stayed*.

Jembatan *cable stayed* ini terdiri atas tiga bentang yaitu 2 bentang samping dan satu bentang utama. Struktur gelagar didesain menggunakan material beton prategang dan pylon jembatan menggunakan material beton mutu tinggi serta kabel penggantung jembatan didesain menggunakan kabel baja mutu tinggi. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Midas Civil.

Adapun pengontrolan pada elemen struktur yaitu kabel, gelagar dan pylon jembatan dilakukan secara manual dan dikontrol sesuai dengan ketentuan ataupun persyaratan yang berlaku. Secara keseluruhan, elemen struktur yang direncanakan memenuhi persyaratan desain.

Kata Kunci: Pemodelan, Jembatan, Midas Civil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	4
E. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Jebatan Cable Stayed	7
B. Kabel.....	8
B.1 Susunan Kabel	9
B.2 Jenis Kabel.....	14
B.3 Angkur Kabel.....	15
B.4 Gelagar Utama (Girder)	18
C. Deck (Lantai Kendaraan).....	21
D. Pylon (tiang).....	23
E. Pembebanan Jembatan	24
E.1 Beban Permanen.....	24
E.2 Beban Lalu Lintas.....	27
E.3 Lajur Lalu Lintas Rencana	27

E.4	Beban Lajur	28
E.5	Beban Truk.....	29
E.6	Beban Angin.....	30
E.7	Faktor Beban Dinamis	33
E.8	Beban Rem (TB).....	34
E.9	Beban Pejalan Kaki	34
E.10	Konfigurasi Beban Hidup	34
E.11	Kombinasi Pembebanan.....	35
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....		36
A.	Gambaran Umum.....	36
B.	Standar dan Rujukan yang Digunakan	36
C.	Bagan Alir	37
D.	Data Perencanaan	38
E.	Beban-Beban Yang Bekerja	40
F.	Pemodelan Struktur.....	48
G.	Pendefinisian Sumbu Global dan Sumbu Lokal.....	56
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		59
A.	Diagram Alir Perencanaan Jembatan.....	59
B.	Preliminary Desain	59
B.1	Konfigurasi Susunan Kabel	60
B.2	Dimensi Gelagar.....	60
B.3	Dimensi Kabel	67
B.4	Dimensi Struktur Pilon	73
C.	Analisis dan Pengecekan Struktur pada Program Midas Civil	76
D.	Hasil Analisa Struktur	77
D.1	Rekapitulasi Gaya Dalam Struktur	77
D.2	Kontur Gaya Dalam Struktur.....	78
D.3	Lendutan Gelagar Jembatan	82

D.4	Lendutan Pilon Jembatan	83
E.	Desain Gelagar Jembatan	84
E.1.	Edge Beam	84
E.2.	Transverse Beam.....	95
F.	Desain Struktur Kabel	102
F.1	Pretension Kabel	102
F.2	Kapasitas Struktur Kabel	106
G.	Desain Struktur Pilon.....	109
G.1	Gaya Dalam Pilon dan Cross Beam	109
G.2	Penulangan Pilon	110
G.3	Penulangan Cross Beam Pilon	116
H.	Desain Lead Rubber Bearing	127
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	130
A.	Kesimpulan	130
B.	Saran	130
DAFTAR PUSTAKA.....		132

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Harp Pattern (Pola Kecapi).....	11
Gambar 2. Fan Pattern (Pola Kipas)	12
Gambar 3. Semi Harp Pattern (Pola Setengah Kecapi).....	13
Gambar 4. Asymmetric Pattern (Pola Tidak Simetris)	14
Gambar 5. Jenis-Jenis Kabel	14
Gambar 6. Alternatif Pengangkuran Pada Menara	17
Gambar 7. Alternatif Pengangkuran Pada Menara (Lanjutan)	17
Gambar 8. Lokasi Angkur Pada Jembatan	18
Gambar 9. Gelagar Jembatan Dengan Solid Web Baja	19
Gambar 10. Gelagar Jembatan Dengan Rangka Pengaku.....	20
Gambar 11. Gelagar Jembatan Dengan Solid Web Beton	21
Gambar 12. Bentuk Dasar Menara Jembatan Beruji Kabel	24
Gambar 13. Beban Lajur "D"	29
Gambar 14. Konfigurasi Beban Truk	30
Gambar 15. Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur "D"	33
Gambar 16. Konfigurasi Beban Hidup Jembatan Cable Stayed	35
Gambar 17. Bagan Alir Perencanaan Struktur	38
Gambar 18. Pendefinisian Material	49
Gambar 19. Pendefinisian Dimensi Penampang	50
Gambar 20. Definisi Beban Yang Bekerja	51
Gambar 21. Pemodelan Gelagar Jembatan	52
Gambar 22. Pemodelan Pilon Jembatan	52
Gambar 23. Pemodelan Kabel Jembatan.....	52
Gambar 24. Pemodelan Geometri 3D Jembatan.....	53
Gambar 25. Pemodelan Gelagar Melintang Pilon dan Gelagar	53
Gambar 26. Pemodelan Tumpuan Jepit Pada Pilon.....	53
Gambar 27. Pemodelan Tumpuan Sendi Pada Gelagar	54
Gambar 28. Tampak 3D Jembatan	54

Gambar 29. Tampak Memanjang Jembatan	54
Gambar 30. Tampak Samping Jembatan.....	55
Gambar 31. Tampak Atas Jembatan.....	55
Gambar 32. Pendefinisian Sumbu Lokal Elemen	55
Gambar 33. Arah Sumbu Global Berdasarkan Kaidah Tangan Kanan	56
Gambar 34. Arah Sumbu Lokal	56
Gambar 35. Diagram Alir Perencanaan Jembatan	59
Gambar 36. Dimensi Transverse Beam	62
Gambar 37. Nomenklatur Kabel Pilon Kiri	69
Gambar 38. Nomenklatur Kabel Pilon Kanan	70
Gambar 39. Pengecekan Struktur Jembatan.....	77
Gambar 40. Gaya Dalam Fx	78
Gambar 41. Gaya Dalam Fy	78
Gambar 42. Gaya Dalam Fz	78
Gambar 43. Gaya Dalam Mx.....	79
Gambar 44. Gaya Dalam My.....	79
Gambar 45. Gaya Dalam Mz.....	79
Gambar 46. Gaya Dalam Fx	80
Gambar 47. Gaya Dalam Fy	80
Gambar 48. Gaya Dalam Fz	81
Gambar 49. Gaya Dalam Mx.....	81
Gambar 50. Gaya Dalam My.....	81
Gambar 51. Gaya Dalam Mz.....	82
Gambar 52. Plot Diagram Interaksi Kolom	112
Gambar 53. Lead Rubber Bearing (LRB)	128
Gambar 54. Spesifikasi LASTO LRB d_{bd} 300 mm	128

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat Isi Material untuk Jembatan	25
Tabel 2. Faktor Beban untuk Beban Permanen.....	26
Tabel 3. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan.....	26
Tabel 4. Ketentuan Jumlah Lajur Jembatan	27
Tabel 5. Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"	28
Tabel 6. Faktor Pembebanan untuk Beban Truk	29
Tabel 7. Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Permukaan Hulu	32
Tabel 8. Tekanan Angin Dasar	32
Tabel 9. Beban Mati Tambahan Rencana	42
Tabel 10. Spesifikasi Kabel VSL SSI 2000	67
Tabel 11. Perhitungan Jumlah Strand Tiap Kabel	71
Tabel 12. Nilai Modulus Elastisitas Kabel Ekuivalen.....	72
Tabel 13. Total Gaya Yang Bekerja Pada Pilon.....	73
Tabel 14. Rekapitulasi Gaya Dalam	77
Tabel 15. Rekapitulasi Lendutan Tiap Kombinasi	83
Tabel 16. Rekapitulasi Lendutan Tiap Kombinasi	84
Tabel 17. Gaya Dalam Edge Beam di Tumpuan	84
Tabel 18. Gaya Dalam Edge Beam di Lapangan.....	84
Tabel 19. Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Cross Beam.....	90
Tabel 20. Rekapitulasi Tulangan Transversal Edge Beam	92
Tabel 21. Rekapitulasi Tulangan Torsi Edge Beam	94
Tabel 22. Rekapitulasi Tulangan Edge Beam.....	94
Tabel 23. Beban Prestress Kabel	102
Tabel 24. Kebutuhan Jumlah Kabel Akibat Gaya Pretension.....	103
Tabel 25. Gaya Tarik Tiap Kabel	104
Tabel 26. Kebutuhan Strand dan Luas Penampang Sebenarnya	105
Tabel 27. Gaya Kabel Akibat Aktual	106
Tabel 28. Kapasitas Penampang Kabel.....	108
Tabel 29. Gaya Dalam Pilon.....	109

Tabel 30. Gaya Dalam Cross Beam di Tumpuan	109
Tabel 31. Gaya Dalam Cross Beam di Lapangan.....	110
Tabel 32. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom	113
Tabel 33. Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pilon	116
Tabel 34. Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Cross Beam	122
Tabel 35. Rekapitulasi Tulangan Transversal Cross Beam	124
Tabel 36. Rekapitulasi Tulangan Torsi Cross Beam	127
Tabel 37. Rekapitulasi Tulangan Cross Beam.....	127
Tabel 38. Gaya Maksimum Pada Perletakan.....	128

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jembatan adalah infrastruktur yang dibangun untuk memberikan akses kepada pejalan kaki, kendaraan dan kereta api untuk melewati jurang dan rintangan seperti sungai, rel kereta api, dan jalan raya tanpa menghalangi jalur yang ada di bawahnya. Jembatan juga biasanya dibangun untuk mengatasi rintangan yang sulit atau tidak mungkin dilewati di antara dua medan. Oleh karena itu, jembatan menjadi bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat penting bagi kelancaran lalu lintas.

Jembatan seringkali menjadi bagian penting dari jalan karena menjadi penentu beban maksimum kendaraan yang melewati jalan tersebut. Terdapat berbagai macam desain jembatan yang masing-masing memiliki tujuan tertentu dengan penerapan pada situasi yang berbeda. Desain jembatan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fungsi jembatan, sifat medan di mana jembatan dibangun atau diperbaiki, bahan yang digunakan untuk membangun jembatan, dan dana yang tersedia untuk konstruksi.

Jembatan Musi Tol Kapal Betung Seksi II merupakan bagian dari ruas Tol Kayu Agung-Palembang-Betung atau Kapal Betung sepanjang 111 kilometer. Jembatan ini sendiri memiliki panjang total 1684 meter dan menjadi jembatan tol terpanjang di Indonesia dengan ketinggian 17 meter di atas permukaan air. Jembatan yang terletak di dekat Pulo Kerto

Kec. Gandus, akan direncanakan kembali menggunakan sistem jembatan *cable-stayed*.

Dari segi estetika, jembatan *cable-stayed* memiliki penampilan yang cenderung lebih indah dibandingkan dengan jenis jembatan lainnya sehingga hal ini dapat meningkatkan potensi pariwisata di daerah tersebut. Jembatan tidak hanya dapat digunakan sebagai infrastruktur transportasi, tetapi juga sebagai *landmark* di suatu wilayah untuk menarik wisatawan. Tentunya hal ini akan meningkatkan perekonomian masyarakat lokal.

Salah satu metode yang biasa digunakan dalam konstruksi jembatan adalah metode *balanced-cantilever*. Keuntungan dari metode pemasangan *balanced-cantilever* adalah kemudahan dalam pengerjaannya. Metode kantilever juga dapat digunakan untuk aliran sungai yang kuat dan memiliki hambatan di bawahnya karena tidak memerlukan akses ke tengah sungai saat memasang bagian jembatan. Hal ini sangat sesuai dengan kondisi Sungai Musi yang juga digunakan untuk jalur transportasi.

Pada tugas akhir ini, jembatan tersebut akan dimodelkan dan direncanakan kembali menggunakan sistem dua bidang kabel atau *double plane cable-stayed* dengan metode konstruksi *balanced cantilever* sepanjang 410 meter menggunakan perangkat lunak *Midas Civil 2019*. Dengan menggunakan sistem *cable-stayed* juga maka jembatan dapat didesain dengan bentang yang lebih panjang sehingga

akan mengurangi jumlah pilar yang digunakan. Beberapa pertimbangan dalam memilih jembatan tipe *cable stayed* antara lain:

- Jembatan *cable-stayed* memiliki defleksi yang lebih kecil daripada jenis jembatan gantung, dan jenis jembatan ini memiliki kekakuan struktural yang lebih tinggi. (Troistsky, 1988).
- Jembatan *cable-stayed* dapat menopang bentang yang sangat panjang dan proses konstruksinya bersifat kantilever, sehingga tidak mengganggu kegiatan yang ada di bawah jembatan: (O'Connor, 1971).
- Jembatan *cable-stayed* memiliki nilai estetika yang tinggi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka perlu dijelaskan permasalahan secara rinci untuk melakukan perencanaan kembali Jembatan Musi Tol Kapal Betung menggunakan jembatan *cable-stayed*. Rumusan masalah pada perencanaan ini yaitu:

1. Bagaimana merencanakan gelagar, lantai kendaraan, kabel dan *pylon* dari jembatan *cable stayed*?
2. Bagaimana penentuan jenis pembebanan untuk jembatan *cable stayed* pada masing-masing strukturnya?
3. Bagaimana memodelkan dan menganalisa struktur jembatan pada perangkat lunak *Midas Civil 2019*?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Merencanakan balok gelagar, rantai kendaraan, kabel dan pylon untuk jembatan.
2. Menentukan jenis pembebanan yang akan digunakan pada jembatan *cable stayed*.
3. Memodelkan dan menganalisis komponen struktur menggunakan perangkat lunak *Midas Civil 2019*

D. Batasan Masalah

Dikarenakan keterbatasan waktu dan untuk membatasi serta menghindari penyimpangan pembahasan dari masalah yang diuraikan di atas dalam penyusunan tugas akhir ini, maka penulis membatasi permasalahan yang ada. Batasan masalah tersebut diantaranya adalah:

1. Tidak dilakukan desain bangunan bawah yang meliputi desain pondasi, abutment, dan pondasi dari *pylon*, serta tidak menyusun metode pelaksanaan untuk konstruksi *pylon*.
2. Tidak dilakukan analisa anggaran biaya dan waktu pelaksanaan.
3. Tidak dilakukan perhitungan abutment jembatan
4. Tidak dilakukan perencanaan jalan pendekat jembatan
5. Tidak dilakukan analisa terhadap beban dinamis
6. Tidak dilakukan perhitungan angkur kabel
7. Tidak dilakukan perhitungan frekuensi natural struktur jembatan

E. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah tulisan ini, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pengujian karakteristik mortar geopolimer dan pengujian lentur balok.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

A. Jembatan Cable Stayed

Jembatan beruji kabel (*cable stayed*) adalah struktur yang mempunyai sederetan kabel lurus dan memikul elemen horizontal kaku (berupa balok, rangka, atau boks). Jembatan beruji kabel sendiri terdiri dari sistem struktur berupa gelagar menerus yang didukung oleh tumpuan berupa kabel yang di bentang miring dan dihubungkan ke menara sebagai penahan utama. Jembatan jenis ini menjadi salah satu alternatif dalam pembangunan jembatan bentang panjang. Ruji kabel adalah kabel eksternal dengan dwi fungsi yaitu berfungsi sebagai elemen struktur penyangga dalam pemasangan gelagar lantai dengan sistem kantilever bertahap (*construction stages*) dan sebagai elemen utama struktur serta perletakan elastis/pegas atau pilar antara dalam struktur akhir.

Jembatan dengan sistem beruji kabel merupakan jembatan yang terdiri dari satu atau lebih menara (*pylon*) dengan susunan kabel yang memikul gelagar lantai. Pada setiap tahap konstruksi jembatan beruji kabel, besarnya gaya dalam tidak boleh melebihi daya dukung penampang, dan pada tahap pembebanan akhir, perpindahan titik puncak menara dan lendutan lantai jembatan harus memenuhi persyaratan.

Jembatan beruji kabel terbaru menyajikan suatu sistem tiga dimensi. Pada umumnya lantai gelagar jembatan dapat terbuat dari

boks beton, struktur baja maupun dari struktur komposit. Menara jembatan dapat terbuat dari beton dan baja. Karakteristik penting dari struktur tiga dimensi adalah keterlibatan konstruksi melintang untuk bekerja bersama-sama. Hal ini dapat meningkatkan momen inersia dan mengurangi ketinggian gelagar jembatan.

Secara umum elemen utama jembatan ruji kabel terdiri dari gelagar, kabel dan menara. Setiap elemen hadir dalam berbagai jenis dan bentuk, tergantung pada fungsi yang diinginkan. Setiap komponen kabel jembatan ruji kabel saling berhubungan. Kabel memikul beban dari gelagar yang menahan jalan raya beserta lalu lintasnya. Beban dari kabel tersebut selanjutnya disalurkan ke menara dan dilimpahkan ke fondasi jembatan. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2015)

B. Kabel

Prinsip jembatan *cabl-stayed* terdiri dari segmen gelagar yang ditempatkan di lantai kendaraan, di mana gelagar dihubungkan dan ditahan oleh kabel. Ujung kabel yang lain diangkur ke satu atau lebih titik pada menara yang berdiri diatas pondasi. Kabel bertindak seperti struktur tarik karena menahan beban pada dek jembatan. Pada saat yang sama, menara / tiang bertindak sebagai struktur kompresi karena gaya yang ditransfer oleh kabel. (Troitsky, 1988)

Kabel adalah bagian terpenting dari konstruksi jembatan *cabl-stayed* karena membantu mentransfer beban mati dari gelagar menuju menara. Kabel yang biasa digunakan adalah kabel prategang yang

diangkur di lantai jembatan. Kabel prategang dipilih untuk mengurangi defleksi vertikal dari lantai jembatan dan lendutan lateral dari tiang. (Walther, *et al.*, 1999)

B.1 Susunan Kabel

Sistem pada susunan kabel jembatan *cable stayed* memiliki beberapa macam. Pilihan jenis (konfigurasi) dan jumlah kabel tergantung pada beberapa faktor, antara lain panjang bentang, jenis beban, jalur atau lebar jembatan, tinggi menara, dan estetika. Penempatan kabel merupakan masalah penting dalam desain jembatan *cable-stayed*. Hal ini tidak hanya mempengaruhi kekuatan struktur jembatan, tetapi juga pada metode pelaksanaan dan biaya.

i. Konfigurasi arah melintang

Sistem pada susunan kabel jembatan *cable stayed* pada arah melintang tercantum pada Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 Pasal 4.4.1 sebagai berikut:

1) Sistem Satu Bidang (Single Plane System)

Pada pola ini, kabel ditempatkan di tengah tengah dek dan membatasi dua jalur lalu lintas pada dek. Dari segi struktural, sistem ini menyebabkan torsi pada dek dan pylon akibat beban lalu lintas yang tidak simetris dan juga akibat tiupan angin. Dengan sistem satu bidang maka kabel akan diletakkan pada tengah-tengah bentang dek yang mengakibatkan torsi yang besar. Tipe jembatan ini tidak sesuai untuk jembatan dengan dua jalur. Sistem ini sangat

menguntungkan dari segi estetika karena tidak terjadi kabel bersilangan yang terlihat oleh pandangan sehingga terlihat penampilan struktur yang indah. (Walther, *et al.*, 1999)

2) Sistem Dua Bidang (Double Plane System)

Pada sistem dua bidang, kabel-kabel digantungkan pada dua bidang vertikal sejajar dengan dua menara di masing-masing sisi dek jembatan, atau dapat berupa dua bidang miring dengan menara berbentuk A. Penggunaan bidang miring dapat menimbulkan permasalahan pada lalu lintas yang lewat di antara dua bidang kabel. (Nugraha, 2017)

3) Sistem Tiga Bidang atau Lebih

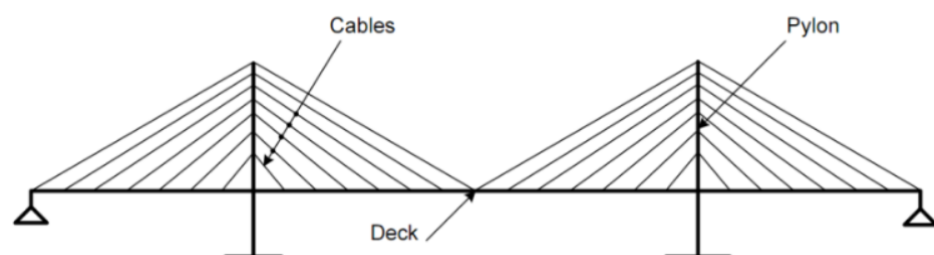
Jembatan *cable-stayed* dengan jumlah bidang kabel tiga atau lebih biasanya digunakan untuk jembatan dengan lantai kendaraan yang sangat lebar karena akan ditemukan torsi yang besar bila menggunakan kabel satu bidang dan momen lentur yang besar pada tengah balok melintang jika menggunakan sistem dua bidang. Tipe jembatan dengan bidang kabel tiga ini jarang digunakan. Namun, karena jumlah bidang yang banyak maka memiliki keunggulan untuk mengurangi gaya yang terdistribusi dalam penampang kabel. (Walther, *et al.*, 1999)

ii. Konfigurasi arah memanjang

Sistem pada susunan kabel jembatan *cable stayed* pada arah melintang tercantum pada Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015 Pasal 4.4.2 sebagai berikut:

1) *Harp pattern* (pola kecapi)

Pada pola susunan harp (kecapi), susunan kabelnya dibuat saling berdekatan dan sejajar dengan meletakkannya pada titik yang berbeda pada tiang seperti pada Gambar 1. Jika ditinjau dari parameter biaya, pola susunan *cable stayed* seperti ini tidak efisien untuk jembatan bentang panjang. Hal ini dikarenakan membutuhkan banyak baja untuk kabelnya, sehingga memberi tekanan lebih pada lantai jembatan, dan mengakibatkan momen lengkung pada tiang. Penyusunan kabel yang sejajar memberikan penampilan yang menarik untuk susunan harp (kecapi). (Walther *et al.*, 1999). Kebutuhan akan tiang yang lebih tinggi merupakan salah satu kekurangan dari jenis susunan ini pada jembatan *cable-stayed*.

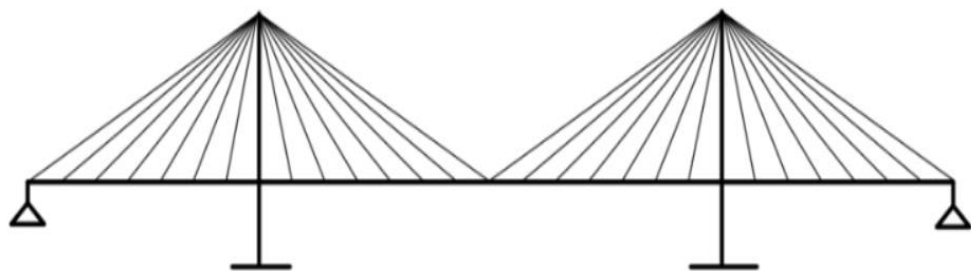


Gambar 1. Harp Pattern (Pola Kecapi)

2) *Fan pattern* (pola kipas)

Ada beberapa literatur yang menyebut pola ini dengan pola radial (melingkar), namun disini disebut pola *fan* (kipas). Susunan pola ini, semua kabel dihubungkan pada satu titik di puncak tiang seperti pada Gambar 2. Secara relatif, tinggi kemiringan dari kabel menghasilkan potongan melintang yang lebih kecil dibandingkan dengan pola harp (kecapi). Selain itu, gaya horizontal kabel pada lantai jembatan pada susunan ini lebih kecil dari tipe harp (kecapi) (Walther, *et al.*, 1999). Namun kesulitan yang jelas dengan perlindungan korosi kabel di kepala tiang. (Parke dan Nigel W, 2008)

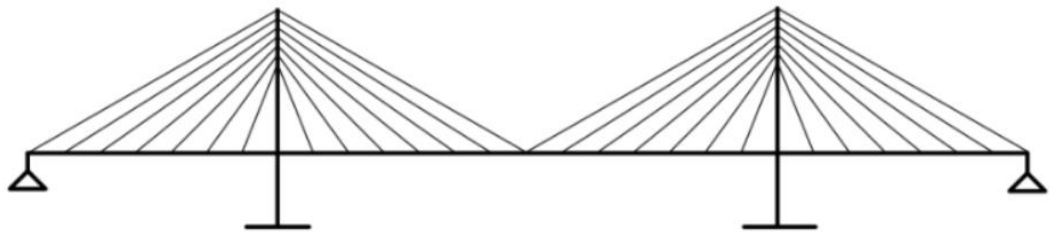
Ada beberapa literatur yang menyebut pola ini dengan pola radial (melingkar), namun disini disebut pola fan (kipas). Dengan menambah jumlah kabel, berat pada puncak tiang menjadi bertambah dan juga rumit dalam pemasangan kabel. Susunan tipe fan (kipas) hanya cocok untuk bentang menengah dengan jumlah kabel yang terbatas.



Gambar 2. Fan Pattern (Pola Kipas)

3) *Semi harp pattern* (pola setengah kecapi)

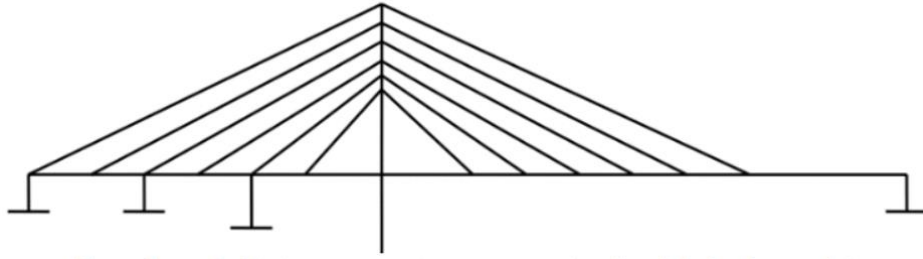
Beberapa jembatan *cable stayed* yang modern di dunia telah dibangun menggunakan pola semi harp guna efisiensi. Pola ini merupakan modifikasi dari pola harp dan fan. Seperti pada Gambar 3. pada susunan pola ini, kabel dihubungkan pada bagian atas tiang yang lebih tinggi dengan saling berdekatan (Walther, *et al.*, 1999). Susunan pola semi harp mempunyai penampilan yang lebih baik dibandingkan fan pattern.



Gambar 3. Semi Harp Pattern (Pola Setengah Kecapi)

4) *Asymmetric pattern* (pola tidak simetris)

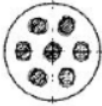
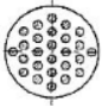
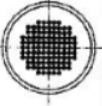
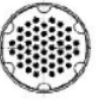

Akibat kondisi peta bumi dan jarak ruang memanjang sering kali mengharuskan untuk mendesain jembatan melewati rintangan dengan satu bentang, tanpa memungkinkan untuk menyeimbangkan struktur dengan bagian belakang yang menonjol Gambar 4. Pada kasus ini akan sangat membantu jika mengadopsi tali kekang dari jembatan tipe penggantung, dengan ciri pemusatan dari jangkar kabel. Pilihan dari landaian pada bagian belakang tali tergantung dari kondisi geologi dan geoteknikal (Walther, *et al.*, 1999).



Gambar 4. Asymmetric Pattern (Pola Tidak Simetris)

B.2 Jenis Kabel

Beberapa jenis kabel yang berbeda digunakan pada jembatan *cable stayed*, bentuk dan konfigurasi tergantung pada susunannya. Dalam satu strand biasanya terdiri dari tujuh kawat, dengan diameter antara 3 sampai 7 mm. Dalam Pasal 4.8.1 Peraturan PU Nomor 08/SE/M/2015, jenis-jenis kabel diklasifikasikan pada Gambar 5 di bawah:

Jenis Kabel	 Coupled bars 7 \varnothing 36 Steel 835/1030	 Uncoupled bars 26 \varnothing 16	 Parallel wires 128 \varnothing 7	 Strands 27 \varnothing 15 15 mm	 Locked-coil cables
<i>Tendons</i>	Bars \varnothing 26.5, 32, 36 mm	Bars \varnothing 16 mm	Wire \varnothing 6, 7 mm	Strand \varnothing 0.5, 0.6, 0.7 of 7 twisted wires	Wire with different profiles \varnothing 2 9-7 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 1080	1350	1470	1570 ~ 1670	-
Ultimate tensile strength, β_z (N/mm ²)	1030 1230	1500	1670	1770 ~ 1870	1000 ~ 1300
<i>Fatigue</i>					
$\Delta\sigma$ (N/mm ²)	80	-	350	300 ~ 320	120 ~ 150
σ_{max}/β_z	0.6	-	0.45	0.5 ~ 0.45	0.45
Modulus of elasticity, E (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	190 000 ~ 200 000	180 000 ~ 165 000
Failure Load kN	7339	7624	7467	7634	7310

Gambar 5. Jenis-Jenis Kabel

Kabel yang sering digunakan dalam desain jembatan *cable-stayed* adalah sebagai berikut:

i. *Parallel Wire Cable*

Parallel wire cable terdiri dari kawat bulat digalvanis berdiameter 5 mm sampai 7 mm berbentuk hexagonal dengan suatu helix panjang. Kawat tersebut biasanya dibungkus oleh *High Density Polythelene (HDPE) tube*.

ii. *Parallel Strand Cable*

Parallel stand cable terdiri dari beberapa *strand*. *Strand-strand* tersebut selanjutnya dipasang secara paralel. Setiap kabel terdiri dari beberapa strand antara lain sebesar 7, 19, 37, 61, 91, atau 127 buah.

B.3 Angkur Kabel

a. Sistem Pengangkuran

Secara struktural angkur pada jembatan *cable-stayed* berfungsi sebagai dudukan vertikal bagi gelagar, sehingga hampir semua beban vertikal bekerja pada angkur. Hal ini berbeda dengan sistem pratekan yang umumnya terletak di luar daerah kritis dan dengan variasi tegangan yang sangat kecil. Karena dari itu tegangan yang diijinkan untuk angkur jembatan *cable-stayed* relatif kecil. Secara umum terdapat dua sistem pengangkuran pada jembata *cable-stayed*, yaitu:

i. Angkur Hidup

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel, dimana pada bagian ini dilakukan pemberian tegangan. Angkur hidup biasanya diletakkan di menara jembatan.

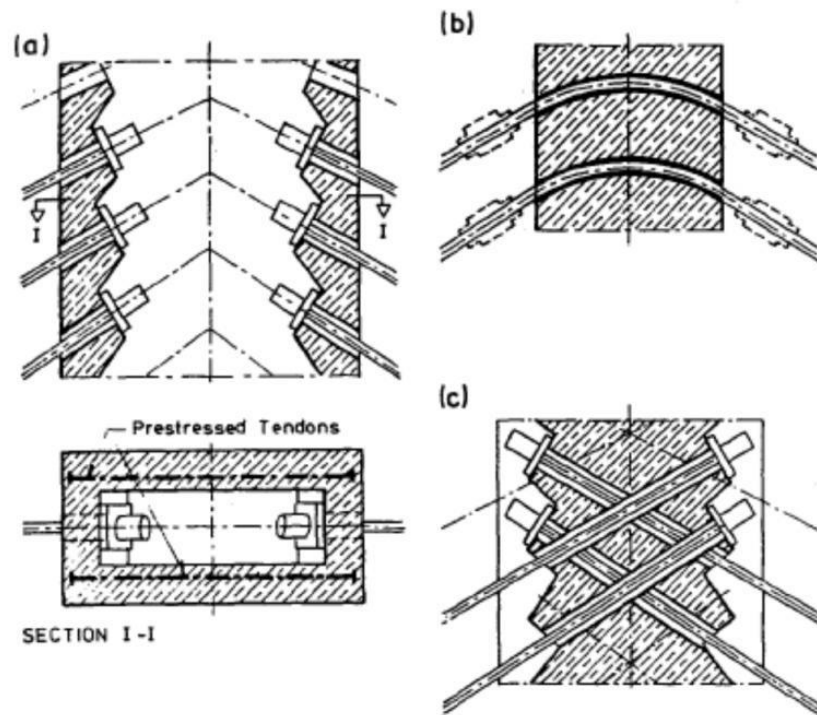
ii. Angkur Mati

Pengangkuran dilakukan pada ujung kabel, tetapi pada bagian ini tidak dilakukan pemberian tegangan. Angkur mati biasanya diletakkan di dek jembatan.

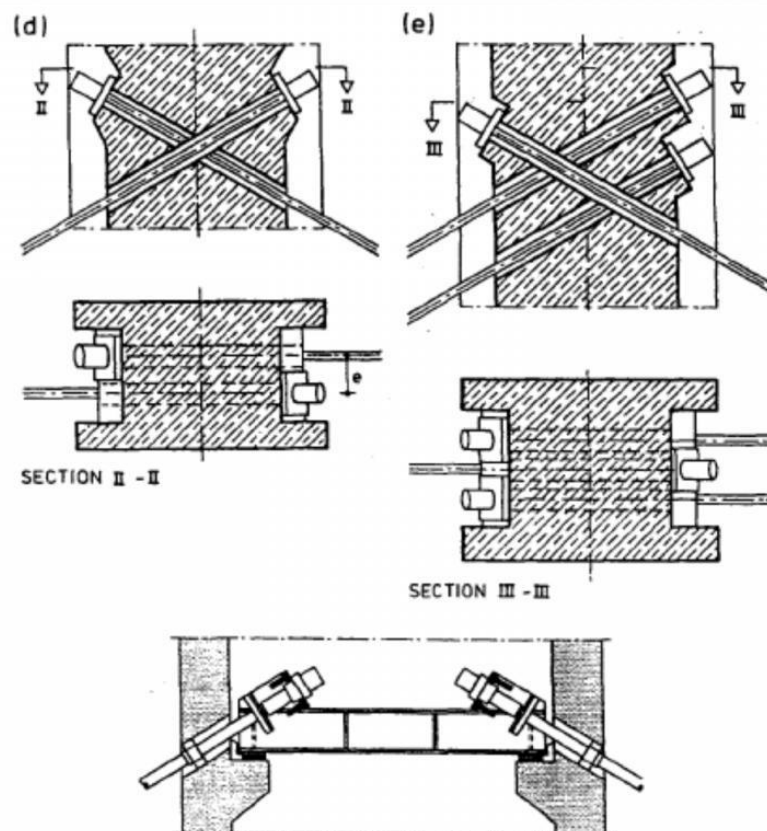
b. Posisi dan Detail Pengangkuran

i. Pengangkuran pada Menara

Bagian dari kabel yang masuk ke dalam menara ditempatkan di dalam suatu pipa pengarah/*guide pipe* dari konstruksi baja menembus dari sisi main span ke sisi side span dan sebaliknya. Ada beberapa alternatif pengangkuran pada menara sebagaimana disajikan pada Gambar 6 dan 7 berikut:



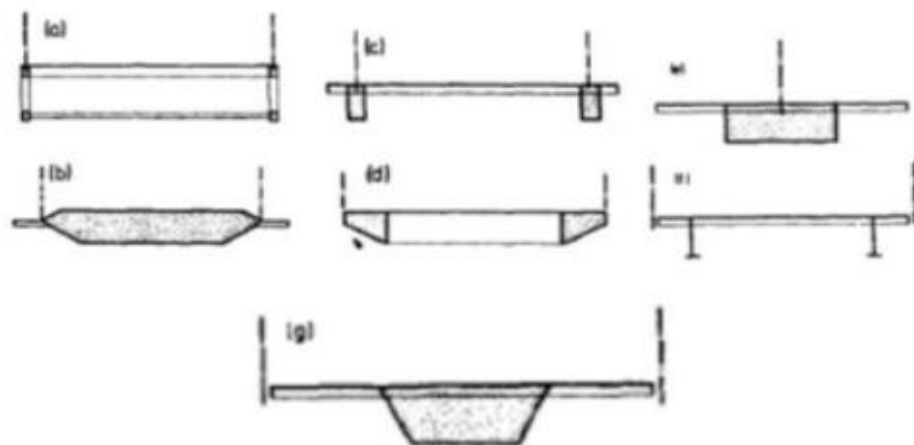
Gambar 6. Alternatif Pengangkuran Pada Menara



Gambar 7. Alternatif Pengangkuran Pada Menara (Lanjutan)

ii. Pengangkuran pada Dek Jembatan

Aliran dari gaya-gaya sangat penting untuk diperhatikan ketika mendesain jembatan *cable-stayed*. Pada kasus tertentu, kabel dapat langsung diangkurkan ke elemen utama dek jembatan, sedangkan pada kasus lain angkur harus diletakkan di luar elemen utama sehingga diperlukan bracker khusus untuk menyalurkan gaya ke elemen utama dek jembatan. Berikut lokasi pengangkuran pada dek jembatan ditampilkan pada Gambar 8:



Gambar 8. Lokasi Angkur Pada Jembatan


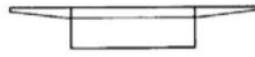
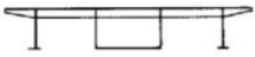
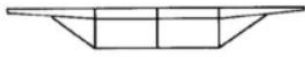

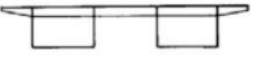

B.4 Gelagar Utama (Girder)

Gelagar utama pada jembatan yang paling sering digunakan adalah *stiffening truss* (digunakan untuk struktur baja) dan *solid web* (digunakan untuk struktur baja, beton, beton bertulang, maupun beton prategang) (Podolny dan Scalzi, 1986). Bahannya dapat terbuat dari material yang berbeda seperti baja, beton atau komposit baja-beton.

Gelagar utama yang tersusun dari *solid web* cenderung berupa *plate girder* (gelagar pelat) atau *box girder* (gelagar kotak). Pilihan dari material untuk gelagar utama tergantung dari parameter biaya. Berat dari gelagar utama mempunyai pengaruh yang signifikan pada kebutuhan kabel, tiang, dan pondasi. Berikut ini penjelasan gelagar utama yang sering digunakan:

a. Gelagar baja (*steel girders*)

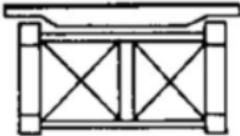
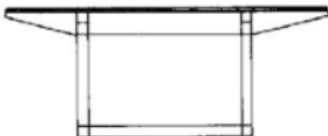
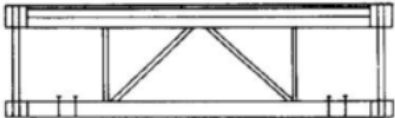
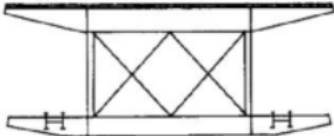
Beberapa jembatan dibangun dengan jaringan yang kaku pada girder utama yang dibagi menjadi dua jenis: konstruksi dengan girder I dan satu atau lebih girder kotak seperti pada Gambar 9.

No	Komposisi	Penampang Jembatan
1	<i>Twin I Girder</i>	
2	<i>Single Rectangular Box Girder</i>	
3	<i>Central Box Girder dan Single Single Web Girder</i>	
4	<i>Single Twin Cellular Box Girder dan Sloping Struts</i>	
5	<i>Single Trapezoidal Box Girder</i>	
6	<i>Twin Rectangular Box Girder</i>	
7	<i>Twin Trapezoidal Box Girder</i>	

Gambar 9. Gelagar Jembatan Dengan Solid Web Baja

b. Gelagar rangka (*trusses girder*)

Dari beberapa dekade terakhir, kerangka (*trusses*) jarang digunakan pada pembangunan jembatan dibandingkan dengan *steel girders* dikarenakan memerlukan banyak fabrikasi dan pemeliharaan dan perlindungan terhadap korosi sulit. Contoh gelagar utama yang menggunakan *trusses* pada Gambar 10.

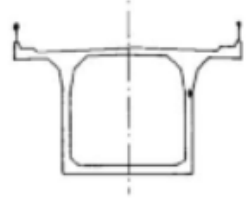
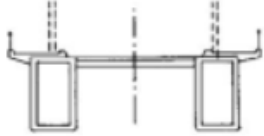

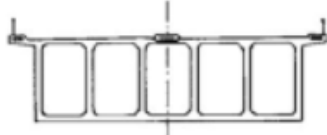
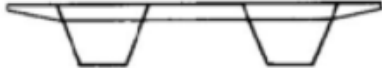
No	Tipe jembatan	Penampang jembatan
1	Jalan raya	
2	Jalan raya dan kereta api	
3	Jalan raya dan kereta api	
4	Jalan raya dan kereta api	

Gambar 10. Gelagar Jembatan Dengan Rangka Pengaku

c. Gelagar beton pratekan (*prestressed concrete*)

Selama beberapa tahun banyak jembatan *cable stayed* yang telah dibangun dengan gelagar beton bertulang maupun pratekan

dan girder utama. Jembatan yang menggunakan bahan beton ini memiliki keunggulan dari ekonomi, kekakuan yang tinggi dan defleksi yang kecil (Troitsky, 1988). Penampang yang sering digunakan seperti Gambar 11.

No	Komposisi	Penampang Jembatan
1	<i>Single Box Girder</i>	
2	<i>Twin Box Girder</i>	
3	<i>Twin Box Girder</i>	
4	<i>Multiple Box Girder</i>	
5	<i>Twin Trapezoidal Box Girder</i>	

Gambar 11. Gelagar Jembatan Dengan Solid Web Beton

C. Deck (Lantai Kendaraan)

Lantai kendaraan (*deck*) merupakan lantai yang diperuntukkan kendaraan melintasi di atas permukaan jembatan *cable stayed*. Deck dibagi berdasarkan bahan materialnya sebagai berikut:

a. *Deck* baja

Keuntungan dari *deck* baja ialah berat sendiri yang tidak terlalu besar. Dalam penelitian lantai kendaraan yang lebih efektif, kemandirian besar telah dibuat dengan perkembangan *deck* baja *orthotropic* (Troistky,1988). Jembatan dengan *deck* baja *orthotropic* biasanya disebut sebagai jembatan *orthotropic* yang bekerja pelat pengaku baja yang mendukung beban roda kendaraan daripada sebuah pelat beton bertulang yang digunakan pada konstruksi jembatan konvensional (Heins dan Firmage, 2000). Pelat *orthotropic* merupakan pelat baja monolit dengan rusuk rusuk (*ribs*) yang sejajar, defleksi *Orthotropic* mencapai 1/6 dari defleksi pelat biasa. (O'Connor, 1971)

b. *Deck* beton

Dalam pelaksanaan ada 2 metode konstruksi *deck* beton antara lain dicor di tempat (*cast in-situ*) dan pracetak (*precast*). Dengan metode konstruksi tersebut, *deck* dicor monolit dengan gelagar utama dimana tidak menjadikan profil *massive*.

c. *Deck* komposit

Deck komposit ialah gabungan dari beton dengan baja secara monolit dimana kedua elemen bekerja sama saat beban bekerja. Dengan digabungkannya dua elemen tersebut mengakibatkan menurunnya berat sendiri dan kemudahan saat pendirian bagian-bagian baja (Walther, *et al.*, 1999). Pada *deck* komposit dimana

pelat beton akan menyalurkan gaya tekan aksial. Pelat beton dihubungkan pada gelagar baja dengan *shear stud*.

D. Pylon (tiang)

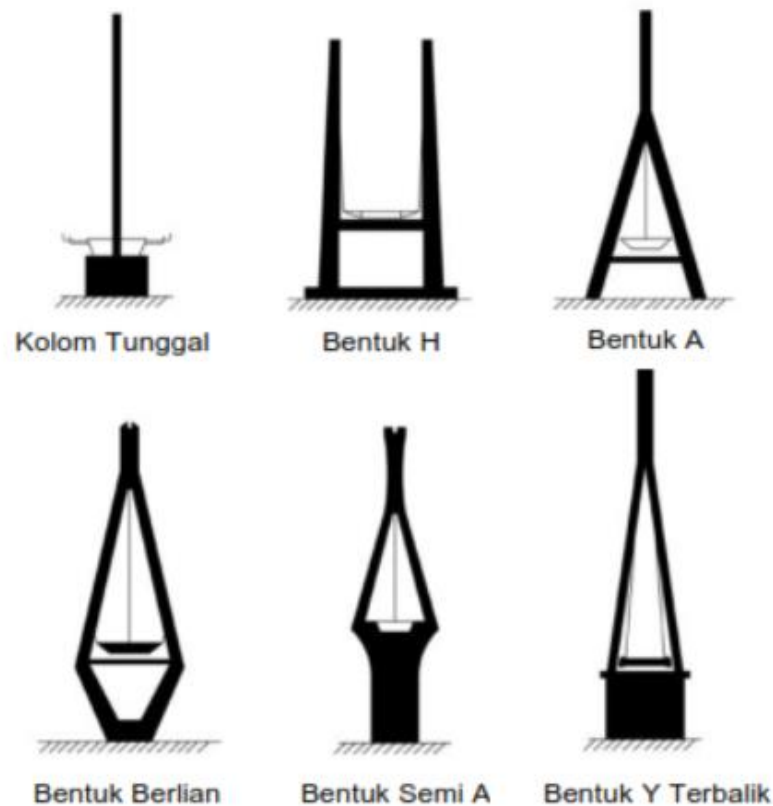
Pylon (tiang) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur, tiang dapat dibuat berongga dari konstruksi baja maupun beton. Perencanaan menara merupakan hal yang sangat penting dan mendasar yang akan mempengaruhi estetika, keekonomisan serta perilaku struktur dari jembatan. Menara jembatan beruji kabel menahan tekanan tinggi karena memikul hampir semua berat sendiri/tetap dan beban hidup yang berada pada struktur. Menara jembatan umumnya langsing sehingga stabilitas menjadi dominan. Menara akan menerima gaya dari gelagaryang disalurkan melalui kabel.

Secara prinsip, pemakaian beton pada menara mempunyai dasar yang kuat mengingat menara akan mengalami gaya tekan yang besar. Akan tetapi perencanaan menara beton lebih rumit dari menara baja karena memerlukan pemeriksaan analisis tingkat kedua, karena beton mempunyai hubungan perilaku tegangan-regangan yang tidak linear. (Kementerian Pekerjaan Umum,2015)

Ada beberapa bentuk tiang yang berbeda satu sama lain seperti, *single pylon* (tiang tunggal), *twin pylon* (tiang kembar), *A-Frame pylon* (tiang berbentuk A), dan portal. Bentuk-bentuk tersebut dipilih berdasarkan susunan kabel, keindahan, bentang memanjang,

kebutuhan perencanaan, pertimbangan biaya, dan parameter lainnya.

Berikut Gambar 12 ilustrasi susunan melintang jembatan *cable stayed*:



Gambar 12. Bentuk Dasar Menara Jembatan Beruji Kabel

E. Pembebanan Jembatan

Peraturan pembebanan yang digunakan dalam desain jembatan *cable-stayed* ini adalah peraturan SNI 1725:2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Beban-beban yang akan direncanakan meliputi:

E.1 Beban Permanen

- i. Berat Isi untuk Beban Mati

SNI 1725:2016 mensyaratkan massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian tersebut adalah massa dikalikan percepatan gravitasi (g). Di mana percepatan gravitasi yang digunakan adalah sebesar $9,81 \text{ m/detik}$. Besarnya massa dan berat isi diberikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Berat Isi Material untuk Jembatan

No	Bahan	Berat Isi (kN/m^3)	Kerapatan Massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tulangan (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4	kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8 - 22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,5 – 19,6	1250 - 2000
7	Beton $fc' < 35 \text{ Mpa}$ $35 \text{ MPa} < fc' < 105 \text{ MPa}$	22,0 s/d 25,0 $22 + 0,022 fc'$	2320 $220 + 2,29 fc'$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu (keras)	11,0	1125

ii. Berat Sendiri

Berat sendiri dalam struktur jembatan merupakan berat bagian dari elemen-elemen struktural dan juga elemen-elemen lain

yang dipikul oleh jembatan. Faktor beban untuk berat sendiri diberikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Faktor Beban untuk Beban Permanen

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Bahan	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^u)	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton Cor di Tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

iii. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur rencana jembatan. Faktor beban mati tambahan diberikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS}^s)			
	Keadaan	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^s)	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

E.2 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 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" ditetapkan per lajur lalu lintas rencana.

E.3 Lajur Lalu Lintas Rencana

Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam tabel 4 berikut.

Tabel 4. Ketentuan Jumlah Lajur Jembatan

Tipe Jembatan	Lebar Bersih Jembatan (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana
Satu Lajur	$3000 \leq w \leq 5250$	1
	$5250 \leq w < 10000$	2
Duar Arah, Tanpa Median	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
	$5500 \leq w \leq 8000$	2
Dua Arah, Dengan Median	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 16250$	5

 $w \geq 16500$

6

E.4 Beban Lajur

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada gambar. Adapun faktor yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ^s_{TD})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{TD})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

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

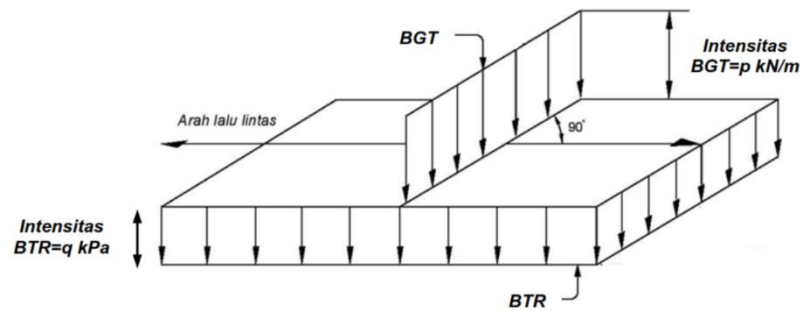
$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

Keterangan:

L : Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Q : intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

Sedangkan untuk beban garis (BGT) besarnya adalah 49,0 kN/m dan ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan, seperti terlihat pada Gambar 13 di bawah.



Gambar 13. Beban Lajur "D"

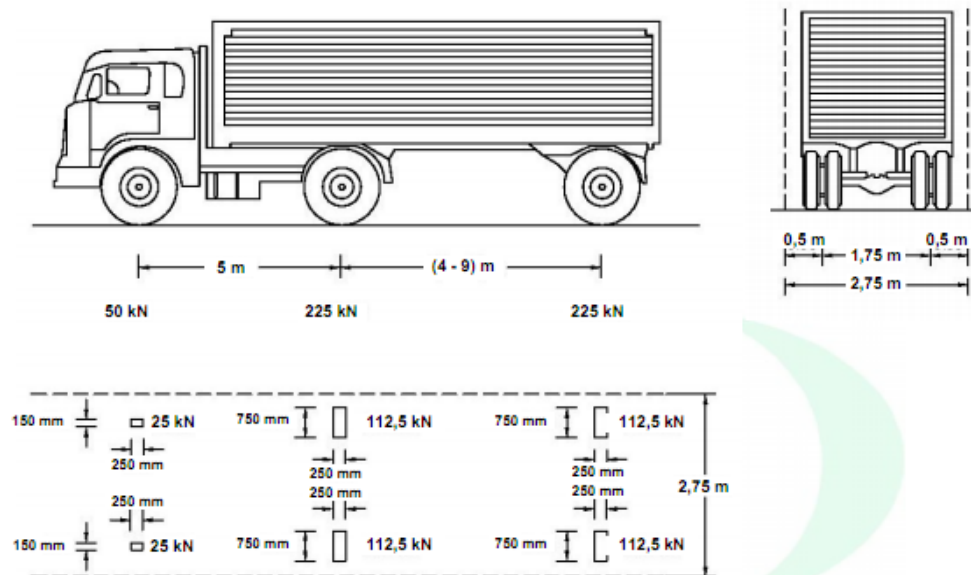
E.5 Beban Truk

Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" diberikan pada tabel 6 berikut:

Tabel 6. Faktor Pembebanan untuk Beban Truk

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ($\gamma^{s_{TT}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{u_{TT}}$)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Untuk besarnya pembebanan truk "T", diklasifikasikan pada gambar 14 berikut:



Gambar 14. Konfigurasi Beban Truk

E.6 Beban Angin

i) Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin yang direncanakan diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air,

kecepatan angin rencana, VDZ, harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

Keterangan:

V_{DZ} : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_o : Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

V_{10} : Kecepatan angin rencana pada elevasi 1000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B : Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan pada dalam SNI 1725:2015 pasal 9.6.1.1 dan pasal 9.6.2

Z : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 1000$ mm)

Z_o : Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan.

- Jika tidak ada data yang lebih baik, dapat diasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 7. Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

ii) Beban Angin Pada Struktur

SNI 1725:2016 mensyaratkan apabila dibenarkan oleh kondisi setempat, kecepatan angin dasar yang berbeda dapat digunakan untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam Pasal 9.6.3 SNI 1725:2016. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Keterangan:

P_B : Tekanan angin dasar yang ditentukan oleh tabel oleh SNI 1725 : 2016 seperti Tabel 8 dibawah ini (MPa)

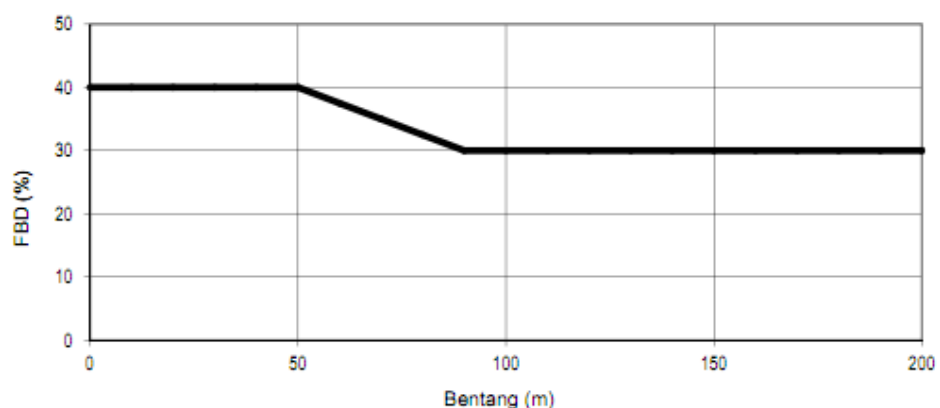
Tabel 8. Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, Kolom dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

E.7 Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) diterapkan untuk beban truk rencana, sedangkan untuk gaya sentrifugal, gaya rem, tidak perlu diperbesar dengan faktor beban dinamis. Faktor beban dinamis juga tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata (BTR). Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai ada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. FBD dihitung berdasarkan panjang bentang sesuai dengan gambar 15.



Gambar 15. Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Untuk Pembebanan Lajur "D"

E.8 Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil dari yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan jumlah lajur lalu lintas rencana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

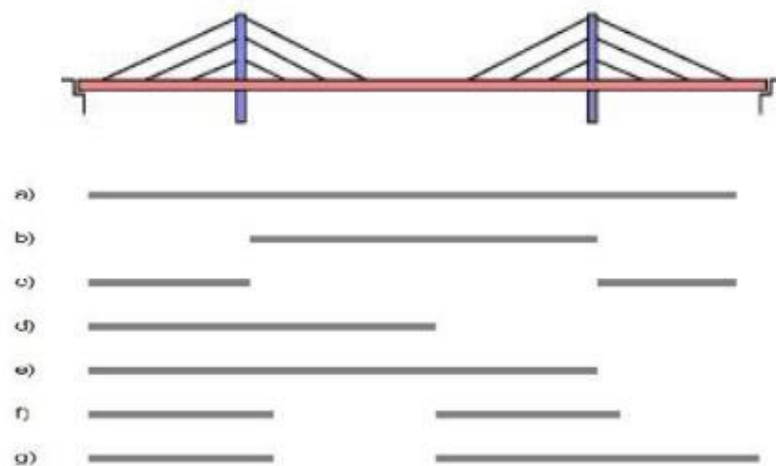
E.9 Beban Pejalan Kaki

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya.

E.10 Konfigurasi Beban Hidup

Beban hidup diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh gaya-gaya yang maksimum dari masing-masing komponen gaya dalam.

Menggunakan pendekatan konfigurasi beban hidup pada Pasal 10.1 SEM PU No. 08/SEM/M/2015, untuk jembatan beruji kabel yang memiliki tiga bentangan, kombinasi beban hidup mengikuti tujuh konfigurasi utama berikut:



Gambar 16. Konfigurasi Beban Hidup Jembatan Cable Stayed

E.11 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan ditentukan berdasarkan Tabel 1 SNI 1725 2016. Notasi dari beban-beban yang dianalisa adalah sebagai berikut:

- Beban Mati Struktur (MS)
- Beban Mati Tambahan (MA)
- Beban Jalur D (TD)
- Beban Truk (TT)
- Beban Rem (TB)
- Beban Pejalan Kaki (TP)
- Beban Angin pada Struktur (EW_s)
- Beban Angin pada Kendaraan (EW_L)