

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Studi pustaka ataupun studi literatur merupakan suatu pembahasan materi berdasarkan sumber dari referensi-referensi yang telah dipergunakan dengan tujuan untuk memperkuat isi materi maupun sebagai dasar untuk perhitungan perencanaan dalam laporan tugas akhir ini.

Proses perencanaan jembatan yang terstruktur dan sistematis sangat diperlukan untuk menghasilkan produk perencanaan yang efektif dan efisien. JICA-1977 merekomendasikan Dasar-dasar Perencanaan Jembatan antara lain adalah :

Lokasi dan Alinyemen

Jembatan biasanya dirancang menurut trase lintasan tertentu yang diperoleh berdasarkan kesatuan pertimbangan dalam penentuan trase dan rancangan geometri jalannya. Dalam hal ini terkait dengan pertimbangan kehandalan alinyemen, stabilitas struktur, kemudahan pelaksanaan, pemeliharaan, dan pertimbangan ekonomi.

Faktor Eksternal

Permasalahan awal didalam perencanaan jembatan adalah penetapan panjang, bentang efektif, posisi pangkal dan pilar jembatan, arah lintasan, kebebasan ruang, dan penurunan pondasi. Faktor-faktor ini sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, kekuatan tanah dasar, karakteristik perlintasan (sungai atau jalan), dan kondisi lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu sangat diperlukan survei yang memadai sesuai faktor-faktor yang dipertimbangkan tersebut.

Stabilitas Struktur dan Pertimbangan Ekonomi

Secara struktural, jembatan yang dirancang harus cukup stabil (kuat, kokoh, stabil). Akan tetapi perlu juga dipertimbangkan aspek ekonomi. Perancangan alternatif termasuk didalamnya pelaksanaan konstruksi atau metode pelaksanaannya dilakukan untuk pertimbangan pemilihan alternatif terbaik.

Pertimbangan Pelaksanaan dan Pemeliharaan

Faktor biaya dalam skala mikro jangka pendek maupun makro jangka panjang biasanya menjadi faktor yang dominan dalam perancangan jembatan. Biaya pelaksanaan maupun pemeliharaan menjadi sangat penting. Sehingga pertimbangan pelaksanaan dan pemeliharaan tersebut perlu mendapat perhatian yang memadai.

Standarisasi

Dalam perencanaan jembatan, kesesuaian panjang dan tipe jembatan biasanya diuji secara individual setiap jembatan, tetapi pada tahap akhir perencanaan perlu dilakukan koordinasi secara keseluruhan dengan menganalisis seluruh jembatan yang diprogramkan. Dalam penanganan jembatan dengan kuantitas yang besar, produksi massal komponen jembatan menjadi lebih efisien dan efektif dibandingkan produksi satu persatu. Sehingga standarisasi jembatan baik menurut tipe, ukuran, kespesifikan rancangan, kemudahan pengawasan dan pelaksanaan perlu dilakukan.

Stabilitas Pelayanan dan Kenyamanan

Kondisi alinyemen termasuk komponen struktur jembatan khususnya pada sambungan-sambungan sangat berpengaruh terhadap pelayanan jembatan dan kenyamanan kendaraan yang melaluinya. Sehingga dalam perancang jembatan, faktor keamanan dan kenyamanan jembatan dalam melayani kendaraan yang melaluinya perlu dipertimbangkan.

Aspek Keindahan (Aestetika)

Dalam perancangan struktur jembatan sangat perlu dipertimbangkan aspek keindahan elemen jembatan sejauh masih dalam jangkauan pertimbangan ekonomi, sehingga jembatan menjadi indah, serasi, dan menyatu dengan lingkungan sekitarnya.

Beberapa aspek yang perlu ditinjau dan diperlukan nantinya didalam pertimbangan perencanaan jembatan antara lain meliputi :

- Aspek Kondisi Tanah
- Aspek Konstruksi

2.2 Aspek Kondisi Tanah

Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan ini meliputi tinjauan terhadap data-data tanah yang ada seperti : nilai kohesi, sudut geser tanah, γ tanah, nilai California Bearing Ratio (CBR), kadar air tanah dan void ratio, agar dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kedalaman serta dimensinya. Selain itu data-data tanah diatas juga dapat untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan lereng (stabilitas tanah) guna mendukung keamanan dari struktur yang akan dibuat. Penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi jembatan dan jalan pendekat oprit, dimasukkan untuk mengetahui daya dukung tanah (DDT) dilakukan dengan penyelidikan laboratorium terhadap contoh tanah timbunan yang akan digunakan. Selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran, dan sifat-sifatnya dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengetesan di laboratorium.

Penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi jembatan dimaksudkan untuk mengetahui daya dukung tanah dasar setempat untuk perencanaan pondasi jembatan, daya dukung tanah (DDT) dilakukan dengan penyelidikan boring dan sondir selanjutnya untuk mengetahui jenis, ukuran, dan sifat-sifatnya dilakukan pengujian tanah, baik secara visual di lapangan maupun pengetesan di laboratorium mekanika tanah, kemudian dengan pemboran serta pengambilan contoh tanah dan lokasi asli dapat memberikan informasi yang benar dan lebih teliti. Secara umum hal-hal yang diperlukan untuk perencanaan pondasi jembatan antara lain sebagai berikut:

- Kemampuan tanah (DDT)
- Penurunan yang terjadi harus minimal
- Jika terjadi penurunan harus merata
- Tegangan yang terjadi harus lebih kecil dari daya dukung tanah (DDT)

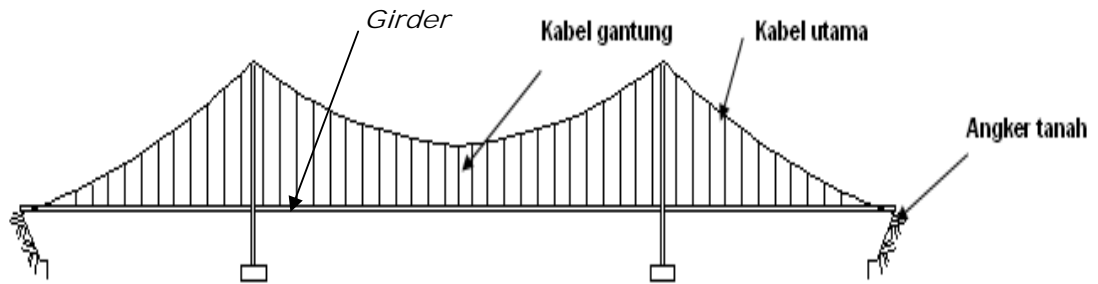
2.3 Aspek Konstruksi

Pada aspek konstruksi memerlukan perhatian yang khusus karena menyangkut keamanan dari struktur, oleh karena itu dalam perancangan dimensi selalu memperhatikan beban-beban yang bekerja pada bangunan yang berkaitan dengan umur rencana dari bangunan itu, sehingga bangunan tersebut akan berfungsi sebagai mana yang diharapkan dalam waktu yang telah direncanakan. Aspek konstruksi jembatan yang ditinjau meliputi komponen struktur jembatan, aspek pembebanan jembatan, rumus perhitungan untuk konstruksi atas (*upper structure*), dan rumus – rumus perhitungan untuk konstruksi bawah (*sub structure*).

2.3.1 Pengertian Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

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 gantung (*suspension cables*) 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 horisontal akibat beban-beban yang bekerja.

Sistem jembatan ini merupakan sistem yang mampu mengakomodasi bentang terpanjang dari semua sistem struktur jembatan yang ada, sistem ini juga sudah biasa menjadi *landmark* bagi kota-kota besar di dunia yang menggunakan sistem jembatan ini, contoh penggunaan sistem jembatan ini adalah jembatan Golden Gate San Fransisco Amerika Serikat.



Gambar 2.1. Bentuk sistem struktur jembatan gantung

2.3.2 Komponen Struktur Jembatan

Komponen atau bagian-bagian jembatan meliputi komponen struktur atas, komponen struktur bawah, dan bangunan pelengkap jembatan.

Komponen utama bangunan atas jembatan (*upper structure*) meliputi :

- Lantai jembatan
- Rangka utama jembatan
- Gelagar memanjang (*stringer*)
- Gelagar melintang (*cross girder*)
- Pertambatan angin (*bracing*)
- Kabel gantung (*suspension cables*)
- Kabel utama (*main cable*)
- Pylon
- Tumpuan jembatan (*elastomeric*), *seismic buffer*
- *Side walk* / trotoar, *hand rail* (rel pegangan /pengaman), sambungan (*joint*), elastomer, plat injak.

Komponen utama bangunan bawah jembatan (*substructure*) meliputi :

- Abutment atau pangkal jembatan
- Pondasi jembatan
- Angkur blok

Bangunan pelengkap jembatan meliputi :

- Tembok samping dan tembok muka
- Dinding penahan tanah (*retaining wall*)
- Pelindung lereng (*slope protection*)

- Pelindung erosi dan gerusan (*scouring*)
- Drainase jembatan

2.3.3 Aspek Pembebanan Jembatan

Secara umum jembatan standar yang ada di Indonesia adalah jembatan jalan raya dan jalan rel. Fungsi utama dari struktur jembatan adalah memikul beban lalu lintas yang melintasinya, sehingga pemahaman terhadap karakteristik beban adalah sangat penting, dimana penggunaan yang sifatnya massal dituangkan dalam peraturan pembebanan jembatan.

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Penggunaan pedoman dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jalan raya meliputi data-data beban primer, beban sekunder dan beban khusus serta persyaratan perencanaan untuk penyebaran beban, kombinasi pembebanan, syarat ruang bebas dan penggunaan beban hidup tidak penuh.

Beban-beban yang bekerja pada suatu jembatan berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya SKBI – 1.3.28.1994 UDC : 624.042 : 642.21, antara lain :

A. Beban Primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

1. Beban Mati

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

2. Beban Hidup

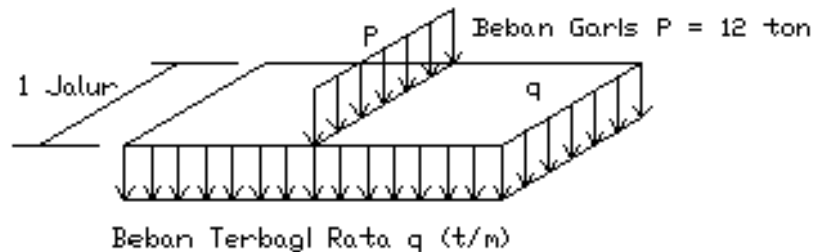
Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup pada jembatan yang harus ditinjau dinyatakan dalam dua macam, yaitu beban "T" yang merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan dan beban "D" yang merupakan beban jalur untuk gelagar.

- Beban "T"

Beban "T" adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.

- Beban "D"

Untuk perhitungan kekakuan gelagar-gelagar harus digunakan beban "D". Beban "D" atau beban lajur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar "q" ton per meter panjang per jalur, dan beban garis "P" ton per jalur lalu lintas tersebut. Beban "D" adalah seperti tertera pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.2 Beban "D"

Besar q ditentukan sebagai berikut :

$$q = 2,2 \text{ t/m}^{\prime} \dots\dots\dots \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 2,2 \text{ t/m}^{\prime} - 1,1/60 \times (L - 30) \text{ t/m}^{\prime} \dots\dots\dots \text{untuk } 30\text{m} < L < 60 \text{ m}$$

$$q = 1,1 \times (1 + 30/L) \text{ t/m}^{\prime} \dots\dots\dots \text{untuk } L > 60 \text{ m}$$

dimana :

L = panjang dalam meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan.

t/m' = ton per meter panjang, per jalur.

Ketentuan penggunaan beban "D" dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,5 meter, beban “D” sepenuhnya (100%) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100%) dibebankan ada lebar jalur 5,50 meter sedang lebar selebihnya dibebani anya separuh beban “D” (50%).

- **Beban pada Trotoar, Kerb dan Sandaran**

Konstruksi trotoar harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m². Dalam perhitungan kekuatan gelagar karena pengaruh beban hidup pada trotoar, diperhitungkan beban sebesar 60% beban hidup pada trotoar.

Kerb yang terdapat pada tepi-tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk menahan satu beban hrizontal ke arah melintang jembatan sebesar 500 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 kg/m’, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoar.

3. Beban Kejut

Untuk memperhitungkan pengaruh-pengaruh getaran-getaran dan pengaruh-pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan akibat beban garis “P” harus dikalikan dengan koefisien kejut yang akan memberikan hasil maksimum, sedangkan beban merata “q” dan beban “T” tidak dikalikan dengan koefisien kejut. Koefisien kejut ditentukan dengan rumus :

$$K = 1 + 20 / (50 + L)$$

Dimana :

K = koefisien kejut

L = panjang bentang dalam meter

Koefisien kejut tidak diperhitungkan terhadap bangunan bawah apabila bangunan bawah dan bangunan atas tidak merupakan satu kesatuan.

4. Gaya akibat Tekanan Tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai dengan rumus-rumus yang ada.

B. Beban Sekunder

Beban sekunder adalah beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

1. Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar 150 kg/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horisontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu prosentase tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 (dua) meter diatas lantai kendaraan.

Dalam menghitung jumlah luas bagian-bagian sisi jembatan yang terkena angin dapat digunakan ketentuan sebagai berikut :

- Untuk jembatan gelagar penuh diambil sebesar 100% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 50% luas bidang sisi lainnya.
- Untuk jembatan rangka diambil sebesar 30% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 15% luas bidang sisi-sisi lainnya.

2. Gaya akibat Perbedaan Suhu.

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan struktural karena adanya perubahan bentuk akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat. Pada umumnya pengaruh perbedaan suhu tersebut dapat di hitung dengan mengambil perbedaan suhu untuk :

- Bangunan baja : - Perbedaan suhu maksimum-minimum = 30°C
 - Perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan = 15°C
- Bangunan Beton : - Perbedaan suhu maksimum-minimum = 15°C
 - Perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan $< 10^{\circ}\text{C}$, tergantung dimensi penampang.

3. Gaya Rangkak dan Susut

Pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap konstruksi, harus di tinjau. Besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15°C .

4. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban "D" tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada, dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter diatas permukaan lantai kendaraan.

5. Gaya akibat Gempa Bumi

Jembatan yang akan dibangun pada daerah-daerah dimana diperkirakan terjadi pengaruh-pengaruh gempa bumi, harus direncanakan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa bumi tersebut sesuai dengan "Buku Petunjuk Perencanaan Tahan Gempa Untuk Jembatan Jalan Raya 1986".

6. Gaya akibat Gesekan pada Tumpuan-Tumpuan Bergerak

Jembatan harus pula ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian dan penyusutan dari jembatan akibat perbedaan suhu atau akibat-akibat lain. Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau akibat beban mati saja, sedang besarnya ditentukan berdasarkan koefisien gesek pada tumpuan yang bersangkutan.

C. Beban Khusus

Beban khusus adalah beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan.

1. Beban dan Gaya selama Pelaksanaan

Gaya-gaya khusus yang mungkin timbul dalam masa pelaksanaan pembangunan jembatan, harus ditinjau dan besarnya dihitung sesuai dengan cara pelaksanaan pekerjaan yang digunakan.

2. Gaya akibat Aliran Air dan Tumbukan Benda-Benda Hanyutan.

Semua pilar dan bagian-bagian lain dari bangunan jembatan yang mengalami gaya-gaya aliran air, harus diperhitungkan dapat menahan tegangan-tegangan maksimum akibat gaya-gaya tersebut. Gaya tekanan aliran air adalah hasil perkalian tekanan air dengan luas bidang pengaruh pada suatu pilar, yang dihitung dengan rumus :

$$Ah = k \times Va^2$$

Dimana :

Ah = tekanan aliran air (ton/m²)

Va = kecepatan aliran air yang dihitung berdasarkan analisa hidrologi (m/dt), bila tidak ditentukan lain maka : Va = 3 m/dt.

k = koefisien aliran yang tergantung bentuk pilar yang dapat diambil menurut tabel berikut.

Tabel 2.1. Koefisien Aliran (k)

Bentuk depan pilar	k
Persegi (tidak disarankan)	0,075
Bersudut ≤ 30 derajat	0,025
bundar	0,035

Sumber : PPJJR tahun 1994

3. Gaya Angkat

Bagian-bagian dasar bangunan bawah pada rencana pondasi langsung atau pondasi terapan harus diperhitungkan terhadap gaya angkat yang mungkin terjadi.

D. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja.

Tabel 2.2 Kombinasi Pembebanan dan Gaya

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan Yang Digunakan Dalam Prosen Terhadap Tegangan Izin Keadaan Elastis
I. $M + (H + K) + Ta + Tu$	100%
II. $M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125%
III. Komb. (I) + $Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140%
IV. $M + Gh + Tag + Gg + Ahg + Tu$	150%
V. $M + Pl$	130%
VI. $M + (H + K) + Ta + S Tb$	150%

Sumber : PPJJR Tahun 1994

Dimana :

A = beban angin

Ah = gaya akibat aliran dan hanyutan

Ahg = gaya akibat aliran dan hanyutan pada waktu gempa

Gg	= gaya gesek pada tumpuan bergerak
Gh	= gaya horisontal ekuivalen akibat gempa bumi
$(H+K)$	= beban hidup dengan kejut
M	= beban mati
Pl	= gaya-gaya pada waktu pelaksanaan
Rm	= gaya rem
S	= gaya sentrifugal
SR	= gaya akibat susut dan rangkai
Tm	= gaya akibat perubahan suhu
Ta	= gaya tekanan tanah
Tag	= gaya tekanan tanah akibat gempa bumi
Tb	= gaya tumbuk
Tu	= gaya angkat

2.3.4 Rumus Perhitungan untuk Konstruksi Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas merupakan bagian atas dari suatu jembatan yang berfungsi untuk menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas, orang atau kendaraan atau lainnya, yang kemudian menyalurkannya ke bangunan bawah.

Adapun dasar pembahasan untuk perhitungan dengan menggunakan metode tersebut di atas adalah sebagai berikut.

2.3.4.1 Sandaran (*Railling*)

Sandaran merupakan pembatas pada pinggiran jembatan, sehingga memberikan rasa aman bagi pengguna jembatan yang melewatinya. Konstruksi sandaran terdiri dari :

- Tiang sandaran (*Raill post*)

Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang untuk jembatan dengan girder beton atau profil baja. Sedangkan untuk jembatan rangka baja, tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.

- Sandaran (*Hand raill*)

Sandaran biasanya terbuat dari pipa besi, kayu, beton bertulang.

Tiang-tiang sandaran pada setiap tepi trotoir harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horisontal sebesar 100 kg/m, yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoir.

2.3.4.2 Trotoir

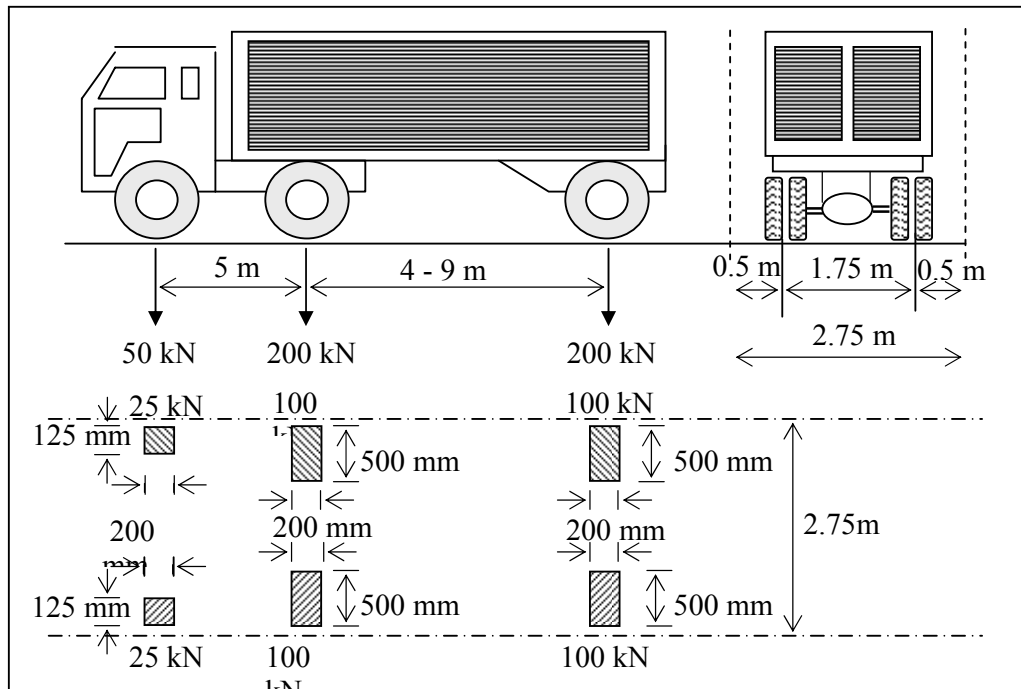
Trotoir direncanakan sebagai pelat beton yang diletakkan pada pelat lantai jembatan bagian samping yang diasumsikan sebagai pelat yang tertumpu sederhana pada pelat lantai jembatan. Konstruksi trotoir direncanakan mampu mendukung :

- Beban mati berupa berat sendiri trotoir
- Beban hidup merata sebesar 500 kg/m²
- Beban mati akibat tiang sandaran
- Beban akibat kerb, yaitu satu beban horisontal ke arah melintang jembatan sebesar 500 kg/m yang bekerja pada puncak kerb atau 25 cm di atas lantai kendaraan apabila kerb yang bersangkutan lebih tinggi dari 25 cm.

Dalam perhitungan kekuatan gelagar karena pengaruh beban hidup trotoir, diperhitungkan beban sebesar 60% beban hidup trotoir.

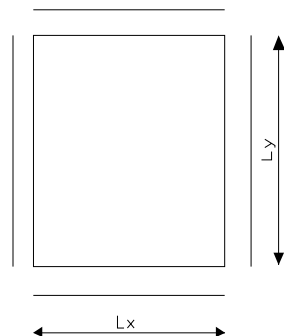
2.3.4.3 Perhitungan Plat Lantai Kendaraan

Untuk perhitungan plat lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan, harus digunakan beban "T". Beban "T" adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (dual wheel load) sebesar 10 ton dengan ukuran-ukuran seperti tertera pada gambar.



Gambar 2.3. Beban "T"

Untuk mendapatkan momen desain dari beban mati yaitu beban plat lantai berdasarkan buku Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (CUR 4) adalah sebagai berikut :



$$M_{Lx} = 0,001 W_u L_x^2 x$$

$$M_{Ly} = 0,001 W_u L_x^2 x$$

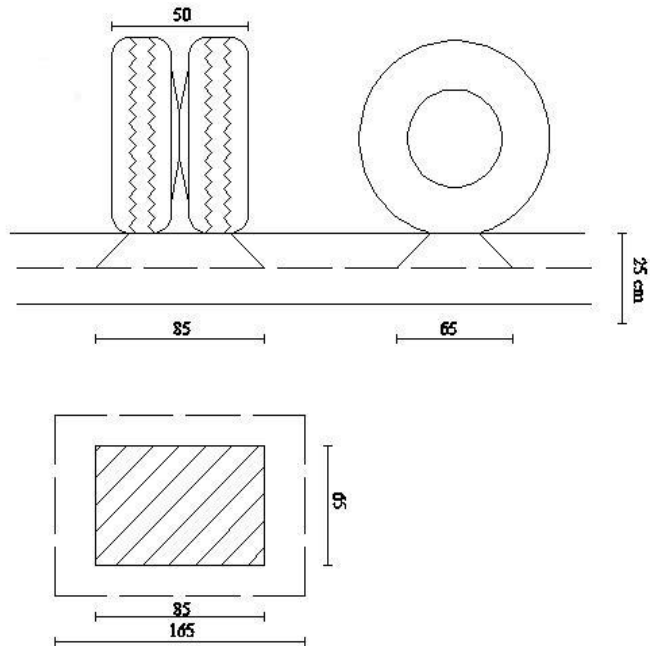
$$M_{tx} = - 0,001 W_u L_x^2 x$$

$$M_{ty} = - 0,001 W_u L_x^2 x$$

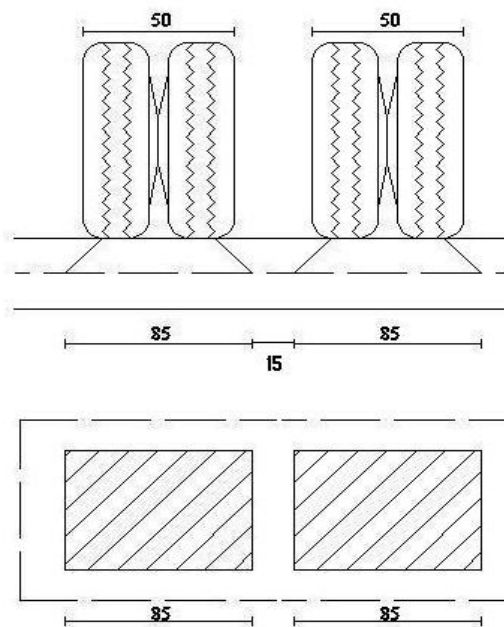
Gambar 2.4. Skema penyaluran beban pada plat

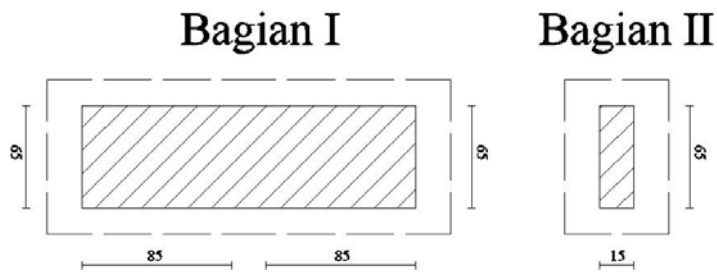
Untuk mendapatkan momen desain dari beban hidup lalu-lintas yang diharapkan, maka penyebaran beban "T" harus dikonfigurasi sehingga dapat menghasilkan pengaruh maksimum. Konfigurasi penyebaran beban "T" adalah

pada saat satu roda berada di tengah-tengah plat lantai dan pada saat dua roda berada di tengah-tengah plat lantai.



Gambar 2.5. Beban "T" satu roda di tengah plat

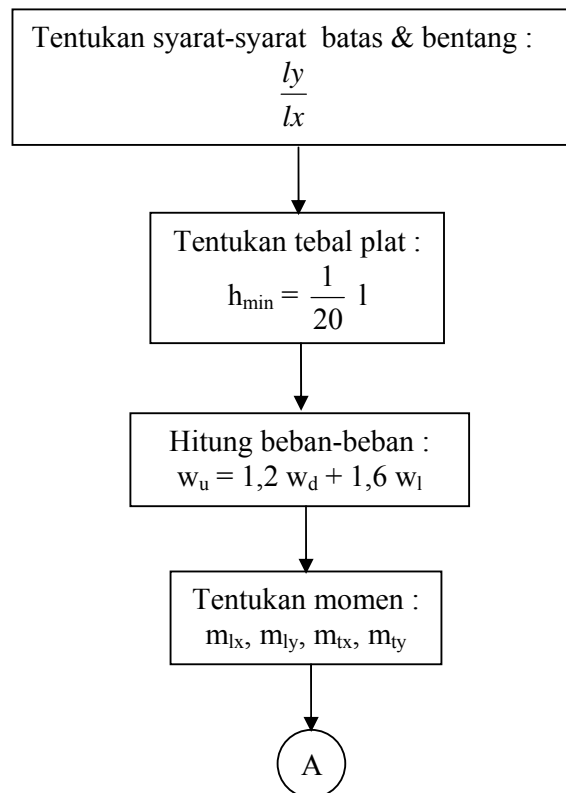


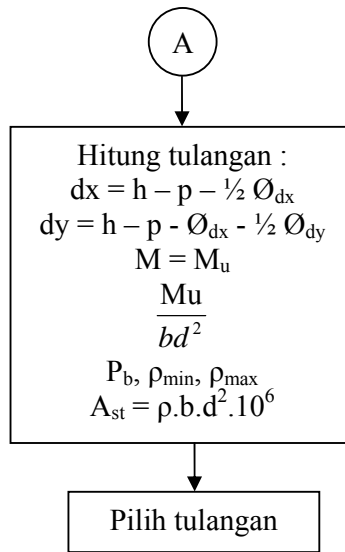


Gambar 2.6. Beban "T" dua roda di tengah plat

2.3.4.4 Perhitungan Penulangan Plat Lantai Kendaraan

Tahapan perencanaan penampang pelat (VIS, W.C. dan Kusuma, Gideon : CUR 1, Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, 1994, hal 92-93)





2.3.4.5 Gelagar Jembatan (*Stiffening Girder*)

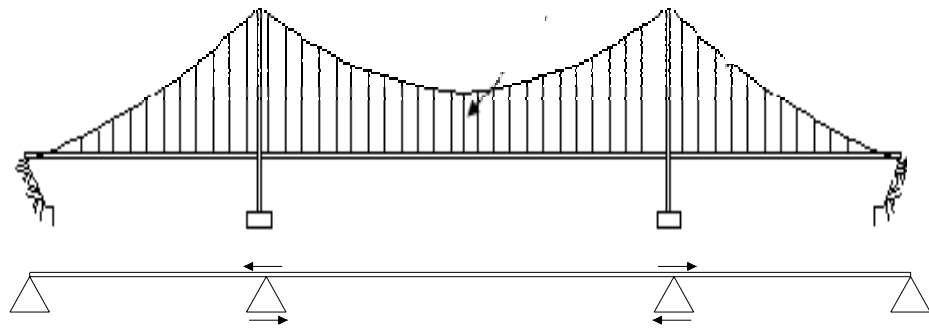
Gelagar jembatan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja di atasnya dan menyalurkannya ke bangunan di bawahnya. Pembebanan gelagar meliputi :

- Beban mati berupa berat sendiri gelagar dan beban-beban yang bekerja di atasnya (pelat lantai jembatan, perkerasan dan air hujan).
- Beban hidup berupa beban "D" atau beban lajur.

Gelagar jembatan yang menyatu dengan plat lantai jembatan merupakan bagian elemen struktur utama yang memikul beban luar kemudian disalurkan ke sistem kabel. Secara umum dukungan sistem kabel sangat efisien dalam menerima beban mati tapi kurang efisien untuk menerima beban lalu lintas dan beban angin. Gelagar akan menerima gaya aksial, gaya lintang, momen, dan torsi.

1. Gaya aksial

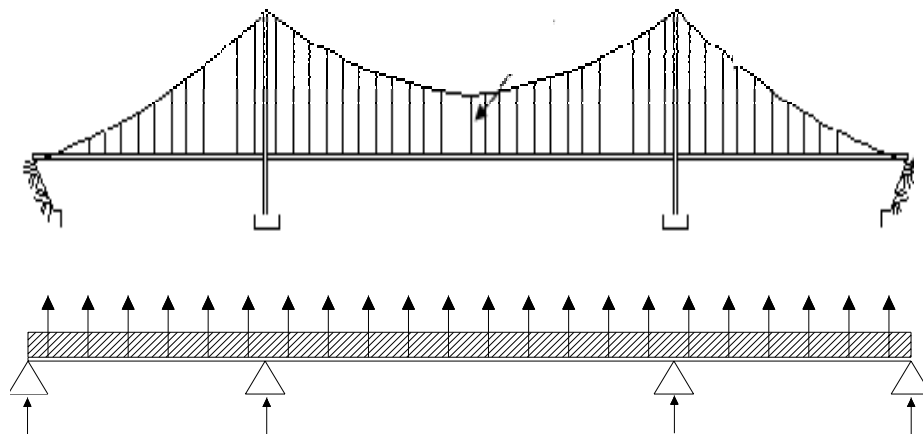
Gaya aksial yang bekerja pada gelagar jembatan ditimbulkan oleh aksi lalu lintas. Gaya aksial pada gelagar disalurkan *phylon* melalui perletakan selagar pada *phylon*.



Gambar 2.7. Gaya aksial disalurkan ke *phylon* melalui perletakan gelagar pada *phylon*

2. Gaya lintang

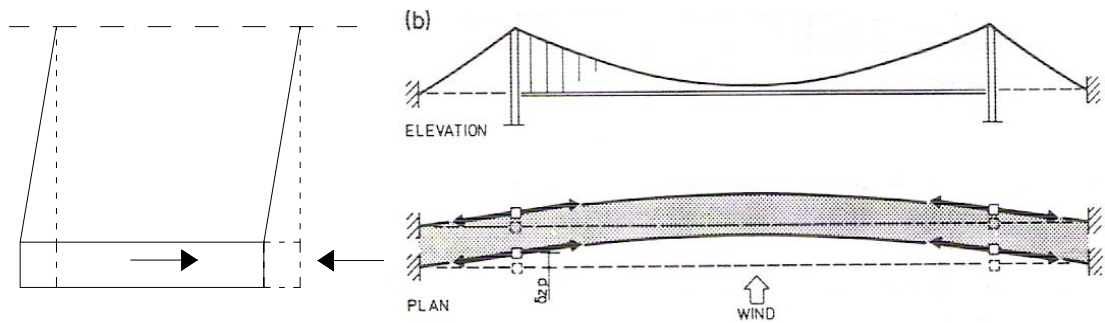
Peran gelagar dalam menyalurkan beban vertikal tergantung dari susunan total sistem struktur. Pada jembatan gantung, kemampuan gelagar untuk menyalurkan gaya dengan memanfaatkan dukungan banyak kabel pada gelagar dan dukungan *phylon*. Dengan mendistribusikan gaya diantara sejumlah kabel menyebabkan gaya desain maksimal pada kabel berkurang dan lendutan plat lantai jembatan berkurang akibat beban terpusat.



Gambar 2.8. Distribusi gaya lintang pada gelagar

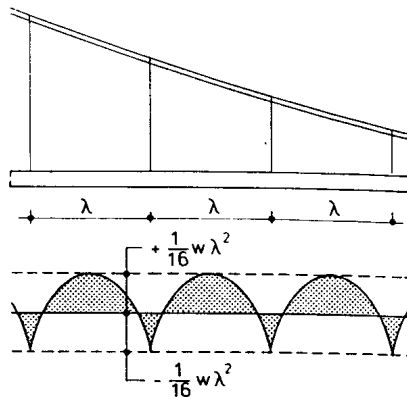
Gaya lintang juga dapat diakibatkan oleh beban luar yang bekerja dalam arah lateral jembatan seperti beban angin dan gempa. Untuk menjaga kestabilan dalam arah lateral diusahakan gelagar harus cukup berat, kaku, dan menerus sehingga deformasi dalam arah lateral berkurang. Agar gelagar cukup kaku maka

pada gelagar dapat dipasang *bracing* atau ikatan angin yang saling menyilang seperti pada gambar di bawah ini. Penyaluran gaya lateral akibat angin atau gempa bekerja pada gelagar dan sistem kabel sehingga menghasilkan momen pada gelagar. Sebagai konsekuensi sebagian beban angin disalurkan angkur kabel pada gelagar dan sebagian lagi disalurkan ke *pylon*.



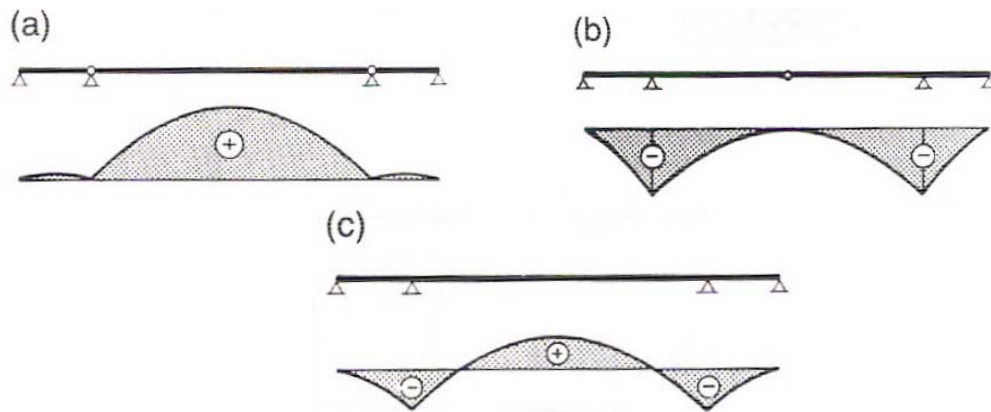
Gambar 2.9 Distribusi gaya pada gelagar dalam arah lateral akibat beban angin

3. Momen



Gambar 2.10 Distribusi momen pada gelagar akibat beban mati

Pada ilustrasi di bawah terdapat tiga sistem struktur gelagar akibat beban vertikal. Pada sistem pertama (a) gelagar tersusun dari 3 balok sederhana sehingga terjadi momen positif pada tengah bentang. Pada sistem kedua (b) pada bagian tengah gelagar terdapat *hinge* atau sendi penghubung sehingga terjadi momen 0 pada tengah bentang dan momen negatif pada *pylon*. Pada sistem ketiga (c) gelagar menerus sehingga terjadi momen positif pada bentang utama dan momen negatif pada *pylon*.

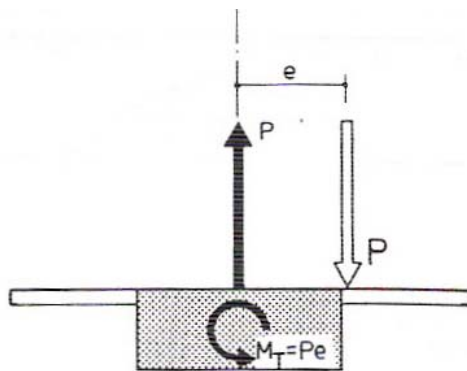


Gambar 2.11. Tiga sistem struktur pada gelagar pada arah memanjang

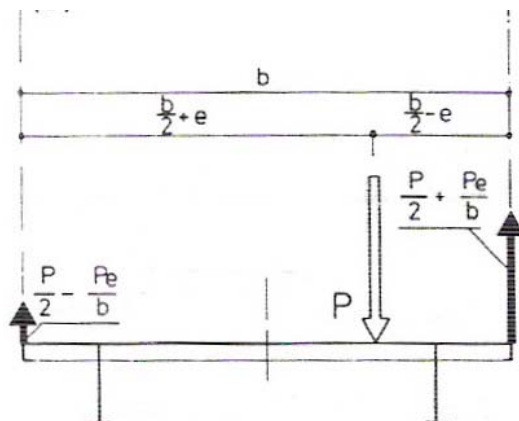
Diagram momen pada gambar diatas terjadi akibat beban luar yang disalurkan dalam bentuk momen pada gelagar. Perubahan dari sistem balok sederhana (a) ke balok menerus (c) akan sangat mengurangi deformasi gelagar pada arah lateral dan longitudinal dan beban yang disalurkan ke sistem kabel akan berkurang. Penggunaan gelagar menerus kurang memberikan pengaruh yang significant pada sistem pengangkutan.

4. Torsi

Perilaku torsi tergantung jumlah sistem kabel. Pada jembatan dengan jenis *two cable plane* pada ujung gelagar torsi tidak terlalu penting tetapi itu sangat menguntungkan dalam distribusi gaya diantara 2 bidang kabel.



Gambar 2.12 Sistem gelagar yang didukung *one cable plane* sehingga terjadi torsi pada gelagar



Gambar 2.13 Sistem gelagar yang didukung *two cable plane* sehingga tidak terjadi torsi pada gelagar

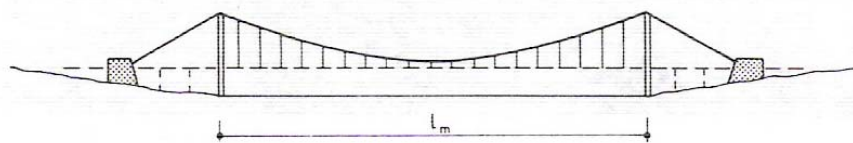
Pada gambar di atas, eksentrisitas gaya (P) didistribusikan ke dua bidang sisi kabel melalui prinsip kesetimbangan gaya sehingga tidak terjadi momen torsi yang terjadi pada gelagar.

2.3.4.6 Sistem Kabel (*cable system*)

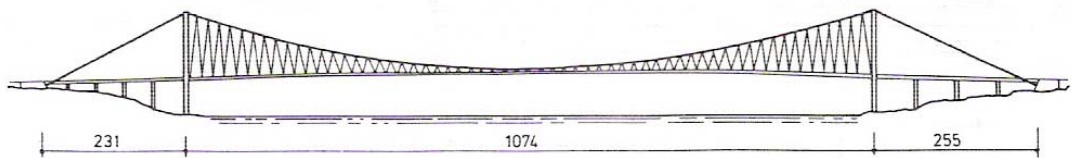
Beberapa hal penting yang harus menjadi perhatian apabila membicarakan kabel pada konstruksi jembatan yaitu *sistem suspensi*, konstruksi dan perilaku kabel, geometri kabel, stabilitas sistem kabel, perilaku deformasi sistem kabel, dan osilasi pada kabel.

2.3.4.6.1 Sistem suspensi

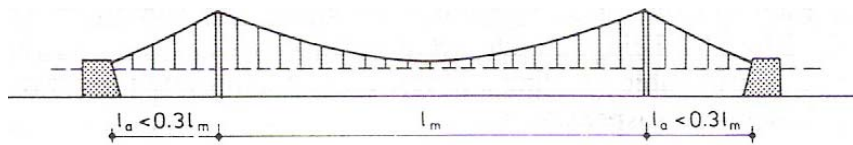
Pada sistem dukungan jembatan gantung, kabel utama didukung 4 titik yaitu 2 titik pada angkur blok dan 2 titik pada *phylon*. Titik dukungan pada angkur blok dapat diasumsikan tetap sedangkan titik dukungan pada ujung atas *phylon* mendukung beban hidup longitudinal. (dikarenakan elastisitas horisontal dari lengan *phylon* yang langsing)



Gambar 2.14. Jembatan gantung dengan bentang pendek terpisah diluar *phylon*



Gambar 2.15 Jembatan gantung dengan hanger menyilang



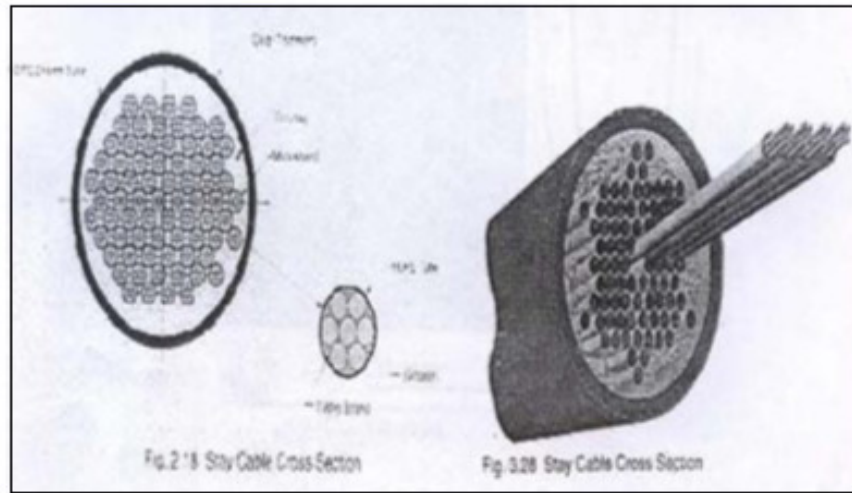
Gambar 2.16 Jembatan gantung 3 bentang dengan bentang ujung pendek

2.3.4.6.2 Konstruksi dan Perilaku Kabel

Beberapa hal penting yang harus menjadi perhatian apabila membicarakan kabel pada konstruksi jembatan yaitu ; material pembentuk, konstruksi dan cara pembuatan. Material dan konstruksi akan mempengaruhi kekuatan, ketahanan dan kekakuan dari kabel berikut ini akan dijelaskan secara detail.

2.3.4.6.2.1 Kabel pada struktur jembatan

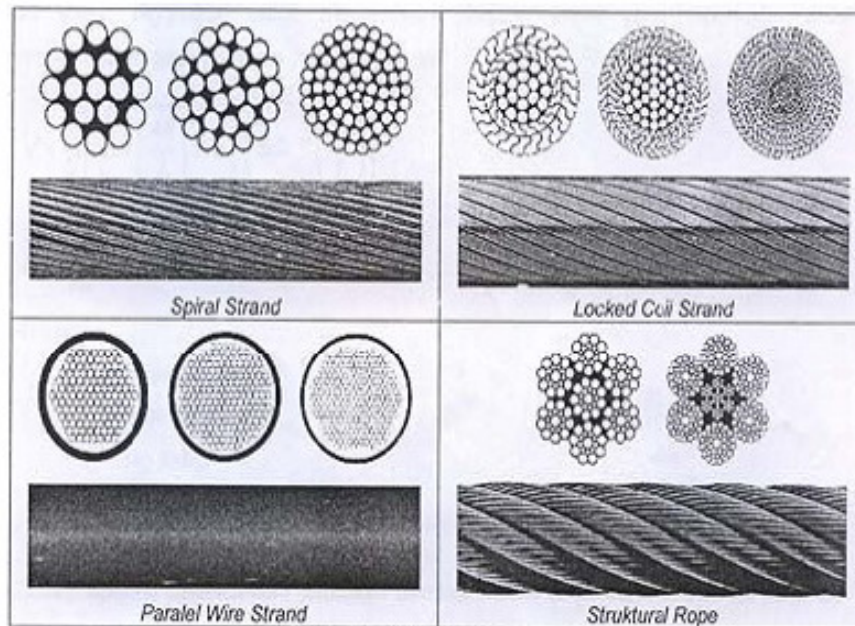
Kabel baja (*steel cable*) merupakan elemen dasar bagi kabel modern yang berfungsi sebagai pendukung jembatan yang biasanya lebih kuat dibanding baja struktur biasa. Dilihat dari segi kekuatannya, kawat baja 5 kali lebih kuat dibanding baja structural lunak (*mild structural steel*) yang umumnya digunakan untuk baja tulangan pada konstruksi beton. Namun daya tahan terhadap perpanjangan saat putus adalah 1/5 kali dibanding baja structural. Hal ini dikarenakan, kandungan karbon pada kawat baja hampir 5 kali dibanding baja structural oleh karena itu kabel baja sulit untuk dilas. Umumnya, konstruksi kabel untuk pendukung jembatan adalah dalam bentuk “strand” (untaian kawat). Strand paling sederhana yang sering ditemui pada jembatan adalah strand dengan 7 buah kawat yang digunakan sebagai tendon pada beton pratekan (*prestressed concrete*). Strand yang dibuat dari 7 buah kawat berdiameter 5 mm terdiri dari sebuah inti kawat (*wire core*) yang dikelilingi 6 kawat sebagai lapisan pertama akan membentuk strand berdiameter 15,3 mm. Konstruksi ini sering disebut dengan 7-wire strand 0,6” dan juga sering dipakai sebagai pada jembatan cable stayed. Tipikal modulus elastisitas nominal dari sebuah kabel 7-wire strand kira-kira 195.000 MPa, lebih rendah 5 – 6 % dibanding satu buah kawat (*single wire/cable*). Pengurangan dari kekakuan ini akibat puntiran kawat-kawat dalam helical *strand*, dimana kurva perpanjangan strand (*curved strand*) tidak seperti pada individual kawat-kawat.



Gambar 2.17. Konfigurasi kabel

2.3.4.6.2.2 Tipe-tipe Kabel

Tipe-tipe kabel yang umumnya ada dipasaran adalah Spiral Strand, Locked Coil Strand, Parallel Wire Strand, Structural Rope.



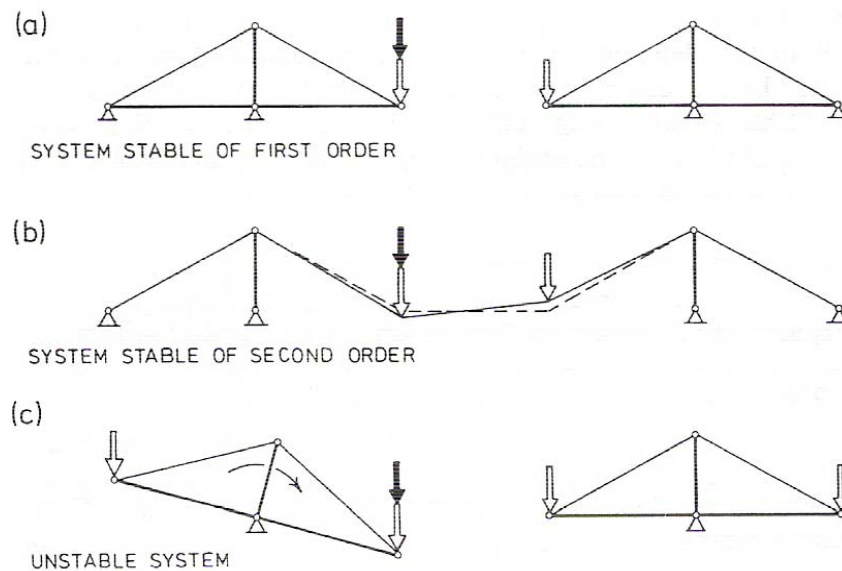
Gambar 2.18. Tipe Struktural Kabel

2.3.4.6.3 Stabilitas Sistem Kabel

Syarat kestabilan jembatan kabel dapat dibagi dalam 3 kelompok :

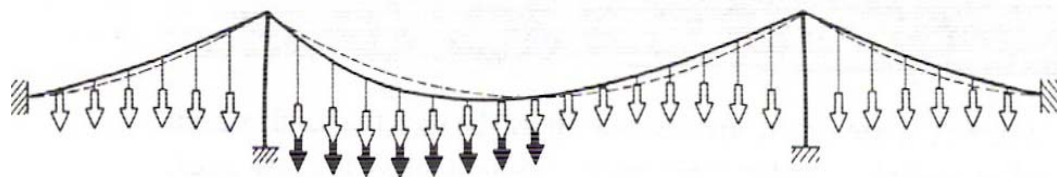
1. Sistem kabel akan stabil bila sistem kesetimbangan tercapai tanpa adanya perpindahan titik manapun pada jembatan.
2. Sistem kabel akan stabil bila sistem kesetimbangan tercapai dengan perpindahan titik akibat beban luar.
3. Sistem kabel akan tidak stabil bila sistem kesetimbangan tidak dapat dicapai hanya oleh sistem kabel itu sendiri.

Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar dibawah



Gambar 2.19 Jembatan gantung akan stabil dalam kondisi (a),(b) dan tidak stabil dalam kondisi (c)

Jembatan gantung (*suspension bridge*) adalah contoh sistem kestabilan kelompok kedua. Pada ilustrasi di bawah perpindahan kabel akibat beban luar.

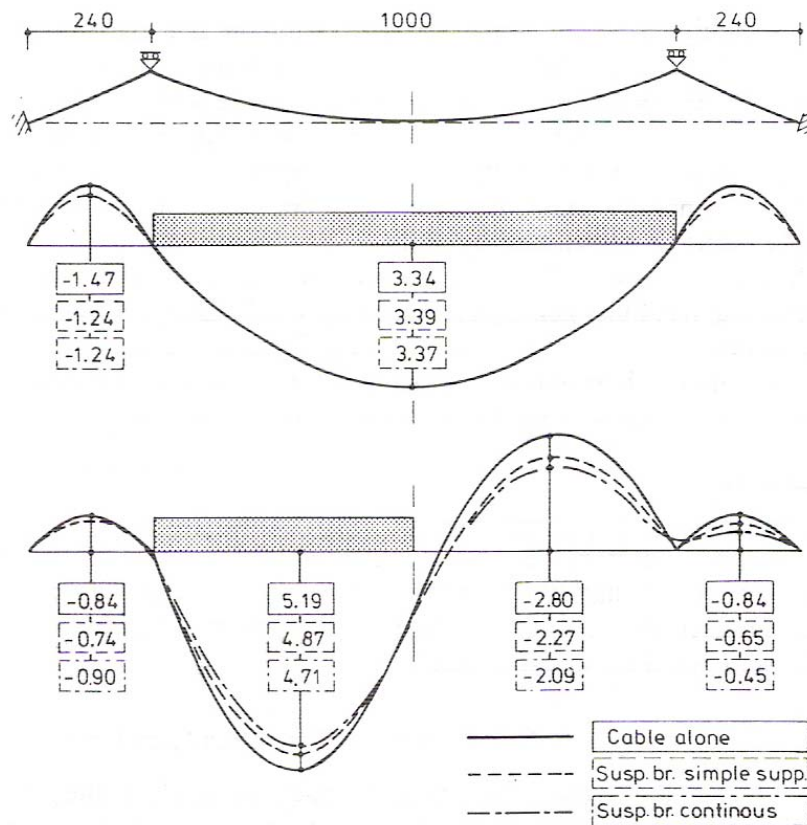


Gambar 2.20. Jembatan gantung akan stabil sesuai model (b)

Beban vertikal pada tiap titik akan meningkatkan gaya tarik pada kabel utama sehingga jembatan gantung akan tetap stabil untuk seluruh beban.

2.3.4.6.4 Teori Deformasi Sistem Kabel

Deformasi jembatan gantung akibat beban lalu lintas yang tidak simetri akan memberikan efek yang berbeda pada bentuk sistem kabel seperti terlihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Perbandingan defleksi pada jembatan gantung dengan gelagar sederhana dan gelagar menerus

Pada gambar 2.21 terlihat defleksi pada 3 sistem yang berbeda yaitu :

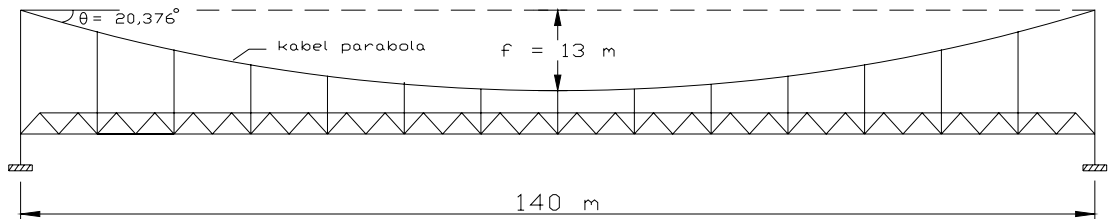
1. Sistem kabel sendiri
2. Jembatan gantung dengan gelagar tersusun seperti balok sederhana
3. Jembatan gantung dengan gelagar menerus

Untuk beban asimetri terdapat perbedaan defleksi pada 3 sistem struktur dengan defleksi terbesar pada kabel murni dan defleksi terkecil pada gelagar menerus.

2.3.4.6.5 Analisa Kabel Pendukung Struktur

Banyak struktur performa tinggi termasuk di dalamnya kabel dan sistem. Analisa dan desain dari sistem kabel adalah topik yang kompleks. Kabel tunggal mempunyai kekakuan non-linier. Dan juga, interaksi antara berbagai kabel harus dipertimbangkan. Agar dapat melakukan analisa dan mendesain struktur yang di dukung kabel, beberapa topik yang berbeda harus tercakup.

1. Kabel Parabola



Gambar 2.22. Kabel parabola

Sag rasio kabel utama :

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

Dengan : n = rasio sag kabel

f = sag maksimum kabel (m)

l = panjang bentang utama (m)

Sudut kabel parabola pada tumpuan (top pylon) :

$$\text{Tan } \theta = \frac{4f}{l}$$

Gaya horizontal :

$$H = T \cos \theta$$

Dengan : H = gaya horizontal kabel (kg)

T = tegangan main cable maksimum (kg)

θ = sudut kabel pada top pylon

Panjang kabel parabola :

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

Dengan : L = panjang kabel parabola (m)

l = panjang bentang utama (m)

n = rasio sag

Pemanjangan elastis kabel :

$$\Delta L = \frac{L}{l} \times \frac{HL}{EA}$$

Dengan : L = panjang kabel parabola (m)

H = gaya horizontal (kg)

l = panjang bentang utama (m)

E = modulus elastisitas kabel baja (kg/m²)

A = luas penampang kabel (m²)

Perubahan panjang bentang akibat lendutan kabel :

$$\Delta l = \frac{\Delta L}{\frac{1}{15} (15 - 40n^2 + 288n^4)}$$

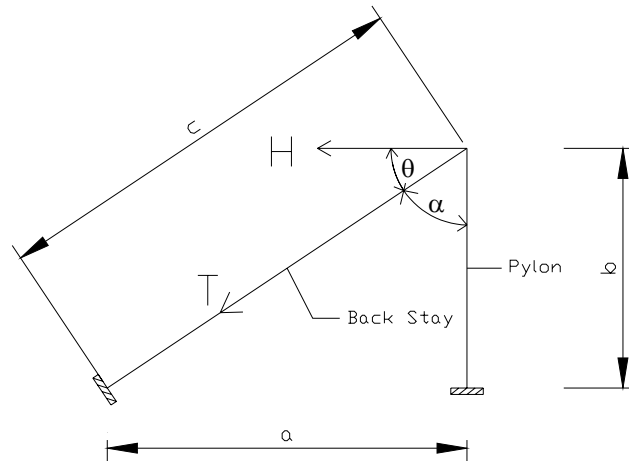
Dengan : L = panjang kabel parabola (m)

n = rasio sag

2. Kabel Straight Backstays

Pada jembatan gantung ini, bentang luar menggunakan *Straight Backstays* . Kabel utama akan lurus dan $f = 0$. Bentang luar akan berperilaku

seperti balok sederhana, tidak terpengaruh oleh beban pada bentang lain. Bentang utama dan tegangan kabel akan tidak terpengaruh oleh beban pada bentang luar.



Gambar 2.23. Kabel backstays

Gaya horizontal :

$$H = T \cos \theta$$

Panjang kabel straight backstays :

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

3. Kompabilitas Lendutan Kabel dan *Truss*

Kabel pada jembatan gantung dengan pengaku tipe rangka batang kaku (*stiffening truss*) akan bersama-sama mendukung beban sesuai dengan prinsip kompabilitas lendutan yaitu lendutan yang terjadi pada jembatan adalah perubahan bentuk dan penambahan panjang kabel serta lendutan dari dek (rangka batang). Kekakuan rangka batang harus diperhitungkan dengan tepat agar kabel benar-benar berfungsi dengan baik. Karena untuk kekakuan rangka batang yang berlebihan dapat menjadikan kabel tidak berfungsi sama sekali.

Hubungan antara kabel dan kekakuan rangka batang dinyatakan dalam bentuk N , yaitu :

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3EI}{Af^2 E_s} (1 + 8n^2)$$

Dengan : E = modulus elastisitas bahan rangka induk (kg/m^2)
 I = momen inersia ekuivalen penampang bahan rangka induk (m^4)
 A = luas penampang kabel utama (m^2)
 E_s = modulus elastisitas kabel baja (kg/m^2)

Dan lendutan pada rangka batang adalah :

$$D = \frac{5Pl^4}{384EI} \times \left(1 - \frac{8}{5N}\right)$$

Dimana :

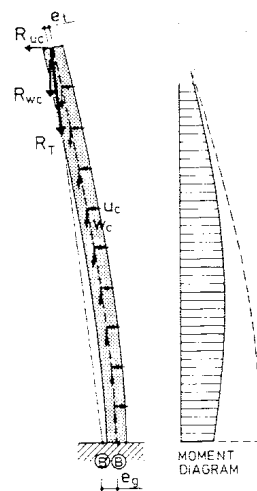
P = beban mati (DL) + beban hidup (LL)

2.3.4.7 Pylon

Pylon berfungsi sebagai penahan beban utama yang timbul dari berat *girder*, beban lalu lintas, distribusi beban disalurkan lewat kabel yang di angkur pada *girder* dan *pylon* sendiri.

Beban yang bekerja pada *pylon* :

- Berat sendiri
- Beban vertikal dan hisontal dari gelagar
- Beban tumpuan atas kabel utama
- Beban angin, gempa lateral

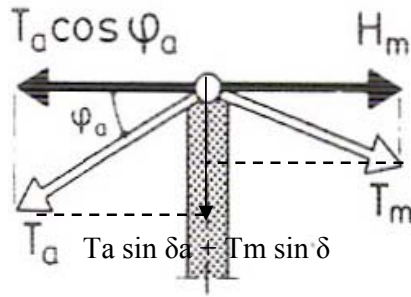


Gambar 2.24 Beban yang bekerja pada *pylon*

Dimana R_t = gaya vertikal akibat defleksi lateral *pylon*

Pada gambar 2.25 terjadi pada *pylon* yang didukung system jembatan gantung dimana defleksi terjadi akibat beban lateral.

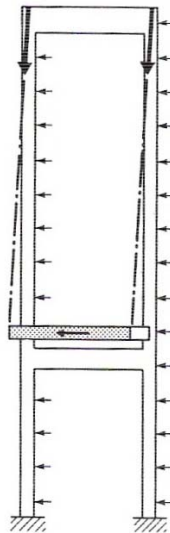
Stabilitas *pylon*



Gambar 2.25 Persamaan kesetimbangan pada bagian atas *pylo*
n

Pada gambar 2.25 merupakan gaya yang disalurkan kabel pada *pylon*. Pada kabel bentang utama terjadi aksial tarik T_m dan pada bentang ujung terjadi aksial tarik T_a . Jika diperhitungkan terhadap sudut kabel maka gaya horisontal pada kabel bentang utama = kabel bentang ujung sehingga tidak terjadi gaya horisontal. $T_a \cos \delta_a = H_m$ sehingga hanya terjadi gaya aksial tekan arah vertikal ke bawah.

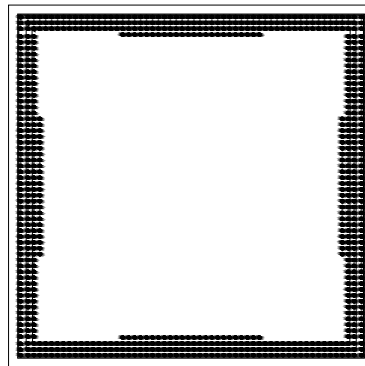
Double Plane System



Gambar 2.26. Tipe *pylon* portal yang didukung angkur tanah / beton

Pylon jenis ini menggunakan sistem dua kabel vertikal (*Two Vertical Cable Planes*), sistem ini mempunyai kekakuan yang tinggi karena mampu menahan beban vertikal, beban transversal dan momen puntir sehingga struktur lebih stabil, struktur ini juga cocok untuk jembatan dengan lebar dan bentang panjang. *Phylon* tipe portal sangat menguntungkan bila didukung system kabel yang terikat pada ankur tanah dan gelagar dalam arah lateral. Dalam kasus tersebut penting dipertimbangkan kekakuan dalam arah transversal. Gaya pada kabel utama akan disalurkan pada *phylon* sehingga pada *phylon* hanya terjadi gaya aksial tekan.

Pylon merupakan bangunan yang perilaku strukturnya sama dengan kolom sedangkan kolom sendiri merupakan struktur utama dari bangunan portal yang berfungsi untuk memikul beban vertikal, beban horizontal maupun beban momen, baik yang berasal dari beban tetap maupun beban sementara.



Gambar 2.27 Penampang pylon

Tahapan perencanaan kolom dengan tulangan pada seluruh sisi, dengan menggunakan biaxial bending. Tahapan-tahapan perhitungan sebagai berikut :

a. Cek Perhitungan Tekuk

Diketahui b_{balok} , h_{balok} , b_{kolom} , h_{kolom} , M_u , P_u , L_u , f'_c , f_y , E_c :

- $I_b = 1/12 \cdot b \cdot h^3$
- $I_k = 1/12 \cdot b \cdot h^3$
- $W_A = W_B = [\sum E \cdot I_k / L_k] / [\sum E \cdot I_b / L_b]$

Berdasarkan Nomogram (Gambar 61 hlm. 98 Buku “Menghitung Beton Bertulang berdasar ACI, SNI“ oleh Ir. Udiyanto) didapat harga k.

- $r = 0.3 \cdot h$ (jari-jari girasi)
- $k \cdot Lu$
- $K = \frac{\dots}{R}$

Untuk rangka bergoyang :

$K > 22 \rightarrow$ pengaruh kelangsingan diperhitungkan

$K < 22 \rightarrow$ pengaruh kelangsingan diabaikan

Untuk rangka tak bergoyang :

$[K > \{34 - 12(M1/M2)\}] \rightarrow$ pengaruh kelangsingan diperhitungkan

$[K < \{34 - 12(M1/M2)\}] \rightarrow$ pengaruh kelangsingan diabaikan

- $I_g = 1/12 \cdot b \cdot h^3$
- $E.I = E_c \cdot I_g \cdot 0.4 / (1 + B_d)$
- $\pi^2 \cdot E \cdot I$
- $P_{cr} = \frac{\dots}{(k \cdot Lu)^2}$
- $C_m = 1$
- $C_s = C_m / [1 - P_u / (\phi \cdot P_{cr})] \geq 1$
- $M_c = C_s \cdot M_u$
- $e_a = M_c / P_u$
- $e_{a_{min}} = 15 + 0.03 \cdot h$

b. Perhitungan Tulangan Pokok (Uniaxial)

- $e_a = M_u / P_u$
- $e = e_a + (h/2) - d''$
- $ab = \frac{\beta_1 \cdot 600 \cdot d}{(600 + f_y)}$
- $a = P_n / (R_l \cdot b)$

- Jika $a < ab$; As digunakan rumus :

$$A_s = A_s' = \frac{P \cdot [(e - d) + P/2 \cdot Rl \cdot b]}{f_y \cdot (d - d')}$$

- Jika $a \geq ab$ atau $A_s = A_s'$ didapatkan hasil negative digunakan rumus :

$$A_s = A_s' = \frac{[P \cdot e - Fb \cdot b \cdot d^2 \cdot Rl \cdot (1 - Fb/2)]}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$= \frac{P \cdot e - Kb \cdot Rl \cdot b \cdot d^2}{f_y \cdot (d - d')}$$

- Jika hasil $A_s = A_s'$ masih negative digunakan rumus :

$$A_s \text{ total} = \frac{P - Rl \cdot A_g}{f_y} \text{ jika hasil masih negative digunakan :}$$

$$(\text{syarat tulangan } 1 - 6\%) \rightarrow A_s = 3\% \cdot A_g$$

- Jika A_s hasil perhitungan $< A_s$ minimum, maka gunakan A_s minimum.

c. Tinjauan Lentur Arah-X dan Arah-Y (Biaxial Bending) :

Prosedur perhitungan apabila diketahui b , h , M_u , dan P_u ialah :

- $M_n = M_u / \phi$ ($\phi = 0.8$)
- $P_n = P_u / \phi$ ($\phi = 0.65$)
- $e_a = M_n / P_n$
- $c b_{x/y} = 600 \cdot d_{x/y} / (600 + f_y)$ dan $a b_{x/y} = \beta_1 \cdot c b_{x/y}$
- $Fb_{x/y} = a b_{x/y} / d_{x/y}$
- $Kb_{x/y} = Fb \cdot (1 - Fb/2)$
- $M_n b_{x/y} = 0.85 \cdot f_c' \cdot Kb_{x/y} \cdot b_{x/y} \cdot d_{x/y}^2 + A_s' \cdot f_y \cdot (d_{x/y} - d')$
- $P_n b_{x/y} = 0.85 \cdot f_c' \cdot b_{x/y} \cdot a b_{x/y}$
- $e_{b_{x/y}} = M_n b_{x/y} / P_n b_{x/y}$
- $e_{x/y} = e_a + h_{x/y} / 2 - d'' < e_{b_{x/y}}$
- Jika $e < e_b$ dan $0.3 d + h/2 - d'' < e_{x/y}$
 $c = c b$
 $d'/c \leq (1 - f_y/600)$, tulangan tekan telah meleleh
 $P_{x/y} = P_o - (e_{x/y} / e_{b_{x/y}})^2 \cdot (P_o - P_n b_{x/y})$
- Jika $e < e_b$ dan $0.3 d + h/2 - d'' > e_{x/y}$

$$P_{x/y} = 0.85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d + f_y \cdot A_{st}$$

- $P_o = 0.85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$

Tinjauan *Biaxial Bending* :

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_o} ; \text{ syarat : } P_i > P$$

Tulangan Geser

Penulangan Geser Dengan Gaya Tekan

- $V = V_u = \dots$ (gaya lintang/geser, dari perhitungan *SAP2000*)
- $P = N_u = \dots$ (gaya normal, dari perhitungan *SAP2000*)
- $V_n = V_u / \phi$ ($\phi = 0.6$)
- $V_c = 0.17 (1 + 0.073 \cdot N_u / A_g) \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$
- Jika $V_c > 0.3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{(1 + 0.3 \cdot N_u / A_g)}$, maka gunakan
 $V_c = 0.3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{(1 + 0.3 \cdot N_u / A_g)}$
- Jika $(V_n - V_c) \geq (2/3) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$, maka ukuran penampang diperbesar
 Jika $(V_n - V_c) < (2/3) \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$, maka penampang cukup
- Jika $V_u < \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser \rightarrow dipakai tul. Praktis
 Jika $V_u \geq \phi \cdot V_c / 2 \rightarrow$ perlu tulangan geser
- Jika $V_u < \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser minimum
 $s = 3 f_y \cdot A_v / b$
 $s = \dots < d/2$, dengan $s = \text{jarak antar tulangan geser dalam arah memanjang (mm)}$
- Jika $V_u \geq \phi \cdot V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser
 $s = \frac{A_v \cdot d \cdot f_y}{V_n - V_c}$, dengan $A_v = \text{luas penampang 2 kaki tul. Geser (mm}^2\text{)}$
 $s = \dots < d/2$
 Bila $(V_n - V_c) \geq 0.33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$, maka
 $s = \dots < d/4$

2.3.5 Struktur Bawah

Pemilihan tipe dan jenis pondasi pada daerah yang berbeda berdasarkan pertimbangan, antara lain sebagai berikut :

- Perkiraan beban yang akan dipikul pondasi
- Daya dukung tanah
- Formasi tanah keras

Jenis pondasi tipikal untuk berbagai kedalaman stratum pendukung (tanah keras) adalah sebagai berikut :

- Pondasi langsung, 0 sampai 3 meter kedalaman ke lapis pendukung.
- Pondasi sumuran, 3 sampai 10 meter ke lapis pendukung.
- Pondasi tiang beton, 10 sampai 20 m kedalaman ke lapis pendukung.
- Pondasi tiang baja, > 10 meter kedalaman ke lapis pendukung.

Yang termasuk struktur bawah dari jembatan sistem kabel gantung antara lain abutment, angkur blok, dan pondasi.

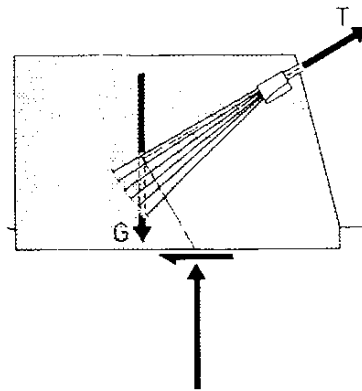
A. Konstruksi angkur tanah

Beban yang bekerja pada angkur tanah berupa beban aksial tarik dari kabel utama. Angkur tanah dipengaruhi oleh :

1. Beban aksial tarik dari kabel utama
2. Las sambungan yang tidak dapat digunakan untuk menyambung kabel baja dengan elemen struktur lainnya.

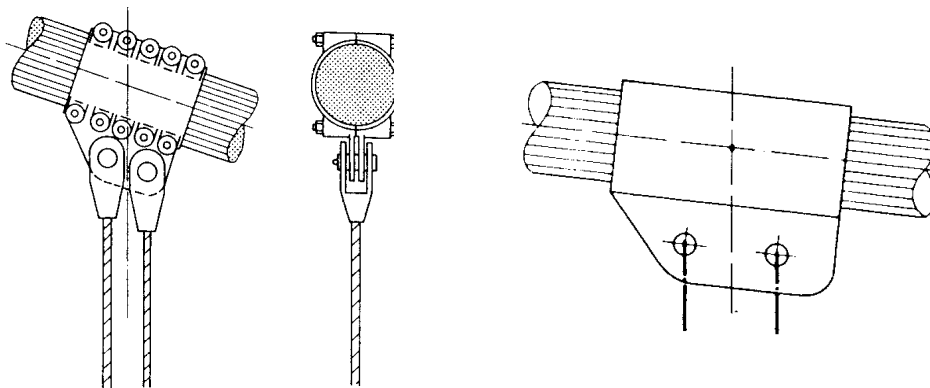
Stabilitas angkur tanah/beton

Angkur tanah harus kuat menahan gaya aksial tarik dari kabel utama. Untuk mengatasi gaya aksial tarik dengan mengandalkan berat dari angkur tanah atau memanfaatkan kekuatan batu bila angkur dibuat di atas batu keras. Angkur akan memberikan gaya reaksi seperti pada gambar di bawah untuk mengatasi beban aksial tarik.



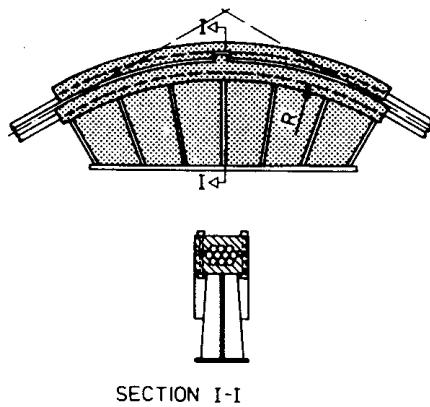
Gambar 2.28 Blok ankur tipe gravitasi

Hubungan kabel utama dengan hanger seperti terlihat pada gambar dibawah



Gambar 2.29 Hubungan hanger dengan kabel utama

Hubungan kabel dengan pylon

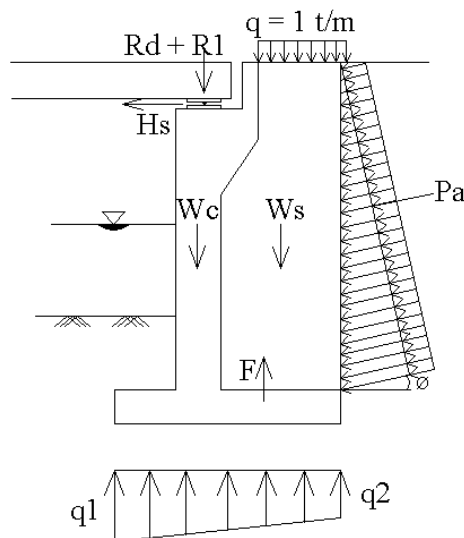


Gambar 2.30 Hubungan kabel utama pada atas pylon

B. Abutment (Pangkal Jembatan)

Abutment berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi dengan fungsi tambahan untuk mengadakan peralihan tumpuan dari timbunan jalan pendekat ke bangunan atas jembatan. Konstruksi abutment harus mampu mendukung beban-beban yang bekerja, yang meliputi :

- Beban mati akibat bangunan atas yaitu gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, trotoir, sandaran, perkerasan dan air hujan.
- Beban hidup akibat bangunan atas yaitu beban merata, beban garis dan beban hidup pada trotoir.
- Beban mati akibat bangunan bawah yaitu berat sendiri abutment, berat tanah timbunan dan gaya akibat tekanan tanah.
- Beban sekunder berupa gaya rem, gaya gempa dan gaya gesekan akibat tumpuan yang bergerak.



Gambar 2.31. Gaya-gaya yang bekerja pada abutment

Dimana :

- R_d = beban mati akibat bangunan atas (t/m)
 R_l = beban hidup akibat bangunan bawah (t/m)
 q = beban pembebanan (1 t/m)

- Hs = gaya horizontal akibat beban sekunder (t/m)
- Wc = beban mati akibat berat sendiri abutment (t/m)
- Ws = beban mati akibat berat tanah timbunan (t/m)
- Pa = gaya tekanan tanah (t/m)
- F = gaya angkat (t/m)
- q₁, q₂ = reaksi pada tanah dasar (t/m²)

C. Pondasi

Pondasi menyalurkan beban-beban terpusat dari bangunan bawah ke dalam tanah pendukung dengan cara demikian rupa sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur keseluruhan. Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, pada Jembatan Jenar Sragen, jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang.

Daya dukung tiang individu didasarkan pada kekuatan bahan tiang dan daya dukung tanah.

- Kekuatan bahan tiang

$$P \text{ tiang} = \sigma \text{ bahan} \times A \text{ tiang}$$

Dimana :

$$\sigma = \text{kuat tekan tiang pancang (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_{\text{tiang}} = \text{luas penampang tiang pancang (cm}^2\text{)}$$

- Daya dukung tanah

Perhitungan daya dukung tiang didasarkan pada rumus Boegemenn, yaitu :

$$P_{\text{all}} = \frac{q_c \times A}{3} + \frac{K \times t_f}{5}$$

Dimana :

$$q_c = \text{nilai conus (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A = \text{luas penampang tiang pancang (cm}^2\text{)}$$

$$K = \text{keliling tiang pancang (cm)}$$

$$TF = \text{total friction (kg/cm)}$$

Sedangkan untuk mencari jumlah tiang pancang, digunakan rumus :

$$n = \frac{P}{Pa_{ll}}$$

Untuk mencari daya dukung kelompok tiang pancang :

$$P_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{n_y \cdot \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{n_x \cdot \sum y^2}$$

Dimana :

P_{\max} = daya dukung kelompok tiang pancang

V = jumlah beban vertikal pada kelompok tiang pancang

n = jumlah tiang pancang

M_x, M_y = momen yang tegak lurus sumbu x, y

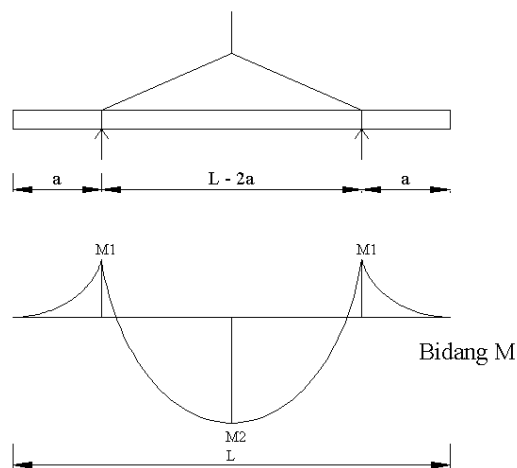
x_{\max}, y_{\max} = absis dan ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat tiang pancang

n_x, n_y = jumlah tiang pancang dalam arah x, y

$\sum x^2, \sum y^2$ = jumlah kuadrat absis dan ordinat tiang pancang

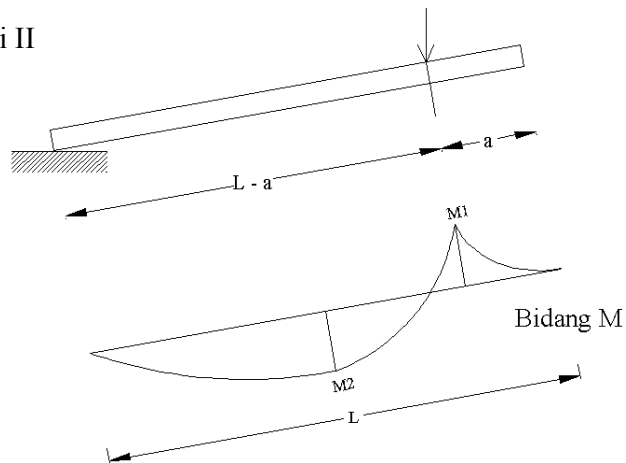
Sedangkan untuk menghitung penulangan tiang pancang didasarkan pada cara pengangkatan, yaitu :

1. Kondisi I



Gambar 2.32. Pengangkatan Tiang pancang Kondisi I

2. Kondisi II



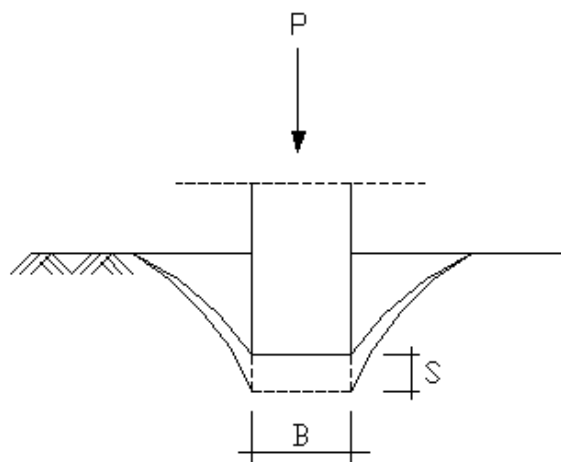
Gambar 2.33. Pengangkatan Tiang Pancang Kondisi II

Kondisi Tanah Dasar

Kemampuan tanah dasar dalam mendukung beban pondasi dipengaruhi oleh dua aspek penting, yaitu :

1. Perubahan bentuk tanah dasar

Beban pondasi pada tanah dasar dapat mengakibatkan perubahan bentuk (deformasi) tanah pada segala arah (tiga dimensi), namun untuk menyederhanakan permasalahan ini hanya ditinjau deformasi satu dimensi pada arah vertikal, yaitu penurunan (*settlement*). Penurunan tanah yang cukup besar dan tidak merata dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur.



Gambar 2.34. Mekanisme deformasi tanah dasar

Keterangan :

P = beban terpusat dari bangunan bawah (ton)

B = lebar pondasi (meter)

S = *settlement* (meter)

2. Kapasitas dukung tanah dasar

Kapasitas dukung tanah dasar (*bearing capacity*) dipengaruhi oleh parameter $\phi, c, \text{ dan } \gamma$. Besarnya kapasitas dukung tanah dasar dapat dihitung dengan metode Terzaghi, yaitu :

$$P_{ult} = Ap \cdot (c \cdot N_c (1 + 0,3B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2B/L))$$

dimana :

P_{ult} = daya dukung ultimate tanah dasar (t/m^2)

c = kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)

$B=D$ = lebar pondasi (meter)

D_f = kedalaman pondasi (meter)

N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi

Ap = luas dasar pondasi

B = lebar pondasi

L = panjang pondasi

Pemilihan Jenis Pondasi

Dalam merencanakan suatu struktur bawah dari konstruksi bangunan dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi, pemilihan tipe pondasi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut :

- Fungsi bangunan atas
- Besarnya beban dan berat dari bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Jumlah biaya yang dikeluarkan