

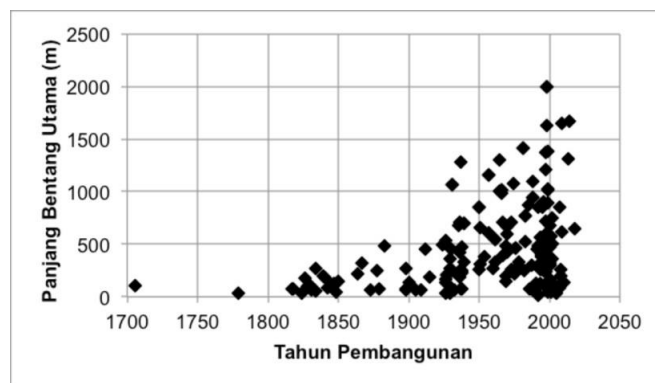
2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Gantung

Jembatan gantung adalah struktur jembatan yang menggunakan kabel sebagai pemikul utama beban yang melintas di atasnya, pada sistem ini kabel utama memikul beberapa kabel penggantung yang menghubungkan antara kabel utama dengan gelagar jembatan. Kabel utama dihubungkan dengan kedua tower di sepanjang jembatan, kemudian di pada kedua ujung kabel di sambungkan dengan pengangkuran yang bertujuan untuk menahan pergerakan vertikal maupun horizontal akibat beban-beban yang bekerja di atas jembatan.

Jembatan gantung merupakan tipe yang sering digunakan untuk jembatan bentang panjang, pertimbangan pemakaian tipe jembatan gantung adalah dapat dibuat untuk bentang panjang tanpa ada pilar ditengahnya.

Dari tahun ke tahun penggunaan tipe jembatan gantung di beberapa kota besar di dunia telah berkembang, karena memiliki nilai estetika tersendiri. Bahkan sampai saat ini jembatan gantung terpanjang yang telah dibangun adalah jembatan Akashi Kaikyo di Jepang dengan bentang utama sepanjang 1991 meter. Perkembangan dan distribusi bentang utama untuk jembatan gantung dapat dilihat pada gambar 2.1



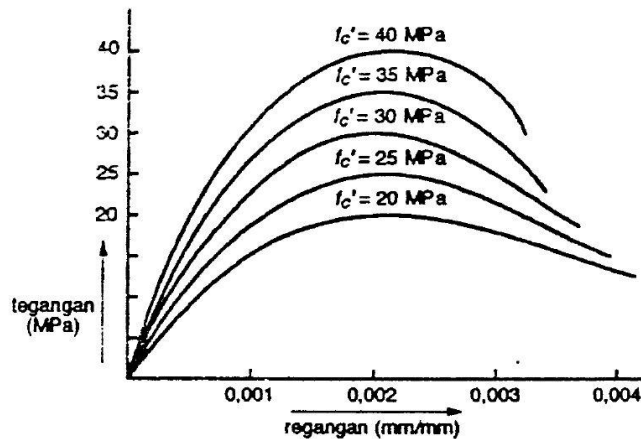
Gambar 2.1 Pencapaian Bentang Utama Untuk Jembatan Gantung

2.1.1 Material Beton

Beton adalah batuan buatan yang terjadi sebagai hasil pengerasan suatu campuran tertentu dari semen, air dan agregat (kerikil, batu pecah dan pasir).

Nilai kuat tekan beton relative tinggi dibandingkan nilai kuat tariknya. Nilai kuat tarik beton berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya. Pada penggunaannya beton diperkuat dengan tulangan baja sebagai bahan yang menahan gaya tariknya karena pada umumnya beton bersifat getas.

regangan maksimum yang dapat dipakai pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0.003. Kurva tegangan regangan beton kemiringan awalnya sangat beragam dan umumnya sedikit agak melengkung. Kemiringan awal yang beragam tersebut tergantung pada nilai kuat tekan beton, dengan demikian nilai modulus elastisitas beton akan beragam juga. Dalam SNI 2847-2013, pasal 8.5.1 nilai modulus elastisitas beton normal, E_c diizinkan diambil sebesar $4700\sqrt{f'_c}$



Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Berbagai Kuat Tekan Beton

2.1.2 Material Baja

Baja yang akan digunakan dalam struktur dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon, baja paduan rendah mutu tinggi, dan baja paduan. Sifat-sifat mekanik dari baja tersebut seperti tegangan leleh dan tegangan putusnya diatur dalam ASTM A6/A6M.

a. Baja Karbon

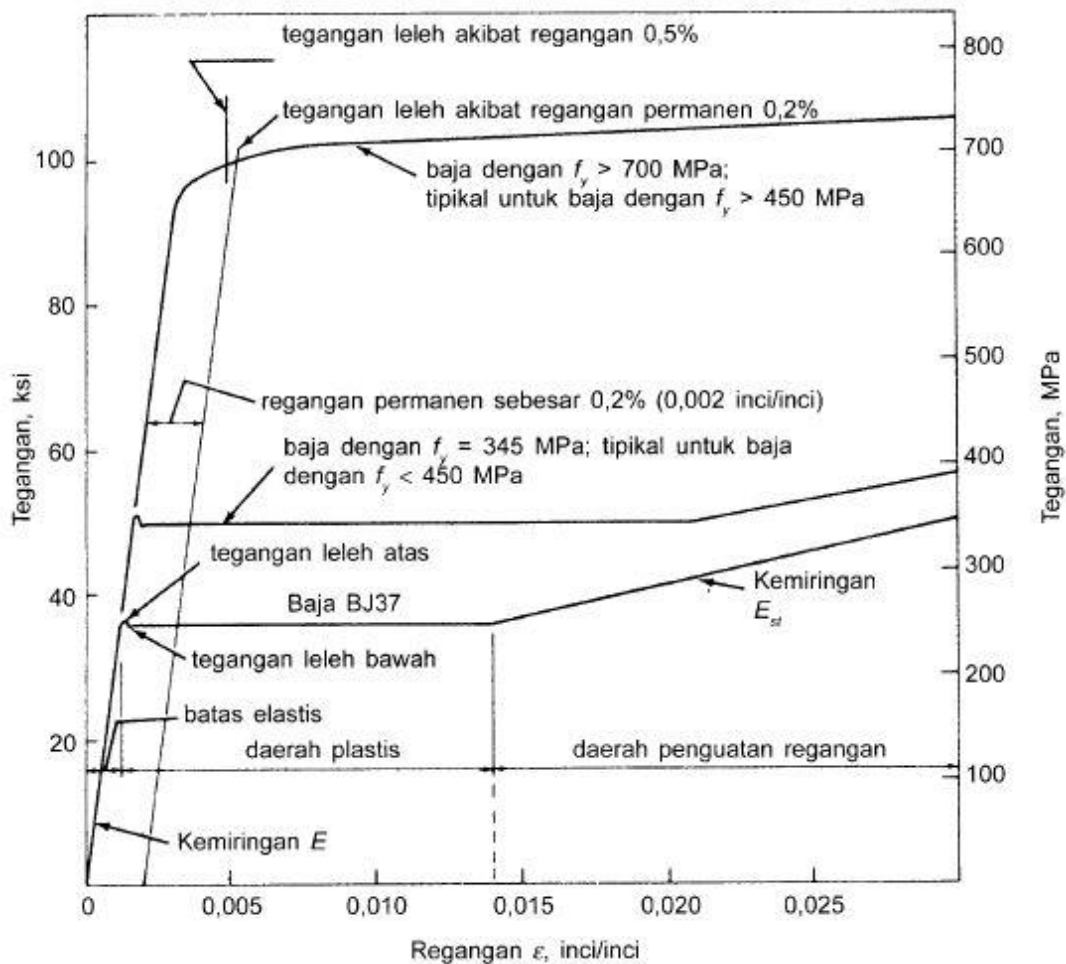
Baja karbon dibagi menjadi tiga kategori tergantung dari persentase kandungan karbonnya, yaitu : baja karbon rendah ($C = 0,03-0,35\%$), Baja karbon medium ($C = 0,35-0,50\%$), dan baja karbon tinggi ($C = 0,55-1,70\%$). Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon medium, misalnya baja BJ 37. Kandungan baja karbon medium bervariasi dari $0,25-0,29\%$ tergantung ketebalan. Selain karbon, unsur lain yang juga terdapat dalam baja karbon adalah mangan ($0,25-1,50\%$), silikon ($0,25-0,30\%$), fosfor (maksimal $0,04\%$) dan sulfur ($0,05\%$). Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh (f_y) antara $210-250$ MPa

b. Baja Paduan Rendah Mutu Tinggi

Yang termasuk dalam kategori baja paduan rendah mutu tinggi (*high-strength-low-alloy steel/HSLA*) mempunyai tegangan leleh berkisar antara $290-550$ MPa dengan tegangan putus (f_u) antara $415-700$ MPa.

c. Baja Paduan

Baja paduan rendah (low alloy) dapat ditempa dan dipanaskan untuk memperoleh tegangan leleh antara $550-760$ MPa. Tegangan leleh dari baja paduan biasanya ditentukan sebagai tegangan yang terjadi saat timbul regangan permanen sebesar $0,2\%$ atau dapat ditentukan pula sebagai tegangan pada saat regangan mencapai $0,5\%$.



(Sumber : Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD Edisi Kedua)

Gambar 2.3 Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Baut yang biasa digunakan sebagai alat pengencang mempunyai tegangan putus minimum 415 MPa hingga 700 MPa. Baut mutu tinggi mempunyai kandungan karbon maksimum 0,30%, dengan tegangan putus berkisar antara 733 hingga 838 MPa.

Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat-sifat mekanik dari material baja yang sama yaitu:

Modulus Elastisitas, E	= 200.000 MPa
Modulus Geser, G	= 80.000 MPa
Rasio Poisson	= 0,30
Koefisien muai panjang, α	= $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan putusnya, SNI 03-1729-2002 mengklasifikasikan mutu dan material baja menjadi lima kelas mutu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum f_u (MPa)	Tegangan Leleh Minimum f_y (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

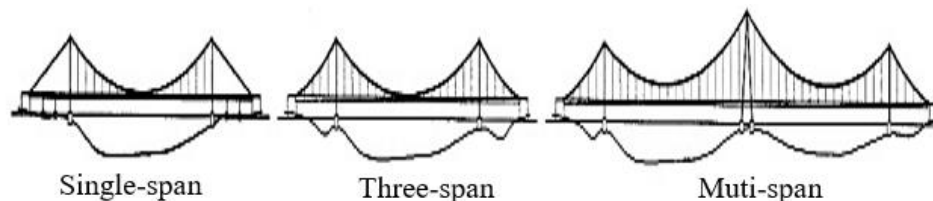
(Sumber : Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi kedua)

2.2 Klasifikasi Jembatan Gantung

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

2.2.1 Banyaknya Bentang

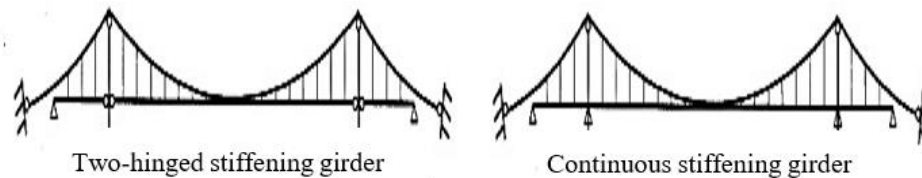
Jembatan gantung dapat diklarifikasikan menjadi jembatan satu atau tiga bentang dengan dua menara, dan jembatan banyak yang memiliki tiga atau lebih menara. Jembatan gantung dengan tiga bentang adalah yang paling umum digunakan. Pada jembatan dengan bentang banyak, perpindahan horizontal yang terjadi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



Gambar 2.4 Klasifikasi Berdasarkan Jumlah Bentang

2.2.2 Kontinuitas *Stiffening Girder*

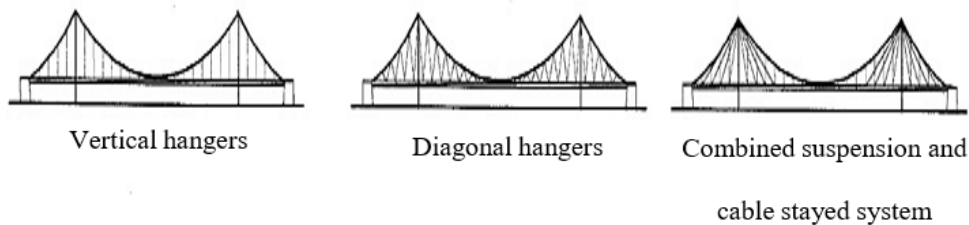
Stiffening girder secara khusus diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu dua tumpuan dan menerus. Tipe dua tumpuan biasanya digunakan untuk untuk jembatan-jembatan jalan raya. Sedangkan untuk jembatan kombinasi seperti jembatan untuk jalan raya dan rel kereta api tipe menerus lebih sering digunakan untuk kelancaran jalannya kereta.



Gambar 2.5 Klasifikasi Berdasarkan Kontinuitas *Stiffening Girder*

2.2.3 Tipe Kabel Penggantung

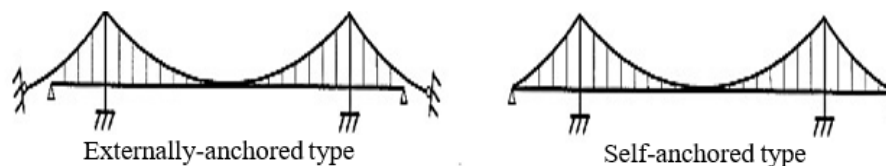
Kabel penggantung pada jembatan gantung bisa berupa vertical atau diagonal. Umumnya, kebanyakan tipe kabel penggantung pada jembatan gantung adalah kabel vertical.



Gambar 2.6 Klasifikasi Berdasarkan Tipe Kabel Penggantung

2.2.4 Tipe Pengangkuran Kabel

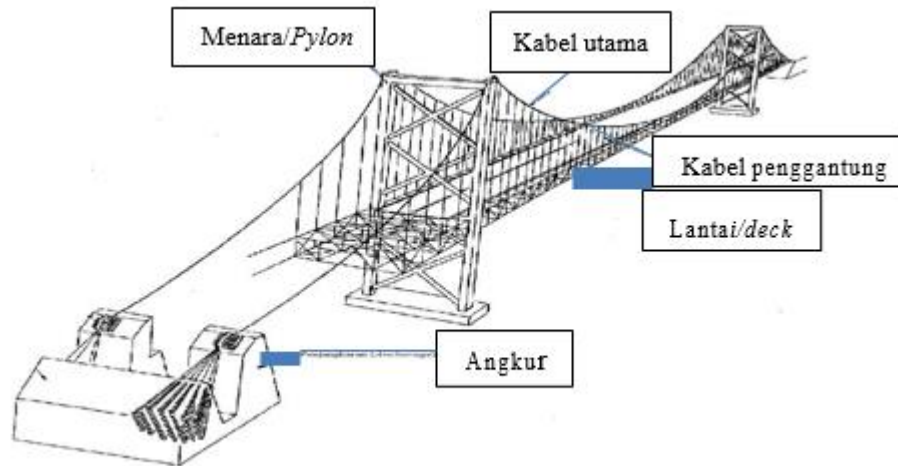
Pengangkuran kabel diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu pengangkuran pada bagian luar jembatan dan bagian dari jembatan itu sendiri.



Gambar 2.7 Klasifikasi Berdasarkan Tipe Pengangkuran Jembatan

2.3 Bagian Struktur Atas Jembatan Gantung

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



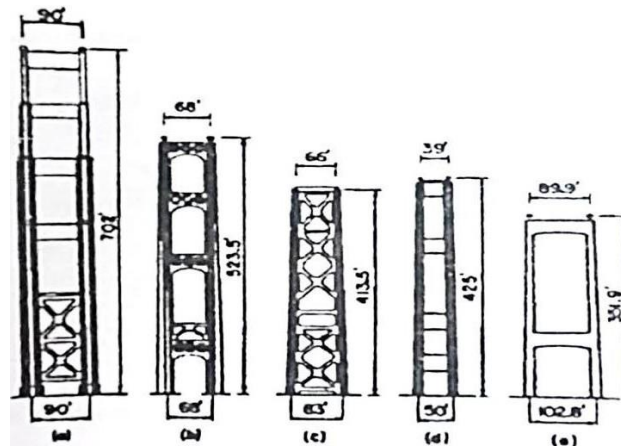
Gambar 2.8 Komponen Struktur Atas Jembatan Gantung

2.3.1 Menara (Pylon/Tower)

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

Bentuk menara dapat berupa portal, *multistory*, dan *diagonally braced frame*. Konstruksi menara tersebut dapat juga berupa konstruksi *cellular*, yang terbuat dari pelat baja berongga atau beton bertulang.

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

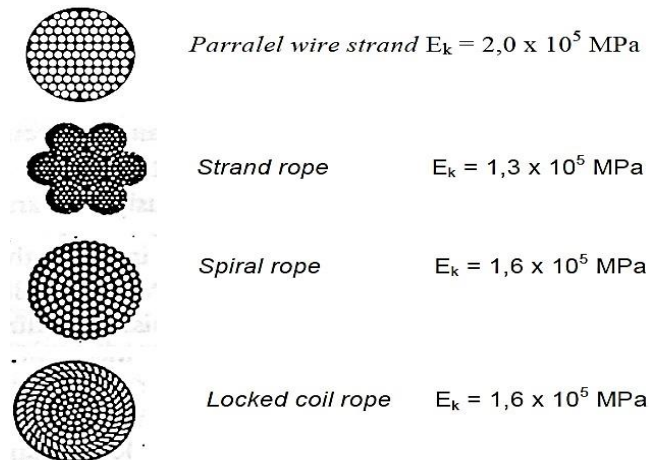


Gambar 2.9 Macam-Macam Bentuk Menara

2.3.2 Kabel

Kabel merupakan bahan atau material utama dalam struktur jembatan gantung, struktur kabel pada jembatan gantung terdiri dari kabel utama dan kabel penggantung. Kabel utama (*main cables/suspension cable*) adalah kabel yang berfungsi sebagai kabel penggantung ke menara (*tower/pylon*). Kabel penggantung (*hanger/suspender*) adalah kabel vertical/diagonal yang berfungsi sebagai penggantung lantai (*deck*) jembatan ke kabel utama.

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



Gambar 2.10 Penampang Melintang Kabel

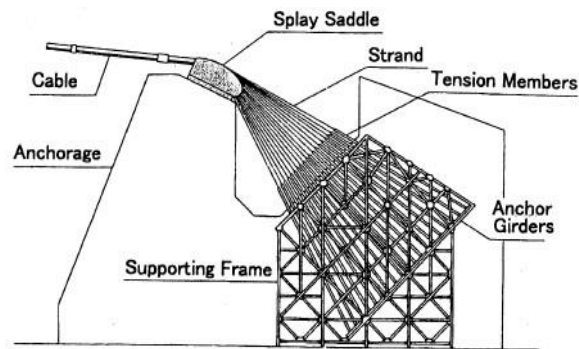
2.3.3 Deck Jembatan

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

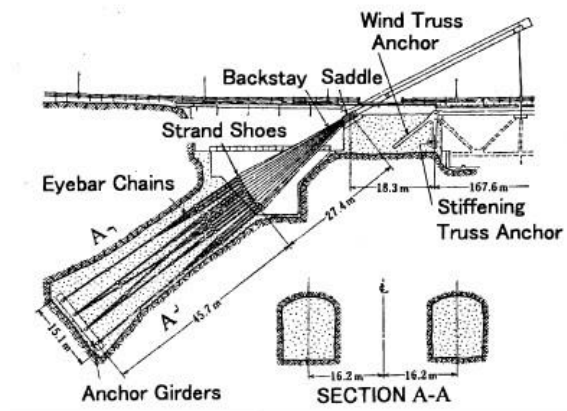
Material yang biasa digunakan pada system lantai jembatan berupa beton bertulang dengan berat yang relative ringan. *Deck arthotropic* atau baja berongga yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja dengan beton). Pengaruh kembang-susut pada system lantai ini harus diperhatikan, karena apabila kembang-susut tidak terkontrol maka dapat menyebabkan penambahan tegangan pada struktur lantai itu sendiri dan menimbulkan kerusakan pada konstruksi *deck*. Untuk itu penggunaan *expansion joint* sebaiknya dipasang disetiap 30-40 meter untuk mncegah kerusakan *deck* dan struktur utama.

2.3.4 Pengangkuran

Pengangkuran jembatan gantung berupa balok beton yang sangat besar yang menjadi angkur kabel utama dan berperan sebagai penyokong akhir sebuah jembatan gantung. Pengangkuran jembatan dapat berupa pengangkuran *gravity* atau *tunnel*. Pengangkuran *gravity* bergantung pada massa angkur itu sendiri untuk menahan tegangan dari kabel utama. Sedangkan pengangkuran *tunnel* membawa tegangan dari kabel utama ke dalam tanah.



Gambar 2.11 Pengankuran *Gravity*



Gambar 2.12 Pengankuran *Tunnel*

2.4 Bagian Bawah Struktur Jembatan Gantung

Pondasi bangunan adalah struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk meneruskan beban-beban dari atas ke dalam tanah. Pelimpahan beban struktur jembatan harus terjadi sedemikian sehingga keseimbangan struktur jembatan dapat terjamin dengan baik dan ekonomis. Seluruh beban struktur jembatan harus dapat ditahan oleh lapisan tanah yang kuat agar tidak terjadi penurunan yang menyebabkan kerusakan pada struktur, perhitungan pondasi harus menghasilkan konstruksi pondasi yang kuat dan kokoh.

2.5 Pembebanan Jembatan

Pembebanan pada jembatan yaitu mengacu pada RSNI T-02-2005. Dalam peraturan ini adapun beban yang terjadi pada jembatan antara lain adalah:

2.5.1 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan berat bahan elemen non struktural yang dianggap tetap. Faktor beban akibat berat sendiri struktur terdapat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 faktor beban untuk beban sendiri (MS)

Jangka Waktu	Fakt			
	$S_{;;MS};$		$U_{;;MS};$ Biasa Terkurangi	
T etap	Baja, Alumunium	1,0	1,1	0,9
	Beton Pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

Sumber: RSNI T-02-2005

2.5.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktur dan besarnya dapat berubah seiring umur jembatan. Jembatan dianalis harus mampu memikul beban tambahan, seperti :

- Penambahan lapisan aspal (*overlay*) dikemudian hari,
- Genangan air hujan jika sistim drainase tidak bekerja dengan baik,
- Pemasangan tiang listrik dan instalasi ME.

Faktor beban akibat beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 faktor beban untuk beban mati tambahan (MA)

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K	K Biasa Terkurangi
Tetap	Keadaan umum 1,0 (1)	2,0 0,7
	Keadaan khusus 1,0	1,4 0,8
CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas		

Sumber: RSNI T-02-2005

2.5.3 Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” adalah beban lajur yang terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*) UDL yang digabung dengan beban garis (*Knife Edge Load*) KEL. Beban terbagi merata (UDL) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung dari panjang bentang total yang dibebani L seperti berikut :

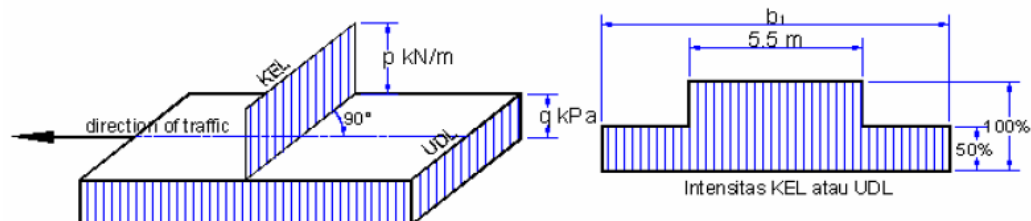
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \quad (2.1)$$

$$L \geq 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \quad (2.2)$$

Dimana :

q = Intensitas beban terbagi merata dalam arah memanjang

L = Panjang total jembatan yang diberikan beban



Sumber: RSNI T-02-2005

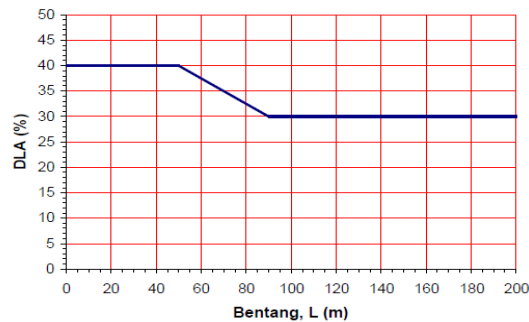
Gambar 2.13 Beban Lajur “D”

Sedangkan beban garis (KEL) mempunyai intensitas p kN/m, untuk beban garis ini harus ditempatkan tegak lurus terhadap arus lalu lintas pada jembatan. Faktor beban dinamis (*Dinamic Load Allowance*) untuk KEL diambil sebagai berikut :

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) \quad \text{untuk } 50 \text{ m} \leq L \leq 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$



Gambar 2.14 Faktor Beban Dinamis (DLA)

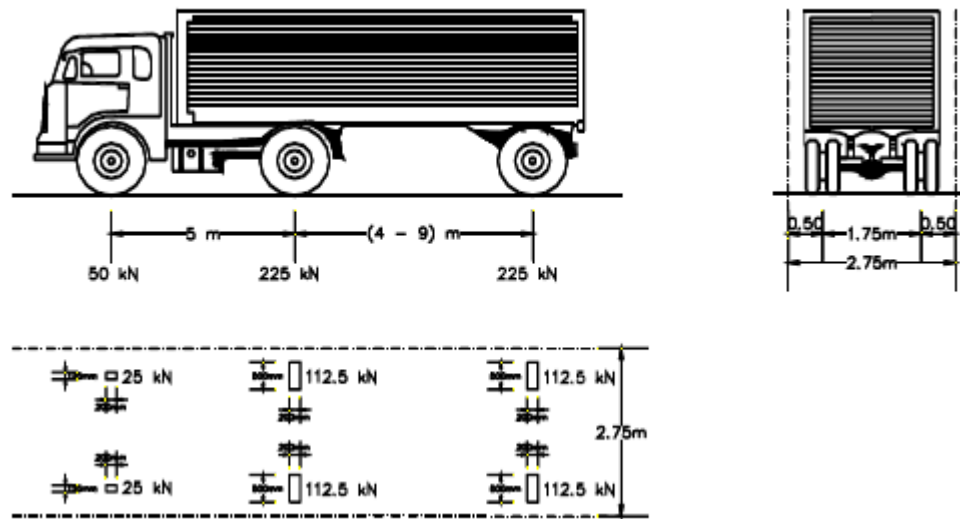
Besarnya intensitas p adalah 44,0 kN/m

2.5.4 Beban Truk “T” (TT)

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua as tersebut bias diubah-ubah antara 4,0 m dan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Faktor beban akibat gaya truk “T” adalah 1,8 sedangkan faktor beban dinamisnya sama dengan beban “D”.

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” harus ditempatkan ditengah-tengah lajur lalu lintas rencana.

Penyebaran momen lentur dan gaya geser dari beban truk tunggal “T” harus terbagi pada balok memanjang sesuai dengan faktor distribusi.



Sumber: RSNI T-02-2005

Gambar 2.15 Beban Truk “T”

2.5.5 Beban Pedestrian / Pejalan Kaki (TP)

Jembatan jalan raya direncanakan mampu memikul beban hidup merata pada trotoar yang besarnya tergantung pada luas bidang trotoar yang didukungnya. Hubungan antara beban merata dan luasan yang dibebani pada trotoar dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

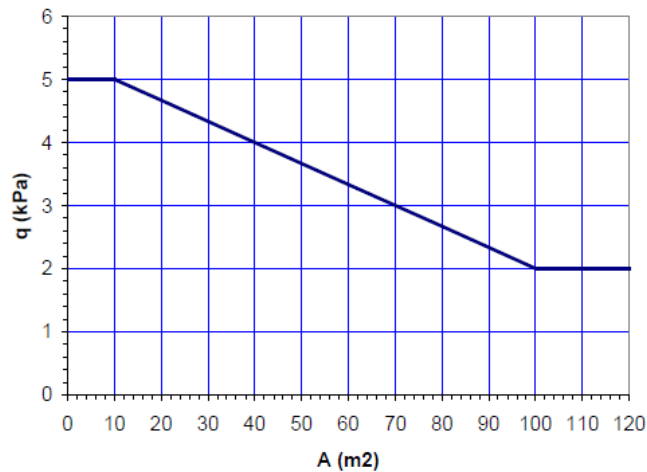
$$\text{Untuk } A \leq 10 \text{ m}^2 : q = 5 \quad \text{kPa} \quad (2.3)$$

$$\text{Untuk } 10 \text{ m}^2 < A \leq 100 \text{ m}^2 : q = 5 - 0,33 \times (A - 10) \quad \text{kPa} \quad (2.4)$$

$$\text{Untuk } A > 100 \text{ m}^2 : q = 2 \quad \text{kPa} \quad (2.5)$$

A = luas bidang trotoar yang dibebani pejalan kaki (m^2)

q = beban hidup merata pada trotoar (kPa)



Sumber : RSNI T-02-2005

Gambar 2.16 Pembebanan Pejalan Kaki

2.5.6 Gaya Rem (TB)

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang, akibat gaya rem dan traksi. Harus mampu ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dan beban lajur D yang dianggap pada semua lajur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Hubungan antara besarnya gaya rem dan panjang total jembatan juga dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_{TB} = 250 \text{ kN} \quad \text{untuk } L_t \leq 80 \text{ m} \quad (2.6)$$

$$T_{TB} = 250 + 2,5 \times (L_t - 80) \text{ kN} \quad \text{untuk } 80 \text{ m} < L_t < 180 \text{ m} \quad (2.7)$$

$$T_{TB} = 500 \text{ kN} \quad \text{untuk } L_t \geq 180 \text{ m} \quad (2.8)$$

Dalam memperkirakan pengaruh gaya memanjang terhadap perletakan dan bangunan bawah jembatan, maka gesekan atau karakteristik perpindahan geser dari perletakan ekspansi dan kekakuan bangunan bawah harus diperhitungkan.

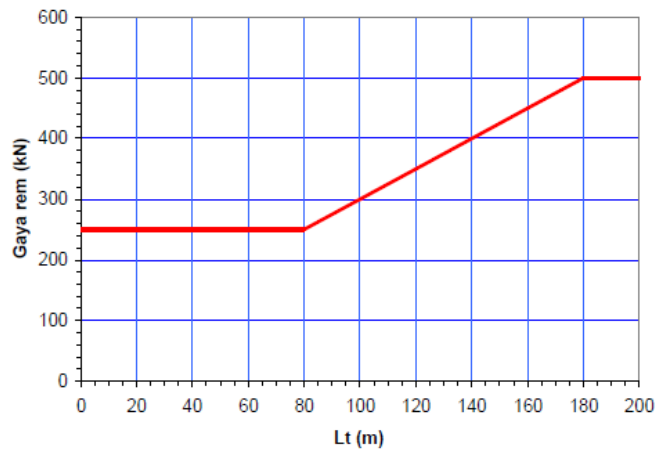
Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh dari

gaya rem, maka faktor beban ultimit terkurangi sebesar 40% boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal. Faktor beban akibat gaya rem terdapat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.4 Faktor Beban Akibat Gaya Rem

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K S;;TB;$	$K U;;TB;$
Transien	1,0	1,8

Sumber : RSNI T-02-2005



Gambar 2.17 Gaya Rem Perlajur

2.5.7 Beban angin (EW)

Jembatan-jembatan yang terletak di daerah khusus untuk beban angin harus diperhitungkan, termasuk respon dinamis jembatan. Gaya-gaya nominal ultimit dan gaya layan jembatan akibat angin tergantung dengan kecepatan angin seperti berikut.

$$TEW = 0,0006.C_w.(V_w)^2.A_b \text{ [kN]}$$

Dimana :

V_w = kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_w = koefisien seret

A_b = luas ekuivalen bagian samping jembatan

Angina harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus ditetapkan pada lantai permukaan seperti diberikan pada persamaan berikut ini ;

$$TEW = 0,00012.C_w.(V_w)^2 \text{ [kNm]}$$

Dimana :

$$C_w = 1,2$$

Factor beban akibat angin adalah 1,2. Kecepatan angin rencana V_w dan koefisien seret C_w dapat pada tabel 2.5 dan tabel 2.6.

Tabel 2.5 Kecepatan Rencana Angin V_w

Jangka Waktu	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber : RSNI T-02-2005

Tabel 2.6 Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif : (1), 2)	2.1 (3)
b/d = 1,0	1.5 (3)
b/d = 2.0	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2

CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran

d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif

CATATAN (2) Untuk harga antara dari b/d bisa diinterpolasi linier

CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi,

Selanjutnya gaya vertical akibat transfer beban angin ke lantai jembatan dapat dihitung dengan rumus :

$$PEW = \left(\frac{1/2 \times h}{x} \times T_{ew} \right) \times L \quad (2.11)$$

Dimana :

h = bidang samping kendaraan yang ditiup angin

x = jarak antara roda kendaraan

2.5.8 Gaya Gesek (FB) dan Pengaruh Temperature/Suhu (ET)

Gaya gesek pada perletakan (TFB) maupun gaya yang ditimbulkan oleh perbedaan suhu (ET) resultan gayanya = 0 (saling meniadakan).

2.5.9 Gaya Gempa

Dalam menghitung beban gempa dapat digunakan analisa statis ekuivalen, namun bila jembatan sangat besar dan juga jembatan tersebut sangat rumit konstruksinya maka digunakan analisis dinamis. Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut ini :

$$T^*_{EQ} = K_h \cdot I \cdot W_T \quad (2.12)$$

Dimana :

$$K_h = C.S$$

T^*_{EQ} = gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

K_h = koefisien gempa beban horizontal

C = koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai

I = faktor kepentingan

S = faktor tipe bangunan

W_T = berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)

Waktu dasar getaran jembatan yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekakuan dan fleksibilitas dari sistem pondasi :

Untuk bangunan yang mempunyai satu derajat kebebasan yang sederhana, rumus yang dapat digunakan :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}} \quad (2.13)$$

Dimana :

T = waktu getar dalam detik untuk freebody pilar dengan derajat kebebasan tunggal pada jembatan bentang sederhana

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

W_{TP} = berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (kN)

K_p = kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

2.6 Perencanaan Struktur Atas Jembatan Gantung

2.6.1 Trotoar pejalan kaki

Trotoar berfungsi untuk memberikan pelayanan yang optimal kepada pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Konstruksi trotoar direncanakan sebagai pelat beton yang terletak di atas pelat lantai tepi jembatan yang dalam perhitungan diasumsikan sebagai konstruksi kantilever yang tertumpu pada gelagar memanjang.

Kerb yang terdapat pada tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horizontal 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.

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. Perencanaan struktur trotoar terdiri dari perencanaan pelat lantai trotoar dan tiang sandaran trotoar.

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

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

$$\rho_b = \beta \times \frac{0,85.f'c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \quad (2.15)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} > \frac{1,4}{f_y} \quad (2.16)$$

$$\rho_{maks} = \frac{0,003+\frac{f_y}{E_s}}{0,003+\epsilon_t} \times \rho_b \quad (2.17)$$

Keterangan :

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

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

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

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

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8 \quad (2.18)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (2.19)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.20)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad (2.21)$$

5. Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan utama (As)} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.22)$$

$$\text{Jarak tulangan utama (s)} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_s} \quad (2.23)$$

$$\text{Luas tulangan susut suhu (Ass)} = 0,0018 \cdot b \cdot h \quad (2.24)$$

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

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

$$\rho_b = \beta \times \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.25)$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} > \frac{1,4}{f_y} \quad (2.26)$$

$$\rho_{maks} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + \epsilon_t} \times \rho_b \quad (2.27)$$

Keterangan :

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

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

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

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

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8 \quad (2.28)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (2.29)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.30)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} \quad (2.31)$$

5. Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan lentur (As)} = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.32)$$

$$\text{Jumlah tulangan lentur (n)} = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi D^2} \quad (2.33)$$

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

1. Menghitung nilai V_c :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (2.34)$$

2. Tulangan sengkang dibutuhkan jika :

$$V_u > 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \quad (2.35)$$

3. Jarak maksimum antar tulangan :

$$S_{maks} = \frac{1}{2} d \leq 600 \text{ mm} \quad (2.36)$$

4. Luas tulangan minimum :

$$A_{vmin} = \frac{2}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \quad (2.37)$$

5. Jarak antar tulangan

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot 3}{b_w} \quad (2.38)$$

2.6.2 Pelat Lantai Kendaraan

Dalam analisis struktur dan perancangan jembatan yang dibebani kelompok beban terkonsentrasi, terdapat pendistribusian beban ke struktur utama jembatan (*primary structure of the bridge*), gelagar longitudinal utama dan gelagar melintang.

Disamping itu, pendistribusian beban tersebut masih ditambah dengan pendistribusian tegangan lokal (*local stress distribution*) pada pelat lantai kendaraan yang ditimbulkan oleh beban roda kendaraan.

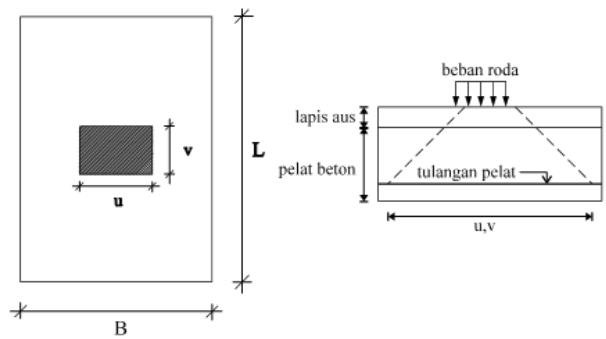
Distribusi tegangan ini, umumnya terbatas pada pelat lantai kendaraan saja yang membentang antara gelagar memanjang dengan gelagar melintang.

Akibat lendutan struktur jembatan secara keseluruhan, tiap gelagar memanjang dan gelagar melintang mempunyai nilai lendutan yang berbeda sehingga kondisi batas pelat lantai kendaraan menjadi rumit.

Untuk menyederhanakan kondisi batas ini dari segi analisis struktur, besarnya pelat lantai kendaraan dianggap bertumpuan sederhana yang tidak melendut, dengan memberikan suatu faktor tertentu untuk memperhitungkan kontinuitas pelat di atas tumpuannya.

Pengasumsian ini dipergunakan oleh M. Pigeaud dalam membuat metode analisis struktur lantai kendaraan pada jembatan.

Metode M. Pigeaud disusun berdasarkan penyelesaian persamaan Lagrange untuk pelat tipis berlendutan kecil dan berlaku untuk sembarang rasio panjang terhadap lebar pelat, dan nilai rasio sisi bidang beban terhadap sisi pelat yang berkesesuaian.



Gambar 2.18 Bidang beban roda dan penyebaran beban dalam metode M. Pigeaud

Beban roda diasumsikan disebarakan 45° sampai ke tulangan pelat. Menurut Pedoman Peraturan Pembebanan Jembatan Dan Jalan Raya (PPPJJR 1987), nilai u dan v ditentukan sebagai berikut :

$$u = 500 + 2h \quad (2.39)$$

$$v = 300 + 2h \quad (2.40)$$

dengan :

u = asumsi panjang bidang beban roda (mm)

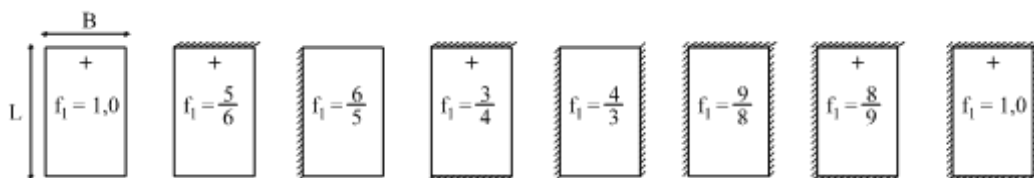
v = asumsi lebar bidang beban roda (mm)

h = tinggi penyebaran beban roda (mm)

Langkah-Langkah Umum Penggunaan Metode M. Pigeaud :

Secara umum penggunaan Metode M. Pigeaud untuk menentukan momen pada pelat lantai dapat dihitung dengan langkah-langkah :

- Menghitung nilai u dan v sehingga u/B dan v/L ditemukan,
- Menentukan faktor koreksi perletakan,



Gambar 2.19 Kombinasi Perletakan Sisi Pelat dan Faktor Koreksinya

- c. Menentukan rasio sisi panjang terhadap sisi pendek terkoreksi, k

$$k = f_1 \cdot L/B \quad (2.41)$$

dengan :

f_1 = faktor koreksi perletakan

L = panjang pelat

B = lebar pelat

Pada pelat yang bertanda “+” (Gambar 2.19) bila nilai $k < 1$ maka nilai L dipertukarkan dengan B dan demikian juga nilai u dan v .

- d. Menentukan nilai koefisien momen m_1 dan m_2 dengan cara memplotkan nilai u/B dan v/L pada grafik M. Pigeaud sesuai dengan nilai k dari persamaan (2.41)

- e. Menghitung momen lentur pada arah lebar dan panjang pelat, M_x dan M_y sebagai berikut :

$$M_x = P (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.42)$$

$$M_y = P (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.43)$$

Dimana :

P = beban roda

m_1 = koefisien momen lebar pelat

m_2 = koefisien momen panjang pelat

M_x = momen lentur arah lebar

M_y = momen lentur arah panjang

- f. Menentukan momen lentur berdasarkan kondisi perletakan keempat sisinya, r_m . Untuk pelat yang bertumpuan jepit atau pelat bersifat menerus pada keempat sisinya, nilai M_x dan M_y direduksi sebesar 20% sedangkan kondisi perletakan yang lain ditentukan berdasarkan letak pelat seperti disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.7 Koefisien Reduksi Momen

Letak pelat umum	Letak pelat khusus	r_m
Bentang tengah	Pelat dalam	0,7
	Pelat tepi	0,85

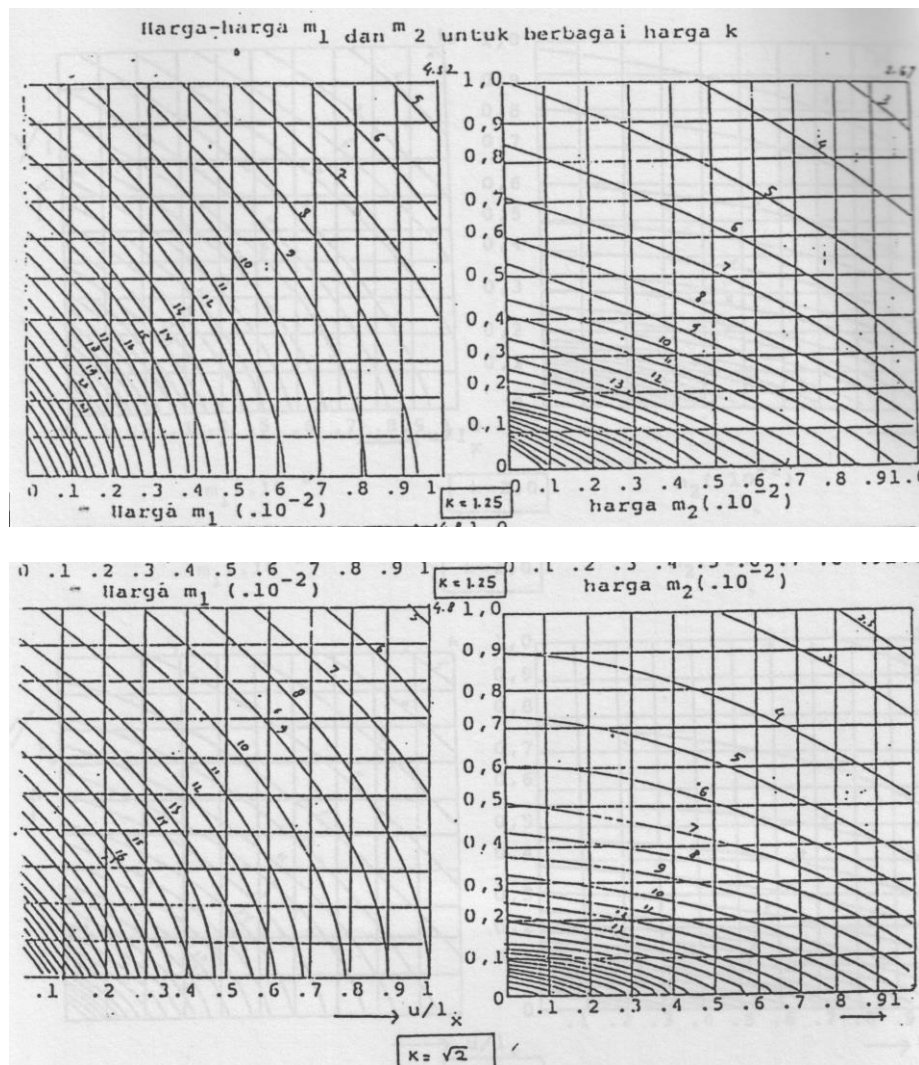
Tumpuan	Pelat tumpuan ujung	0,25
	Pelat tumpuan penultimate	0,95
	Pelat tumpuan dalam	0,9

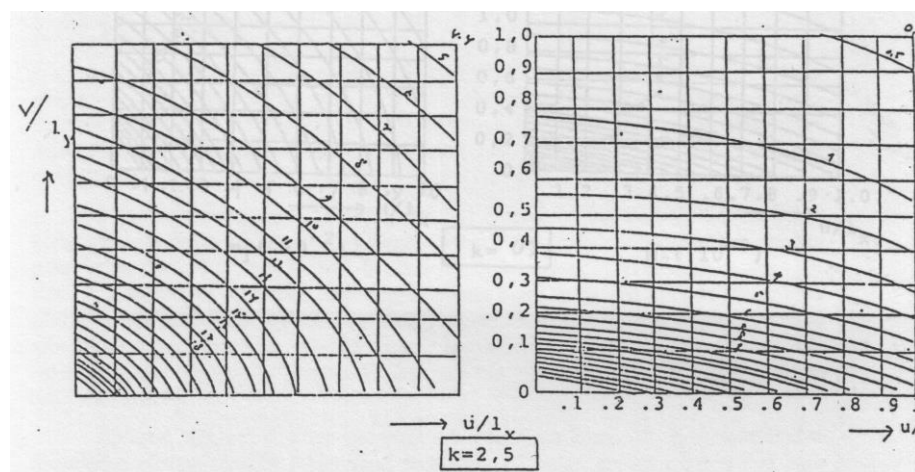
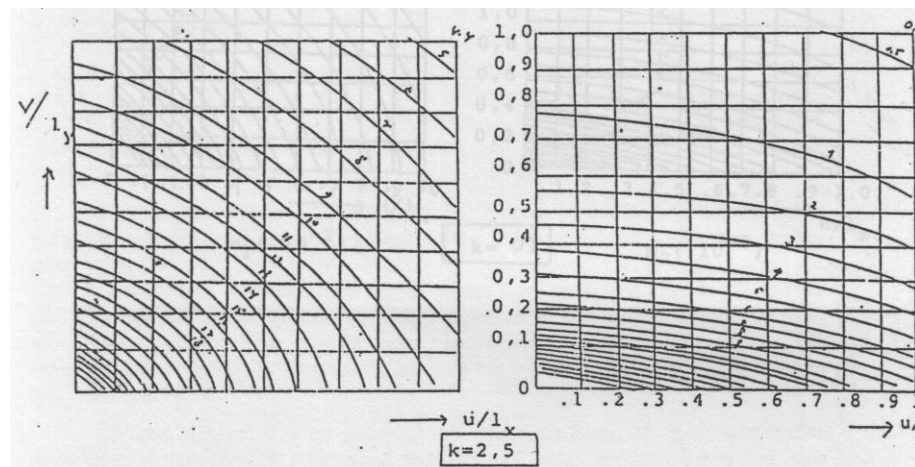
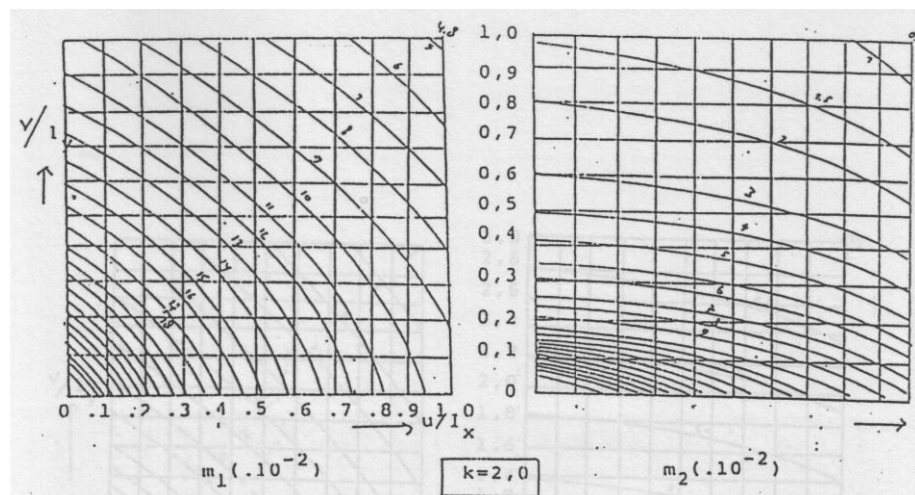
Adanya koefisien reduksi momen mengakibatkan persamaan (2.42 dan 2.43) menjadi :

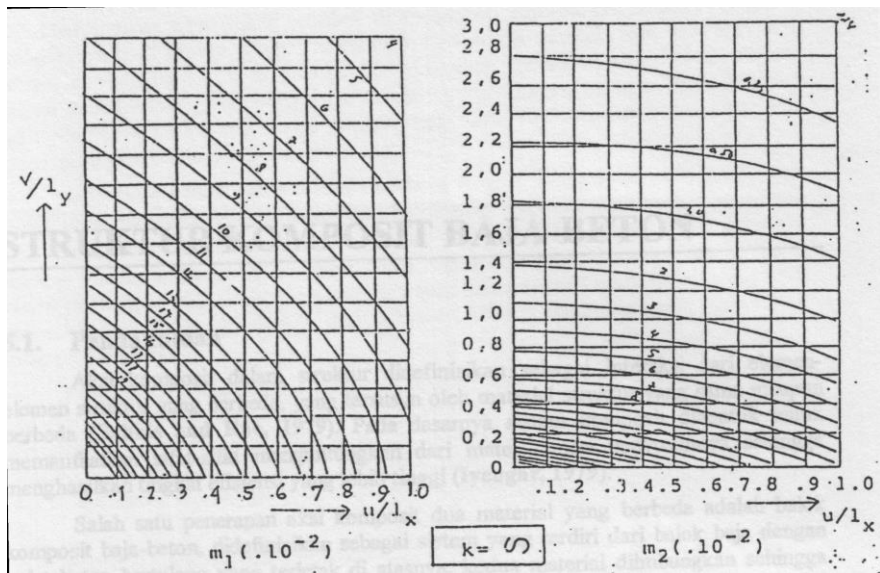
$$M_x = r_m P (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.44)$$

$$M_y = r_m P (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.45)$$

Beberapa grafik M. Pigeaud dan metode perhitungannya sebagai berikut :







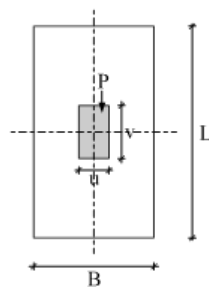
Gambar 2.20 Grafik M. Pigeaud

Untuk pembebanan hidup berupa beban roda kendaraan terdapat beberapa kondisi letak beban sebagai berikut :

1. Beban terpusat berada tepat di tengah pelat
 - a. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk u/B dan v/L ,
 - b. Besarnya momen rencana :

$$M_x = P (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.46)$$

$$M_y = P (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.47)$$



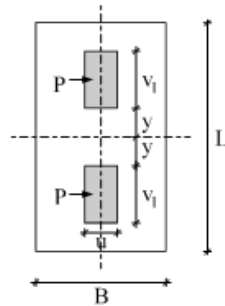
Gambar 2.21 Beban Terpusat Berada Tepat di Tengah Pelat

2. Dua beban terpusat simetris terhadap sumbu pelat

- a. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = u$ dan $v = 2(v_1 + y)$, lalu dikalikan $(v_1 + y)$, u dan $v = 2y$, lalu dikalikan dengan (y) ,
- b. Harga m_1 dan m_2 diperoleh dari (i) dikurangi (ii)
- c. Momen rencana :

$$M_x = \frac{2P}{v_1} (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.48)$$

$$M_y = \frac{2P}{v_1} (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.49)$$

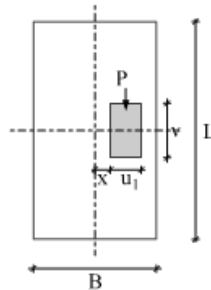


Gambar 2.22 Dua Beban Terpusat Simetris Sumbu pendek Pelat

3. Satu beban terletak simetris terhadap sumbu pendek pelat
 - a. Langkah-langkah mencari m_1 dan m_2 seperti pada sebelumnya
 - b. Momen rencana :

$$M_x = (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.50)$$

$$M_y = (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.51)$$



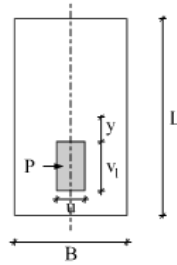
Gambar 2.23 Satu Beban Terletak Simetris Terhadap Sumbu Pendek Pelat

4. Satu beban terletak simetris terhadap sumbu panjang pelat

- a. Langkah-langkah mencari m_1 dan m_2 seperti pada kondisi pembebanan kedua
- b. Momen rencana :

$$M_x = \frac{P}{v_1} (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.52)$$

$$M_y = \frac{P}{v_1} (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.53)$$



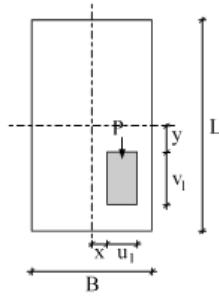
Gambar 2.24 Suatu Beban Terletak Simetris Terhadap Sumbu Panjang Pelat

5. Beban Terpusat Berada Sembarang pada Pelat

- a. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2(u_1 + x)$ dan $v = (v_1 + y)$, lalu dikalikan dengan $((u_1 + x) (v_1 + y))$,
- b. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2x$ dan $v = 2y$, kemudian dikalikan dengan (xy)
- c. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2(u_1+x)$ dan $v = 2y$, kemudian dikalikan dengan $(y(u_1+x))$,
- d. Dicari koefisien momen m_1 dan m_2 untuk $u = 2x$ dan $v = 2(v_1+y)$, kemudian dikalikan dengan $(x(v_1+y))$,
- e. Harga m_1 dan m_2 diperoleh dari (a+b) dikurangi (c-d)
- f. Momen rencana :

$$M_x = \frac{P}{u_1 v_1} (m_1 + 0,15 m_2) \quad (2.54)$$

$$M_y = \frac{P}{u_1 v_1} (m_2 + 0,15 m_1) \quad (2.55)$$



Gambar 2.25 Beban Terpusat Berada Sembarang pada Pelat

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

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

$$\rho_b = \beta \times \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.56)$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} > \frac{1,4}{f_y} \quad (2.57)$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,003 + \epsilon_t} \times \rho_b \quad (2.58)$$

keterangan :

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

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

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

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

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} \text{ dengan } \phi = 0,8 \quad (2.59)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \quad (2.60)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (2.61)$$

$$m = \frac{fy}{0,85.frc} \quad (2.62)$$

5. Menghitung tulangan beton :

$$\text{Luas tulangan utama (As)} = \rho.b.d \quad (2.63)$$

$$\text{Jarak tulangan utama (s)} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{As} \quad (2.64)$$

2.6.3 Deck Jembatan

Menurut *Supriyadi* dan *Muntohar* (2007) pada jembatan gantung, karena perubahan beban selalu menyebabkan kabel utama mengalami perubahan bentuk, maka pada dek jembatan perlu dibuat kaku yang dimaksudkan agar permukaan lantai jembatan tetap datar dan beban yang diterima oleh kabel tetap. Penggunaan jembatan gantung dengan dek jembatan yang diperkaku pertama kali dikembangkan oleh *James Findley* pada awal abad ke-19.

Secara umum fungsi dari bagian yang mempunyai kekakuan tertentu pada jembatan gantung adalah untuk :

1. Bersama-sama dengan kabel mendukung beban lalu lintas pada lantai jembatan,
2. Mendistribusikan beban titik dan beban asimetris untuk menjaga kabel tetap parabolic,
3. Membatasi terjadinya lendutan statis pada kabel.

Dengan pertimbangan tersebut, maka perencanaan jembatan gantung ini dibuat dek jembatan sistem truss.

2.6.3.1 Truss Girder

Dimana tahapan perhitungannya dimulai dengan mendapatkan data pembebanan jembatan, kemudian mencari gaya aksial batang (didapat dari SAPv16) serta mendesainnya berdasarkan struktur baja dengan metode LRFD. Dengan tahapan sebagai berikut :

1. Batang Tekan

Pemeriksaan kelangsingan penampang

$$\lambda = \frac{K \times L}{r} \quad (2.65)$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.66)$$

untuk $\lambda_c < 0,25$ maka :

$$\omega = 1 \quad (2.67)$$

untuk $0,25 < \lambda_c < 0,25$ maka :

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (2.68)$$

untuk $\lambda_c > 1,2$ mak :

$$\omega = 1,25 \cdot \lambda_c^2 \quad (2.69)$$

dengan $\omega \cdot \frac{N}{A} < f_y$ ijin

2. Batang Tekan

Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 10.1 dinyatakan bahwa semua komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor sebesar T_u , maka harus memenuhi :

$$T_u \leq \phi T_n \quad (2.70)$$

$$\text{Dimana } T_n = A_g \times f_y \quad (2.71)$$

Dengan :

A_g = luasan penampang kotor, mm²

f_y = kuat leleh material, MPa

Komponen sruktur tarik harus memenuhi syarat kekakuan. Syarat ini berdasarkan rasio kelangsingan,

$$\lambda = \frac{L}{r} \quad (2.72)$$

dengan :

λ = angka kelangsingan struktur

L = panjang komponen struktur

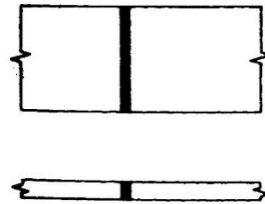
r = jari-jari girasi penampang

Nilai λ diambil maksimum 240 untuk batang tarik utama dan 300 untuk batang tarik sekunder.

- Sambungan Las

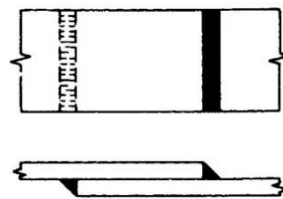
Adapun jenis-jenis sambungan las yang sering dijumpai antara lain :

- a. Las tumpul adalah pengelasan untuk menyambung batang-batang sebidang.



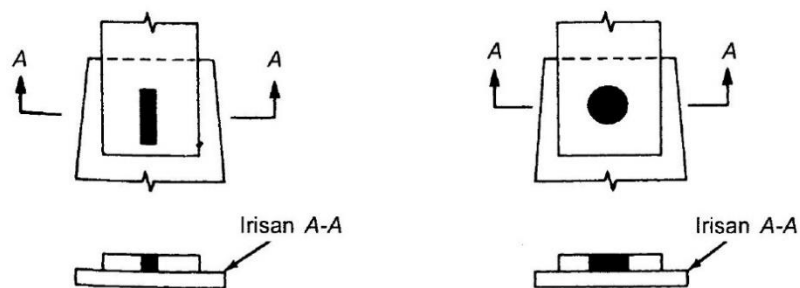
Gambar 2.26 Jenis Sambungan Las Tumpul

- b. Las sudut adalah tipe pengelasan yang paling banyak dijumpai karena tidak memerlukan presisi tinggi dalam pengerjaannya.



Gambar 2.27 Jenis Sambungan Las Sudut

- c. Las baji dan pasak adalah jenis las yang biasanya digunakan bersama dengan las sudut.



Gambar 2.28 Jenis Sambungan Las Baji dan Pasak

Di dalam perhitungan sambungan las harus memperhatikan pembatasan ukuran las sudut yang diijinkan. Ukuran minimum las sudut, ditetapkan dalam tabel berikut :

Tabel 2.8 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal Pelat (t, mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a,mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t < 15$	5
$15 < t$	6

Sedangkan pembatasan ukuran maksimum las sudut :

Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen.

Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen.

Tahanan nominal sambungan las menggunakan filosofi umum dari LRFD terhadap persyaratan keamanan suatu struktur, dalam hal ini terutama untuk las adalah terpenuhinya persamaan :

$$\phi R_{nw} \geq R_u \quad (2.73)$$

Dimana :

ϕ adalah faktor tahanan

R_{nw} adalah tahanan nominal per satuan panjang las

R_u adalah beban terfaktor per satuan panjang las

Kuat rencana per satuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut :

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times t_c \times (0,6 \times f_{uw}) \text{ (las)} \quad (2.74)$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \times t_c \times (0,6 \times f_u) \text{ (bahan dasar)} \quad (2.75)$$

2.6.3.2 Gelagar Memanjang Dan Melintang

Untuk perhitungan memanjang melintang ditinjau sebagai penampang komposit, karena gelagar didefinisikan sebagai baja yang menyatu dengan

pelat beton. Untuk pembebanan hal ini sesuai dengan RSNI T-03-2005.

Perhitungan penampang komposit diurutkan menjadi berikut :

- Mencari lebar efektif

$$b_E \leq \frac{L}{4} \quad (2.76)$$

$$b_E \leq b_o$$

$$b_E \leq b_f + 16t_s$$

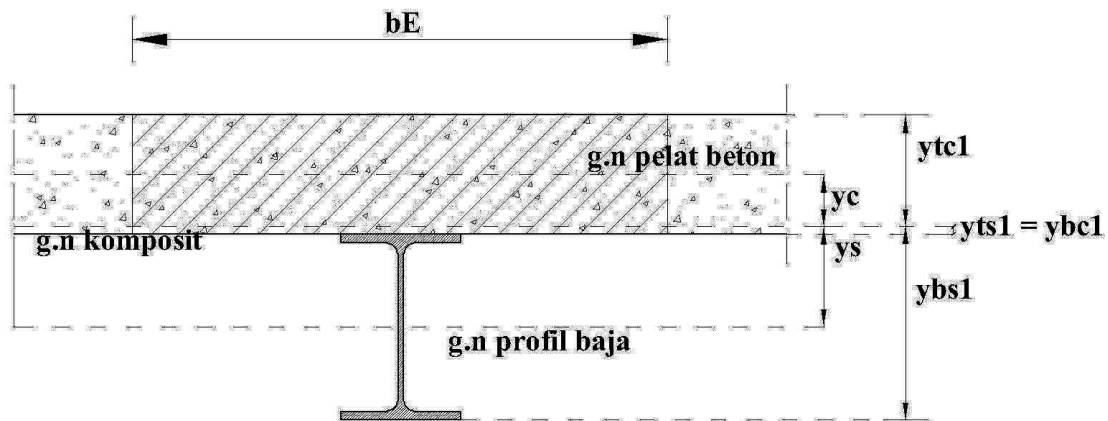
- Menentukan rasio moduler dengan modulus elastisitas beton; $E_c = 4700\sqrt{f'c}$;

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.77)$$

- Tinjauan penampang komposit untuk beban jangka pendek ($k=1$); Luas beton;

$$A_{c1} = \frac{b_E \cdot t_s}{k \cdot n} \quad (2.78)$$

Letak garis netral;



Gambar 2.29 Penampang Komposit

Momen inersia penampang komposit;

$$I_{c1} = I_s + A_s \cdot y_s^2 + \left(\frac{1}{12} \cdot \frac{b_E \cdot t_s}{k \cdot n} \right) + A_{c1} \cdot y_c^2 \quad (2.79)$$

Modulus penampang komposit;

$$S_{tc1} = \frac{I_{c1}}{y_{tc1}}$$

$$S_{bc1} = S_{ts1} \quad (2.80)$$

$$S_{bs1} = \frac{I_{c1}}{y_{bs}}$$

- Tinjauan penampang komposit untuk beban jangka panjang ($k=3$); Luas beton;

$$A_{c2} = \frac{b_E \cdot t_s}{k \cdot n} \quad (2.81)$$

Letak garis netral;

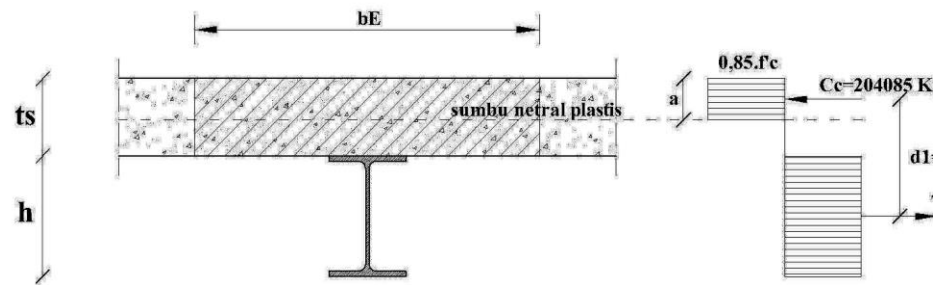
Momen inersia penampang komposit;

$$S_{tc3} = \frac{I_{c3}}{y_{tc3}}$$

$$S_{bc3} = S_{ts3} \quad (2.82)$$

$$S_{bs3} = \frac{I_{c3}}{y_{bs3}}$$

- Mencari beban nominal komposit :



Gambar 2.30 Kuar Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastik

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastik, dapat dikategorikan merubah dua kasus sebagai berikut :

Sumbu netral plastik jatuh pada pelat beton

Dengan mengacu pada gambar di atas, maka besar gaya C adalah :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E \quad (2.83)$$

Gaya tarik T pada profil baja adalah sebesar :

$$T = A_s \times f_y \quad (2.84)$$

Dari keseimbangan gaya $C = T$, maka diperoleh :

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_E} \quad (2.85)$$

Kuat lentur nominal dapat dihitung dengan ;

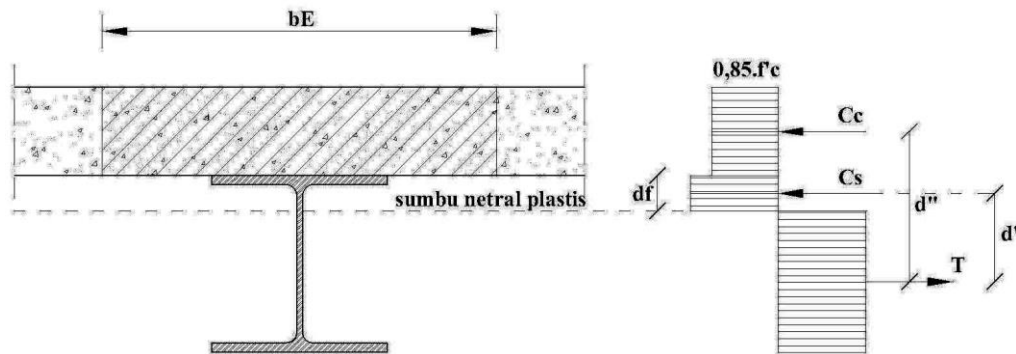
$$M_n = C_c \times d_1 \quad (2.86)$$

Jika dari hasil perhitungan ternyata $a > t_c$ maka asumsi harus dirubah. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik yang timbul pada profil baja.

Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja.

Apabila ke dalam blok tegangan beton, a , ternyata melebihi tebal pelat beton, maka distribusi tegangan dapat ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini. Gaya tekan C_c , yang bekerja pada beton adalah sebesar :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot t_s \cdot b_E \quad (2.87)$$



Gambar 2.31 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi Tegangan Plastis

Dari keseimbangan gaya, diperoleh hubungan :

$$T' = C_c + C_s \quad (2.88)$$

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$, yaitu :

$$T' = A_s \times f_y - C_c \quad (2.89)$$

Dengan menyamakan persamaan kedua T' diatas diperoleh :

$$C_s = \frac{A_s \times f_y - C_c}{2} \quad (2.90)$$

Kuat lentur nominal diperoleh :

$$M_n = C_c \times d'' + C_s \times d' \quad (2.91)$$

- Perhitungan lendutan ;

Lendutan ijin :

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{360} \quad (2.92)$$

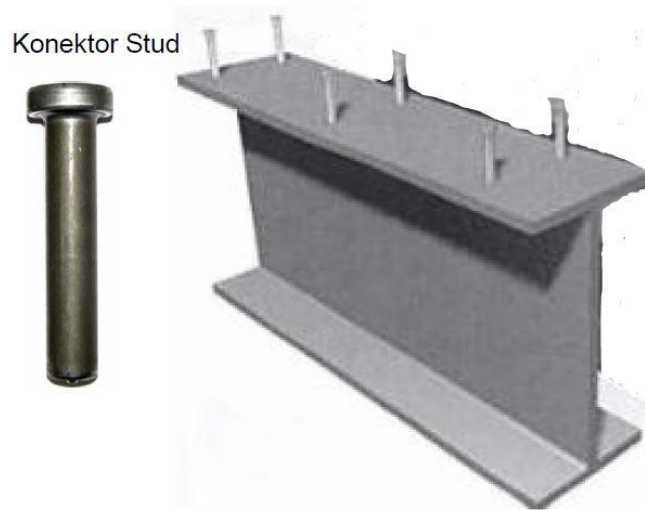
Lendutan awal :

$$\delta = \frac{5 \cdot Q_{MP} \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_s} \quad (2.93)$$

Lendutan pada penampang komposit :

$$\delta = \frac{5 \cdot L^4}{384 \cdot E_s} \cdot \left(\frac{Q_{MS}}{I_{cs}} + \frac{q'}{I_{c1}} \right) + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E_s \cdot I_{c1}} < \delta_{ijin} \quad (2.94)$$

- Perencanaan alat penyambung geser :



Gambar 2.32 Penghubung Geser Stud

RSNI T-03-2005, Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Menetapkan gaya geser longitudinal yang digunakan adalah gaya geser hasil dari kekuatan lentur keadaan batas.

$$V_{LS} = T \text{ atau } C_c + C_s \quad (2.95)$$

Gaya geser memanjang rencana, V_{LS} harus memenuhi

$$V_{LS} = 0,55 \times n \times V_{su} \quad (2.96)$$

Dimana n adalah banyaknya stud

Kekuatan geser static dari konektor stud dalam keadaan batas

$$V_{su} = A_{sCon} \times f_u \quad (2.97)$$

Dimana :

A_{sCon} = luas penampang konektor stud (mm^2)

f_u = tegangan putus (Mpa)

Jarak memanjang antara penghubung tidak boleh lebih besar dari setiap nilai berikut ini :

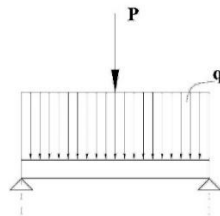
1. 600 mm; atau
2. Dua kali tebal lantai; atau
3. Empat kali tinggi penghubung

Diameter paku penghubung yang dilas pada pelat sayap tidak boleh melebihi :

1. 0,5 kali tebal pelat sayap bila pelat sayap memikul tegangan tarik
2. 2,0 kali tebal pelat sayap bila tidak terdapat tegangan tarik

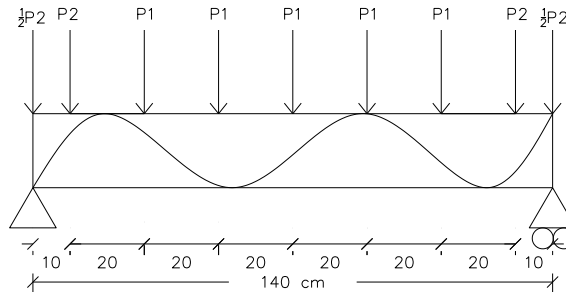
Sedangkan untuk kondisi pembebanan antara gelagar memanjang dan gelagar melintang memiliki perbedaan, berikut gambar kondisi pembebanan dari kedua gelagar tersebut :

Pemodelan pembebanan untuk gelagar memanjang menjadi sebagai berikut :



Gambar 2.33 Pemodelan Pembebanan Gelagar Memanjang

Pemodelan embebanan untuk gelagar melintang sebagai berikut :



Gambar 2.34 Pemodelan Pembebanan Gelagar Melintang

- Sambungan baut

Dalam tabel ditampilkan tipe-tipe baut dengan diameter, *proof load* dan kuat tarik minimumnya.

Tabel 2.9 Tipe-Tipe Baut

Tipe Baut	Diamter (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik Min. (MPa)
A307	6,35 – 104	-	60
A325	12,7 – 25,4	585	825
	28,6 – 38,1	510	725
A490	12,7 – 38,1	825	1035

Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai persuaratan LRFD harus memenuhi :

$$R_n = \phi R_n \quad (2.98)$$

Dengan R_n adalah tahanan nominal baut sedangkan ϕ adalah faktor reduksi yang diambil sebesar 0,75. Besarnya R_n berbeda-beda untuk masing-masing tipe sambungan.

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan :

$$R_n = m \times r_1 \times f_u^b \times A_b \quad (2.99)$$

Dimana :

$r_1 = 0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b = kuat tarik baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

m = jumlah bidang geser

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut :

$$R_n = 0,75 \times f_u^b \times A_b \quad (2.100)$$

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang di sambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut :

$$R_n = 2,4 \times d_b \times f_u \times t_p \quad (2.101)$$

Dimana :

d_b = diameter baut pada daerah tak berulir

t_p = tebal pelat

f_u = kuat tarik putus rendah dari baut atau pelat

selanjutnya dalam pasal 17.3.6 diatur pula mengenai ukuran lubang suatu baut, dinyatakan bahwa diameter nominal dari suatu lubang yang sudah jadi harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk suatu baut yang diameternya tidak lebih dari 24 mm. untuk baut yang diameter nya lebih dari 24 mm, maka ukuran lubang

harus diambil 3 mm lebih besar. Luas netto penampang batang tarik tidak boleh diambil lebih besar daripada 85% luas brutonya.

Pasal 10.2 SNI 03-1729-2002 mengatur masalah perhitungan luas netto efektif. Dinyatakan bahwa luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik harus ditentukan sebagai :

$$A_e = U \times A_n \quad (2.102)$$

Dimana :

A_e = luas efektif penampang

A_n = luas netto penampang

U = koefisien reduksi = $1 - \frac{x}{L} \leq 1$

x = eksentrisitas sambungan

L = panjang sambungan dalam arah gaya tarik

Pada sebuah elemen pelat tipis yang menerima beban tarik dan yang disambungkan dengan alat pengencang, tahanan dari komponen tarik tersebut kadang ditentukan oleh kondisi batas sobek atau sering di sebut geser blok. Tahanan nominal tarik dalam keruntuhan geser blok diberikan oleh persamaan :

Geser Leleh-Tarik Fraktur ($f_u \times A_{nt} \geq f_u \times A_{nv}$)

$$T_n = 0,6 \times f_y \times A_{gv} + f_u \times A_{nt} \quad (2.103)$$

Geser Fraktur-Tarik Leleh ($f_u \times A_{nt} \leq 0,6 \times f_u \times A_{nv}$)

$$T_n = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + f_u \times A_{gt} \quad (2.104)$$

Dimana :

A_{gv} = luas bruto akibat geser

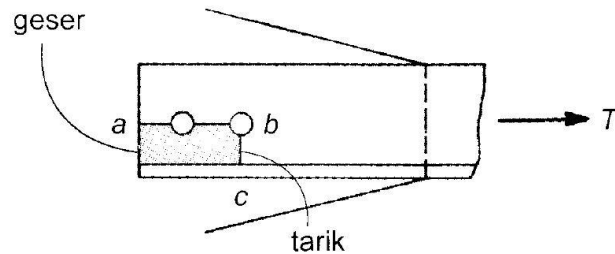
A_{gt} = luas bruto akibat tarik

A_{nv} = luas netto akibat geser

A_{nt} = luas netto akibat tarik

f_n = kuat tarik

f_n = kuat leleh

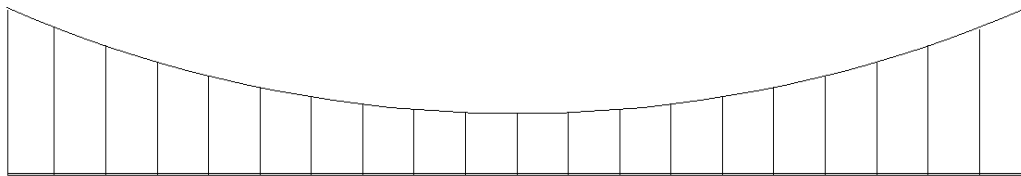


Gambar 2.35 Keruntuhan Geser Balok

2.6.4 Kabel Jembatan

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

2.6.4.1 Kabel Utama (*Suspension Cable*)



Gambar 2.36 Desain Kabel Utama Pada Jembatan Di Tengah Bentang

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

1. Rasio fokus kabel utama :

$$n = \frac{f}{l} \quad (2.105)$$

Keterangan :

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

f = kedalaman lengkung / simpang kabel (*sag*) di tengah bentang

l = panjang bentang utama

2. Panjang kabel utama

Panjang kabel utama di bentang utama

$$L = l \left(1 + \frac{8}{3} n^2 \right) \quad (2.106)$$

Panjang kabel utama di bentang samping

$$2L_1 = 2l_1 \sec \alpha \quad (2.107)$$

Keterangan :

l = panjang bentang samping

α = sudut kemiringan kabel backstays terhadap lantai jembatan

2.6.4.2 Kabel Penggantung (*Hanger*)

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

Menghitung panjang kabel penggantung :

$$y = 4 f \frac{x}{l^2} (l - x) \quad (2.108)$$

$$y' = h_{pylon} - y \quad (2.109)$$

Keterangan :

y = jarak vertikal koordinat dari tumpuan

x = jarak horizontal koordinat dari tumpuan

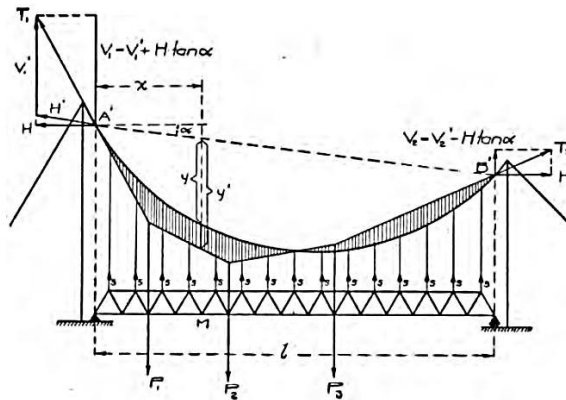
l = panjang bentang utama

f = *sag* pada tengah bentang

y' = panjang bentang kabel penggantung

h_{pylon} = tinggi menara dari lantai jembatan

2.6.4.3 Gaya yang Bekerja Pada Kabel



Gambar 2.37 Gaya yang Terjadi Pada Kabel Utama

1. Tegangan horizontal pada kabel

$$H = M/y \quad (2.110)$$

Keterangan :

M = momen pada tiap titik kabel

y = sag pada tiap titik kabel

2. Tegangan T pada kabel

$$T_1 = H \cdot \sec \alpha \quad (2.111)$$

Keterangan :

α = sudut antara T_1 terhadap H

pada kabel di bentang samping adalah :

$$T_2 = H \cdot \sec \phi \quad (2.112)$$

Keterangan :

ϕ = sudut antara T_2 terhadap H

3. Menghitung kebutuhan kabel

$$\sigma' = \frac{P}{A} \quad (2.113)$$

Keterangan :

σ' = tegangan ijin tarik maksimum kabel

A = diameter penampang kabel

2.6.4.4 Lendutan pada kabel

Lendutan pada deck dikurangi faktor n akibat kabel

$$N = \frac{8}{5} + \frac{3l}{Af^2} \cdot \frac{l'}{l} \cdot (1 + 8n^2) \quad (2.114)$$

Keterangan :

A = luas penampang kabel utama

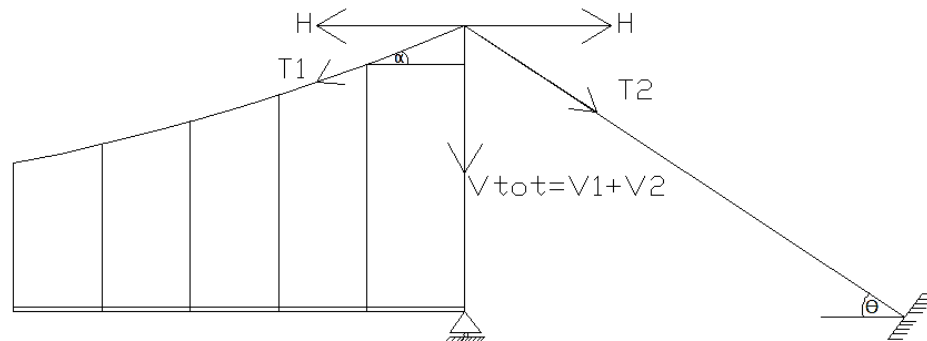
α = sudut kabel di menara antara horizontal dan kabel

Nilai dari lendutan yang terjadi pada dek jembatan gantung adalah :

$$d = \frac{5}{384} \cdot \left(1 - \frac{8}{5N}\right) \cdot \frac{Ql^4}{EI} \quad (2.115)$$

2.6.5 Pilon

Gaya yang bekerja pada *tower* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.38 Gaya yang Bekerja Pada Pylon (tower)

Gaya-gaya tersebut disalurkan kabel pada tower, pada bentang utama terjadi gaya $T1$ dan pada bentang samping terjadi gaya $T2$. Jika diperhitungkan terhadap sudut kabel maka gaya horizontal pada bentang utama sama dengan bentang samping agar terjadi keseimbangan, sehingga tidak terjadi gaya horizontal dan hanya terjadi gaya aksial ke tekan vertikal ke bawah pada tower, yaitu :

$$V = T1 \cdot \sin \alpha + T2 \cdot \sin \theta \quad (2.116)$$

Keterangan :

$\emptyset$ = sudut antara T2 terhadap H

Analisa penampang pylon dikontrol terhadap kelangsingan yang mengakibatkan tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material atau sebelum beton mengalami batas regangan hancur 0,003.

Dalam analisa pylon gaya P aksial dan momen lentur yang akan ditinjau, sehingga bila dilihat pengaruh terhadap bentuk penampang pylon, maka yang berpengaruh adalah inersia. Selain itu, berdasarkan pengaruh gaya dalam terhadap bentuk penampang pylon (searah memanjang jembatan sumbu x pylon).

2.6.6 Pondasi

Pondasi adalah tahapan awal pekerjaan suatu proyek jembatan, maka diperlukan perhitungan dan perencanaan yang baik serta teliti dari beban rencana yang telah diperhitungkan yang nantinya akan diterima oleh pondasi tersebut, karena adalah sebagai penyangga dari tiang utama atau pilar, kepala jembatan dan badan jalan, serta kendaraan dan bangunan pendukung lalu lintas yang pembebanan selanjutnya disalurkan ke dalam tanah.

Salah satu pekerjaan yang terpenting dalam pembuatan jembatan adalah membangun pondasi yang kuat, suatu pekerjaan yang memerlukan perhatian khusus pada tiap tahapan pekerjaan pondasi sebuah jembatan ataupun jalan layang. Semua langkah pencegahan harus diambil pada saat pelaksanaan pekerjaan supaya tidak timbul kesalahan pada umur pelayanan jembatan. Karena sekali jembatan dibuka untuk lalu lintas umum, maka perbaikan pondasi sulit dilakukan. Pondasi dangkal yang mendukung pangkal harus ditempatkan kedalam kelandaian tebing sungai untuk memelihara daya dukung. Pondasi suatu bangunan berfungsi untuk memindahkan beban-beban pada struktur atas ke tanah, substruktur ini meliputi pondasi dan balok penghubung.

Pondasi yang digunakan dalam perencanaan struktur jembatan ini menggunakan jenis pondasi tiang pancang. Pondasi tiang pancang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya vertikal ke sumbu tiang dengan cara menyerap

lenturan. Pondasi tiang pancang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Data-data yang diperlukan dalam perencanaan pondasi adalah :

Berat isi tanah rata-rata (γ), (N/m³)

Sudut geser (ϕ), (°)

Kohesi tanah (c), (N/m²)

A. Perhitungan daya dukung ultimate digunakan untuk persamaan Terzaghi :

$$q_u = \frac{1}{F_s} \cdot (1,3 \cdot c \cdot N_c) \cdot (D_f \cdot \gamma_{tanah} \cdot N_q) \cdot (0,3 \cdot B \cdot \gamma_{tanah} \cdot N_\gamma) \quad (2.117)$$

Tabel 2.10 Koefisien Daya dukung dari Terzaghi

ϕ	Nc	Nq	N γ
0°	5,71	1,00	0
5 °	7,32	1,64	0
10 °	9,64	2,70	1,2
15 °	12,8	4,44	2,4
20 °	17,7	7,43	4,6
25 °	25,1	12,7	9,2
30 °	37,2	22,5	20,0
35 °	57,8	41,4	44,0
40 °	95,6	81,2	114,0

45 °	172	173	320
------	-----	-----	-----

B. Persamaan Mayerhof

Mayerhof menyarankan suatu persamaan daya dukung yang mirip dengan saran terzaghi tetapi memasukkan suatu faktor bentuk Sq untuk ketentuan kedalaman Nq.

Beban vertikal :

$$Q_{ult} = C.N_c.Sc.dc + q.N_q.Sq.dq + 0,5.\gamma.B.N_\gamma.S_\gamma.d_\gamma \quad (2.118)$$

Beban horizontal :

$$q_{ult} = C.N_c.d_c.i_c + q.N_q.d_q.i_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma.d_\gamma.i_\gamma \times \tan \phi \tan \left\{ 45 + \frac{\phi}{2} \right\} \quad (2.119)$$

dimana :

$$N_q = e^{\pi.tg.\phi}.tg^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.120)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.121)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4 \phi) \quad (2.122)$$

Tabel 2.11 Tabel faktor-faktor bentuk, kedalaman dan kemiringan untuk persamaan daya dukung *Meyerhof*

Faktor	Nilai	Untuk
Bentuk	$Sc = 1 + 0,2 Kp.B.L$ $Sq = S_\gamma = 1 + 0,1 Kp.B.L$ $Sq = S_\gamma = 1$	Semua ϕ $\phi > 10$ $\phi = 0 - 10$
Kedalaman	$dc = 1 + 0,2 \sqrt{Kp.\frac{D}{B}}$ $dq = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{Kp.\frac{D}{B}}$	Semua ϕ $\phi > 10$ $\phi = 0 - 10$

	$dq = d_{\gamma} = 1$	
Kemiringan	$i_c = i_q = \{1 - \theta^{\circ}/90^{\circ}\}$ $i_{\gamma} = \{1 - \theta^{\circ}/\phi^{\circ}\}$ $i_{\gamma} = 1$	Semua ϕ $\phi > 10$ $\phi = 0 - 10$
Dimana	$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$	

θ = sudut resultan diukur dari vertikal tanpa tanda

B.L.D = sudah ditentukan sebelumnya

C. Hasil Uji Data SPT

Hasil daya dukung tiang pancang (SPT)

$$P = \frac{Q_u + Q_{si}}{F_s} \quad (2.123)$$

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_p \quad (2.124)$$

Dimana :

Q_u = daya dukung batas pondasi tiang pancang

N_b = nilai SPT rata-rata pada elevasi dasar tiang pancang

$$N_b = \frac{N_1 + N_2}{2} \quad (2.125)$$

N_1 = nilai SPT pada kedalaman 3D pada ujung tiang ke bawah

N_2 = nilai SPT pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas

A_p = luas penampang dasar tiang pancang

$$Q_{si} = q_s \times A_{si} \quad (2.126)$$

Dimana :

Q_{si} = tahanan limit gesek kulit

q_s = 0,2 N untuk tanah pasir dan 0,5 untuk lempung

A_{si} = keliling penampang tiang X tebal lapisan tanah tinjauan

Analisa daya dukung tanah masing-masing tiang ;

$$\bar{P} = \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 \quad (2.126)$$

$$\bar{P}_1 = \text{Adhesi, (N)}$$

$$\bar{P}_1 = \frac{1}{F_s} \cdot K \cdot L \cdot c \quad (2.127)$$

$\bar{P}_2 = \text{Gesekan, (N)}$

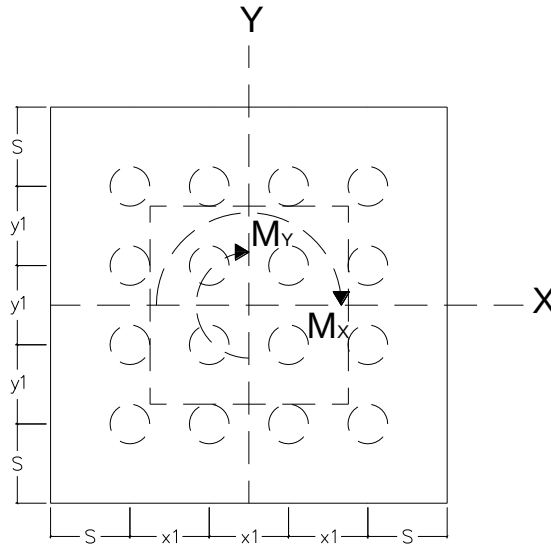
$$\bar{P}_2 = \frac{1}{F_s} \cdot K \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot L^2 \cdot \gamma \right) \cdot (1 + \tan^2 \phi) \tan \phi \quad (2.128)$$

$$\bar{P}_{\text{ijin}} = \sum \bar{P} - \text{berat tiang, (N)} \quad (2.129)$$

Perhitungan jumlah tiang yang diperlukan :

$$n = \frac{V_{\text{total}}}{P_{\text{ijin}}}, \text{ (jumlah tiang)}$$

kontrol daya dukung masing-masing tiang :



Gambar 2.39 Tata Letak dan Kondisi yang Terjadi pada Tiang Pancang

$$P = \frac{V_{\text{total}}}{n} \pm \frac{m_y \cdot x_1}{n \cdot \sum y^2} \pm \frac{m_x \cdot y_1}{n \cdot \sum x^2} < \bar{P}_{\text{ijin}} \quad (2.130)$$

Dengan :

V = beban vertikal (N)

n = jumlah tiang

D_f = panjang tiang (m)

B = lebar tiang (m)

y = jarak searah sumbu y (m)

qu = kapasitas beban batas (N/m²)

c = kohesi tanah (N/m^2)