

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jembatan

Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya “Jembatan“, jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa).

Jembatan adalah jenis bangunan yang apabila akan dilakukan perubahan konstruksi, tidak dapat dimodifikasi secara mudah, biaya yang diperlukan relatif mahal dan berpengaruh pada kelancaran lalu lintas pada saat pelaksanaan pekerjaan. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar. Minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Ini berarti, disamping kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban lalu lintas, perlu diperhatikan juga bagaimana pemeliharaan jembatan yang baik.

2.2 Jenis – jenis Jembatan

Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai pada konstruksi yang mutakhir. Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut (Agus Iqbal Manu, 1995:9):

- Jembatan jalan raya (*highway bridge*).

- Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*).
- Jembatan jalan air (*waterway bridge*)
- Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*)
- Jembatan militer (*military bridge*)
- Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*).

Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

- Jembatan kayu (*log bridge*).
Jembatan yang terdiri dari bahan kayu dengan bentang yang relatif pendek.
- Jembatan beton (*concrete bridge*).
Jembatan beton merupakan jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton.
- Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*).
Jembatan dengan bahan berkekuatan tinggi merupakan alternatif menarik untuk jembatan bentang panjang. Bahan ini dipergunakan secara luas pada struktur jembatan sejak tahun 1950-an.
- Jembatan baja (*steel bridge*).
Jembatan yang menggunakan berbagai macam komponen dan sistem struktur baja: *deck*, girder, rangka batang, pelengkung, penahan dan penggantung kabel.
- Jembatan komposit (*compossite bridge*).
Jembatan yang memiliki pelat lantai beton dihubungkan dengan girder atau gelagar baja yang bekerja sama mendukung beban sebagai satu kesatuan balok. Gelagar baja terutama menahan tarik sedangkan plat beton menahan momen lendutan.

Berdasarkan tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam (Bambang Supriyadi, 2007:18), antara lain:

- Jembatan plat (*slab bridge*).

Jembatan dengan bentuk yang paling ekonomis untuk menahan lentur dan gaya geser serta memiliki momen inersia terbesar untuk berat yang relatif rendah setiap unit panjangnya.

- Jembatan plat berongga (*voided slab bridge*).

Jembatan dengan meminimalkan jumlah gelagar dan bagian-bagian fabrikasi, sehingga dapat mengurangi nilai konstruksinya. Jarak antar gelagar dibuat lebar dan pengaku lateral diabaikan.

- Jembatan gelagar (*girder bridge*).

Jembatan yang memiliki gelagar utama dihubungkan secara melintang dengan balok lantai membentuk pola grid dan akan menyalurkan beban bersama-sama. Jembatan tipe ini dibagi menjadi 2 macam yakni, I-girder dan box girder.

- Jembatan rangka (*truss bridge*).

Jembatan yang terdiri dari elemen-elemen berbentuk batang disusun dengan pola dasar menerus dalam struktur segitiga kaku. Elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan sambungan pada ujungnya. Setiap bagian menahan beban axial juga tekan dan tarik.

- Jembatan pelengkung (*arch bridge*).

Pelengkung merupakan struktur busur vertikal yang mampu menahan beban tegangan axial.

- Jembatan gantung (*suspension bridge*).

Jembatan dimana gelagar digantung oleh penggantung vertikal atau mendekati vertikal yang kemudian digantungkan pada kabel penggantung utama yang melewati menara dari tumpuan satu ke tumpuan lainnya. Beban diteruskan melalui gaya tarik kabel. Desain ini sesuai dengan jembatan dengan bentang yang terpanjang.

- Jembatan kabel (*cable stayed bridge*).

Jembatan dimana gelagar digantung oleh kabel berkekuatan tinggi dari satu atau lebih menara. Desain ini lebih sesuai untuk jembatan jarak panjang.

- Jembatan cantilever (*cantilever bridge*).

Jembatan menerus yang dibuat dengan penempatan sendi di antara pendukung.

2.3 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan

Secara umum konstruksi jembatan beton memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban-beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

2.3.1 Bangunan Atas Jembatan (*upper structure*)

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menopang beban-beban akibat lalu lintas kendaraan, orang, barang ataupun berat sendiri dan konstruksi (http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/pedoman_teknik_2122.pdf). Yang termasuk dalam bangunan atas adalah:

a. Tiang sandaran

Berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya. Tiang sandaran dengan trotoar terbuat dari beton bertulang dan untuk sandarannya dari pipa galvanis.

b. Trotoar

Merupakan tempat pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi dari lantai jalan atau permukaan aspal. Lebar trotoar minimal cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 1,0–1,5 meter dan dipasang pada bagian kanan serta kiri jembatan. Pada ujung tepi trotoar (kerb) dipasang lis dari baja siku untuk penguat trotoar dari pengaruh gesekan dengan roda kendaraan.

c. Lantai Trotoar

Lantai trotoar adalah lantai tepi dari plat jembatan yang berfungsi menahan beban-beban yang terjadi akibat tiang sandaran, pipa sandaran, beban trotoar, dan pejalan kaki.

d. Lantai Kendaraan

Berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang melalui gelagar-gelagar melintang. Pelat lantai dari beton ini mempunyai ketebalan total 20 cm.

e. Balok Diafragma

Balok diafragma adalah merupakan pengaku dari gelagar-gelagar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa.

f. Gelagar

Gelagar merupakan balok utama yang memikul beban dari lantai kendaraan maupun kendaraan yang melewati jembatan tersebut, sedangkan besarnya balok memanjang tergantung dari panjang bentang dan kelas jembatan.

2.3.2 Bangunan Bawah Jembatan

Bangunan bawah pada umumnya terletak disebelah bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi (Agus Iqbal Manu, 1995:5). Yang termasuk dalam bangunan bawah jembatan yaitu seperti :

a. Kepala jembatan (Abutment)

Bagian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum abutment yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*seatlement*) yang terjadi. Adapun jenis abutment ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi seperti dinding atau tembok.

b. Plat injak

Plat injak adalah bagian dan bangunan jembatan bawah yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima di atasnya secara merata ke tanah dibawahnya dan juga untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan.

c. Pondasi

Pondasi adalah bagian dan jembatan yang tertanam didalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban bangunan yang berada di atasnya dan meneruskannya ke tanah dasar, baik ke arah vertikal maupun ke arah horizontal. Dalam perencanaan suatu konstruksi atau bangunan yang kuat, stabil dan ekonomis, perlu diperhitungkan hal-hal sebagai berikut:

- Daya dukung tanah serta sifat-sifat tanah.
- Jenis serta besar kecilnya bangunan yang dibuat.
- Keadaan lingkungan lokasi pelaksanaan.
- Peralatan yang tersedia.
- Waktu pelaksanaan yang tersedia.

Pondasi terbagi menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pondasi Dangkal (Pondasi Langsung)

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung bagian bawah secara langsung pada tanah. Pondasi ini dapat dibagi menjadi:

- Pondasi Menerus (*Continous Footing*)
- Pondasi Telapak (*Footing*)
- Pondasi Setempat (*Individual Footing*)

2. Pondasi Dalam (Pondasi Tak Langsung)

Pondasi dalam adalah beban pondasi yang dipikul akan diteruskan kelapisan tanah yang mampu memikulnya. Untuk menyalurkan beban bangunan tersebut kelapisan tanah keras maka dibuat suatu konstruksi penerus yang disebut pondasi tiang atau pondasi sumuran.

Pondasi dalam terdiri dari:

- Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang digunakan bila tanah pendukung berada pada kedalaman > 8 meter, yang berdasarkan tes penyelidikan dilapangan.

- Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran digunakan bila tanah pendukung berada pada kedalaman 2-8 meter. Bentuk penampang pondasi ini adalah bundar, segi empat dan oval.

d. Dinding Sayap (*Wing Wall*)

Dinding sayap adalah bagian dan bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk menahan tegangan tanah dan memberikan kestabilan pada posisi tanah terhadap jembatan.

e. Landasan/Perletakan

Menurut Agus Iqbal Manu landasan jembatan adalah bagian ujung bawah dari suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya reaksi dari bangunan atas kepada bangunan bawah. Menurut fungsinya dibedakan landasan sendi (*fixed bearing*) dan landasan gerak (*movable bearing*).

2.4 Jembatan Beton Prategang

2.4.1 Beton Prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat P.H Jackson, seorang insinyur dari California, mendapatkan paten untuk sistem struktural yang menggunakan *tie rod* untuk membuat pelengkung dari balok-balok. Pada tahun 1888, C.W Doehring dari Jerman memperoleh paten untuk memberikan prategang pada slab dengan kawat-kawat metal (Edward. G. Nawy, 2001:5).

Dewasa ini beton prategang digunakan pada gedung, struktur bawah tanah, menara TV, struktur lepas pantai dan gudang apung. Stasiun pembangkit dan berbagai jenis sistem jembatan.

Beton prategang adalah material yang sangat digunakan dalam konstruksi. Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga

tegangan yang diberikan oleh beban beban luar dilawan sampai suatu titik yang diinginkan. Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton bertulang biasa.

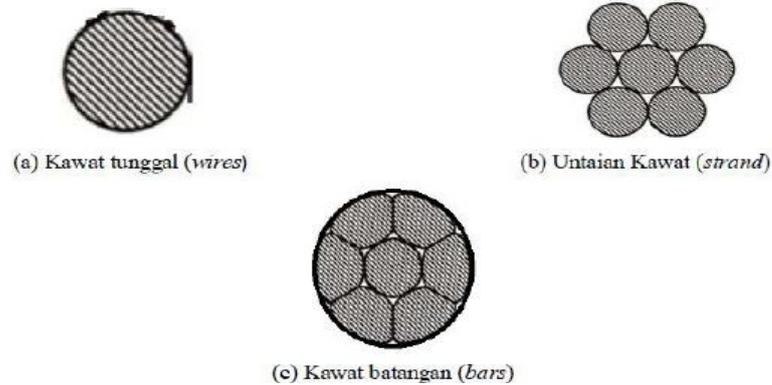
Keuntungan dari beton prategang merupakan komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibanding beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi struktur komponen beton bertulang (Edward. G. Nawy, 2001:4).

2.4.2 Baja Prategang

Untuk penggunaan pada beban layan yang tinggi, penggunaan baja tulangan (tendon) dan beton mutu tinggi akan lebih efisien. Hanya baja pada tegangan elastis tinggi yang cocok digunakan pada beton prategang. Penggunaan baja tulangan mutu tinggi bukan saja merupakan suatu keuntungan, tetapi merupakan suatu keharusan. Prategang akan menghasilkan elemen yang lebih ringan, bentang yang lebih besar dan lebih ekonomis jika ditinjau dari segi pemasangannya dibandingkan dari beton bertulang biasa.

Baja tendon yang dipakai untuk beton prategang dalam prateknya ada tiga macam, yaitu:

1. Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).
2. Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).
3. Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).



(Sumber: *Prestressed Concrete Design, MK. Hurst*)

Gambar 2.1 Jenis-jenis Baja yang Dipakai Untuk Beton Prategang: (a) Kawat tunggal (*wires*). (b) untaiian Kawat (*strand*). (c) Kawat batangan (*bars*)

Tabel 2.1 Jenis Tulangan Prategang

Jenis material	Nominal diameter	Luas	Gaya Putus minimum	Tegangan tarik minimum, f_{pu}
	mm	mm ²	kN	MPa
Kawat (wire)	5	19.6	30.4	1550
	5	19.6	33.3	1700
	7	38.5	65.5	1700
7-wire strand super grade	9.3	54.7	102	1860
	12.7	100	184	1840
	15.2	143	250	1750
7-wire strand Regular grade	12.7	94.3	165	1750
Bar	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

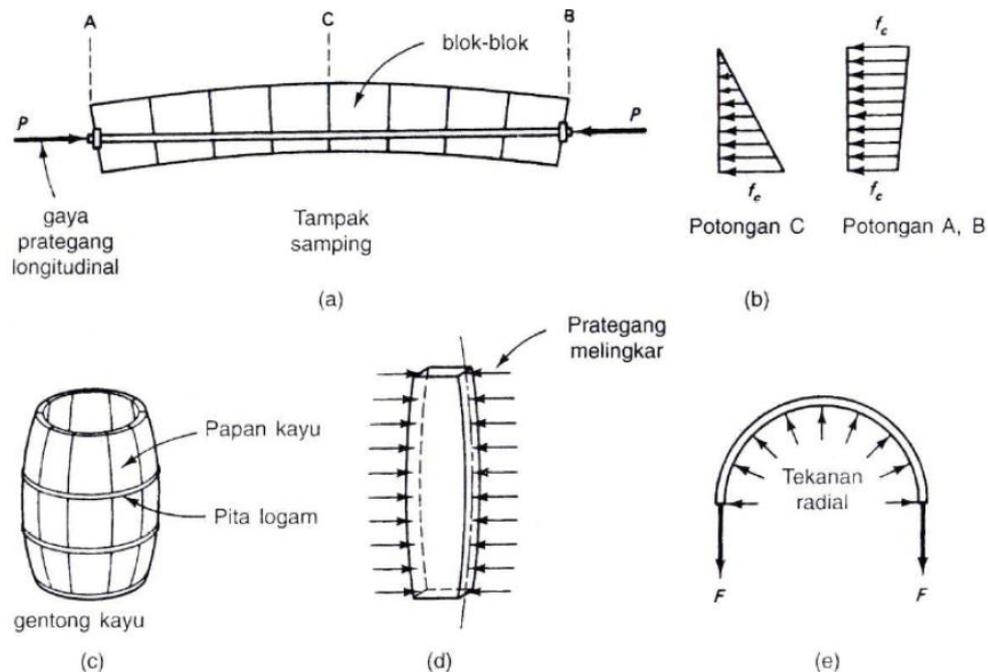
(Sumber; *Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan*)

2.4.3 Prinsip Dasar Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan

cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut.

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang disuatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien (Edward. G. Nawy, 2001 : 1).



(Sumber: Beton Prategang, Edward G. Nawy)

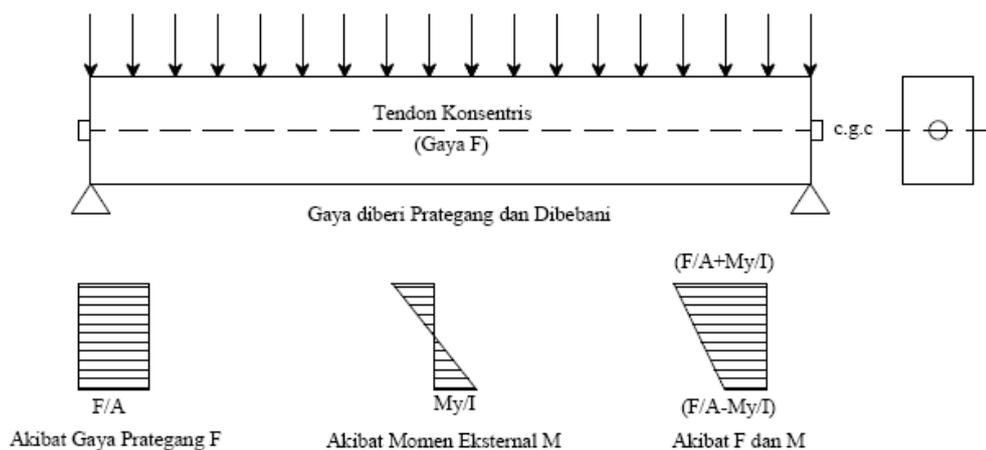
Gambar 2.2 Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar. (a) Pemberian prategang linier pada sederetan blok untuk membentuk balok. (b) Tegangan tekan di penampang tengah bentang C dan penampang A atau B. (c) Pemberian prategang melingkar pada gentong kayu dengan pemberian tarik pada pita logam. (d) Prategang melingkar pada satu papan kayu. (e) Gaya tarik F pada detengah pita logam akibat tekanan internal, yang harus diimbangi oleh prategang melingkar.

Balok-balok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekanan P yang besar. Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak demikian karena adanya gaya longitudinal P .

2.4.4 Konsep Prategang

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang (T. Y. Lin Ned, 1996 : 11). Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut.

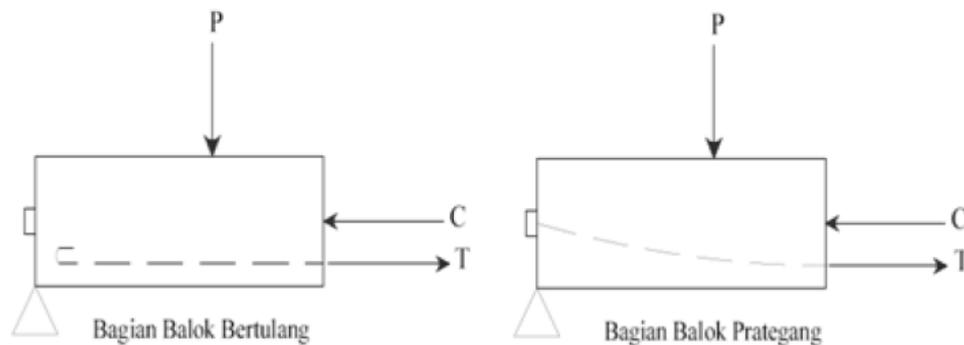
Konsep pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan sebuah pemikiran dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pra-tekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria tidak ada tekanan tarik pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak ada terjadi retak, beton bukan merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahkan yang elastis. Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, lihat gambar 2.3.



(Sumber: *Desain Struktur Beton Prategang*, T Y Lin & Ned H Burns)

Gambar 2.3 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

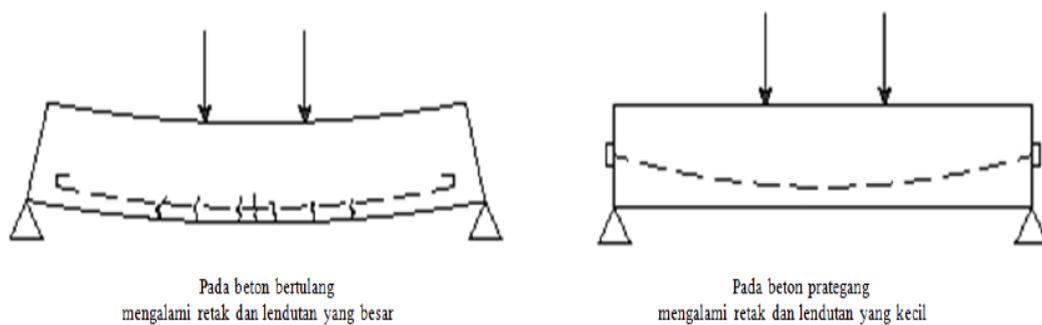
Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini memperhitungkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kompel penahan untuk melawan momen eksternal, lihat gambar 2.4.



(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Gambar 2.4 Momen Penahan Internal pada Beton Prategang dan Beton Bertulang

Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, lihat gambar 2.5.

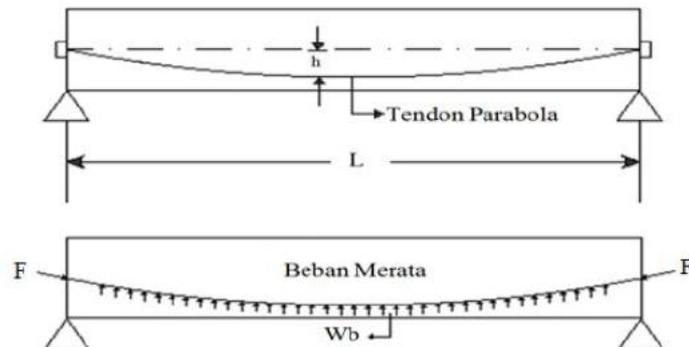


(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Gambar 2.5 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

Konsep ketiga, sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti plat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini

memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang, lihat gambar 2.6.



(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Gambar 2.6 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola

2.4.5 Sistem Pengangkeran

Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengangkeran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. Seorang sarjana teknik sipil harus mempunyai pengetahuan umum mengenai metode-metode yang ada dan mengingatkannya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon-tendon dari beberapa sistem dapat ditempatkan dengan baik (T. Y. Lin Ned, 1996 : 58).

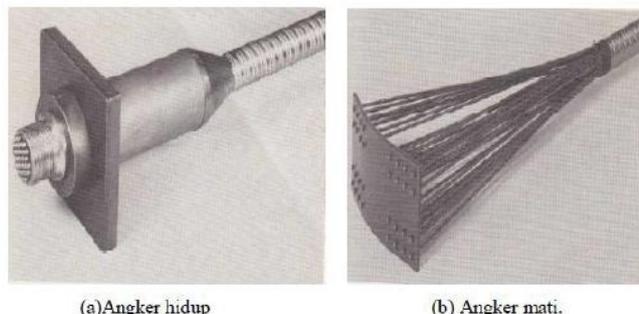
Berbagai metode dengan nama pra-tekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan tumpunya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*)
2. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan mengulung kawat secara melingkar.
3. Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.

4. Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
5. Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam dalam beton sampai beton tersebut mengeras.
6. Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

Metode yang biasa dipakai untuk memberikan prategang pada beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat penarik yang berbeda-beda. Prategang dengan menggunakan gaya-gaya langsung diantara tumpuan-tumpuan umumnya dipakai pelengkung dan perkerasan, dan dongkrak datar selalu dipakai untuk memberikan gaya-gaya yang diinginkan.

Pengangkeran ada 2 macam yaitu angker mati dan angker hidup. Angker mati adalah angker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan angker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pengangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik.



Gambar 2.7 Jenis Pengangkeran

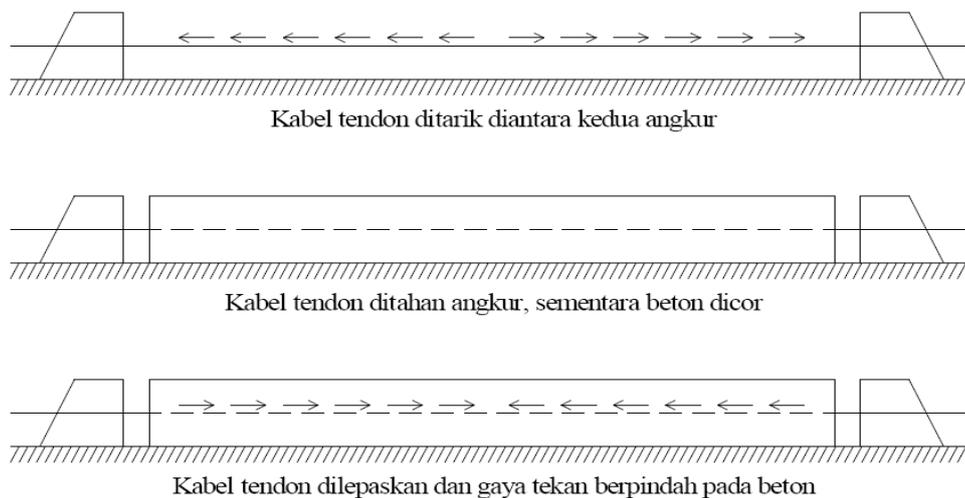
a. Sistem Pratarik (*pre-tensioning*)

Didalam sistem pratarik (*pre-tensioning*), tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angker yang kaku (*rigid*) yang dicetak diatas lantai atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik. dan selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan.

Metode ini digunakan untuk beton-beton pracetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi kecil. Beton-beton pracetak biasanya ditemukan

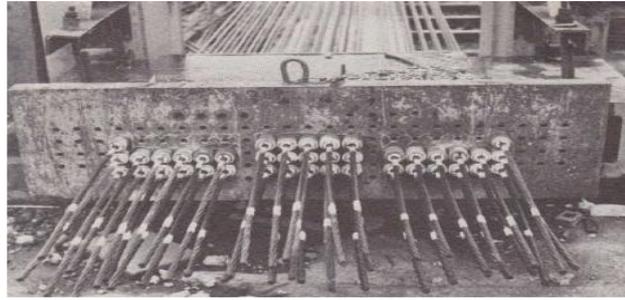
pada konstruksi-konstruksi bangunan kolom-kolom gedung. Tiang pondasi atau balok dengan bentang yang panjang.

Adapun tahap urutan pengerjaan beton pre-tension adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah ankur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah ankur yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah panjang. *Jack* dilengkapi dengan manometer untuk mengetahui besarnya gaya yang ditimbulkan oleh *jack*. Setelah mencapai gaya yang diinginkan beton dicor. Setelah beton mencapai umur yang cukup, kabel perlahan-lahan dilepaskan dan kedua ankur dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah pertambahan panjang yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan. Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton. Oleh karena sistem pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. Hal itu penting bahwa setiap tendon harus merekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas pra-penarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton, lihat gambar 2.8.



(Sumber: http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m72a6766d.gif)

Gambar 2.8 Konsep Pra-Tarik

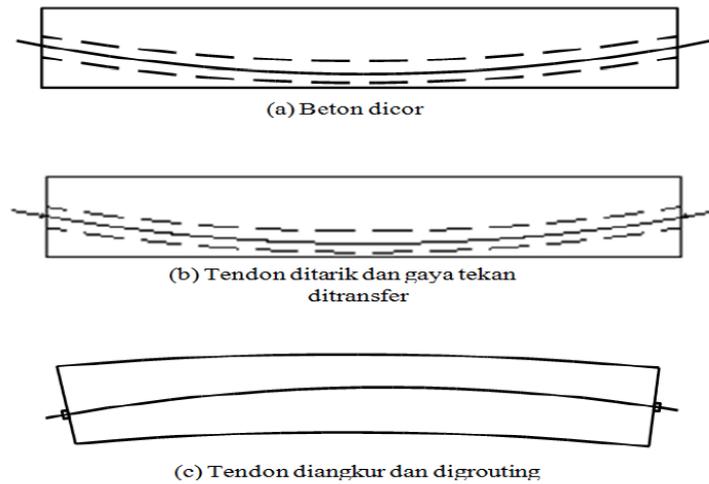


Gambar 2.9 Pengangkeran Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

b. Sistem Pascatarik (*post-tensioning*)

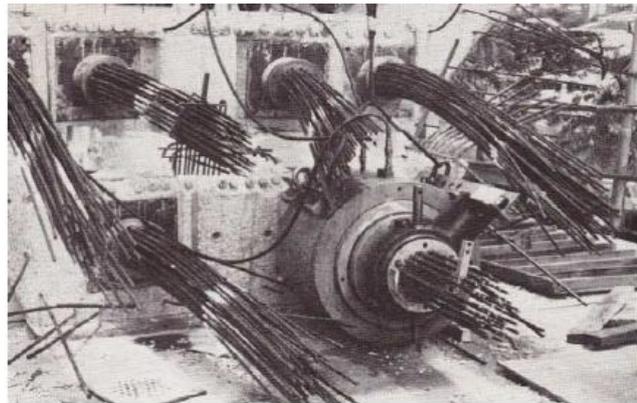
Kebanyakan pelaksanaan prestress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai- perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post-tensionig*) juga banyak digunakan konstruksi beton prategang segmental pada jembatan dengan bentang yang panjang.

Adapun metode dalam pelaksanaan pengerjaan beton pascatarik (*post-tensioning*) adalah sebagai berikut, selongsong kabel tendon dimasukkan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya diberi angkur hidup dan ujung lainnya angkur mati atau kedua ujungnya dipasang angkur hidup. Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi. Selanjutnya dongkrak hidrolis dipasang pada angkur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung angkur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur. lihat gambar 2.10.



(Sumber: http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m806b4cc.gif)

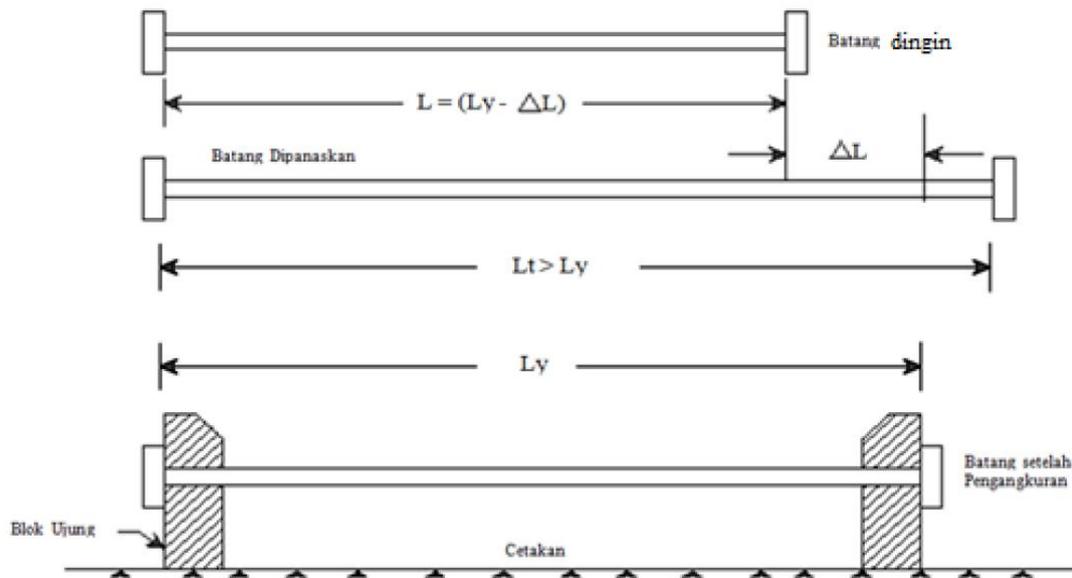
Gambar 2.10 Konsep Pasca-Tarik



Gambar 2.11 Pengangkeran Sistem Pascatarik (*Post-tensioning*) dengan menggunakan *jack* 1000 ton

c. Prategang Termo-Listrik

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai Prategang Termo-Listrik. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai temperature 300-400 °C selama 3-5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3-0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha mempendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit.



(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

Gambar 2.12 Proses Prategang Termo-Listrik

d. Prategang Secara Kimia

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan penegangan sendiri (*self-stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi. Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam. Maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik. Karena pemuaian terjadi pada tiga arah, sehingga akan lebih sulit untuk menggunakan sistem prategang secara kimia pada struktur-struktur yang dicor setempat seperti gedung. Akan tetapi, untuk pipa-pipa tekanan dan perkerasan jalan (*pavement*), dimana prategang sekurang-kurangnya pada dua arah. Sistem prategang kimiawi lebih ekonomis. Hal ini juga berlaku untuk pelat, dinding, dan cangkang.

2.4.6 Analisis Prategang

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris.

Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (N. Krisna Raju, 1986 : 49):

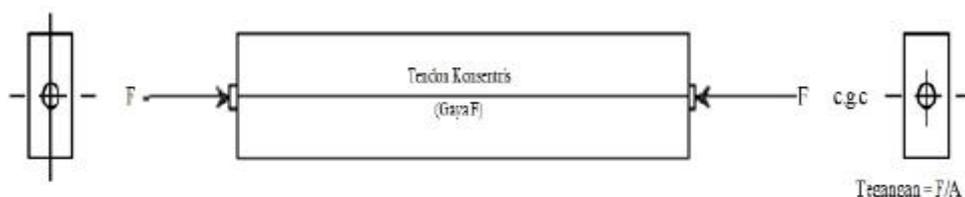
1. Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
2. Didalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Tidak dapat menahan rangkak yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
3. Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja. satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan memelihara prategang pada beton.

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh aksi beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris maupun konsentris (N. Krisna Raju, 1986 : 50).

a. Tendon Konsentris

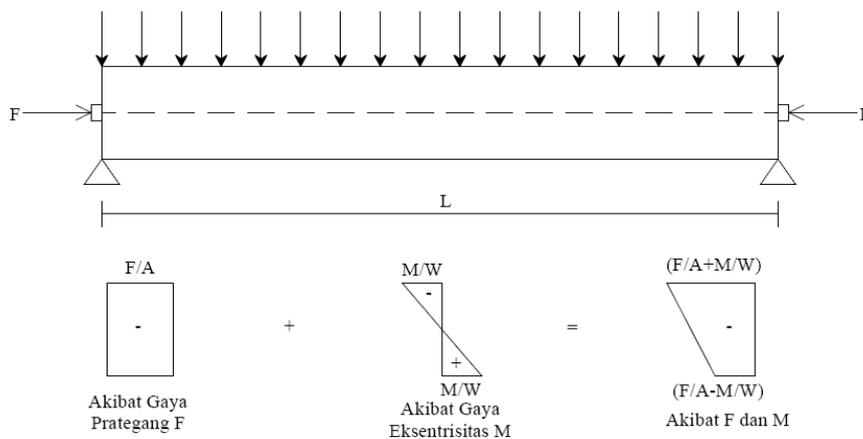
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini,



(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

Gambar 2.13 Prategang Konsentris

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton = F/A yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon.

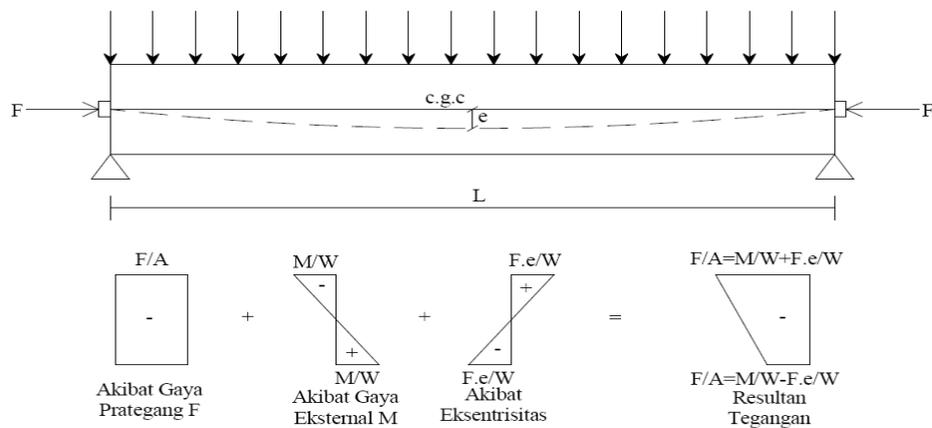


(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

Gambar 2.14 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

b. Tendon Eksentris

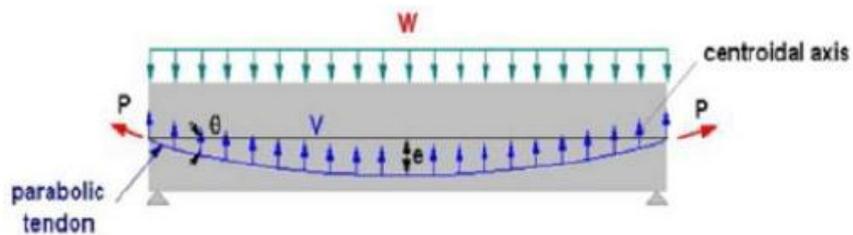
Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas (e). Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal.



(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

Gambar 2.15 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension.

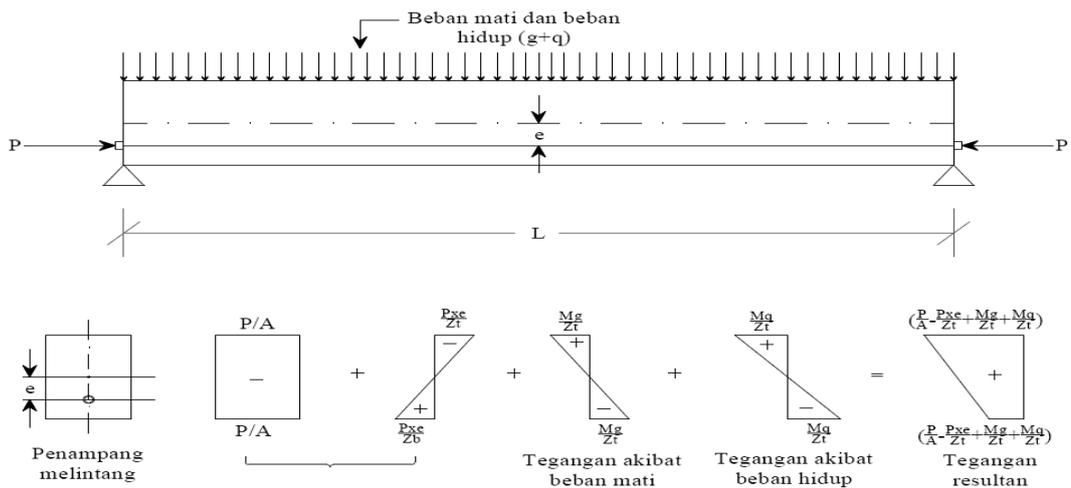


(Sumber: civilsociety.blogspot.com/2012/.../beton-prategang.html)

Gambar 2.16 Gaya-gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola

c. Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan q dan g . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang (P) dengan eksentrisitas (e). Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika M_q dan M_g merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang.



(Sumber: *Beton Pratekan, N. Krishna Raju*)

Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban mati dan Beban Hidup

2.4.7 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan (Andri Budiadi, 2008 : 217). Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh:

- a. Perpendekan elastis dari beton.
- b. Gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pasca tarik.
- c. Selip pada ankur, dll.

Kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu disebabkan oleh:

- a. Relaksasi baja, dan
- b. Perpendekan dari beton pada level baja akibat rangkakan dan penyusutan.

2.4.8 Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur

Dalam desain lentur komponen struktur beton bertulang, adalah suatu hal yang memadai untuk menerapkan kondisi batas tegangan pada saat gagal di dalam menentukan pilihan penampang, asalkan semua persyaratan lain seperti daya layan, kapasitas geser dan lekatan dipenuhi. Namun, dalam desain komponen struktur beton prategang, pengecekan lainnya dibutuhkan pada saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Semua pengecekan ini dibutuhkan untuk menjamin bahwa pada kondisi beban kerja, retak dapat diabaikan dan efek-efek jangka panjang terhadap defleksi atau lawan lendut dapat dikontrol dengan baik (Edward G. Nawy, 2001 : 107).

2.4.9 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan, serat bawah dan serat atas harus dilakukan terlebih dahulu (Edward G. Nawy, 2001 : 108). Jika,

- f_{ci} = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan. ($0,6.f_{ci}$).
- f_{ct} = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan. ($3\sqrt{f'ci}$, nilai ini dapat diperbesar menjadi $6\sqrt{f'ci}$ di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana).
- f_c = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah kehilangan pada taraf beban kerja. ($0,45.f_c$ atau $0,60 .f_c'$ apabila diperkenankan oleh standar).
- f_t = Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah semua kehilangan pada taraf beban kerja. ($6\sqrt{f'ci}$, pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi $12\sqrt{f'ci}$ jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi).

Rumus umum perhitungan tegangan

$$\text{Tegangan akibat prategang} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{W}$$

$$\text{Tegangan akibat beban luar termasuk berat sendiri} = \frac{M}{W}$$

Resultan tegangan di serat tarik dibuat sama dengan nol untuk struktur *fully prestressed* (prategang penuh) sementara untuk yang *partial prestressed* (prategang sebagian) disesuaikan dengan tegangan ijinnya. Di serat tekan, tegangan tidak boleh melebihi tekan tegangan yang diijinkan. Dengan demikian tegangan di serat tertekan adalah (Andri Budiadi, 2008:23) :

$$f_b = -\frac{P}{A} + \frac{P.e}{W} + \frac{M}{W} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- f_b = Tegangan di serat tertekan/bawah ($\text{MPa} = \text{kN/m}^2$)
- P = Gaya prategang (kN)
- e = Eksentrisitas penampang (m)
- M = Momen akibat beban luar (kN.m)
- W = Momen tahan (m^3)

2.5. Dasar-Dasar Perhitungan Konstruksi

Dalam merencanakan konstruksi jembatan terdapat banyak acuan yang dipakai sebagai dasar baik untuk pembebanan ataupun perhitungan bagian-bagian jembatan. Adapun acuan yang penulis gunakan dalam laporan ini adalah sebagai berikut:

- Buku “ Pondasi ” karangan Zainal dan Ir. Sri Respati.
- Buku Teknik Sipil.
- Lampiran Desain Jembatan Prategang 40m Dari Bina Marga
- Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan
- RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan.
- RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Jembatan Beton.
- SNI 2833-2008 Standar Perencanaan Gempa Untuk Jembatan.
- SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Bangunan Gedung.
- Bridge Management System 1992.
- Laporan akhir mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya, dll.

2.5.1 Istilah dan Definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam RSNI T-02-2005 sebagai berikut :

a) Aksi Lingkungan

Pengaruh yang timbul akibat temperatur, angin aliran air, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya.

b) Aksi Nominal

Nilai beban rata-rata berdasarkan statistik untuk periode ulang 50 tahun.

c) Beban Primer

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

d) Beban Sekunder

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

e) Beban Khusus

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

f) Beban Mati

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

g) Beban Hidup

Semua beban tetap yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

h) Beban Mati Primer

Berat sendiri dari pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar jembatan.

i) Beban Pelaksanaan

Beban sementara yang mungkin bekerja pada bangunan secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan.

j) Beban Mati Sekunder

Berat kerb, trotoar, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat di cor. Beban tersebut dianggap terbagi rata di seluruh gelagar.

k) Beban Lalu Lintas

Seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan.

l) Berat

Berat dari suatu benda adalah gaya gravitasi yang bekerja pada masa benda tersebut (kN).

Berat = massa \times g, dengan pengertian g adalah percepatan akibat gravitasi.

m) Faktor Beban

Pengali numerik yang digunakan pada aksi nominal untuk menghitung aksi rencana. Faktor beban diambil untuk :

- Adanya perbedaan yang tidak diinginkan pada beban.

- Ketidak-tepatan dalam memperkirakan pengaruh pembebanan.
 - Adanya perbedaan ketepatan dimensi yang dicapai dalam pelaksanaan.
- n) Faktor Beban Biasa
Digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah mengurangi keamanan.
- o) Faktor Beban Terkurangi
Digunakan apabila pengaruh dari aksi rencana adalah menambah keamanan.
- p) Jangka Waktu Aksi
Perkiraan lamanya aksi bekerja dibandingkan dengan umur rencana jembatan.
Ada dua macam kategori jangka waktu yang diketahui :
- Aksi tetap adalah bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan jembatan cara jembatan dibangun dan bangunan lain yang mungkin menempel pada jembatan.
 - Aksi transien bekerja dengan waktu yang pendek, walaupun mungkin terjadi seringkali.
- q) Lantai Kendaraan
Seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk menerima beban dari lalu lintas kendaraan. Bebannya disebut Beban “T”.
- r) Lajur Lalu Lintas
Bagian dari lantai kendaraan yang digunakan oleh suatu rangkaian kendaraan. Bebannya disebut Beban “D”.
- s) Lajur Lalu Lintas Rencana
Strip dengan lebar 2,75 m dari jalur yang digunakan dimana pembebanan lalu lintas rencana bekerja.
- t) Lajur Lalu Lintas Biasa
Lajur yang diberi marka pada permukaan untuk mengendalikan lalu lintas.
- u) Lebar Jalan
Lebar keseluruhan dari jembatan yang dapat digunakan oleh kendaraan, termasuk lajur lalu lintas biasa, bahu yang diperkeras, maka median dan marka yang berupa strip. Lebar jalan membentang dari kerb yang dipertinggi ke kerb yang lainnya. Atau apabila kerb tidak dipertinggi, adalah dari penghalang bagian dalam ke penghalang lainnya.

2.5.2 Standar Pembebanan Jembatan

Faktor beban merupakan hal terpenting dalam perencanaan jembatan. Diperlukan standar khusus untuk perencanaan pembebanan yang nantinya menjadi dasar dan patokan perencanaan pembebanan. Di Indonesia, standar perencanaan pembebanan untuk jembatan mengacu pada *Bridge Management System* tahun 1992 tentang Panduan Perencanaan Jembatan dan RSNI-T-02-2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan.

Berdasarkan RSNI-T-02-2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan, beban pada jembatan terbagi atas:

A. Aksi dan Beban Tetap

Beban Primer adalah muatan atau beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan untuk setiap perencanaan jembatan. Yang termasuk beban utama adalah:

- Beban Sendiri

Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Jangka Waktu	Faktor Beban			
	Ks MS		Ku MS	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, aluminium	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 : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.3. Berat bahan Nominal dan U.L.S (*Ultimate Limit States*)

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Masa (Kg/m ³)
1	Campuran Aluminium	26,70	2720
2	Lapisan Permukaan Beraspal	22	2240
3	Besi Tuang	71	7200
4	Timbunan Tanah Dipadatkan	17,2	1760
5	Kerikil Dipadatkan	18,8-22,7	1920-2320
6	Aspal Beton	22	2240
7	Beton Ringan	12,25-19,6	1250-2000
8	Beton	22-25	2240-2560
9	Beton Prategang	25-26	2560-2840
10	Beton Bertulang	23,5-25,5	2400-2600
11	Timbal	111	11400
12	Lempung Lepas	12,5	1280
13	Batu Pasangan	23,5	2400
14	Neoprin	11,3	1150
15	Pasir Kering	15,7-17,2	1600-1760
16	Pasir Basah	18-18,8	1840-1920
17	Lumpur Lunak	17,2	1760
18	Baja	77	7850
19	Kayu (ringan)	7,8	800
20	Kayu (keras)	11	1120
21	Air Murni	9,8	1000
22	Air Garam	10	1025
23	Besi Tempa	75,5	7680

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

- **Beban Mati Tambahan / *Ultimate***

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

Tabel 2.4 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Jangka Waktu	Faktor Beban			
	Ks MA		Ku MA	
			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 ultimate				

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Kecuali ditentukan lain oleh Instansi yang berwenang, semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal

beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar. Pelapisan kembali yang diizinkan adalah merupakan beban nominal yang dikaitkan dengan faktor beban untuk mendapatkan beban rencana.

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung setepat mungkin. Berat dari pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga kondisi yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

- Pengaruh Penyusutan dan Rangkak

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Penyusutan dan Rangkak

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K	K
Tetap	1,0	1,0
Catatan (1) Walaupun rangkak dan penyusutan bertambah lambat menurut waktu akan tetapi pada akhirnya akan mencapai harga yang konstan.		

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan-jembatan beton. Pengaruh ini dihitung dengan menggunakan beban mati dari jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

B. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu

truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Lajur lalu lintas Rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.7. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

- Beban D

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Beban Lajur D

Jangka Waktu	Faktor Beban		
	Ks MA	Ku MA	
Transien	Keadaan Umum	1,0	2,0

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

Beban lajur “D” terdiri dari beban transfer merata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis terpusat (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.14.

1) Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana q tergantung pada panjang total yang dibebani (L) seperti berikut :

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

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

dengan pengertian:

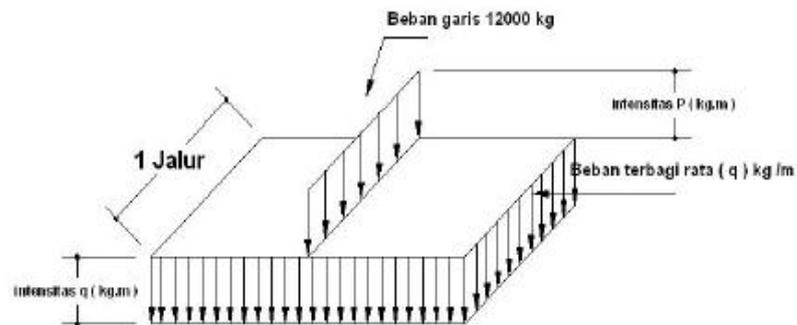
q adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

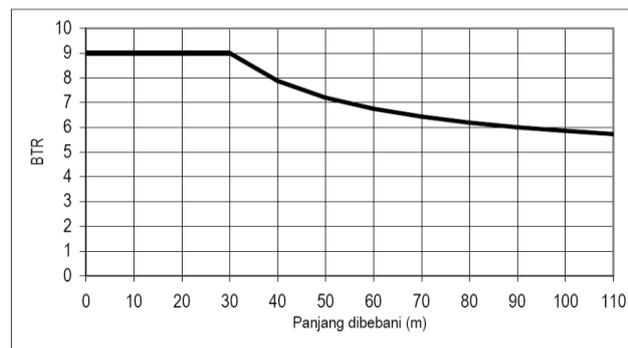
Panjang yang dibebani L adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus.

2) Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang

identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.



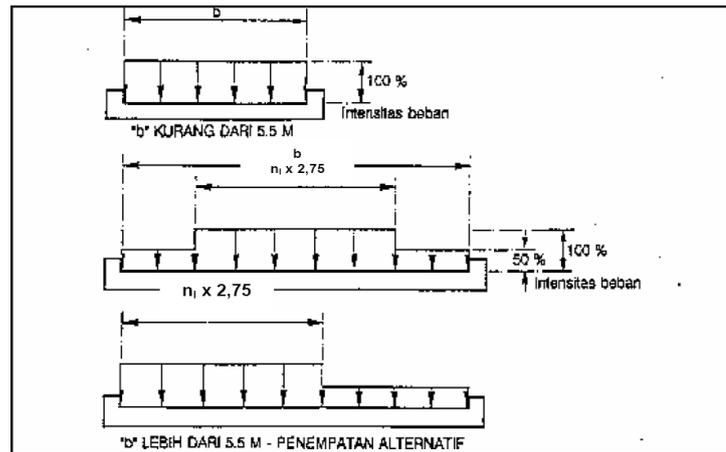
Gambar 2.18 Pembebanan "D"



Gambar 2.19 Hubungan antara BTR dan panjang yang dibebani
 Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" pada arah melintang harus sama. Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

- Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %.
- Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_L) yang berdekatan dapat dilihat pada tabel 2.7, dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_L \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $n_L \times 2,75 p$ kN, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar $n_L \times 2,75$ m.

- c. Lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 % seperti tercantum dalam pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.20 Ketentuan penggunaan beban "D"

Tabel 2.7 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan	Lebar Jalur Kendaraan	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n_L)
Satu Lajur	4,0 – 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 – 8,25	2
	11,3 – 15,0	4
Banyak arah	8,25 – 11,25	3
	11,3 – 15,0	4
	15,1 – 18,75	5
	18,8 – 22,5	6

Catatan (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.

Catatan (2) Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan /median dengan median untuk banyaka arah.

Catatan (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

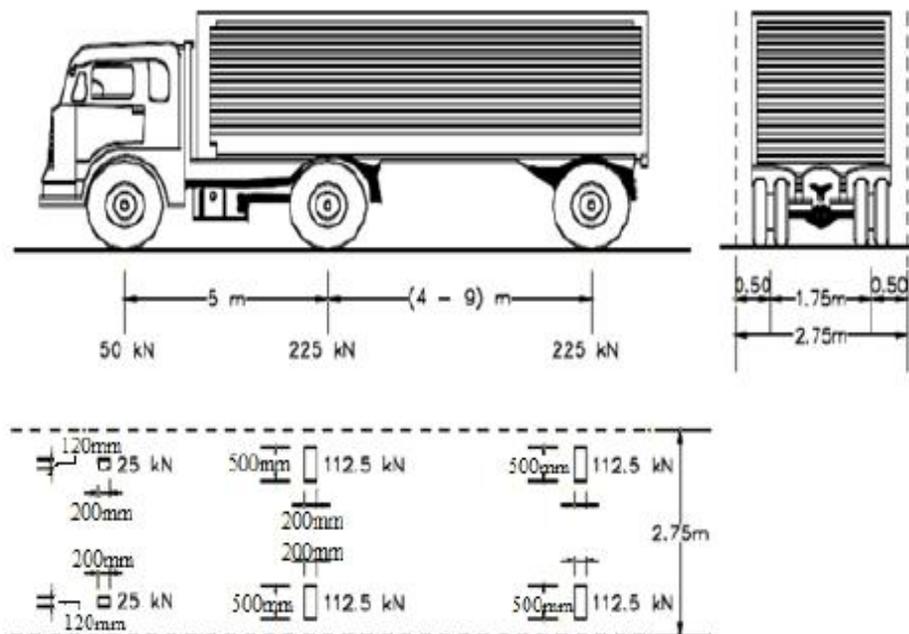
- Beban T

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Beban Truck

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks TT	Ku TT
Transien	1,0	1,8

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

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



Gambar 2.21 Pembebanan truk "T"(500 kN)

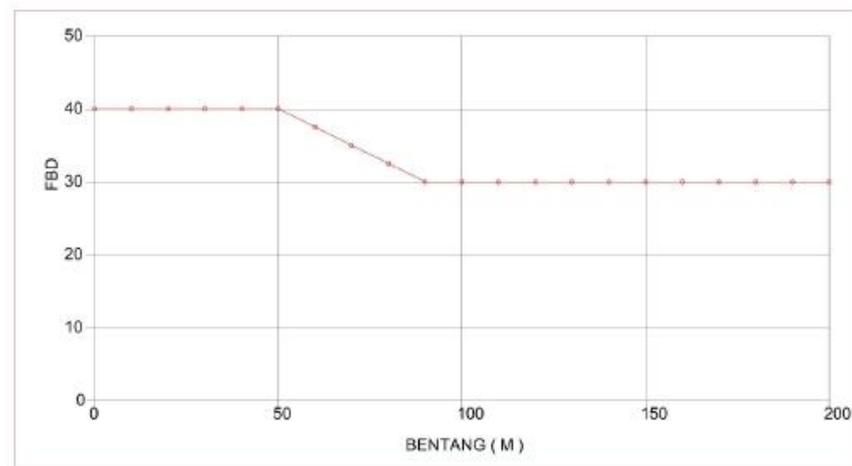
Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi harga berlaku untuk jembatan darurat atau semi permanen. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan "D" dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Untuk perencanaan FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit.

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada dibawah garis permukaan, harga FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari harga pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m.



Gambar 2.22 Faktor beban dinamis untuk BGT untuk pembebanan lajur D

- Gaya Rem

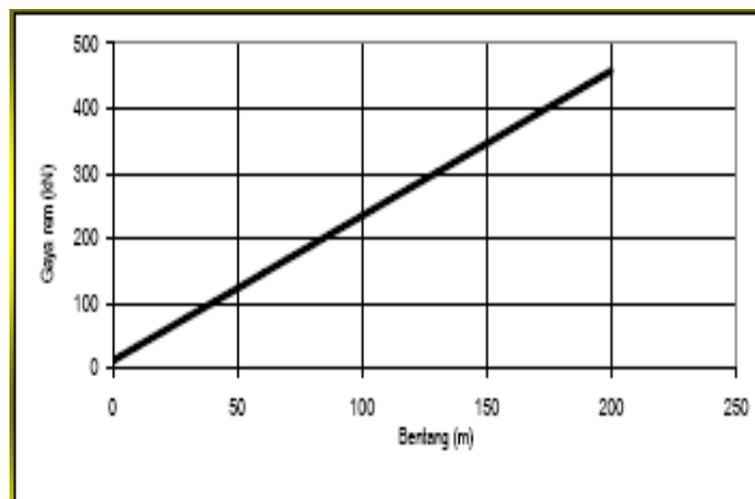
Tabel 2.9 Faktor beban akibat gaya rem

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks TB	Ku TB
Transien	1,0	1,8

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Bekerjanya gaya-gaya kearah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada di semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja dalam arah horizontal pada arah sumbu jembatan dengan titik tangkap 1,8 m diatas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, $q = 9 \text{ kPa}$.

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertical mengurangi pengaruh dari gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit terkurangi sebesar 40% boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal. Pembebanan lalu lintas 70% dan faktor pembesaran di atas 100% BGT dan BTR tidak berlaku untuk gaya rem.



Gambar 2.23 Gaya Rem Per Lajur 2,75 m (KBU)

- **Beban Kejut**

Untuk memperhitungkan pengaruh-pengaruh getaran dan pengaruh-pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan akibat muatan D harus dikalikan dengan koefisien kejut.

- **Pembebanan untuk Pejalan Kaki**

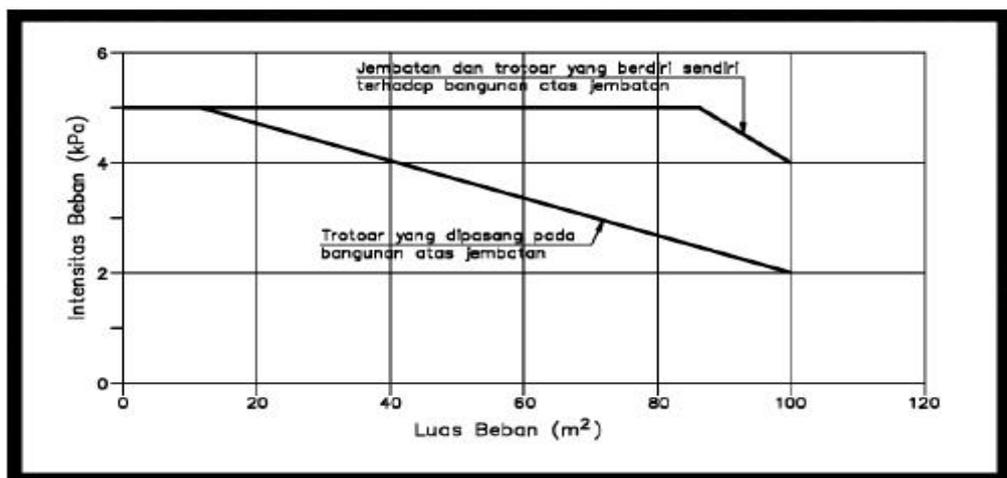
Tabel 2.10 Faktor beban akibat pembebanan untuk pejalan kaki

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks TP	Ku TP
Transien	1,0	1,8

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban per m² dari luas yang dibebani seperti pada gambar 2.23.

Luas yang dibebani adalah luas yang terkait dengan elemen bangunan yang ditinjau. Untuk jembatan, pembebanan lalu lintas dan pejalan kaki jangan diambil secara bersamaan pada keadaan batas ultimit. Bila trotoar memungkinkan digunakan kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.



(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Gambar 2.24 Pembebanan untuk Pejalan Kaki

C. Aksi Lingkungan

- Pengaruh Temperatur dan Suhu

Tabel 2.11 Faktor beban akibat pengaruh temperatur/suhu

Jangka Waktu	Faktor Beban		
	Ks ET	Ku ET	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,2	0,8

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Tabel 2.12 Temperatur Jembatan rata-rata normal

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-rata Minimum	Temperatur Jembatan Rata-rata Maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Tabel 2.13 Sifat Bahan Rata-rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu	Modulus Elastisitas MPa
Baja	12×10^{-6} per °C	200.000
Beton :		
Kuat Tekan < 30 MPa	10×10^{-6} per °C	25.000
Kuat Tekan > 30 MPa	11×10^{-6} per °C	34.000
Aluminium	24×10^{-6} per °C	70.000

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Pengaruh temperatur dibagi menjadi:

- 1) Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan temperatur dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut. Variasi temperatur rata-rata berbagai tipe bangunan jembatan diberikan dalam tabel 2.12. Besarnya harga koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk

menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberi dalam tabel 2.13. Perencana harus menentukan besarnya temperatur jembatan rata-rata yang diperlukan untuk memasang sambungan siar muai, perletakan dan lainnya, serta harus memastikan bahwa temperature tercantum pada gambar rencana.

- 2) Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari diwaktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan diwaktu malam.

- **Beban Angin**

Tabel 2.14 Faktor Beban Akibat Beban Angin

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks EW	Ku EW
Transien	1,0	1,2

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut:

$$Tew = 0,0006 Cw (Vw)^2 Ab \text{ [kN]} \dots\dots\dots (2.2a)$$

Dimana:

- Vw = kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau
- Cw = koefisien seret.
- Ab = luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang masif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekivalen ini dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar.

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$TEW = 0,0012 Cw (Vw)^2 Ab \text{ [kN]} \dots\dots\dots (2.2b)$$

Dimana Koefisien seret (Cw) dapat dilihat pada tabel 2.15 di bawah ini.

Tabel 2.15 Koefisien Seret (C_w)

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas massif, b/d = 1,0 b/d = 2,0 b/d \geq 6,0	2,1 1,5 1,25
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 massif
Catatan (2) Untuk harga antara dari b/d bisa di interpolasi
Catatan (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar
3% untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%.

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

Tabel 2.16 Kecepatan Angin Rencana V_w

Jangka Waktu	Lokasi	
	0-5 km dari pantai	>5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimate	35 m/s	30 m/s

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

- Gaya akibat Gempa Bumi

Tabel 2.17 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	K_s EQ	K_u EQ
Transien	Tak dapat digunakan	1,0

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Pasal ini menetapkan metode untuk menghitung beban statis ekuivalen untuk jembatan jembatan dimana analisa statis ekuivalen adalah sesuai. Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Lihat standar perencanaan beban gempa untuk jembatan

(Pd.T.04.2004.B). Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut:

$$T_{EQ} = K_h \times I \times WT \dots\dots\dots (2.3a)$$

Dimana:

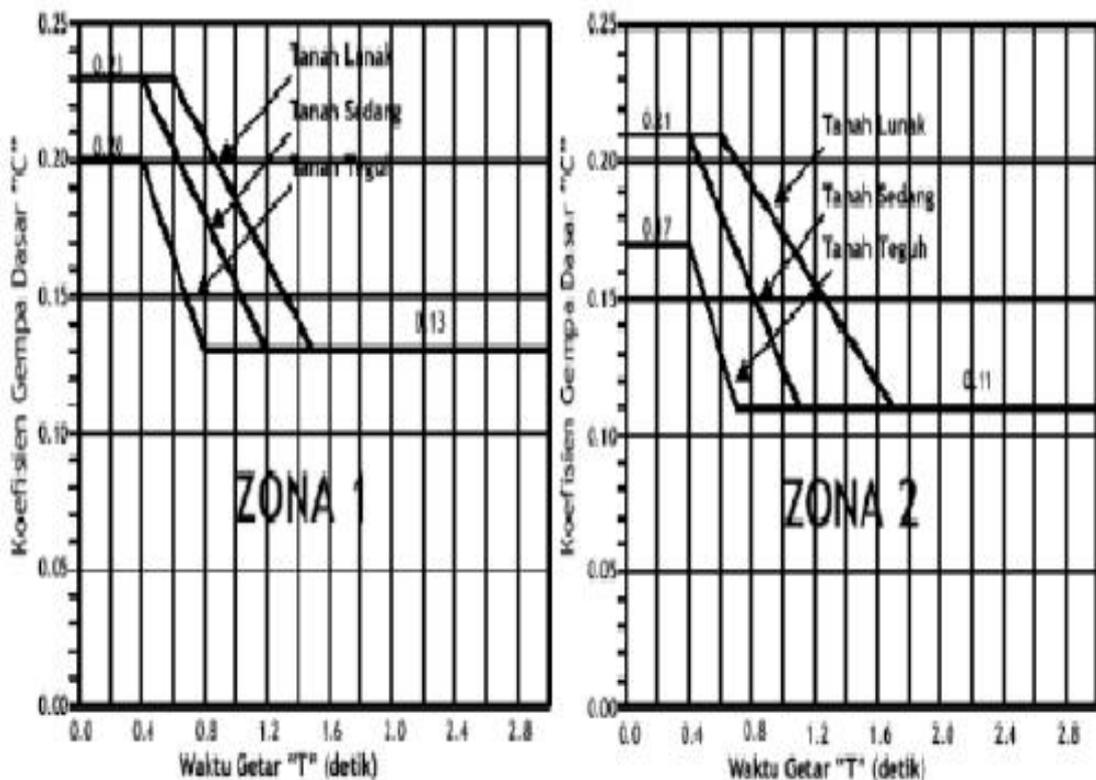
$$K_h = C \times S \dots\dots\dots (2.3b)$$

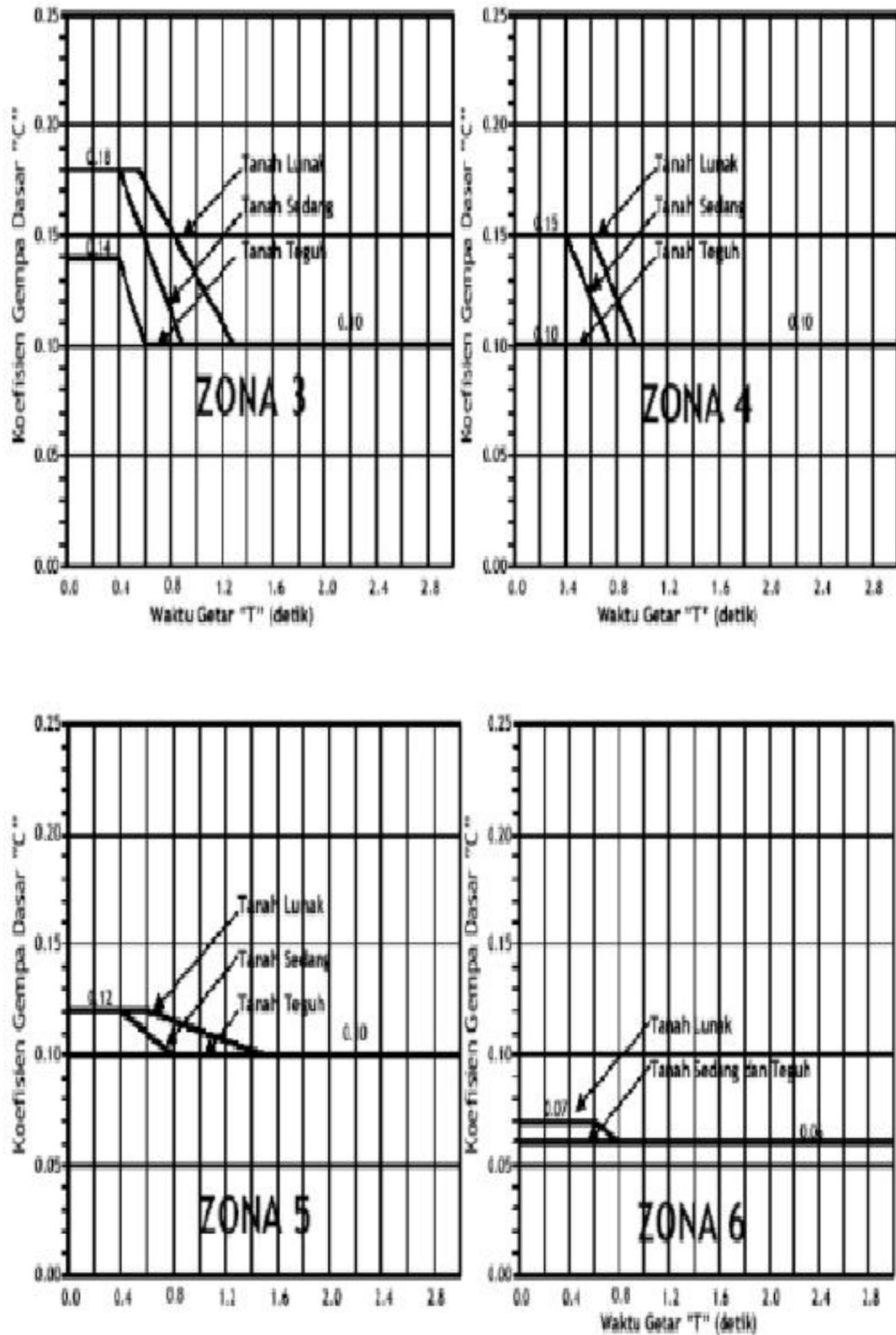
Dimana:

- T^*EQ = Gaya geser dasar total dalam arah ditinjau (kN)
- K_h = Koefisien beban gempa horizontal
- C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai. (Gambar 2.17)
- I = Faktor Kepentingan (Tabel 2.18)
- S = Faktor tipe bangunan (Tabel 2.19)
- WT = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN).

Koefisien Geser Dasar (C)

Koefisien geser dasar diperoleh dari gambar 2.25 dan sesuai daerah gempa, fleksibilitas tanah di bawah permukaan dicantumkan berupa garis dan waktu getar bangunan.





(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Gambar 2.25 Koefisien Geser Dasar (C) Plastis untuk Analisis Statis



(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI-T-02-2005)

Gambar 2.26 Wilayah Gempa Indonesia untuk Periode Ulang 500 Tahun

Tabel 2.18 Kondisi tanah untuk koefisien geser dasar

Jenis Tanah	Tanah Teguh	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Untuk seluruh jenis tanah	≤ 3 m	>3 m sampai 25 m	> 25 m
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser undrained rata-rata tidak melebihi 50 kPa	≤ 6 m	> 6m sampai 25 m	> 25 m
Pada tempat dimana hamparan tanah salah satunya mempunyai sifat kohesif dengan kekuatan geser undrained rata-rata lebih besar dari 100 kPa, atau tanah berbutir yang sangat padat.	≤ 9 m		
Jenis Tanah	Tanah Teguh	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser undrained rata-rata tidak melebihi 200 kPa.	≤ 12 m	>12 m sampai 30 m	> 30 m
Untuk tanah berbuti dengan ikatan matrik padat.	≤ 20 m	>20 m sampai 40 m	> 40 m
CATATAN (1) Ketentuan ini harus digunakan dengan mengabaikan apakah tiang pancang diperpanjang sampai lapisan tanah keras yang lebih dalam.			

(Sumber : RSNI - T - 02, 2005)

Tabel 2.19 Faktor Kepentingan

1. Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif.	1,2
2. Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	1,0
3. Jembatan sementara (misal : <i>Bailey</i>) dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	0,8

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

Tabel 2.20 Faktor Tipe Bangunan

Tipe Jembatan	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Bertulang atau Baja	Jembatan dengan daerah Sendi Beton Prategang	
		Prategang Parsial	Prategang Penuh
Tipe A	1.0 F	1.15 F	1.3 F
Tipe B	1.0 F	1.15 F	1.3 F
Tipe C	3.0	3.0	3.0

CATATAN (1) Jembatan mungkin mempunyai tipe bangunan yang berbeda pada arah melintang dan memanjang, dan tipe bangunan yang sesuai harus digunakan untuk masing-masing arah.

CATATAN (2) Yang dimaksud dalam table ini, beton prategang parsial mempunyai penegangan yang cukup untuk kira-kira mengimbangi pengaruh dari beban tetap rencana dan selebihnya diimbangi oleh tulangan biasa. Beton prategang penuh mempunyai penegangan yang cukup untuk mengimbangi pengaruh beban total `.

CATATAN (3) $F = \text{Faktor perangkaan}$
 $= 1,25 - 0,025 n; F \geq 1,00$
 $n = \text{jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral pada masing-masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri-sendiri (misalnya: bagian-bagian yang dipisahkan oleh sambungan siar muai yang memberikan keleluasan untuk bergerak dalam arah lateral secara sendiri-sendiri).}$

CATATAN (4) Tipe A : Jembatan daktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah)
Tipe B : Jembatan daktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah)
Tipe C : Jembatan tidak daktail (tanpa sendi plastis)

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

- Tekanan tanah lateral akibat gempa

Gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah (tekanan tanah dinamis) dihitung dengan menggunakan faktor harga dari sifat bahan, koefisien geser dasar C diberikan dalam Tabel 2.21 dan faktor kepentingan I diberikan dalam Tabel 2.19. Faktor tipe struktur S untuk perhitungan kh harus diambil sama dengan 1,0.

Tabel 2.21 Koefisien geser dasar untuk tekanan tanah lateral

Daerah Gempa (1)	Koefisien Geser Dasar C		
	Tanah Teguh (2)	Tanah Sedang (2)	Tanah Lunak (2)
1	0,2	0,23	0,23
2	0,17	0,21	0,21
3	0,14	0,18	0,18
4	0,10	0,15	0,15
5	0,07	0,12	0,12
6	0,06	0,06	0,07
CATATAN (1) Daerah gempa bisa dilihat dalam Gambar 2.25 CATATAN (2) Definisi dari teguh, sedang dan lunak dari tanah di bawah permukaan diberikan dalam Tabel 2.18			

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

- Gaya Rangkak dan Susut

Tabel 2.22 Faktor Beban Akibat Rangkak dan Susut

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Ks SR	Ku SR
Tetap	1,0	1,0
Catatan (1) Walaupun rangkakan dan penyusutan bertambah lambat menurut waktu akan tetapi padaakhirnya akan mencapai harga yang konstan.		

(Sumber : RSNI – T – 02, 2005)

Pengaruh rangkakan dan susut pada bahan beton terhadap konstruksi harus ditinjau besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15° C.

D. Aksi-aksi Lainnya

- Gaya Akibat Gesekan pada Perletakan

Tabel 2.23 Faktor Beban Akibat Gesekan Pada Perletakan

Jangka Waktu	Faktor Beban		
	Ks ST	Ku ST	
1,0		Biasa	Terkurangi
	Transien	1,0	1,3
Catatan (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus mempertimbangkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

(Sumber : Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).

- Pengaruh Getaran

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyeberangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan seperti halnya keamanan bangunan.

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

- Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri dari:

1. Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri dan.
2. Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan. Ahli Teknik Perencana harus

menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan.

- **Beban Khusus**

Beban khusus adalah beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan pada perencanaan jembatan yang bersifat:

1. Tidak selalu bekerja pada jembatan
2. Hanya berpengaruh pada sebagian konstruksi jembatan
3. Tergantung dari keadaan setempat
4. Hanya bekerja pada sistem tertentu

Salah satu dari beban khusus adalah Gaya Angkat. Biasanya bagian-bagian dasar bangunan bawah pada rencana pondasi langsung atau pondasi terapan harus diperhitungkan terhadap gaya angkat yang mungkin terjadi.

E. Kombinasi Beban

Beberapa kombinasi beban mempunyai probabilitas kejadian yang rendah dan jangka waktu yang pendek. Untuk kombinasi yang demikian maka tegangan yang berlebihan diperbolehkan berdasarkan prinsip tegangan kerja. Tegangan berlebihan yang diberikan dalam Tabel dibawah adalah sebagai persentase dari tegangan kerja yang diizinkan

Tabel 2.24 Kombinasi Pembebanan

Aksi	Kelayanan						Ultimit					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen : Berat sendiri Beban mati tambahan Susut rangkai Pratekan Pengaruh beban tetap pelaksanaan Tekanan tanah Penurunan	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aksi Transien : Beban lajur "D" atau beban truk "T" Gaya rem atau gaya sentrifugal	X	o	o	o	o		X	o	o	o	o	
Beban pejalan kaki		X						X				
Gesekan perletakan	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o		o
Pengaruh suhu	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o		o
Aliran / hanyutan / batang kayu dan hidrostatik / apung	o		o	X	o	o	o		X	o		o
Beban angin			o	o	X	o	o		o	X		o
Aksi Khusus : Gempa												X
Beban tumbukan												
Pengaruh getaran	X	X										
Beban pelaksanaan						X						X
* X * berarti beban yang selalu aktif * o * berarti beban yang boleh di kombinasikan dengan beban aktif tunggal atau seperti diurangkan.	(1) = aksi permanen "X" KBL + beban aktif "X" KBL + 1 beban "o" KBL (2) = aksi permanen "X" KBL + beban aktif "X" KBL + 1 beban "o" KBL + 0,7 beban "o" KBL (3) = aksi permanen "X" KBL + beban aktif "X" KBL + 1 beban "o" KBL + 0,5 beban "o" KBL						Aksi permanen "X" KBL + beban aktif "X" KBL + 1 beban "o" KBL					

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNi T-02-2005)

2.5.3 Syarat umum perencanaan struktur beton (RSNI T-12-2004)

A. Beton

Kekuatan Nominal

- Kuat tekan

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari, f_c' , dengan berdasarkan suatu kriteria perancangan dan keberhasilan sebagai berikut:

- a) Ditetapkan berdasarkan prosedur probabilitas statistik dari hasil pengujian tekan pada sekelompok benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, dinyatakan dalam satuan MPa, dengan kemungkinan kegagalan sebesar 5%.
- b) Sama dengan mutu kekuatan tekan beton yang ditentukan dalam kriteria perencanaan, dengan syarat perawatan beton tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- c) Mencapai tingkat keberhasilan dalam pelaksanaan, berdasarkan hasil pengujian pada benda uji silinder, dinyatakan dalam satuan MPa, yang memenuhi kriteria keberhasilan.

Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 MPa.

- Kuat tarik

Kuat tarik langsung dari beton, f_{ct} , bisa diambil dari ketentuan:

- a) $0,33\sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

- Kuat tarik lentur

Kuat tarik lentur beton, f_{cf} , bisa diambil sebesar:

- a) $0,6\sqrt{f'c}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- b) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Tegangan Ijin

Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan/atau aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai $0,45 f'c$, di mana $f'c$ adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk kondisi beban sementara, atau untuk komponen beton prategang pada saat transfer gaya prategang, tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai $0,60 f'ci$, di mana $f'ci$ adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dibebani atau dilakukan transfer gaya prategang, dinyatakan dalam satuan MPa.

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton, E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m³ dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai E_c bisa diambil sebagai:

- $E_c = wc^{1.5} (0,043\sqrt{f'c})$ dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi $\pm 20\%$. wc menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m³, $f'c$ menyatakan kuat tekan beton dalam satuan MPa, dan E_c dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m³, E_c boleh diambil sebesar $4700\sqrt{f'c}$, dinyatakan dalam MPa, atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

Angka Poisson

Angka Poisson untuk beton, ν , bisa diambil sebesar:

- 0,2 atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

B. Tulangan Baja Non-Prategang

Kekuatan Nominal

- Kuat Tarik Putus

Ditentukan dari hasil pengujian.

- Kuat Tarik Leleh

Kuat tarik leleh, f_y , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh f_y yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

Tegangan Ijin

Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan di bawah ini:

- Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- Tulangan dengan $f_y = 400$ MPa, atau lebih, dan anyaman kawat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
- Untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m, tidak boleh diambil melebihi $0,50 f_y$ namun tidak lebih dari 200 MPa.

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas baja tulangan, E_s , untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh f_y , bisa diambil sebesar:

- Diambil sama dengan 200.000 MPa; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

C. Tulangan Baja Prategang

Kekuatan Nominal

- Kuat Tarik Putus

Kuat tarik baja prategang, f_{pu} , harus ditentukan dari hasil pengujian, atau diambil sebesar mutu baja yang disebutkan oleh fabrikator berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi.

- Kuat Tarik Leleh

Kuat leleh baja prategang, f_{py} , harus ditentukan dari hasil pengujian atau dianggap sebagai berikut:

- a) untuk kawat baja prategang : $0,75 f_{pu}$

b) untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat : 0,85 *fpu*.

Tegangan Ijin

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi batas layan tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar 0,70 *fpu*.
- Untuk kondisi layan, sebesar 0,60 *fpu*.

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar 0,94 *fpy* tetapi tidak lebih besar dari 0,85 *fpu* atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.
- Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar 0,82 *fpy*, tetapi tidak lebih besar dari 0,74 *fpu*.

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , bisa diambil sebesar:

- untuk kawat tegang-lepas : 200 x 103 MPa;
- untuk *strand* tegang-lepas : 195 x 103 MPa;
- untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170 x 103 MPa;
- ditentukan dari hasil pengujian.

D. Perletakan

- a) perletakan elastomer merupakan perletakan bergerak;
- b) perletakan sendi murni merupakan perletakan tetap;
- c) gaya gesek ditinjau akibat beban mati saja serta besarnya ditentukan berdasarkan koefisien gesek pada tumpuan sebagai berikut:
 - perletakan rol : 0,05
 - perletakan geser (*sliding*) : 0,10 – 0,25
 - perletakan elastomer : 0,15 – 0,18

Gaya inersia bangunan atas yang bekerja pada bangunan bawah dalam arah melintang jembatan gelagar sederhana, diperhitungkan sebagai perkalian reaksi perletakan vertical beban mati bangunan atas dengan koefisien gempa lateral.

2.5.4 Perhitungan bangunan atas

Pada bangunan atas jembatan yang diperhingkan adalah Tiang dan pipa sandaran, lantai trotoar, lantai kendaraan, balok diafragma, pipa saluran air dan balok induk.

A. Perhitungan Pipa sandaran

Untuk beban-beban yang bekerja pada pipa sandaran yaitu berat sendiri dan beban hidup sebesar 75 kN/m (*RSNI T-02-2005*) yang bekerja sebagai beban merata pada plat lantai. Pipa sandaran juga terdapat momen- momen yang perlu diperhitungkan.

Luasan penampang pipa:

$$A = 0.25\pi (Dl^2 - Dd^2)$$

Dimana:

A = Luas penampang (cm²)

Dl = Diameter luar Pipa sandaran (cm)

Dd = Diameter dalam pipa sandaran (cm)

Perhitungan Momen pada Pipa Sandaran arah x maupun y:

$$M = 1/8. q. L^2$$

Dimana:

M = Momen Penampang (kN.m)

Kontrol Tegangan:

Tegangan (σ) arah x dan y:

$$\sigma = \frac{M}{W} \dots\dots\dots (2.4a)$$

$$W = \frac{\pi}{32} \times \frac{(Dl^4 - Dd^4)}{Dl} \dots\dots\dots (2.4b)$$

Tegangan yang terjadi:

$$\sigma_a = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)}$$

$$\sigma_a < \sigma_{ijin} \text{ (Aman)}$$

Dimana:

σ_{ijin} = Tegangan ijin baja (16 kN/cm²)

W = Momen tahanan (cm³)

σ = Tegangan (kN/cm²)

f_y = Tegangan leleh baja (MPa)

B. Perhitungan Tiang sandaran

Tiang sandaran pada setiap tepi trotoar harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal sebesar 0,75 kN/m yang bekerja diatas lantai trotoar.

Pembebanan:

Beban yang terjadi pada tiang sandaran berasal dari berat pipa sandaran (V), berat tiang sandaran (S) sendiri dan gaya horizontal sebesar 0,75 kN/m.

Perhitungan Momen:

- Momen akibat beban mati (Md)
Md = Besar beban mati x jarak (kN.m)
- Momen akibat beban hidup (Ml)
Ml = Beban horizontal x jarak (kN.m)
- Momen ultimate (Mu)
Mu = Md + Ml

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

d' = Jarak tulangan tekan (mm)

h = Tebal tiang sandaran (mm)

p = Selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{perlu} = \frac{Mu}{\phi b \cdot d'}$$

Dimana:

Mu = Momen Ultimate (kN.m)

b = Lebar per meter tiang (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan (0,8)

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ \rho &= \text{Rasio tulangan} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \end{aligned}$$

- Sengkang (tulangan pembagi)

$$A_s = 50\% \times b \times h \text{ (RSNI T-12-2004 : 39)}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ h &= \text{Tebal tiang sandaran (mm)} \end{aligned}$$

- Tulangan Geser

$$V_u = W_u \times l \dots\dots\dots (2.5a)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$\phi V_c > V_u \dots\dots\dots (2.5b)$$

$$1/2 \phi V_c > V_u$$

Maka tidak diperlukan tulangan geser pada penampang, walaupun secara teoritis tidak perlu sengkang tetapi untuk kestabilan struktur dan peraturan mensyaratkan dipasang tulangan minimum (Spasi maksimum). (Jembatan, 2007 : 73)

$$S_{\text{minimum}} = \frac{1}{2} d \text{ atau } S_{\text{maksimum}} = 600 \text{ mm}$$

Dengan luas tulangan minimum:

$$A_{v_{\text{min}}} = \frac{\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot s}{f_y} \text{ Maka, jarak sengkang:}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{\frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b}$$

C. Pipa Saluran Air

Dalam perhitungan pipa aliran air, perlu diketahui hal-hal sebagai berikut:

- Data intensitas curah hujan
- Mutu dan lapisan drainase yang dipakai

Untuk menghitung Debit Air Hujan, digunakan rumus sebagai berikut (Suripin, 2004:79):

$$Q_t = \frac{C.I.A}{3,60} = \frac{C..I.(L.b)}{3,60} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- Qt = Debit air hujan (m³/s)
- L = Panjang jembatan (m)
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- b = Lebar badan jalan (m)
- f = Koefisien pengaliran air (Tabel 2.26)

Untuk memperoleh hasil intensitas curah hujan dibutuhkan data curah hujan daerah setempat. Perhitungan Curah Hujan yang digunakan adalah Metode Gumbel seperti di bawah ini:

$$R_{24} = \bar{X} + \frac{Y_t - Y_n}{\sigma n} x s \dots\dots\dots (2.7a)$$

Keterangan:

R₂₄ = Curah Hujan Rancangan dengan kala ulang T tahunan (mm)

\bar{X} = Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

S = Standar Deviasi

$$= \sqrt{\frac{\sum(X-X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.7b)$$

Y_t = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang (tabel 2.23)

Y_n = Nilai yang tergantung pada “n” (dilihat tabel 2.24)

S_n = Standar Deviasi yang merupakan Fungsi dari “n” (tabel 2.25)

Tabel 2.25 *Reduced Variable (Yt)*

Periode Ulang	Reduced Variable (Yt)
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001

(Sumber : Laporan Akhir Kementerian PU-Direktorat Jenderal Cipta Karya)

Tabel 2.26 *Reduced Mean (Yn)*

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5402	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600									

(Sumber : Laporan Akhir Kementerian PU-Direktorat Jenderal Cipta Karya)

Tabel 2.27 *Reduced Standard Deviation (Sn)*

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	10.095	10.206	10.316	10.411	10.493	10.565
20	10.628	10.696	10.754	10.811	10.864	10.915	10.961	11.004	11.047	11.086
30	11.124	11.159	11.193	11.226	11.255	11.285	11.313	11.339	11.363	11.388
40	11.413	11.436	11.458	11.480	11.499	11.519	11.538	11.557	11.574	11.590
50	11.607	11.623	11.638	11.658	11.667	11.681	11.696	11.708	11.721	11.734
60	11.747	11.759	11.770	11.782	11.793	11.803	11.814	11.824	11.834	11.844
70	11.854	11.863	11.873	11.881	11.890	11.898	11.906	11.915	11.923	11.930
80	11.938	11.945	11.953	11.959	11.967	11.973	11.980	11.987	11.994	12.001
90	12.007	12.013	12.020	12.026	12.032	12.038	12.044	12.049	12.055	12.060
100	12.065									

(Sumber : Laporan Akhir Kementerian PU-Direktorat Jenderal Cipta Karya)

Tabel 2.28 Hubungan kondisi permukaan tanah dengan koefisien pengaliran

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1. Jalan beton dan jalan aspal	0,70-0,95
2. Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40-0,70
3. Bahu jalan :	
Tanah berbutir halus	0,40-0,65
Tanah berbutir kasar	0,10-0,20
Batuan massif keras	0,70-0,85
Batuan massif lunak	0,60-0,75
4. Daerah perkotaan	0,70-0,95
5. Daerah pinggir kota	0,60-0,70
6. Daerah industry	0,60-0,90
7. Pemukiman padat	0,40-0,60
8. Pemukiman tidak padat	0,20-0,40
9. Taman dan kebun	0,45-0,60
10. Persawahan	0,70-0,80
11. Perbukitan	0,75-0,90
12. Pegunungan	—

(Sumber: Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan PD T-02-2006-B)

Perhitungan Intensitas Hujan dengan menggunakan rumus Mononobe seperti di bawah ini:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.8)$$

(Sumber: Suripin, 2004 : 67)

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan harian maks (mm)

$$t_c = t_o + t_d \dots\dots\dots (2.8a)$$

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \times \frac{nd}{\sqrt{s}} \right)^{0,167} \dots\dots\dots (2.8b)$$

$$t_d = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2.8c)$$

(Sumber: Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan PD T-02-2006-B:10)

Keterangan:

t_c = Waktu konsentrasi (menit)

t_o = Waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)

t_d = Waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit)

l_o = Jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L = Panjang saluran (m)

nd = Koefisien hambatan (lihat tabel 3.5)

s = Kemiringan melintang perkerasan (lihat tabel 3.6)

V = Kecepatan air rata-rata pada saluran drainase (m/detik)

Tabel 2.29 Koefisien hambatan (nd) berdasarkan kondisi permukaan

No.	Kondisi lapis permukaan	nd
1	Lapisan semen dan aspal beton	0,013
2	Permukaan licin dan kedap air	0,020
3	Permukaan licin dan kokoh	0,100
4	Tanah dgn rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,200
5	Padang rumput dan rerumputan	0,400
6	Hutan gundul	0,600
7	Hutan rimbu dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang sampai rapat	0,800

(Sumber: Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan PD T-02-2006-B)

Tabel 2.30 Kemiringan melintang perkerasan

No.	Jenis lapisan perkerasan jalan	Kemiringan melintang i_m (%)
1.	Aspal, Beton	2 - 3
2.	Japat (jalan yang dipadatkan)	2 - 4
3.	Kerikil	3 - 6
4.	Tanah	4 - 6

(Sumber: Pedoman Perencanaan Sistem Drainase Jalan PD T-02-2006-B)

Untuk menentukan jumlah pipa:

$$n = \frac{L}{x}$$

Dimana:

- n = Jumlah pipa
- x = Jarak antar sumbu pipa (m)
- L = Panjang jembatan (m)

Untuk menentukan debit yang diterima tiap pipa:

$$Q_{\text{pipa}} = \frac{Q_t}{n}$$

Dimana:

- Q_t = Debit air total (m^3/s)
- n = Jumlah pipa

Kecepatan aliran:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
- h = Tinggi air hujan (m)

Untuk Mencari diameter pipa:

$$A = \frac{Q}{v} \dots\dots\dots A = 0.25\pi d^2$$

Dimana:

- A = Luas penampang pipa (m²)
 Q = Debit total air (m³/s)
 V = Kecepatan aliran (m/s)

D. Lantai Trotoar

Dalam perhitungan lantai trotoar beban-beban yang terjadi adalah beban dari tiang sandaran, pipa sandaran, dan trotoar. Pada perencanaannya trotoar dianggap sebagai balok menerus.

Ketetapan beban:

1. Beban Pejalan Kaki = 5 kN/m² (RSNI T-02-2005:24)
2. Beton Tumbuk = 22 kN/m³
3. Beban Sendiri Lantai trotoar = 25 kN/m³
4. Berat Air hujan = 10 kN/m³

Perhitungan Tebal Plat (mm)

Berdasarkan BMS 1992 Bagian Perencanaan Beton Struktural hal K6-57 dan RSNI T-12-2004, Pelat Lantai berfungsi sebagai Lantai kendaraan harus mempunyai tebal min (ts) mempunyai ketentuan sebagai berikut:

ts : 200 mm

ts : (100+40l) mm

Pembebanan:

1. Beban terpusat (P) merupakan penjumlahan dari : (kN)

- Beban pipa sandaran (V1 dan V2)
- Beban tiang atas
- Beban tiang bawah

2. Beban Merata (q) merupakan penjumlahan dari:

- Beban Pejalan Kaki = 5 kN/m² x Luasan trotoar (kN/m)
- Beton Tumbuk = 22 kN/m³ x Volumennya (kN/m)
- Beban Sendiri Lantai trotoar = 25 kN/m³ x Volumennya (kN/m)
- Berat Air hujan = 10 kN/m³ x Volumennya (kN/m)

3. Beban terfaktor = 1,3 x total beban mati

Perhitungan Momen:

- Momen akibat beban mati (Md)
Md = Besar beban mati x jarak (kN.m)
- Momen akibat beban hidup (Ml)
Ml = Beban horizontal x jarak (kN.m)
- Mu = Ml + Md

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \\ h &= \text{Tebal plat (mm)} \\ p &= \text{Selimut beton (mm)} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = Mu / \phi b \cdot d'$$

didapat ρ dari tabel Buku Gideon Kusuma.

Dimana:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Rasio tulangan} \\ Mu &= \text{Momen Ultimate (kN.m)} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \\ \emptyset &= \text{Faktor reduksi (0,8)} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y \text{ (SNI 03-2847-2002 : 72)}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \text{ (SNI 03-2847-2002 : 54) (2.10)}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

- Luas tulangan (As)

$$As = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

$$\begin{aligned} As &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ \rho &= \text{Rasio tulangan} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \end{aligned}$$

- Sengkang (tulangan pembagi)

$$A_s = 50\% \times b \times h$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ h &= \text{Tebal tiang sandaran (mm)} \end{aligned}$$

E. Lantai Kendaraan

Dalam perhitungan lantai kendaraan beban-beban yang terjadi adalah beban dari Berat sendiri plat, berat aspal, berat air hujan, beban roda, beban hidup dan beban angin.

Ketetapan beban:

1. Beban Aspal $= 22 \text{ kN/m}^3$
2. Beban Sendiri Lantai kendaraan $= 25 \text{ kN/m}^3$
3. Berat Air hujan $= 10 \text{ kN/m}^3$

Perhitungan Tebal Plat (mm)

$t_s : 200 \text{ mm}$

$t_s : (100+40l) \text{ mm}$

Pembebanan dan Perhitungan Momen:

1. Beban Mati

Terdiri dan berat sendiri lantai kendaraan, berat aspal, dan berat air hujan.

- Beban aspal $= \text{Luasan} \times \text{Berat Jenis aspal} \dots\dots\dots(\text{kN/m})$
- Beban sendiri plat $= \text{Luasan} \times \text{Berat jenis beton} \dots\dots\dots(\text{kN/m})$
- Berat air hujan $= \text{Luasan} \times \text{Berat jenis air hujan} \dots\dots\dots(\text{kN/m})$

Didapat q_u (total beban) $= 1,2 q_u = \dots\dots\dots(\text{kN/m})$

Dihitung Momen yang terjadi pada arah x maupun y menggunakan koefisien momen yang dikalikan dengan beban mati. (Ir Gideon H. Kusuma, 1993:24)

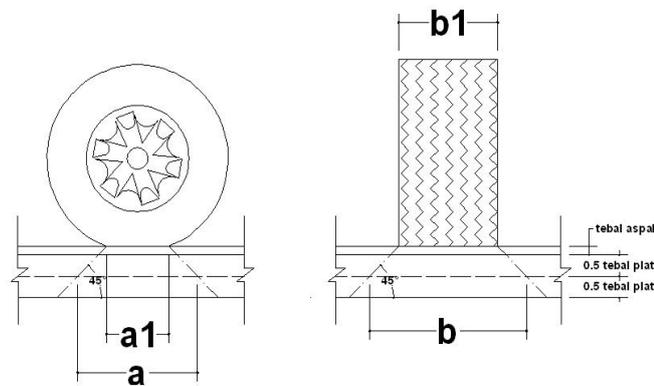
$$M_{x\max} = 1/11 \times q_u \times L^2$$

$$M_{y\max} = 1/3 \times M_{x\max}$$

2. Beban Hidup

Dalam menghitung beban lantai kendaraan digunakan beban T (*RSNI T-02-2005*) beban-beban yang terjadi:

- Muatan beban truk (T) dengan beban roda 10000 kg
- Koefisien dinamis 0,3 (DLA) untuk beban T



Gambar 2.27 Beban Roda Kendaraan

Untuk beban “T” dianggap bahwa beban tersebut menyebar ke bawah dengan sudut 45° sampai ke tengah-tengah lantai.

$$a_1 = 20 \text{ cm}$$

$$b_1 = 50 \text{ cm}$$

$$a = a_1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton})$$

$$b = b_1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton})$$

Beban roda total = PU + DLA

$$\text{Penyebaran beban (T)} = \frac{\text{beban roda total}}{\text{luas bidang kontak}}$$

Beban Kejut : (Jembatan, 2007 : 42)

$$K = 1 + \frac{20}{50 + l} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$$l = \text{Panjang Jembatan} = 35 \text{ m}$$

Pembebanan oleh truck

$$q = \frac{T.K}{a.b}$$

$$q_u = 1,8 \times q$$

Peninjauan keadaan roda pada saat melewati jembatan terdiri dari beberapa kondisi, untuk perencanaan jembatan ini digunakan hanya 2 kondisi, yakni:

1. Pada saat 1 roda berada ditengah bentang (1 luasan)

2. Pada saat 2 roda berada ditengah bentang (2 luasan)

Dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{tx}{Lx} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{ty}{Ly} = \dots\dots\dots$$

Dari hasil perhitungan diatas, tabel Bitner didapat,

$$f_{xm} = \dots\dots\dots$$

$$f_{ym} = \dots\dots\dots$$

$$M_x = f_{xm} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (kN.m)}$$

$$M_y = f_{ym} \times q_u \times t_x \times t_y \text{ (kN.m)}$$

3. Akibat beban Angin

$$T_{ew} = 0.0012 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \text{ (RSNI T-02-2005 hal.34)}$$

Dimana:

T_{ew} = Beban angin (kN)

C_w = Koefisien seret

V_w = Kecepatan angin rencana (m/s)

A_b = Luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Transfer beban angin ke lantai jembatan, $q_u = [(h/2 / x) \cdot T_{ew}]$ (kN)

$M_u = M_{\text{beban mati}} + M_{\text{beban hidup}} + M_{\text{beban angin}}$ (kN/m)

Penulangan:

Penulangan arah x dan y

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

d' = jarak tulangan (mm)

h = tebal tiang sandaran (mm)

p = selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \phi \cdot b \cdot d'$$

Didapat ρ dari tabel buku Gideon Kusuma

Dimana:

ρ = Rasio tulangan

M_u = Momen Ultimate (kN.m)

b = Lebar per meter tiang (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

\emptyset = Faktor reduksi (0,8)

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_y$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \dots\dots\dots (\text{Memenuhi syarat})$$

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

A_s = Luas tulangan (mm^2)

ρ = Rasio tulangan

b = Lebar per meter tiang (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

F . Balok Diafragma

Adalah Balok yang digunakan untuk mengikat balok induk untuk menahan geser.

Pembebanan:

Balok diafragma hanya menahan berat sendiri balok

Berat sendiri balok = Luasan balok x berat jenis beton (25 kN/m^3)

$$q_u = 1,3 \times \text{berat sendiri balok}$$

Perhitungan Momen:

$$M_{\max \text{ tumpuan}} = 1/8 \times q_u \times L^2$$

$$M_{\max \text{ lapangan}} = 1/12 \times q_u \times L^2$$

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0,5 \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

d' = Jarak tulangan (mm)

h = Tebal balok (mm)

p = Selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = M_u / b \cdot d'$$

Dimana:

- ρ = Rasio tulangan
- M_u = Momen Ultimate (kN.m)
- b = Lebar per meter tiang (mm)
- d' = Jarak tulangan (mm)

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

- A_s = Luas tulangan (mm^2)
- ρ = Rasio tulangan
- b = Lebar per meter tiang (mm)
- d' = Jarak tulangan (mm)

- Tulangan Geser

$\phi V_c > V_u$ Tidak perlu sengkang

$\phi V_c < V_u$ perlu sengkang

$$V_c = 1/3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$S_{\max} = 0,5 \cdot d \text{ atau } S_{\max} = 600 \text{ mm}$$

$$A_{v_{\min}} = \frac{1/3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot s}{f_y} \dots \dots \dots \text{mm}^2$$

Dipakai tulangan maka jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{1/3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot s} \dots \dots \dots \text{mm}$$

G. Balok I Prategang (Balok Induk)

- a). Struktur Balok Prategang

Ketetapan beban:

1. Beban Aspal = 22 kN/m³
2. Beban beton = 25 kN/m³
3. Berat Air hujan = 10 kN/m³

Pendimensian Balok:

- Ukuran dari balok induk didasarkan pada PT.WIKA
- Menurut Edward. G. Nawy, untuk menentukan lebar sayap atas efektif penampang komposit, maka lebar B_{eff} dimodifikasi untuk memperhitungkan perbedaan di dalam modulus kedua jenis beton agar

regangan di keduanya di bidang antarmuka serasi. Adapun rumus B_{eff} sebagai berikut:

$$B_{eff} = (E_{plat} / E_{balok}) \times b = n \times b$$

Dimana nilai b dapat diambil dari nilai terkecil di bawah ini, berdasarkan buku Edward G. Nawy jilid 1 pada halaman 161.

a. $\frac{1}{4} L$

b. S

c. $b_w + 12 h_0$

- Perhitungan *Section Properties* balok, bertujuan untuk mendapatkan momen inersia balok prategang dan balok komposit sebagai berikut:

$$\text{Letak titik berat } Y_b = \frac{\sum A \times Y}{\sum A}$$

$$Y_a = h - Y_b$$

Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = \sum (A \times (Y - Y_b)^2) + \sum I_0$$

$$\text{Tahanan momen sisi atas } W_a = I_x / Y_a$$

$$\text{Tahanan momen sisi bawah } W_b = I_x / Y_b$$

b). Pembebanan Balok:

- Berat sendiri (MS) = Volume x berat jenis..... (kN/m)
- Beban mati tambahan (MA) = Volume x berat jenis..... (kN/m)
- Beban lajur "D" (TD) = Volume x berat jenis..... (kN/m)
- Beban gaya rem (TB) = Volume x berat jenis..... (kN/m)
- Beban angin (EW) = Volume x berat jenis..... (kN/m)
- Beban gempa (EQ) = Volume x berat jenis..... (kN/m)

c). Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Tendon

- Kondisi awal

$$\text{Tegangan di serat atas} = -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times es}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$\text{Tegangan di serat bawah} = -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times es}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} = 0,6 f_{ci}'$$

- Kondisi akhir

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *jacking force*)

$$P_o = \left(\frac{P_t}{(0,85 \times n_s \times P_{bs})} \times 100\% \right) < 80 \%$$

Dimana:

P_o = Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja

P_t = Gaya prategang (kN)

n_s = Jumlah strand

P_{bs} = Beban putus satu strand (kN)

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs}$$

Dimana:

P_j = Gaya prategang yang terjadi akibat jacking (kN)

Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (*loss of prestress*) sebesar

$$P_{eff} = \text{Kehilangan tegangan} \times P_j$$

- Pembesian Balok Prategang
 - a) Luas tulangan bagian atas
 - b) Luas tulangan bagian tengah/badan
 - c) Luas tulangan bagian bawah
- Penentuan Posisi Tendon di Tumpuan dan di Tengah Bentang

Tendon di tumpuan

$$Z_o = Y_b - e_s$$

Dimana:

Z_o = Jarak dari tepi bawah beton ke titik tengah barisan tendon. (m)

Momen statis tendon terhadap alas:

$$n_s \times Z_o = n_{s1} \times a + n_{s2} \times (a + y_d)$$

$$y_d = n_s \times \frac{(Z_o - a)}{n_{s2}}$$

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon = $y_d - dt$

dt = diameter selubung tendon

Tendon di tengah bentang

Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah

$$\sum n_i \times y_{d'} / y_{d'} = n_s \times Y_e$$

$$Y_e = Y_b - a'$$

$$Y_e / y_{d'} = (\sum n_i \times y_{d'} / y_{d'}) / n_s$$

$$Y_{d'} = y_e / (y_e / y_{d'})$$

Dimana:

Y_e = Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah (m)

$Y_{d'}$ = Jarak dari as ke as tendon (m)

n_s = Jumlah strand

a' = Jarak dari alas balok ke as baris tendon terbawah (m)

- Eksentrisitas Masing-masing Tendon

$$f_i = Z_i' - Z_i$$

Dimana:

f_i = Selisih posisi tendon di tumpuan dan di tengah bentang (m)

Z_i' = Posisi tendon di tumpuan (m)

Z_i = Posisi tendon di tengah (m)

- Lintas Inti Tendon

Dalam menentukan lintasan tendon pada balok prategang digunakan rumus berikut:

$$Y = 4 \times f \times (X/L^2) \times (L-X)$$

Dimana :

Y = Persamaan lintasan tendon (m)

f = e_s = Eksentrisitas (m)

X = Jarak yang ditinjau (m)

L = Bentang Jembatan (m)

- Penentuan Sudut Angkur

Dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan rumus berikut:

$$\alpha = \text{ATAN} (dy/dx)$$

$$(dy/dx) = 4 \times f_i \times (L-2X) / L^2$$

$$\text{Untuk } X = 0 \text{ (Posisi di tumpuan) } (dy/dx) = (4 \times f_i) / L$$

- Penentuan Letak dan *Trace Cable*

Dalam menentukan letak dan *trace cable* pada balok prategang digunakan rumus berikut:

$$Z_i = Z_i' - 4 \times f_i \times (X / L^2) \times (L - X)$$

d). Kehilangan Tegangan

Dalam perhitungan ini hanya digunakan beberapa jenis kehilangan tegangan yang digunakan sebagai berikut:

- Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur

Kehilangan gaya akibat ankur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking,

$$P_o = 97 \% \times P_J$$

- Kehilangan tegangan akibat gesekan *cable*

$$P_x = P_o \times e^{-\mu \times (\alpha + \beta \times L_x)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

P_x = Kehilangan tegangan akibat gesekan *cable* (kN)

P_o = Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur (kN)

e = 2,7183 (Bilangan natural)

μ = Koefisien gesek

β = Koefisien Wobble

L_x = Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok (m)

- Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

$$\Delta p_e = \Delta \sigma_{pe} \times A_t \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

Δp_e = Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (kN)

$\Delta \sigma_{pe}$ = Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastis tanpa pengaruh berat sendiri (kPa)

A_t = Luas tampang tendon baja prategang (m²)

- Kehilangan tegangan akibat pengangkuran

$$\Delta P = 2 \times L_{max} \times \tan \omega \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

ΔP = Kehilangan tegangan akibat pengangkuran (kN)

L_{max} = Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung (m)

$\tan \omega$ = Kemiringan diagram gaya (kN/m)

- Kehilangan tegangan akibat susut dan rangkai beton

Pengaruh susut

$$\sigma_{SH} = (\epsilon_{SH})_t \times E_s \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

σ_{SH} = Kehilangan tegangan akibat susut (kN)

$(\epsilon_{SH})_t$ = Nilai rata-rata regangan susut ultimit pada beton yang dirawat basah maupun yang dirawat uap pada durasi 10 hari

E_s = Modulus elastis baja prategang (kPa)

Pengaruh Rangkai

$$\sigma_{cr} = n \times K_{cr} \times (f_{cs} - f_{csd}) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

σ_{cr} = Kehilangan tegangan akibat rangkai (kN)

n = Modulus rasio antara baja prategang dengan balok prategang

K_{cr} = untuk komponen pratarik (2,0)

f_{cs} = Tegangan di beton pada level pusat berat baja segera setelah transfer (kPa)

f_{csd} = Tegangan di beton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan setelah prategang diberikan (kPa)

- e) Tegangan Yang Terjadi Pada Penampang Balok

Ada 4 macam kondisi yang dipakai dalam menentukan tegangan pada penampang balok yakni,

- Keadaan awal
- Keadaan setelah *loss of prestress*
- Keadaan setelah plat lantai selesai dicor (Beton Segar)
- Keadaan plat dan balok menjadi komposit

- f) Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Komposit

Adapun beberapa tegangan yang terjadi saat balok komposit

- Tegangan akibat berat sendiri (MS)
- Tegangan akibat beban mati tambahan (MA)
- Tegangan akibat susut dan rangkai beton (SR)
- Tegangan akibat prategang (Pr)
- Tegangan akibat beban lajur "D" (TD)
- Tegangan akibat gaya rem (TB)

- Tegangan akibat beban angin (E_w)
- Tegangan akibat beban gempa (E_Q)
- Tegangan akibat pengaruh temperatur (E_T)

g) Kontrol Kombinasi Tegangan

Tabel 2.31 Kombinasi beban

Aksi/Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan				
		1	2	3	4	5
Aksi Tetap						
Berat sendiri	MS	•	•	•	•	•
Berat mati tambahan	MA	•	•	•	•	•
Susut dan rangkai	SR	•	•	•	•	•
Prategang	PR	•	•	•	•	•
Aksi Transien						
Beban lajur "D"	TD	•	•	•	•	
Gaya Rem	TB	•	•	•	•	
Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		•		•	
Beban Angin	EW			•	•	
Beban Gempa	EQ					•

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

h) Pembesian *End Block*i) Perhitungan sengkang untuk *bursting force*

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertikal

$$r_a = a_1/a$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah horizontal

$$r_b = b_1/b$$

$$\text{Bursting force arah vertikal (P}_{bt_a}) = 0,30 \times (1-r_a) \times P_j$$

$$\text{Bursting force arah horizontal (P}_{bt_b}) = 0,30 \times (1-r_b) \times P_j$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan

$$A_{ra} = P_{bt_a}/0,85.f_s$$

Luas tulangan sengkang arah horizontal yang diperlukan

$$A_{rb} = P_{bt_b}/0,85.f_s$$

j) Jumlah sengkang yang digunakan untuk *bursting force*

$$\text{Jumlah sengkang arah vertikal yang diperlukan (n)} = A_{ra}/A_s$$

$$\text{Jumlah sengkang arah horizontal yang diperlukan (n)} = A_{rb}/A_s$$

k) Tulangan Geser

$$\text{Sudut kemiringan tendon } (\alpha) = \text{ATAN } (4 \times f \times (L - 2 \times X) / L^2) \dots (2.17)$$

$$\text{Komponen gaya arah X (Px)} = P_{\text{eff}} \times \cos \alpha \dots (2.18)$$

$$\text{Komponen gaya arah Y (Py)} = P_{\text{eff}} \times \sin \alpha \dots (2.19)$$

$$\text{Resultan gaya geser (Vr)} = V - P_y \dots (2.20)$$

$$\text{Tegangan geser yang terjadi (fv)} = (V_r \times S_x) / (b \times I_x) \dots (2.21)$$

l) Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Tegangan geser horizontal akibat gaya lintang pada penampang yang ditinjau dihitung dengan rumus:

$$f_v = (V_i \times S_x) / (b_v \times I_{xc}) \dots (2.22)$$

Dimana:

- V_i = Gaya lintang pada penampang yang ditinjau
- b_v = Lebar bidang gesek (m)
- S_x = Momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit (m^3)
 $= b_{\text{eff}} \times h_o \times (Y_{\text{ac}} - h_o / 2)$
- B_{eff} = Lebar efektif plat (m)
- h_o = Tebal plat (m)
- I_{xc} = Inersia penampang balok komposit (m^4)

Luas total shear connector

$$A_{st} = n_s \times A_s$$

Jarak antar shear connector, dihitung dengan rumus:

$$a_s = f_s \times A_{st} \times k_f / (f_v \times b_v) \dots (2.23)$$

Dimana:

- k_f = Koefisien gesek pada bidang kontak (1 – 1,4)
- f_s = Tegangan ijin baja shear connector
 $= 0,578 \times f_y$
- f_{ci} = Tegangan ijin beton balok komposit

m) Lendutan Balok

Lendutan balok prestressed (sebelum komposit)

- Lendutan pada keadaan awal

$$\delta = (5 / 384) \times (-Q_{\text{ptl}} + Q_{\text{balok}}) \times (L^4 / E_{\text{balok}} \times I_x) < L/240 \text{ (OK)}$$

- Lendutan setelah loss of prestress

$$\delta = (5 / 384) \times (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok}}) \times (L^4 / E_{\text{balok}} \times I_x) < L/240 \text{ (OK)}$$

- Lendutan setelah plat selesai dicor

$$\delta = (5 / 384) \times (-Q_{peff} + Q_{balok+plat}) \times (L^4 / E_{balok} \times I_x) < L/240 \text{ (OK)}$$
- Lendutan setelah balok dan plat menjadi komposit

$$\delta = 5 / 384 \times (-Q_{peff} + Q_{balok+plat}) \times L^4 / E_{balok} \times I_{xc} < L/240 \text{ (OK)}$$

Lendutan pada balok komposit

- Lendutan akibat berat sendiri (Ms)

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{MS} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat beban mati tambahan (Ma)

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{Ma} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat prestress (Pr)

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{peff} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat susut dan rangkak (Sr)

Susut

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{ps} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$

Rangkak

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{pr} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat beban lajur “D” (Td)

$$\delta = (1 / 48) \times P_{TD} \times (L^3 / E_{balok} \times I_{xc}) + (5 / 384) \times Q_{TD} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat beban rem (Tb)

$$\delta = 0,0642 \times M_{Tb} \times (L^2 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat pengaruh temperatur (Et)

$$\delta = 0,0642 \times \Sigma P_t \times e_p \times (L^2 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat beban angin (Ew)

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{Ew} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$
- Lendutan akibat beban gempa (Eq)

$$\delta = (5 / 384) \times Q_{Eq} \times (L^4 / E_{balok} \times I_{xc})$$

n) Tinjauan Ultimate Balok Prestress

Tinggi efektif balok (d) = h + ho – Zo

Gaya tekan beton $C_c = [B_{eff} \times ho + b_1 \times (a - ho)] \times 0,85 \times f_c'$

$$C_c = T_s$$

$$a = [T_s / (0,85 \times f_c') - B_{eff} \times h_o] / b_1 + h_o \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\text{Gaya internal tekan beton } C_c = \Sigma [A_1 \times 0,85 \times f_c']$$

$$\text{Momen nominal } M_n = \Sigma [A_1 \times 0,85 \times f_c' \times y] \dots\dots\dots (2.25)$$

$$A_1 = c \times B_{eff}$$

$$C_c = T_s = A_1 \times 0,85 \times f_c'$$

$$\text{Jarak momen } (y) = d - a/2$$

$$\text{Momen nominal } (M_n) = C_c \times y$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } (\phi) = 0,80$$

$$\text{Kapabilitas momen ultimate balok prestress} = \phi \times M_n$$

2.5.5. Perhitungan bangunan bawah

Perhitungan bangunan jembatan bagian bawah meliputi abutment, plat injak, pondasi. Dalam menghitung bangunan bawah yang sangat diperhatikan adalah data tanah diperoleh dan hasil penyelidikan dilapangan maupun dilokasi dimana bangunan tersebut akan dibangun dan kemudian di tes di laboratorium.

A. Perhitungan Abutment

Pembebanan:

Adapun beban yang terjadi pada abutment adalah:

1. Berat sendiri abudment
2. Akibat beban hidup
3. Akibat tekanan tanah aktif
4. Beban angin
5. Gaya rem
6. Gaya gempa
7. Gesekan pada perletakan
8. Beban Pelaksanaan

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut:

- Kombinasi I = $P_m + P_{ta} + G_s$.
- Kombinasi II = $(H + DLA) + R_m$.

- Kombinasi III = Pengaruh temperatur = 0.
- Kombinasi IV = Wn.
- Kombinasi V = Gm.
- Kombinasi VI = Pel.

Kemudian kombinasi diatas dikombinasikan lagi yaitu:

1. Kombinasi 1 = I + II, pembebanan 100 %.
2. Kombinasi 2 = I + II + III, pembebanan 125 %.
3. Kombinasi 3 = I + II + IV, pembebanan 125 %.
4. Kombinasi 4 = I + II + III + IV, pembebanan 140 %.
5. Kombinasi 5 = I + V, pembebanan 150 %..
6. Kombinasi 6 = I + VI, pembebanan 130 %..
7. Kombinasi 7 = I + II, pembebanan 150 %.

Setelah dikombinasikan lalu dipilih beban yang paling menentukan dan kontrol stabilitas antara lain:

- a. Kontrol terhadap guling

$$F_{guling} = \frac{\sum Mt}{\sum Mgl} \geq 1,50 \dots\dots\dots (2.26)$$

- b. Kontrol terhadap geser

$$F_{geser} = \frac{\sum V \times \mu}{\sum H} \geq 1,50 \dots\dots\dots (2.27)$$

- c. Kontrol terhadap daya dukung tanah (kelongsoran)

$$F = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} \approx 2,50 - 3,0 \dots\dots\dots (2.28)$$

Setelah dikontrol terhadap stabilitas, maka ada dua alternatif:

- Kontruksi aman terhadap stabilitas
Jika konstruksi aman terhadap stabilitas maka dimensi abutment telah memenuhi syarat dan biasa digunakan

- Kontruksi tidak aman terhadap stabilitas

Jika keadaan ini terjadi maka dimensi abutment perlu dirubah atau dengan menambah pondasi tiang untuk mendukung agar aman terhadap guling, geser dan kelongsoran daya dukung.

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h + p + 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} d' &= \text{jarak tulangan (mm)} \\ h &= \text{tinggi bidang yang ditinjau (mm)} \\ p &= \text{selimut beton (mm)} \end{aligned}$$

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \phi b \cdot d'$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{rasio tulangan} \\ M_u &= \text{Momen Ultimate (kN.m)} \\ b &= \text{Lebar per meter tiang (mm)} \\ d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \end{aligned}$$

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ \rho &= \text{rasio tulangan} \\ b &= \text{Lebar per meter plat (mm)} \\ d' &= \text{Jarak tulangan (mm)} \end{aligned}$$

- Sengkang (tulangan pembagi)

$$A_s = 50\% \times b \times h$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ b &= \text{Lebar per meter plat (mm)} \\ h &= \text{tebal plat lantai (mm)} \end{aligned}$$

B. Pelat Injak

Perhitungan plat injak dimaksudkan untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan. Dalam perhitungan pelat injak dianggap terletak bebas diatas tumpuan, sedangkan beban-beban yang bekerja adalah berat sendiri

pelat, berat tanah timbunan, berat perkerasan, berat aspal dan berat kendaraan yang tinjau per meter maju.

Pembebanan:

- Beban Sendiri plat injak (w_d) = Luasan x Berat jenis (kN/m)
- Beban Tanah timbunan (w_d) = Luasan x Berat jenis (kN/m)
- Berat aspal (w_d) = Luasan x Berat jenis (kN/m)
- Berat Kendaraan (w_l) = Luasan x Berat jenis (kN/m)

Didapat $q_u = 1,3 w_d + 1,8 w_l$ (kN/m)

Perhitungan Momen:

$$M_u = 1/8 \cdot q_u \cdot L^2$$

Dimana:

- M_u = momen ultimate (kN.m)
- q_u = beban merata ultimate (kN/m)
- L = lebar plat injak (m)

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h + p + 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

- d' = jarak tulangan (mm)
- h = tebal plat (mm)
- p = selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \phi \cdot b \cdot d'$$

Dimana:

- ρ = rasio tulangan
- M_u = Momen Ultimate (kN.m)
- b = Lebar per meter tiang (mm)
- d' = Jarak tulangan (mm)

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

- A_s = Luas tulangan (mm²)
- ρ = rasio tulangan
- b = Lebar per meter plat (mm)
- d' = Jarak tulangan (mm)

- Sengkang (tulangan pembagi)

$$A_s = 50\% \times b \times h$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Luas tulangan (mm}^2\text{)} \\ b &= \text{Lebar per meter plat (mm)} \\ h &= \text{tebal plat lantai (mm)} \end{aligned}$$

C. Perhitungan Dinding Sayap

1. Tekanan tanah

- Beban kendaraan

$$\text{Beban Kendaraan} = 0,60\text{m} \times \text{Berat Jenis}$$

- Tekanan tanah

$$K_a = (1 - \sin \phi) / (1 + \sin \phi) \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \Theta &= \text{sudut geser tanah} \\ q &= \text{Beban merata (kN/m)} \\ h &= \text{tinggi dinding sayap (m)} \\ b &= \text{tebal dinding sayap (m)} \\ K_a &= \text{Koefisien tanah} \end{aligned}$$

- Akibat Tekanan Tanah pada Dinding Sayap

$$T_{ta1} = q_u \times K_a \times h$$

$$T_{ta2} = 0.5 \times \gamma_{\text{tanah}} \times h^2 \times K_a$$

$$T_{ta} = P_{aq} + P_{ah}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} T_{ta1} &= \text{Tekanan tanah aktif (kN/m)} \\ T_{ta2} &= \text{Tekanan tanah aktif (kN/m)} \\ q_u &= \text{Total Beban Mati (kN/m)} \\ \gamma_{\text{tanah}} &= \text{Berat jenis tanah (kN/m)} \\ h &= \text{tinggi dinding sayap (m)} \\ K_a &= \text{Koefisien tanah aktif} \\ P_h &= \text{Total tekanan tanah aktif (kN/m)} \end{aligned}$$

Perhitungan momen:

$$M_u = T_{ta} \times H$$

Dimana:

$$\begin{aligned} H &= \text{Lengan momen (m)} \\ T_{ta} &= \text{Total tekanan tanah aktif (kN/m)} \end{aligned}$$

2. Beban gempa statik ekuivalen

$$T_{EQ} = K_h \times I \times W_t = 0,238875 \times W_t$$

Dimana:

T_{EQ} = Beban gempa (kN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

I = Faktor kepentingan

W_t = Berat *wing wall* (kN)

3. Tekanan tanah dinamis akibat gempa

$$T_{EQ2} = H \times W_s \times \Delta K_{aG} \times B_y$$

Dimana:

T_{EQ} = Beban gempa (kN)

W_s = Berat jenis tanah timbunan (kN/m³)

B_y = Lebar abutment (m)

ΔK_{aG} = Koefisien tekanan tanah dinamis

Penulangan:

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0.5 \text{ } \emptyset \text{ tulangan yang dipakai}$$

Dimana:

d' = jarak tulangan (mm)

h = tebal plat (mm)

p = selimut beton (mm)

- Rasio tulangan (ρ)

$$K_{perlu} = M_u / \phi b \cdot d'$$

Dimana:

ρ = rasio tulangan

M_u = Momen Ultimate (kN.m)

b = Lebar per meter tiang (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

- Luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \times b \times d'$$

Dimana:

A_s = Luas tulangan (mm²)

ρ = rasio tulangan

b = Lebar per meter plat (mm)

d' = Jarak tulangan (mm)

- Sengkang (tulangan pembagi)

$$A_s = 50\% \times b \times h$$

Dimana:

- A_s = Luas tulangan (mm^2)
 b = Lebar per meter plat (mm)
 h = tebal plat lantai (mm)

D. Perhitungan Pondasi tiang pancang

Pondasi diperlukan agar konstruksi dapat aman terhadap geser dan ketidakstabilan tanah, pemilihan pondasi disesuaikan dengan kondisi dan keadaan tanah. Pada Jembatan ini jenis pondasi yang dipilih adalah pondasi tiang pancang dengan diameter 0,5 meter.

Beban-beban yang diterima oleh pondasi tiang pancang adalah:

- Beban vertikal
- Berat sendiri pondasi
- Stabilitas pondasi tiang pancang

Luas tiang pancang:

$$A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2$$

Dimana:

- A = luasan tiang (m^2)
 d = diameter tiang (m)

Keliling tiang

$$K = \pi \cdot d$$

Dimana:

- K = Keliling tiang (m^2)
 d = diameter tiang (m)

Daya dukung ijin tiang pancang didasarkan atas 2 macam:

- Berdasarkan kekuatan bahan

$$Q_{ijin} = A \times f_c - W \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana:

- Q_{ijin} = Daya dukung ijin tiang pancang (kN)
 A = luasan tiang (m^2)
 f_c = Tegangan ijin beton (kN/m^2)
 W = Berat jenis beton (kN/m^3)

- Berdasarkan pengujian CPT (Sondir)

$$Q_s = \frac{A \times q_c}{F_b} + \frac{JHP \cdot K}{F_s} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana:

Q_s = Daya dukung ijin tiang pancang (kN)

A = luasan tiang (m^2)

q_c = nilai konus (kN/m^2)

JHP = Tahanan geser (kN/m)

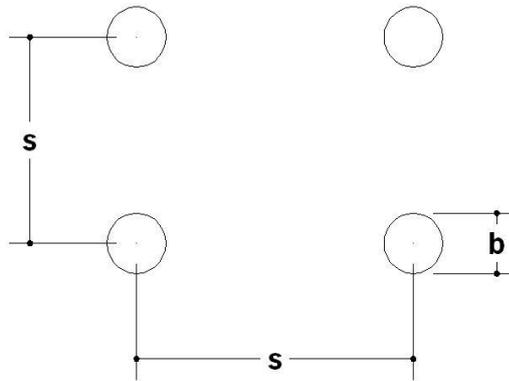
K = Keliling tiang (m)

F_b = Faktor Keamanan Daya Dukung dari Ujung (3,0)

F_s = Faktor Keamanan Daya Dukung dari Pelekatan antara Tiang dengan Tanah (5,0)

Dari kedua dasar pendekatan diatas, daya dukung ijin yang dipakai adalah yang memiliki nilai lebih kecil.

Jarak antar tiang :



Gambar 2.28 Jarak Tiang Pancang

Berdasarkan perhitungan daya dukung oleh Direktorat Bina Marga PU adalah sebagai berikut:

$$S = (2,5 - 3,0) \cdot b$$

$$S_{\min} = 0,6 \text{ meter}$$

$$S_{\max} = 2,0 \text{ meter}$$

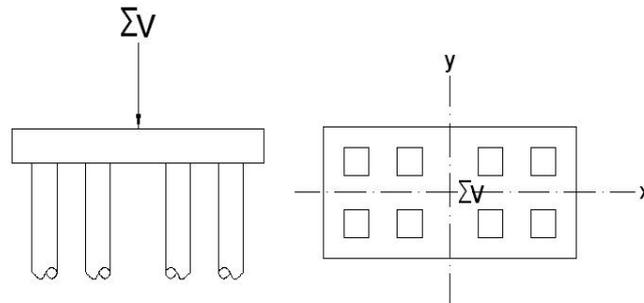
Dimana:

S = Jarak antar tiang dalam kelompok (m)

b = diameter tiang (m)

Perhitungan pembagian tekanan:

1. Beban Sentris



Gambar 2.29 Beban Normal Sentris

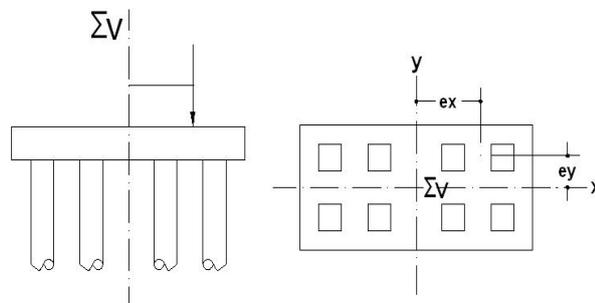
$$N = \frac{E_v}{n} \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana:

- N = Beban yang diterima oleh masing-masing tiang (kN)
- ΣV = Resultan gaya-gaya normal yang bekerja sentris (kN)
- n = Banyaknya tiang dalam kelompok

2. Beban Eksentris

Beban normal eksentris dapat diganti menjadi beban normal sentris ditambah dengan momen.



Gambar 2.30 Beban Normal Eksentris

Efisiensi kelompok tiang:

Rumus *Converse-Labarre*

$$E_f = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left[\frac{(n-1).m + (m-1).n}{m.n} \right] \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :

- θ = Arctan (b/s) (derajat)
- b = diameter tiang (m)
- S = jarak antar tiang (m)
- m = Jumlah baris
- n = Jumlah lajur

Kemampuan sebuah tiang pancang dalam kelompok:

$$P_{ijin} = E_f \times Q_{ijin} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana:

P_{ijin} = Daya dukung yang diijinkan sebuah tiang dalam kelompok (kN)

Q_{ijin} = Daya dukung yang diijinkan sebuah tiang tunggal (kN)

E = Faktor efisien

Gaya aksial maksimum dan minimum yang diderita satu tiang arah X

$$P_{max} = P/n + M_x \times X_{max} / \sum X^2$$

$$P_{min} = P/n - M_x \times X_{min} / \sum X^2$$

Gaya aksial maksimum dan minimum yang diderita satu tiang Y

$$P_{max} = P/n + M_y \times Y_{max} / \sum Y^2$$

$$P_{min} = P/n - M_y \times Y_{min} / \sum Y^2$$

Dimana:

P = Beban yang diterima oleh masing-masing tiang (kN)

M_y = Momen yang diterima oleh masing-masing tiang arah x(m)

M_x = Momen yang diterima oleh masing-masing tiang arah y(m)

n = Banyak tiang

2.6. Pengelolaan Proyek

2.6.1. Sistem kontrak

Pada umumnya sistem kontrak atau tender untuk pekerjaan pemborong sudah ada bentuknya. Sistem kontrak atau dokumen tender berisi tentang segala sesuatu mengenai pekerjaan yang akan dilaksanakan oleh kontraktor. Pada dasarnya sistem kontrak dalam dokumen tender dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

a. Kontrak *Lump Sump*

Kontrak *Lump Sump* adalah kontrak yang jenis pembayarannya berupa harga tetap dan harga inilah yang dibayarkan kepada kontraktor sesuai dengan besarnya harga yang tertera pada surat penawaran. Jadi, dengan kata lain berapapun biaya yang telah dikeluarkan oleh pihak kontraktor dalam melaksanakan suatu pekerjaan, maka biaya yang akan dibayarkan tetap sesuai dengan harga penawaran. Jika seandainya terjadi selisih biaya, maka biaya-biaya tersebut akan dimasukkan kedalam biaya-biaya pekerjaan tambah

kurang, oleh karena itu setiap kontraktor harus benar-benar memahami gambar dan RKS sebelum memasukkan surat penawaran.

b. Kontrak *Unit Price*

Kontrak *Unit Price* adalah kontrak yang berdasarkan perhitungan harga satuan dan biaya yang akan dibayarkan kepada kontraktor yang disesuaikan dengan besarnya masing-masing harga satuan pekerjaan.

c. Kontrak *Cost Plus*

Kontrak *Cost Plus* adalah kontrak kerja dimana kontraktor dibayar berdasarkan biaya produksi ditambah *free* (jasa) serta biaya-biaya lainnya (administrasi).

2.6.2. Perhitungan biaya pelaksanaan

Dalam perhitungan biaya pelaksanaan biaya bangunan adalah volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan. Dalam perhitungan harga satuan pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan yang diperlukan dalam suatu analisa biaya.

a. Analisa Produksi Kerja alat Berat

Pada prinsipnya perhitungan produksi alat dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- Menghitung isi aktual
- Menghitung waktu siklus
- Menghitung produksi kerja kasar
- Menghitung produksi kerja aktual

b. Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Dalam analisa produksi kerja alat berat yang diperhitungkan adalah kebutuhan bahan, pekerjaan dan alat yang diperlukan dalam pekerjaan tersebut. Analisa harga satuan pekerjaan dihitung persatu satuan volume pekerjaan. Dengan demikian kebutuhan biaya atau harga persatu satuan volume pekerjaan sesuai dengan biaya alat yang berlaku.

Dalam perhitungan analisa harga satuan pekerjaan untuk daftar harga bahan dan upah yang merupakan patokan atau standar yang dikeluarkan oleh dinas

pekerjaan umum setempat atau tempat proyek tersebut berada, sebab suatu daerah tidak akan sama harga standarnya.

c. Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah harga dan analisa per item pekerjaan.

2.6.3. Rencana anggaran biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah suatu daftar yang memuat jenis pekerjaan, volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan. Pada rencana anggaran biaya ini menyajikan analisa-analisa untuk setiap item pekerjaan jembatan dan akan diketahui seluruh biaya konstruksi. Pada proyek jembatan ini pekerjaan dilakukan mulai dan persiapan dan pembersihan sampai akhir pekerjaan administrasi.

2.6.4. *Net work planning (NWP)*

Network planning adalah hubungan ketergantungan antara bagian–bagian pekerjaan (variables) yang digambarkan/divisualisasikan dalam *diagram network*. Dengan demikian diketahui bagian – bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, bila perlu dilembur (tambah biaya) pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa–gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.

Macam – macam *network planning* :

- CMD : *Chart Method Diagram*
- NMT : *Network Management Technique*
- PEP : *Program Evaluation Procedure*
- CPA : *Critical Path Analysis*
- CPM : *Critical Path Method*
- PERT : *Program Evaluation and Review Technique*

Bahasa /simbol–simbol *Diagram Network*

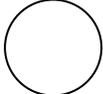
Pada perkembangannya yang terakhir dikenal 2 simbol :

- 1) *Event on the Node*, peristiwa digambarkan dalam ligkaran.
- 2) *Activity on the Node*, kegiatan digambarkan dalam lingkaran.

Penggunaan bahasa / simbol–simbol

1) 

Arrow, bentuknya merupakan anak panah yang artinya aktivitas / kegiatan: adalah suatu pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan “*duration*” (jangka waktu tertentu) dan “*resources*” (tenaga, equipment, material dan biaya) tertentu.

2) 

Node/event bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian : adalah permulaan atau akhir dari satu atau lebih kegiatan–kegiatan.

3) 

Double arrow, anak panah sejajar, merupakan kegiatan di Lintasan Kritis (*Critical Path*).

4) 

Dummy bentuknya merupakan anak panah terputus-putus yang artinya kegiatan semu atau aktivitas semu : adalah bukan kegiatan/aktivitas tetapi dianggap kegiatan/aktivitas, hanya saja tidak membutuhkan *duration* dan *resources* tertentu.

Jalur kritis adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen–komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek tercepat. Jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai kegiatan terakhir. Pada jalur ini terletak kegiatan – kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan menyebabkan keterlambatan penyelesaian keseluruhan proyek

Sebelum menggambar diagram Network perlu diingat:

- 1) Panjang, pendek maupun kemiringan anak panah sama sekali tidak mempunyai arti, dalam pengertian letak pekerjaan, banyaknya *duration* maupun *resources* yang dibutuhkan.
- 2) Aktivitas-aktivitas apa yang mendahului dan aktivitas-aktivitas apa yang mengikuti.

- 3) Aktivitas–aktivitas apa yang dapat bersama-sama.
- 4) Aktivitas–aktivitas itu dibatasi saat mulai dan saat selesai.
- 5) Waktu, biaya dan resources yang dibutuhkan dari aktivitas-aktivitas itu.
- 6) Kepala anak panah menjadi pedoman arah dari tiap kegiatan.
- 7) Besar kecilnya juga tidak mempunyai arti, dalam pengertian penting tidaknya suatu peristiwa.

Anak panah selalu menghubungkan dua buah *nodes*, arah dari anak panah menunjukkan urutan waktu.

2.6.5. Barchart

Dari NWP dapat dibuat suatu *barchart*, Apabila didalam NWP banyak diketahui kapan mulainya dan berakhirnya suatu pekerjaan maka dalam *barchart* akan diketahui pula jumlah pekerjaan atau tenaga kerja yang dipekerjakan dalam proyek minggu atau bulan. Jadi jumlah pekerjaan harus benar-benar disesuaikan dengan kebutuhan dan pemakaian selama pekerjaan proyek tersebut Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram I. Efrianto, 162:2005) :

- 1) Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- 2) Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut di atas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
- 3) Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan.

2.6.6. Kurva “S”

Kurva “S” erat kaitannya dengan *Network Planning*, Kurva “S” dibuat berdasarkan nilai dan pekerjaan berupa persentase yang didapat dan perbandingan dan biaya keseluruhan yang ada, kemudian dikalikan 100 %. Dengan penjadwalan waktu penyelesaian pekerjaan dan penentuan bobot dan tiap-tiap pekerjaan dapat dibuat kurva yang menyerupai huruf “S”. Kegunaan Kurva “S” adalah untuk mengontrol pekerjaan yang dilaksanakan apakah sesuai dengan kalender kerja sehingga pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target waktu dan dana yang disediakan. Dan kurva “S” dapat dilihat apakah pekerjaan yang dilaksanakan lebih cepat dengan yang direncanakan atau mengalami keterlambatan dalam waktu pelaksanaannya.