

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Jembatan

1.1.1 Pengertian Jembatan Secara Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang digunakan sebagai lintasan untuk memudahkan dan memperpendek jarak menyeberangi suatu rintangan tanpa menutup rintangan itu sendiri, yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, saluran irigasi dan lain-lain. Jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, jalan raya dan jalan kereta api (*Salmani dkk, 2022*).

Tujuan dari pembangunan jembatan sebagai sarana pendukung kelancaran arus lalu lintas, sebagai salah satu sarana penghubung antar daerah untuk kepentingan sosialisasi masyarakat, dan menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi antar suatu daerah dengan daerah lain melalui jembatan.

Konstruksi suatu jembatan terdiri dari bangunan atas, bangunan bawah dan pondasi. Sesuai dengan istilahnya bangunan atas berada pada bagian atas suatu jembatan yang berfungsi menampung semua beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas kendaraan atau orang yang kemudian disalurkan ke bagian bawah. Sedang bangunan bawah terletak di bawah bangunan atas yang berfungsi untuk menerima atau memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkan ke pondasi. Pondasi berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah lalu disalurkan ke tanah.

1.2 Klasifikasi Jembatan

Umumnya jembatan di klasifikasikan ke dalam 4 klasifikasi antara lain :

1.2.1 Berdasarkan Tipe Materialnya

1. Jembatan kayu

Bahan kayu merupakan bahan yang potensial dan telah cukup lama dikenal manusia. Sejak jaman dahulu jembatan kayu sering digunakan untuk menghubungkan sungai atau rintangan lainnya. Seiring dengan perkembangan jaman dan teknologi jembatan kayu sudah tidak sering dimanfaatkan dan pada saat ini jembatan yang sering digunakan oleh manusia adalah jembatan yang terbuat dari material baja atau beton.

2. Jembatan beton

Beton merupakan salah satu material yang sering dipakai untuk membangun suatu konstruksi baik jembatan ataupun konstruksi lainnya. Beton telah banyak dikenal dalam dunia konstruksi. Dengan kemajuan dan perkembangan teknologi, beton diolah sedemikian rupa sehingga diperoleh bentuk penampang beton yang beragam sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Pada jaman sekarang, jembatan yang terbuat dari material beton sering kita jumpai baik jembatan yang berupa beton bertulang konvensional maupun jembatan pretang ataupun jembatan jenis lainnya yang terbuat dari material beton.

3. Jembatan baja

Manusia sarat akan sarana transportasi, manusia mengembangkan baja sebagai material atau bahan yang dipakai untuk membangun konstruksi jembatan. Jembatan yang dibangun dengan menggunakan konstruksi baja memiliki kelebihan dibandingkan dengan jembatan lainnya seperti jembatan menggunakan konstruksi beton. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, pada era sekarang jembatan yang dibangun dari konstruksi baja merupakan jembatan yang paling sering dipakai oleh manusia.

1.2.2 Berdasarkan Fungsinya

Berdasarkan fungsinya jembatan dapat di fungsikan sebagai berikut :

1. Jembatan jalan kereta api
2. Jembatan pejalan kaki
3. Jembatan pembawa air
4. Jembatan penyebrangan hewan
5. Jembatan jalan raya

1.2.3 Berdasarkan Tipe Struktur

Berdasarkan tipe strukturnya jembatan terbagi sebagai berikut :

1. Jembatan plat (*slab bridge*)

Berbentuk elemen struktur horizontal untuk menyalurkan beban mati ataupun beban hidup menuju rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur
2. Jembatan gelagar (*girder bridge*)

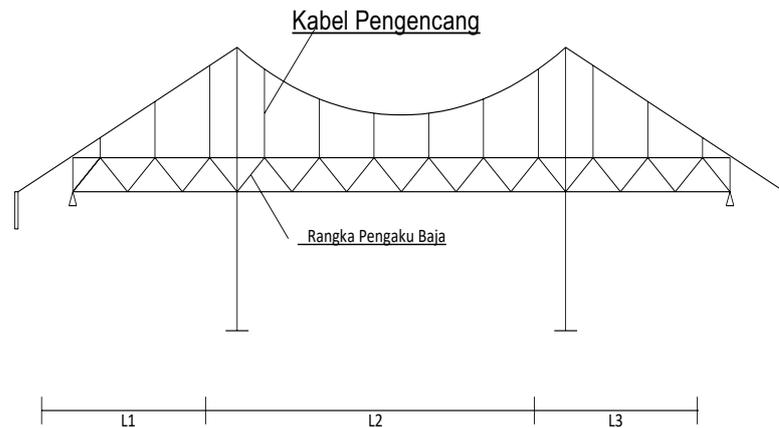
Terdiri dari berbagai macam gelangar meliputi I girder, box girder dan U/V Girder.
3. Jembatan lengkung (*arch bridge*)

Struktur jembatan berbentuk setengah lingkaran dengan abutmen pada kedua sisinya.
4. Jembatan gantung (*suspension bridge*)

Dengan semakin majunya teknologi dan demikian banyak tuntutan kebutuhan transportasi, manusia mengembangkan tipe jembatan gantung, yaitu dengan memanfaatkan kabel-kabel baja.
2. Jembatan beruji kabel (*cable stayed bridge*)

Jembatan Cable Stayed adalah jenis jembatan yang mengandalkan Cable sebagai penopang utamanya. Jembatan ini memiliki keunggulan yaitu dapat digunakan untuk bentang yang panjang. Tipe jembatan ini memiliki kelemahan yaitu membutuhkan biaya yang cukup mahal dan pengerjaannya yang cukup sulit.

Konstruksi utama dari jembatan ini terdiri dari kabel yang terbentang diatas menara atau tiang penegar, kabel penggantung / hanger, balok- balok penegar gelagar, angker. Jembatan ini biasanya digunakan pada bentang 400 ft sampai 10000 ft.



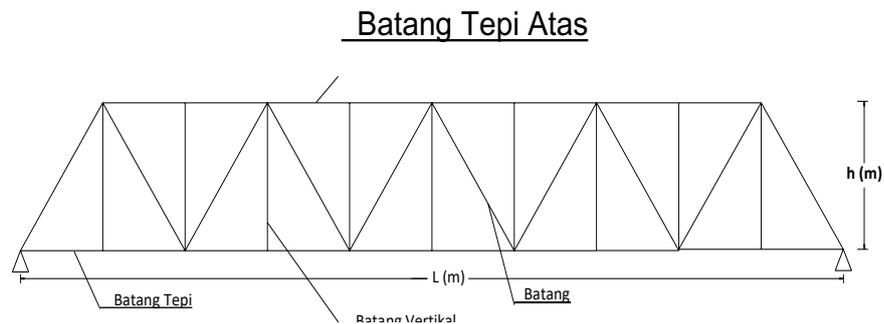
Gambar 2. 1 Jembatan Gantung

3. Jembatan rangka batang (*truss bridge*)

Jembatan rangka dapat terbuat dari bahan kayu atau baja. Jembatan rangka kayu (*wooden truss*) termasuk tipe klasik yang sudah banyak tertinggal mekanika bahannya dan hanya mendukung beban yang tidak terlalu besar. Pada perkembangannya bahan baja lebih banyak digunakan dengan berbagai macam bentuk. Berikut macam-macam jembatan rangka batang :

a) Jembatan Rangka Sederhana (*Simple Truss Bridge*)

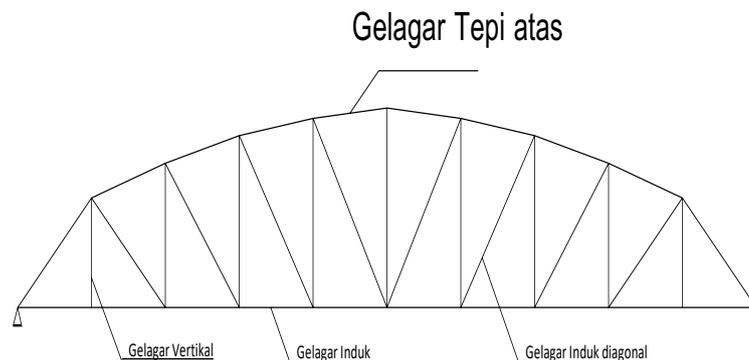
Jembatan ini terdiri dari gelagar induk, gelagar melintang, dan gelagar memanjang biasanya digunakan dalam jembatan menengah yaitu 150 ft sampai dengan 600 ft.



Gambar 2. 2 Jembatan Rangka Sederhana

b) Jembatan Rangka Parker (*Parker Truss*)

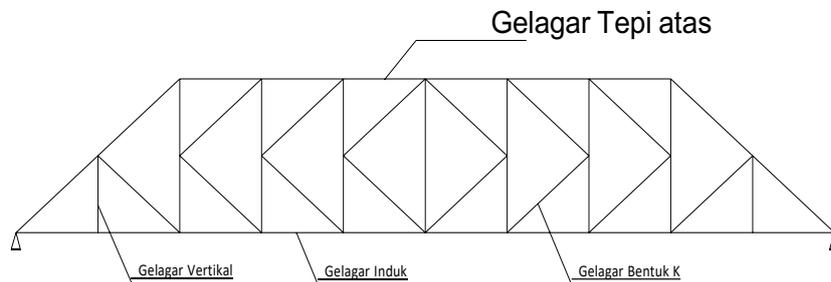
Jembatan Parker sebenarnya sama seperti jembatan rangka sederhana yang terdiri dari gelagar induk, memanjang dan gelagar melintang. Jembatan jenis parker biasanya digunakan pada bentangan 180 ft sampai 360 ft.



Gambar 2. 3 Jembatan Rangka Tipe Parker

c) Jembatan Rangka Tipe K (*K Truss*)

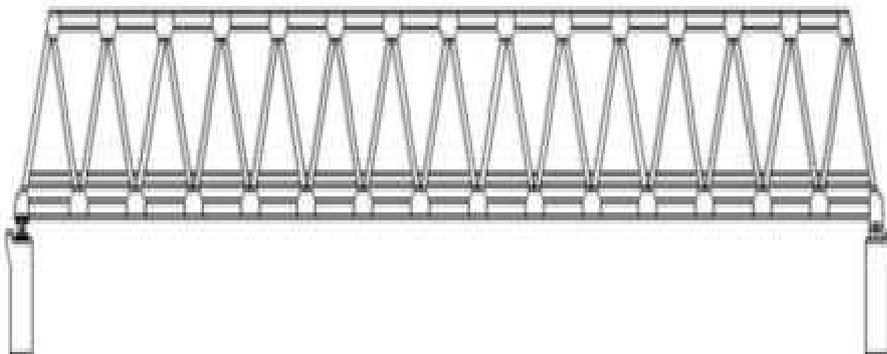
Jembatan Parker sebenarnya sama seperti jembatan rangka sederhana yang terdiri dari gelagar induk, memanjang dan gelagar melintang. Jembatan jenis parker biasanya digunakan pada bentangan 300 ft.



Gambar 2. 4 Jembatan Rangka Tipe K (K Truss)

d) Jembatan Rangka Tipe *Warren Truss*

Warren Truss adalah tipe jembatan rangka dengan rangka utamanya berbentuk trapesium dari serangkaian segitiga. Penggunaan ukuran trape rangkanya warren ini baik pada tinggi dan bentang rangkanya umumnya sama pada bentang jembatan yang berbeda (Aditya Farisal, 2013).



Gambar 2. 5 Jembatan Rangka Tipe Warren Truss

Keunggulan dari jembatan rangka tipe ini adalah mampu digunakan untuk struktur dengan bentang panjang serta desain yang cukup sederhana pada struktur rangkanya menjadikan jembatan tipe ini memiliki berat yang relatif ringan. Selain itu penyaluran beban-beban yang merata antar member-member rangka bajanya. Sedangkan, kelemahan dari jembatan rangka tipe ini adalah tidak bisa bekerja dengan baik jika beban yang diberikan terpusat. Selain itu

biaya konstruksi yang cukup banyak dikarenakan penambahan rangka.

1.2.4 Berdasarkan Bentang Jembatan

1. Bentang pendek (< 20 m)

Jembatan dengan beton bertulang pada umumnya hanya digunakan untuk bentang jembatan yang pendek yang memiliki bentang panjang 6 -20 m.

Jenis-jenis yang biasanya digunakan di antaranya Slab Bridge, T-Girder, dan I-Girder. Contohnya dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. 6 Bentang Pendek

2. Bentang sedang (20 m – 100 m)

Penggunaan rangka baja untuk jembatan sampai saat ini masih mendominasi bangunan jembatan bentang menengah. Jenis baja yang biasaya dipakai yaitu *Truss bridge*. Namun dapat juga menggunakan beton prategang jenis *Prestressed Box Girder*, *PCI-Girder* dan bisa juga menggunakan bahan komposit dengan jenis *Composite bridge*.



Gambar 2. 7 Bentang Sedang

1.3 Kelas Dan Lebar Jembatan

1.3.1 Jembatan Kelas Standar (A/I)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 9 m (badan jalan 7 m dan lebar trotoar 1 m (kanan-kiri)) yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100 % sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988).

1.3.2 Jembatan Kelas Sub Standar (B/II)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 7 m (badan jalan 6 m dan lebar trotoar 0.5 m (kanan-kiri)) yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100 % sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988).

1.3.3 Jembatan Kelas Low Standar (C/III)

Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 4.5 m (badan jalan 3.5 m dan lebar trotoar 0.5 m (kanan-kiri)) yang menggunakan beban lalu lintas BM – 70 (70 % sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan & Jalan Raya No 12/1970 (Revisi 1988).

Sesuai dengan ketentuan tentang pembagian kelas jembatan dapat di per oleh data lebar jalan sebagai berikut :

- a) KELAS A = 1,0 + 7,0 + 1,0 m
- b) KELAS B = 0,5 + 6,0 + 0,5 m
- c) KELAS C = 0,5 + 3,5 + 0,5 m

1.4 Penentuan Lebar Jembatan

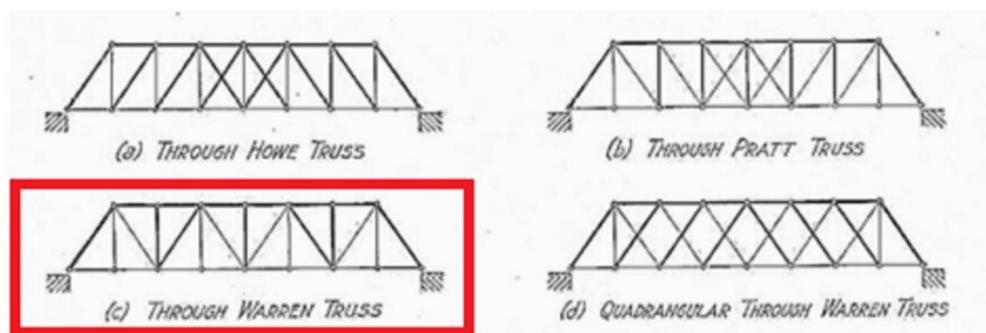
Lebar jembatan ditentukan berdasarkan kebutuhan kendaraan yang lewat setiap jam. Makin ramai kendaraan yang lewat makin diperlukan lebar jembatan yang lebih besar.

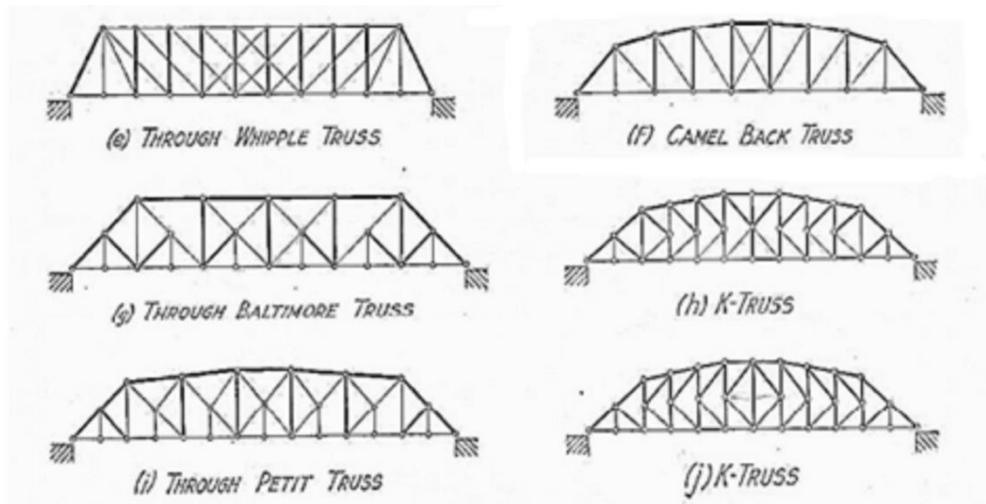
Tabel 2. 1 Penentuan Lebar Jembatan

LHR	Lebar Jembatan (m)	Jumlah Jalur
LHR < 2000	3,5 – 4,5	1
2000 < LHR < 3000	4,5 – 6,0	2
3000 < LHR < 8000	6,0 – 7,0	2
8000 < LHR < 20000	7,0 – 14,0	4
LHR > 20000	> 14,0	> 4

1.5 Jembatan Rangka Baja

Konstruksi rangka baja adalah suatu konstruksi yang dibuat dari susunan batang-batang baja yang membentuk kumpulan segitiga, dimana setiap pertemuan beberapa batang disambung pada alat pertemuan/simpul dengan menggunakan alat penyambung (*Winda Nur Oktaviani, 2016*) Ada banyak tipe jembatan rangka yang dapat digunakan antaranya sebagai :



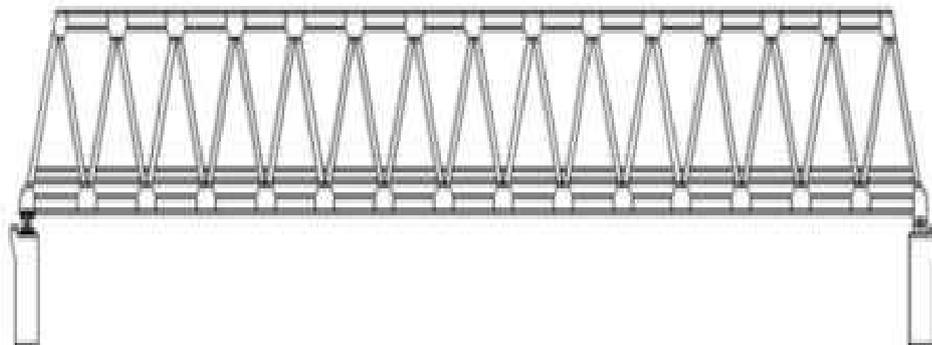


Gambar 2. 8 Tipe Jembatan Rangka Baja

Secara umum jembatan jembatan rangka baja lebih menguntungkan dari pada jembatan lainnya, karena batang-batang utama Rangka Baja memikul gaya aksial tekan atau gaya aksial tarik, konstruksi jembatan jauh lebih ringan, bentang jembatan jauh lebih panjang, pelaksanaan dilapangan jauh lebih mudah. Dengan tinggi rangka sedemikian rupa, kekakuan potongan melintang jembatan rangka lebih besar (*Lilu, Dion Falerio, 2019*)

1.5.1 Jembatan Tipe Warren Truss

Warren Truss adalah tipe jembatan rangka dengan rangka utamanya berbentuk trapesium dari serangkaian segitiga. Penggunaan ukuran trave rangka warren ini baik pada tinggi dan bentang rangkanya umumnya sama pada bentang jembatan yang berbeda (*Aditya Farisal, 2013*).



Gambar 2. 9 Jembatan Rangka Tipe Warren Truss

Keunggulan dari jembatan rangka tipe ini adalah mampu digunakan untuk struktur dengan bentang panjang serta desain yang cukup sederhana pada struktur rangkanya menjadikan jembatan tipe ini memiliki berat yang relatif ringan. Selain itu penyaluran beban-beban yang merata antar member-member rangka bajanya. Sedangkan, kelemahan dari jembatan rangka tipe ini adalah tidak bisa bekerja dengan baik jika beban yang diberikan terpusat. Selain itu biaya konstruksi yang cukup banyak dikarenakan penambahan rangka.

1.6 Bagian-Bagian Jembatan

Pada dasarnya semua jembatan terdiri dari dua bagian utama, yaitu struktur bagian atas atau super struktur dan struktur bagian bawah atau sub struktur.

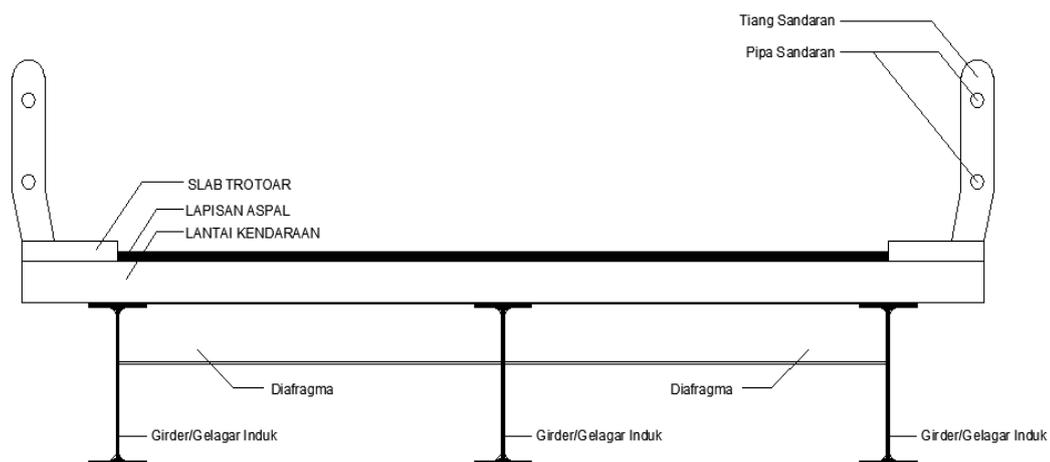
1.6.1 Struktur Bagian Atas atau Super Struktur

Dalam hal ini yang akan dibahas lebih lanjut adalah struktur bagian atas. Struktur bagian atas dari jembatan itu sendiri meliputi:

- a. Plat lantai kendaraan dan trotoar
- b. Gelagar memanjang
- c. Gelagar melintang
- d. Gelagar induk
- e. Ikatan angin
- f. Pipa sandaran
- g. Plat simpul
- h. Perletakan

Struktur atas jembatan adalah bagian dari struktur jembatan yang secara langsung menahan beban lalu lintas untuk selanjutnya disalurkan ke bangunan bawah jembatan. bagian-bagian pada struktur bangunan atas jembatan terdiri atas struktur utama, sistem lantai, sistem perletakan, sambungan siar muai dan perlengkapan lainnya. struktur utama bangunan atas jembatan dapat berbentuk pelat, gelagar, sistem rangka, gantung, jembatan kabel (*cable stayed*) atau pelengkung. Struktur atas jembatan

merupakan bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban lantai jembatan ke arah perletakan. Struktur atas terdiri dari : gelagar-gelagar induk, struktur tumpuan atau perletakan, struktur lantai jembatan/kendaraan, penambahan arah melintang dan memanjang.



Gambar 2. 10 Bagian-Bagian Struktur Atas Jembatan

1) Lantai Jembatan

Merupakan bagian dari konstruksi jembatan yang memikul beban akibat jalur lalu lintas secara langsung untuk kemudian disalurkan kepada konstruksi di bawahnya. Lantai ini harus diberi saluran yang baik untuk mengalirkan air hujan dengan cepat. Untuk keperluan ini maka permukaan jalan diberi kemiringan sebesar 2 % ke arah kiri dan kanan tepi jalan. Lantai kendaraan untuk jembatan komposit ditopang oleh gelagar memanjang dan diperkuat oleh diafragma.

Untuk menentukan tebal plat lantai beton kita dapat menggunakan Rumus yang telah diatur dalam SK-SNI 2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3, yaitu

- a. Rumus hitung tebal plat lantai beton minimum (h_{min})

$$h_{(\min)} \geq \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta}$$

b. Rumus hitung tebal plat lantai beton maksimum (h_{mak})

$$H_{(\max)} \leq \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36}$$

Keterangan :

h_{min} = ketebalan pelat beton minimum (mm)

h_{mak} = ketebalan pelat beton maksimum (mm)

ln = bentang terpanjang (mm)

F_y = mutu baja tulangan yang hendak digunakan (Mpa = megapascal), catatan 1 Mpa = 10,197 kg/cm²

β = koefisien = ln / lx

2) Trotoar

Merupakan bagian dari konstruksi jembatan yang ada pada ke dua samping jalur lalu lintas. Trotoar ini berfungsi sebagai jalur pejalan kaki dan terbuat dari beton tumbuk, yang menyatu dan homogen dengan plat lantai kendaraan dan sekaligus berfungsi sebagai balok penguat plat lantai kendaraan.

3) Gelagar Diafragma

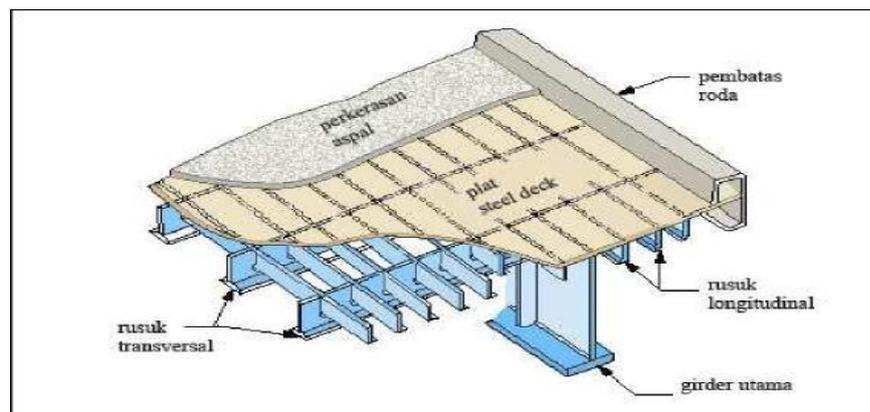
Komponen ini terletak pada jembatan yang letaknya melintang arah jembatan yang mengikat balok-balok gelagar induk. Komponen ini juga mengikat beberapa balok gelagar induk agar menjadi suatu kesatuan supaya tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk.

4) Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang ini merupakan tumpuan plat lantai kendaraan dalam arah memanjang. Komponen ini merupakan suatu bagian struktur yang menahan beban langsung dari plat lantai kendaraan.

5) Gelagar Baja Jembatan

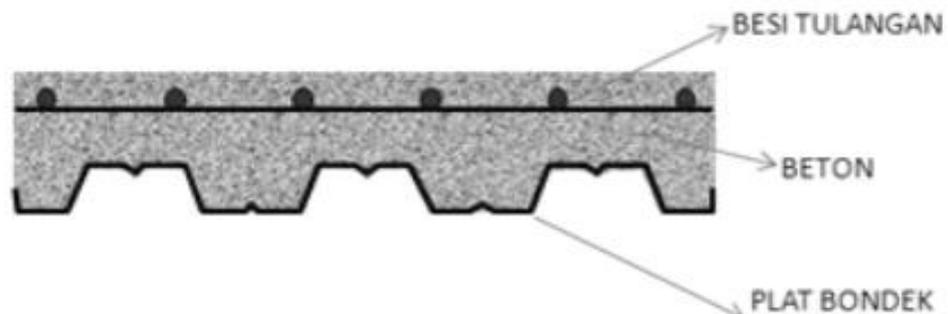
Baja mempunyai kekuatan, daktilitas, dan kekerasan yang lebih tinggi dibanding bahan lain seperti beton atau kayu, sehingga menjadikannya bahan yang penting untuk struktur jembatan. Pada baja konvensional, terdapat beberapa tipe kualitas baja (*high-performance steel/HPS*) yang dikembangkan untuk diaplikasikan pada jembatan. *HPS* mempunyai keseimbangan yang optimal seperti kekuatan, kemampuan dilas, kekerasan, daktilitas, ketahanan korosi dan ketahanan bentuk, untuk tampilan maksimum struktur jembatan dengan mempertahankan biaya yang efektif. Perbedaan utama dengan baja konvensional terletak pada peningkatan kemampuan dilas dan kekerasan. Aspek yang lain seperti ketahanan korosi dan daktilitas sama. Jembatan gelagar merupakan struktur yang sederhana dan umum digunakan.



Gambar 2. 11 Jembatan Gelagar Baja

6) Pelat Bondek (Steel Deck)

Pelat lantai bondek adalah pelat kombinasi yang menggunakan bondek sebagai pengganti tulangan momen positif (tulangan tarik), sekaligus sudah berfungsi sebagai bekisting bawah pelat dan lantai kerja, sedangkan untuk tulangan momen negatif bisa menggunakan tulangan baja biasa atau menggunakan *wiremesh*.



Gambar 2. 12 Pelat Bondek

Bondek merupakan baja galvanis yang memiliki daya tahan tinggi dan berfungsi ganda dalam konstruksi pelat beton, yakni sebagai penyangga permanen juga sebagai penulangan searah positif dengan ketebalan 0,75 - 1 mm. Kekuatan tarik leleh minimum pelat bondek ini adalah 550 MPa. Pemasangan panel bondek pada pelat beton diletakkan minimum $\pm 2,5$ cm ke dalam bekisting balok. Pelat – pelat lantai dan atap yang terdiri dari panel – panel lantai baja (*steel deck panels*), yang berfungsi baik sebagai cetakan maupun sebagai tulangan bagi beton yang terletak di atasnya, telah banyak dipakai pada bangunan – bangunan yang rangka utamanya terdiri dari konstruksi baja atau konstruksi komposit.

Kelebihan atau keunggulan penggunaan bondek :

- 1) Penggunaan bondek sebagai material pelapis cor beton, tidak perlu dibuka atau dilepas setelah cor beton mengering.
- 2) Dapat menghemat waktu pengerjaan pembuatan bekisting.
- 3) Mempercepat pekerjaan cor dak, dan hasil cor akan terlihat lebih rapi dan tidak ada keluhan cor plat beton bocor karena plat bondek begitu rapat dan anti bocor.
- 4) Mengurangi jumlah perancah atau penyangga dan ini lebih hemat dibandingkan dengan penggunaan bekisting kayu atau triplek.

Kekurangan atau kelemahan penggunaan bondek sebagai bekisting :

- 1) Pelat bondek agak sulit dipotong.

- 2) Pemasangan bondek harus dilakukan oleh tenaga ahli yang telah berpengalaman.
- 3) Tidak disarankan untuk cor dak yang tidak memiliki balok dan pelat tepi, seperti pelat pet, pelat kanopi teras minimalis tanpa balok, dan kantilever.
- 4) Dalam proses pemasangan sambungan antar sisi bondek harus menggunakan las listrik guna menguatkan sambungan.
- 5) Aplikasi bondek harus menggunakan penopang balok jika dipasang secara terpisah.

1.6.2 Struktur Bagian Bawah atau Sub Struktur

Struktur bawah jembatan berfungsi untuk memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dan sebagainya. Struktur bawah jembatan umumnya meliputi:

1. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Abutment merupakan struktur penahan tanah yang mendukung bangunan atas pada bagian ujung-ujung suatu jembatan. *Abutment* berfungsi juga sebagai penahan tanah.

- a. Dinding belakang (*back wall*)
- b. Dinding penahan (*retaining wall*)
- c. Dinding sayap (*wing wall*)
- d. Oprit, pelat injak (*approach slab*)
- e. Konsol pendek untuk jacking (*corbel*)
- f. Tumpuan (*bearing*)

2. Pilar jembatan

Pilar merupakan struktur yang mendukung bangunan pada pertengahan antara dua *abutment*. Pilar digunakan jika bentang jembatan terlalu panjang. Seperti halnya *abutment*, pilar juga dapat didesain dalam berbagai ukuran dan bentuk. Bagian-bagian dari pilar jembatan yaitu:

- a. Kepala pilar (*pierhead*)
- b. Pilar (*pier*), yang berupa dinding, kolom atau portal
- c. Konsol pendek untuk jacking (*corbel*)
- d. Tumpuan (*bearing*)

1.7 Sifat dan Karakteristik Material Baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum.

Tabel 2. 2 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, f_u [Mpa]	Tegangan Leleh Minimum, f_y [Mpa]	Peregangan minimum [%]
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut :

- ✓ Modulus elastisitas: $E = 200.000$ Mpa
- ✓ Modulus geser: $G = 80.000$ Mpa
- ✓ Angka poisson: $\mu = 0,3$
- ✓ Koefisien pemuaian: $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$

(sumber: *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan* RSNI T – 03 – 2005

halaman 8)

1.8 Tahapan Perencanaan Jembatan

Menurut (*Supriyadi dan Muntohar, 2007*) perbedaan antara ahli satu dengan ahli lainnya sangat dimungkinkan terjadi dalam perencanaan jembatan, tergantung latar belakang kemampuan dan pengalamannya. Akan tetapi, perbedaan tersebut tidak boleh menyebabkan gagalnya proses perencanaan.

Sebelum sampai pada pelaksanaan konstruksi, paling tidak seorang ahli atau perancang telah mempunyai data, baik data sekunder maupun data primer yang berkaitan dengan pembangunan jembatan

Perhitungan konstruksi jembatan harus didukung oleh teori-teori, rumus-rumus dan peraturan-peraturan dalam perencanaan. Menurut (*Supriyadi, 2000*), tahapan-tahapan dalam perencanaan jembatan adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan lokasi jembatan
2. Layout jembatan
3. Penyelidikan lokasi
4. *Preliminary design*

1.8.1 Pemilihan Lokasi Jembatan

Secara umum, suatu jembatan untuk melayani arus lalu lintas yang baik kecuali, kalau ada kondisi-kondisi tertentu. Pada pemilihan lokasi jembatan harus dilihat dari tiga aspek, yaitu:

a. Aspek lalu lintas

Mengingat jembatan akan melayani arus lalu lintas dari segala arah, maka muncul kompleksitas terhadap existing dan rencana, volume lalu lintas, oleh karenanya sangat diperlukan ketetapan dalam penentuan tipe jembatan yang akan digunakan.

b. Aspek teknis

Persyaratan teknis yang perlu dipertimbangkan antara lain:

1. Penentuan geometri struktur
2. Pemilihan posisi utama jembatan dan posisi deck
3. Penentuan panjang batang optimum sesuai dengan syarat hidrolika, arsitektural, dan biaya konstruksi
4. Pemilihan elemen-elemen struktur atas dan struktur bawah
5. Pendetailan struktur atas
6. Pemilihan bahan yang paling tepat untuk struktur jembatan berdasarkan pertimbangan struktural dan estetika

1.8.2 Layout Jembatan

Setelah lokasi jembatan ditentukan, variable berikutnya yang juga penting sebagai pertimbangan adalah layout terhadap topografi setempat. Biaya inventasi jembatan merupakan proporsi terbesar dari total biaya jalan raya.

1.8.3 Penyelidikan Lokasi

Ada dua bagian yang saling melengkapi dalam keseluruhan pekerjaan adalah sebagai berikut :

a. Pekerjaan kantor (*office work*)

Pekerjaan kantor atau sering disebut *desk study* meliputi antara lain :

1. Melengkapi pemetaan topografi lokasi jembatan
2. Pemetaan geometri di sekitar jembatan pada site plan dengan skala yang sesuai
3. Penggambaran layout jembatan pada site plan
4. Pengolahan data lapangan

b. Pekerjaan lapangan (*field work*)

Pekerjaan lapangan meliputi sebagai berikut:

- Penyelidikan lokasi

Penyelidikan lokasi perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi fisik lokasi

- Keadaan pondasi setempat

Kondisi pondasi setempat termasuk titik-titik rencana pilar pada potongan melintang sungai, merupakan faktor-faktor yang sangat perlu diperhatikan.

1.8.4 Preliminary Lokasi

Troitsky (dalam Supriyadi dan Muntohar 2000:33) menyatakan “Dalam bidang rekayasa jembatan tindakan dasar dari kemampuan kreatifitas adalah imajinasi”. Untuk merencanakan sebuah jembatan, hal penting pertama adalah mengimajinasikannya. *Preliminary design* tidak memberikan penyelesaian yang telah siap pakai (*ready solution*), akan tetapi merupakan suatu penentuan akhir alternative yang disajikan.

1.9 Pembebanan Jembatan

Pada perencanaan jembatan ini, semua beban dan gaya yang bekerja pada konstruksi dihitung berdasarkan : “Standar Pembebanan Jembatan (RSNI T- 02- 2005).” Beban-beban yang dipakai dalam perhitungan adalah :

1.9.1 Beban Primer

Beban primer adalah beban utama dalam perhitungan tegangan perencanaan jembatan.

1.9.2 Beban Berat Sendiri

Adapun beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau.

Tabel 2. 3 Faktor Beban Sendiri

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan ($\gamma^S MS$)		Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^U MS$)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi

Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton Dicor di Tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal : 14

1.9.3 Beban Mati

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

Tabel 2. 4 Berat Isi Untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000

7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal : 13

1.9.4 Beban Lalu Lintas

1. Beban Lajur "D"

Menurut SNI 1725:2016 Beban lajur "D" terdiri dari 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.

Untuk $L = 50$ Meter ; FDB = 40%

Intensitas lebar jalur = 100%

$$BGT = p \times 0,4 \times 1$$

$$= 49 \text{ kN/m} \times 0,4 \times 1 = 68,6 \text{ kN/m}$$

Tabel 2. 5 Faktor Beban Untuk Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (ϕ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan ($\phi_{S_{TD}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\phi_{U_{TD}}$)
	Beton	1,00	1,80

Transien	Boks	1,00	2,00
	Girder Baja		

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 39

2. Intensitas beban "D"

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

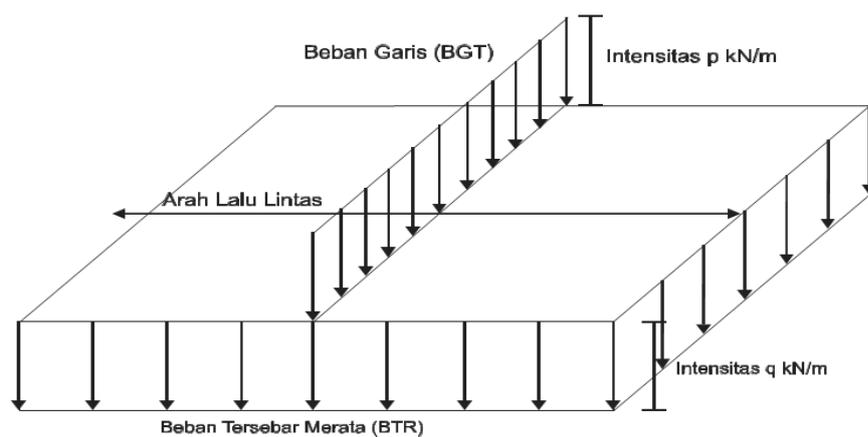
jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa

jika $L > 30$ m : $q = 9,0 (0,5 + \frac{15}{L})$ kPa (2.1)

Keterangan :

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

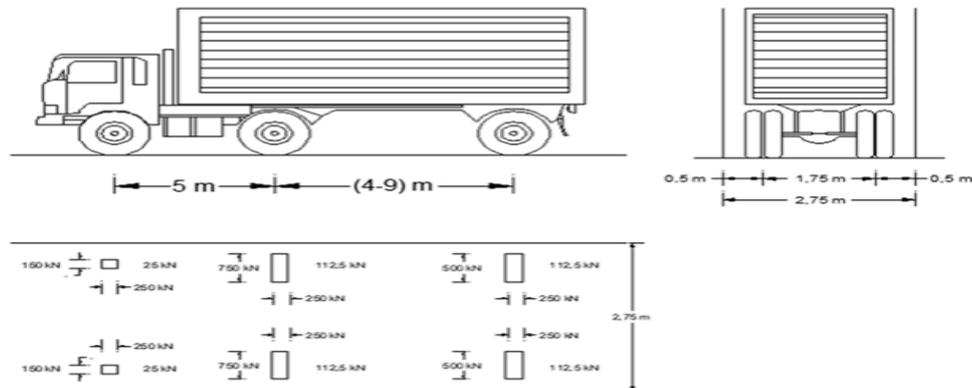


Gambar 2. 13 Beban Lajur "D"

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 39

3. Beban Truk "T"

Menurut SNI 1725:2016 Pembebanan truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". beban truk dapat digunakan



untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada tabel 2.5.

Gambar 2. 14 Pembebanan Truk "T" (500kN)

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal : 41

4. Beban Garis (BGT)

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

1) Penyebaran beban D pada arah melintang

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penempatan beban ini dilakukan dengan:

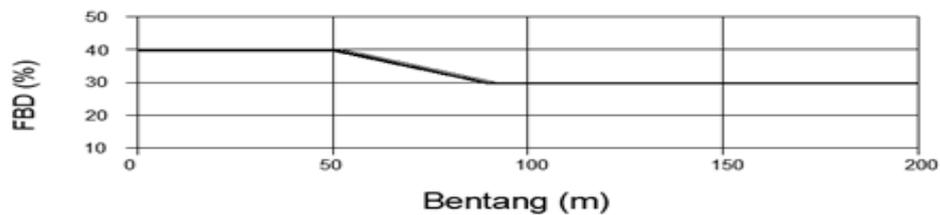
- Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100% 1.

Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_1). Hasilnya adalah beban garis equivalen sebesar $n_1 \times 2,75 \text{ q KN/m}$ dan beban terpusat equivalen sebesar $n_1 \times 2,75 \text{ p kN}$, kedua-duanya bekerja strip pada jalur selebar $n_1 \times 2,75 \text{ m}$.

- Beban “D” tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50%.

2) Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan merupakan iteraksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Untuk truk “T” nilai FBD adalah 0.3 (30%). Untuk “BGT” nilai FBD diberikan dalam gambar berikut:



Gambar 2. 15 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T Pada Pembebanan Lajur “D”

(Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 44-45)

5. beban pejalan kaki

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

6. gaya rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata bekerja setinggi 1800 mm di atas permukaan perkerasan

(Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 46)

7. Beban Angin

a. Tekanan angin horizontal

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, z (km/jam)

V_{10} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan pasal 9.6.2

Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau air dimana beban angin dihitung ($z > 10000$ mm)

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada tabel 28(mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

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

Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d126 km/jam

(Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 55)

Tabel 2. 6 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 56

✓ **Beban angin pada struktur (EW_S)**

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada

kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam pasal 9.6.3. dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam Mpa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 29 (MPa)

(Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 56)

Tabel 2. 7 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 56

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

1.9.5 Beban Dari Struktur Atas

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam tabel 30 dan harus

dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Tabel 2. 8 Tekanan Angin Dasar Untuk Berbagai Sudut Serang

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban lateral	Beban longitudinal
Derajat	MPa	MPa	MPa	MPa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0020	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 57

1.9.6 Gaya Angin Pada Kendaraan

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tersebut harus diasumsikan sebagaitekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti

yang ditentukan dalam tabel 31 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2. 9 Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 57

1.9.7 Tekanan Angin Vertikal

Kecuali ditentukan lain dalam pasal 9.6.3 jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan batas kuat III dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal yang ditentukan dalam pasal 9.6.1

1.9.8 Pengaruh Temperatur (Eun)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini.

Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar yang terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam tabel 18. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimal dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam tabel 18 harus digunakan sebagai $T_{mindesign}$ dan $T_{maxdesign}$ pada persamaan.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimal dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{mindesign} - T_{maxdesign}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/°C)

Sumber: Standar Pembebanan Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 49

Tabel 2. 10 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata – rata minimum (1)	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 Jembatan; SNI 1725:2016; hal: 49

1.10 Kombinasi Pembebanan Dan Faktor Beban

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan terhadap beban, tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikan terhadap tegangan yang diinginkan. Menurut Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya dan SNI 1725:2016, kombinasi beban dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 11 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan Yang Dilakukan Dalam Prosen Terhadap Tegangan Ijin
1. $M + (H+K) + Ta + Tu$	100%
2. $M+Ah+A+Ta+Gg+SR+Tm$	125%
3. Komb $I+Rt+Gg+A+SR+Tm+S$	140%
4. $M+Gh+Gt+Gg+Ahg+Tu$	150%
5. $M + PI$	130%
6. $M + (H+K) + Ta + S + Tb$	150%

Sumber : Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya 1997

1.11 Faktor Beban

Menurut RSNI T-02-2005 faktor beban dapat dilihat pada table berikut

:

Tabel 2. 12 Faktor Beban Keadaan Ultimate

JENIS BEBAN	FAKTOR BEBAN ATAS KEADAAN ULTIMATE	
	Keterangan	Faktor Beban
Beban sendiri	Baja	1,1
	Beton cor ditempat	1,3
Beban mati tambahan	Kasus umum	2,0
	Kasus khusus	1,4
Beban jalur "D"	-	1,8
Beban truk "T"	-	1,8
Gaya sentrifugal	-	1,8
Beban pejalan kaki	-	1,8
Beban rem	-	1,8
Pengaruh susut	-	1,0
Tekanan tanah	Tekanan tanah vertikal	1,25
	Tekanan tanah lateral	
	-Aktif	1,25
	-Pasif	1,40
	-diam	1,25
Pengaruh tetap pelaksanaan	-	1,25
Pengaruh suhu	-	1,2
Pengaruh gempa	-	1,0

Gesekan perletakan	-	1,3
Tekanan hidrostatistik dan gaya apung	Nilai dalam kurung menunjukkan faktor untuk unsur penahan air dimana beban ini menentukan	1,0 (1,1)
Aliran sungai, hanyutan dan batang kayu	- Jembatan besar dan penting (periode ulang 100 tahun)	2,0
	- Jembatan tetap (periode ulang 50 tahun)	1,5
	- Gorong-gorong (periode ulang 50 tahun)	1,0
	- Jembatan sementara (periode ulang 20 tahun)	1,5

Sumber : Standar Nasional Indonesia T-02-2005

Berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 6.1, keadaan batas yang harus dipenuhi komponen dan sambungan pada jembatan adalah :

Tabel 2. 13 Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _S	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	Y_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat II	Y_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat III	Y_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat IV	Y_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	Y_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	Y_p	Y_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	Y_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : - Y_p dapat berupa Y_{MS} , Y_{MH} , Y_{TA} , Y_{PR} , Y_{PL} , Y_{SH} tergantung beban yang ditinjau

- Y_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

1.12 Analisa Lalu Lintas

Aspek lalu lintas pada perencanaan jembatan berguna untuk menentukan lebar jembatan, dari analisa dan perhitungan aspek lalu lintas diharapkan konstruksi jembatan dapat memberikan tingkat pelayanan yang maksimum terhadap arus lalu lintas dan pejalan kaki yang lewat. Perhitungan lalu lintas yang dipakai pada perencanaan ulang struktur atas jembatan Ne'Gandeng berpedoman pada manual kapasitas jalan indonesia (MKJI) tahun 1997 tentang jalan luar kota dan tata cara perencanaan geometrik jalan antar kota tahun 1997.

1. komposisi lalu lintas

Kapasitas dan kinerja ruas jalan kota dipengaruhi oleh komponen – komponen lalu lintas diantaranya sebagai berikut:

- a. Kendaraan ringan (LV), kendaraan bermotor roda empat dengan jarak gandar 2,0 – 3,0 meter (termasuk kendaraan penumpang, oplet, mikro bis, pick up dan truk kecil).
 - b. Kendaraan berat menengah (MHV), kendaraan bermotor dengan dua gandar dengan jarak 3,5 – 5,0 (termasuk bis kecil, truk dua as dengan enam roda)
 - c. Truk besar (LT), truk tiga gandar dan truk kombinasi dengan jarak antar gandar > 3,5 meter.
 - d. Bis besar (LB), bis dengan dua atau tiga gandar dengan as 5,0 – 6,0 meter.
 - e. Sepeda motor (MC), sepeda motor dengan dua atau tiga roda. Nilai ekivalensi mobil penumpang untuk masing – masing tipe kendaraan tergantung pada tipe jalan, tipe alinyeman dan tipe arus lalu lintas yang dinyatakan dalam kendaraan/jam.
2. LHRT dan LHR

Perhitungan jumlah arus kendaraan yang lewat dinyatakan dalam LHRT (Lalu Lintas Harian Rata – Rata Tahunan) dan LHR (Lalu Lintas Harian Rata – Rata).

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Dalam 1 Tahun}}{365}$$

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Selama Pengamatan}}{\text{Lamanya Pengamatan}} \dots\dots\dots (2.5)$$

LHRT dan LHR dinyatakan dalam satuan Smp/hari (satuan mobil penumpang/hari) terhadap jumlah lajur yang ditinjau.

1.13 Perencanaan bangunan atas

1.13.1 perencanaan sandaran

Menurut RSNI T-02-2005 pasal 12.5 sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu $W^* = 0,75 \text{ kN/m}$. Beban-beban ini bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertikal pada masing-masing sandaran.

Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah :

- a. Menentukan mutu dan profil sandaran (pipa baja)
- b. Menentukan panjang sandaran yang menumpu pada rangka jembatan
- c. Menentukan berat sandaran (G) dan momen Tahanan (W)

$$G = A * \gamma \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan pengertian :

G = Berat sandaran

A = Luas penampang pipa

γ = Berat jenis

$$W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 \cdot 7,63} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan pengertian :

W = Momen tahanan

- d. Menentukan pembebanan arah Vertikal (qV) dan Horisontal (qH)

- e. Analisa struktur :

- a. Beban ultimate

$$q^u = \sqrt{qV^{u^2} + qH^{u^2}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan pengertian :

q^u = Beban ultimate

qV = Pembebanan arah vertikal

qh = Pembebanan arah horisontal

- b. Momen

$$M_{\max} = \frac{1}{8} * q * l^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan pengertian :

M_{\max} = Momen maximum

q = Beban ultimate

L = Panjang bentangan yang ditinjau

- c. Gaya Lintang

$$R_A = R_B = \frac{1}{2} * q * l \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan pengertian :

R_a = Reaksi dititik A

R_b = Reaksi dititik B

q = Beban ultimate

L = Panjang bentangan yang ditinjau

f. Cek tegangan :

a. Tegangan Lentur

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma \text{ ijin} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan pengertian :

σ = Tegangan lentur

W = Momen tahanan

M = Momen

b. Tegangan Geser

$$\tau = \frac{R_A = R_B}{A} \leq \tau \text{ ijin} = 0,58 * \sigma \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan pengertian :

τ = Tegangan geser

A = Luas penampang

c. Cek kekakuan/lendutan

$$\delta_{\text{ijin}} = \frac{L}{300} \geq \delta_{\text{terjadi}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dengan pengertian :

L = Panjang bentangan

δ_{ijin} = Lendutan yang diijinkan

$$\delta_{\text{terjadi}} = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan pengertian :

q = Beban ultimate

δ_{terjadi} = Lendutan yang terjadi

1.13.2 Perencanaan Trotoar

Trotoar berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada pejalan kaki, Trotoar direncanakan sebagai plat beton yang terletak diatas plat lantai. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah :

- Menentukan mutu beton (f_c) dan mutu tulangan (f_y) yang dipakai
- Menentukan dimensi plat trotoar yang direncanakan
- Menentukan pembebanan
- Analisa struktur menggunakan SAP2000 v.21
- Menghitung tulangan (prinsipnya sama dengan penulangan pada plat lantai kendaraan) :

- Menentukan Momen Nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dengan pengertian :

M_n = Momen nominal

M_u = Momen ultimit

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

- Tahapan Momen Nominal (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$M = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan pengertian :

R_n = Kekuatan nominal dari penampang komponen struktur

M_n = Momen nominal

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

f_c = Mutu beton

- Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dengan pengertian :

ρ_b = Rasio penulangan keseimbangan

β_1 = Faktor yang menghubungkan tinggi balok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

f_c = Mutu beton

Menurut SNI T-12-2004 Pasal 5.1.1 faktor β_1 untuk $f_y \leq 30 \text{ Mpa} = 0,85$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2.22)$$

- Rasio tulangan perlu (ρ)

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan pengertian :

ρ = Rasio tulangan perlu

R_n = Kekuatan nominal dari penampang komponen struktur

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

- Rasio tulangan minimum (SNI 03-2847-2002 PsI 12.5.1)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan pengertian :

ρ_{min} = Rasio tulangan minimum

f_y = Tegangan leleh tulangan (Mpa)

- Luas Tulangan Perlu ($A_{s \text{ perlu}}$)

Untuk tulangan pokok

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{min} \times b \times d \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\rho = \frac{A_{s \text{ terpasang}}}{b \times d} \dots\dots\dots(2.26)$$

Untuk tulangan pembagi

$$A_s = 50\% \times A_{s \text{ perlu}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dengan pengertian :

$A_{s \text{ perlu}}$ = Luas tulangan perlu

ρ_{min} = Rasio tulangan minimum

1.13.3 Perencanaan plat lantai kendaraan

Pelat lantai berfungsi sebagai konstruksi beban lalu lintas. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah :

- a. Menentukan mutu beton, mutu baja tulangan dan profil
- b. Menentukan tebal plat

Untuk menentukan tebal plat lantai beton kita dapat menggunakan Rumus yang telah diatur dalam SK-SNI 2002 ayat 11 butir 5 sub butir 3, yaitu

- c. Rumus hitung tebal plat lantai beton minimum (h_{min})

$$h_{(min)} \geq \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta}$$

- d. Rumus hitung tebal plat lantai beton maksimum (h_{mak})

$$H_{(mak)} \leq \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36}$$

Keterangan :

h_{min} = ketebalan pelat beton minimum (mm)

h_{mak} = ketebalan pelat beton maksimum (mm)

\ln = bentang terpanjang (mm)

F_y = mutu baja tulangan yang hendak digunakan (Mpa= megapascal), catatan 1 Mpa = 10,197 kg/cm²

β = koefisien = \ln / l_x

- c. Menentukan system lantai dan asumsi bentuk struktur yang terjadi
- d. Menentukan pembebanan pada struktur yang akan ditinjau
- e. Analisa struktur menggunakan SAP2000 v.21
- f. Hasil momen dikombinasikan
- g. Perhitungan penulangan pelat lantai kendaraan sama dengan prinsip penulangan trotoar.

- Tinggi efektif pelat

$$d = h - d' \dots\dots\dots(2.28)$$

Dengan pengertian :

h = Tinggi pelat

d' = Tinggi plat efektif

- Faktor bentuk distribusi tegangan beton

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c}{f_y} \times \frac{600}{(600+f_y)} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2.30)$$

Dengan pengertian :

ρ_b = Rasio penulangan keseimbangan

β_1 = Faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

f_c = Mutu beton

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimum

- Momen Nominal Rencana

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dengan pengertian :

M_n = Momen nominal

M_u = Momen ultimit

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

- Faktor Tambahan Momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^{-6}}{b \times d^2} \dots\dots\dots(2.32)$$

$$M = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan pengertian :

R_n = Kekuatan nominal dari penampang komponen struktur

M_n = Momen nominal

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

f_c = Mutu beton

- Rasio Tulangan yang diperlukan :

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right] \dots\dots\dots(2.34)$$

Dengan pengertian :

ρ = Rasio tulangan perlu

R_n = Kekuatan nominal dari penampang komponen struktur

f_y = Kuat tarik leleh tulangan

- Rasio Tulangan Minimum (ρ_{min})

$$\rho_{min} = \frac{1,0}{f_y} = \frac{1,0}{410} = 0,00244 \dots\dots\dots(2.35)$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

ρ_{min} = Rasio tulangan minimum

ρ_{max} = Rasio tulangan maksimum

ρ = Rasio tulangan perlu

f_y = Tegangan leleh tulangan (Mpa)

- Luas Tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \times b \times d \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan pengertian :

A_s = Luas tulangan

ρ = Rasio tulangan perlu

- Jarak Tulangan yang perlu

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dengan pengertian :

S = Jarak tulangan yang diperlukan

D = Diameter tulangan

b = Lebar penampang yang ditinjau

A_s = Luas tulangan

h. Kontrol Lendutan Plat

- Lendutan total yang Terjadi

$$(\delta_{total}) < L_x / 240 \dots\dots\dots(2.38)$$

- Inersia Bruto Penampang Plat

$$I_g = 1/12 \times b \times h^3 \dots\dots\dots(2.39)$$

- Modulus Keruntuhan Lentur Beton

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} \dots\dots\dots(2.40)$$

- Nilai Perbandingan Modulus Elastis

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots(2.41)$$

- Jarak Garis Netral Terhadap Sisi Atas Beton

$$C = n \times \frac{A_s}{b} \dots\dots\dots(2.42)$$

- Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times A_s \times (d - c)^2 \dots\dots\dots(2.43)$$

$$Y_t = \frac{h}{2} \dots\dots\dots(2.44)$$

- Momen Retak

$$M_{cr} = f_r \times \frac{I_g}{Y_t} \dots\dots\dots(2.45)$$

- Inersia Efektif untuk Perhitungan Lendutan

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 \times I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right\} \times I_{cr} \dots\dots\dots(2.46)$$

- Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\delta_e = \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L^4}{E_c \times I_e} + \frac{1}{48} \times P \times \frac{L^3}{E_c \times I_e} \dots\dots\dots(2.47)$$

- Rasio tulangan pelat lantai jembatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} \dots\dots\dots(2.48)$$

- Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun), nilai : $\zeta = 2,0$

$$\lambda = \frac{\zeta}{(1+50 \times \rho)} \dots\dots\dots(2.49)$$

- Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut

$$\delta_g = \lambda \times \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L^4}{E_c \times I_e} \dots\dots\dots(2.50)$$

- Lendutan total pada plat lantai jembatan

$$\delta_{Total} = \delta_e + \delta_g$$

1.13.4 Perencanaan gelagar Memanjang dan Melintang

Proses pelaksanaan pada jembatan untuk mempercepat dan mengurangi pemakaian perancah, metode pelaksanaan yang digunakan menggunakan *steel deck* dan sistem *cantilever* pada konstruksi rangkanya.

Dalam perencanaan jembatan terdapat balok memanjang dan melintang. Balok memanjang menerima beban dari plat lantai kendaraan. Sedangkan balok melintang meneruskan beban yang diterima balok memanjang ke struktur utama. Dalam perencanaan ini direncanakan sebagai gelagar komposit memakai baja WF dan dianggap sebagai balok dengan dua tumpuan. Momen yang diperhitungkan adalah pada saat sesudah komposit.

Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah :

- a. Menentukan profil yang digunakan beserta mutu bajanya
- b. Menghitung pembebanan meliputi :
 - Beban sendiri (MS) yang otomatis terhitung pada program software SAP2000 v.21
 - Beban mati tambahan (MA)
 - Beban lalu lintas
 - Aksi lingkungan
- c. Analisis pada SAP2000 v.21
- d. Pendimensian gelagar memanjang dan gelagar melintang
 - Tegangan ijin BJ-44 (σ) = 1867 kg / cm²
 - Momen tahanan perlu (Wx_{perlu})

$$Wx_{perlu} = \frac{M_{total}}{\sigma} \dots\dots\dots(2.52)$$

- Tinggi bersih plat sayap profil baja (h)

$$h = d - 2 (tf + r) \dots\dots\dots(2.53)$$

- Cek kelangsingan penampang

$$\lambda_f = \frac{b}{2 x tf} \dots\dots\dots(2.54)$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} = \dots\dots\dots(2.55)$$

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} \dots\dots\dots(2.56)$$

Kontrol $\lambda_f < \lambda_p < \lambda_r$

- Momen nominal

$$M_n = f_y \times Z_x \dots\dots\dots(2.57)$$

Kontrol $M_n > M_u$

- Cek kapasitas geser

$$A_w = d \times t_w \dots\dots\dots(2.58)$$

- Gaya geser nominal (V_n)

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \dots\dots\dots(2.59)$$

Kontrol $\phi V_n > V_u$

- Cek lendutan (δ_{ijin})

$$\delta_{ijin} = 1/800 \times L \dots\dots\dots(2.60)$$

Kontrol $\delta < \delta_{ijin}$

❖ Perhitungan gelagar

Lebar efektif plat beton (bE) untuk gelagar interior (plat menumpu pada kedua sisi) :

$$bE \leq \frac{L}{4} \dots\dots\dots(2.61)$$

$$bE \leq b_o \dots\dots\dots(2.62)$$

$$bE \leq b_f + 16 \cdot t_s \dots\dots\dots(2.63)$$

Dimana :

bE = Lebar efektif beton

L = Panjang gelagar

b_o = Jarak antar gelagar

b_f = Lebar profil

t_s = Tebal plat lantai

❖ Elastisitas :

$$E_{beton} = 4700 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$E_{baja} = 2100000 \text{ kg/cm}^2 = 210000 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(2.65)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \dots\dots\dots(2.66)$$

(Sumber : CG. Salmon, JE. Jhonson. Struktur baja Desain dan Perilaku, Jilid III 1992 :582)

❖ Kontrol kelangsingan profil :

Untuk tekuk flens

$$f = \frac{B}{2 \cdot t_f} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$\rho = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.68)$$

(Berdasarkan SNI-03-2005, Hal 31)

Untuk tekuk lokal badan balok

$$w = \frac{h}{t_w} = \frac{H-2(r+t_f)}{t_w} \dots\dots\dots(2.69)$$

$$p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2.70)$$

Dimana :

B = Lebar profil baja (mm)

H = Tinggi profil baja (mm)

T_w = Tebal web (mm)

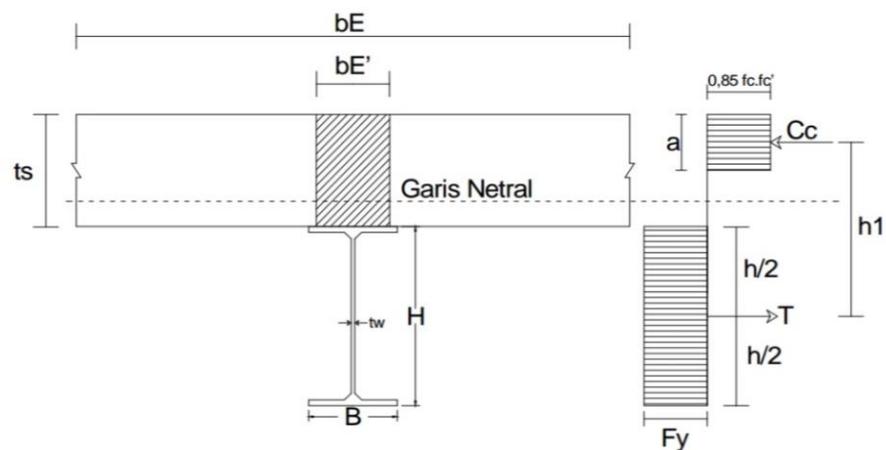
T_f = Tebal flens (mm)

f_y = Mutu baja (Mpa)

f_c = Mutu beton (Mpa)

(Setiawan, Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD.

Penerbit Erlangga Hal 85)



Gambar 2. 16 Distribusi tegangan plastis pada kekuatan momen nominal M_n (PNA = Plastis Neutral Axis = sumbu netlas plastis), Sumbu netral plastis di dalam slab

❖ Kontrol kekuatan penampang

$$Y_a = \frac{\sum AY}{\sum A} \dots\dots\dots(2.71)$$

$$Y_b = t + h - Y_a \dots\dots\dots(2.72)$$

Misalkan $Y_a <$ tebal plat beton maka garis netral terletak pada plat beton. Berdasarkan persamaan keseimbangan Gaya $C = T$, maka diperoleh :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot bE} \dots\dots\dots(2.73)$$

Tebal plat beton 250 mm $>$ $a = 92,744$ mm, maka plat beton mampu mengimbangi gaya tarik $A_s \cdot f_s$ yang timbul pada baja.

Tegangan tegang pada serat beton :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot bE \dots\dots\dots(2.74)$$

Tegangan tarik pada serat baja :

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(2.75)$$

Maka kuat lentur nominal dari komponen struktur komposit adalah :

$$M_n = C_c \cdot h_1 \dots\dots\dots(2.76)$$

Kontrol kekuatan penampang :

$$W_b \cdot M_n \geq M_u \dots\dots\dots(2.77)$$

Dimana :

ϕ_b = Faktor resistensi untuk lentur (0,9)

M_n = Momen nominal (kg/m)

M_u = Momen ultimit (kg/m)

T = Tegangan tarik pada serat baja

C_c = Tegangan tekan pada serat beton

❖ Berdasarkan lendutan maksimum akibat beban mati dan beban hidup adalah :

$$\bar{f} = \frac{1}{360} \cdot L \dots\dots\dots(2.78)$$

(Sumber : C. G. Salmon, "Struktur Baja II", Hal 393)

❖ Lendutan

Kontrol lendutan menggunakan momen area a/luasan momen

$$U = \frac{M}{EI} \dots\dots\dots(2.79)$$

(Sumber : Ir. V Sunggono kh, Buku Teknik Sipil, halaman 83)

Dimana :

f = Besar lendutan yang terjadi

I_x = Momen inersia (cm⁴)

E = Modulus elastisitas bahan baja (Mpa)

❖ Kontrol kekuatan geser

$$V_n = 0,055 \times d \times t_w \times f_y \dots\dots\dots(2.80)$$

Dimana :

V_n = Kuat geser nominal plat badan (kg)

F_y = Tegangan leleh (Mpa)

d = Tinggi profil baja (cm)

t_w = Tebal web baja (cm)

- Digunakan Metode LRFD, 2008

Badan :

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \dots\dots\dots(2.81)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2.82)$$

$$\lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2.83)$$

- Untuk penampang kompak momen nominal sama dengan momen plastis (M_n = M_p) dimana modulus plastis (Z_x) adalah :

$$Z_x = b \times t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \times t_w (d - 2t_f)^2 \dots\dots\dots(2.84)$$

$$M_n = f_y \times Z_x \dots\dots\dots(2.85)$$

- Cek kapasitas geser

Luas penampang web (A_w)

$$A_w = d \times t_w \dots\dots\dots(2.86)$$

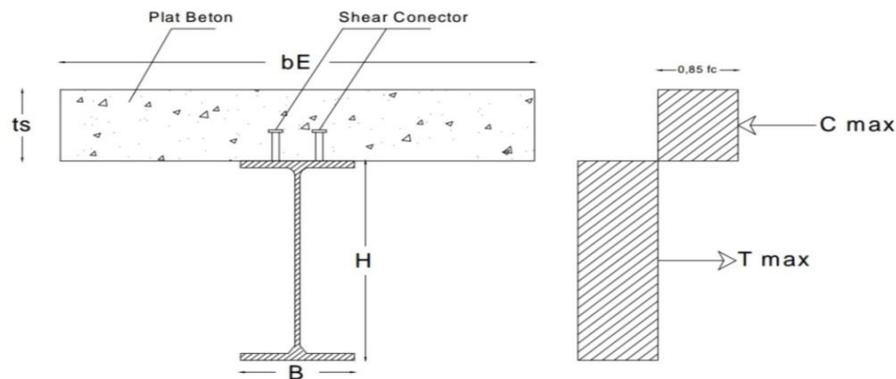
Gaya geser nominal (V_n)

$$V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \dots\dots\dots(2.87)$$

- Cek lendutan

$$\delta_{ijin} = 1/800 \times L \dots\dots\dots(2.88)$$

❖ Shear Konektor



Gambar 2. 17 Perencanaan Shear Konektor

Untuk perhitungan gaya geser horizontal (V_h) menggunakan rumus :

$$- C_{max} = 0,85 \times f_c' \times bE \times ts \dots\dots\dots(2.89)$$

$$- T_{max} = A_s \times f_y \dots\dots\dots(2.90)$$

Dimana :

C_{max} = Gaya geser yang disambung oleh beton

T_{max} = Gaya geser yang ditimbulkan oleh profil baja

f_c' = Kuat tekan beton (Mpa)

f_y = Tegangan leleh profil baja (Mpa)

bE = Lebar slab efektif (cm)

ts = Tebal slab (cm)

A_s = Luas penampang lintang baja (cm)

Dari dua rumus diatas diambil nilai gaya geser yang lebih kecil.

❖ Perhitungan kekuatan stud dan jumlah stud

- Penghubung geser berkepala yang dilaksanakan pada flens

$$A_{SC} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots(2.91)$$

- Kekuatan geser satu stud

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot E_c \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \dots\dots\dots(2.92)$$

Dimana :

Q_n = Kekuatan geser stud (kg)

A_{sc} = Luas satu stud (cm^2)

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

- Perhitungan gaya geser horisontal (V_h)

$$V_h = 0,85 \times f'c' \times bE \times ts \dots\dots\dots(2.93)$$

- Gaya geser yang disambungkan oleh baja profil

$$T_{max} = A_s \times f_y \dots\dots\dots(2.94)$$

- Jumlah stud

$$N = V_h / Q_n \dots\dots\dots(2.95)$$

Dimana :

N = Jumlah stud

- Jarak konektor

Jarak minimum longitudinal

$$S_{min} = 6 \times d \dots\dots\dots(2.96)$$

Jarak maksimum longitudinal

$$S_{max} = 8 \times t \text{ (plat beton)} \dots\dots\dots(2.97)$$

(Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Penerbit Erlangga Hal, 299)

1.13.5 Perencanaan gelagar induk

Gelagar induk adalah gelagar yang dipasang di kedua sisi jembatan dan terletak kearah memanjang. Gelagar induk berfungsi untuk menerima semua pengaruh beban jembatan melalui gelagar melintang. Beban-beban yang bekerja harus ditinjau dalam perhitungan gelagar adalah :

1. Beban mati

Terdiri dari berat sendiri gelagar induk, gelagar memanjang, gelagar melintang, plat lantai kendaraan, trotoar, ikatan angin, dan sandaran. Rumus-rumus yang dipergunakan untuk memperhitungkan beban-beban tersebut semuanya menggunakan program bantu *software* (SAP2000).

2. Beban hidup pejalan kaki (trotoar)
3. Beban lajur "D"

Beban hidup yang ditinjau yaitu beban terbagi merata dan beban garis.

4. Gaya rem
5. Beban akibat angin

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas.

Beban yang bekerja ada dua macam :

T_{EW1} = Gaya akibat tegangan angin pada beban hidup

T_{EW2} = Gaya akibat tekanan angin pada sisi rangka jembatan.

6. Kombinasi pembebanan

Tabel 2. 14 Kombinasi Pembebanan Untuk Keadaan Batas Kelayakan dan Ultimit

Aksi	Kelayakan						Ultimit						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Aksi Permanen :													
Berat sendiri													
Beban mati tambahan													
susut rangkap retakan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
Pengaruh beban tetap pelaksanaan tekanan tanah penurunan													
Aksi Transien :													
Beban lajur "D" atau beban truk "T"	x	o	o	o	o		x	o	o	o	o		
Gaya rem atau gaya sentrifugal	x	o	o	o	o		x	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	o		o	x	o	o	o		x	o		o
Kayu dan hidrostatik/ apung												
Beban angin			o	o	x	o	o		o	x		o
Aksi Khusus : Gempa											x	
Beban tumbukan												
Pengaruh getaran	x	x										
Beban pelaksanaan						x						x
<p>“x” berarti beban yang selalu aktif</p> <p>“o” berarti beban yang boleh dikombinasikan dengan beban aktif, tunggal atau seperti ditunjukkan.</p>	<p>(1) = aksi permanen “x”KBL+beban aktif “x” KBL + 1 beban “o” KBL</p> <p>(2) = aksi permanen “x” KBL+beban aktif “x” KBL+1 beban “o” KBL+0,7 beban “o” KBL</p> <p>(3) = aksi permanen “x” KBL+beban</p>						<p>Aksi permanen “x” KBU + beban aktif “x” KBU + 1 beban “o” KBL</p>					

(Sumber : SNI T-02-2005 ; halaman 51)

1.13.6 Perencanaan ikatan angin

Ikatan angin berfungsi untuk menahan gaya yang diakibatkan oleh tekanan angin ssamping, sehingga struktur dapat lebih kaku. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah :

- a. Data perencanaan dimensi baja
- b. Menghitung radius girasi (r)

$$rx = \sqrt{\frac{Ix}{Ag}} \dots\dots\dots(2.125)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \dots\dots\dots(2.126)$$

c. Menghitung parameter kerampingan

$$\lambda_c = \frac{K.L}{r} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 \times E_s}} \dots\dots\dots(2.127)$$

d. Menghitung tegangan kritis penampang (F_{cr}) (plastis)

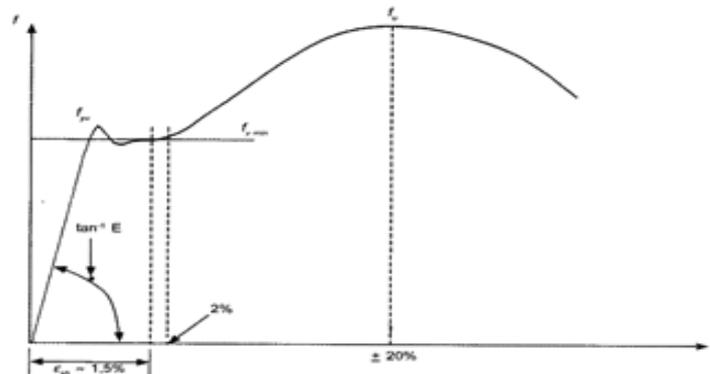
$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) f_y \dots\dots\dots(2.128)$$

e. Kontrol kekuatan nominal

$$\phi_c \cdot F_{cr} \cdot A_g \geq P_u$$

1.14 Teori Desain Struktur Baja Dengan Metode LRFD

Sifat mekanis baja merupakan yang sangat penting dalam desain konstruksi. Sifat ini di peroleh dari uji tarik baja, uji melibatkan pembebanan tarik sampel baja dan bersama ini dilakukan pembebanan dan panjangnya sehingga diperoleh tegangan dan regangannya.



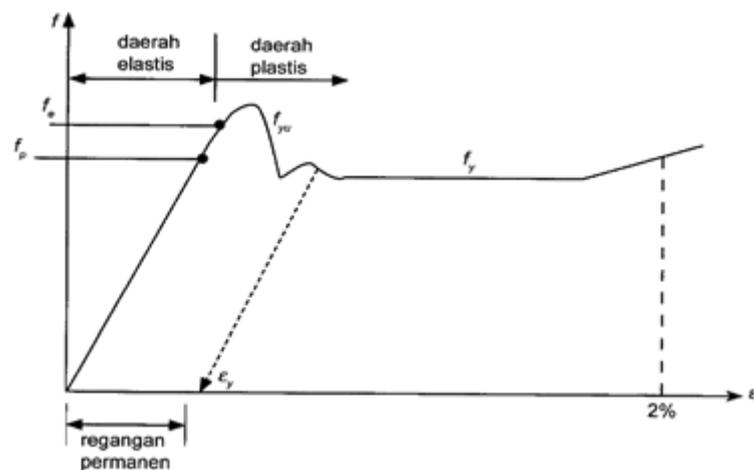
Gambar 2. 18 Kurva Hubungan Tegangan (f) vs Regangan (ε)

(Sumber: Perencanaan Struktur Baja dengan Menggunakan Metode LRFD (Agus Setiawan, hal 19)

Hasil uji ini di tunjukan dalam diagram regangan dan tegangan. Titik f_y (*Titik Limit Perporcional*) pada diagram hubungan linear antara tegangan dan regangan, apabila dilakukan pembebanan tidak melewati titik ini baja masih bersifat elastis artinya apabila beban dihilangkan maka

baja masih dapat kembali keadaan semula, tetapi apa bila dibebankan terus sampai melampaui titik tersebut maka baja tidak bersifat elastis lagi melainkan bersifat plastis sehingga baja tidak dapat kembali ke keadaan sebelum pembebanan.

Ada dua filosofi yang digunakan dalam perencanaan struktur baja yaitu perencanaan berdasarkan tegangan kerja/ *Allowabel Stress Design* (ASD) dan perencanaan konstruksi batas/ *Load And Resistance Factor Design* (LRFD).



Gambar 2. 19 Bagian Kurva Tegangan – Regangan Yang Diperbesar

Sumber: (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 19)

Berdasarkan grafik tersebut maka ada beberapa hal yang mendasari penulis menerapkan metode LRFD dalam penyelesaian skripsi yaitu:

1. Rasional LRFD selalu menarik perhatian, dan menjadi suatu perangsang yang menjanjikan penggunaan bahan yang lebih ekonomis dan lebih baik untuk beberapa kombinasi beban dan konfigurasi structural. LRFD juga cenderung memberikan struktur yang lebih aman bila di bandingkan dengan ASD dalam mengkombinasikan beban-

beban hidup dan mati dan memperlakukan mereka dengan cara yang sama.

2. LRFD akan memudahkan pemasukan informasi baru mengenai beban-beban dan variasi-variasi bila informasi tersebut telah diperoleh. Pengetahuan kita mengenai beban-beban beserta variasi mereka masih jauh dari mencukupi. Bila dikehendaki, pemisahan pembebanan dari resistensya akan memungkinkan pengubahan yang satu tanpa perlu mempengaruhi yang lainnya.
3. Perubahan-perubahan dalam berbagai factor kelebihan beban dan factor resistensi lebih muda dilakukan ketimbang mengubah tegangan ijin dari ASD.
4. LRFD membuat desain dalam segala macam material lebih muda dipertautkan. Variabilitas beban-beban sebenarnya tidak berkaitan dengan material yang digunakan dalam desain.

1.15 Desain Struktur Baja Dengan Metode LRFD

Suatu desain struktur harus menyediakan cadangan kekuatan yang diperlukan untuk menanggung beban layanan yakni struktur harus memiliki kemampuan terhadap kemungkinan kelebihan beban (*overload*). Kelebihan beban dapat terjadi akibat perubahan fungsi struktur dan dapat juga terjadi akibat terlalu rendahnya taksiran atas efek- efek beban yang mungkin akan terjadi.

Disamping itu, harus ada kemampuan terhadap kemungkinan kekuatan material yang lebih rendah (*under strength*) Terjadinya penyimpangan dalam dimensi batang, meskipun dapat mengakibatkan suatu batang memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan yang telah diperhitungkan. Secara umum, persamaan untuk persyaratan keamanan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi R_n \geq \Sigma \gamma_i \cdot Q_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Sumber (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 11)

Jika tahanan nominal R_n dikalikan suatu faktor tahanan ϕ maka akan diperoleh tahanan rencana. Namun demikian, berbagai macam beban (beban mati, beban hidup, beban gempa, dan lain-lain) pada bagian kanan persamaan 1.19 dikalikan suatu faktor beban γ_i untuk mendapatkan jumlah terfaktor $\Sigma \gamma_i \cdot Q_i$.

1.15.1 Batang Tarik

Batang tarik banyak dijumpai dalam struktur baja, seperti struktur-struktur jembatan, rangka atap, menara transmisi ikatan angin, dan sebagainya. Batang tarik ini sangat efektif dalam memikul beban.

Dalam menentukan tahanan nominal suatu batang tarik, harus diperiksa terhadap tiga macam kondisi kerunturan yang menentukan, yaitu:

- Leleh dari luas penampang kotor, di daerah yang jauh dari sambungan
- Fraktur dari luas penampang efektif pada daerah sambungan
- Geser blok pada sambungan

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

$$T_u \leq \Phi \cdot T_n \dots\dots\dots (2.7)$$

Besarnya tahanan nominal T_n suatu batang tarik untuk tipe kerunturan leleh dan fraktur ditentukan sebagai berikut:

- Kondisi leleh dari luas penampang kotor

Bila kondisi leleh yang menentukan, maka tahanan nominal T_n , dari batang tarik memenuhi persamaan:

$$T_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan A_g = luas penampang kotor, mm²

f_y = kuat leleh material, Mpa

Sumber: (Agus Setiawan. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 31*)

- Kondisi fraktur dari luas penampang efektif pada sambungan

Untuk batang tarik yang mempunyai lubang, misalnya untuk penempatan baut, maka luas penampangnya tereduksi, dan dinamakan luas netto (A_n). Lubang pada batang menimbulkan konsentrasi tegangan akibat beban kerja. Teori elastisitas menunjukkan bahwa tegangan tarik disekitar lubang baut tersebut adalah sekitar lubang baut tersebut adalah sekitar 3 kali tegangan rerata pada penampang netto. Namun saat serat dalam material mencapai regangan leleh $\varepsilon_y = f_y/E_s$ tegangan menjadi konstan sebesar f_y dengan deformasi yang masih berlanjut sehingga semua serat dalam material mencapai ε_y atau lebih. Tegangan yang terkonsentrasi di sekitar lubang tersebut menimbulkan fraktur pada sambungan.

Bila kondisi fraktur pada sambungan yang menentukan, maka tahanan nominal, T_u dari batang tersebut memenuhi persamaan:

$$T_u = \phi \cdot A_e \cdot f_y \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan A_e = luas penampang efektif

A_n = luas netto penampang, mm²

U = koefisien reduksi

f_y = tegangan tarik putus, MPa

Dengan ϕ adalah faktor tahanan, yang besarnya adalah:

ϕ = 0,90 untuk kondisi leleh, dan

$\phi = 0,75$ untuk kondisi fraktur

Luas netto penampang batang tarik tidak boleh diambil lebih besar daripada 85% luas brutonya $A_n \leq 0,85 A_g$

Sumber (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 32)

1.15.2 Batang Tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris, akibat beban terfaktor N_u menurut SNI 03-1729-2002, pasal 9.1 harus memenuhi:

$$N_u = \phi_c \cdot N_n \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan: $\phi = 0,85$

N_u = beban terfaktor

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur = $A_g \cdot f_{cr}$

Sumber: (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 56)

1.15.3 Kuat Tekan Nominal Akibat Tekuk Lentur

Tekuk lentur pada umumnya kekuatan komponen struktur dengan beban aksial tekan murni ditentukan oleh tekuk lentur. Hingga kini komponen struktur tekan yang dibahas oleh komponen struktur tekan yang mengalami tekuk lentur. Tekuk lentur mengakibatkan defleksi terhadap sumbu lemah (sumbu dengan rasio kelangsingan terbesar) setiap komponen struktur tekan dapat mengalami kegagalan akibat tekuk lentur.

(Agus Setyawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2008; hal 66). Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 9.2 mensyaratkan pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi untuk profil-profil siku ganda dan profil T. disyaratkan bahwa kuat tekan rencana akibat tekuk lentur torsi, dari

komponen struktur tekan yang terdiri dari siku ganda atau berbentuk T, harus memenuhi:

$$N_u < \phi_n N_{nlt} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan : $\phi_n = 0,85$

$$N_{nlt} = ag \cdot f_{nlt}$$

Sumber:(Agus Setiawan.Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 56)

Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk						
	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Harga K teoretis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
K desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan	<ul style="list-style-type: none"> jepit sendi rol tanpa rotasi ujung bebas 					

Gambar 2. 20 Faktor Panjang Efektif

(Sumber: Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2008: 57)

1.15.4 Batang Lentur

Agar penampang mampu mencapai θ_u tanpa menimbulkan keruntuhan akibat ketidakstabilan ini, maka harus dipenuhi ketiga macam syarat yakni kekangan lateral. Perbandingan lebar dan tebal flens b_f/t_f perbandingan tinggi dan tebal web (h/t_f)

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n > M_u \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan : $\phi_b = 0,90$

M_n = tahanan momen nominal

M_u = momen lentur akibat beban terfaktor

Tahanan momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak:

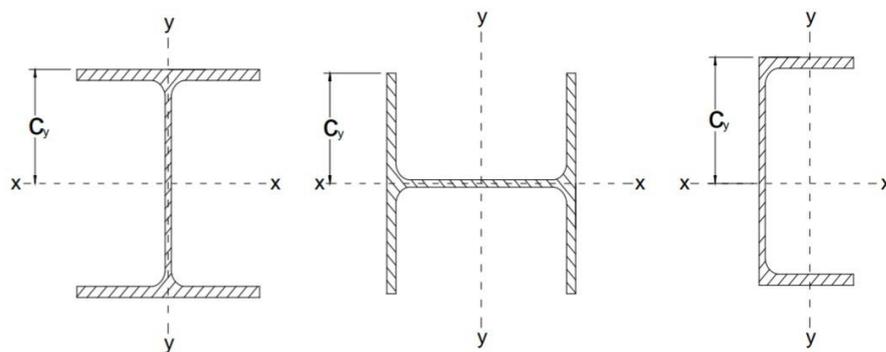
$$M_n = M_p = Z \cdot F_y \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan : M_p = tahanan momen plastis

Z = Modulus plastis

F_y = kuat leleh

(sumber: Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2008: 85*)



Gambar 2. 21 Penampang Batang Lentur

(sumber: Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2008: 82*)

1.16 Perencanaan Sambungan Baut

Setiap struktur baja merupakan gabungan dari beberapa komponen batang yang disatukan dengan menggunakan alat pengencang baik dengan baut maupun dengan menggunakan las. Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak dapat diabaikan, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Baut mutu tinggi menggeser penggunaan paku keling sebagai alat pengencang karena beberapa kelebihan yang dimilikinya dibandingkan paku keling, seperti jumlah tenaga yang lebih sedikit, kemampuan menerima gaya yang lebih besar, dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya konstruksi.

Selain mutu tinggi ada pula baut mutu normal A325 terbuat dari baja kadar karbon rendah. Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560 - 630 MPa, baut A490 terbuat dari baja alloy dengan kuat leleh 790 – 900 MPa, tergantung pada diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ in, yang sering digunakan dalam struktur bangunan berdiameter $\frac{3}{4}$ dan $\frac{7}{8}$ in, dalam desain jembatan antara $\frac{7}{8}$ hingga 1 in.

Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup yang diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini akan memberikan fiksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan *proof load*. *proof load* diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan tarik (A_s) dengan kuat leleh yang diperoleh dengan metoda 0,2% tangen atau 0,5% regangan yang besarnya 70% f_u untuk A325 dan 80% untuk A490.

Baut mutu normal dipasang kencang tangan. Baut mutu tinggi mula-mula dipasang kencang tangan, dan kemudian diikuti $\frac{1}{2}$ putaran lagi (*turn-of-the-nut method*). Dalam tabel 2.11 ditampilkan tipe-tipe baut dengan diameter, *proof load* dan kuat tarik minimum-nya.

Tabel 2. 15 Gaya Tarik Baut Minimum

Tipe baut	Diameter (mm)	<i>Proof stress</i> (MPa)	Kuat tarik Min, (MPa)
-----------	---------------	------------------------------	--------------------------

A307	6.35 - 104	-	60
A325	12.7 – 25.4	585	825
28.6 – 38.1	510	725	
A490	12.7 – 38.1	825	1035

Sumber (Agus Setiawan. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*, 2008 halaman 110)

Suatu baut yang memikul beban terfaktor R_u , sesuai persyaratan keamanan yang diberikan LRFD harus memenuhi:

$$R_u \leq \Phi \cdot R_n \dots \dots \dots (2.14)$$

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

1.16.1 Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan:

$$R_n = \phi m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

r_1 = 0,50 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

r_1 = 0,40 untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b adalah kuat tarik baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

m adalah jumlah bidang geser

Sumber: (Agus Setiawan. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*, 2008 halaman 110)

1.16.2 Tahana Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya dihitung menurut:

$$R_n = \phi \cdot 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: f_u^b adalah kuat tarik baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Sumber:(Agus Setiawan.Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 110)

1.16.3 Tahanan Tumpu Baut

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

$$R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan: d_b adalah diameter baut pada daerah tak berulir

t_p adalah tebal plat

f_u adalah kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat

Sumber:(Agus Setiawan.Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 110)

Sedangkan untuk lubang baut selor panjang tegak lurus arah gaya berlaku:

$$R_n = 2,0 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \dots\dots\dots (2.18)$$

Sumber:(Agus Setiawan.Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 111)

1.16.4 Perhitungan Jumlah Baut

Pendekatan yang dikembangkan oleh Shedd memberikan rumus yang sederhana dan bermanfaat untuk satu baris alat penyambung berjarak sama yang hanya memikul momen, karena jaraknya sama, daya tahan setiap alat penyambung sama. Bila R dianggap sama dengan gaya pada alat penyambung terluar (fA) dan R menyatakan akumulasi tegangan yang terjadi pada penampang penahan segiempat setinggi p , maka beban rata-rata per inci tinggi di alat penyambung terluar dapat ditentukan sebagai R/p .

$$n = \sqrt{\frac{6M}{Rp}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Oleh karena persamaan 2.19 berlaku untuk satu baris alat penyambung yang hanya memikul momen, harga numerik R yang digunakan dalam persamaan ini harus disesuaikan bila sambungan juga memikul gaya geser langsung dan memiliki lebih dari satu baris alat penyambung. Pengarang menyarankan R efektif yang lebih kecil untuk pengaruh gaya geser langsung dan R efektif yang lebih besar untuk pengaruh penyebaran lateral dapat diambil sebesar 1,0 untuk satu baris sampai 2,0 untuk rangkaian alat penyambung yang bujur sangkar.

Sumber: (CG. Salmon, JE. Jhonson, Struktur Baja Desain Dan Perilaku, jilid 1,1992: halaman 141)

Untuk menghitung jumlah baut yang diperlukan dalam merencanakan sambungan tipe tarik dan geser dapat digunakan rumus:

$$n = \frac{Pu}{\phi.Rn} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana:

n = jumlah baut

P_u = beban terfaktor (kg)

R_n = kekuatan (tarik, geser dan tumpu desain baut akan diambil hasil dari persamaan kuat desain baut yang nilainya lebih kecil), kg

Sumber: (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, 2008 halaman 113)

1.16.5 Jarak Minimum dan Maksimum Baut

Tata letak baut diatur dalam SNI pasal 13.4 jarak antar pusat lubang baut harus diambil tidak kurang dari 3 kali diameter nominal baut, dan jarak antara baut tepi dengan ujung pelat harus sekurang-kurangnya 1,5 diameter nominal baut. Dan jarak maksimum antarpusat lubang baut tidak boleh melebihi $15t_p$ (dengan t_p adalah tebal plat lapis tertipis dalam sambungan) atau 200 mm, sedangkan jarak tepi maksimum harus tidak melebihi $(4t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm.

Sumber: (Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, jilid 1, halaman 111)

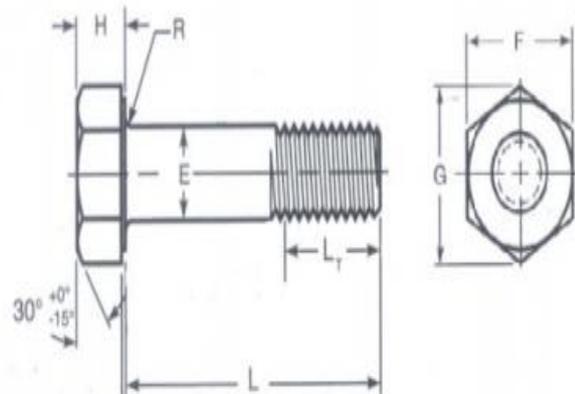
ASTM A490 - Spesifikasi Standar untuk Baut Hex Berat Struktural, Baja Paduan, Perlakuan Panas, Kuat Tarik Minimum 150 ksi dengan Tipe 1 & Kelas Baut Baja Pelapukan Tipe 3

Spesifikasi ini mencakup dua jenis nilai perbautan yang dipadamkan dan ditempa, dibuat dari baja paduan kekuatan tinggi. Baut ASTM A490 dimaksudkan untuk digunakan pada sambungan struktural yang serupa dengan ASTM A325/A325M tetapi diproduksi dari baja paduan, bukan baja karbon sedang, yang memiliki kekuatan tarik tinggi. Ada dua versi dari spesifikasi ini; ASTM A490 mencakup perbautan tarik tinggi berukuran imperial dan A490M untuk baut berukuran metrik. ASTM A490 mencakup dua kelas Tipe 1 & Tipe 3, yang kemudian menjadi baja pelapukan. Tipe 2 ditarik pada tahun 2002. Baut di bawah spesifikasi ini dibuat dari 1/2" untuk 1-1/2" di kekaisaran & dari M12 hingga M36 dalam ukuran metrik. Ferrobend adalah pemain yang luar biasa dalam menyediakan ASTM

A490 Tipe 1& Baut baja pelapukan tipe 3 dengan pelapis seng, kadmium atau dacromet dengan Sertifikasi EN 10204 Tipe 3.1.

Persyaratan Kekerasan ASTM A490

Ukuran Baut, mm	Panjang Baut*, mm	Brinell		Rockwell C	
		min	maksimal	min	maksimal
1/2&kutipan; ke 1", inklusif	Kurang dari 2D*	311	352	33	39
1/2&kutipan; ke 1", inklusif	2D ke atas	--	352	--	39
1-1/8" hingga 1-1/2", inklusif	Kurang dari 3D	311	352	33	39
1-1/8" hingga 1-1/2", inklusif	3D ke atas	--	352	--	39



Nominal Size (inch)	E		F		G		H		R		L _t Thread Length Basic
	Full Size Body Dia		Width Across Flats		Width Across Corners		Head Height		Fillet Radius		
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
0.5	0.515	0.482	0.875	0.85	1.01	0.969	0.323	0.302	0.031	0.009	1
0.625	0.642	0.605	1.063	1.031	1.227	1.175	0.403	0.378	0.062	0.021	1.25
0.75	0.768	0.729	1.25	1.212	1.443	1.383	0.483	0.455	0.062	0.021	1.38
0.875	0.895	0.852	1.438	1.394	1.66	1.589	0.563	0.531	0.062	0.031	1.5
1	1.022	0.976	1.625	1.575	1.876	1.796	0.627	0.591	0.093	0.062	1.75
1 1/8	1.149	1.098	1.813	1.756	2.093	2.002	0.718	0.658	0.093	0.062	2
1 1/4	1.277	1.223	2	1.938	2.309	2.209	0.813	0.749	0.093	0.062	2
1 3/8	1.404	1.345	2.188	2.119	2.526	2.416	0.878	0.81	0.093	0.062	2.25
1.083333	1.531	1.47	2.375	2.3	2.742	2.622	0.974	0.902	0.093	0.062	2.25

1.16.6 Perhitungan Tebal Plat

Untuk menghitung plat simpul digunakan rumus:

$$t \geq \frac{P}{\phi \cdot F_u \cdot L} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

P = beban terfaktor (cm)

ϕ = faktor resistensi (0,75)

Fu = kekuatan tarik dari bahan pelat(kg/cm²)

L = jarak ujung minimum (cm)

t = tebal plat simpul (cm)

Sumber: (CG. Salmon, JE. Jhonson, Struktur Baja Desain Dan Perilaku, jilid 1,1992: halaman 141)

1.17 Perletakan

Konstruksi perletakan harus mengalihkan gaya-gaya tegak dan mendatar yang bekerja pada jembatan kepada pangkal jembatan dan pondasi. Untuk mengatasi kedua gaya tersebut dapat dipasang dua macam tumpuan yaitu tumpuan rol dan tumpuan sendi. (III)

a. Perletakan sendi

Untuk menghitung perletakan sendi digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

Panjang empiris dihitung dengan rumus

$$\ell = L + 40 \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana :

ℓ = panjang perletakan (cm)

L = Panjang jembatan (m)

- Tebal bantalan

$$S1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3.Pu.l}{b.\phi.fy}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana :

Pu = besar gaya (kg)

b = lebar perletakan

ϕ = faktor resistansi untuk sendi rol 0,90

Fy = mutu baja st 52 = 240 Mpa = 2400 kg/cm²

*Sumber: HJ. Struyk, K.H.Cw. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan:
halaman 249*

Selanjutnya untuk ukuran S2, S3, h dan W dapat direncanakan dengan melihat tabel Muller Breslaw, sebagai berikut:

Tabel 2. 16 Muller

$\frac{h}{S2}$	$\frac{h}{a.S3}$	W
3	4	0,2222 . a .h ² . S ₃
4	4,2	0,2251 . a .h ² . S ₃
5	4,6	0,2286 . a .h ² . S ₃
6	5	0,2315 . a .h ² . S ₃

*Sumber: HJ. Struyk, K.H.Cw. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan:
halaman 249*

- Jumlah rusuk (a), maka S2 dan S3 dapat diambil dengan metode diatas, dimana W adalah momen tahanan, perbandingan h/S2 hendaknya dipilih antara 3 dan 5, tebal S4 biasanya diambil = h/6, dan S5 = h/4.....(2.24)
- Jari – jari garis tengah sendi

$$r = \frac{1}{2} . d1 = \frac{0,8.P}{\phi.fy.l} \dots\dots\dots(2.25)$$

Sumber: HJ. Struyk, K.H.Cw. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan:
halaman 250

Sumber: HJ. Struyk, K.H.Cw. Van Der Veen, Soemargono, Jembatan:
halaman 250

b. Perletakan rol

Untuk menghitung perletakan rol digunakan rumus-rumus sebagai berikut:

- Panjang empiris dihitung dengan rumus

$$l = L + 40$$

dimana :

l = panjang perletakan (cm)

L = Panjang jembatan (m)

- Tebal bantalan

$$S1 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3Pu.l}{b.\phi.fy}}$$

Dimana :

$S1$ = besar gaya (kg)

b = lebar perletakan

ϕ = faktor resistansi untuk sendi rol 0,90

Fy = mutu baja st 52 = 240 Mpa = 2400 kg/cm²

Selanjutnya untuk ukuran $S2$, $S3$, h dan W dapat direncanakan dengan menghitung

- Jari – jari garis tengah rol

$$r = \frac{1}{2} \cdot d1 = \frac{0,8.P}{\phi.fy.l} \dots\dots\dots(2.26)$$

- Diameter rol

$$d4 = 0,75 + 106 \cdot \frac{P}{l.\phi.\sigma_y} \dots\dots\dots(2.27)$$

= tegangan tarik putus baja = 8500 kg/cm² (baja A529)

- Diameter total rol
 $d_4 = d_4 + 2 \cdot d_6$ 2.28
- Tebal bibir rol
 $d_6 =$ diambil sebesar 2,5

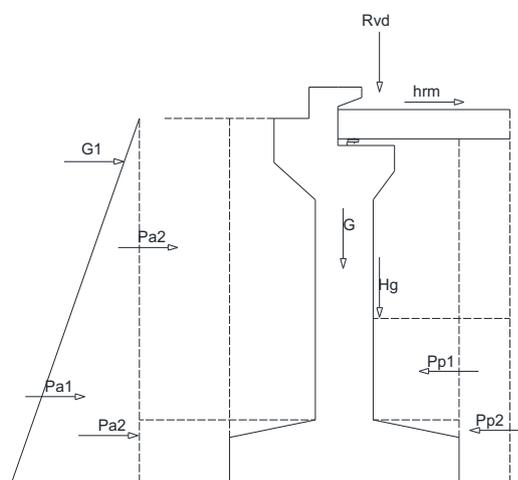
1.18 Perencanaan Struktur Bangunan Bawah Jembatan

Abutment / pangkal konstruksi struktur bawah yang berfungsi sebagai penopang dari konstruksi atas (rangka jembatan) dengan menyalurkan gaya-gaya dari konstruksi atasnya kedalam tanah yang mendukungnya melalui pondasi - pondasi yang berada di bawah abutment .

Menurut BMS 1992 terdapat tiga jenis umum pangkal yaitu pangkal tembok penahan, pangkal kolom spill-through, dan pangkal tanah bertulang.

1.18.1 Kriteria perencanaan abutmen

Pada sebuah perencanaan abutmen pada jembatan diperhitungkan banyak gaya dan beban yang bekerja pada abutmen tersebut.



Gambar 2. 22 Gaya Yang Bekerja Pada Abutmen

(Sumber gambar: Nelson Hutahaean, Alfonsius Marco Hia)

Keterangan:

Pa1, Pa2, Pa3.....Pa9 : Gaya tekan aktif tanah pada abutmen

Pp1, Pp2, Pp3.....Pp9 : Gaya tekan pasif tanah pada depan abutmen

- Hrm : Gaya akibat rem
 Rvd : Gaya tekan akibat beban dari Atas
 G : Berat sendiri abutmen
 G1 : Gaya gempa akibat bangunan atas
 Hg : Gaya gesek akibat tumpuan bergerak

1.18.2 Abutmen

Gaya-gaya yang bekerja pada abutmen:

- a. Gaya akibat beban mati
 b. Gaya horizontal akibat gesekan tumpuan bergerak

Koefisien gesekan = 0,25 (*PPJR/1987 pasal 2.6.2*)

H gesekan = Koefisien gesekan . Rvd

$$Rvd = \frac{P_{total}}{2} = \text{ton} \dots \dots \dots (2.28)$$

Gaya muatan hidup

$$R = \frac{q}{2,75} \times k \times l = \text{ton} \dots \dots \dots (2.113)$$

$$K = \text{Koefisien kejut} = 1 + \frac{z}{5+l} \dots \dots \dots (2.114)$$

- c. Gaya akibat rem dan traksi

Diperhitungkan 5% dari beban D tanpa koefisien kejut dengan titik tangkap 1,8 m diatas permukaan lantai kerndaraan.

$$\text{Traksi } R_{rt} = \frac{(5\%RPL + R_{ql})}{2} = \text{ton} \dots \dots \dots (2.32)$$

- d. Gaya gempa akibat bangunan diatas

K = ketetapan (0,07)

$$G1 = K \cdot Rvd \dots \dots \dots (2.33)$$

- e. Gaya horizontal tanah

$$K_a = tg^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (2.34)$$

$$K_p = t g^2 \left(45^\circ + \frac{\theta}{2} \right) \dots \dots \dots (2.35)$$

$$P_{a1} = K_a \cdot q \cdot h_1 \cdot b \dots \dots \dots (2.36)$$

$$P_{a2} = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma_1 \cdot h^2 \dots \dots \dots (2.37)$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma_2 \cdot h^2 \cdot b \dots \dots \dots (2.38)$$

f. Beban Angin (A)

Beban angin sangat berpengaruh bagi kedudukan jembatan, terutama untuk jembatan yang berada di tempat ketinggian. Sehingga sangat tepat untuk memperhitungkan pengaruh beban angin pada perencanaan abutmen jembatan.

Pengaruh beban angin sebesar 1,5 kN/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horisontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu prosentase tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

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

$$T_{EW1} = 0,0006 \times C_w \times (V_w^2) \times A_b \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan:

V_w adalah kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau (tabel 2.4)

C_w adalah koefisien seret (tabel 2.3)

A_b adalah luas ekuivalen bagian samping jembatan (m²)

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 serta angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas.

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

$$T_{EW2} = 0,0012 \times C_w \times (V_w^2) \times A_b \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan $C_w = 1.2$

Tabel 2.17 Koefisien Seret, C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif:	
b/d = 1	2,1
b/d = 2	1,5
b/d ≥ 6	1,25
Catatan (1): b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
Catatan (2): Untuk harga antara dari b / d bisa diinterpolasi linier	
Catatan (3): Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Sumber (SNI T-02-2005)

Tabel 2.18 Kecepatan Angin Rencana

Keadaan batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Lahan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber (SNI T-02-2005)

1.18.3 Analisa Perhitungan Pada Abutmen

1. Perhitungan daya dukung dasar tanah pondasi

$$\phi = \arctan (K_r \phi \cdot \tan \phi) \longrightarrow \text{SNI 03-3446-1994}$$

Berdasarkan daya dukung tanah dasar pondasi, rumus Terzaghi untuk pondasi persegi pada kondisi tanah $C = 3,1 \text{ t/m}^2$ (2.39)

$$\phi_{ult} = C \cdot N_c + D \cdot \gamma_1 \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma \dots \dots \dots (2.40)$$

$$\phi_{ult} = \frac{\phi_{ult}}{SF} \dots \dots \dots (2.41)$$

(sumber: Ir. Sunggono Kh Buku Teknik Sipil)

2. Perhitungan stabilitas abutmen

1) Syarat aman terhadap geser

$$SF = \frac{\sum v \cdot \tan^2 \frac{\phi}{3} + c \cdot B}{\sum H} \dots \dots \dots (2.42)$$

2) Syarat aman terhadap guling

$$SF = \frac{\sum M_x}{\sum H} \dots \dots \dots (2.43)$$

3) Syarat aman untuk eksentritas

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_x \sum M_y}{\sum V} < \frac{B}{6} \dots \dots \dots (2.44)$$

4) Control terhadap tegangan

$$\sigma_{B.L} = \left[1 \pm \frac{6 \cdot e}{B} \right] \dots \dots \dots (2.45)$$

$$\sigma_{Max} = Q_{all} \quad (\text{Oke})$$

$$\sigma_{Min} = Q_{all} \quad (\text{Oke})$$

- Penulangan abutmen

- 1) Penulangan balok sanding
 - 2) Penulangan plat injak
 - 3) Penulangan konsul
 - 4) Penulangan tubuh abutmen
 - 5) Penulangan dasar abutmen
- Plat injak

Beban sendiri plat injak (wd)

Luasan x berat jenis (kN/m)

Beban tanah timbunan (wl)

Luasan x berat jenis (kN/m)

Berat aspal (wd)

Luasan x berat jenis (kN/m)

Berat kendaraan (wl)

Luasan x berat jenis (kN/m)

Didapat :

$$q_u = 1,3 wd + 1,8 wl = (\text{kN/m}) \dots\dots\dots(2.46)$$

$$m_u = 1/8 \cdot q_u \cdot L^2 \dots\dots\dots(2.47)$$

Mu = Momen ultimate (kN.m)

qu = Beban merata ultimate (kN/m)

L = Lebar plat injak (m)

6) Penulangan

$$\rho_{bln} = \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f_r c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots(2.48)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{bln} \dots\dots\dots(2.49)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y \times \frac{1,4}{f_y}} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 + f_r c} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.52)$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \dots\dots\dots(2.53)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right\} \dots\dots\dots(2.56)$$

- Jarak tulangan tekan dengan serat terluar

$$d' = h + p + 0,5\emptyset \dots\dots\dots(2.136)$$

- Perhitungan dinding sayap

$$K_a = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) \dots\dots\dots(2.137)$$

- Akibat tekanan tanah pada dinding sayap

$$T_{ta1} = q_u \cdot k_a \cdot h \quad \dots\dots\dots(2.138)$$

$$T_{ta2} = 0,5 \cdot \gamma_{tanah} \cdot h^2 \cdot k_a \quad \dots\dots\dots(2.139)$$

$$T_{ta} = P_{aq} + P_{ah} \quad \dots\dots\dots(2.140)$$

- Beban gempa statik ekuivalen

$$T_{EQ} = k_h \cdot I \cdot W_t = 0,238875 \cdot W_t \quad \dots\dots\dots(2.141)$$

- Tekanan tanah dinamis akibat gempa

$$T_{EQ2} = H \cdot W_s \cdot \Delta K_a G \cdot B_y \quad \dots\dots\dots(2.142)$$

- Ditinjau kestabilan

- Terhadap guling

$$(F_G) = \frac{\sum MV}{\sum MH} \geq SF \quad \dots\dots\dots(2.143)$$

- Terhadap geser

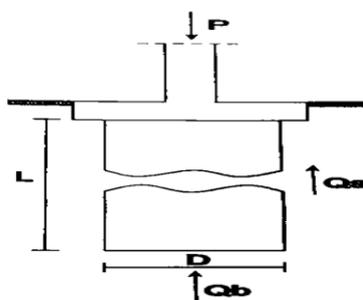
$$(F_S) = \frac{\sum V^* \tan \delta + C_a^* B}{\sum H} \geq SF \quad \dots\dots\dots(2.144)$$

- Terhadap eksentrisitas

$$(e) = \frac{B}{2} - \frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} < \frac{B}{6} \quad \dots\dots\dots(2.145)$$

1.18.4 Pondasi sumuran (*caisson*)

Pondasi sumuran adalah suatu bentuk peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi tiang di gunakan apabila tanah dasar terletak pada kedalaman yang relative dalam.



Gambar 2.22 Pondasi sumuran

Sumber : standar nasional Indonesia T-12-2004

a. Pondasi sumuran digunakan apa bila:

- Kedalaman tanah keras maksimal 15 m, daya dukung ijin tanah $>3,0$.
Kg/cm² atau $4 \leq \frac{D_s}{B} < 10$
- Pondasi sumuran dibuat dengan galian tanah berbentuk lingkaran minimum berdiameter 80 cm (pekerja masih bisa masuk)
- Dianjurkan menggunakan pondasi sumuran berdiameter >3 m untuk lebih menjamin kemudahan mengambil tanah dan lebih mudah penanganan bila terjadi penimpangan dalam pelaksanaan penurunan sumuran.
- Perlu diperhitungkan bahaya pengirusan dan tiang kriteria timbunan pada pangkal jembatan
- Untuk pondasi jembatan kedalaman alas pondasi terletak > 4 m dibawa dasar sungai/tanah setempat dan bebas dari bahaya pengerusan vertical maupun horizontal.

b. Persamaan daya dukung tanah menurut persamaan terzaghi untuk pondasi berbentuk lingkaran

$$q_{ijin} = 1,3 \times c \times Nc + q \times Nq + 0,4 \times \gamma \times B \times N\gamma \dots\dots\dots(2.146)$$

Persamaan nilai daya dukung tanah ijin:

$$q_{ijin} = q_{ult} \frac{q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots(2.147)$$

c. Persamaan daya dukung pondasi sumuran:

$$q_{all} = q_{ijin} \times B^2 \dots\dots\dots(2.148)$$

Tekanan Tanah (*earth pressure*)

Besar tekanan tanah merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah. Tekanan tanah dalam perhitungan metode Rankine memiliki dua jenis tanah yaitu tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Untuk tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang berhubungan langsung dengan dinding penahan tanah sekaligus menjadi beban yang

berkerja dan dapat menimbulkan geser maupun guling. Sedangkan tekanan tanah pasif berada di belakang dinding.

Dalam menentukan besar tekanan tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tekanan tanahnya. Menurut teori Rankine, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah pada dinding setinggi H, dengan :

$$\Sigma P = 1/2 \times \gamma t \times K \times H^2$$

Dimana :

ΣP_a = tekanan tanah (kg)

γt = berat jenis isi tanah (kg/ m³)

H = tinggi dinding penahan tanah (m)

K = koefisien tekanan tanah (dapat berupa tekanan tanah aktif / pasif)

1.19 Penelitian terdahulu

Penelitian mengenai perencanaan jembatan yang telah ada telah banyak dilakukan oleh akademisi sebelumnya. Hal tersebut banyak memberikan referensi sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan yang dilakukan. Pada perencanaan tugas akhir ini mengacu pada perencanaan dan penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya, diantaranya adalah :

1. Helmi (2015) mendesain ulang Jembatan Nambangan dengan menggunakan rangka baja tipe warren. Jembatan ini berada di Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Jembatan ini memiliki bentang 140 meter dan dibagi menjadi dua segmen dengan panjang masing-masing segmen 70 meter. Metode yang digunakan (LRFD). Hasil dari perencanaan ini didapatkan, bahwa jembatan

Nabangan ini didesain menggunakan struktur atas rangka baja tipe wren dengan profil rangka utama yang digunakan adalah *iwf* 33.318, propi gelagar melintang adalah *iwf* 30.326, dan profil gelagar memanjang adalah *iwf* 12.279.

2. Sudiman (2018) evaluasi desain struktur atas jembatan rangka baja sabrang Kecamatan Tulung, Kabupaten Kalaten. Jembatan ini memiliki bentangan 60m, dan lebar 6m, lebar trotoar 2x0,5m (tipe B) menggunakan metode LRFD. Hasil perhitungan evaluasi desain struktur bangunan atas jembatan rangka baja sebrang Kecamatan Tulung Kabupaten Kalaten dapat diambil beberapa kesimpulan terutama terkait dengan hal-hal yang penting dalam perencanaan:
Dengan struktur rangka baja yang ada sekarang bangunan jembatan tersebut aman dari kelendutan yaitu sebesar $0,858 \text{ cm} < (6000/800) < 7,5 \text{ cm}$, sesuai dengan batas lendutan maksimumnya adalah $1/800$ menurut RSNI T-03-2005 point. 4.7.2. Analisa struktur terhadap beban yang bekerja dengan SAP 200 v.14. secara keseluruhan untuk struktur atas aman dalam menahan beban-beban yang bekerja. Ditunjukkan dengan stress ratio yang kurang dari 0,95 terutama pada batang F203 dan F204 sebesar 0,016 atau 1,62% (WF 400x400x20x35) dari batas rasio maksimum yang di persyaratkan.
3. Rial Hadi Rahmawan mendesain jembatan rangka baja Desa Ipi, Kabupaten Morowali dengan menggunakan tipe Warren Truss. Panjang bentang jembatan ini 70 meter, lebar 7 meter, dan tinggi 6 meter. Perencanaan ini menggunakan metode LRFD. Hasil Kontruksi jembatan rangka baja dengan material $f_y=410 \text{ Mpa}$ dan $F_u=550 \text{ Mpa}$, dan mutu beton yang digunakan yaitu $f_c=35$. Dimensi gelagar melintang menggunakan profil WF 900x300x18x34. Dimensi struktur rangka utama menggunakan bentangan horisontal profil HWF 750x750x35x45. Menggunakan bentangan diagonal HWF.
4. Joko Triyanto, Zulfikar Djauhari, dan Monita Olivia (2018) menganalisis konstruksi rangka baja apabila dilakukan pekerjaan secara bertahap.

Jembatan Biradang merupakan salah satu jembatan rangka baja di Provinsi Riau dengan panjang bentang 140 meter. Jembatan dimodelkan menggunakan SAP 2000 dengan menyesuaikan data jembatan.

5. Veronika Sri Jayanti, Elvira, Yoke Lestyowati mendesain Jembatan Sungai Landak Lama, Kota Pontianak dengan menggunakan rangka baja tipe Warren Truss. Panjang jembatan 380 meter dan lebar 8 meter yang dibagi menjadi 7 bentang, 40, 60, 60, 60, 60, 60, 40 meter. Material yang digunakan antara lain baja profil dengan mutu BJ 50 (f_y 290 MPa dan f_u =500 MPa), beton dengan mutu f_c' 30 Mpa. Tebal lantai jembatan digunakan 250 mm. Rangka induk baja profil IWF 600 x 200 x 17 x 11, gelagar memanjang profil IWF 350 x 175 x 12 x 20, gelagar melintang profil IWF 700 x 300 x 13 x 24, pertambahan angin menggunakan profil double angel 175 x 175 x15. Trotoar menggunakan tulangan lentur, D12 – 100 dan tulangan bagi, D8 – 100. Plat lantai kendaraan menggunakan tulangan \emptyset 16 – 250 mm dan tulangan bagi \emptyset 10 – 500 mm

1.20 SAP2000 V22.0.0

1.20.1 Pengertian SAP2000 V2.0.0

SAP2000 dikembangkan berdasarkan program SAP pada sekitar tahun 1975. Program SAP adalah suatu program komputer yang diciptakan oleh Prof. Edward L. Wilson, guru besar University of California, Berkeley, California, USA pada tahun 1975, versi komersial dari program tersebut dilansir oleh perusahaan Computer and Structure Inc (CSI).

SAP2000 V22.0.0 adalah suatu program yang dipergunakan untuk menganalisis dan mendesain struktur, baik bangunan maupun jembatan. SAP2000 V22.0.0 ini merupakan generasi terbaru yang telah dilengkapi fitur-fitur yang lengkap dan menarik. Keunggulan program SAP2000 V22.0.0 ditunjukkan dengan adanya fasilitas untuk desain elemen, baik untuk material baja maupun beton. Di samping itu juga adanya fasilitas baja

dengan mengoptimalkan penampang, sehingga pengguna tidak perlu menentukan profil untuk masing-masing elemen, tetapi cukup memberikan data profil secukupnya, dan program akan memilih sendiri profil yang paling optimal.

1.20.2 Prinsip-Prinsip Desain Struktur Dengan SAP2000

Setiap model Struktur Menggunakan koordinat berbeda untuk menentukan *joint* dan arah beban, *displacements*, gaya dalam dan tegangan. Semua sistem koordinat pada model ditentukan dengan mematuhi satu sistem koordinat global X-Y-Z. Setiap bagian dari model misalnya *joint*, elemen atau *constraint*, masing-masing mempunyai sistem koordinat *local* 1-2-3. Semua sistem koordinat ditunjukkan dengan sumbu tiga dimensi, menggunakan aturan tangan kanan dan menggunakan sistem Cartesian (*segi empat*). SAP2000 selalu mengasumsikan sumbu Z ialah sumbu vertikal, dengan Z+ mengarah ke atas. Arah ke atas digunakan sebagai bantuan untuk menentukan sistem koordinat lokal, walaupun sistem koordinat lokal itu sendiri tidak mempunyai sumbu arah vertikal.

➤ Sistem Koordinat Global

Sistem koordinat *global* merupakan koordinat dalam tiga dimensi, mengikuti aturan tangan kanan (*right handed*), dan merupakan koordinat Cartesian (*segi empat*). Tiga sumbu dengan notasi X, Y, dan Z ialah sumbu yang saling tegak lurus sesuai dengan aturan tangan kanan. Letak dan orientasi sumbu *global* tersebut dapat berubah-ubah, asalkan sesuai dengan aturan tangan kanan. Lokasi sistem koordinat *global* dapat ditentukan menggunakan variabel x, y dan z. Vektor dalam sistem koordinat *global* dapat ditentukan dengan memberikan lokasi dua titik, sepasang sudut, atau dengan memberikan arah koordinat. Arah koordinat ditunjukkan dengan nilai X_{\pm} , Y_{\pm} dan Z_{\pm} . SAP2000 selalu mengasumsikan sumbu Z arahnya vertikal, dengan Z+ arah ke atas. Sistem koordinat lokal untuk *joint*, *elemen*, dan gaya percepatan tanah ditentukan berdasarkan arah ke atas tersebut. Beban berat sendiri arahnya selalu ke bawah pada arah Z-.

Bidang X-Y merupakan bidang horizontal, dengan sumbu X+ merupakan sumbu utama. Sudut pada bidang horizontal diukur dari sumbu positif X, dengan sudut positif ialah berlawanan arah dengan arah putaran jarum jam.

➤ Sistem Koordinat Lokal

Pada setiap elemen frame mempunyai sistem koordinat lokal yang digunakan untuk menentukan potongan *property*, beban dan gaya-gaya keluaran. Sumbu-sumbu koordinat lokal ini dinyatakan dengan symbol 1, 2 dan 3. Sumbu 1 arahnya ialah searah sumbu elemen, dua sumbu yang lain tegak lurus dengan elemen tersebut dan arahnya dapat ditentukan sendiri oleh pemakai.

➤ Beban pada Struktur

Beban yang bekerja pada struktur ada beberapa macam, di antaranya ialah berat sendiri struktur, beban yang bekerja pada elemen, beban yang bekerja pada joint dan beban dinamik. Untuk beban yang bekerja pada elemen struktur sebagai berikut:

1) Berat Sendiri

Beban berat sendiri dapat ditentukan untuk beberapa kondisi pembebanan (kondisi pembebanan), sehingga berat sendiri pada semua elemen struktur menjadi aktif. Pada elemen frame berat sendiri ialah gaya yang terdistribusi pada sepanjang elemen. Besarnya beban berat sendiri sama dengan berat volume w dikalikan dengan luas penampang a . Berat sendiri arahnya selalu ke bawah, searah dengan sumbu $-Z$. Berat sendiri ini dikalikan dengan faktor skala yang ditentukan untuk seluruh struktur.

2) Beban Terpusat Pada Elemen

Beban terpusat pada elemen digunakan untuk menentukan gaya terpusat dan momen yang bebas dikerjakan pada sepanjang elemen. Arah beban dapat ditentukan dengan sistem koordinat global maupun sistem koordinat lokal. Beberapa beban terpusat dapat dikerjakan

pada tiap elemen. Beban yang diberikan pada sistem koordinat global akan di transfer ke sistem koordinat lokal elemen.

3) Beban Merata Pada Elemen

Beban merata pada elemen digunakan untuk menentukan gaya dan momen yang bekerja pada sepanjang elemen frame. Intensitas beban dapat berupa beban merata atau trapezium. Arah beban dapat ditentukan dengan sistem koordinat global maupun sistem koordinat lokal. Intensitas beban merupakan gaya atau momen persatuan panjang. Untuk setiap komponen gaya atau momen yang dikerjakan, sebuah nilai beban diperlukan jika beban merupakan beban merata. Apabila intensitas beban bervariasi linier di atas daerah yang dikerjakan (beban trapezium), maka diperlukan dua nilai beban.

4) Metode Analisa

Analisis statik dan dinamik digunakan untuk menentukan respons struktur dari berbagai variasi tipe beban. Berbagai tipe analisis berbeda yang disediakan SAP2000, antara lain:

- Analisis Statik
- Analisis modal untuk mode getaran, menggunakan eigenvector atau Ritz vector.
- Analisis Respons-spectrum untuk respons gempa Analisis Statik struktur meliputi penyelesaian persamaan linier yang diberikan oleh:

$$K u = r$$

dengan K adalah matrix kekakuan struktur, r adalah vector beban, dan U ialah *vector displacement*.

Untuk setiap kondisi pembebanan yang didefinisikan, program akan secara otomatis membuat vector beban r dan menyelesaikan *displacement static u*. Setiap kondisi pembebanan akan memperhitungkan:

- Beban berat sendiri (*self weight*) pada elemen *frame* dan/atau *shell*.
- Beban terpusat dan beban merata pada elemen *frame*.
- Beban merata pada elemen *shell* ·

Gaya dan/atau beban *displacement* tanah dasar pada *joint*. Tipe beban lain yang diberikan pada SAP2000 *Analysis Reference*.