

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Jembatan merupakan infrastruktur penopang jalan untuk menghubungkan wilayah-wilayah jalan yang dipisahkan oleh berbagai hambatan, seperti lembah, sungai, jalur kereta api, laut, dan sejenisnya (Septiarsilia et al., 2020:79). Jembatan memiliki peran yang sangat penting bagi infrastruktur transportasi karena dalam pembangunan yang lebih ekonomis dibanding harus membangun infrastruktur sesuai kontur tanah yang ada. Jembatan juga memiliki pengaruh yang penting terhadap ekonomi masyarakat sekitar, karena dengan adanya jembatan dapat mempermudah dua daerah yang terhubung untuk melakukan kegiatan. Tidak hanya untuk kendaraan, ada juga jembatan pejalan kaki (penyebrangan), jembatan rel kereta api, dan jembatan air (pipa atau saluran). Terdapat beberapa tipe struktur jembatan, salah satunya adalah jembatan dengan struktur rangka baja. Jembatan dengan struktur rangka baja sendiri memiliki beberapa tipe, beberapa diantaranya adalah tipe *Warren*, *Prat*, *Howe*, dan *Parker*.

2.2 Landasan Teori

Jembatan rangka baja atau *truss bridge* merupakan jembatan yang terdiri atas batang baja yang dihubungkan satu sama lain sehingga beban dan muatan dapat ditahan oleh struktur rangka baja, muatan dan beban yang ditahan oleh struktur rangka tersebut adalah gaya tekan dan gaya tarik yang akan melalui titik pertemuan batang atau titik buhul, tekanan atau kedua tegangan dapat terjadi karena beban-beban dinamis. Batang-batang yang terdapat pada jembatan rangka terdiri dari batang tarik dan batang tekan (Sugara, 2022).

Batang tarik merupakan batang yang menerima beban tarik yang didasarkan atas ijin tegangan tarik. Sedangkan batang tekan merupakan batang yang dibebani gaya tekan aksial searah panjang bantangnya.

2.2.1 Klasifikasi jembatan berdasarkan bahan

Jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan bahan atau material yang digunakan. Berikut merupakan klasifikasi jembatan berdasarkan bahan material yang digunakan:

1. Jembatan kayu, merupakan salah satu bentuk jembatan yang paling awal dan telah digunakan semenjak zaman prasejarah. Penggunaan kayu di dalam konstruksi jembatan sangatlah umum di berbagai belahan dunia karena ketersediaan bahan yang melimpah dan kemudahan dalam pengolahannya. Kayu sebagai material yang relatif ringan dan mudah untuk dibentuk, memungkinkan pembangunan jembatan yang efisien dalam konteks teknologi dan sumber daya yang terbatas pada masa lalu. Jembatan kayu banyak ditemukan di daerah pedesaan dan hutan, di mana sumber daya lain seperti batu atau logam mungkin ada akan tetapi tidak praktis untuk digunakan sebagai jembatan.

Sejarah jembatan kayu dapat ditelusuri kembali ke peradaban kuno, di mana jembatan ini digunakan untuk menghubungkan area yang terpisah oleh sungai atau lembah. Selama berabad-abad, desain dan teknik konstruksi jembatan kayu telah berkembang untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahannya, meskipun kayu tetap merupakan material utama yang digunakan. Kemampuan kayu untuk bertahan dalam kondisi cuaca yang bervariasi bergantung terhadap kualitas pengolahan dan perlindungan terhadap kerusakan oleh jamur dan serangga.

Keberadaan jembatan kayu dalam berbagai konteks geografis dan sejarah menunjukkan adaptasi teknologi yang fleksibel terhadap sumber daya yang tersedia. Dalam banyak kasus, jembatan kayu digunakan secara efisien di daerah-daerah di mana kayu adalah bahan utama yang tersedia, dan desainnya telah dikembangkan untuk memaksimalkan kekuatan dan daya tahan dalam kondisi yang tidak ideal. Meskipun jembatan kayu tidak menawarkan daya tahan yang

sama seperti material modern seperti beton dan baja, tetapi jembatan kayu tetap berperan penting dalam sejarah konstruksi jembatan dan tetap digunakan dalam konteks tertentu. Contoh jembatan kayu dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Jembatan Kayu
(Sumber : <https://pxhere.com/id/photos/>)

2. Jembatan batu, merupakan salah satu jenis struktur jembatan yang paling awal dan memiliki sejarah Panjang di dalam ilmu teknik sipil. Popularitas jembatan batu dimulai pada zaman Romawi, di mana batu digunakan karena kekuatannya dan daya tahannya terhadap kondisi cuaca dan beban. Meskipun jembatan batu memerlukan keahlian khusus di dalam pemotongan dan penataannya, namun hasilnya merupakan struktur yang sangat stabil dan dapat bertahan lama. Jembatan batu terutama dalam bentuk lengkung , menggunakan teknik desain yang memanfaatkan kekuatan batu untuk menciptakan lengkungan yang dapat menahan beban secara merata. Desain ini memungkinkan distribusi beban yang lebih efisien dan mengurangi tekanan pada bagian tertentu dari jembatan, sehingga meningkatkan stabilitas keseluruhan strukturnyaa. Jembatan lengkung batu seperti Jembatan Zhaozhou di Cina merupakan contoh klasik dari desain ini. Jembatan Zhaozhou menggunakan lengkungan segmental yang memberikan kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan lengkungan setengan lingkaran. Keberhasilan teknik desain ini

menunjukkan kemajuan teknik di dalam konstruksi jembatan batu dan kontribusinya terhadap peningkatan daya tahan struktur.

Jembatan batu juga dapat memiliki abutmen atau penyangga dari batu, yang berfungsi sebagai dasar untuk mendukung dek jembatan yang terbuat dari bahan lain, seperti kayu. Jembatan dengan abutmen batu ini sering kali ditemukan di berbagai belahan dunia, di mana batu digunakan untuk memberikan stabilitas dan kekuatan tambahan pada struktur jembatan. Sementara dek jembatan yang terbuat dari material lain, misalnya kayu memungkinkan fleksibilitas dalam desain dan penggunaan bahan yang tersedia secara lokal, abutmen batu memberikan fondasi yang kokoh dan tahan lama. Contoh jembatan batu dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Jembatan Batu
(Sumber : <https://pixabay.com/id/photos/>)

3. Jembatan besi dan baja. Dengan datangnya revolusi industri pada abad ke-18, penggunaan material besi dan baja dalam konstruksi jembatan mengalami perkembangan yang signifikan, mengubah cara membangun dan mendesain jembatan. Sebelumnya, jembatan umumnya dibangun menggunakan material atau bahan-bahan yang alami seperti kayu dan batu, namun dengan kemajuan teknologi dan produksi besi dan baja, teknik konstruksi mengalami revolusi besar.

Jembatan rangka baja merupakan salah satu jenis jembatan yang memanfaatkan kekuatan baja di dalam desainnya. Struktur baja pada jembatan rangka baja menggunakan sistim rangka yang dibaut atau dilas, memungkinkan distribusi beban yang lebih efisien dan fleksibel. Di samping jembatan rangka baja, jembatan gantung baja juga merupakan salah satu inovasi penting dalam konstruksi jembatan pra era industri. Jembatan gantung menggunakan kabel baja yang digantung dari Menara untuk mendukung dek jembatan, memungkinkan bentang yang sangat panjang dan desain yang fleksibel.

Penggunaan besi dan baja dalam konteks konstruksi jembatan membawa banyak keuntungan, termasuk peningkatan kekuatan, fleksibilitas, dan kemampuan untuk menciptakan bentang yang lebih Panjang. Baja memiliki kekuatan tarik yang tinggi, memungkinkan desain jembatan yang lebih ramping dan efisien disbanding jembatan dengan material-material sebelumnya. Kemampuan baja untuk dibentuk dan dilas juga memungkinkan desain jembatan yang lebih kompleks dan inovatif, membuka kemungkinan baru dalam teknik konstruksi jembatan. Perubahan dalam teknologi material selama Revolusi Industri membawa dampak yang mendalam pada desain dan konstruksi jembatan, menetapkan standar baru dalam kekuatan dan estetika. Jembatan besi dan baja yang dibangun pada masa itu masih menjadi contoh penting dari inovasi teknik sipil dan terus berfungsi sebagai sejarah dan symbol pencapaian teknis. Meskipun teknologi dan material konstruksi terus berkembang, jembatan besi dan baja tetap menjadi bagian integral dari sejarah teknik sipil. Contoh jembatan baja dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Jembatan Baja
(Sumber : <https://histeel.co.id/>)

4. Jembatan Beton. Pada abad ke-20, penggunaan beton dalam konstruksi jembatan menjadi sangat umum berkat kekuatan dan kemampuannya untuk dibentuk dalam berbagai desain. Beton menawarkan keuntungan yang signifikan dalam hal kekuatan tekan dan daya tahan, dan juga memungkinkan para insinyur untuk menciptakan struktur yang tidak hanya fungsional tapi juga estetik. Salah satu innovator utama dalam penggunaan beton adalah Eugene Freyssinet, yang pada tahun 1928 memperkenalkan teknik beton pratekan. Teknik ini melibatkan penegangan kabel atau batang baja di dalam beton untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan struktur. Inovasi ini memungkinkan pembangunan jembatan dengan bentang yang lebih panjang dan mampu menahan beban yang lebih besar, merevolusi desain jembatan di seluruh dunia.

Jembatan beton pratekan merupakan salah satu jenis jembatan beton yang memanfaatkan teknik pratekan untuk meningkatkan kekuatan beton. Teknik ini melibatkan penarikan kabel baja di dalam beton untuk memberikan tambahan kekuatan tarik, sehingga meningkatkan daya dukung jembatan secara keseluruhan.

Jembatan segmental juga merupakan jenis penting dari jembatan beton. Jembatan segmental terbuat dari segmen-segmen beton yang dirakit di lokasi, memungkinkan konstruksi yang lebih efisien dan

fleksibel. Teknik ini memungkinkan pembangunan jembatan dengan bentang Panjang tanpa memerlukan perancah yang luas.

Penggunaan beton dalam konstruksi jembatan telah membawa banyak keuntungan, termasuk kemampuan untuk membentuk berbagai desain arsitektur dan struktur yang kompleks. Beton juga menawarkan daya tahan yang tinggi terhadap elemen lingkungan dan beban struktural, menjadikannya pilihan ideal untuk jembatan yang memerlukan umur panjang dan kekuatan. Dengan teknik-teknik inovatif seperti beton pratekan dan didesain segmental, beton telah membuktikan kemampuannya untuk memenuhi tuntutan konstruksi jembatan modern. Contoh jembatan beton dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Jembatan Beton
(Sumber : <https://artaprecast.com/>)

5. Jembatan Komposit, merupakan jembatan yang menggabungkan berbagai bahan untuk mendapatkan keuntungan masing-masing bahan. Material komposit, seperti serat karbon dan *Fiber glass*, mulai digunakan secara luas dalam dekade terakhir. Keunggulan bahan komposit dalam hal rasio kekuatan terhadap berat dan daya tahannya terhadap elemen lingkungan menjadikannya material yang sangat menarik untuk aplikasi dalam teknik sipil.

Jembatan dek komposit merupakan salah satu aplikasi utama dari material komposit dalam konstruksi jembatan. Dalam desain ini,

material komposit digunakan khusus untuk dek jembatan, sementara struktur utama jembatan bisa terbuat dari beton, baja, atau material lain. Penggunaan material komposit dalam dek jembatan memungkinkan pengurangan berat keseluruhan struktur dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan keausan.

Jembatan penguat komposit juga merupakan aplikasi penting dari material komposit dalam teknik sipil. Dalam desain ini, struktur utama jembatan, yang biasa berupa beton atau baja, ditingkatkan dengan bahan komposit untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan. Penguatan dengan material komposit sering kali digunakan untuk memperbaiki jembatan yang sudah ada, meningkatkan kemampuan beban dan memperpanjang usia pakai struktur.

Material komposit menawarkan beberapa keuntungan utama dibandingkan dengan material tradisional. Biasanya lebih ringan, memiliki kekuatan yang tinggi, dan daya tahan terhadap korosi dan keausan, membuatnya ideal untuk aplikasi jembatan di lingkungan yang keras. Penggunaan material komposit juga dapat mengurangi kebutuhan perawatan dan penggantian, serta memungkinkan desain yang lebih fleksibel dan inovatif. Inovasi dalam material komposit terus berlanjut, dengan penemuan baru dan pengembangan yang meningkatkan kinerja dan aplikasi bahan ini dalam konstruksi jembatan. Contoh jembatan komposit dapat dilihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Jembatan Komposit
(Sumber : <https://www.pinhome.id/>)

2.2.2 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Fungsi

Jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsinya. Berikut merupakan klasifikasi jembatan berdasarkan fungsi:

1. Jembatan jalan raya, merupakan komponen krusial dalam infrastruktur transportasi modern, dirancang untuk menghubungkan dua lajur transportasi darat dan memungkinkan kendaraan untuk menyebrangi berbagai rintangan seperti sungai, lembah, dan lainnya. Salah satu jenis jembatan jalan raya adalah jembatan layang, yang dirancang untuk menghubungkan jalan raya yang berada pada ketinggian yang berbeda. Jembatan layang ini memungkinkan kendaraan untuk melintasi area yang berada di bawah tanpa mengganggu arus lalu lintas yang ada di bawahnya.

Jembatan terkait tol merupakan jenis jembatan jalan raya yang merupakan bagian dari jalan tol, menghubungkan rute jarak jauh dan sering kali berperan penting di dalam sistem transportasi antar wilayah.

Penggunaan jembatan jalan raya sangat beragam, mulai dari jembatan yang menghubungkan kota-kota besar hingga jembatan yang melintasi area rural. Jembatan ini membantu mengurangi kemacetan lalu lintas, meningkatkan efisiensi transportasi, dan memungkinkan perjalanan yang lebih cepat dan aman. Desain

jembatan jalan raya harus mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk kapasitas lalu lintas, kekuatan struktur, dan estetika, untuk memastikan bahwa jembatan tersebut akan berfungsi dengan baik dalam kondisi yang direncanakan. Contoh jembatan jalan raya dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2.6 Jembatan Jalan Raya
(Sumber : <https://hboindo.com/>)

2. Jembatan rel kereta api, jembatan ini merupakan struktur yang dirancang khusus untuk mendukung beban dan getaran yang dihasilkan oleh kereta api. Desain dan konstruksinya berbeda dari jembatan jalan raya, karena kereta api menghasilkan beban dinamis yang signifikan, yang memerlukan perhitungan dan teknik konstruksi yang lebih kompleks. Jembatan kereta api harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti beban statis dan beban dinamis, serta efek getaran yang dapat mempengaruhi stabilitas dan integritas struktur. Oleh karena itu, perancangannya mencakup pertimbangan rinci untuk memastikan kekuatan dan ketahanan terhadap beban tinggi. Salah satu jenis jembatan rel kereta api adalah jembatan *truss* rel, yang menggunakan rangka baja untuk mendukung rel kereta api. Jembatan ini dikenal karena kemampuannya mendistribusikan beban secara merata melalui struktur rangka yang terbuat dari elemen baja yang saling terhubung satu sama lain.

Jenis lain jembatan rel kereta api adalah jembatan rel lengkung, yang menggunakan lengkungan baja atau beton untuk mendukung rel kereta api. Jembatan lengkung dirancang untuk menangani beban yang terdistribusi secara merata dan memberikan kestabilan tambahan.

Konstruksi jembatan rel kereta api harus mempertimbangkan beberapa faktor penting, termasuk kekuatan struktural, kestabilan, dan kemampuan jembatan untuk menangani beban dinamis yang dihasilkan oleh kereta api yang bergerak dengan cepat. Desain jembatan ini sering melibatkan analisis rinci dan pengujian untuk memastikan bahwa struktur dapat menahan tekanan dan getaran yang dihasilkan oleh kereta api. Selain itu material yang digunakan untuk jembatan kereta api harus memenuhi standar kekuatan dan daya tahan yang tinggi untuk memastikan keamanan jembatan. Contoh jembatan kereta api dapat dilihat pada Gambar 2.7 sebagai berikut:



Gambar 2.7 Jembatan Kereta Api
(Sumber : <https://testindo.co.id/>)

3. Jembatan pejalan kaki, merupakan struktur yang dirancang khusus untuk digunakan oleh pejalan kaki dan terkadang pengendara sepeda. Jembatan ini sering ditemukan di berbagai lokasi seperti taman, area perkantoran, atau sebagai penyebrangan di atas jalan raya. Jembatan pejalan kaki tidak hanya berfungsi sebagai jalur transportasi, tetapi

juga sering digunakan sebagai elemen estetika yang meningkatkan kualitas lingkungan sekitarnya. Desain jembatan ini cenderung menekankan keamanan, kenyamanan, dan keindahan visual, serta sering kali berintegrasi dengan lanskap atau arsitektur sekitarnya.

Salah satu jenis jembatan pejalan kaki adalah jembatan gantung pejalan kaki. Jembatan ini menggunakan kabel untuk mendukung dek yang relatif ringan, memungkinkan jembatan untuk menjangkau bentang yang cukup panjang dengan sedikit dukungan di bawahnya. Jenis jembatan lain dari jembatan pejalan kaki adalah jembatan lengkung pejalan kaki. Jembatan ini menggunakan beton atau kayu untuk menciptakan lengkungan estetik, yang sering kali berfungsi sebagai *landmark* visual atau fitur desain ruang publik.

Jembatan pejalan kaki sering kali dirancang dengan mempertimbangkan aspek estetika dan integrasi dengan lingkungan sekitarnya. Dengan ini dapat mencakup berbagai material dan bentuk, dari struktur minimalis yang menggunakan baja dan kaca hingga konstruksi yang lebih tradisional dengan penggunaan kayu atau beton. Kriteria desain juga harus memperhatikan faktor-faktor seperti kestabilan, ketahanan terhadap cuaca, dan aksesibilitasnya untuk memastikan bahwa jembatan tersebut aman dan nyaman digunakan oleh para pejalan kaki atau pengendara sepeda.

Jembatan pejalan kaki juga sering kali dimanfaatkan sebagai bagian dari ruang public yang lebih luas, seperti taman kota atau area pejalan kaki di pusat kota. Desain yang menarik dan fungsional dapat meningkatkan pengalaman yang menyenangkan bagi pengguna. Jembatan pejalan kaki yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan interaksi sosial, memperindah pemandangan kota, dan menawarkan kesempatan untuk rekreasi dan relaksasi.

4. Jembatan sementara, jembatan sementara atau jembatan darurat adalah jenis struktur yang dirancang untuk digunakan dalam kondisi darurat, seperti bencana alam, atau selama pembangunan

infrastruktur permanen. Jembatan ini dirancang untuk dapat dibangun secara cepat dan efisien, memberikan akses sementara atau sampai infrastruktur permanen selesai dikerjakan. Jembatan sementara sering kali berfungsi sebagai solusi praktis dan fleksibel untuk mengatasi kebutuhan infrastruktur yang mendesak, memastikan bahwa lalu lintas dapat berjalan meskipun dalam kondisi sulit.

Salah satu contoh jembatan sementara adalah jembatan Bailey, sebuah struktur rangka baja modular yang dirancang untuk kemudahan perakitan dan pembongkaran. Jembatan Bailey pertama kali dikembangkan oleh Sir Donald Bailey dan telah digunakan secara luas dalam operasi militer dan bantuan bencana. Struktur ini terdiri dari komponen-komponen modular yang dapat dirakit dengan cepat tanpa memerlukan peralatan berat atau keterampilan teknis khusus. Keunggulan jembatan Bailey adalah fleksibilitas dan kecepatan dalam pemasangannya, memungkinkan respon cepat dalam situasi yang kritis.

Jenis lain dari jembatan sementara adalah jembatan Ponton, yang dirancang untuk mengapung di atas permukaan air dengan dukungan dari ponton. Jembatan Ponton sering digunakan dalam operasi militer atau operasi penyelamatan, terutama di daerah-daerah yang terkena banjir atau di sungai yang lebar. Struktur ini terdiri dari *platform* yang dipasang di atas ponton terapung, yang memungkinkan jembatan untuk menyesuaikan diri dengan perubahan tinggi permukaan air.

Jembatan sementara berperan penting di dalam situasi darurat dengan menyediakan solusi cepat dan praktis untuk kebutuhan infrastruktur, memungkinkan mobilisasi dan distribusi bantuan, serta memfasilitasi lalu-lintas darurat, yang sangat penting untuk operasi penyelamatan dan pemulihan. Desain dan konstruksi jembatan sementara harus mempertimbangkan faktor-faktor seperti kestabilan, daya tahan

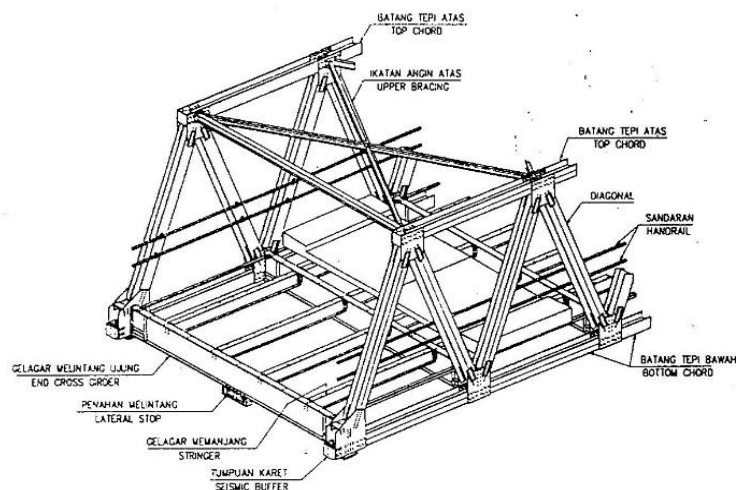
terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem, dan kemudahan di dalam pemasangan dan pembongkaran.

2.2.3 Bagian-bagian jembatan

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

1. Bangunan atas jembatan

Bangunan atas jembatan terletak pada bagian atas konstruksi yang menampung beban-beban lalu lintas, beban pejalan kaki, barang, dan beban sendiri struktur yang kemudian beban-beban tersebut disalurkan ke struktur bagian bawah. Berikut merupakan Gambar komponen struktur atas jembatan rangka pada Gambar 2.8 sebagai berikut:



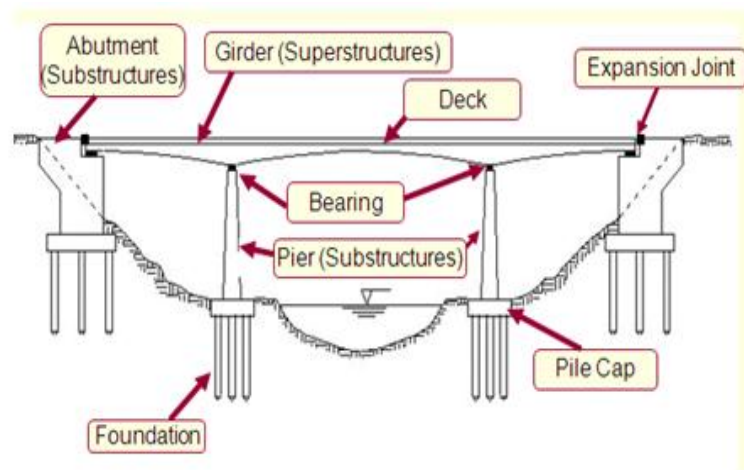
Gambar 2.8 Komponen Jembatan Rangka
(Sumber : <https://helorigrahasarana.com/>)

Bagian-bagian bangunan atas dari jembatan terdiri dari:

- a. Sandaran, bagian bangunan ini berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar memberikan rasa aman bagi pengguna lalu lintas jembatan, baik pengendara maupun pejalan kaki.
- b. Rangka jembatan, untuk jembatan dengan struktur rangka baja, bagian rangka ini berfungsi untuk menyalurkan beban secara efisien ke tumpuan (abutmen atau pilar).
- c. Trotoar, merupakan tempat pejalan kaki yang terbuat dari material beton, elevasinya lebih tinggi dari lapis permukaan jembatan atau aspal.
- d. Lantai kendaraan, merupakan lintasan utama yang dilalui kendaraan dengan lebar tertentu sesuai dengan yang direncanakan.
- e. Gelagar melintang, berfungsi untuk menerima beban lantai kendaraan, trotoar, dan beban lainnya di atasnya.
- f. Ikatan angin atas/bawah dan ikatan rem, bagian jembatan ini berfungsi untuk menahan atau melawan gaya yang disebabkan oleh angin.
- g. Landasan/perletakan, bagian ini dibuat dengan fungsi untuk menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas baik secara horizontal, vertikal, maupun lateral.

2. Bangunan bawah jembatan

Bagian bangunan bawah jembatan terletak pada bagian bawah konstruksi, yang fungsinya adalah untuk memikul beban-beban yang diberikan oleh bangunan atas jembatan, kemudian disalurkan ke pondasi, dan dari pondasi akan disalurkan ke tanah keras di bawahnya. Berikut merupakan bagian-bagian struktur bawah jembatan pada Gambar 2.9 Sebagai berikut:



Gambar 2.9 Komponen Struktur Bawah Jembatan
(Sumber : <https://strukturjembatan.blogspot.com/>)

Bagian-bagian bangunan bawah dari jembatan terdiri dari:

- a. Abutmen, abutmen atau kepala jembatan merupakan salah satu bagian konstruksi jembatan yang terletak pada kedua sisi ujung jembatan.
- b. Pilar (pier), merupakan struktur bangunan wabah jembatan yang terletak di tengah-tengah bentang di antara dia abutmen yang berfungsi untuk memikul beban struktur atas jembatan.
- c. Pondasi, berfungsi untuk meneruskan semua beban yang ada pada jembatan ke tanah.
- d. Plat injak, berfungsi untuk menahan hentakan pertama pada roda kendaraan ketika akan memasuki awal jembatan.

2.2.4 Material Baja

Baja merupakan salah satu bahan konstruksi paling penting dan serbaguna yang digunakan dalam berbagai aplikasi infrastruktur di era modern. Kombinasi durabilitas, kekuatan, dan fleksibilitas baja membuatnya menjadi pilihan utama dalam banyak proyek konstruksi. Baja memiliki karakteristik tertentu, berikut merupakan karakteristik dari material baja:

1. Kekuatan Tinggi

Baja merupakan material yang dikenal memiliki kekuatan yang tinggi, menjadikan material baja pilihan utama dalam berbagai

aplikasi konstruksi. Kekuatan tinggi dari baja diukur dari dua parameter, yaitu kuat tarik dan kuat tekan. Kekuatan tarik mengacu pada kemampuan baja untuk menahan gaya yang menariknya. Sementara kuat tekan adalah kemampuan baja menahan gaya yang menekannya. Kekuatan tarik baja dapat mencapai rentang antara 400 sampai 550 MPa, tergantung pada jenis dan komposisi alloy-nya. Angka ini menunjukkan beban yang signifikan tanpa mengalami deformasi permanen atau kerusakan.

Faktor yang mempengaruhi kekuatan baja adalah komposisi alloy-nya. Baja merupakan campuran besi dengan berbagai elemen tambahan yang mempengaruhi sifat-sifatnya. Penambahan karbon merupakan salah satu cara utama untuk meningkatkan kekuatan tarik dari baja. Karbon meningkatkan kekuatan dan kekeerasan baja dengan memperkuat ikatan antar atom besi dalam struktur kristal baja. Selain karbon, elemen lain seperti mangan dan vanadium juga dapat ditambahkan untuk lebih meningkatkan kekuatan. Mangan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja dengan memperbaiki kekuatan tarik dan tekan, sementara vanadium dapat meningkatkan kekuatan baja dengan membentuk carbides yang sangat keras.

2. Durabilitas dan Ketahanan Korosi

Durabilitas dan ketahanan korosi merupakan dua aspek dalam penilaian performa baja sebagai material konstruksi. Durabilitas baja merujuk pada kemampuannya untuk mempertahankan integritas struktural dan fungsionalnya selama masa pakai yang panjang, bahkan ketika terkena berbagai kondisi lingkungan. Meskipun baja umumnya dikenal karena kekuatan dan daya tahannya, namun ia dapat mengalami korosi, yang dapat mengurangi masa pakai dan efektivitas material tersebut. Baja tahan karat atau *stainless steel* merupakan contoh bahan yang dirancang khusus untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, berkat kandungan kromium yang tinggi dalam komposisinya. Pelapisan dan

pelindungan merupakan metode utama untuk meningkatkan ketahanan korosi baja. Salah satu teknik umum adalah galvanisasi, dengan cara baja dilapisi dengan lapisan seng untuk melindunginya dari korosi. Lapisan seng berfungsi sebagai penghalang fisik antara baja dengan lingkungan luar, serta bertindak sebagai lapisan korosi pertama yang mengorbankan dirinya sendirisebelum baja di bawahnya terpengaruh. Selain galvanisasi, cat pelindung juga digunakan untuk melindungi baja dari kerusakan akibat korosi.

3. Fleksibilitas dan Duktalitas

Fleksibilitas dan duktalitas merupakan sifat penting dari baja yang membuat baja menjadi material yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi rekayasa dan konstruksi. Fleksibilitas mengacu pada kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami kerusakan, sedangkan duktalitas merupakan kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis yang signifikan sebelum mencapai kegagalan atau patah.

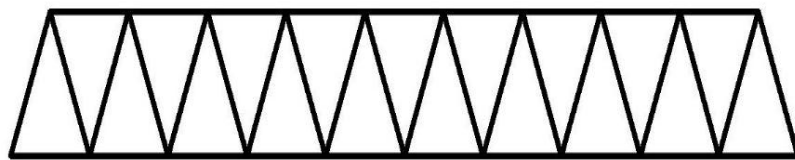
Fleksibilitas dan duktalitas baja sangat penting dalam berbagai aplikasi rekayasa. Dalam konstruksi jembatan misalnya, baja harus mampu menahan beban yang berubah-ubah dan deformasi yang terjadi akibat tekanan lalu lintas dan perubahan suhu. Sstruktur baja dalam struktur Gedung pencakar langit juga memerlukan duktalitas yang tinggi untuk menahan gaya gempa dan angin. Kemampuan baja untuk mengalami deformasi plastis memungkinkan struktur untuk menyerap dan mendistribusikan beban secara lebih efektif, yang dapat mencegah kerusakan struktur yang serius.

2.2.5 Tipe jembatan rangka

Jembatan rangka memiliki beberapa tipe, seperti jembatan rangka tipe *Warren*, *Pratt*, *Howe*, *K-truss*. perbedaan dari tiap tipe tipe jembatan rangka terletak pada konfigurasi batang-batang yang membentuk jembatan. Berikut merupakan beberapa tipe jembatan dengan rangka batang:

1. Tipe *Warren*

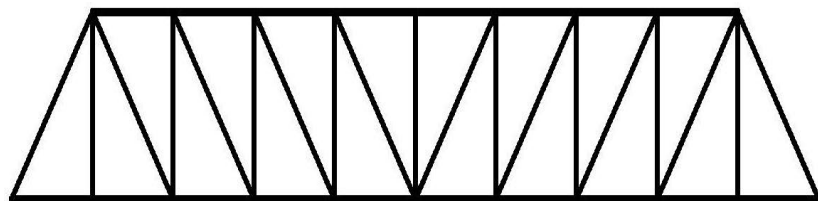
Tipe jembatan ini ditemukan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani pada tahun 1848 di Britania Raya. Jembatan ini tidak memiliki batang vertikal pada bentuk rangkanya yang membentuk segitiga sama kaki atau juga sama sisi. Sebagian batang diagonalnya mengalami gaya tekan dan sebagian lainnya mengalami gaya tarik. Jembatan rangka tipe warren merupakan jembatan rangka yang paling umum digunakan, karena bentuknya yang seragam dianggap dapat mendistribusikan beban secara merata disbanding tipe lain. Berikut merupakan Gambar tipe jembatan *Warren* pada Gambar 2.10 sebagai berikut:



Gambar 2.10 Jembatan rangka tipe *Warren*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

2. Tipe *Pratt*

Jembatan rangka tipe *Pratt* ditemukan oleh Thomas dan Caleb Pratt pada tahun 1844. Jembatan ini memiliki elemen diagonal yang mengarah ke bawah dan bertemu pada titik tengah batang jembatan bagian bawah. Berikut merupakan Gambar jembatan tipe *Pratt* pada Gambar 2.11 sebagai berikut:

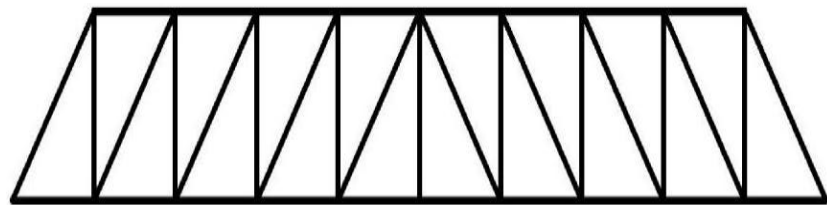


Gambar 2.11 Jembatan rangka tipe *Pratt*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

3. Tipe *Howe*

Tipe jembatan rangka *Howe* ditemukan oleh William Howe di Massachussetts pada tahun 1840 di Amerika Serikat. Jembatan ini merupakan bentuk kebalikan dari tipe rangka jembatan *Pratt*,

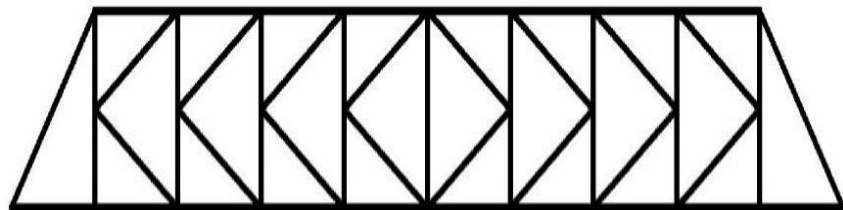
dimana elemen diagonalnya mengarah ke atas dan menerima tekanan sedangkan batang vertikalnya menerima gaya tarik. Berikut merupakan Gambar tipe jembatan *Howe* pada Gambar 2.12 sebagai berikut:



Gambar 2.12 Jembatan rangka tipe *Howe*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

4. Tipe *K-Truss*

Jembatan *K-Truss* berkembang sebagai salah satu variasi tipe jembatan rangka dan telah digunakan sejak abad ke-19. Jembatan tipe *K-Truss* merupakan salah satu struktur jembatan rangka yang menggunakan pola batang berbentuk huruf “K” untuk mendistribusikan beban yang bekerja. Berikut merupakan Gambar jembatan tipe *K-Truss* pada Gambar 2.13 sebagai berikut:

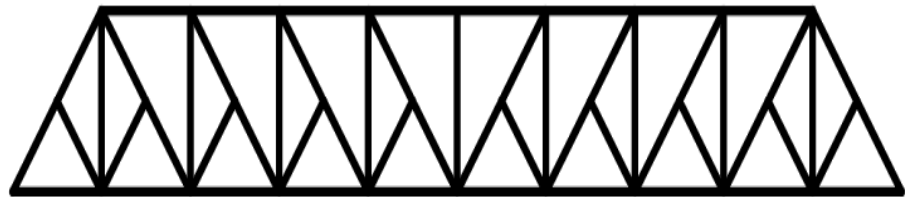


Gambar 2.13 Jembatan rangka tipe *K-Truss*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

5. Tipe *Baltimore*

Jembatan tipe *Baltimore* merupakan salah satu tipe dari jembatan rangka. Jembatan rangka tipe *Baltimore* pada dasarnya merupakan jembatan tipe *Pratt* dengan sedikit modifikasi. Modifikasi tersebut merupakan penambahan *bracing* pada bawah *section* untuk mencegah gaya tekan (kompresi) dan dapat mengontrol terjadinya defleksi. Jembatan rangka dengan tipe *Baltimore* banyak digunakan pada jembatan kereta api. Memamerkan desain yang sederhana dan

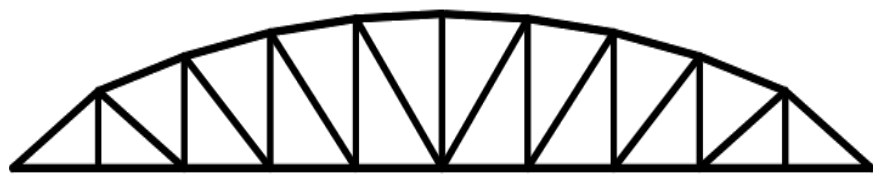
sangat kuat. Berikut merupakan bentuk jembatan *Baltimore* pada Gambar 2.14 sebagai berikut:



Gambar 2.14 Jembatan rangka tipe *Baltimore*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

6. Tipe *Parker*

Jembatan rangka tipe *Parker* merupakan salahsatu tipe jembatan rangka yang unik. Jembatan ini memiliki bentuk yang melengkung. Jembatan rangka tipe *Parker* merupakan tipe jembatan rangka yang memiliki bobot paling ringan dibanding tipe jembatan lain, yang berarti jembatan ini juga menggunakan material yang lebih sedikit dari jembatan rangka tipe lain. Hal ini disebabkan karena bentuk pelengkung yang membuat beberapa bagian struktur jembatan menjadi lebih pendek dan membuat penggunaan material pada jembatan tipe *Parker* menjadi lebih efisien. Jembatan tipe *Parker* juga memiliki nilai faktor keamanan yang cukup besar. Berikut merupakan jembatan tipe *Parker* pada Gambar 2.15 sebagai berikut:



Gambar 2.15 Jembatan rangka tipe *Parker*
(Sumber: Hasil Gambar Autocad)

2.2.6 Pembebanan pada jembatan

Pembebanan pada jembatan sesuai dengan SNI 1725-2016 dalam peraturan tersebut beban dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu beban permanen dan beban transien.

Beban permanen merupakan beban yang sifatnya tetap, beban tersebut meliputi; beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan, beban mati perkerasan dan utilitas, gaya horizontal akibat

tekanan tanah, gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat konstruksi segmental, dan gaya prategang

Beban transien merupakan beban yang bersifat tidak tetap, terdiri atas; gaya susut/rangkak, gaya rem, gaya sentrifugal, gaya tumbukan kendaraan atau kapal, gaya gempa, gaya friksi, beban lajur “D”, beban truk “T”, beban pejalan kaki, beban akibat penurunan, gaya akibat temperature, gaya apung, beban angin, dan beban arus.

Secara ringkas beban-beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Jenis-jenis Beban Pada Jembatan

Jenis Beban (Simbol)	Aksi
Beban mati komponen struktural dan non struktural (MS)	Tetap
Beban mati perkerasan dan utilitas (MA)	Tetap
Gaya akibat susut/rangkak (SH)	Transien
Prategang (PR)	Tetap
Gaya horizontal akibat tekanan tanah (TA)	Tetap
Gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan akibat proses pelaksanaann (PL)	Tetap
Beban Lajur “D”	Transien
Beban Truk “T” (TT)	Transien
Gaya akibat rem (TB)	Transien
Gaya sentrifugal (TR)	Transien
Beban pejalan kaki (TP)	Transien
Gaya tumbukan kendaraan/kapal (TC)/(TV)	Transien
Beban akibat penurunan (SE)	Transien
Gaya akibat temperatur gradien (ET)/seragam (EUn)	Transien
Beban arus dan hanyutan (EU)	Transien
Gaya apung (EF)	Transien

Beban angin pada struktur (EWs) atau kendaraan (EW _L)	Transien
Gaya gempa (EQ)	Transien
Gaya Friksi (BF)	Transien

(Sumber: SNI 1725:2016)

1. Beban mati struktur, dengan kode MS, merupakan beban mati dari struktur jembatan yang terdiri dari berat material jembatan dan bersifat permanen. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	beban		biasa	terkurangi
Tetap	baja	1	1,1	0,9
	aluminium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton cor di tempat	1	1,3	0,75
	kayu	1	1,4	0,7

(Sumber : SNI 1725:2016)

2. Beban mati tambahan (MA), merupakan berat seluruh beban yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah-ubah selama usia jembatan. Berikut faktor beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 2.3 Sebagai berikut:

Tabel 2.3 Faktor Beban Mati Tambahan

Tipe bahan	Faktor beban (γ_{TA})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	Bahan		biasa	terkurangi
Tetap	Umum	1 ⁽¹⁾	2	0,7
	husus	1	1,4	0,8

(Sumber : SNI 1725:2016)

3. Beban akibat tekanan tanah (TA). Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembapan, kohesi sudut geser dalam, dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c , dan ϕ_f .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ_f . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti tercantum pada Tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe bahan	Faktor beban (γ_{TA})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	Tekanan tanah		biasa	terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1	1,25	0,8
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1	1,25	0,8
	- Pasif	1	1,4	0,7
	- Diam	1		

(Sumber : SNI 1725:2016)

4. Pengaruh tetap pelaksanaan. Beban ini merupakan beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap

harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor-faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai Tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Jumlah Lalu Lintas Rencana

Tipe bahan	Faktor beban (γ_{TA})		
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit	
		biasa	terkurangi
Tetap	1	1	1

(Sumber: SNI 1725:2016)

5. Beban lajur “D” merupakan salah satu beban lalu lintas yang besarnya ditentukan oleh lebar lajur lalu lintas rencana pada jembatan, sehingga sering pula disebut beban lajur “D”. ketentuan jumlah lajur lalu lintas rencana berdasarkan SNI 1725-2016 dapat dilihat pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Jumlah Lalu Lintas Rencana

Tipe jembatan	Lebar bersih jembatan (mm)	Jumlah lajur lalu lintas rencana (n)
Satu lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua arah, tanpa median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua arah, dengan median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 13500$	5
	$w \geq 16500$	6

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

Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median untuk banyak arah

(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

Jika $L \leq 30$ m : $q = 9$ kPa (2.1)

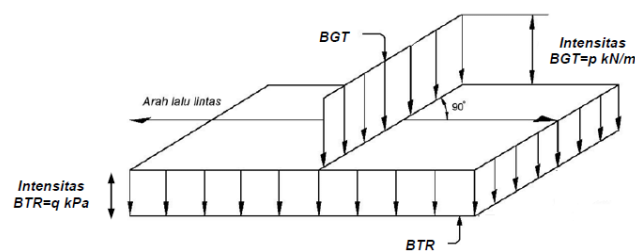
Jika $L > 30$ m : $q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa (2.2)

Keterangan:

q = intensitas beban terbagi rata arah memanjang jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (m)

Gambar beban lajur D dapat dilihat pada Gambar 2.16 sebagai berikut:



Gambar 2.16 Beban Lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus. BGT kedua yang identic harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi 70% dapat digunakan. Faktor beban sebesar 70% ini diterapkan untuk beban terbagi rata (BTR) dan

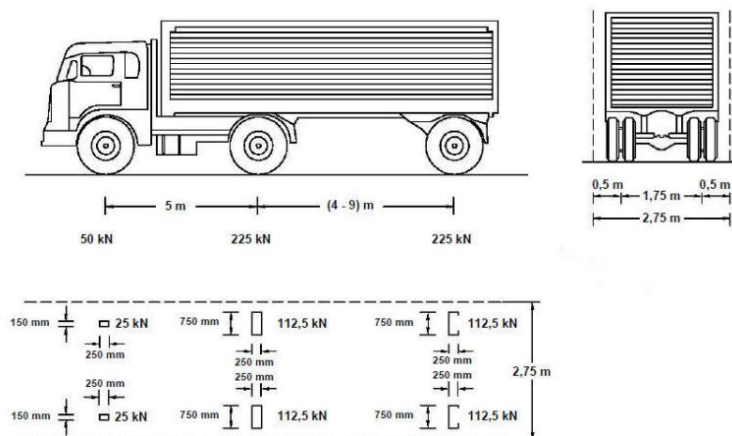
beban garis terpusat (BGT) dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT.

6. Beban truk “T”, dengan nama kode TT merupakan beban yang digunakan untuk perhitungan struktur lantai dan terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar. Faktor beban T dapat dilihat pada Tabel 2.7 Dan pembebanan truk dapat dilihat pada Gambar 2.17 sebagai berikut:

Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Truk

Tipe bahan	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	Bahan		biasa	terkurangi
Tetap	Umum	1 ⁽¹⁾	2	0,7
	khusus	1	1,4	0,8

(Sumber : SNI 1725:2016)



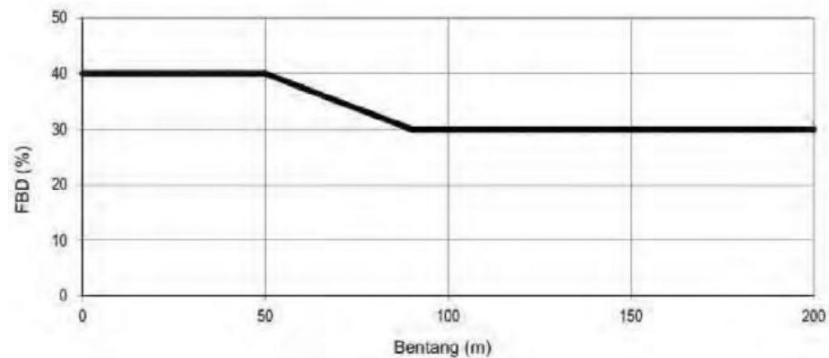
Gambar 2.17 Distribusi Beban Truk “T”

(Sumber:SNI 1725:2016)

Posisi dan distribusi beban truk “T” dalam arah melintang jembatan dilakukan dengan cara menempatkan beban truk “T” di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.

Faktor beban dinamis (FBD), merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. FBD tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR. Besarnya BGT dari beban lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus

cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Grafik FDB untuk beban lajur dapat dilihat pada Gambar 2.18 sebagai berikut:



Gambar 2.18 Grafik Faktor Beban Dinamis untuk beban T dan Beban D
(Sumber: SNI 1725:2016)

7. Beban rem, dengan nama kode TB, diasumsikan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan lantai jembatan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari: 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).
8. Gaya sentrifugal (TR). Untuk tujuan menghitung radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut:

$$C = f \frac{v^2}{gR_l} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- v : adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik)
 - f : adalah faktor dengan 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik
 - g : adalah percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik²)
 - R_l : adalah jari-jari kelengkungan jalur lalu lintas (m)
9. Beban pejalan kaki (TP), untuk jembatan yang memiliki trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul

beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa. Beban ini harus diterapkan pada seluruh luas permukaan trotoar atau area pejalan kaki pada jembatan

10. Beban akibat tumbukan kendaraan (TC). Dalam ketentuan pasal 8.10.2 tidak perlu ditinjau apabila struktur jembatan sudah dilindungi dengan salah satu pelindung sebagai berikut:

- a. Tanggul.
- b. Palang independent setinggi 1370 mm yang tahan tumbukan dipasang pada permukaan tanah dalam jarak 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi.
- c. Parapet dengan tinggi 1070 mm dipasang minimal 3000 mm dari bagian jembatan yang ingin dilindungi.

Struktur maupun bentuk palang atau penghalang tersebut harus direncanakan mampu menahan beban tumbukan setara uji level 5.

11. Penurunan (ES). Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai Tabel 2.8 Sebagai berikut:

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})	
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit
Permanen	1	N/A

(Sumber : SNI 1725:2016)

Penurunan dapat diperkkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, akan tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang akan terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan

harus membuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

12. Temperatur merata (*EUn*). Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perancangan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti pada tabel 2. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum 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 2. Harus digunakan sebagai $T_{\min \text{ desain}}$ dan $T_{\max \text{ desain}}$ pada persamaan berikut.

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

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\min \text{ desain}} - T_{\max \text{ desain}}) \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 2.9 Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur rata-rata jembatan 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
---	------	------

(Sumber : SNI 1725:2016)

13. Pengaruh susut dan rangkak (SH). Pengaruh susut dan rangkak harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum. Faktor beban akibat susut dan rangkak dapat dilihat pada Tabel 2.10 sebagai berikut:

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})	
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit
Tetap	1	0,5

(Sumber: SNI 1725:2016)

14. Pengaruh prategang (PR). Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit. Berikut merupakan Tabel faktor beban akibat pengaruh prategang pada Tabel 2.11 sebagai berikut:

Tabel 2.11 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})	
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit
Tetap	1	1

(Sumber : SNI 1725:2016)

Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

- Pada batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari beban

prategang tersebut harus dihitung menggunakan faktor beban daya layan sebesar 1,0.

- b. Pada keadaan batas ultimit, pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja.

15. Aliran air, benda hanyutan dan tumbukan dengan batang kayu (EF).

Gaya seret nominal unlimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata sesuai dengan persamaan berikut:

$$T_{EF} = 0,5 C_D V_S^2 A_d \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

T_{EF} adalah gaya seret (kN)

V_S adalah kecepatan air rata-rata berdasarkan pengukuran di lapangan (m/s)

C_D Adalah koefisien seret.

A_d Adalah luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran (m^2)

16. Tekanan hidrostatik dan gaya apung (EU). Permukaan air rendah dan tinggi harus ditentukan selama umur bangunan dan digunakan untuk menghitung tekanan hidrostatik dan gaya apung. Dalam menghitung pengaruh tekanan hidrostatik, kemungkinan adanya gradien hidrolis yang melintang bangunan harus diperhitungkan. Berikut merupakan Tabel Faktor beban akibat tekanan hidrostatik dan gaya apung pada Tabel 2.12 sebagai berikut:

Tabel 2.12 Faktor Beban Akibat Hidrostatik dan Gaya Apung

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})		
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1	1 (1,1) ⁽¹⁾	1 (0,9) ⁽¹⁾

(Sumber : SNI 1725:2016)

Bangunan penahan tanah harus direncanakan mampu menahan pengaruh total air tanah kecuali jika timbunan bisa mengalirkan air.

Sistem drainase demikian bisa merupakan irisan dari timbunan yang mudah mengalirkan air di belakang dinding, dengan bagian belakang dari irisan naik dari dasar dinding pada sudut maksimum 60° arah horizontal.

Pengaruh daya apung harus ditinjau terhadap bangunan atas yang mempunyai rongga atau lubang yang memungkinkan udara untuk terjebak, kecuali apabila ventilasi udara dipasang. Daya apung harus ditinjau bersamaan dengan gaya akibat aliran. Dalam memperkirakan pengaruh daya apung, harus ditinjau beberapa ketentuan sebagai berikut:

- a. Pengaruh daya apung pada bangunan bawah (termasuk tiang) dan beban mati bangunan atas.
 - b. Syarat-syarat sistem ikatan dari bangunan atas.
 - c. Syarat-syarat drainase dengan adanya rongga-rongga pada bagian dalam agar air dapat keluar pada waktu surut.
17. Beban angin pada struktur jembatan diasumsikan memiliki arah angin rencana horizontal dengan tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90-126 km/jam. 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 mendapat 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:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- V_{DZ} : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)
- V_{10} : Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam). Perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam
- V_B : Kecepatan angin rencana yaitu 90 - 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
- Z : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung (Z - 10000 mm)
- V_0 : Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.3, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_0 : Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.13

Tabel 2.13 nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan terbuka	Sub Urban	Kota
V_0	13,2	17,6	19,3
Z_0	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016)

18. Beban gempa dengan nama kode TQ. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh dan mengalami kerusakan signifikan ketika terjadi gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : koefisien respons gempa elastis

R_d : faktor modifikasi respons

W_t : beban total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

Koefisien respons gempa elastis C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang rencana. Koefisien percepatan diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.

2.2.7 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan jembatan digunakan untuk menghitung besar beban dari jembatan. Berdasarkan SNI 1725 : 2016 faktor kombinasi dan pembebanan dapat dikategorikan sebagai berikut:

Beban permanen :

MS (beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan)

MA (beban mati perkerasa utilitas)

TA (gaya horizontal akibat tekanan timbunan ringan)

Beban traansien :

EQ (gaya gempa)

EWs (beban angin pada struktur)

EW_L (beban angin pada kendaraan)

TD (beban jalur "D")

TB (gaya akibat rem)

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

- Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90-126 km/jam.
- Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
- Kuat V ; Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90-126 km/jam.
- Ekstrem I ; Kombinasi pembebanan gaya gempa. Faktor beban hidup YEQ yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
- Ekstrem II ; Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir, atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
- Layan I ; Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat

pelapis terowongan, pipa termoplastik, serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang, dan untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

- Layan II : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian dari jembatan beton segmental.
- Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 2.14 sebagai berikut:

Tabel 2.14 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Layan	MS MA	TT TD TB	EW_S	EW_L	EQ
Kuat I	γ_P	1,80	-	-	-
Kuat II	γ_P	1,40	-	-	-
Kuat III	γ_P	-	1,40	-	-
Kuat IV	γ_P	-	-	-	-
Kuat V	γ_P	-	0,40	1,00	-
Ekstrim I	γ_P	γ_{EQ}	-	-	1,00
Ekstrim II	γ_P	0,50	-	-	-

Layan I	1,00	1,00	0,30	1,00	-
Layan II	1,00	1,30	-	-	-
Layan III	1,00	0,80	0,7	-	-
Layan IV	1,00	-	-	-	-
Fatik	-	0,75	-	-	-

(Sumber: SNI 1725:2016)

2.2.8 Demand Capacity Ratio (DCR)

Demand capacity ratio (DCR) adalah rasio antara jumlah permintaan terhadap kapasitas yang tersedia dalam suatu sistem pada periode waktu tertentu. Untuk jembatan, jika *DCR* melebihi 1, maka jembatan telah melebihi kapasitasnya dan berpotensi runtuh (Ridlo, 2023). *Demand capacity ratio (DCR)* merupakan salah satu parameter rasio kekuatan struktur yang dapat digunakan untuk mengetahui dan mengevaluasi keamanan suatu struktur atau elemen dalam memikul beban yang diterimanya.

Rumus *Demand capacity ratio (DCR)* secara umum adalah sebagai berikut:

$$DCR = \frac{Demand}{Capacity} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

Demand : Beban atau gaya yang diterima oleh suatu elemen atau struktur.

Capacity : Kapasitas maksimum elemen struktur untuk menahan beban yang terjadi.

Jika nilai dari *demand capacity ratio* ≤ 1 maka elemen struktur tersebut dianggap aman dan mampu untuk menahan beban yang terjadi. Namun, apabila nilai dari *demand capacity ratio* tersebut > 1 maka elemen struktur tersebut dianggap tidak aman untuk menahan beban yang terjadi karena beban yang diterima lebih besar dari kapasitas maksimum yang mampu ditahan oleh elemen struktur tersebut.

2.2.9 Lendutan Rangka Batang

Lendutan dari struktur rangka batang akibat suatu beban tertentu merupakan deformasi total dari semua elemen rangka pada titik titik pertemuannya akibat adanya gaya aksial dalam masing-masing elemen rangka. Dimana masing-masing elemen rangka tersebut mengalami deformasi akibat adanya displacement yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta L = \frac{P.L}{E.A} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

- ΔL : Displacement searah elemen batang
- P : Gaya aksial elemen batang akibat beban sebenarnya
- L : Panjang efektif elemen batang
- E : Modulus Elastisitas elemen batang
- A : Luas penampang elemen batang

Akibat adanya *displacement* pada masing masing elemen rangka, maka struktur rangka batang secara menyeluruh akan mengalami lendutan pada suatu titik buhul yang dapat ditentukan dengan metode kerja maya (*Method Of Virtual Work*) yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\Delta = \sum_{i=0}^n \frac{pPL}{EA} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

- Δ : Lendutan pada titik tertentu
- n : Jumlah rangka batang
- p : Gaya aksial elemen batang akibat beban maya
- P : Gaya aksial elemen batang akibat beban sebenarnya
- L : Panjang efektif elemen batang
- E : Modulus Elastisitas elemen batang
- A : Luas penampang elemen batang

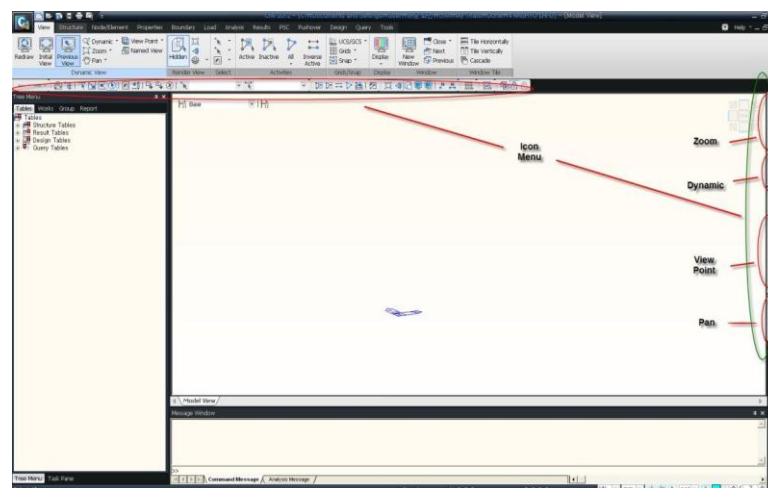
Berdasarkan RSNI T03 2005, lendutan pada jembatan tidak boleh melebihi 1/800 dari panjang bentang jembatan.

2.2.10 Software Midas Civil

Analisis struktur rangka atas jembatan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Midas Civil* untuk mengetahui nilai lendutan dan nilai kapasitas permintaan serta kapasitas maksimal struktur jembatan. *Midas Civil* merupakan sebuah program atau *software* yang dibuat untuk menganalisa struktur dan desain struktur dalam teknik sipil khususnya dalam perencanaan jembatan (Ramadhan, 2022). Dalam proses analisis struktur jembatan dengan *software Midas Civil* terdapat beberapa tahapan diantaranya:

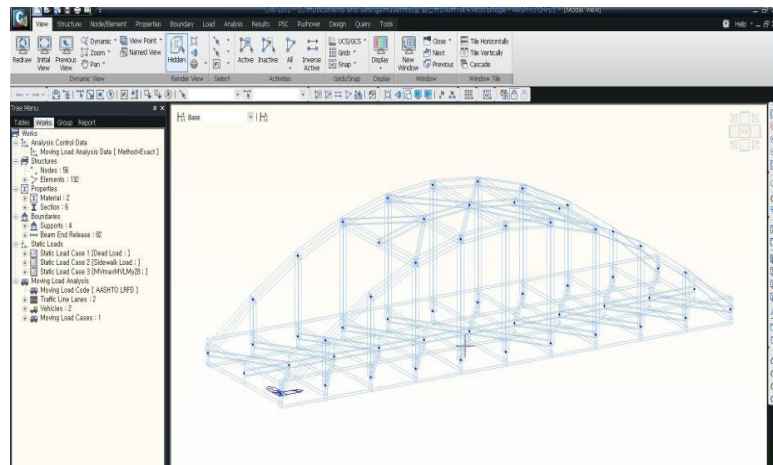
1. Pembukaan *file* dan preferensi pengaturan
2. Masukkan properti material dan penampang
3. Pemodelan struktur
4. Masukkan kondisi perletakan struktur
5. Masukkan beban-beban yang bekerja sesuai ketentuan
6. Lakukan analisis struktur
7. Verifikasi dan tafsirkan hasil analisis

Untuk tampilan dalam *software Midas Civil* adalah seperti pada Gambar 2.19 sebagai berikut:



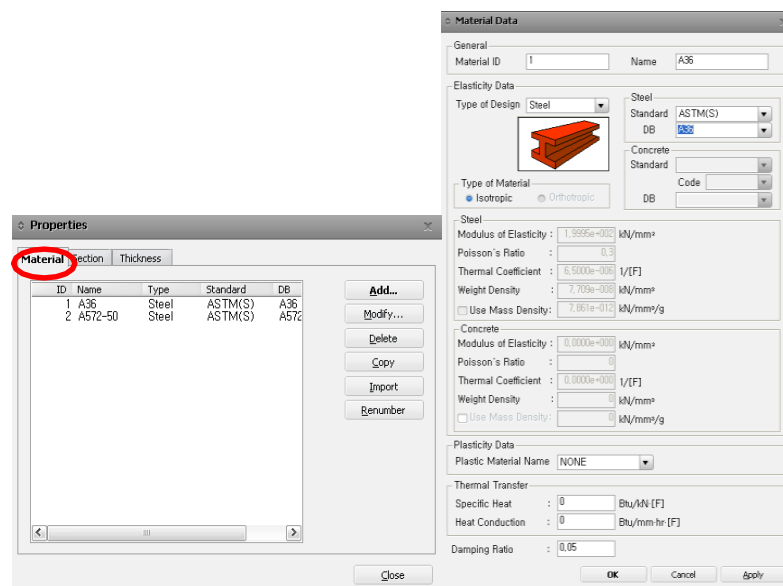
Gambar 2.19 Tata letak tampilan model
(Sumber: Tutorial Dasar *Midas Civil*)

Pemodelan dalam *Midas Civil* dilakukan dengan membuat *dots* atau titik-titik sebagai acuan dalam membentuk model jembatan. Berikut merupakan contoh pemodelan jembatan lengkung di *Midas Civil* pada Gambar 2.20 sebagai berikut:



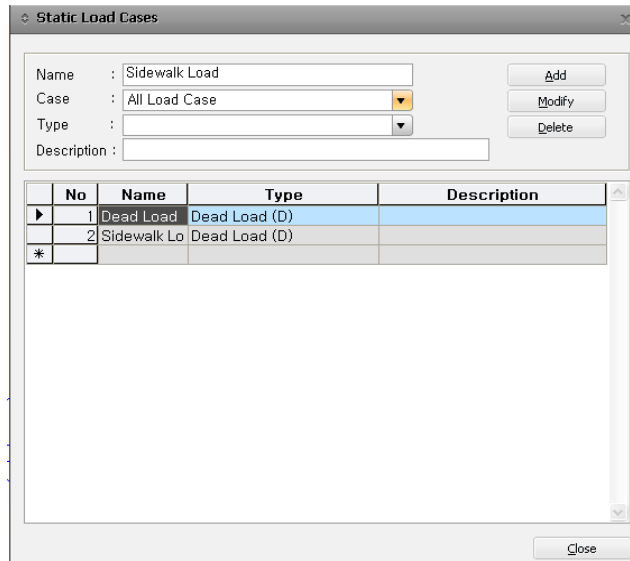
Gambar 2.20 Pemodelan jembatan *Midas Civil*
(Sumber: Tutorial Dasar *Midas Civil*)

Berikut merupakan tampilan kotak dialog properti pada *Midas Civil* pada Gambar 2.21 sebagai berikut:



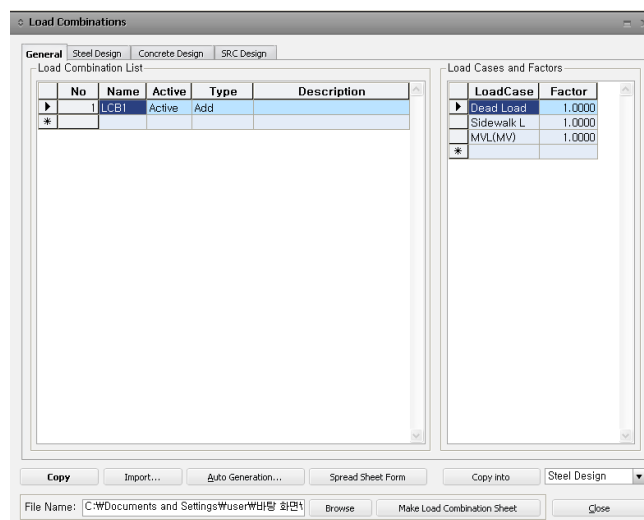
Gambar 2.21 Kotak dialog properti material
(Sumber: Tutorial Dasar *Midas Civil*)

Berikut merupakan tampilan jendela *load case statis* dalam *Midas Civil* pada Gambar 2.22 sebagai berikut:



Gambar 2.22 Jendela load case statis
(Sumber: Tutorial Dasar *Midas Civil*)

Berikut ini merupakan tampilan dari kotak kombinasi pembebanan pada *Midas Civil* pada Gambar 2.23 sebagai berikut:



Gambar 2.23 Kotak dialog kombinasi beban
(Sumber: Tutorial Dasar *Midas Civil*)