



BAB II

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Building Information Modelling (BIM)

BIM merupakan teknologi untuk mengelola data secara digital dengan terintegrasi untuk memvisualisasikan model tiga dimensi dari sebuah konstruksi bangunan ataupun infrastruktur. BIM adalah representasi digital yang mencerminkan karakteristik fisik dan sifat fungsional bangunan. Dengan demikian, BIM mencakup semua informasi mengenai elemen-elemen bangunan yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup bangunan, mulai dari konsep hingga pembongkaran (Amelia et al, 2021). Dalam arti lain yang lebih singkat, *Building Information Modeling* (BIM) adalah aspek fundamental yang harus dipahami dalam pemodelan konstruksi yang berbasis revolusi industri 4.0. Untuk menghasilkan pemodelan yang akurat, diperlukan pemahaman tentang konsep pemodelan serta alur kerja pemodelan bangunan (Asri Nurdiana, 2022).

Sejarah BIM sendiri dimulai sejak tahun akhir 1970an dimana BIM muncul sebagai konsep representasi dalam grafis yang dapat digunakan sebagai analisis pada suatu bangunan. Seiring berkembangnya waktu, muncul perangkat - perangkat lunak dan *workstation* seperti *Chuck Eastman Building Description System*, *GLIDE*, *RUCAPS*, *Sonata*, *Reflex* dan *Gable 4D Series*. Dengan didorongnya perkembangan CAD, teknologi BIM berkembang dengan pesat. Penerapan teknologi BIM pada kegiatan konstruksi baru dimulai pada tahun 2000an.

Terdapat beberapa parameter dalam BIM yang disebut sebagai dimensi. Dimana setiap dimensi memiliki aspek – aspek tersendiri dalam membantu merencanakan keperluan selama kegiatan konstruksi. Gambar kerja (3D), Penjadwalan (4D), Estimasi Biaya (5D), Analisis Energi (6D), Pemeliharaan (7D). Untuk pekerjaan seperti konstruksi sederhana tipikal jembatan dan konstruksi bangunan yang tidak terbatas dapat menggunakan metode berbasis BIM ini.

BIM 3D memungkinkan penampilan seluruh model bangunan serta memudahkan perhitungan volume bangunan (Zikril et al, 2023). Dengan

menggunakan perangkat lunak pemodelan bangunan 3D yang dinamis, real-time, dan mencakup kuantitas komponen, BIM meningkatkan produktivitas dalam desain dan konstruksi bangunan. Konsep BIM ini dapat memprediksi konstruksi melalui simulasi sebelum pelaksanaan konstruksi sebenarnya, sehingga mengurangi ketidakpastian dan meminimalkan kesalahan dalam proyek (Yenisa et al, 2023). Selama proses desain, BIM sangat penting karena hampir semua keputusan dibuat pada tahap ini. BIM mendukung proyek konstruksi dengan melakukan analisis lokasi, orientasi bangunan, konfigurasi massa bangunan, konstruksi, analisis biaya, serta membantu mencapai desain bangunan yang berkelanjutan dan hemat energi. Dengan menggunakan metode BIM, kebutuhan sumber daya dapat diminimalkan, karena metode konvensional memerlukan lebih banyak pekerja sementara BIM memungkinkan setiap pekerja fokus pada tugasnya sendiri. Meskipun demikian, BIM memiliki kekurangan, yaitu memerlukan penguasaan berbagai disiplin ilmu untuk memaksimalkan penggunaannya (Fibria et al, 2020).

Sistem level BIM yang umum digunakan biasanya dibagi menjadi beberapa tingkatan, yang menunjukkan kematangan adopsi BIM dalam proyek konstruksi. Berikut adalah penjelasan tentang level-level BIM yang sering diterapkan, yaitu :

1. Level 0: Pre-BIM

Tidak ada kolaborasi digital. Informasi proyek disimpan dan dikelola dalam bentuk dokumen tradisional seperti gambar 2D (CAD), spreadsheet, dan dokumen cetak. Komunikasi proyek dilakukan secara manual tanpa penggunaan teknologi BIM.

2. Level 1: BIM 2D

Penggunaan CAD (Computer-Aided Design) untuk membuat gambar 2D yang sering kali disertai dengan beberapa elemen 3D. Dokumentasi digital digunakan, tetapi tidak ada kolaborasi yang signifikan antara berbagai disiplin ilmu. Data masih diisolasi dan pertukaran informasi masih terjadi secara manual.

3. Level 2: BIM 3D

Penggunaan model 3D untuk merancang dan mendokumentasikan proyek. Kolaborasi antar disiplin ilmu mulai terjadi dengan berbagi model yang berbeda yang dapat diintegrasikan. Informasi yang dikandung model dapat diakses dan

digunakan oleh berbagai tim dalam proyek untuk tujuan yang berbeda, seperti analisis struktural, simulasi, dan manajemen konstruksi.

4. Level 3: Integrated BIM

Penggunaan satu model 3D terintegrasi yang diakses oleh semua disiplin ilmu dalam proyek. Kolaborasi sepenuhnya tercapai dengan semua data yang terpusat dan dikelola dalam Common Data Environment (CDE). Level ini memungkinkan real-time collaboration dan pemanfaatan teknologi cloud untuk berbagi informasi secara efisien. Model yang terintegrasi mencakup semua informasi terkait siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan.

5. Level 4: BIM 4D

Integrasi model 3D dengan data waktu (jadwal proyek). Model ini memungkinkan visualisasi dari tahapan konstruksi dan simulasi jadwal proyek secara real-time. Dengan BIM 4D, manajer proyek dapat merencanakan dan mengelola waktu dengan lebih efektif, mengidentifikasi potensi penundaan, dan meningkatkan efisiensi waktu dalam pelaksanaan proyek.

6. Level 5: BIM 5D

Integrasi model 3D dengan data biaya (estimasi biaya). BIM 5D memungkinkan perhitungan biaya yang lebih akurat dan efisien, serta pengelolaan anggaran proyek yang lebih baik. Informasi biaya terkait bahan, tenaga kerja, dan peralatan dapat diakses dan dianalisis secara real-time, membantu dalam pengambilan keputusan finansial.

7. Level 6: BIM 6D

Menggabungkan model 3D dengan data terkait operasional dan pemeliharaan. Level ini mencakup informasi tentang pengelolaan bangunan pasca konstruksi, seperti pemeliharaan, efisiensi energi, dan manajemen fasilitas. BIM 6D membantu pemilik bangunan dalam mengelola dan memelihara aset mereka secara lebih efektif selama siklus hidup bangunan.

8. Level 7: BIM 7D

Fokus pada pengelolaan dan pemeliharaan berkelanjutan dari bangunan, termasuk aspek lingkungan dan keberlanjutan. Level ini mencakup analisis energi

dan keberlanjutan, serta pengelolaan sumber daya yang lebih baik untuk mencapai bangunan hijau dan ramah lingkungan.

Setiap level BIM memberikan manfaat yang semakin besar dalam hal kolaborasi, efisiensi, dan pengelolaan proyek, serta memerlukan peningkatan teknologi dan keterampilan yang lebih tinggi.

2.2. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah perangkat lunak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) yang mendukung pemodelan struktur, arsitektur, mekanikal, elektrik, dan perpipaan. Program ini menghasilkan berbagai informasi seperti detail proyek konstruksi, kuantitas material, tahapan proyek, dan pemeliharaan proyek (Ilyas et al, 2022). Dengan Revit, pengguna dapat membuat model digital dari sebuah bangunan atau infrastruktur yang mencakup berbagai aspek seperti arsitektur, struktur, mekanikal, elektrik, dan plumbing. Perangkat lunak ini memungkinkan visualisasi 3D, simulasi, dan analisis yang sangat detail, yang semuanya berkontribusi pada pengambilan keputusan yang lebih baik dan efisien dalam proyek konstruksi.

Perangkat ini memiliki kelebihan dan kekurangannya dalam penggunaan walaupun disisi lain juga bermanfaat seperti yang dijelaskan sebelumnya. Kelebihan dan kekurangan dari autodesk revit ini tercantum dalam tabel dibawah berikut.

Table 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit

No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Integrasi multi disiplin → membantu dalam koordinasi dan kolaborasi antar tim proyek karena memiliki satu model terpusat.	Kurva pembelajaran yang curam → memerlukan waktu dan upaya yang signifikan untuk dikuasai karena fiturnya yang kompleks.
2.	Detailing yang akurat → mampu untuk menghasilkan gambar kerja dan dokumentasi yang sangat	Kebutuhan spesifikasi perangkat keras tinggi yang terkadang menjadi kendala bagi pengguna.

	detail dan akurat dalam proses konstruksi.	
3.	Efisiensi waktu dan biaya → membantu mengidentifikasi potensi masalah sebelum konstruksi dimulai, sehingga mengurangi risiko penundaan dan pembengkakan biaya.	Biaya lisensi yang cukup tinggi bisa menjadi penghalang perusahaan.
4.	Kemampuan visualisasi → dengan adanya visualisasi 3D yang realistis pada proyek maka memudahkan dalam komunikasi dan presentasi dengan klien.	Kompatibilitas dengan perangkat lunak lain → integrasi dengan beberapa perangkat lunak dengan format file yang berbeda terkadang berhasil namun juga bisa jadi gagal pada situasi tertentu.
5.	Estimasi kuantitas dan biaya → dapat digunakan untuk menghitung volume material dan estimasi biaya dalam perencanaan anggaran proyek.	

Sumber : Penulis (2026)

Ada 4 (empat) jenis-jenis autodesk revit, yaitu: Revit Arsitektur, Revit Struktur, Revit MEP, dan Revit LT. Pertama, untuk revit arsitektur fokus pada desain dan dokumentasi arsitektur. Memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D dari bangunan dan menghasilkan gambar kerja yang diperlukan untuk konstruksi. Kedua, *Revit Structure* dirancang untuk insinyur struktur, memberikan alat untuk mendesain dan menganalisis elemen-elemen struktural dari sebuah bangunan, seperti balok, kolom, dan pondasi. Ketiga, revit MEP menyediakan alat untuk desain sistem mekanikal, elektrik, dan plumbing. Ini termasuk desain HVAC, sistem pencahayaan, jaringan listrik, dan sistem perpipaan. Dan keempat, revit LT adalah versi yang lebih terjangkau dari Revit dengan fitur-fitur dasar untuk

arsitektur dan desain interior, cocok untuk pengguna dengan kebutuhan yang lebih sederhana.

2.3. Microsoft Project

Microsoft project (MS Project) adalah perangkat lunak manajemen proyek yang dikembangkan oleh Microsoft, dirancang untuk membantu manajer proyek merencanakan, mengelola, dan melacak proyek secara lebih efisien. Dengan berbagai fitur canggih, perangkat ini memfasilitasi pengelolaan jadwal proyek, anggaran, sumber daya, dan risiko. Dalam penerapannya, Microsoft Project sangat berguna dalam manajemen proyek konstruksi. Perangkat lunak ini memungkinkan perencanaan dan pengelolaan biaya serta waktu proyek dilakukan secara efisien dalam satu platform yang terintegrasi. Dengan Microsoft Project, tim proyek dapat membuat jadwal yang detail, mengalokasikan sumber daya, dan menetapkan anggaran dengan mudah. Setiap perubahan dalam satu aspek, seperti jadwal atau biaya, secara otomatis diperbarui dan tercermin dalam keseluruhan rencana proyek, memastikan bahwa semua informasi tetap sinkron dan up-to-date. Fitur pelaporan dan analisis yang kuat juga membantu dalam memantau kemajuan proyek dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum menjadi hambatan serius. Secara keseluruhan, Microsoft Project mendukung koordinasi yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang lebih cepat, sehingga meningkatkan efisiensi dan keberhasilan proyek konstruksi (Asri Nurdiana, 2019). Dengan kelengkapan fasilitas dan kemampuan luar biasa dalam mengolah data proyek, software ini menjadi yang paling banyak digunakan oleh operator komputer. Keberadaannya benar-benar mampu membantu dan memudahkan pengguna dalam menyelesaikan pekerjaan, terutama pekerjaan yang berhubungan dengan data proyek.

2.4. Naviswork

Autodesk Naviswork merupakan perangkat lunak dalam manajemen proyek yang dapat digunakan untuk meninjau hasil pemodelan 3D secara menyeluruh. Perangkat ini dapat menggabungkan berbagai macam format file CAD dan BIM seperti (.rvt, .dwg, .ifc). Perangkat lunak ini juga dapat mendeteksi adanya tabrakan

antar elemen seperti struktur dan MEP sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kemungkinan terjadi *defect* selama pengerjaan proyek.

2.5. Jembatan Beton Prategang

Pada dasarnya, struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Jembatan komposit adalah salah satu jenis jembatan yang didasarkan pada jenis materialnya. Jembatan ini memiliki pelat lantai beton yang terhubung dengan girder atau gelagar baja yang bersama-sama menopang beban sebagai satu kesatuan. Balok girder digunakan untuk menahan tarikan, sedangkan pelat beton menahan momen pada lendutan.

Jenis jembatan ini mengkombinasikan elemen jembatan baja dan berbagai jenis unsur jembatan beton. Jembatan komposit memiliki struktur yang ringan, sehingga beban pada tiang dan pondasi relatif kecil. Selain itu, jembatan komposit dianggap lebih tahan terhadap getaran dan tidak memicu kebisingan. Namun, pengerjaannya memerlukan biaya yang lebih tinggi karena harga struktur baja yang cukup mahal.

Dalam melakukan perencanaan jembatan komposit terdapat tahapan - tahapan sebagai berikut:

2.5.1 Pengumpulan Data Analisis Lapangan

Sebelum melakukan perencanaan konstruksi, diperlukan data - data analisis lapangan agar dapat menentukan pekerjaan konstruksi yang efisien dan aman. Data - data yang dikumpulkan meliputi:

a. Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

Data lalu lintas harian rata - rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari dari cara memperoleh data dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata, yaitu lalu lintas harian rata-rata tahunan dan lalu lintas rata-rata harian. Lalu lintas Harian Rata-rata dapat dihitung dengan cara menjumlahkan volume lalu lintas dalam satu periode tertentu yang lebih dari satu hari dan kurang dari satu tahun. Dengan mengetahui lalu lintas harian rata-ratanya, maka dapat diketahui pula fungsi dari jembatan itu sendiri.

b. Data Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Hasil pengujian tanah digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap jembatan, jenis pondasi, dan kedalaman pondasi yang ideal untuk menahan beban (*Nurdiana, 2007*).

c. Data Topografi

Topografi berguna untuk mengetahui situasi, bentang, dan posisi jembatan (*Nurdiana, 2007*).

d. Data Hidrologi

Data hidrologi berguna untuk mengetahui karakteristik aliran sungai dan tinggi air banjirnya, sehingga dapat diketahui tinggi ideal jembatan agar tidak terkena banjir serta struktur dan material yang tepat (*Nurdiana, 2007*).

2.5.2 Penentuan Jenis Struktur Jembatan

Setelah menentukan dan memperhitungkan aspek geometrinya, selanjutnya dapat ditentukan jenis struktur jembatan yang akan digunakan berdasarkan bentang jembatan yang direncanakan. Untuk struktur jembatan prategang sendiri digunakan untuk jembatan dengan bentang 25 hingga 50 meter.

2.5.3 Pembebanan Jembatan

Untuk menentukan perencanaan struktur yang sesuai, diperlukan analisa pembebanan pada jembatan. Mengacu pada SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan, jenis beban yang dianalisa pada jembatan sebagai berikut:

Beban Tetap

Beban tetap atau beban permanen terdiri dari beban-beban berikut :

- Beban sendiri (MS), merupakan beban yang dihasilkan dari setiap elemen elemen struktural dan nonstruktural jembatan itu sendiri (Pusat Litbang 13 Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Beban struktural dan nonstruktural tersebut dihitung berdasarkan dimensi struktur tersebut dan berat jenisnya. Untuk mendapatkan nilai ultimitnya hasil perhitungan beban tersebut perlu dikalikan dengan faktor beban yang mana diatur dalam SNI 1725 2016.

- Beban mati tambahan (MA), merupakan elemen non-struktural dari jembatan yang besarnya dapat berubah selama umur jembatan (Badan Standardisasi Nasional, 2016) Contoh dari beban mati tambahan tersebut 14 misalnya adalah beban aspal, yang mana aspal tersebut sewaktu-waktu dapat terkikis (berkurang) dan dilapisi kembali (bertambah) serta beban air hujan.
- Beban akibat tekanan tanah (TA), dapat diperhitungkan berdasarkan karakteristik tanah tersebut yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian tanah. Karakteristik tanah tersebut meliputi berat jenis, kohesi, sudut geser, dan sebagainya. Dalam perhitungan tekanan tanah umumnya data-data yang dibutuhkan meliputi meliputi berat jenis, kohesi, dan sudut geser. Hasil perhitungan tekanan tanah tersebut nantinya akan ditinjau berdasarkan kondisi layan dan ultimitnya dengan cara mengalikan nilai tekanan tanah tersebut dengan faktor beban pada kondisi layan dan ultimit sebagaimana yang telah diatur pada SNI 1725 2016.
- Beban akibat pelaksanaan (PL), merupakan beban yang terjadi akibat pelaksanaan konstruksi pada pekerjaan jembatan. Beban yang terjadi akibat pelaksanaan tersebut nantinya ditinjau berdasarkan masing-masing kondisi peninjauannya dengan mengalikan nilai bebannya dengan faktor beban pada 15 kondisi layan dan ultimit sebagaimana yang telah diatur pada SNI 1725:2016.

Beban Lalu Lintas

- Umum

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

- Lajur Lalu Lintas Rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencanaan harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan di masa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan.

Table 4. 1 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan	Lebar Bersih Jembatan (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (<i>n</i>)
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
	$13750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16500$	6
<p>Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.</p> <p>Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median untuk banyak arah.</p>		

Sumber : SNI 1725:2016

Berdasarkan Tabel 2.2, bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika

jembatan mempunyai lebar bersih antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

- Beban Lajur “D”

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.3.

Table 4. 2 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton		
	Box Girder	1,00	1,80
	Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725:2016

i. Intesitas Beban “D”

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

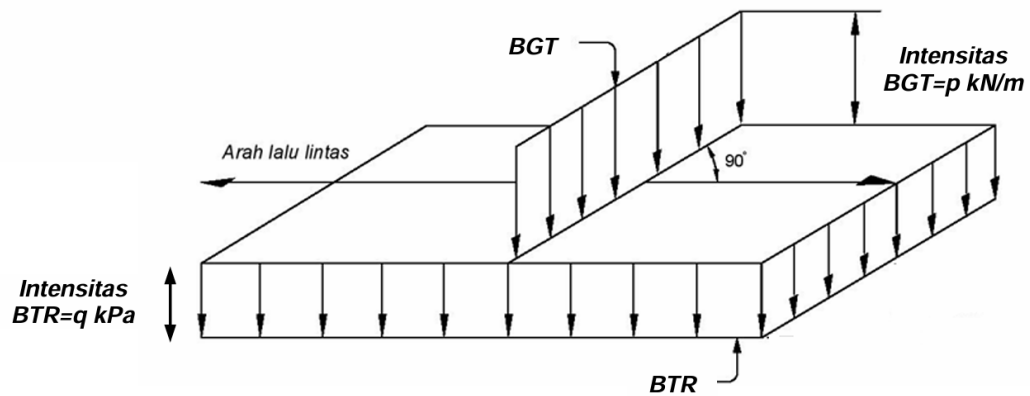
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

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

Keterangan:

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

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



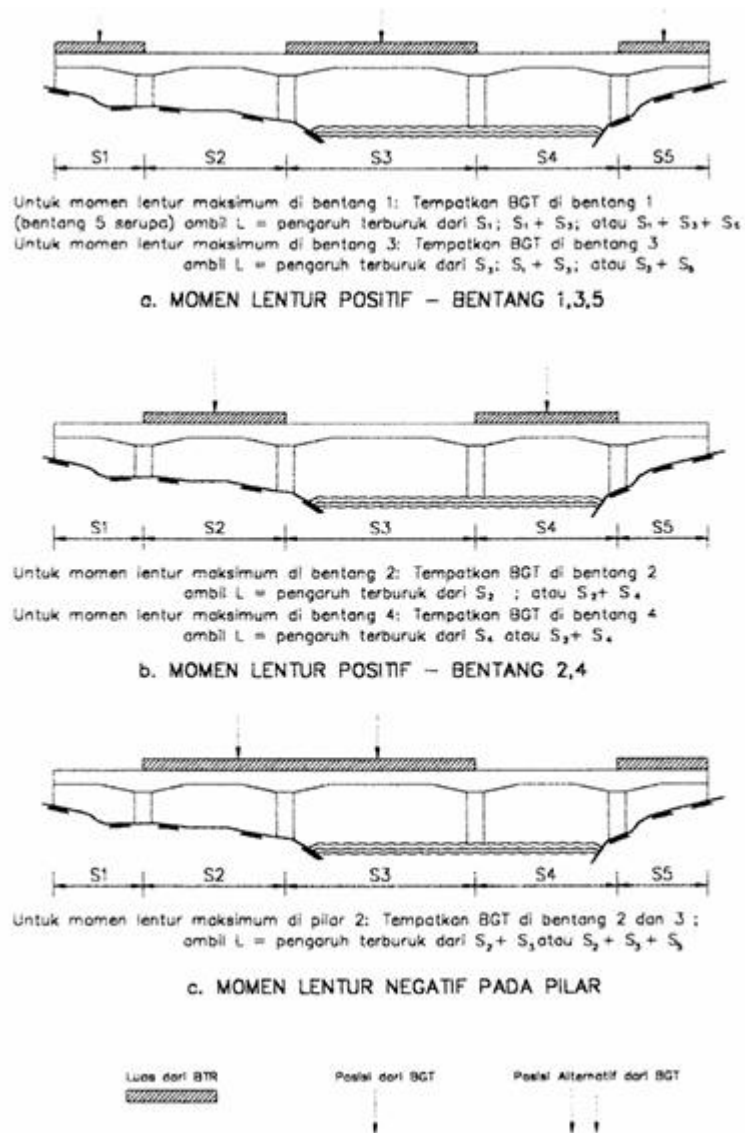
Gambar 2. 1 Beban Lajur "D"

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 49,0 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.

ii. Distribusi Beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 24. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 25



Gambar 2. 2 Alternatif Penempatan Beban "D" Dalam Arah Memanjang

Sumber : SNI 1725:2016

iii. Respon Terhadap Beban "D"

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

- Beban Truk “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban 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 2.4.

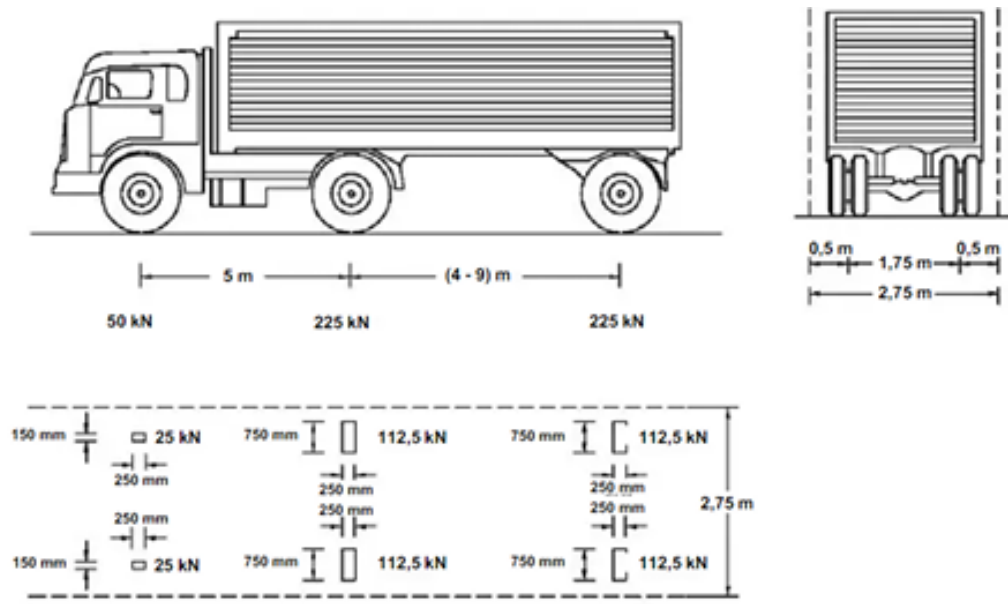
Tabel 2. 1 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725:2016

- Besarnya Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 22 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2. 3 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Sumber : SNI 1725:2016

ii. Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.2.

• Beban Rem (TB)

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 25

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang di masa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung

besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

- **Beban Tumbukan**

Berdasarkan SNI 1725:2016 beban tumbukan yang terjadi pada *railing* atau pembatas lainnya direncanakan dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria Kinerja *railing* terhadap tumbukan

Parameter	Mobil		Truk Pick-up	Truk Van	Truk Trailer Tipe Van		Truk Trailer Tipe Traktor-Tanker
	W (N)	7000	8000	20000	80000	220000	355000
B (mm)	1700	1700	2000	2300	2450	2450	2450
G (mm)	550	550	700	1250	1630	1850	2050
Sudut Tumbukan (θ)	20°	20°	25°	15°	15°	15°	15°

Sumber : SNI 1725:2016

Beban Akibat Lingkungan

- **Beban Angin**

Beban angin merupakan beban yang terjadi pada jembatan akibat tekanan angin yang dapat diperhitungkan dengan rumus berikut:

$$TEW = 0.0006 \times Cw \times (Vw)^2 \times Ab$$

Keterangan:

Vw = kecepatan angin rencana (m/s)

Cw = koefisien seret

Ab = koefisien luas bagian samping jembatan (m²)

Tabel 2. 3 Kecepatan Angin Rencana (Vw) Berdasarkan Lokasi Jembatan

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari Pantai	5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber : SNI 1725:2016

Tabel 2. 4 Koefisien Seret (CW) Berdasarkan Dimensi Struktur Bangunan Atas Jembatan

Tipe Jembatan	Cw
Bangunan Atas Masif: (1), (2)	
b/d = 1,0	2,1
b/d = 2,0	1,5
b/d = 6,0	1,25
Bangunan Atas Rangka	1,2
CATATAN: b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = lebar bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran	

Sumber : SNI 1725:2016

- **Beban Gempa**

Beban gempa merupakan beban yang terjadi pada jembatan akibat tekanan ketika terjadinya bencana gempa. Pengaruh beban gempa biasanya akan diperhitungkan pada jembatan dengan keadaan ekstrem. Pembebanan gempa pada jembatan diatur pada SNI 2833 2016 dengan rumus berikut:

$$EQ = \frac{Csm}{R} \times W_t$$

Keterangan:

EQ = Gaya beban gempa horizontal statis (kN)

Csm = Koefisien lentur elastik

R = Faktor modifikasi respon

W_t = Beban yang bekerja pada struktur (kN)

Pada perencanaan struktur bawah perlu ditentukan rencana material dan tipe struktur abutment berdasarkan tinggi abutment serta penentuan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan jarak kedalaman tanah keras dari permukaan tanah.

Tabel 2. 5 Ketentuan Pemakaian Jenis Pondasi Berdasarkan Kedalaman Tanah Keras

Kedalaman Tanah Keras	Tipe Pondasi
2 – 3 meter	Pondasi Telapak, Sumuran
10 meter	Pondasi Tiang Kayu

20 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>
30 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>
> 40 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>

Sumber : Penulis (2026)

2.5.4 Perhitungan Struktur

Untuk memeriksa apakah struktur yang dipakai mampu menahan beban yang bekerja, diperlukan perhitungan analisa pembebanan pada setiap komponennya. Struktur Jembatan Beton Prategang Kalipang terdiri dari komponen struktur sebagai berikut:

Railing

Railing pada Jembatan Beton Prategang Kalipang menggunakan model pipa sandaran baja dengan tiang sandaran yang terbuat dari beton. Pada *railing* beban yang bekerja yaitu beban mati (beban dari pipa sandaran dan tiang sandaran) dan beban hidup. Mengacu pada PPPPJR Bab III pasal 1.2.5.c halaman 10, desain tiang sandaran dirancang untuk dapat menahan beban horizontal 100 kg/m pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoar.

- **Beban Mati**

Beban mati pada *railing* diakibatkan dari berat *railing* itu sendiri. Beban tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$q_U = A_{TIANG\ SANDARAN} \times B_{JBETON} \times \gamma_{MS}^U$$

$$q_U = A_{PIPA\ SANDARAN} \times B_{JBAJA} \times \gamma_{MS}^U$$

- **Beban Hidup**

Mengacu pada PPPPJR Bab III pasal 1.2.5.c halaman 10, beban hidup yang terjadi pada *railing* sebesar 100 kg/m pada ketinggian 90 cm di atas trotoar

$$q_H = 100\text{ kg/m}$$

$$M_H = q_H \times 0,9 \times \gamma_{PL}^U$$

Setelah memperhitungkan bebannya, selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan parapet dengan terlebih dahulu merencanakan parameter-parameter berikut ini:

- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Selimut beton
- Tebal efektif
- Lebar yang ditinjau
- Faktor reduksi lentur
- Diameter tulangan lentur
- Diameter tulangan bagi

Setelah parameter-parameter tersebut direncanakan, selanjutnya dapat langsung menghitung tulangan letur parapet dengan rumus-rumus berikut ini:

$$(1) Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$(2) Rn = \frac{Mn}{b \times d}$$

$$(3) \rho b = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c}{f_y}$$

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

$$(5) \rho_{max} = 0,75 \times \rho b$$

$$(6) M = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$(7) \rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

Setelah itu, bandingkan antar nilai ρ dan ρ_{min} mana nilai yang paling besar, kemudian masukkan nilai tersebut untuk mencari luas tulangan utama yang dibutuhkan ke dalam rumus berikut:

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

Setelah menghitung luas tulangan utama yang dibutuhkan, selanjutnya dapat diperiksa diameter tulangan rencana terhadap luas tulangan utama yang dibutuhkan dan ditentukan jarak tulangnya berdasarkan luas penampang nominal yang terdapat pada tabel SNI 2052-2014 sesuai dengan ketentuan luas penampang nominal tulangan yang dibutuhkan. Setelah menghitung tulangan utama, selanjutnya dihitung luas penampang nominal tulangan bagi yang dibutuhkan dengan persamaan berikut ini:

$$As' = 50 \% \times As$$

Kemudian lakukan hal yang sama dengan memeriksa luas penampang nominal tulangan rencana dan jumlah tulangnya terhadap luas penampang nominal tulangan bagi yang dibutuhkan.

Trotoar

Trotoar merupakan bagian jembatan yang berguna untuk melayani pejalan kaki yang berada pada pinggir kiri – kanan lantai kendaraan dan dibuat lebih tinggi dari lantai kendaraan. Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.a halaman 10, pada perencanaan trotoar harus memperhitungkan beban hidup merata yang terjadi sebesar 500 kg/m^2 .

Kerb

Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.b halaman 10, pada perencanaan kerb harus memperhitungkan beban hidup horizontal yang terjadi, sebesar 500 kg/m pada 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan.

Plat Lantai

Plat injak merupakan bagian jembatan yang berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang terjadi di atasnya. Dalam merencanakan plat lantai yang sesuai SNI T-02-2005, tebal plat lantai jembatan dirumuskan menggunakan persamaan berikut:

$$200 \leq h_{PLAT} \geq 100 + 0,04L$$

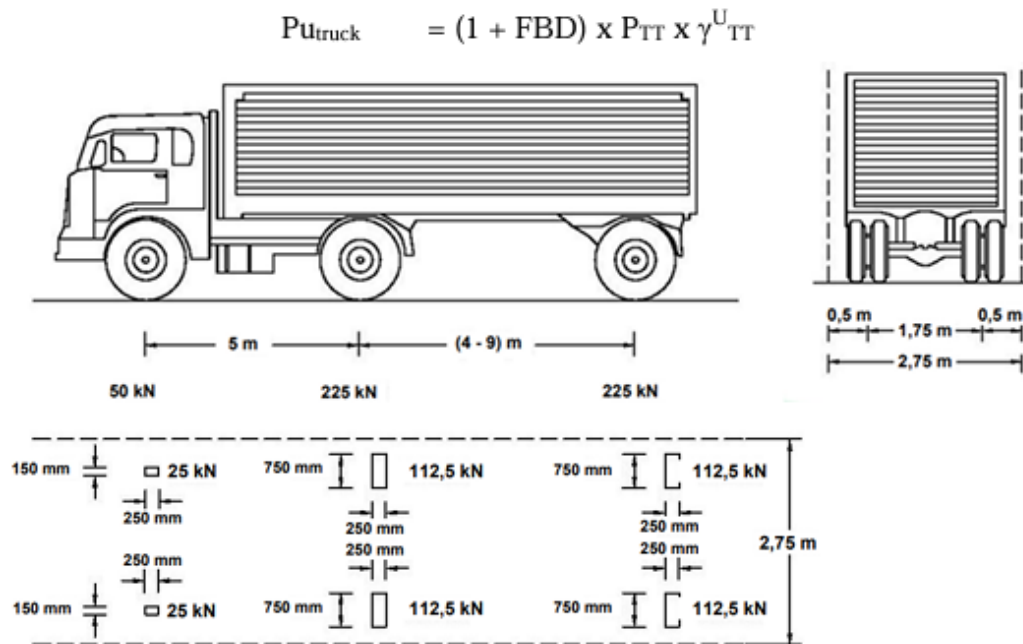
Setelah menentukan tebal plat lantai jembatan, selanjutnya dilakukan perencanaan parameter-parameter berikut untuk analisa pembebanan terhadap plat lantai:

$$\Sigma qu = \Sigma(h \times \text{berat jenis} \times \gamma^u)$$

$$M_{qx} = \frac{1}{10} \times qu \times L^2$$

$$M_{qx} = \frac{1}{10} \times qu \times L^2$$

Pada Plat Lantai terjadi momen akibat Beban Truk. Mengacu pada SNI 1725 2016 perhitungan momen beban lantai sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Momen Akibat Beban Truk

Sumber: SNI 1725 2016

Keterangan:

DLA = Faktor beban dinamis diambil 30% untuk beban T

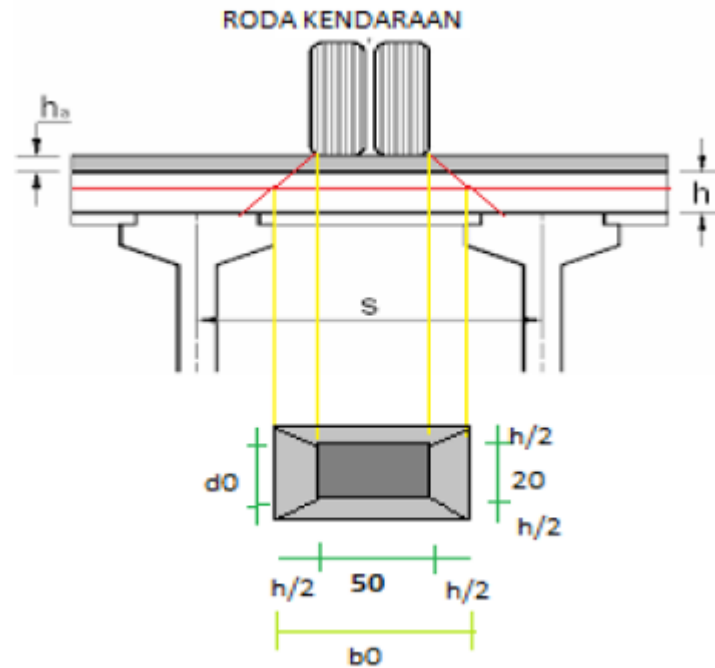
P_{TT} = Beban kritis roda truk

γ^U = Faktor beban truk berdasarkan material jembatan

Setelah menghitung beban truk, selanjutnya diperiksa kekuatan nominal plat lantai terhadap beban truck. Ketebalan plat lantai yang diizinkan harus memiliki nilai kekuatan nominal yang lebih dari nilai beban truk.

$$V_u > P_{u_{truk}}$$

Dengan V_u dapat dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut:



Gambar 2. 5 Distribusi Beban Roda Kendaraan

- (1) $b_0 = 200 + (2 \times h_{aspal}) + h_{plat}$
- (2) $d_0 = 500 + (2 \times h_{aspal}) + h_{plat}$
- (3) $b' = (2 \times b) + (2 \times d_0)$
- (4) $A = b' \times d$
- (5) $V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d$
- (6) $V_u = \phi \times V_c$

Keterangan:

- b_0 : Panjang efektif dari keliling kritis (mm)
- d_0 : Lebar efektif dari keliling kritis (mm)
- h : Tebal plat lantai kendaraan (mm)
- t_a : Tebal lapisan aspal dan overlay (mm)
- A : Luas penampang kritis (mm)
- d : Tebal plat lantai efektif ($h_{plat} - \text{selimut beton}$)

Momen akibat beban hidup yang bekerja pada plat lantai perlu diperhitungkan pada arah x dan y menggunakan tabel bittner dengan rumus berikut:

$$M_{hx} = f_{xm} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$M_{hy} = f_{ym} \times P_u \times t_x \times t_y$$

Tulangan plat lantai yang diperhitungkan terdiri dari tulangan utama dan tulangan bagi dengan langkah-langkah perhitungan tulangan sama seperti proses perhitungan tulangan parapet, yakni dengan menghitung momen nominal, faktor distribusi tegangan, diameter dan jarak tulangnya.

Diagfragma

Perhitungan beban pada diafragma hanya mempertimbangkan beban yang ditanggung oleh diafragma itu sendiri, karena diafragma tidak menahan beban lain. Sebelum melakukan perhitungan beban, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter perhitungannya sebagai berikut:

- Tebal diafragma
- Panjang diafragma
- Tinggi diafragma
- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Mutu baja tulangan sengkang
- Berat jenis beton
- Tebal selimut beton
- Diameter tulangan utama
- Diameter tulangan sengkang

Untuk menentukan tulangan yang digunakan pada diafragma, digunakan rumus – rumus berikut:

$$q_{DIA} = 1,2 \times t \times g \times BJ_{BETON}$$

$$Mu_{DIA} = \frac{1}{8} \times Q_{DIA} \times h^2$$

Setelah dilakukan perhitungan pembebanan, dilanjutkan dengan menentukan tulangan dengan menghitung momen nominal, factor tegangan, diameter tulangan, dan jarak tulangnya.

Gelagar (PC-I Girder)

Gelagar berfungsi untuk menopang berbagai beban, termasuk beban pelat lantai, beban perkerasan jalan, beban genangan air, beban dek jembatan, beban lalu lintas "D", dan beban truk "T". Dalam desain jembatan ini, digunakan balok penopang memanjang berupa balok prategang PCI. Penampang balok prategang harus dianalisis dalam dua kondisi, yaitu kondisi komposit (dengan pelat) dan kondisi non-komposit (tanpa pelat). Dalam desain balok penopang prategang,

terdapat sejumlah parameter yang perlu dipertimbangkan untuk perhitungan beban, sebagai berikut:

- a. Lebar jembatan
- b. Panjang jembatan (L)
- c. Tinggi girder + plat deck
 $h = 0,45L$ (Menurut AASHTO LRFD 2017)
- d. Jarak antar girder (s)
- e. Mutu beton (f_c')

Dalam merencanakan gelagar, diperhitungkan juga beban - beban yang terjadi, sebagai berikut:

i. Beban Mati

- Beban Struktur (MS)

Beban Struktur merupakan beban yang terdiri dari berat sendiri girder, berat plat lantai, berat plat deck, dan berat diafragma.

$$q_s = h * B_e * B_j$$

$$M_s = \frac{1}{8} * q_s * L^2$$

$$V_s = \frac{1}{2} * q * L$$

- Beban Struktur Tambahan (MA)

Beban struktur tambahan merupakan beban yang terdiri dari berat aspal dan air hujan.

$$q_A = h * B_e * B_j$$

$$M_A = \frac{1}{8} * q_A * P_{GELAGAR}^2$$

$$V_A = \frac{1}{2} * M_A * P_{GELAGAR}$$

ii. Beban Hidup

Beban hidup diperhitungkan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = 9 * \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{L} \right) * B_e$$

$$M_{BTR} = \frac{1}{8} * q_{BTR} * L^2$$

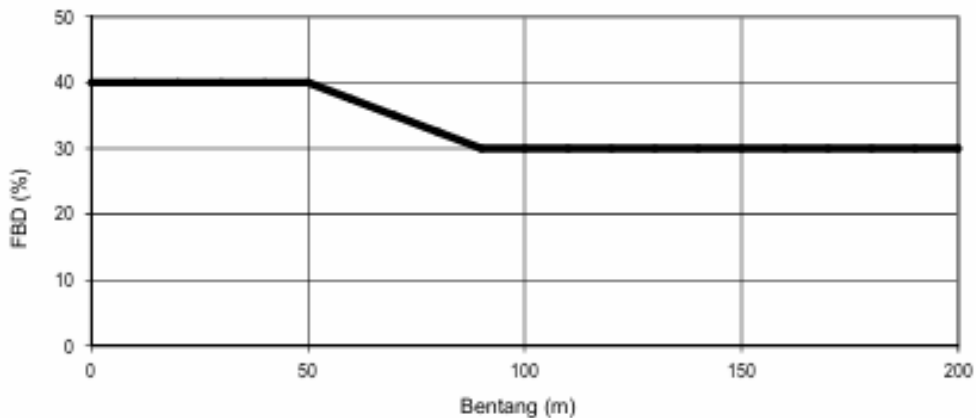
- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$q_{BGT} = (1 + DLA) * P * Be$$

$$M_{BTR} = \frac{1}{4} * q_{BGT} * L$$

P = 49,00 kN/m (Berdasarkan SNI 1725:2016)

FBD = Faktor Beban Dinamis



Gambar 2. 6 Grafik Faktor Beban Dinamis

Sumber : SNI 1725:2016

- iii. Beban Angin

Mengacu pada SNI 1725 2016, gaya total beban angin pada gelagar tidak boleh kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap untuk struktur rangka dan pelengkung, sedangkan untuk balok atau gelagar gaya total beban angin tidak boleh kurang dari 4,4 kN/mm.

Bearing Pad

Desain bantalan penahan beban mempertimbangkan beban vertikal dan horizontal yang ditopang oleh bantalan tersebut. Beban vertikal yang dipertimbangkan meliputi beban parapet, beban mati seragam, beban pelat lantai, beban lalu lintas, beban diafragma, dan beban balok, sedangkan beban horizontal meliputi beban akibat gaya pengereman, gaya gesekan, dan gaya gempa (Ali, 2016).

Setelah mempertimbangkan beban yang ditopang oleh bantalan penahan beban, dimensi bantalan penahan beban elastomer dapat dirancang sesuai dengan spesifikasi yang tercantum dalam Pasal 7.1.1 BMS BDM. Selanjutnya, verifikasi dimensi bantalan penahan beban elastomer yang dipilih terhadap kriteria inspeksi kontrol yang ditetapkan dalam Tabel 7.6 Pasal 7.1.1 BMS BDM sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Pemeriksaan Kontrol Bearing Pad

No.	Jenis Pemeriksaan	Kontrol
1	Pemeriksaan luas efektif minimum	$\frac{A_{eff}}{0,8 * A} \geq 1$
2	Pemeriksaan regangan total maksimum	$\varepsilon T \leq \frac{1,6}{\sqrt{G}}$
3	Pemeriksaan regangan maksimum	$\frac{\varepsilon_{shamks}}{\varepsilon_{sh}} > 1$
4	Pemeriksaan batas leleh	$\frac{1,4 * V}{\varepsilon * V_{LL}} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$
5	Pemeriksaan tegangan maksimum rata-rata	$\frac{15 * At}{V} \geq 1$
6	Pemeriksaan perputaran maksimum	$\frac{aa * a + ab * b}{4 * dc} \geq 1$
7	Pemeriksaan stabilitas tekan	$\frac{2 * be * G * S * A_{eff}}{1000 * V} \geq 1$
8	Pemeriksaan tebal baja minimum	$\frac{ts}{3} \geq 1$ $\frac{ts * A * fsy}{3000 * V * ti} \geq 1$
9	Pemeriksaan tahanan gesek terhadap geseran	$\frac{0,1 * V(3000 * A_{eff})}{H} \geq 1$

Sumber : BMS BDM Pasal 7.1.1

Plat Injak

Saat mendesain pelat pijakan, diperlukan analisis beban yang bekerja pada dan ditopang oleh pelat pijakan tersebut. Beban-beban ini meliputi pelat pijakan itu sendiri, beban aspal, dan beban tanah, yang dihitung sebagai berikut:

$$q_s = t * L * BJ$$

Keterangan:

t = Tebal struktur

L = Lebar struktur

BJ = Berat jenis materila struktur

Setelah menghitung masing-masing beban yang ditopang plat injak, selanjutnya dihitung momen ultimit (Mu) yang bekerja pada plat injak.

$$Mu = \frac{1}{2} * q * L^2$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan bagi dan tulangan lentur, yakni dengan menghitung faktor distribusi tegangan dan menentukan diameter dan jarak tulangannya sesuai dengan syarat yang telah ditentukan pada perhitungan faktor distribusi nominal.

Abutment

Desain abutmen harus disesuaikan dengan jenis pondasi yang digunakan dan elevasi jembatan yang direncanakan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, beban yang bekerja pada abutmen meliputi beban struktur atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah aktif adalah gaya horizontal yang bekerja pada dinding abutmen; saat dinding bergerak menuju tanggul di belakangnya, tekanan ini secara bertahap meningkat hingga mencapai nilai konstan. Sebaliknya, tekanan tanah pasif adalah tegangan horizontal yang berlawanan arah dengan tekanan tanah aktif. Di belakang abutmen terdapat massa tanah yang juga harus diperhitungkan sebagai beban tambahan akibat lalu lintas yang melewatinya. Beban lalu lintas ini umumnya diasumsikan setara dengan 0,6 m tanah yang bekerja secara merata di area lahan yang dilaluinya.

2.5.5 Penggambaran dan Penyusunan Spesifikasi

Dari perencanaan struktur atas dan struktur bawah jembatan yang telah diperhitungkan, selanjutnya dilakukan penggambaran desain atau yang bisa disebut juga sebagai preliminary design. Dimana preliminary design tersebut bertujuan untuk menggambarkan visual jembatan yang telah diperhitungkan sebagai bahan

untuk mempertimbangkan nilai ekonomi, aplikasi, dan rasionalitasnya (Supriyadi & Muntohar, 2007).

2.5.6 Perhitungan Volume Pekerjaan dan Rancangan Anggaran Biaya

Pada tahap perhitungan volume pekerjaan dan rancangan anggaran biaya, terdapat tahapan - tahapan sebagai berikut :

- a. Perhitungan Volume Pekerjaan
- b. Analisa Harga Satuan Dasar
- c. Analisa Harga Satuan Pekerjaan
- d. Perhitungan Bill of Quantity (BoQ) dan Rancangan Anggaran Pekerjaan (RAP)

2.5.7 Lokasi Jembatan Baja Kalipang

Pekerjaan konstruksi jembatan baja kalipang berlokasi di Jalan Raya Tuban - Semarang, Kecamatan Sarang, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Jembatan ini memiliki bentang 50 meter dan lebar keseluruhan 13 meter.