

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perencanaan Jembatan

Pembangunan jembatan ialah aspek krusial dalam pengembangan infrastruktur transportasi, yang bertujuan untuk penghubung antar wilayah. Jembatan tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antar wilayah, namun untuk mendukung mobilitas masyarakat serta berkontribusi dalam pertumbuhan ekonomi (Suprayitno & Soemitro, 2018).

Seiring dengan meningkatnya penggunaan transportasi, pembangunan jembatan telah menjadi prioritas pemerintah untuk memenuhi tuntutan penggunaan sarana transportasi yang semakin meningkat serta kompleks. Hal itu dilakukan guna memberikan mobilitas pertumbuhan ekonomi, variabel keselamatan serta efisiensi, serta optimalisasi usia pada jembatan (Supriyadi & Muntohar, 2007).

Dalam proses pembangunan jembatan melibatkan berbagai aspek perencanaan, termasuk analisis lokasi, desain struktural, serta estimasi biaya serta waktu. Selain itu, variabel estetika pada jembatan perlu diperhatikan. Jembatan umumnya memiliki dua unsur utama, berupa struktur atas jembatan serta struktur bawah jembatan. Struktur atas meliputi: parapet, plat lantai, diafragma, plat injak, serta *PCI Girder*. Bagian struktur bawah terdiri atas: *wingwall*, *bearing pad*, *abutment*, serta pondasi. Penjelasan mengenai proses perencanaan jembatan dapat diamati pada uraian berikut.:

2.1.1. Penentuan Jenis Jembatan

Penentuan jenis jembatan adalah salah satu langkah yang krusial. Pada proses ini memerlukan ketelitian serta keterlibatan memahami kondisi geografis lokasi yang akan dibangun. Selain itu, kebutuhan fungsional pada volume lalu lintas yang sesuai dengan spesifikasi serta biaya pembangunan serta pemeliharaan perlu diperhitungkan secara matang. Dengan menganalisa semua aspek secara detail, para insinyur akan dapat memilih jenis jembatan yang paling sesuai.

Dengan dasar tipe struktur yang dipakai, berikut jenis – jenis jembatan yang dapat dipakai (Supriyadi & Muntohar, 2007):

1. Jembatan Sederhana (*Slab Bridge*)

Jembatan sederhana merujuk pada struktur, desain, serta konstruksi yang minimalis. Biasanya dipakai untuk mengatasi bentang pendek atau menahan beban ringan. Jembatan sederhana sering kali memakai material seperti kayu, bambu, ataupun batu. Meskipun jembatan sederhana tetapi dapat dipakai untuk meghubungkan dua wilayah serta memfasilitasi aktifitas sehari-hari.

2. Jembatan Girder (*Girder Bridge*)

Jembatan girder adalah jembatan sederhana serta umum dipakai untuk jembatan yang memiliki bentang lebih dari 6 meter. Jembatan yang memakai balok girder sebagai penopang struktur atas jembatan. Pada jemabatan ini memiliki banyak jenis, karena dapat dinilai praktis serta efisien dibandingkan jenis jembatan lainnya. Namun pada jembatan girder terdapat Batasan karena semakin Panjang bentang akan semakin berat beban yang harus ditahan oleh gelagar. Maka dari itu, perlu dipastikan Panjang serta jenis struktur jembatan yang dipakai. Jembatan girder terdiri dari berbagai tipe gelagar, antara lain *PC-I Girder*, *PC-U Girder*, *PC-T Girder*, serta *Box Girder*..

3. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka bisa didefinisikan jembatan yang memakai rangka batang yang saling terhubung serta memiliki bentuk pola segitiga untuk menahan beban. Jembatan rangka akan mendistribusikan beban secara efisien melalui gaya tarik serta tekan pada balok untuk mencapai bentang yang lebih Panjang dibandingkan jembatan gelagar. Jembatan juga sering dipakai untuk jalur kereta api serta jalan raya dengan bentang menengah hingga Panjang, karena kekuatannya yang elevasi serta efisien pada penggunaan material.

4. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung memiliki bentuk struktur lengkung untuk mendistribusikan beban ke pilar di kedua ujungnya. Bentuk lengkung akan memungkinkan jembatan mampu menahan beban yang besar karena gaya tekan yang disalurkan ke arah horizontal bukan vertikal. Jembatan pelengkung sering ditemukan di lembah ataupun sungai dengan dasar yang kuat yang dimana pilar-pilar dapat ditanam dengan kokoh. Meskipun membutuhkan pondasi yang kuat, jembatan pelengkung dikenal karena kekuatannya serta bentuk estetika arsitekturnya yang khas.

5. Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridge*)

Jembatan kabel adalah jenis jembatan yang ikonik serta modern dengan memakai kabel baja bertegangan elevasi untuk menopang dek jembatan. Kabel-kabel ini akan terhubung langsung ke menara atau pilon untuk mentransfer beban lalu lintas ke struktur pendukung. Jembatan kabel akan efisien untuk bentang menengah hingga Panjang dengan menawarkan fleksibilitas desain serta estetika yang menarik.

Terdapat dua jenis jembatan kabel yaitu jembatan kabel gantung, yang memiliki kabel utama membentang diantara menara dengan kabel vertikal yang menggantung dengan dek, serta jembatan kabel pancang, yang langsung menghubungkan dek ke menara.

6. Jembatan Gantung

Jembatan gantung yaitu jembatan yang digantungkan pada kabel induk yang terbentang diantara Menara-menara tinggi. Jembatan gantung dirancang untuk mengatasi bentang yang sangat Panjang, dengan pilar-pilar yang menopang di tengah bentang. Meskipun dalam pembangunan jembatan termasuk kompleks serta mahal, jembatan gantung menawarkan keunggulan dalam fleksibilitas serta kemampuan dalam menahan beban yang besar. Hal itu menjadikan jembatan sebagai pilihan yang ideal untuk melintasi selat, teluk, ataupun lembah yang lebar serta luas.

0 - 15m	Flat Slab Beton	
10 - 18m	Gelagar Beton T	
18 - 25m	Modi Glg Beton T	
25 - 40m	Box Beton Bertulang	
25 - 40m	Gelagar I Pratekan	
40 - 300m	Box Free Cantilever	
40 - 200m	Rangka Baja	
150 - 400m	Pelengkung Baja	
200 - 500m	Cable-Stayed	
300 - 2000m	Gantung	

Gambar 2. 1 Tipe Struktur Jembatan
Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007

Jika jembatan diatas tidak dirancang khusus, pemilihan struktur atas dapat mengikuti standar Bina Marga yang merekomendasikan jenis struktur Dengan dasar bentang ekonomis serta kondisi arus lalu lintas bawah jembatan. Contohnya berupa *box culvert* untuk bentang 6 – 10 meter, *PC-I Girder* untuk bentang 16 – 60 meter, serta rangka baja untuk bentang 40 – 100 meter.

2.1.2. Penentuan Jenis Jembatan

1. Struktur Atas Jembatan

- a. Parapet, adalah bangunan yang dipasang pada bagian tepi jembatan untuk mencegah pengendaran atau pejalan kaki keluar dari batas jembatan. Selain itu, untuk mengurangi dampak angin pada kendaraan, serta dirancang untuk meningkatkan estetika jembatan. Material yang dipakai pada parapet bervariasi, seperti beton, baja, ataupun kombinasi dengan elemen pelindung tambahan lainnya seperti pagar penghalang untuk meredam benturan.
- b. Trotoar, adalah jalur khusus pejalan kaki yang posisinya lebih elevasi serta sejajar dengan jalan kendaraan supaya meningkatkan keamanan

serta kenyamanan. Selain itu, sebagai tempat berjalan serta sebagai ruang hijau ataupun area utilitas seperti pemasangan lampu jalan, rambu lalu lintas, tempat duduk, serta drainase. Material yang umum dipakai berupa beton, aspal, ataupun paving blok. Adapun desain modern dengan menambahkan jalur disabilitas, seperti *guiding block* serta akses landai.

- c. Plat lantai, adalah struktur utama yang menahan beban lalu lintas serta lingkungan, lalu menyalurkannya ke elemen pendukung seperti girder serta fondasi. Umumnya terbuat dari beton bertulang atau baja, tergantung jenis serta kebutuhan jembatan. Beton lebih sering dipakai untuk jembatan permanen, sesertagkan baja cocok untuk jembatan modular. Lebar jembatan harus mengikuti standar, dengan minimal 7 meter untuk dua lajur menurut PP No. 34 Tahun 2006. Selain itu, pelat lantai harus tahan pada kelelahan material serta memiliki permukaan yang rata demi kenyamanan pengguna.
- d. Plat dek, adalah elemen struktural utama jembatan yang langsung menanggung beban lalu lintas serta menyalurkannya ke elemen pendukung seperti girder atau struktur bawah. Pelat ini harus kuat, tahan lama, serta aman pada tekanan dinamis kendaraan. Material yang dipakai meliputi beton bertulang, baja, atau kombinasi, serta kasertag komposit seperti beton pracetak berlapis aspal. Selain sebagai lantai kerja, pelat dek juga berfungsi dalam sistem drainase untuk mencegah genangan air. Desainnya harus memperhitungkan beban, lingkungan, serta pemeliharaan agar jembatan tetap stabil serta awet.
- e. Diafragma, adalah struktur jembatan yang berfungsi untuk menjaga kestabilan bangunan saat terjadi gempa bumi ataupun angin kencang. Selain itu, untuk mendistribusikan beban yang bekerja pada plat lantai secara merata supaya mencegah terjadinya pergeseran antar gelagar.
- f. *Bearing pad*, adalah bantalan jembatan yang terletak antara girder serta pilar atau abutment, berfungsi meredam getaran, melindungi struktur, serta mendistribusikan beban secara merata. Terbuat dari karet

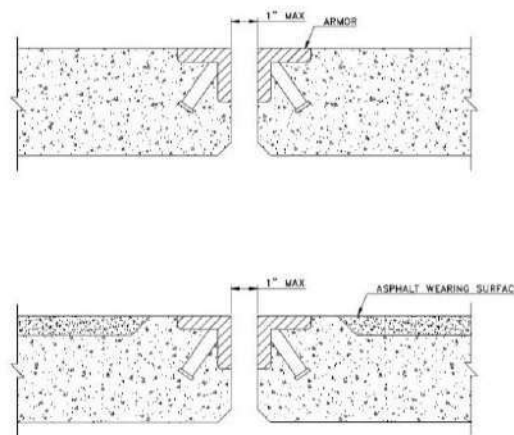
neoprene bertulang baja, bearing pad memungkinkan pergerakan kecil karena ekspansi, kontraksi, atau gempa. Beberapa dilengkapi lapisan PTFE untuk mengurangi gesekan. Perawatan rutin diperlukan agar fungsinya tetap optimal, terutama di jembatan dengan lalu lintas padat atau di wilayah rawan gempa.

- g. Gelagar, adalah balok horizontal pada jembatan yang menahan serta mendistribusikan beban vertikal dari pelat dek ke struktur pendukung seperti pier serta abutment. Material girder bisa berupa beton bertulang, baja, ataupun komposit. Jenis girder juga bervariasi tergantung kebutuhan struktural, panjang bentang, serta optimalitas material. Beberapa jenis umum meliputi:
 - PC-I *Girder*, untuk bentang pendek – menengah
 - PC-U *Girder*, untuk daya dukung tinggi, efisien untuk bentang menengah – panjang
 - PC-T *Girder*, biasanya dipakai untuk tol serta *flyover*
 - Box *Girder*, dipakai untuk bentang panjang serta beban berat.
- h. Plat injak, adalah elemen struktural yang menghubungkan jalan raya dengan lantai jembatan untuk menciptakan transisi yang mulus serta mengurangi guncangan. Terbuat dari beton bertulang atau pratekan, pelat ini menahan beban lalu lintas serta pergerakan tanah. Biasanya dilengkapi sambungan ekspansi untuk menyesuaikan perubahan suhu serta beban dinamis. Tanpa pelat injak yang baik, kendaraan bisa mengalami loncatan yang mengganggu kenyamanan serta merusak struktur. Perawatan rutin diperlukan agar tidak terjadi retak, penurunan tanah, atau erosi yang membahayakan. Desain pelat injak harus kuat, fleksibel, serta mudah dipelihara demi usia layanan optimal.
- i. *Expansion joint*, adalah komponen penting yang dipasang di sambungan antara jalan serta jembatan untuk mengakomodasi pergerakan karena suhu, beban lalu lintas, serta variabel eksternal lainnya. Fungsinya adalah mencegah kerusakan pada jalan serta struktur jembatan serta menjaga keamanan serta kenyamanan

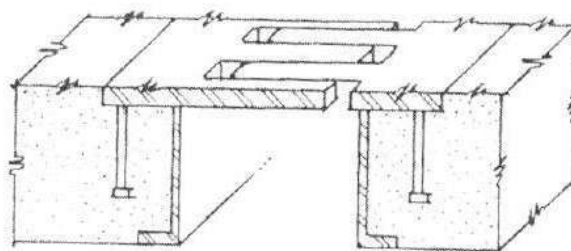
pengguna jalan. Komponen ini mampu menahan pergerakan horizontal serta vertikal, serta meredam getaran dari kendaraan berat demi kestabilan serta usia layanan jembatan yang lebih panjang. Dengan dasar desain serta fungsinya, expansion joint terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu:

1) *Expansion joint* terbuka

Expansion joint terbuka tidak memiliki penyegel, sehingga air serta kotoran bisa masuk ke celah. Contohnya termasuk *butt joint* yaitu sambungan sederhana dengan celah kecil serta *finger joint* yaitu memakai pelat baja berbentuk jari-jari. *Finger joint* cocok untuk jembatan bentang panjang karena mampu menahan pergerakan besar.



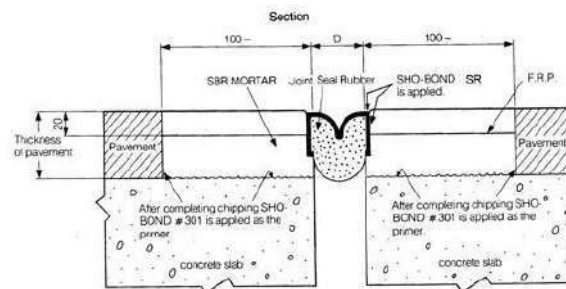
Gambar 2. 2 *Expansion Joint* tipe *Butt Joint*



Gambar 2. 3 *Expansion Joint* Tipe *Finger Joint*

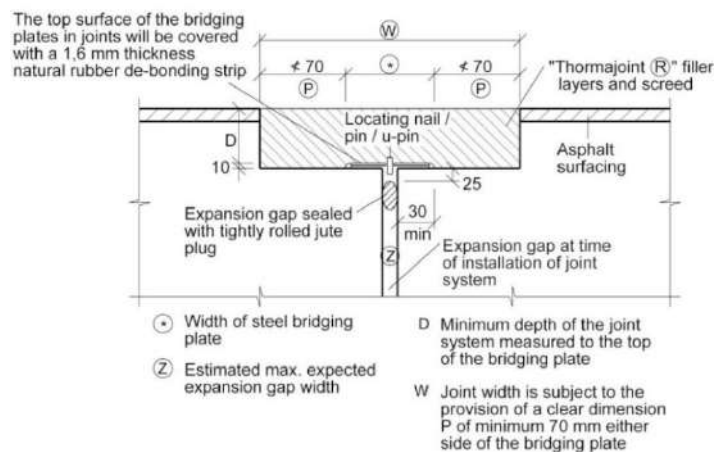
2) *Expansion joint tertutup*

Expansion joint tertutup dilengkapi sistem penyegelan untuk mencegah air serta kotoran masuk, sehingga lebih tahan korosi serta memperpanjang usia jembatan. Contohnya adalah *new cut-off joint*, yang memisahkan perkerasan dengan material fleksibel.



Gambar 2. 4 *Expansion Joint Tipe New Cutt-Off Joint*

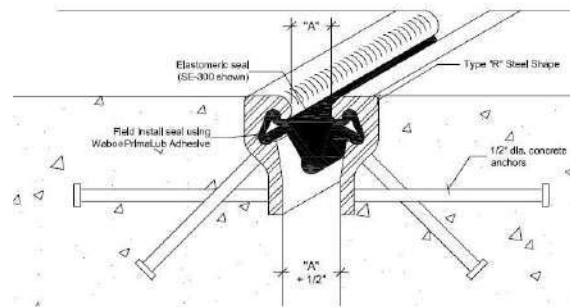
Selain itu, terdapat *Asphaltic plug joint*, yang memakai campuran aspal elastis untuk menyerap pergerakan struktur;



Gambar 2. 5 *Expansion Joint Tipe Asphaltic Plug Joint*

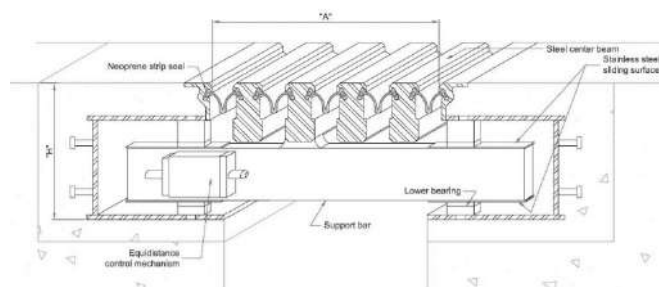
Strip Seal Joint, terbentuk atas elastomer yang ditempatkan ke dalam besi yang ditanam ke pelat beton serta memiliki beberapa tipe untuk beberapa pergerakan. *Strip seal joint*, yang

mengandalkan karet *elastomer* untuk menyegel sambungan serta mencegah kebocoran air;



Gambar 2. 6 *Expansion Joint Tipe Strip Seal Joint*

Modular joint, yang dirancang untuk menangani pergerakan besar dengan memakai beberapa celah sambungan yang disusun secara *modular*.

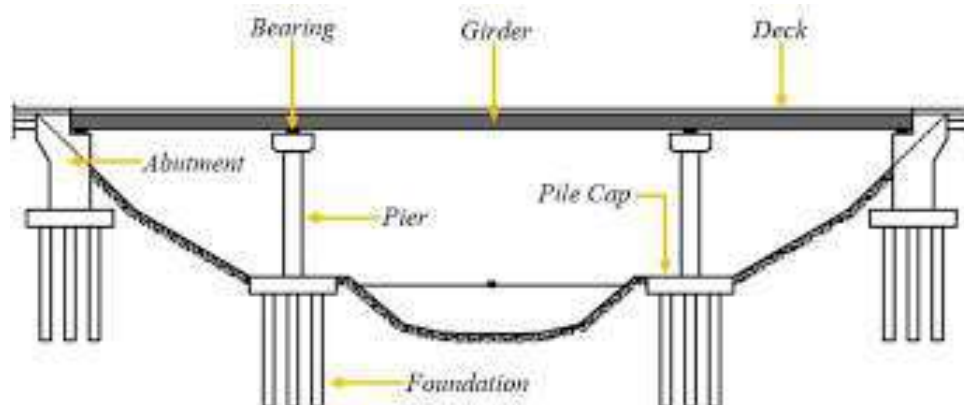


Gambar 2. 7 *Expansion Joint Tipe Modular Joint*

2. Struktur Bawah Jembatan

- a. Abutment, adalah elemen struktur jembatan yang berfungsi sebagai penyangga di ujung jembatan serta penghubung antara struktur atas serta tanah. Abutment menjaga kestabilan jembatan dengan menahan beban vertikal serta tekanan tanah, serta meredam gaya karena ekspansi, kontraksi, serta beban lalu lintas. Terbuat dari beton bertulang atau pratekan, abutment dirancang tahan pada beban statis serta dinamis serta dilengkapi sistem drainase untuk mencegah erosi.

- b. *Wingwall*, adalah dinding sayap yang memiliki fungsi menjaga bagian belakang abutment pada tekanan tanah yang bekerja.
- c. Pilar, adalah elemen struktural jembatan yang berfungsi menahan serta mendistribusikan tekanan dari struktur atas menuju pondasi, terutama pada jembatan dengan bentang panjang. Pilar harus kuat menahan beban vertikal serta gaya lateral seperti angin, gempa, atau kendaraan. Material pilar biasanya beton bertulang atau baja, dengan bentuk yang bervariasi sesuai kebutuhan desain serta kondisi lingkungan.
- d. Pondasi, adalah bagian bawah jembatan yang menyalurkan beban ke tanah dengan stabil. Jenis pondasi yang umum dipakai meliputi bore pile, tiang pancang, serta tiang tekan, yang dipilih Dengan dasar kondisi tanah. *Bore pile* cocok untuk tanah daya dukung rendah, tiang pancang dipakai untuk tanah kurang stabil, serta tiang tekan untuk tanah lunak dengan ruang terbatas. Pemilihan pondasi bergantung pada variabel seperti daya dukung tanah, beban, serta kondisi lingkungan untuk memastikan keamanan serta daya tahan jembatan.



Gambar 2. 8 Struktur Jembatan

2.1.3. Aksi beban Struktur Jembatan

Struktur jembatan akan menahan beban vertikal serta horizontal, sehingga pembagian jenis aksi beban diperlukan untuk memudahkan analisis serta kombinasi aksi beban (Rozaq et al., 2023). Menurut SNI 1725:2016 mengenai Aksi beban pada Jembatan, beban atas jembatan dikategorikan ke dalam beberapa jenis, masing-

masing memiliki karakteristik serta peran tersendiri dalam perancangan serta analisis struktur, seperti:

1. Beban Mati

Beban mati adalah beban tetap terhadap berat elemen struktural serta non – struktural jembatan, seperti gelagar, plat lantai, parapet, trotoar, lapisan perkerasan, serta system drainase, yang tidak berubah selama masa layanan jembatan. Nilai berat jenis material pada beban mati berdasarkan referensi dari SNI 1725:2016 serta ditampilkan sebagai bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Berat isi pada Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kN/m ³)
1.	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2.	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3.	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4.	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5.	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6.	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7.	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8.	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800
10.	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban berasal elemen non-struktural serta perubahan selama masa layanan jembatan, seperti lapisan perkerasan jalan,

drainase, pencahayaan jalan, kabel utilitas, serta pagar pengaman. Beban ini juga mencakup perubahan karena lingkungan, seperti deformasi material, penurunan struktural (*creep*), atau penyusutan beton (*shrinkage*). Untuk mengantisipasi perubahan tersebut, Tabel 2.2 menunjukkan nilai SNI 1725:2016 pada jembatan tetap aman serta berfungsi optimal dalam jangka panjang.

Tabel 2. 2 Variabel pada Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00*	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan (*): Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber: SNI 1725:2016

3. Beban Sendiri

Beban sendiri adalah beban tetap dari berat elemen struktural serta non-struktural jembatan, seperti plat lantai, trotoar, parapet, serta material konstruksi seperti baja serta beton. Beban ini dihitung secara akurat karena selalu bekerja sepanjang usia jembatan. Nilai variabel pembebanannya bereferensi pada SNI 1725:2016 untuk memastikan keamanan serta kinerja jembatan dalam jangka panjang.

Tabel 2. 3 Variabel Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

4. Beban Karena Tekanan Tanah (TA)

Parameter tekanan tanah nominal diperoleh Dengan dasar parameter tanah, seperti kepadatan, kadar air, kohesi, serta sudut geser dalam melalui pengujian lapangan serta laboratorium. Hal ini dipakai untuk menghitung tekanan tanah lateral (aktif, pasif, serta diam) yang memengaruhi kestabilan struktur bawah jembatan. Perhitungan tekanan tanah harus dikalikan dengan variabel beban sesuai SNI 1725:2016 untuk mengantisipasi variasi tanah serta ketidakpastian analisis, serta guna menjamin keamanan struktur jangka panjang. Pada tabel 2.4 adalah variabel beban karena tekanan tanah sesuai SNI 1725:2016.

Tabel 2. 4 Variabel Beban Karena Tekanan Tanah

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{TA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{TA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan Tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	(1)	
Catatan ⁽¹⁾ : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

Sumber: SNI 1725:2016

5. Beban Karena Lalu Lintas

a. Beban “D”

Beban “D” dipakai untuk menetapkan panjang bentang jembatan. Secara umum, beban ini terdiri atas 2 jenis, yaitu Beban Tersebar Merata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT). Nilai variabel aksi beban untuk beban “D” disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Variabel Beban pada Beban “D”

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

Sumber: SNI 1725:2016

- **Beban Tersebar Merata (BTR)**

Menurut SNI 1725:2016, dalam menentukan nilai Beban Tersebar Merata (BTR) sebagai berikut:

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

$$L > 30 \text{ m} \quad q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$$

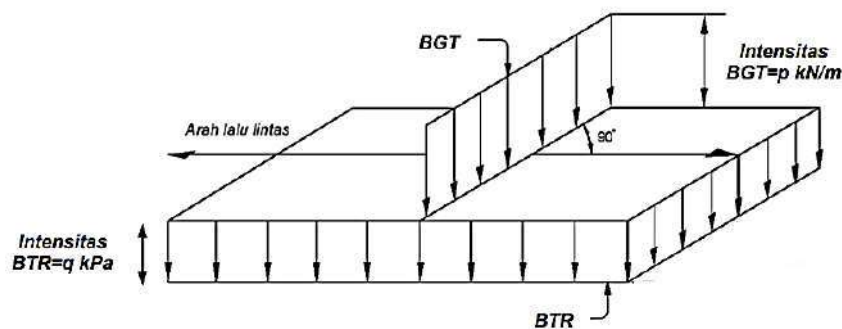
Keterangan:

q = beban BTR untuk arah memanjang (kPa)

L = total panjang jembatan (m)

- **Beban Garis Terpusat (BGT)**

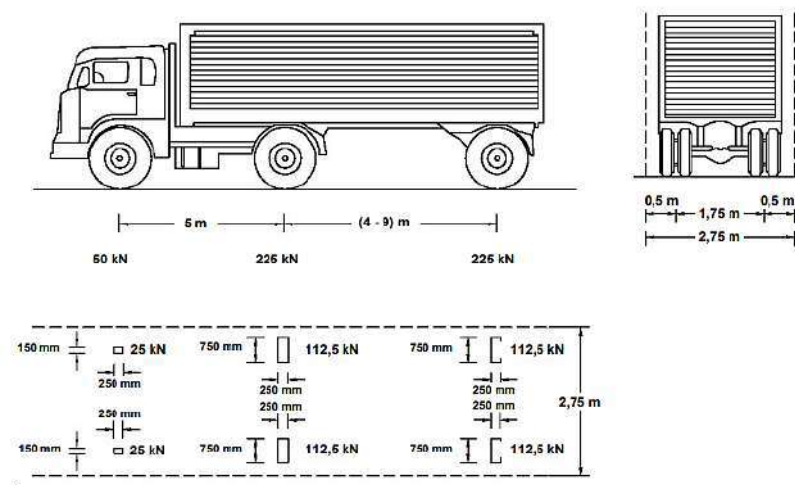
Pada jenis aksi beban ini, gaya bekerja tegak lurus searah lalu lintas, serta pada SNI 1725:2016 nilai aksi beban tersebut diputuskan sebesar 49 kN/m.



Gambar 2. 9 Penentuan Beban pada Beban “D”

b. **Beban “T”**

Beban “T” yaitu beban truk guna menentukan nilai struktur lantai kendaraan. Namun, pada beban “T” tidak bisa dipakai sekaligus dengan beban “D”. Pada gambar 2.3 adalah penjelasan dari penentuan beban beban “T”.



Gambar 2. 10 Penentuan Beban pada Beban “T”

c. Beban Rem (TB)

Untuk menentukan gaya rem diperoleh dari 25% berat truk desain ataupun 5% berat truk rencana yang ditambahkan dengan beban BTR.

d. Beban Sentrifugal

Gaya sentrifugal dihitung pada gaya horizontal dan bekerja di ketinggian 1,80 m diatas lantai kendaraan. Gaya horizontal itu akan dianggap sebagai prosen dari beban “D” pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan koefisien kejauhan dengan besar presentase rumus sebagai berikut:

$$Ks = 0,79 \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

Ks = koefisien gaya sentrifugal (prosen)

V = kecepatan rencana (km/jam)

R = jari jari tikungan (m)

e. Beban Pejalan Kaki

Dengan dasar SNI 1725:2016, beban pejalan kaki dirancang pada trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm dengan tingkatan beban sebesar 5 kPa, yang dapat disertai dengabeban kendaraan.

f. Beban pada Trotoar

Beban pada struktur trotoar diperhitungkan Dengan dasar beban hidup yang bekerja sebesar 200 kg/m². Saat perhitungan, beban struktur girder dihitung sebesar 60% pada beban hidup trotoar.

g. Beban pada Kerb

Struktur kerb bakal diperhitungkan guna menahan beban horizontal dari arah melintang jembatan sebesar 500 kg/m pada ketinggian 25 cm.

h. Beban Karena Tumbukan Kendaraan

Pada aksi beban ini difokuskan pada beban parapet yang telah sesuai Dengan dasar SNI 1725:2016.

Tabel 2. 6 Beban berasal Tumbukan Kendaraan

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

Sumber: SNI 1725:2016

i. Beban Angin

Beban angin disebabkan oleh adanya tekanan angin pada jembatan.

Perhitungan pada beban angin sebagai berikut:

$$T_{EW} = 0,0006C_W \times V_W^2 \times A_b$$

Keterangan:

V_{EW} = Kecepatan angin rencana untuk kondisi batas (m/s)

C_W = koefisien seret

A_b = area koefisien bagian samping jembatan (m²)

Tabel 2. 7 Koefisien Seret atas dasar Ukuran Struktur Atas

Tipe jembatan	C _w
Bangunan atas massif : (1), (2)	
b/d = 1,00	2,10
b/d = 2,00	1,50
b/d = 6,00	1,25
Bangunan atas rangka	1,2
Keterangan: b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar Parapet d = tinggi bangunan atas termasuk tinggi bagian Parapet	

Sumber: RSNI-T-02-2005

Tabel 2. 8 Kecepatan Angin Rencana Dengan dasar Lokasi Jembatan

Keadaan Batas	Lokasi	
	5 km dari pantai	>5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber: RSNI-T-02-2005

j. Beban Gempa

Beban gempa terjadi karena adanya pergeseran pada lempeng tanah yang dapat menimbulkan keruntuhan serta kerusakan pada bangunan. Untuk menghindari hal tersebut, dapat dicegah Dengan dasar rumus pada SNI 2833:2016 yaitu:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q = gaya gempa pada horizontal statis (kN)C_{sm} = koefisien respons pada gempa elastis

R = variabel modifikasi respons

W_t = berat total struktur mencakup beban mati serta beban hidup yang sesuai (kN)

2.2. *Building Information Modeling (BIM)*

Pemakaian Building Information Modeling (BIM) pada dunia konstruksi seiring waktu menjadi penting seiring dengan perkembangan teknologi. Penggunaan BIM juga dapat meningkatkan optimalitas serta produktivitas dalam proyek. BIM memungkinkan para engineer untuk merancang, merencanakan, serta mengelola proyek secara lebih kolaboratif serta terintegrasi. Di Indonesia, penerapan BIM mulai berkembang didorong dengan kebutuhan kualitas proyek yang semakin meningkat, serta untuk mengurangi risiko kecelakaan yang sering terjadi dalam pelaksanaan.

BIM yang adalah bentuk representasi digital yang menggambarkan tentang bentuk fisik serta fungsi dari teknologi. Teknologi yang menghubungkan berbagai proses untuk membuat, berkomunikasi, serta menganalisa model digital. Dalam BIM, setiap model disiplin harus digabungkan terlebih dahulu menjadi satu kesatuan. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi serta kolaborasi antar disiplin untuk memastikan semua elemen saling terintegrasi. Selain itu, BIM dapat memproteksi diri dari pengerjaan ulang ataupun *delay* saat tahap konstruksi (Antoni et al., 2023).

Singkatnya, BIM adalah metode manajemen proyek yang memakai seluruh informasi mengenai aspek bangunan untuk dibuat menjadi model 3D (Suasira et al., 2021). Saat ini BIM telah menawarkan berbagai aspek gambar digital, berupa model 3D yang mencakup tentang panjang, lebar, serta tinggi. Kemudian berkembang menjadi gambar 4D mengenai penjadwalan, serta 5D mengenai estimasi biaya, serta analisa kinerja bangunan ataupun pekerja. Selain itu, BIM juga dapat dipakai untuk pemeliharaan struktur bangunan (Antoni et al., 2023).

Walaupun penggunaan BIM di Indonesia relevan masih minim, tetapi diharapkan mampu dipakai dalam meningkatkan produktivitas serta kualitas proyek, serta mengurangi kesalahan dalam proses perancangan. Sehingga mampu menghadapi persaingan di pasar global.

2.3. SAP 2000

Program SAP 2000, yang adalah sebuah program analisis struktur dengan orientasi objek (*Object Oriented Programming*), menawarkan berbagai kemudahan serta keunggulan dalam perancangan struktur. Program ini menyediakan antarmuka yang ramah pengguna, memungkinkan pengguna untuk membuat model, menganalisis, serta mendesain struktur dalam satu tampilan, serta dilengkapi dengan berbagai *template* untuk memodelkan struktur umum (Muh. Syahril, 2022).

Salah satu keunggulan utama SAP 2000 terletak kemampuannya dalam merancang struktur baja maupun struktur beton. Untuk perencanaannya struktur baja, program ini mampu membuat rancangan elemen struktur dengan memilih profil baja yang paling efisien serta ekonomis dari databasenya. Hal ini menghilangkan kebutuhan pengguna untuk menentukan profil awal, karena program akan menyarankan profil terbaik. Fitur ini secara khusus hanya berlaku untuk desain struktur baja (Hartawan et al., 2024).

Berbeda dengan perancangan struktur beton, di mana pengguna masih harus mendefinisikan elemen awal sebagai asumsi dari gambar desain. Meskipun demikian, program ini akan memberikan total area tulangan yang diperlukan. Selain itu, SAP 2000 juga memungkinkan pengguna untuk menentukan ukuran permukaan serta diameter tulangan. Maka dari itu, sebelum menggunakan, harus memilih objek terlebih dahulu sebelum menjalankan perintah analisis yang diinginkan (Syahbana & Fachri, 2021).

2.4. Autodesk Revit

Dengan berkembangnya teknologi informasi, BIM membawa perubahan skala besar dalam merancang, membangun, serta mengelola proyek konstruksi. Salah satu *software* BIM yang populer dipakai di Indonesia saat ini adalah *Autodesk Revit*.

Revit adalah salah satu *software* yang menawarkan bentuk virtual 3D yang berisi mengenai perancangan arsitektur, struktur, bahkan MEP. Selain itu, hasil pemodelan dari *revit* dapat diintegrasikan secara detail dengan volume pekerjaan, jadwal, estimasi, serta sebagainya. Hal ini membantu menghemat waktu dalam perencanaan serta pelaksanaan proyek (Rofiq & Witjaksana, 2023).

Keunggulan dari *revit* meliputi kemudahan integrasi dengan perangkat lunak lain, kemampuan mendeteksi tabrakan desain untuk mencegah konflik, serta mempercepat proses kerja. Akan tetapi, *revit* juga memiliki kelemahan, seperti biaya lisensi yang mahal serta kebutuhan *hardware* dengan spesifikasi tinggi. Maka dari itu, sejak awal *revit* dirancang khusus untuk membantu para arsitek serta para profesional bangunan dapat merancang serta mendokumentasikan proyek mereka ke perangkat ini (Alimin et al., 2023).

Meskipun penggunaan *revit* memberikan hasil positif, tetapi penerapan *software* ini masih menghadapi tantangan, seperti biaya awal yang tinggi, kesulitan adaptasi bagi praktisi, keterbatasan tenaga ahli, serta penolakan pada metode digital. Solusinya adalah untuk selalu meningkatkan pelatihan bagi praktisi agar mampu memakai *revit* sesuai standar serta mendukung penerapan teknologi BIM (Alimin et al., 2023).

2.5. Microsoft Excel

Microsoft Excel adalah aplikasi spreadsheet buatan Microsoft yang mampu dipakai dalam sistem operasi Windows serta Mac OS. Software ini memiliki kemampuan unggul dalam melakukan perhitungan dan pembuatan grafik, sehingga termasuk dalam perangkat lunak paling populer untuk pengolahan data dan analisis numerik hingga saat ini. (Alimin et al., 2023).

Penggunaan *excel* telah mendunia, termasuk Indonesia. Kemudahan serta fleksibilitas dalam penggunaannya, menjadikan *excel* sebagai alat digital yang *professional* dalam bisetrag konstruksi. Maka dari itu, pada sektor ini, *excel* dapat dipakai untuk manajemen proyek mulai dari perencanaan hingga pengendalian. Walaupun penerapan *excel* akan menjadi sebuah tantangan bagi pengguna, karena akan mengalami perkembangan serta revolusi, *excel* akan dengan mudah mengambil keputusan yang lebih akurat.

2.6. Naviswork

Naviworks adalah perangkat lunak yang dipakai untuk mengintegrasikan model 3D dari berbagai sumber menjadi satu model gabungan. Aplikasi ini sangat berguna

dalam mendeteksi bentrokan antar elemen bangunan, melakukan simulasi konstruksi 4D (Penjadwalan waktu), serta memvisualisasikan proyek secara keseluruhan. Dengan *Navisworks*, proyek dapat diidentifikasi masalah desain serta konstruksi sebelum dimulai, mengurangi risiko kesalahan, keterlambatan, serta biaya tambahan, serta memfasilitasi kolaborasi yang lebih baik antar berbagai pihak yang terlibat dalam proyek.

2.7. Microsoft Project

Microsoft Project yaitu sebuah software komputer yang dirancang guna membantu membuat jadwal proyek, terutama di bidang konstruksi. *Ms Project* akan sangat dengan anggaran yang telah ditetapkan. (Handayani & Mustofa, 2018).

Implementasi *ms project* dapat membantu menciptakan manajemen proyek lebih optimal. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengelola proyek secara lebih efisien serta efisien (Wohon, 2015). Sehingga, peningkatan kapasitas sumber daya dalam pengembangan keterampilan perlu dilakukan secara berkala supaya pengguna dapat lebih optimal dalam mengoperasikan *ms project*.

2.8. Estimasi Biaya

Dalam dunia konstruksi, estimasi biaya dikenal dengan istilah *Begrooting* dalam bahasa Belanda serta *Construction Cost Estimate* dalam bahasa Inggris. Proses ini bertujuan untuk memperkirakan besaran anggaran yang dibutuhkan sebelum proyek konstruksi dimulai. Estimasi biaya berperan sebagai acuan awal dalam perencanaan keuangan proyek serta dapat dipakai sebagai pedoman sementara selama pelaksanaan konstruksi, mengingat perhitungan biaya proyek dapat mengalami penyesuaian seiring berjalannya pembangunan.

Berikut adalah beberapa jenis metode perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang umum dipakai dalam perencanaan proyek konstruksi:

1. Estimasi Kasar (*Preliminary Estimate*) Metode ini dipakai pada tahap awal perencanaan dengan pendekatan perkiraan Dengan dasar pengalaman atau proyek sejenis. Biasanya dihitung memakai harga satuan per meter persegi atau per meter panjang untuk konstruksi jembatan.

2. Estimasi Per Unit (*Unit Price Estimate*) Menghitung biaya Dengan dasar harga satuan tiap elemen pekerjaan, seperti pondasi, struktur atas, perkerasan, serta elemen tambahan lainnya. Setiap unit dikalikan dengan volume pekerjaan untuk mendapatkan total biaya.
3. Metode Analisis Harga Satuan (*Detailed Estimate*) Perhitungan dilakukan dengan menganalisis harga satuan material, tenaga kerja, serta alat secara lebih rinci. Metode ini mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang dikeluarkan oleh pemerintah atau standar *industry*.
4. Metode Volume serta Bahan (*Quantity Take-Off*) Perhitungan didasarkan pada volume pekerjaan yang diambil dari gambar desain teknis serta spesifikasi proyek. Setiap volume dikalikan dengan harga material serta biaya tenaga kerja untuk mendapatkan total biaya per item pekerjaan.
5. Estimasi Dengan dasar Indeks atau Variabel (*Factor Estimate*) Dipakai dalam proyek skala besar, metode ini mengacu pada indeks biaya dari proyek sebelumnya dengan mempertimbangkan variabel eskalasi harga material, upah tenaga kerja, serta inflasi dalam kurun waktu tertentu.
6. Metode Parametrik (*Parametric Estimate*) Memakai model matematis atau statistik untuk menghitung biaya Dengan dasar variabel-variabel tertentu, seperti panjang jembatan, jenis material, serta teknologi konstruksi yang dipakai.
7. Metode *Cost Plus* (*Cost-Plus Estimate*) Biaya konstruksi dihitung Dengan dasar total pengeluaran riil ditambah dengan margin keuntungan kontraktor. Metode ini sering dipakai dalam kontrak terbuka atau proyek dengan fleksibilitas anggaran.

Dengan memakai metode perhitungan yang tepat, estimasi biaya dapat dilakukan dengan lebih akurat serta realistis, sehingga proyek konstruksi dapat berjalan sesuai rencana serta anggaran yang tersedia.

2.9. Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek adalah proses perencanaan serta pengaturan urutan aktivitas dalam suatu proyek untuk memastikan penyelesaian tepat waktu, efisien, serta

sesuai dengan anggaran yang telah ditentukan. Dalam proyek konstruksi, penjadwalan sangat penting untuk mengelola sumber daya, tenaga kerja, material, serta menghindari keterlambatan yang dapat mengakibatkan peningkatan biaya.

Penjadwalan proyek melibatkan identifikasi tahapan pekerjaan, durasi setiap aktivitas, serta ketergantungan antar tugas. Hal ini memungkinkan pengelola proyek untuk memutuskan jalur kritis (*critical path*), yaitu jalur pekerjaan yang memiliki durasi terpanjang serta menentukan waktu selesainya proyek secara keseluruhan.

Berikut adalah beberapa metode penjadwalan proyek yang umum dipakai dalam konstruksi:

1. *Bar Chart (Gantt Chart)*

- Metode penjadwalan paling sederhana yang memakai diagram batang horizontal untuk merepresentasikan aktivitas proyek pada waktu.
- Mudah dipahami serta dipakai untuk memantau kemajuan proyek.
- Kurang efisien dalam menangani proyek yang kompleks dengan banyak ketergantungan antar aktivitas.

2. *Critical Path Method (CPM)*

- Memakai diagram jaringan (*network diagram*) untuk menentukan jalur kritis dalam proyek.
- Membantu mengidentifikasi aktivitas yang tidak boleh terlambat agar proyek selesai tepat waktu.
- Berguna untuk proyek dengan banyak aktivitas yang saling bergantung.

3. *Program Evaluation and Review Technique (PERT)*

- Mirip dengan CPM tetapi lebih fleksibel dalam menangani ketidakpastian waktu penyelesaian aktivitas.
- Memanfaatkan tiga jenis estimasi waktu (optimis, paling mungkin, serta pesimis) untuk menentukan durasi aktivitas.
- Tepat dipakai untuk proyek yang memiliki banyak variabel serta ketidakpastian tinggi, seperti proyek penelitian atau inovasi teknologi.

4. *Line of Balance (LOB)*

- Dipakai untuk proyek dengan aktivitas yang berulang, seperti pembangunan jalan atau jembatan dengan banyak segmen.
- Memastikan keseimbangan antara produksi serta penggunaan sumber daya agar tidak terjadi pemborosan atau keterlambatan.
- Efisien untuk proyek yang bersifat linier atau berulang.

5. *Metode Precedence Diagramming (PDM)*

- Memakai diagram jaringan yang lebih fleksibel daripada CPM karena memungkinkan hubungan lebih kompleks antar aktivitas.
- Mengakomodasi hubungan seperti Finish-to-Start (FS), Start-to-Start (SS), Finish-to-Finish (FF), serta Start-to-Finish (SF).
- Cocok untuk proyek besar yang memiliki banyak aktivitas serta ketergantungan yang bervariasi.

6. *Resource – Oriented Scheduling*

- Berfokus pada ketersediaan serta alokasi sumber daya (material, tenaga kerja, peralatan).
- Dipakai untuk memaksimalkan pemakaian sumber daya agar tidak ada *idle time* atau *bottleneck*.
- Berguna ketika sumber daya terbatas serta harus dipakai secara efisien.

7. *Fast Tracking and Crashing*

- *Fast Tracking*: Mempercepat proyek dengan melakukan beberapa aktivitas secara paralel yang sebelumnya dijadwalkan berurutan.
- *Crashing*: Menambah sumber daya seperti tenaga kerja atau peralatan untuk mempercepat penyelesaian proyek dengan biaya tambahan.
- Dipakai dalam kondisi mendesak ketika proyek harus selesai lebih cepat dari jadwal awal.