

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Building Information Modelling* (BIM)

Building Information Modelling (BIM) adalah teknologi yang mampu mengidentifikasi karakteristik suatu bangunan dalam bentuk digital, biasanya berisi informasi berupa elemen-elemen bangunan yang dijadikan dasar untuk pengambilan keputusan selama masa siklus hidup bangunan. Siklus hidup bangunan yang dapat diolah oleh BIM dapat berupa proses konstruksi dan pengoperasian, kuantitas dan kualitas material, pembagian lingkup kerja.

Konsep BIM secara teoritis muncul dan dikembangkan di Georgia Institute of Technology pada akhir tahun 1970-an. Pada tahun 1987, Graphisoft meluncurkan produk perangkat lunak yaitu ArchiCAD. ArchiCAD merupakan produk yang berbasis *Computer-Aided Design* (CAD) pertama yang mampu menghasilkan geometri 2D dan 3D. Perangkat lunak ArchiCAD merupakan peningkatan drastis dalam program CAD pada saat itu karena ArchiCAD memungkinkan pembuatan model proyek tiga dimensi (3D) (Dey, 2010). Menurut Bergin (2012), pengembangan *software* ArchiCAD dianggap sebagai titik awal penggunaan BIM secara efektif dalam industri AEC.

Istilah *Building Information Modelling* (BIM) digunakan pertama kali pada tahun 2002 untuk menggambarkan desain virtual, konstruksi dan manajemen fasilitas (Harris, 2010). BIM telah berkembang pesat secara signifikan pada industri *Architecture, Engineer, and Construction* (AEC) karena manfaat yang dirasakan oleh kontraktor pada industri AEC untuk mengintegrasikan proses proyek konstruksi. (Saeed Rokooei, 2015). BIM diprakarsai untuk mempresentasikan proses pekerjaan konstruksi pada bangunan secara virtual sebelum konstruksi fisik yang sebenarnya dilakukan.

Building Information Modeling (BIM) adalah suatu konsep yang dapat membuat model bangunan secara digital dalam bentuk pemodelan 3D yang berisi informasi data geometris dan non geometris pada suatu bangunan. Informasi tersebut akan saling terintegrasi untuk dikolaborasikan oleh stakeholder dalam proyek.

2.1.1. Manfaat BIM

Penggunaan BIM sangat diperlukan dalam konstruksi saat ini dikarenakan BIM mampu untuk memvisualisasikan seluruh lingkup pekerjaan proyek ke dalam pemodelan 3D. BIM diharapkan dapat mempercepat pengembangan proses konstruksi secara singkat untuk meningkatkan keberlanjutan, menekan biaya konstruksi dan sumber daya.

Kehadiran BIM yang kian berkembang pesat dalam industri AEC (*Architecture, Engineering, dan Construction*) dapat mengubah kebiasaan proses konstruksi secara tradisional yang dimana kerap sering terjadi pekerjaan ulang saat pelaksanaan konstruksi berlangsung. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan waktu pelaksanaan konstruksi. Melalui visualisasi 3D yang dihasilkan oleh BIM, para pihak yang terkait dalam proyek dapat menemukan masalah yang akan mungkin terjadi.

Selain itu, terdapat beberapa manfaat penggunaan BIM dalam pekerjaan konstruksi adalah sebagai berikut :

1. BIM dapat membantu dalam proses *clash detection*, yang secara otomatis menemukan kemungkinan tabrakan antara elemen bangunan, sehingga dapat dihindari sebelum konstruksi dimulai
2. BIM dapat mengendalikan biaya konstruksi. Dengan memanfaatkan model BIM, pekerjaan ulang pada masa konstruksi dapat dihindari mulai sejak fase perancangan sehingga dapat menghemat waktu, biaya, dan material selama tahap konstruksi.
3. BIM menyediakan database berupa informasi serta data dari model 3D yang dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak lainnya sehingga

memungkinkan untuk membuat atau merevisi desain yang lebih baik, sekaligus dapat menghemat waktu dan mempercepat kinerja proyek.

4. Memudahkan dalam pemeliharaan konstruksi. Stakeholder yang terlibat dapat melakukan manajemen fasilitas dalam hal pemeliharaan karena model BIM dapat memberikan informasi berupa data aset yang akurat.

Rayendra & Soemardi (2014) menjelaskan bahwa keuntungan dari penerapan BIM adalah sebagai berikut :

1. Meminimalisir *lifecycle* bangunan yang terjadi dengan meningkatkan kolaborasi para *stakeholder* proyek.
2. Mempertajam dokumentasi yang berkualitas tinggi dan akurat selama proses pembangunan konstruksi
3. Menghasilkan produk berkualitas tinggi dan mengurangi potensi konflik
4. Dapat menekan biaya proyek serta meminimalisir limbah bahan konstruksi yang dihasilkan

2.1.2. Dimensi BIM

Bentuk dimensi dalam konsep BIM adalah sebagai berikut :

1. BIM 2D

BIM 2D ini merupakan dasar dari dimensi BIM yang terdiri dari model tahap awal yang berfokus dalam bentuk gambar dua dimensi. Informasi yang dibuat menggunakan BIM 2D adalah gambar kerja.

2. BIM 3D

BIM 3D mencakup visualisasi model bangunan dalam tiga dimensi yang memungkinkan visualisasi geometri dan hubungan spasial yang tepat dalam sebuah proyek.

BIM 3D ini mulai menerapkan kerja sama berbagai disiplin dengan mengintegrasikan semua data ke dalam satu model.

3. BIM 4D

Pada BIM 4D mulai dilakukan penjadwalan proses pekerjaan dan pemantauan progres pekerjaan dengan kemampuan memvisualisasikan

urutan konstruksi. Proses ini mencakup integrasi tahapan proyek dan urutannya ke dalam model tiga dimensi.

4. BIM 5D

Dengan menambahkan informasi biaya ke dalam model 4D, BIM 5D memungkinkan estimasi biaya konstruksi yang lebih akurat dan terperinci. Biaya dikaitkan dengan elemen bangunan, memungkinkan perhitungan biaya secara real-time dan analisis biaya siklus hidup.

5. BIM 6D (Sustainability)

Pada dimensi ini, kolaborasi antar disiplin yang terjadi adalah integrasi lingkungan dan membantu melakukan analisis konsumsi energi, efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan keberlanjutan.

6. BIM 7D

Penambahan informasi yang relevan untuk manajemen dan pemeliharaan bangunan setelah konstruksi selesai. Ini mencakup data tentang elemen bangunan, manual operasi, dan jadwal pemeliharaan.

BIM dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat implementasi atau *maturity* dalam beberapa level yang dijelaskan sebagai berikut (Jeffrey & Kristian, 202)

1. Level 0 BIM

Pada level ini, gambar yang dibuat masih manual (*paper based*) serta belum terjadi kolaborasi.

2. Level 1 BIM

Pada level ini sudah diterapkan kombinasi desain yang berasal dari gambar 2D dan model 3D, dimana setiap disiplin/pelaku memiliki standar sendiri-sendiri dan sudah dilakukan kolaborasi atau pertukaran informasi

3. Level 2 BIM

Pada level ini pemodelan 3D disertai dengan berbagai macam informasi seperti volume bahan konstruksi, penjadwalan proyek, dan estimasi biaya disertai dengan kolaborasi atau pertukaran informasi dan manajemen file atau folder

4. Level 3 BIM

Level ini merupakan pengembangan dari level 2, di mana informasi yang ditampilkan berupa *open BIM* dan *lifecycle management*. Pada tahap ini, koordinasi antar stakeholder dan pertukaran informasi dilakukan secara penuh.

2.2 Autodesk Revit

Autodesk Revit merupakan salah satu *software* BIM yang dapat digunakan untuk membuat desain ke dalam model 3D. Program ini mengkolaborasikan antar disiplin terhadap model. Manfaat penggunaan *Autodesk Revit* bagi pengguna yakni untuk memperoleh informasi proyek yang disajikan melalui visual dan analisis. Selain itu, *software* ini mampu memprediksi kinerja proyek sebelum pelaksanaan konstruksi dilakukan (Reyendra & Soemardi, 2014). *Autodesk Revit* dapat membuat perencanaan untuk menentukan tahapan pelaksanaan konstruksi dengan membuat pemodelan 3D yang berasal dari gambar 2D. Kemudian disajikan visualisasi berupa rendering pemodelan 3D sehingga pengguna dapat melihat bentuk yang telah didesain.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ilyas, dkk. 2022) dalam menganalisis *Quantity Take Off* material pada struktur *Abutment* Jembatan menggunakan *Autodesk Revit* dan dibandingkan dengan perhitungan secara manual, hasilnya terdapat nilai selisih antara perhitungan volume pada tiap item pekerjaan. Hal ini dikarenakan *Autodesk Revit* dapat menghitung hasil volume secara langsung berdasarkan data geometri pada pemodelan yang dibuat.

2.3 Microsoft Project

Microsoft Project merupakan salah satu *software* yang berfungsi untuk mengelola data penjadwalan proyek. *Microsoft Project* menawarkan berbagai fasilitas yang dapat membantu pengguna dalam membuat penjadwalan proyek seperti *setting*

jadwal kerja yang dapat disesuaikan dengan hari dan jam kerja proyek, pembagian sumber daya, menangani *multiple project*, serta memantau kemajuan proyek yang sedang berlangsung.

Keuntungan dalam menggunakan *Mircrosoft Project* adalah kemampuan untuk membuat penjadwalan produksi secara efektif dan efisien. Selain itu, mudah untuk membuat susunan serta perubahan jadwal yang tepat serta informasi biaya dapat diperoleh secara langsung selama periode tertentu. (Ardya, 2022) menyatakan bahwa keuntungan yang didapatkan apabila kelola manajemen proyek menggunakan *Microsoft Project* adalah sebagai berikut :

1. Penjadwalan produksi dapat dilakukan secara efektif dan efisien, sebab ditunjang oleh informasi alokasi waktu yang dibutuhkan untuk tiap proses, serta kebutuhan sumber daya sepanjang waktu
2. Memperoleh informasi aliran biaya secara langsung
3. Penjadwalan dapat dilakukan modifikasi
4. Penyusunan jadwal produksi yang akurat dapat diselesaikan lebih cepat

2.4 Autodesk Navisworks

Autodesk Navisworks merupakan perangkat lunak berbasis BIM yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi masalah dalam desain, merencanakan proyek, serta mengoordinasikan pekerjaan tim secara efektif. *Autodesk Navisworks* mendukung berbagai format file 3D dan memungkinkan penggabungan model dari berbagai software desain seperti Revit, AutoCAD, Tekla Structures dan lainnya.

Pada Autodesk Navisworks ditampilkan berupa informasi berupa simulasi dan animasi model 3D yang diintegrasikan dengan penjadwalan serta biaya proyek yang dibuat (Johansson et al., 2015). Proses ini dapat membantu dalam perencanaan konstruksi yang lebih akurat, memungkinkan visualisasi urutan pekerjaan, dan mengidentifikasi potensi keterlambatan atau masalah dalam jadwal.

2. 5 Perencanaan Jembatan

2.5.1. Penentuan Jenis Jembatan

Dalam menentukan jenis jembatan perlu diperhatikan terhadap tipe struktur yang akan digunakan. Pemilihan jenis jembatan sangat berpengaruh terhadap panjang bentang. Berdasarkan tipe struktur yang digunakan, jenis-jenis jembatan dapat dibedakan berbagai macam yakni : (Bambang Supriyadi, 2007:18)

1. Jembatan Pelat (*Slab Bridge*)

Jembatan jenis ini menggunakan pelat beton sebagai struktur utamanya. Pelat (Slab) yang dibuat sebagai lantai jembatan bisa berupa slab tunggal atau beberapa slab yang disusun secara paralel. Jembatan jenis pelat (slab) biasanya digunakan untuk bentangan pendek hingga menengah seperti jembatan jalan lokal dan jembatan pejalan kaki.

2. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)

Jembatan gelagar merupakan jembatan yang menggunakan balok gelagar sebagai penopang struktur atas jembatan. Jenis jembatan ini sangat banyak digunakan karena dinilai praktis dan efektif dibandingkan menggunakan jenis jembatan yang berbeda dengan bentang yang sama panjangnya. Beberapa jenis gelagar yang digunakan adalah *PC-I girder*, *PC-U girder*, *Box Girder*, *PC-T girder*.

3. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka batang merupakan jembatan yang dibuat dengan menggunakan beberapa rangka yang dihubungkan hingga berbentuk kerangka segitiga (truss) yang bertujuan untuk mendistribusikan beban secara merata. Antar rangka disambung berupa dilas atau menggunakan baut. Jembatan rangka

ini dapat dibuat dari material seperti kayu, besi, dan baja. Saat ini, jembatan rangka ini banyak menggunakan material dari besi dan baja.

4. Arch Bridge (Jembatan Pelengkung)

Jembatan jenis ini menggunakan struktur pelengkung untuk mendistribusikan beban pada struktur atas ke arah kedua tumpuan.

5. Jembatan Kabel (Cable Stayed bridge)

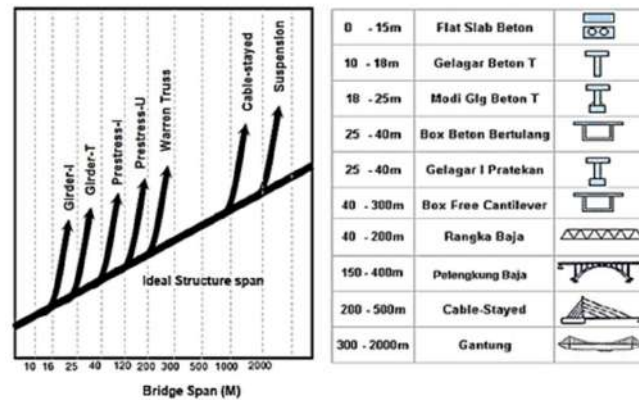
Jembatan ini menggunakan kabel sebagai penahan terhadap lantai kendaraan. Pada jembatan jenis ini, kabel langsung ditumpu oleh menara (tower).

6. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan yang menggunakan kabel penggantung untuk menopang lantai jembatan dari tumpuan satu ke tumpuan yang lainnya. Jenis jembatan ini memungkinkan digunakan terhadap bentang yang panjang. Sistem pendukung struktur jembatan gantung terdiri dari kabel utama (main cable) yang berfungsi untuk memikul kabel gantung (suspension bridge). Kabel utama ditopang pada menara (tower)

Apabila sebuah jembatan tidak direncanakan secara khusus, maka dalam merencanakan struktur atas jembatan dapat mengacu pada standar Bina Marga sesuai bentang ekonomis serta kondisi lalu lintas dibawah jembatan seperti :

1. *Box Culvert* bentang 6 s/d 10 meter
2. *Corrugated Steel Plate* bentang 6 s/d 12 meter
3. Gelagar beton bertulang tipe T atau PC-T girder bentang 6 s/d 20 meter
4. Gelagar beton pratekan tipe I atau PC-I girder bentang 16 s/d 60 meter, tipe tee bentang 16 s/d 60 meter, dan tipe boks bentang 30 s/d 60 meter
5. Gelagar komposit tipe I atau PC-I girder bentang 20 s/d 60 meter dan tipe boks bentang 20 s/d 60 meter
6. Rangka baja bentang 40 s/d 100 meter



Gambar 2. 1 Bentang Ekonomis Jembatan Bina Marga

(Sumber : Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, 2021)

2.5.2. Penentuan Lebar Jembatan

Dalam menentukan lebar jembatan perlu diketahui berbagai aspek salah satunya adalah berdasarkan klasifikasi jalan.

1. Berdasarkan lajur lalu lintas rencana

Tabel 2. 1 Tipe Jembatan Berdasarkan Lajur Rencana

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Jembatan	Lebar Jembatan (mm)	Jumlah lajur
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	$5500 \leq w < 8000$	2
	$8250 \leq w < 10750$	3

	$11000 \leq w < 13500$	4
	$13750 \leq w < 16250$	5
	$w \geq 16500$	6

2. Berdasarkan kelas jalan

- Jalan Bebas Hambatan

Lebar jembatan dapat mengacu terhadap lebar badan jalan bebas hambatan yakni memiliki sedikitnya 2 lajur setiap arah dengan lebar masing-masing lajur sekitar 3,5 meter.

- Jalan Arteri

Jembatan untuk jalan arteri memiliki jalur lalu lintas dengan lebar 3,5 m untuk setiap lajurnya.

- Jalan kolektor

Jembatan untuk jalan kolektor didesain memiliki lebar berkisar 6-9 meter untuk dua lajur lalu lintas.

- Jalan Lokal

Jembatan untuk jalan lokal memiliki lebar berkisar antara 5-6 meter untuk satu arah atau sekitar 7-8 meter jika mendukung lalu lintas dua arah dengan masing-masing memiliki 2 lajur.

- Jalan Kecil

Jembatan pada jalan kecil didesain memiliki lebar sekitar 5,5 meter dan hanya untuk mendukung satu lajur lalu lintas.

2.6 Komponen Jembatan

Jembatan mempunyai komponen-komponen yang mendukung. Komponen-komponen jembatan terdiri dari :

1. Struktur Atas

- Diafragma

Diafragma adalah salah komponen jembatan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban yang bekerja pada pelat lantai secara merata serta mencegah antar gelagar agar tidak saling bergeser.

- Pelat Lantai

Pelat lantai sebagai salah satu komponen jembatan yang dimana berfungsi sebagai tempat yang akan digunakan untuk aktivitas lalu lintas pada kendaraan.

- Parapet (Barrier)

Parapet sebagai komponen pelengkap jembatan memiliki fungsi sebagai penahan atau pelindung untuk kendaraan yang melewati jembatan.

2. Struktur Bawah

- *Abutment*

Abutment merupakan komponen jembatan yang berfungsi untuk menahan beban vertikal maupun horizontal dan menjaga kestabilan tanah timbunan dbelakang dinding.

- *Pile Cap*

Pile Cap memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban dari struktur atas struktur menuju pondasi secara merata serta untuk menjaga stabilitas agar tidak terjadi guling maupun geser pada *Abutment*

3. Komponen Pendukung

- Bantalan (bearing pad)

Bantalan (bearing pad) merupakan komponen penghubung antara struktur atas yakni balok gelagar dengan struktur bawah yakni *Abutment*. Fungsi bantalan adalah meredam getaran yang disebabkan baik yang disebabkan akibat beban lateral maupun beban lalu lintas.

- Sambungan Siar Muai

Sambungan siar muai atau expansion joint berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan serta perubahan seperti memuai dan menyusut yang diakibatkan oleh faktor lingkungan seperti perubahan suhu

- Wingwall

Wingwall merupakan tembok atau dinding yang berfungsi untuk menahan beban akibat tanah timbunan di belakang *Abutment*

- Pilar

Pilar atau biasa disebut pier merupakan komponen jembatan yang berfungsi sebagai pendukung jembatan apabila balok gelagar mencapai batas bentangnya serta menyalurkan beban vertikal dari balok gelagar ke pondasi untuk diteruskan ke dalam tanah

- Gelagar

Gelagar merupakan balok yang memiliki fungsi sebagai penopang untuk pelat lantai jembatan juga sebagai menyebarkan beban akibat beban pada pelat lantai

2. 7 Pembebanan Jembatan

Analisis pembebanan terhadap struktur jembatan dilakukan untuk menilai apakah struktur jembatan dapat menahan beban sehingga jembatan dapat digunakan secara optimal selama umur rencana jembatan. Pembebanan terhadap struktur jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 dengan rincian sebagai berikut

1. Beban Mati

Massa pada setiap bagian bangunan dapat ditentukan dengan menghitung dimensi dan berat jenis berdasarkan material yang digunakan. Berat dari bagian struktur jembatan dapat dihitung dengan kalikan massa terhadap percepatan gravitasi (g). Nilai Percepatan gravitasi yang digunakan adalah $9,81 \text{ m/s}^2$.

Tabel 2. 2 Berat Jenis dan Kerapatan Massa Material

(Sumber : SNI 1725:2016)

No	Bahan	Berat Isi (kN/m^3)	Kerapatan Massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755

4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f_c' < 35$ MPa $35 < f_c' < 105$ MPa	22,0-25,0 $22+0,022f_c'$	2320 $2240 + 2,29f_c'$
8	Baja	78,5	7850
9	Kayu ringan	7,8	800
10	Kayu keras	11,0	1125

a. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri merupakan berat pada bagian jembatan yang telah menjadi elemen struktural ditambah dengan berat elemen non struktural yang memikul diatasnya.

Tabel 2. 3 Faktor Beban untuk Beban Mati Sendiri

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	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 cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

b. Berat Mati Tambahan (MA)

Berat mati tambahan adalah berat seluruh komponen elemen non struktural pada jembatan yang besarnya dapat berubah sepanjang umur jembatan.

Tabel 2. 4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan batas layan		Keadaan batas ultimit	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

2. Beban akibat tekanan tanah

Beban ini disebabkan akibat karakteristik tanah disekitar struktur. Karakteristik tanah diperoleh dari hasil pengujian tanah baik di lapangan maupun di laboratorium, atau diambil angkanya berdasarkan Pasal 7.4 SNI 1725:2016.

Tabel 2. 5 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi batas layan		Kondisi batas ultimit	
	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				

a. Tekanan tanah aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi akibat pergerakan tanah urugan di belakang dinding yang bergerak menekan dinding penahan ke arah luar. Nilai tekanan tanah aktif dapat dihitung dengan menggunakan rumus teori Rankine berikut :

$$Ka = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Keterangan :

Ka = Koefisien tekanan tanah aktif

ϕ = sudut geser tanah ($^{\circ}$)

Tekanan aktif dengan berbagai kondisi tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

- Untuk tanah non kohesif

$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times H^2 \times Ka$$

- Untuk tanah kohesif

$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times H^2 \times Ka - 2c\sqrt{Ka}$$

Keterangan :

Pa = Tekanan tanah aktif (kN/m)

γ_s = Berat isi tanah (kN/m³)

H = Tinggi dinding (m)

C = Kohesi (kN/m²)

K_a = Koefisien tanah aktif

b. Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi ketika gaya mendorong dinding penahan tanah menuju ke arah tanah urugan. Nilai tekanan tanah pasif dapat dihitung dengan menggunakan rumus teori Rankine berikut :

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Keterangan :

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

ϕ = sudut geser tanah (°)

Tekanan pasif dengan berbagai kondisi tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

- Untuk tanah non kohesif

$$P_a = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times H^2 \times K_p$$

- Untuk tanah kohesif

$$P_a = \frac{1}{2} \times \gamma_s \times H^2 \times K_p - 2c\sqrt{K_p}$$

Dimana,

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

γ_s = Berat isi tanah (kN/m³)

H = Tinggi dinding (m)

c = Kohesi (kN/m²)

K_p = Koefisien tanah pasif

c. Tambahan beban akibat beban hidup

Beban ini disebabkan akibat beban kendaraan yang diasumsikan akan melewati timbunan tepat di belakang dinding abutment. Rumus untuk menghitung beban tambahan akibat beban hidup sebagai berikut :

$$\Delta_p = k \gamma_s h_{eq}$$

Δ_p = tekanan tanah akibat tambahan beban hidup (kPa)

k = koefisien tekanan tanah

γ_s = berat jenis tanah (kN/m³)

h_{eq} = tinggi tanah ekuivalen untuk beban kendaraan (m)

Tabel 2. 6 Tinggi ekuivalen timbunan untuk beban kendaraan pada Abutment

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tinggi Abutment (h)	h_{eq} (m)
1,5 m	1,2
3 m	0,9
≥ 6 m	0,6

3. Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur “D”

Beban Lajur “D” merupakan beban yang bekerja pada seluruh jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

Tabel 2. 7 Faktor beban untuk beban Lajur “D”

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Kondisi batas layan	Kondisi batas ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder baja	1,00	2,00

Beban Lajur “D” terdiri dari Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT)

➤ Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban Terbagi Rata (BTR) mempunyai intensitas dengan besaran tertentu yang tergantung pada panjang total yang dibebani dalam arah memanjang. Besaran nilai BTR yang mengacu pada SNI 1725:2016 yaitu :

- Jika $L \leq 30$ m, $q = 9,0$ KPa
- Jika $L > 30$ m, $q = 9,0 \times (0,5 + \frac{15}{L})$ KPa

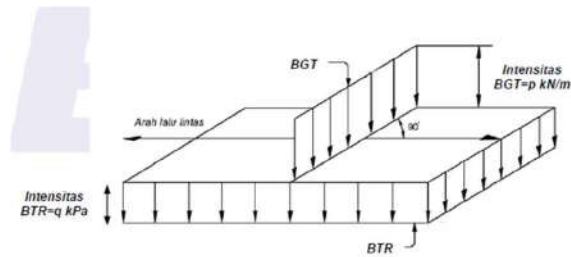
Keterangan :

Q = Intensitas BTR dalam arah memanjang jembatan (KPa)

L = Panjang total jembatan yang dibebani (m)

➤ Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban Garis Terpusat (BGT) ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besaran intensitas q yang ditentukan SNI 1725:2016 sebesar 49,0 kN/m.



Gambar 2. 2 Beban Lajur "D"

(Sumber : SNI 1725:2016)

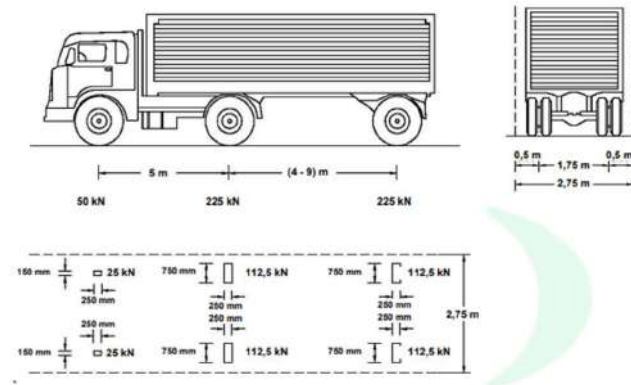
b. Beban Truk "T" (TT)

Beban Truk "T" merupakan beban kendaraan truk semi trailer 3 as gandar yang menempati beberapa posisi pada lajur lalu lintas rencana. Truk semi trailer yang digunakan sebagai acuan untuk pembebanan memiliki beban sebesar 500 kN. Kemudian, beban truk dikalikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD sebesar 30%.

Tabel 2. 8 Faktor beban untuk beban "T"

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TT})	
		Kondisi batas layan	Kondisi batas ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder baja	1,00	2,00



Gambar 2. 3 Pembebanan Truk berat 500 Kn

c. Beban Rem

Berdasarkan SNI 1725:2016, besarnya beban rem diambil nilai yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Beban rem diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal.

d. Beban akibat tumbukan kendaraan (TC)

Beban akibat tumbukan kendaraan timbul akibat gaya reaksi yang dihasilkan ketika sebuah kendaraan menghantam struktur jembatan seperti barrier, kepala jembatan, ataupun pilar.

4. Beban Aksi lingkungan

a. Beban Angin (EWs)

- Beban angin horizontal

Beban angin diasumsikan bekerja secara merata pada struktur yang terekspos oleh angin. Daerah yang terekspos oleh angin meliputi luas

area berupa lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap datangnya arah angin.

Jembatan yang memiliki elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

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

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)

V_0 = Kecepatan gesekan angin

Tabel 2. 9 Nilai V_0 dan Z_0 berbagai kondisi

(Sumber : SNI 1725:2016)

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

Beban angin pada struktur (EW_s)

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

Tabel 2. 10 Nilai Tekanan Angin Dasar

(Sumber : SNI 1725:2016)

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
------------------------	-------------------	-------------------

Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Gaya angin tekan tidak boleh kurang dari 4.4 kN/m pada bidang tekan dan 2,2 kN/m pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, dan tidak kurang dari 4,4 kN/m pada balok atau gelagar

Tabel 2. 11 Nilai Tekanan Angin Dasar untuk Berbagai Sudut Serang

(Sumber : SNI 1725:2016)

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

b. Gaya angin pada kendaraan (EW_L)

Jembatan harus direncanakan mampu memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan yang dimana nilai tekanan ini diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm. Gaya ini bekerja tegak lurus 1800 mm diatas permukaan jalan.

Tabel 2. 12 Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

(Sumber : SNI 1725:2016)

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

c. Beban gempa

➤ Beban gempa lateral

Jembatan harus direncanakan dengan kemungkinan runtuh yang sangat kecil serta tidak berdampak pada kerusakan yang signifikan. Pengaruh beban gempa menggunakan analisa pendekatan statik ekuivalen beban gempa. Beban gempa diasumsikan bekerja pada arah horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien terhadap berat total struktur.

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

Keterangan :

 E_Q = Gaya gempa horizontal statis C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis R_d = faktor modifikasi respon W_t = berat total struktur

Koefisien respon elastik (C_{sm}) didapatkan berdasarkan peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan yang disesuaikan terhadap daerah gempa dan periode ulang gempa rencana.

➤ Beban gempa vertikal

Berdasarkan SNI 2833:2016, nilai beban gempa vertikal diambil sebesar 10% dari reaksi akibat beban mati permanen struktur.

➤ Kelas situs

Kelas situs merupakan klasifikasi yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan respon tanah terhadap getaran gempa disuatu titik. Penentuan kelas situs mengacu pada SNI 2833:2016.

Tabel 2 - Kelas situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa			
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3m$) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5m$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35m$		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Gambar 2. 4 Kelas Situs Beban Gempa

(Sumber : SNI 2833:2016)

➤ Faktor situs

Untuk menentukan respon spektra dipermukaan tanah, dibutuhkan nilai faktor amplikasi untuk PGA, periode pendek, dan periode 1 detik.

Tabel 3 - Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_2)

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 $S_s \leq 0.25$	PGA = 0,2 $S_s = 0.5$	PGA = 0,3 $S_s = 0.75$	PGA = 0,4 $S_s = 1.0$	PGA > 0,5 $S_s \geq 1.25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Gambar 2. 5 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan S_s

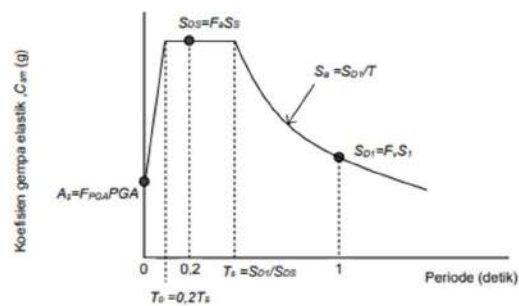
(Sumber : SNI 2833:2016)

Tabel 4 - Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_1)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Gambar 2. 6 Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik



Gambar 2. 7 Diagram Respon Spektra

(Sumber : SNI 2833:2016)

Respon spektra dipermukaan tanah ditentukan dari 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa indonesia tahun 2017 dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

$$S_{DS} = Fa \times Ss$$

$$S_{D1} = Fv \times S1$$

Keterangan :

PGA = Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar

Ss = Percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik)

S1 = Percepatan gempa untuk periode 1 detik

➤ Koefisien respon gempa elastis (C_{sm})

1. Periode lebih kecil dari T_o

$$C_{sm} = \frac{(S_{DS} - A_s)T}{T_o} + A_s$$

2. Periode lebih besar atau sama dengan T_o

$$C_{sm} = S_{DS}$$

3. Periode lebih besar dari T_s

$$C_{sm} = \frac{S_{DS}}{T} + A_s$$

➤ Zona gempa

Zona gempa dipakai dalam menentukan metode analisis gempa yang akan dipakai.

Tabel 2. 13 Zona Gempa

Koefisien percepatan	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

➤ Faktor Modifikasi Respon

Tabel 2. 14 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk bangunan bawah

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2. 15 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

➤ Kombinasi Pengaruh Gaya Gempa

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan yang ditinjau terhadap arah x dan arah y diperhitungkan dengan menggunakan rumus berikut :

$$DL + EQ_{LL} + EQ_x \pm 0,3EQ_y$$

$$DL + EQ_{LL} + EQ_y \pm 0,3EQ_x$$

Dimana,

DL = Beban mati (kN)

LL = Beban hidup (kN)

y_{EQ} = Faktor beban hidup kondisi gempa

- Jembatan Sangat Penting = 0,5
- Jembatan Penting = 0,3
- Jembatan Lainnya = 0

EQ_x = Beban gempa arah x (kN)

EQ_y = Beban gempa arah y (kN)

2.8 Kombinasi Pembebanan

1. Keadaan Batas Ultimit

Keadaan ini diperhatikan dalam perencanaan untuk memastikan terhadap kekuatan dan kestabilan jembatan agar lebih memadai.

2. Keadaan Batas Layan

Keadaan ini memberlakukan persyaratan desain yang bertujuan untuk memastikan serta mempertahankan kemampuan fungsional selama masa layan jembatan.

3. Keadaan Batas Ekstrem

Diperhitungkan untuk memastikan struktur dapat menahan beban ekstrem seperti beban gempa dan beban akibat tumbukan kapal.

4. Keadaan Batas Fatik

Keadaan batas fatik mensyaratkan desain agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana.

Tabel 2. 16 Kombinasi Beban dan Nilai Faktor Beban

Sumber : SNI 1725:2016

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW_S	EW_L	BF	EU_n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,0	1,4	-	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,0	-	-	1,0	0,5/1,2			-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,0	0,4	1,0	1,0	0,5/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,0	-	-	1,0				1,0	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,0	-	-	1,0				-	1,0	1,0
Layan I	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Layan II	1,0	1,3	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	-	-	-	-	-
Layan III	1,0	0,8	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Layan IV	1,0	-	1,0	0,7	-	1,0	1,0/1,2	-	1,0	-	-	-
Fatik	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2. 9 Perhitungan Estimasi Biaya

Estimasi biaya merupakan tahapan awal dalam pelaksanaan konstruksi yang dimana bertujuan untuk mengetahui perkiraan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk mencapai keberhasilan suatu proyek konstruksi. Tahapan-tahapan dalam melakukan perhitungan estimasi biaya sebagai berikut ini :

1. Perhitungan volume pekerjaan

Perhitungan volume pekerjaan merupakan perhitungan secara detail volume yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek konstruksi. Output hasil perhitungan volume pekerjaan dapat menentukan besarnya estimasi biaya pada proyek konstruksi.

2. Analisis Harga Satuan Dasar

Harga satuan dasar merupakan rincian harga untuk masing-masing sumber daya proyek seperti material, peralatan, serta tenaga kerja (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

3. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Pada analisis harga satuan pekerjaan berisi uraian suatu perhitungan harga satuan upah, material, dan peralatan berdasarkan metode kerja atau asumsi-asumsi. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2012)

4. Perhitungan Bill of Quantity (BOQ) dan Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

BOQ merupakan daftar perkiraan kuantitas suatu pekerjaan yang disusun berdasarkan urutan pada masing-masing kelompok spesifikasi teknis. RAB disusun berdasarkan biaya total dari seluruh perkiraan volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan masing-masing yang telah disesuaikan dengan masing-masing satuan mata pembayaran. (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

2. 10 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek berisi informasi yang berkaitan terhadap jadwal dan kemajuan proyek serta durasi yang dibutuhkan agar proyek dapat selesai tepat waktu. Dalam proses penjadwalan, penyusunan kegiatan dan hubungan antar kegiatan dibuat secara terperinci dan detail.

2. 11 Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2023	Dianya Puan Anandita	Perencanaan Jembatan Beton Prategang RSUD Temanggung dengan Berbasis <i>Building Information Modeling</i> (BIM)	Merencanakan perencanaan geometrik, Menghitung pembebanan dan analisa struktur, membuat model 3D, merencanakan estimasi biaya, dan menyusun penjadwalan	Mengumpulkan beberapa data pendukung, menghitung geometrik jalan, analisa struktur, pemodelan 3D menggunakan <i>Autodesk Revit</i> , perencanaan estimasi biaya, dan penjadwalan proyek menggunakan <i>Microsoft Project</i>	Didapatkan desain akhir overpass berdasarkan hasil analisa struktur, bentuk model 3D yang dibuat dengan <i>Autodesk Revit</i> , Hasil perhitungan estimasi biaya serta penjadwalan proyek.
2	2023	Galang Huda Nugraha dan Onyvia Whika Elfrida	Perencanaan Ulang Overpass Cabe Raya, Ciputat, Tangerang Selatan Berbasis BIM 4D Studi Kasus : Overpass Cabe Raya,	Membuat model 3D dan penjadwalan menggunakan Tekla Structures, perencanaan estimasi biaya dengan	Mengumpulkan beberapa data pendukung, perhitungan analisa struktur untuk mendapatkan desain akhir, pemodelan 3D	Didapatkan desain akhir berdasarkan hasil analisa struktur dari perhitungan manual ataupun SAP 2000, bentuk

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
			Ciputat, Tangerang Selatan	Microsoft Project	dan penjadwalan proyek menggunakan <i>Tekla Structures</i> , perencanaan estimasi biaya menggunakan <i>Microsoft Project</i>	model 3D dan penjadwalan, Hasil perhitungan estimasi biaya
3	2023	Rangga Susesno	Perancangan Ulang Jembatan Bae – Besito (Karangsambung) Dengan PC-I Girder	Mendapatkan hasil perancangan struktur atas dan struktur bawah jembatan	Mengumpulkan data seperti data DED dan data tanah, Menghitung hasil analisa struktur atas dan struktur bawah jembatan	Didapatkan desain akhir jembatan berdasarkan hasil perhitungan analisis struktur
4	2024	Sri Dharma Agung Pradana dan Taufik Fakrurrahman	Redesain Jembatan Beton Prategang Gempolsek Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal Dengan	Merencanakan desain Jembatan Beton Prategang Gempolsek Kecamatan Rowosari	Mengumpulkan beberapa data seperti data lalu lintas dan data tanah, Perhitungan analisa struktur jembatan,	Didapatkan Desain akhir jembatan berdasarkan hasil perhitungan analisis struktur dan

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
			Menggunakan <i>Building</i> <i>Information</i> <i>Modelling</i>	Kabupaten Kendal Menggunakan <i>Building</i> <i>Information</i> <i>Modelling</i>	perencanaan oprit jembatan, pemodelan 3D jembatan menggunakan <i>Autodesk Revit</i>	hasil model 3D yang dibuat menggunakan Autodesk Revit