

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah analisis perbandingan gaya dalam struktur jembatan terhadap dua jenis pembebanan yang berbeda dibantu dengan *software* *CSI Bridge*. Analisis dilakukan dengan terlebih dahulu dilakukan pemodelan tiga dimensi mulai dari gelagar, pilar, dan komponen jembatan lainnya. Setelah itu dilakukan pembebanan menggunakan dua peraturan yaitu BMS 1992 dan SNI 1725:2016. Setelah pemodelan selesai dilakukan analisis perbandingan gaya dalam struktur terhadap dua peraturan pembebanan tersebut. Setelah dilakukan analisis perbandingan maka bisa didapat perbedaan dari gaya dalam struktur jembatan dari dua peraturan pembebanan yang berbeda.

3.2. Lokasi Studi Kasus

Lokasi studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah Jembatan Cisadane BSD yang berlokasi di Jalan BSD Grand Boulevard, Kecamatan Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten.

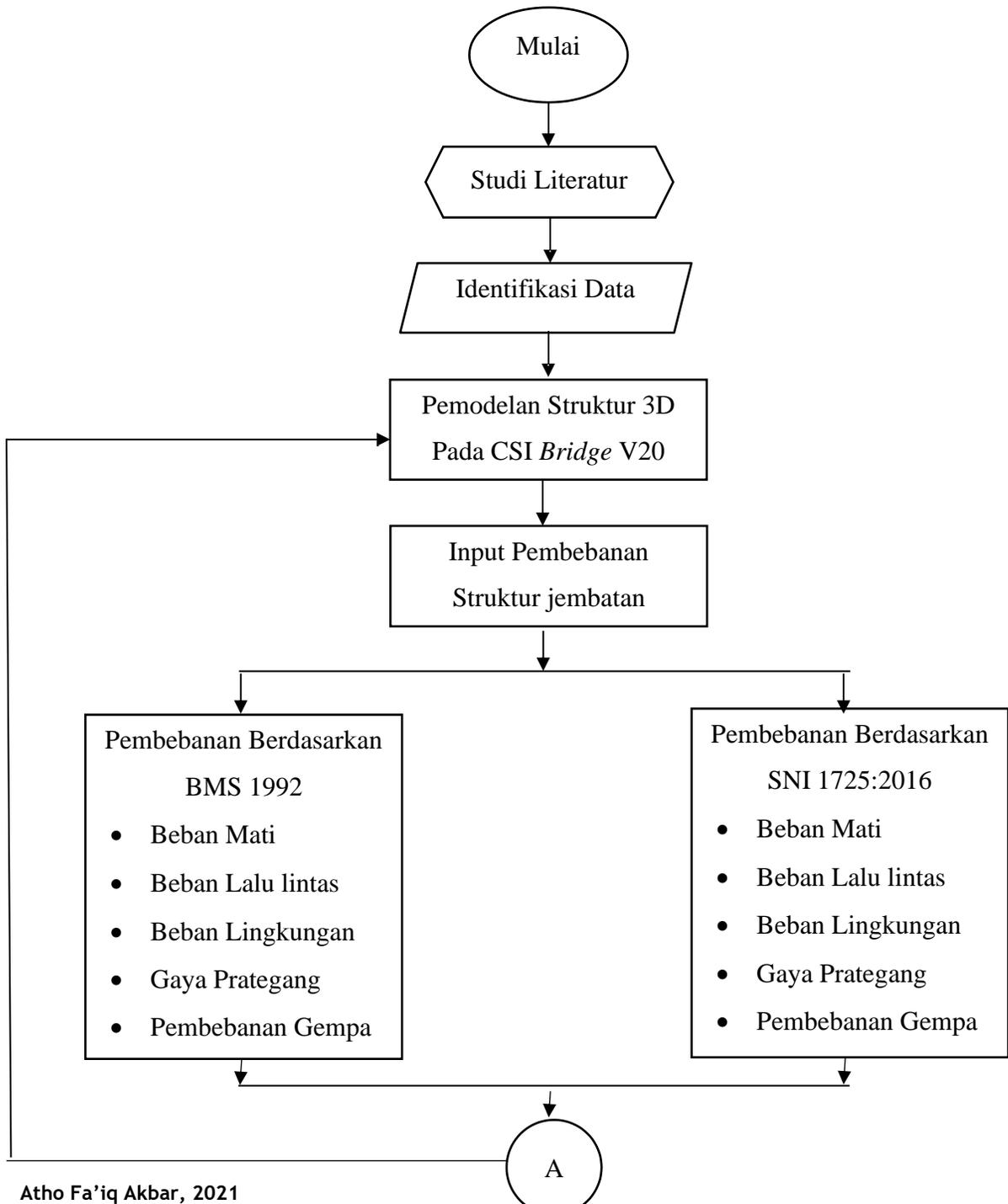


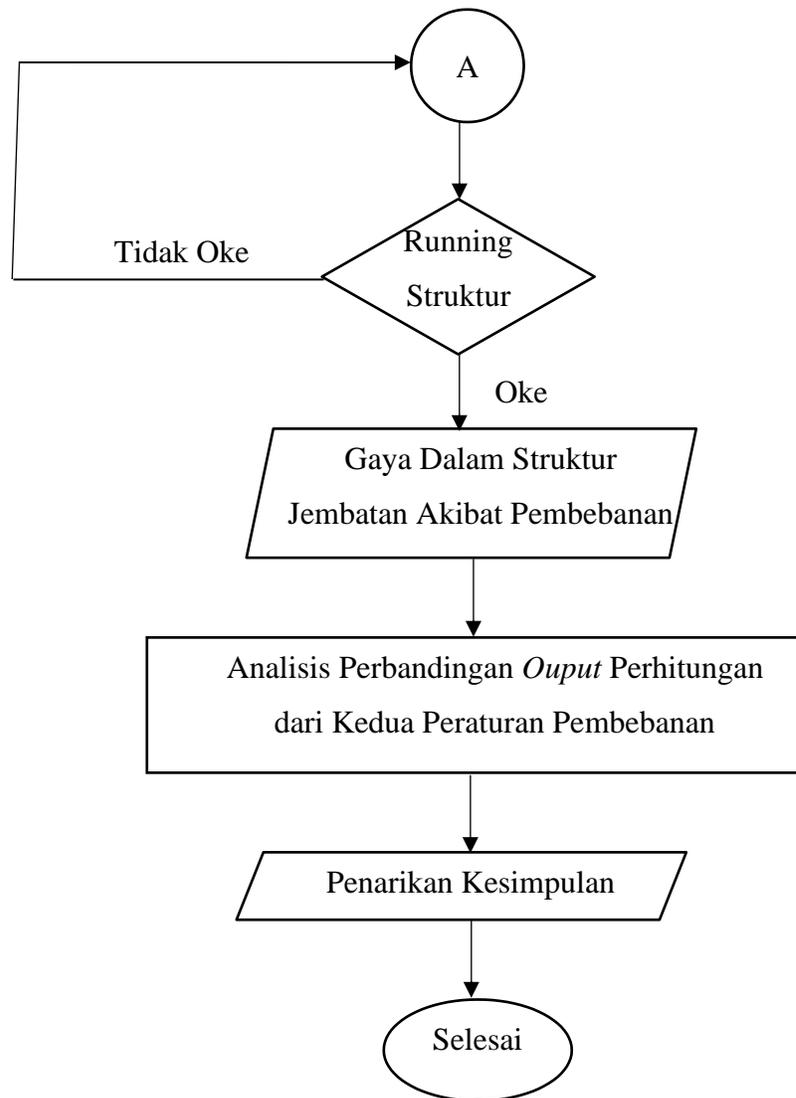
Gambar 3.1 Lokasi Jembatan Cisadane BSD

Sumber : *Google Earth*

3.3. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini akan dilakukan studi perbandingan gaya dalam pada Jembatan Cisadane BSD dengan menggunakan peraturan pembebanan BMS 1992 dan SNI 1725:2016. Adapun langkah penelitian yang hendak dilakukan digambarkan dalam bagan alir penelitian di bawah ini:





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4. Tahap Analisis Data

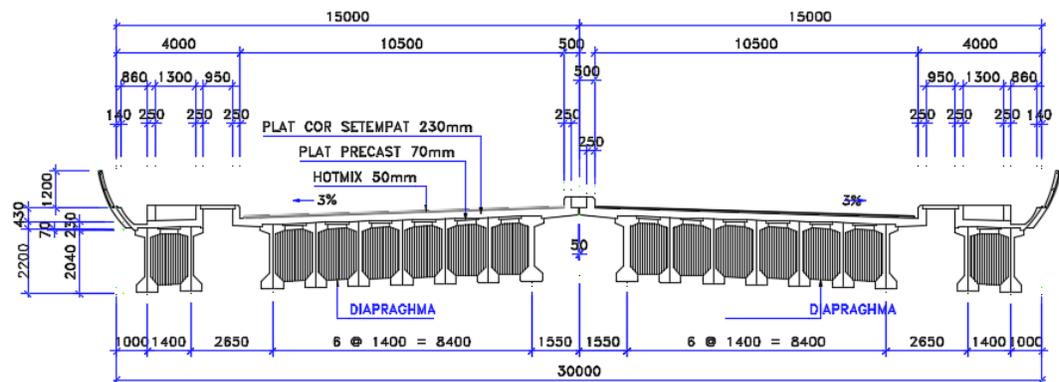
3.4.1. Identifikasi Data

Data yang digunakan adalah data sekunder berupa *shop drawing* dan data struktur Jembatan Cisadane BSD. Data tersebut selanjutnya digunakan pemodelan struktur 3D dan selanjutnya dianalisis dengan bantuan CSI *Bridge*. Berikut adalah data teknis dari Jembatan Cisadane BSD :

1. Data Konstruksi Jembatan

Panjang jembatan	= 140 m
Panjang gelagar	= Bentang 1 = 43,3 m
	Bentang 2 = 45,8 m
	Bentang 3 = 43,3 m
Lebar jembatan	= 30 m

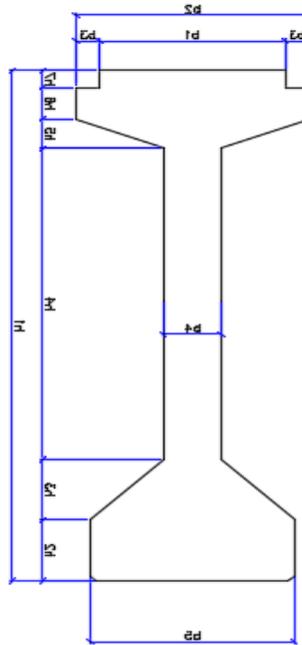
2. Pelat Jembatan



Gambar 3.3 Potongan Jembatan Cisadane BSD

Tebal pelat lantai jembatan	= 0,23 m
Tebal lapisan aspal	= 0,05 m
Jarak antar balok prategang	= 1,4 m
Lebar pelat jalur kendaraan	= 11,25
Lebar jalur kendaraan	= 10,5 m
Lebar trotoar	= 2,225 m

3. PCI Girder

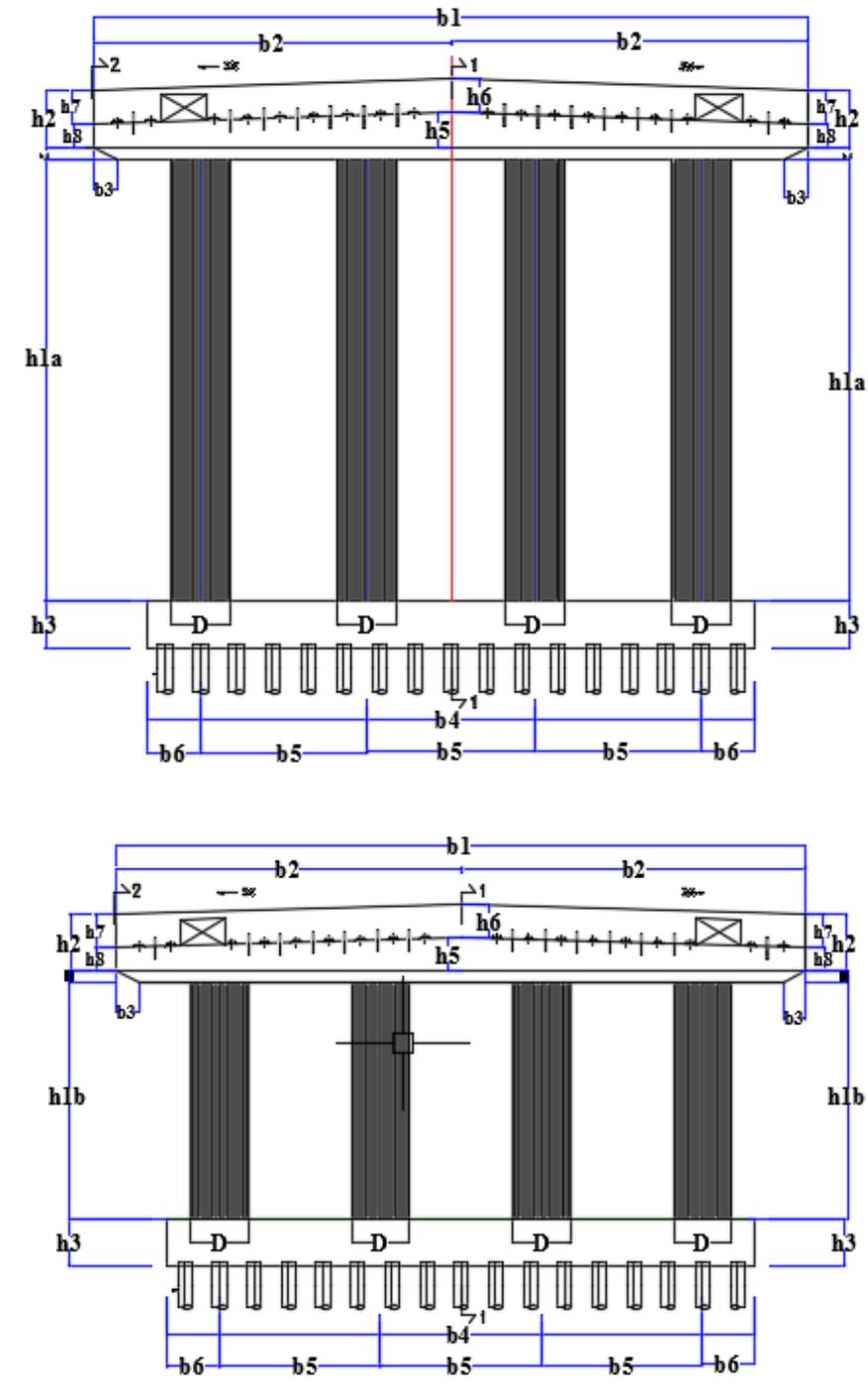


Gambar 3.4 Detail PCI Girder

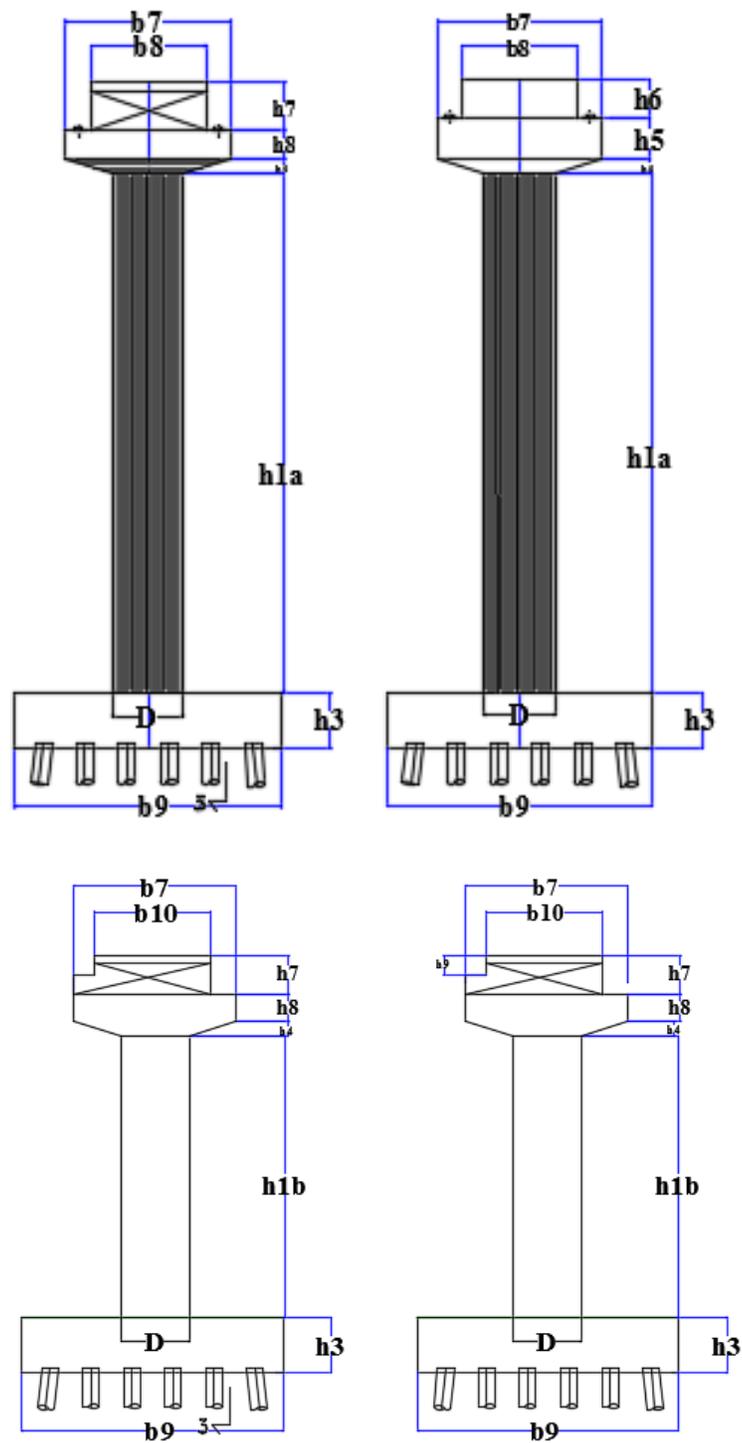
Tabel 3.1 Dimensi PCI Girder

Notasi	Lebar (m)
b1	0,64
b2	0,80
b3	0,08
b4	0,20
b5	0,70
h1	2,20
h2	0,25
h3	0,25
h4	1,28
h5	0,12
h6	0,23
h7	0,07

4. Pilar



Gambar 3.5 Detail Pilar

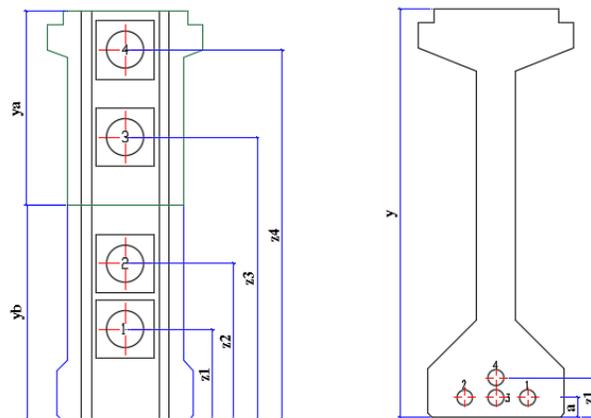


Gambar 3.6 Detail Samping Pilar

Tabel 3.2 Dimensi Pilar

Kepala Pilar		Pilar		Pile Cap	
Notasi	(m)	Notasi	(m)	Notasi	(m)
b1	30	h1a	18,5	b4	25,5
b2	15	h1b	10,28	b5	7
b3	1	D	2,5	b6	2,25
h2	2,43			h3	2
h4	0,5				
h5	1,45				
h6	1,45				
h7	1,43				
h8	1				
h9	0,72				

5. Layout Gelagar Prategang



Gambar 3.7 Posisi Tendon di Tumpuan dan Tengah Bentang Gelagar

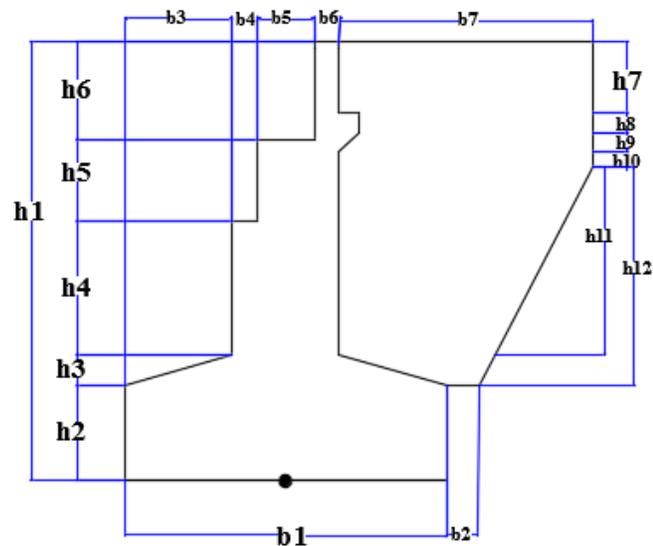
Tabel 3.3 Dimensi Layout Prategang

Tumpuan		Tengah	
Notasi	(m)	Notasi	(m)
y_a	1,2	y	2,2
y_b	1	a	0,1
z_1	0,46	z_1	0,2
z_2	0,8		
z_3	1,45		
z_4	1,9		

Tabel 3.4 Diameter Lubang Tendon

Diameter Lubang Tendon (mm)			
Tumpuan		Tengah	
No	Ø	No	Ø
1	460	1	100
2	800	2	100
3	1450	3	100
4	1900	4	200

6. Abutment



Gambar 3.8 Detail Abutment

Tabel 3.5 Dimensi Abutment

Abutment			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
b1	5,1	h1	6,967
b2	0,5	h2	1,5
b3	1,7	h3	0,5
b4	0,4	h4	2,107
b5	0,9	h5	1,3
b6	0,4	h6	1,56
b7	4	h7	1,15
		h8	0,3
		h9	0,3
		h10	0,25
		h11	2,967
		h12	3,467

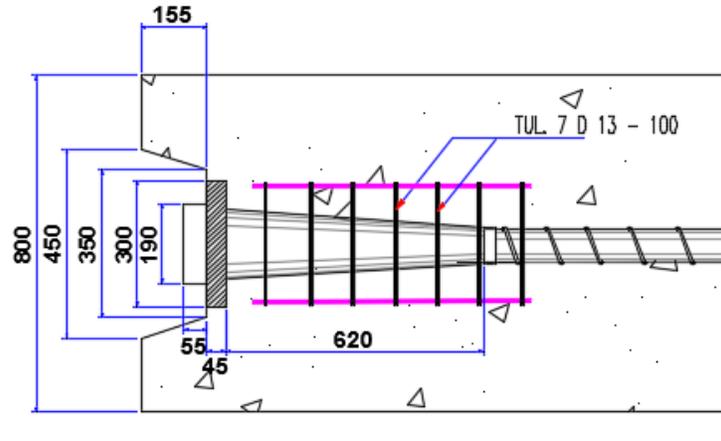
7. Mutu Bahan

Tabel 3.6 Mutu Beton

Penggunaan	Mutu Beton
<i>PCI Girder</i>	K500
Balok Diafragma	K350
Plat Jembatan	K350
Pilar	K350
Kerb	K300
<i>Abutment</i>	K250

Tabel 3.7 Mutu Baja Tulangan

Tipe	Notasi	Kuat Leleh (Mpa)
Tulangan Polos	U24	240
Tulangan Ulir	U39	390



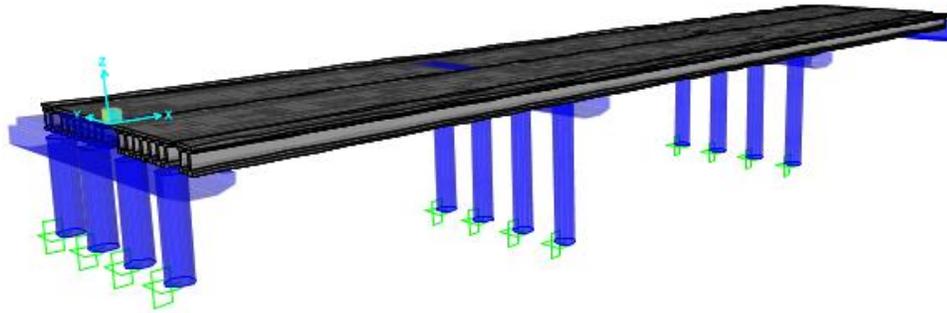
Gambar 3.9 Detail Angkur

Tabel 3.8 Mutu Tendon Prategang

Notasi	Penggunaan	Diameter Nominal (mm)	Kuat Leleh (Mpa)	Kuat Ultimit (Mpa)	Keterangan
PC 7 - WIRE STRAND SWPR 7B	<i>PCI Girder</i> Pratekan	12,7	1670	1860	AASTHO M203

3.4.2. Pemodelan Struktur Jembatan 3D Menggunakan *CSI Bridge V20*

Pemodelan struktur jembatan menggunakan data yang terdapat pada *shop drawing* Jembatan Cisadane BSD. Pemodelan tersebut meliputi bagian bagian jembatan seperti pilar, gelagar, dan pelat lantai. Berikut merupakan hasil pemodelan jembatan menggunakan aplikasi *CSI Bridge V20*:



Gambar 3.10 Pemodelan 3D Jembatan

3.4.3. Pembebanan pada Jembatan

Perhitungan pembebanan jembatan dihitung berdasarkan dengan Pedoman Pembebanan Jembatan Bagian 2 *Bridge Management System* (BMS 1992) dan pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016). Berikut merupakan beban – beban yang diperhitungkan pada jembatan :

1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari dua jenis yaitu :

a. Beban Sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

b. Beban Mati Tambahan

Berat mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan besarnya dapat berubah-ubah seiring dengan bertambahnya umur jembatan.

2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas terdiri dari lima jenis yaitu :

- a. Beban Lajur “D”
Beban lajur “D” adalah beban merata pada jembatan yang menghasilkan pengaruh yang ekuivalen dengan iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.
 - b. Beban Truk “T”
Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.
 - c. Faktor Beban Dinamis
Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis.
 - d. Gaya Rem
Gaya rem ditempatkan di semua lajur rencana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal.
 - e. Beban Pejalan Kaki
Beban pejalan kaki untuk jembatan tergantung pada luas beban yang dipikul oleh unsur yang direncanakan.
3. Beban Lingkungan
- Beban lingkungan terdiri dari empat jenis yaitu :
- a. Beban Angin
Beban angin pada umumnya terbagi dua yaitu beban angin merata pada struktur dan beban angin horizontal akibat tekanan angin pada kendaraan.

- b. Tekanan Tanah
Tekanan tanah ditentukan oleh nilai-nilai berat tanah (γ_s), sudut geser dalam (ϕ), dan kohesi (c). Tekanan tanah yang dianalisis adalah tekanan tanah lateral yang terjadi pada *abutment*.
- c. Gaya Aliran Air
Gaya aliran sungai tergantung oleh besarnya kecepatan aliran air sungai dan bentuk pilar jembatan. Jika tidak ditentukan oleh analisis hidrologi maka kecepatan air dianggap sama dengan 3 m/s
- d. Gaya Tumbukan Kayu dan Hanyutan
Gaya aliran air dinaikan bila terdapat hanyutan atau tumbukan kayu pada sungai dan mengenai struktur jembatan.
4. Gaya Gempa

Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini adalah metode analisis respon spektrum yang disesuaikan dengan tahun masing-masing peraturan pembebanan. Data hasil respon spektrum kemudian diinput pada aplikasi CSI *Bridge* dengan ketentuan dua kasus:
Kasus I :100 % arah melintang dan 30 % memanjang
Kasus II :100 % arah memanjang dan 30 % melintang.

Pada perhitungan gaya gempa untuk bagian *abutment* digunakan metode statik ekuivalen. Berikut merupakan persamaan gaya gempa statik ekuivalen menurut SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa

$$EQ = W_t \cdot \left(\frac{C_{SM}}{R} \right)$$

Di mana :

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis

R = Faktor modifikasi respon

W_t = Berat total struktur (kN)

Sedangkan pada SNI 03-2883-1992 persamaan gaya gempa statik ekuivalen adalah sebagai berikut :

$$EQ = K_h \cdot I \cdot W_t$$

$$K_h = C \cdot S$$

Di mana :

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN)

K_h = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien Geser Dasar

I = Faktor Kepentingan

W_t = Berat total struktur (kN)

3.4.4. Pembebanan Gaya Prategang

Pembebanan gaya prategang pada beton prategang terdiri dari dua tahap yaitu :

1. Tahap Transfer (*initial stage*)

Pada tahap ini gaya prategang dipindahkan pada beton dan tidak ada beban luar yang bekerja selain beban sendiri.

2. Tahap Pelayanan (*Service Stage/Final Stage*)

Pada tahap ini beban luar seperti *live load*, angin, gempa dan lain-lain mulai bekerja, sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan di dalam analisis strukturnya.

3.4.5. Perhitungan Kehilangan Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Secara umum kehilangan gaya prategang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Immediate Elastic Losers*

Ini adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung ini disebabkan oleh :

- a. Perpendekan Elastik Beton
 - b. Kehilangan akibat friksi atau gesekan sepanjang kelengkungan dari tendon, ini terjadi pada beton prategang dengan sistem post tension
 - c. Kehilangan pada sistem ankur, antara lain akibat slip pada ankur.
2. *Time Dependent Losses*

Ini adalah kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu, yang mana hal ini disebabkan oleh :

- a. Rangkak pada beton
- b. Susut pada beton
- c. Relaksasi pada tendon.

3.4.6. Perhitungan Tegangan Izin

1. Tegangan Izin pada Tendon

Sesuai dengan SNI T 12-2004 tegangan izin pada tendon adalah sebagai berikut :

a. Akibat penarikan (*jacking*)

Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,94 f_{py}$ dan harus lebih kecil dari :

- $0,85 f_{pu}$.
- Nilai maksimum yang direkomendasikan oleh produsen beton.

b. Segera setelah transfer gaya prategang.

Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,82 f_{py}$ dan harus lebih kecil dari $0,74 f_{pu}$.

c. Pada beton prategang dengan sistem pasca tarik.

Tegangan tarik pada tendon tidak boleh melebihi $0,70 f_{pu}$ di mana :

f_{py} = Tegangan leleh baja prategang.

f_{pu} = Tegangan ultimit baja prategang.

2. Tegangan pada Beton

Sesuai dengan SNI T 12-2004 tegangan izin pada beton adalah sebagai berikut :

- a. Tegangan Izin Beton Saat Penarikan
 - 1). Tegangan izin tarik = $0,50 \cdot \sqrt{f_c'}$
 - 2). Tegangan izin tekan = $0,60 \cdot f_c'$
- b. Tegangan Izin Beton Saat Keadaan Akhir
 - 1). Tegangan izin tekan = $0,45 \cdot f_c'$
 - 2). Tegangan izin tarik = $0,50 \cdot f_c'$

Di mana :

f_c' = Kuat tekan beton (Mpa)

3.4.7. *Running* Struktur Jembatan

Setelah melakukan perhitungan pembebanan pada struktur jembatan, maka tahapan selanjutnya adalah melakukan input pembebanan pada pemodelan jembatan yang sudah dilakukan pada aplikasi *CSI Bridge*. *Running* pada aplikasi ini bertujuan untuk mengetahui gaya dalam ultimit struktur jembatan saat diberi pembebanan baik itu sesuai BMS 1992 maupun SNI 1725:2016.

3.4.8. Analisis Keamanan Struktur Jembatan Akibat Pembebanan

Setelah dilakukan input pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 dan BMS 1992 dan dilakukan *running* pada pemodelan struktur jembatan menggunakan aplikasi *CSI Bridge*, maka akan diperoleh *output* berupa gaya dalam ultimit dari struktur jembatan tersebut. Selanjutnya dilakukan pengecekan keamanan pada bagian-bagian jembatan untuk mengetahui keamanan jembatan tersebut :

1. Analisis Lendutan Gelagar

Berdasarkan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan lendutan pada gelagar yang diizinkan tidak boleh melampaui $L/800$.

$$\Delta < L/800$$

Di mana :

Δ = Lendutan (m)

L = Panjang Bentang (m)

2. Analisis Lendutan Pilar

Berdasarkan buku perencanaan jembatan bina marga lendutan yang diizinkan pada pilar ditentukan oleh syarat sebagai berikut :

$$M_d < 5\% M_u.$$

Di mana :

M_d = Momen akibat lendutan (kN)

M_u = Momen ultimit (kN)

3. Analisis Gaya Geser

Berdasarkan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan gaya geser nominal yang diizinkan tidak boleh melebihi gaya geser ultimit.

$$\phi V_n \geq V_u$$

Di mana :

V_n = Gaya geser nominal (kN)

V_u = Gaya geser ultimit (kN)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

4. Analisis Momen

Berdasarkan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan momen nominal yang diizinkan tidak boleh melebihi momen ultimit.

$$\phi M_n \geq M_u$$

Di mana :

M_n = Momen nominal (kN)

M_u = Momen ultimit (kN)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

5. Analisis Torsi

Berdasarkan SNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan kekuatan torsi nominal yang diizinkan tidak boleh melebihi torsi ultimit.

$$\phi T_n \geq T_u$$

Di mana :

T_n = Torsi nominal (kN)

T_u = Torsi ultimit (kN)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

6. Analisis Stabilitas Guling

Analisis stabilitas guling dilakukan pada *abutment* dengan angka aman tidak boleh melebihi 2,2.

7. Analisis Stabilitas Geser

Analisis stabilitas geser dilakukan pada *abutment* dengan angka aman tidak boleh melebihi 1,1.

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan perilaku struktur jembatan yang diakibatkan oleh pembebanan dari kedua peraturan tersebut.