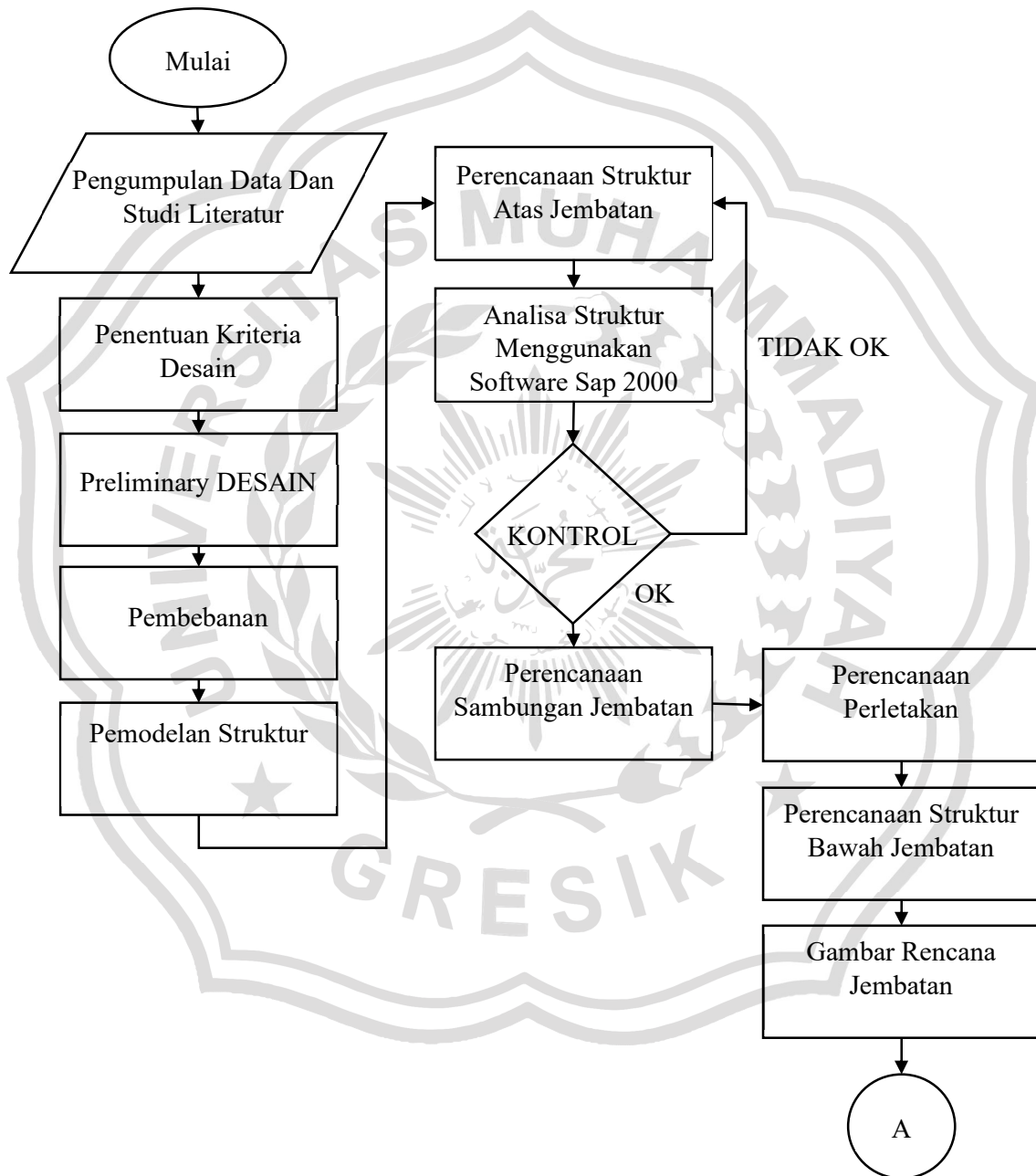


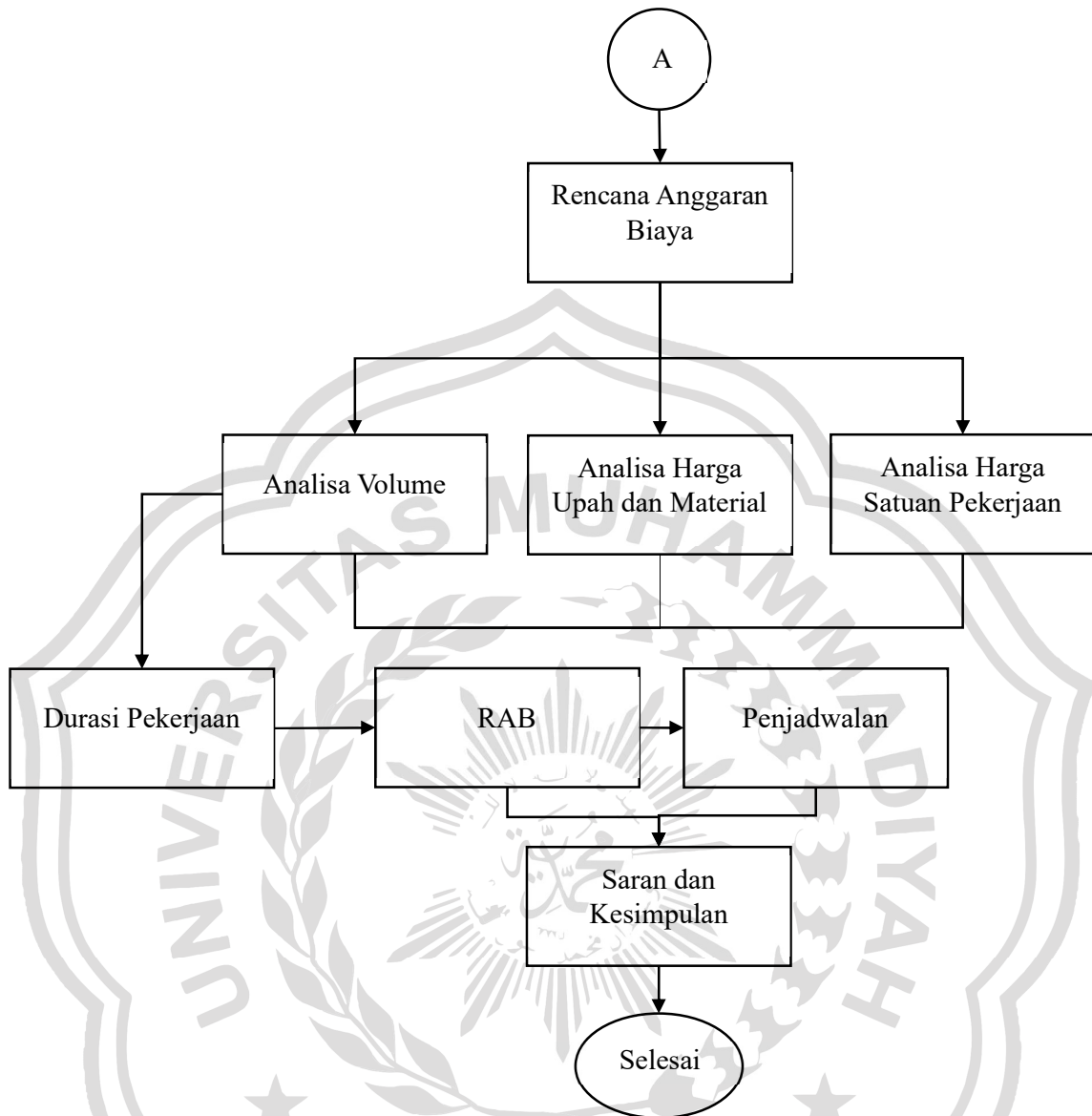
BAB III METODOLOGI

3.1. Urutan Pekerjaan

Perencanaan sebuah jembatan memiliki langkah – langkah yang sistematis, sehingga perlu dibuat sebuah diagram yang menunjukkan secara umum mengenai tahapan pengerjaan perencanaan dari awal sampai akhir.



Gambar 3.1 Bagan Alur Pekerjaan
(Sumber: Data Pribadi)



Gambar 3.2 Lanjutan Bagan Alur Pekerjaan
(Sumber: Data Pribadi)

3.2. Pengumpulan Data

Data – data perencanaan secara keseluruhan mencakup data tanah, data gambar struktur *existing*, data AHSP Kabupaten Gresik tahun 2023 terlampir.

3.3. Studi Literatur

Literatur yang digunakan:

- Peraturan Pembebanan Jembatan SNI 1725:2016
- Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD
- Peraturan Struktur Baja SNI 1729:2020
- Bridge Engineering Handbook*
- Project Management Institute-A Guide to the Project Management Body of Knowledge*

- f. Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)
- g. *Project Management A Managerial Approach*
- h. HSPK Kabupaten Gresik tahun 2023.

3.4. Penentuan Kriteria Klasifikasi Desain

Penentuan kelas situs berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 5, klasifikasi jenis tanah yang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$N_{rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n Ni} \dots \dots \dots (3.1)$$

Ni : nilai NSPT pada lapis ke-i tanpa koreksi
di : tebal lapis ke-i

3.5. Preliminary Desain

Menurut W.-F. Chen & Duan, 2014, beberapa aspek untuk merencanakan dimensi jembatan busur adalah sebagai berikut:

3.5.1. Tebal Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

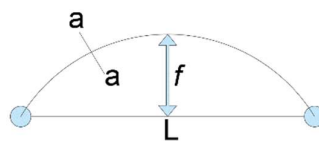
$$t_s \geq 200mm \text{ dan } t_s \geq 100 + 40 \times L \text{ mm} \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana:

L = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter)

3.5.2. Dimensi Jembatan Busur

Dimensi jembatan busur meliputi lebar jembatan, tingi jembatan, tinggi tampang busur, panjang penggantung busur dan panjang panel sesuai dimensi pada Gambar 3.3:



Gambar 3.3 Dimensi Jembatan Busur
(Sumber: Data Pribadi)

a. Lebar Jembatan

Lebar jembatan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan (3.3):

$$\frac{b}{L} \leq \frac{1}{20} \dots \dots \dots (3.3)$$

dimana:

b = Lebar jembatan

L = Panjang jembatan

b. Tinggi Jembatan

Tinggi jembatan (f) harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Persamaan (3.4) :

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana:

f = Tinggi jembatan

L = Panjang jembatan

c. Tinggi Tampang Busur

Tinggi penampang busur menggunakan rangka baja, maka tinggi penampang busur harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan (3.5) :

$$\frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{25} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana:

t = Tinggi penampang busur jembatan

L = Panjang jembatan

d. Panjang Penggantung Busur

Panjang penggantung busur ditentukan berdasarkan sumbu geometric busur sesuai Persamaan (3.6):

$$Y_n = \frac{4f \times (L-x)}{L^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana:

Y_n = Panjang penggantung busur

L = Panjang Jembatan

f = tinggi jembatan

e. Panjang Panel

Panjang Panel harus memenuhi persyaratan sesuai Persamaan (3.7) :

$$\text{Panjang Panel} \leq \frac{1}{15} L \dots\dots\dots (3.7)$$

dimana:

L = Panjang Jembatan

3.6. Pembebanan Jembatan

3.6.1. Beban Permanen

a. Berat Jenis Material

Berat jenis material untuk beban mati didasarkan pada SNI 1725-2016 Pasal 7.1.

Tabel 3.1 Berat Jenis Material Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (Kn/m ³)	Kerapatan Massa (Kg/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
	Beton 35 < F'c < 105 MPa	22 + 0,022 F'c	2240 + 2,20 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)

b. Berat Sendiri

Berat sendiri merupakan berat bagian atau elemen- elemen structural lain yang dipikul oleh jembatan ditambah dengan elemen non-structural yang dianggap tetap. Berat sendiri didasarkan pada SNI 1725-2016 Pasal 7.2.

Tabel 3.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^s_{MS})		Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{MS})	
	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)

c. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban mati tambahan jembatan didasarkan pada SNI 1725-2016 Pasal 7.3. Faktor beban untuk berat mati tambahan

Tabel 3.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^u)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan⁽¹⁾ :Faktor Beban Layan Sebesar 1,3 digunakan untuk Berat Utilitas

(Sumber : SNI 1725:2016)

3.6.2. Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur "D"

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.3, beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D".

Tabel 3.4 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	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725:2016)

b. Beban Terbagi Rata (BTR)

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L

$$\text{Jika } L \leq 30\text{m} : q = 9 \text{ kPa} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\text{Jika } L > 30\text{m} : q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (3.9)$$

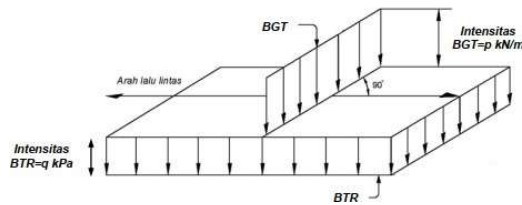
Dimana :

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

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

c. Beban Garis Terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1, 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. Ilustrasi untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Ilustrasi untuk Beban Lajur "D"
(Sumber SNI 1725:2016)

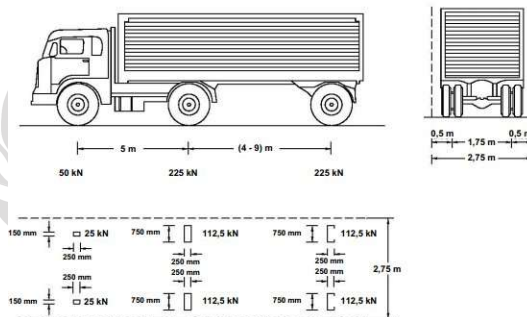
d. Beban Truk "T"

Selain beban "D", terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.4, beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" dapat dilihat pada Tabel 3.5 Ilustrasi beban truk "T" dapat dilihat pada Gambar 3.5

Tabel 3.5 Faktor Beban untuk Beban "T"

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

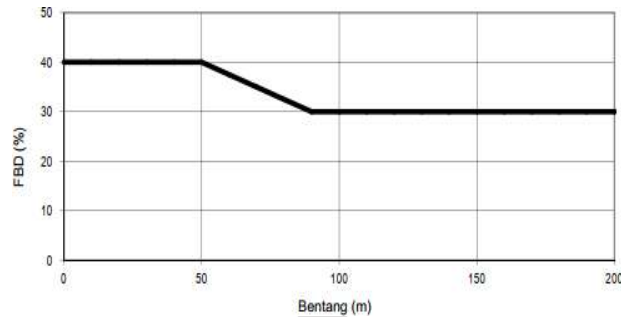
(Sumber : SNI 1725:2016 Tabel 13)



Gambar 3.5 Besar dan Ilustrasi Beban Truk "T"
(Sumber : SNI 1725:2016)

e. Faktor Beban Dinamis

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.6, besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. FBD untuk jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Faktor beban Dinamis
(Sumber: SNI 1725:2016)

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah.

f. Gaya Rem (TB)

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 8.7, 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).

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa 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 Tabel 3.6 berlaku untuk menghitung gaya rem.

Tabel 3.6 Faktor Kepadatan Lajur

Jumlah Lajur yang dibebani	Faktor Kepadatan Jalur
1	1,2
≥ 2	1

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 14)

g. Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725-2015 Pasal 8.9, segala komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3.6.3. Beban Lingkungan

a. Beban Suhu

Menurut SNI 1725-2016 Pasal 9.3.1, deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.7. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 3.7 harus digunakan sebagai $T_{min design}$ dan $T_{max design}$. Sifat bahan akibat *temperature* ditentukan dalam Tabel 3.8.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan berdasarkan persamaan (3.10):

$$\Delta T = \alpha L \times (T_{max design} - T_{min design}) \dots \dots \dots (3.10)$$

dimana:

- ΔT = Beban Temperatur
- $T_{max Design}$ = Temperatur Maksimum
- $T_{min Design}$ = Temperatur Minimum
- L = panjang komponen jembatan (mm)
- α = koefisien muai *temperature* (mm/mm/°C)

Tabel 3.7 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut		

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 18)

Tabel 3.8 Sifat Bahan Rata-Rata akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per °C	200000
Beton		
Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per °C	$4700^{(F^{\circ}C)}$
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per °C	$4700^{(F^{\circ}C)}$

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 19)

b. Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus diperhitungkan menggunakan Persamaan (3.11)

$$V_{DZ}=2,5V_o(\frac{V_{10}}{V_B})\ln(\frac{Z}{Z_o})..... (3.11)$$

Dimana:

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10 m diatas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90-126 (km/jam)

V_o = Kecepatan gesekan angin tergantung kondisi jembatan, ditentukan pada Tabel 3.9 (km/jam)

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dimana beban angin diperhitungkan (mm)

Z_o = Panjang gesekan di hulu jembatan, ditentukan pada Tabel 3.9 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencanaan dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam

Tabel 3.9 Nilai V_o dan Z_o untuk Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (mm)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 28)

c. Beban Angin pada Struktur (EWS)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencanaan dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan oleh ketentuan lain. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan (3.12.)

$$P_D=P_B \times (\frac{V_{DZ}}{V_B})^2 (3.12.)$$

Dimana:

P_D = Tekanan angin rencana (MPa) sesuai pada Tabel 3.10
 V_{dz} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana
 V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90-126 (km/jam)

Tabel 3.10 Tekanan Angin Dasar

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

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 29)

d. Beban Angin pada Kendaraan (EW1)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.11 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 3.11 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut derajat	Komponen Tegak Lurus N/mm	Komponen Sejajar N/mm
0	1,46	0
15	1,28	0,18
30	1,2	0,35
45	0,96	0,47
60	0,5	0,55

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 31)

e. Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien *respons* elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi *respons* (R_d) dengan menggunakan Persamaan (3.13)

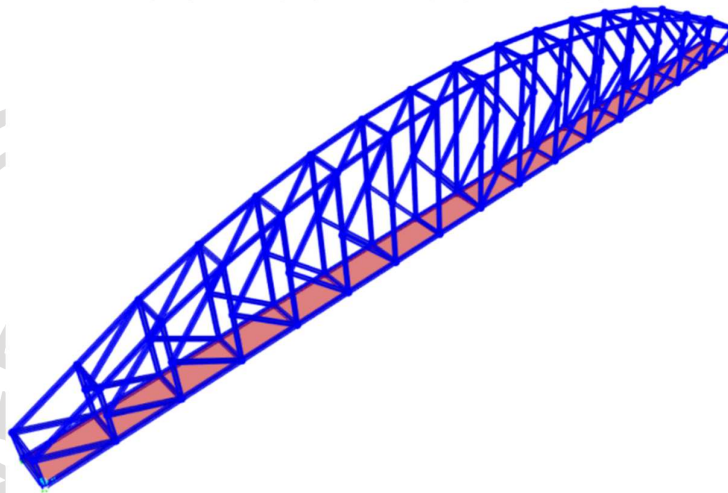
$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana:

EQ	= gaya gempa horizontal statis (kN)
Csm	= koefisien respons gempa elastis
Rd	= faktor modifikasi <i>respons</i>
Wt	= berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

3.7. Permodelan Struktur

Elemen Struktur Jembatan Putat Lor Menganti memiliki beberapa komponen. Analisa Struktur Jembatan dilakukan dengan bantuan *software* SAP 2000. Berikut adalah tampilan jembatan dari aplikasi SAP 2000:



Gambar 3.7 Tampilan Jembatan dari SAP 2000
(Sumber: Data Pribadi)

3.8. Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Perencanaan struktur atas jembatan diperhitungkan berdasarkan pembebanan yang terdapat pada berikut ini:

3.8.1. Lantai Kendaraan

1. Beban Mati

a) Beban Pelat Beton

$$q1 = \gamma^u \text{msbeton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \dots \dots \dots (3.14)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

γ_{beton} = berat jenis beton

b) Beban Aspal

$$q2 = \gamma^u \text{msAspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{aspal}} \times 1 \text{ m} \dots \dots \dots (3.15)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msaspal}$ = keadaan batas ultimit aspal

γ_{aspal} = berat jenis aspal

c) Beban Trotoar

$$q3 = \gamma^u \text{msbeton} \times \text{Tebal Kerb} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m} \dots \dots \dots (3.16)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

γ_{beton} = berat jenis beton

d) Beban *Bondex*

$$q_4 = \gamma^u \text{msbaja} \times W_{\text{bondex}} \times 1 \text{ m} \dots \dots \dots (3.17)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbaja}$ = keadaan batas ultimit baja

W_{bondex} = berat *bondex*

2. Beban Hidup

Perhitungan beban hidup sesuai dengan bab 3.6.2.

a) Beban Lajur “D”

b) Beban Truk “T”

3.8.2. Gelagar Memanjang

1. Beban Mati

a) Beban Pelat Beton

$$q_1 = \gamma^u \text{msbeton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{beton}} \times B \dots \dots \dots (3.18)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

γ_{beton} = berat jenis beton

b) Beban Aspal

$$q_2 = \gamma^u \text{msaspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{aspal}} \times B \dots \dots \dots (3.19)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msaspal}$ = keadaan batas ultimit aspal

γ_{aspal} = berat jenis aspal

c) Beban Sendiri Profil Baja

$$q_3 = \gamma^u \text{msbaja} \times W_{\text{wf}} \dots \dots \dots (3.20)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

W_{wf} = berat wf

d) Beban *Bondex*

$$q_4 = \gamma^u \text{msbaja} \times W_{\text{bondex}} \times B \dots \dots \dots (3.21)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbaja}$ = keadaan batas ultimit baja

W_{bondex} = berat *bondex*

2. Beban Hidup

Perhitungan beban hidup sesuai dengan bab 3.6.2.

a) Beban Lajur “D”

b) Beban Truk “T”

3.8.3. Gelagar Melintang

1. Beban Mati

a. Sebelum komposit

1). Beban Gelagar Memanjang

$$q1 = \gamma^u \text{msbaja} \times qWF \times \frac{\lambda}{B} \dots \dots \dots (3.22)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbaja}$ = keadaan batas ultimit baja

qWF = beban terpusat WF

2). Beban Pelat Beton

$$q2 = \gamma^u \text{msbeton} \times \text{Tebal Beton} \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \dots \dots \dots (3.23)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

γ_{beton} = berat jenis beton

3). Beban Sendiri Gelagar Melintang

$$q3 = \gamma^u \text{msbaja} \times W_{wf} \dots \dots \dots (3.24)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbaja}$ = keadaan batas ultimit baja

W_{wf} = beban WF

4). Beban *Bondex*

$$q4 = \gamma^u \text{msbaja} \times W_{\text{bondex}} \times \lambda \dots \dots \dots (3.25)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbaja}$ = keadaan batas ultimit baja

W_{bondex} = berat *bondex*

5). Beban Pelaksanaan

$$q5 = \gamma^u \text{pl} \times 200 \text{ kg / m} \dots \dots \dots (3.26)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{pl} = 2,4 \text{ ton/m}^3$

b. Sesudah komposit

1). Beban Aspal

$$q_{\text{d aspal}} = \gamma^u \text{ms aspal} \times \text{Tebal Aspal} \times \gamma_{\text{aspal}} \times \lambda \dots \dots \dots (3.27)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msaspal}$ = keadaan batas ultimit aspal

γ_{aspal} = berat jenis aspal

2). Beban *Kerb*

$$q_{\text{d kerb}} = \gamma^u \text{msbeton} \times \text{Tinggi Beton} \times \gamma_{\text{beton}} \times \lambda \dots \dots \dots (3.28)$$

Dimana:

$\gamma^u \text{msbeton}$ = keadaan batas ultimit beton

γ_{beton} = berat jenis beton

2. Beban Hidup

Perhitungan beban hidup sesuai dengan bab 3.6.2.

a. Beban Lajur “D”

b. Beban Truk “T”

3.9. Analisa Struktur dan Penentuan Dimensi

Analisa struktur pemikul utama yaitu busur jembatan menggunakan bantuan software SAP2000 untuk mendapatkan gaya dalam dan kebutuhan dimensi profil. Untuk perencanaan menggunakan software SAP2000 yaitu perencanaan hanya dikerjakan dalam satu file.

3.10. Kontrol Stabilitas

Setelah melakukan perhitungan gaya dalam akan dilanjutkan dengan perhitungan kontrol kekuatan elemen sesuai peraturan. Kontrol yang digunakan antara lain:

3.10.1. Kontrol Kapasitas Tekan

Menurut SNI 1729-2020 Pasal E3, Kontrol kapasitas tekan harus ditentukan sesuai persamaan (3.29.) :

$$P_n = A_g \times F_{cr} \dots \dots \dots (3.29.)$$

Dimana, A_g : Luas Penampang Utuh
 F_{cr} : Tegangan Tekan Kritis

Tegangan Tekan Kritis, F_{cr} , ditentukan berdasarkan persamaan (3.30) & (3.31):

1. Bila $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ Atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

Maka,

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \times f_y \dots \dots \dots (3.30)$$

Dimana:

- L_c = panjang efektif komponen struktur (mm)
- R = radius girasi (mm)
- E = modulus elastis baja (200.000 mpa)
- F_y = tegangan leleh minimum baja (mpa)
- F_e = tegangan tekuk elastis (mpa)

2. Bila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ Atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

Maka,

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e \dots \dots \dots (3.31)$$

Dimana:

- L_c = panjang efektif komponen struktur (mm)
- R = radius girasi (mm)
- E = modulus elastis baja (200.000 mpa)
- F_y = tegangan leleh minimum baja (mpa)
- F_e = tegangan tekuk elastis (mpa)

3.10.2. Kontrol Kapasitas Tarik

Menurut SNI 1729-2020 Pasal D2, Kontrol kapasitas tarik harus ditentukan sesuai persamaan (3.32) :

$$P_n = F_y \times A_g \dots \dots \dots (3.32)$$

Dimana, A_g : Luas Bruto Komponen Struktur
 F_y : Tegangan Leleh Minimum

Untuk kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik, terdapat pembatasan kelangsingan menurut SNI 1729-2015 Pasal D1

$$\lambda_{Max} = \frac{L}{i} \dots \dots \dots (3.33)$$

Dimana,

- Struktur Primer : $\lambda_{max} < 240$
- Struktur Sekunder : $\lambda_{max} < 300$

3.10.3. Kontrol Tekuk Lokal

Menurut SNI 1729-2020 Pasal F2, kontrol tekuk lokal harus ditentukan sesuai Persamaan (3.34), (3.35), (3.36), (3.37), (3.38), & (3.39) :

1. Penampang Kompak

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} \leq \lambda_p \dots \dots \dots (3.34)$$

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y \dots \dots \dots (3.35)$$

2. Penampang Tidak Kompak pada Pelat Sayap

$$\lambda_p < \lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} \leq \lambda_r \dots \dots \dots (3.36)$$

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \times \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \dots \dots \dots (3.37)$$

3. Penampang Langsing Pada Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} \leq \lambda_r \dots \dots \dots (3.38)$$

$$M_n = \frac{0.9 \times E_k \times S_x}{\lambda^2} \dots \dots \dots (3.39)$$

Dimana:

- λ_p, λ_r = Harga Batas Penampang
- b_f = Tebal badan profil
- t_f = Tebal sayap
- M_n, M_p = Lekuatan momen nominal
- Z_x = Modulus plastis penampang sumbu x
- F_y = Mutu baja

3.10.4. Kontrol Tekuk Lateral

Menurut SNI 1729-2015 Pasal F4, kontrol tekuk lokal harus ditentukan sesuai Persamaan (3.40), (3.41), (3.42), (3.43), (3.44), (3.45), & (3.46) :

1. Bentang Pendek

$$L_b < L_p \dots \dots \dots (3.40)$$

$$M_n = M_p \leq 1.5 \times M_y \dots \dots \dots (3.41)$$

2. Bentang Menengah

$$l_p < L_b < L_r \dots \dots \dots (3.42)$$

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{max}}{2,5 \times M_{max} + 3 \times M_a + 4 \times M_b + 3 \times M_c} \leq 2,3 \dots \dots \dots (3.43)$$

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - M_r) \times \left(\frac{L_r - L_b}{L_r - L_p} \right) \right] < M_p \dots \dots \dots (3.44)$$

3. Bentang Panjang

$$L_b > L_r \dots \dots \dots (3.45)$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \dots \dots \dots (3.46)$$

Dimana,

L_b = Jarak Penahan Lateral

L_p, L_r = Harga Batas profil

C_b = Faktor modifikasi tekuk torsi-lateral

M_{cr} = Momen tekuk torsi lateral elastis,

M_a, M_b, M_c = Nilai Absolut pada titik

M_{max} , = Nilai Absolut Maksimum

3.10.5. Kontrol Kapasitas Geser

Menurut SNI 1729-2015 Pasal G2, kontrol kapasitas geser harus ditentukan sesuai Persamaan (3.47)

$$V_n = 0,6 \times F_y \times A_w \times C_v \dots \dots \dots (3.47)$$

Dengan syarat untuk C_v berdasarkan Persamaan

1. Pelat Badan Leleh (plastis), Bila

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,1 \sqrt{\frac{L_v \times E}{F_y}} \dots \dots \dots (3.48)$$

$$C_v = 1$$

2. Pelat Badan Menekuk (Inelastis), Bila

$$1,1 \sqrt{\frac{L_v \times E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{L_v \times E}{F_y}} \dots \dots \dots (3.49)$$

$$C_v = \frac{1,1 \sqrt{\frac{L_v \times E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}}$$

3. Pelat Badan Menekuk (Inelastis), Bila

$$\frac{h}{t_w} \geq 1,37 \sqrt{\frac{L_v \times E}{F_y}} \dots \dots \dots (3.50)$$

$$C_v = \frac{1,51 \times L_v \times E}{\left(\frac{h}{t_w} \right)^2 \times F_y}$$

Dimana,

$$L_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h} \right)^2} \dots \dots \dots (3.51)$$

Jika tanpa pengaku transversal pelat,

$$L_v=5 \text{ Dengan } \frac{h}{t_w} \leq 260 \dots\dots\dots (3.52)$$

Dimana,

- V_n = Kekuatan geser nominal
- F_y = Mutu Baja
- A_w = Luas badan profil
- C_v = Koefisien Geser
- E = Modulus Elastisitas
- h = Tinggi Badan profil
- t_w = Tebal badan Profil
- L_v = Jarak dari gaya geser maksimum ke nol

3.10.6. Kontrol Interaksi

Menurut SNI 1729-2015 Pasal H1, kontrol interaksi harus ditentukan sesuai Persamaan (3.53)

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{M_{u1}}{\phi M_n} - \frac{M_{u2}}{\phi M_n} \right) \leq 1 \dots\dots\dots (3.53)$$

Dimana,

- P_u = Kekuatan aksial
- M_u = Kekuatan lentur
- ϕP_n = Faktor reduksi kekuatan tekan nominal
- ϕM_n = Faktor reduksi Kekuatan lentur nominal

3.10.7. Kontrol Lendutan

Menurut SNI 1729-2002 Pasal 6.4.3, batas-batas lendutan untuk balok biasa harus ditentukan sesuai Persamaan (3.54)

$$\Delta I_{jin} = \frac{L}{240} \dots\dots\dots (3.54)$$

Dimana,

- ΔI_{jin} = Selisih antar tingkat orde ijin
- L = Panjang Balok

3.11. Kontrol Dinamis

Dalam jembatan bentang panjang, beban yang mempengaruhi kegagalan struktur adalah efek angin. Kontrol terhadap stabilitas aerodinamis pada jembatan busur perlu dilakukan, analisa stabilitas pada perencanaan akibat beban angin meliputi vortex shedding (tumpahan pusaran angin) dan flutter (efek ayunan).

3.11.1. Frekuensi Alami

Frekuensi balok (f_B) dan frekuensi alam akibat torsi (f_T) harus sesuai dengan persamaan mathivat pada Persamaan (3.55)

$$\frac{f_T}{f_B} \approx 2,5 \text{ (Mathivat)} \dots\dots\dots (3.55)$$

Dimana :

- (f_B) = Frekuensi balok
- (f_T) = frekuensi alam akibat torsi

3.11.2. Efek Pusaran Angin (Vortex-Sheeding)

Pada perhitungan efek pusaran angin, beberapa kecepatan angin akan mengakibatkan turbulensi atau pusaran angin (Vortex-Shedding) pada jembatan. Untuk

mendapatkan kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung dari angka Strouhal dari suatu lantai kendaraan sebagai berikut:

$$V = \frac{fB \times h}{s} \dots \dots \dots (3.56)$$

(Walther, 1999, 7.3.2-7.11)

Dimana:

- V = Kecepatan Angin (m/s)
- fB = Frekuensi Balok (Hz)
- h = Tinggi Lantai Kendaraan
- s = Angka Strouhal

Dengan kecepatan angin tersebut, dilakukan pengecekan efek pusaran dengan angka Reynold (Re). Angka Reynold harus memenuhi persyaratan yaitu berkisar antara $10^5 - 10^7$ akibat kecepatan angin yang bekerja. Angka Reynold dapat diperhitungkan dengan Persamaan (3.57)

$$Re = \frac{V \times B}{\bar{\nu}} \dots \dots \dots (3.57)$$

Dimana:

- V = Kecepatan Angin (m/s)
- B = Lebar Lantai Kendaraan (m)
- $\bar{\nu}$ = Viskositas Kinematik Udara ($0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$)

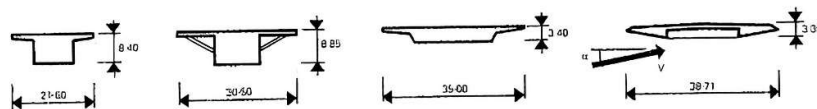
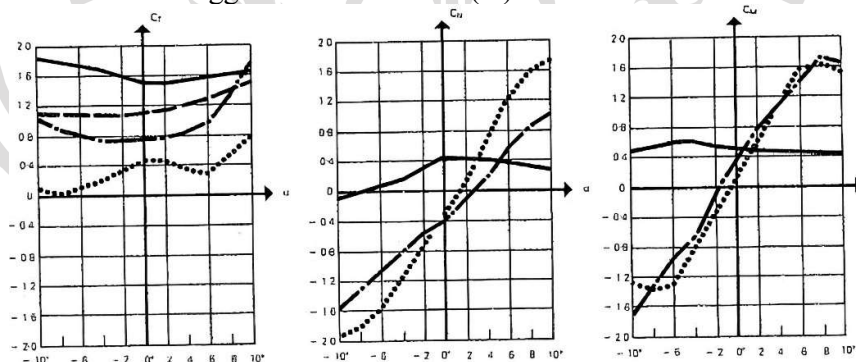
Dengan kecepatan angin tersebut akan menyebabkan gaya angkat (*uplift*) pada jembatan yang besarnya dapat dihitung dengan Persamaan (3.58)

$$Fo = \rho \frac{V^2}{2} C \times h \dots \dots \dots (3.58)$$

(walther,1999, 7.3.2-7.13)

Dimana:

- Fo = Gaya angkat
- ρ = Berat volume udara
- V = Kecepatan angin (m/s)
- C = Koefisien gaya angkat lantai kendaraan dapat dilihat pada gambar
- h = Tinggi Lantai kendaraan (m)



Gambar 3.8 Koefisien C berdasarkan Penampang Deck
(sumber: Walther et al., 1999)

Gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung dengan Persamaan (3.59)

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \times \frac{F_0}{m} \times v_{max} \dots \dots \dots (3.59)$$

Dimana,

\hat{v} = Amplitudo

Perhitungan dilanjutkan untuk mendapatkan nilai percepatan getaran yang dihasilkan dengan persamaan berikut:

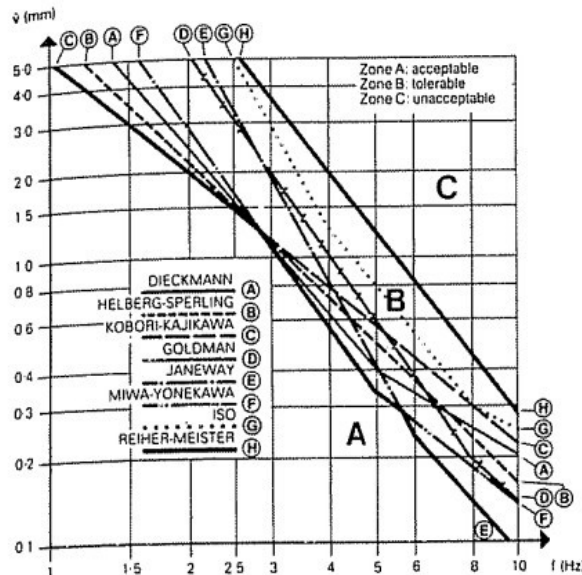
$$\ddot{v} = 4\pi^2 \times f_B^2 \times \hat{v} \dots \dots \dots (3.60)$$

Dimana,

\ddot{v} = Percepatan Getaran

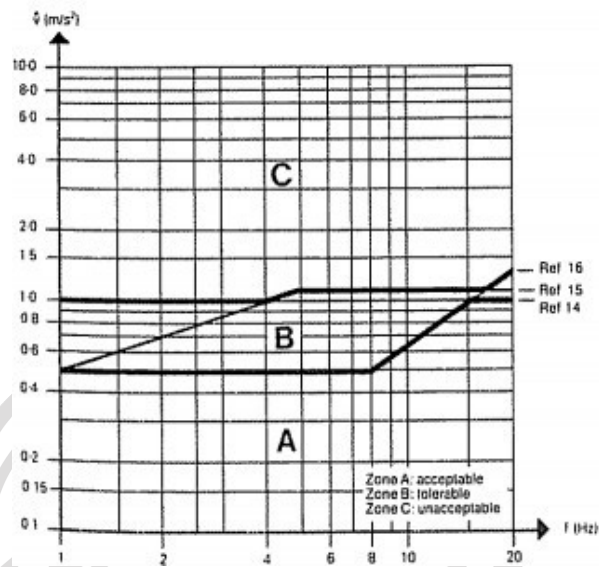
\hat{v} = Amplitudo

Digunakan f_B maka dapat diketahui klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (\hat{v}) dengan melakukan plot nilai \hat{v} dan f_B pada gambar Gambar 3.9



Gambar 3.9 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Amplitudo
(sumber: Walther et al., 1999)

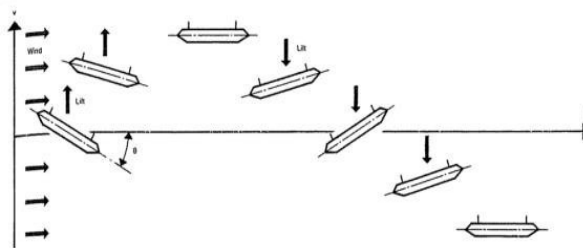
Sedangkan untuk klasifikasi efek psikologi berdasarkan percepatan getaran (\ddot{v}) dapat diperoleh dengan melakukan plot nilai \ddot{v} dan f_B pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Klasifikasi Efek Psikologis berdasarkan Percepatan
(Sumber: Walther, 1999)

3.11.3. Efek Ayunan (Flutter)

Efek ayunan pada kecepatan kritis (V_{kritis}) akan menimbulkan lenturan dan torsi. Ilustrasi lantai kendaraan yang mengalami efek ayunan dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Ilustrasi Efek Ayunan
(sumber: Walther et al., 1999)

Hasil akhir perhitungan flutter adalah didapatkannya nilai kecepatan kritis *actual* struktur ($V_{kritis,actual}$). Apabila nilai kritis *actual* struktur lebih besar dari nilai kecepatan angin rencana, maka struktur dinyatakan aman. Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis ($V_{kritis,teoritis}$), dapat digunakan metode Perhitungan flutter menggunakan metode Kloppel sesuai Persamaan (3.61)

$$V_{kritis,Teoritis}=2 \times \pi \times f_B \times b \dots \dots \dots (3.61)$$

Dimana:

- B = 0,5 lebar lantai kendaraan
- fb = Frekuensi balok

Untuk mendapatkan nilai $V_{kritis, teoritis}$ menggunakan grafik pada Gambar 3.12 Perhitungan Flotter Metode Kloppel dengan menggunakan Persamaan

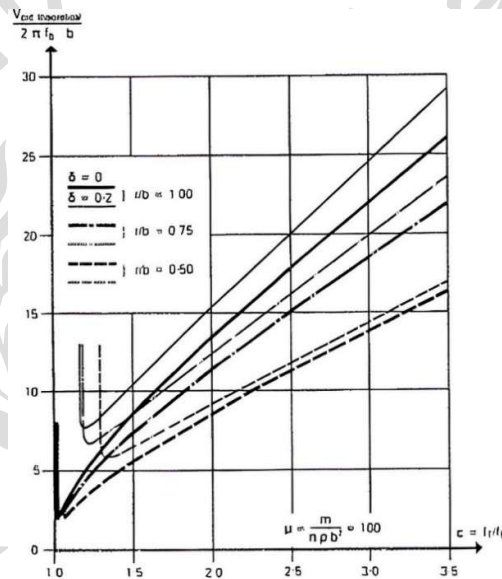
$$\mu = \frac{m}{\pi \times \rho \times \frac{h^2}{2}} \dots \dots \dots (3.62)$$

$$\frac{r}{b} \dots \dots \dots (3.63)$$

$$\frac{f_T}{f_B} \dots \dots \dots (3.64)$$

Dimana,

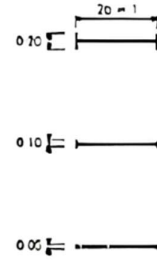
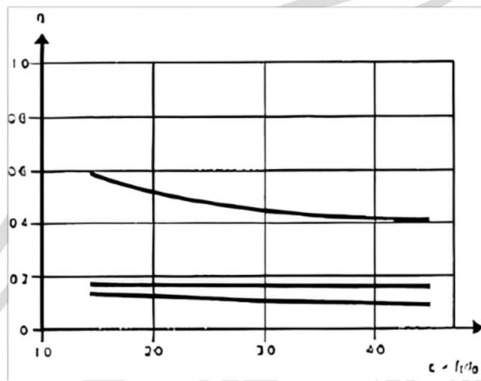
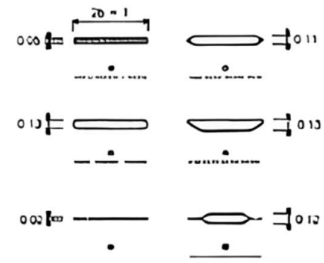
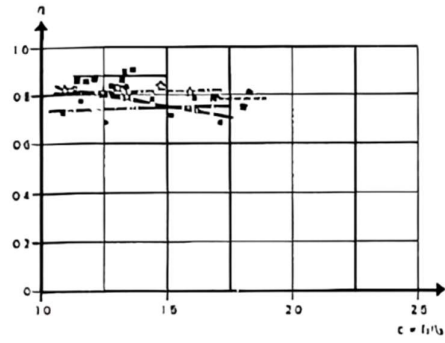
- μ = Nilai Flotter
- ρ = berat volume udara
- h = tinggi profil
- r = jari jari profil
- b = lebar profil
- f_T = frekuensi alam akibat torsi
- f_B = Frekuensi balok



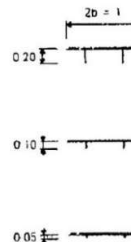
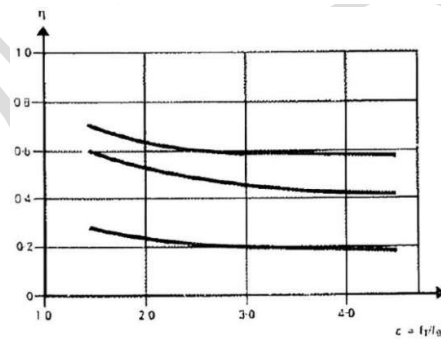
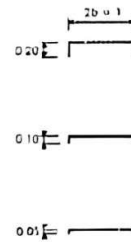
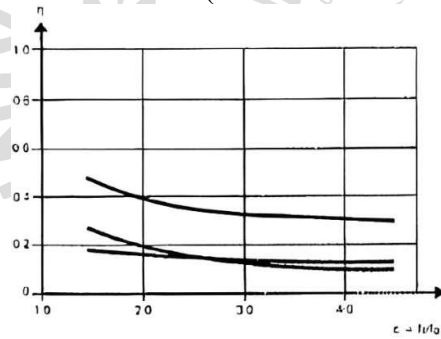
Gambar 3.12 Perhitungan Flotter Metode Kloppel
(sumber: Walther et al., 1999)

Kecepatan kritis.teoritis dikoreksi menjadi kecepatan kritis *actual* sesuai dengan Persamaan (3.65) menggunakan grafik pada Gambar 3.14 Pemilihan grafik berdasarkan penampang lantai kendaraan yang dipakai.

$$V_{kritis\ Aktual} = \frac{\eta(\alpha=\pm 6^\circ)}{\eta(\alpha=0^\circ)} \times V_{kritis\ teoritis} \dots \dots \dots (3.65)$$



Gambar 3. 13 Koreksi Kecepatan η (a)
(sumber: Walther et al., 1999)



- mendistribusikan beban pada pengisi, $h_f = 1,00$
- b) Bila baut tidak ditambahkan untuk mendistribusikan beban pada pengisi antara bagian tersambung, $h_f = 1,00$ (untuk satu pengisi) dan $h_f = 0,85$ (untuk dua atau lebih pengisi)
- n_s = Jumlah bidang slip yang diperlukan
- $$R_u \leq \phi R_n \dots \dots \dots (3.67)$$

Dimana:

- Untuk lubang ukuran standar dan lubang slot-pendek yang tegak lurus terhadap arah dari beban, $\phi = 1$
- Untuk lubang ukuran berlebih dan lubang slot-pendek yang paralel terhadap arah dari beban, $\phi = 0,85$
- Untuk lubang slot-panjang, $\phi = 0,7$

Tabel 3.12 Pratarik Baut Minimum dalam Satuan kN

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

(Sumber: SNI 1729-2015 Tabel J3.1M)

Bila suatu sambungan kritis-slip menahan suatu gaya tarik yang diterapkan maka reduksi gaya penjepit neto, ketahanan *slip* yang tersedia per baut dari Persamaan (3.68), harus dikalikan dengan factor, k_{sc} , pada Persamaan (3.69)

$$K_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u \times T_b \times n_b} \dots \dots \dots (3.68)$$

$$R'_n = K_{sc} \times R_n \dots \dots \dots (3.69)$$

Dimana,

T_u = Gaya Tarik yang diperlukan menggunakan kombinasi beban

n_b = Jumlah baut yang menahan gaya tarik yang diterapkan

3.12.2. Sambungan Las

Menurut SNI 1729-2015, sambungan las harus dirancang menggunakan sambungan kritis-slip untuk mencegah slip dan untuk keadaan batas dari sambungan tipe tumpuan. Kekuatan sambungan las harus diambil nilai terendah dari kekuatan material dasar yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser sesuai dengan Persamaan (3.70) dan kekuatan logam las yang ditentukan menurut keadaan batas dari keruntuhan sesuai dengan Persamaan (3.71)

1. Untuk logam dasar

$$R_n = F_n B M \times A B M \dots \dots \dots (3.70)$$

2. Untuk Logam Las

$$R_n = F_n w \times A w e \dots \dots \dots (3.71)$$

Dimana,

F_{nBM} = Tegangan nominal dari logam dasar

F_{nw} = Tegangan nominal dari logam las

A_{BM} = Luas penampang logam dasar
 A_{we} = Luas efektif las

Untuk ukuran minimum las sudut menurut SNI 1729- 2015 Pasal J2.2b dapat dilihat pada Tabel 3.13

Tabel 3.13 Ukuran Minimum Las Sudut

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, mm	Ukuran Minimum Las Sudut, mm
Sampai dengan 6	3
Lebih besar 6 sampai dengan 13	5
Lebih besar 13 sampai dengan 19	6
Lebih besar dari 19	8

(Sumber: SNI 1729-2015 Tabel J2.4)

Untuk ukuran maksimum las sudut menurut SNI 1729- 2015 Pasal J2.2b dari bagian-bagian yang tersambung yaitu:

1. Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, dan tidak lebih besar dari ketebalan material
2. Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih dan tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat-penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

3.13. Perencanaan Perletakan

Perencanaan perletakan menggunakan beban yaitu beban mati sendiri dan beban hidup kendaraan. Dalam perhitungan gaya maksimum dilakukan beberapa tahap simulasi. Simulasi berupa kemungkinan terburuk jika salah satu perletakan mengalami kegagalan. Penentuan jenis perletakan menggunakan brosur perletakan yang terdapat di pasaran.

3.14. Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Merencanakan dimensi elemen struktur bawah jembatan yang mencakup *abutment* dan pondasi dengan data tanah yang telah tersedia. Perencanaan yang harus didapatkan meliputi:

3.14.1. Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode Meyerhof (1976). Meyerhof (1976) menyajikan metode perhitungan tiang pancang sesuai dengan Persamaan (3.72)

$$Q_L = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (3.72)$$

Dimana:

Q_L = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = Resistance ultimate di dasar pondasi

Q_s = Resistance ultimate akibat lekatan lateral

Perhitungan resistance ultimate di dasar pondasi sesuai dengan Persamaan (3.73)

$$Q_p = q_p \times A_p = \alpha \times N_p \times K \times A_p \dots \dots \dots (3.73)$$

Dimana:

N_p = Harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi

$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{n} \dots \dots \dots (3.74)$$

B = Diameter Pondasi

K = Koefisien karakteristik tanah di dasar pondasi sesuai Tabel 3.14

A_p = Luas Penampang dasar Tiang

q_p = Tegangan di Ujung Tiang

Tabel 3.14 Koefisien Karakteristik Tanah

Jenis Tanah	K (ton/m ²)
Lempung (<i>Clay</i>)	12
Lempung Berlanau (<i>Silty Clay</i>)	20
Pasir Berlanau (<i>Silty Sand</i>)	25
Pasir (<i>Sand</i>)	40

(Sumber: Wahyudi, Herman, 2013)

Perhitungan resistance akibat lekatan lateral sesuai dengan Persamaan (3.75)

$$Q_s = q_s \times A = \beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \dots \dots \dots (3.75)$$

Dimana,

q_s = Tegangan akibat lekatan lateral (t/m²)

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang terbenam

A_s = Luas Selimut Tiang

Nilai koefisien α dan β menurut Meyerhof dapat dilihat pada Tabel 3.15 & Tabel 3.16

Tabel 3.15 Nilai Koefisien α

<i>Soil / Pile</i>	<i>Driven Pile</i>	<i>Bored Pile</i>	<i>Bored Pile (bentonite)</i>	<i>Continuous Hollow Auger</i>	<i>Root Pile</i>	<i>Injected Pile (High Pressure)</i>
<i>Clay</i>	1	0,85	0,85	0,3	0,85	1
<i>Intermediate Soils</i>	1	0,6	0,6	0,3	0,6	1
<i>Sands</i>	1	0,5	0,5	0,3	0,5	1

(Sumber: Wahyudi, Herman, 2013)

Tabel 3.16 Nilai Koefisien β

<i>Soil / Pile</i>	<i>Driven Pile</i>	<i>Bored Pile</i>	<i>Bored Pile (bentonite)</i>	<i>Continuous Hollow Auger</i>	<i>Root Pile</i>	<i>Injected Pile (High Pressure)</i>
<i>Clay</i>	1	0,85	0,9	1	1,5	3
<i>Intermediate Soils</i>	1	0,6	0,75	1	1,5	3
<i>Sands</i>	1	0,5	0,6	1	1,5	3

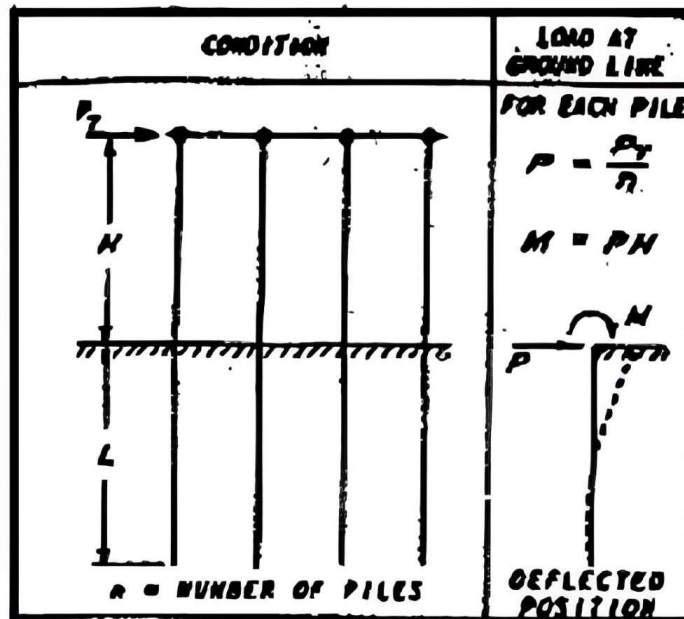
(Sumber: Wahyudi, Herman, 2013)

3.14.2. Daya Dukung Gaya Lateral Pondasi Tiang Pancang

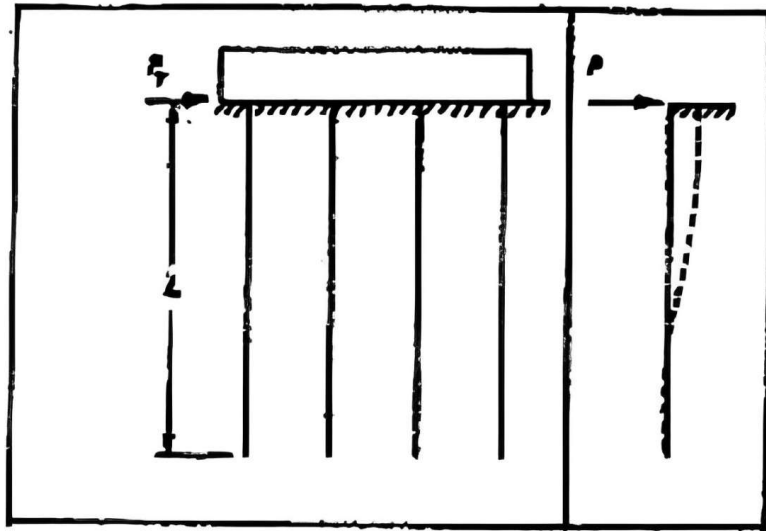
Selain didesain mampu menahan gaya vertical, pondasi tiang pancang juga harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang bekerja padanya. Pada konstruksi jembatan, gaya lateral yang bekerja pada pondasi tiang pancang dapat berupa gaya gesek pada tumpuan bergerak, gaya rem, gaya gempa gaya akibat angin, gaya akibat arus dan gaya akibat tekanan tanah. Perumusan yang dipakai dalam perhitungan gaya lateral yang mampu diterima oleh pondasi tiang pancang dalam tulisan ini diambil dari NAFVAC DM-7 (1971).

Menurut NAFVAC DM-7 (1971), gaya lateral yang bekerja pada pondasi tiang pancang dibedakan atas tiga kondisi sebagai berikut:

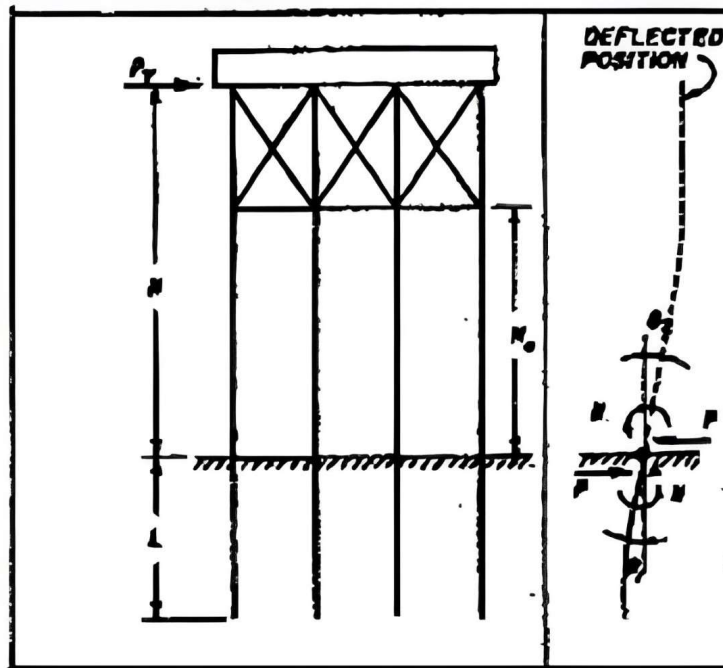
1. Tiang pancang yang poernya fleksibel atau tiang pancang yang terjepit diujungnya (Gambar 3.15).
2. Tiang pancang dengan poer kaku menempel diatas permukaan tanah (Gambar 3.16).
3. Tiang pancang dengan poer kaku terletak pada suatu ketinggian (Gambar 3.17).



Gambar 3.15 Kondisi 1
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.16 Kondisi 2
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.17 Kondisi 3
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

Perhitungan untuk daya dukung gaya lateral pada tiang pancang adalah sebagai berikut:

1. Faktor Kekuatan *Relative* (T)

Faktor kekuatan *relative* pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan (3.76)

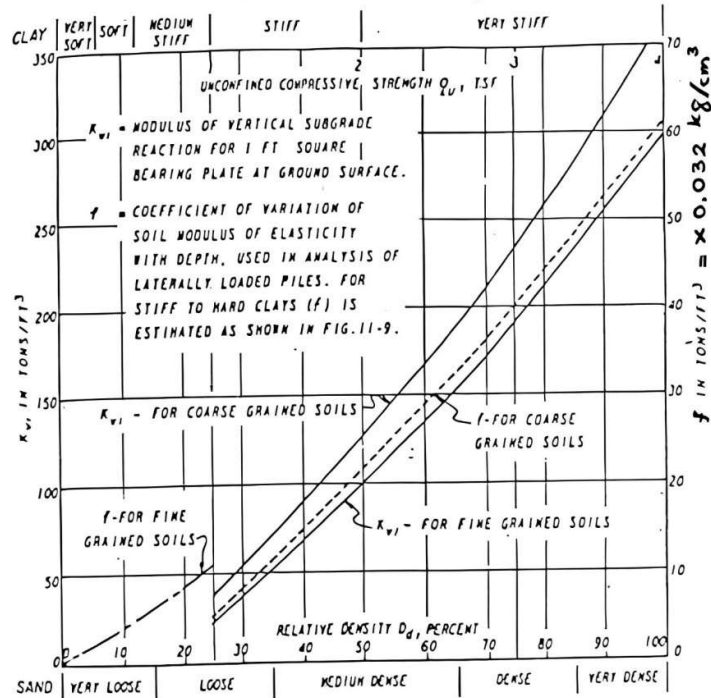
$$T = \left(\frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}} \dots \dots \dots (3.76)$$

Dimana,

T = Faktor Kekuatan *Relative*

E = Modulus Elastisitas Tiang Pancang
 I = Momen Inersia Penampang Tiang Pancang
 F = Koefisien Variasi (Didapatkan dari Gambar 3.18)

$$q_u, tsf = \times 0.977 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 3.18 Koefisien variasi (f)
 (Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

2. Kekuatan Defleksi pada Tiang Pancang
 Kekuatan defleksi pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan (3.77)

$$\delta_p = f \delta \times \left(\frac{P \cdot T^3}{EI} \right) \dots \dots \dots (3.77)$$

Dimana:

P = Beban Lateral untuk Satu Tiang Pancang

$f \delta$ = Koefisien Defleksi berdasarkan Kondisi Tiang Pancang

3. Kekuatan Momen (M_p) Pada Tiang Pancang
 Kekuatan momen pada tiang pancang diperhitungkan sesuai dengan Persamaan (3.78)

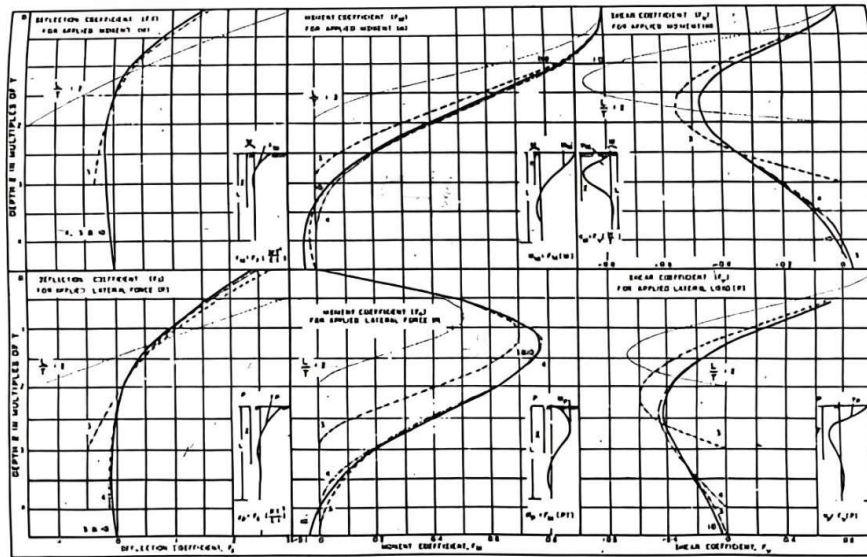
$$M_p = f_m \times P \times T \dots \dots \dots (3.78)$$

Dimana,

f_m = Koefisien Momen Berdasarkan kondisi tiang pancang

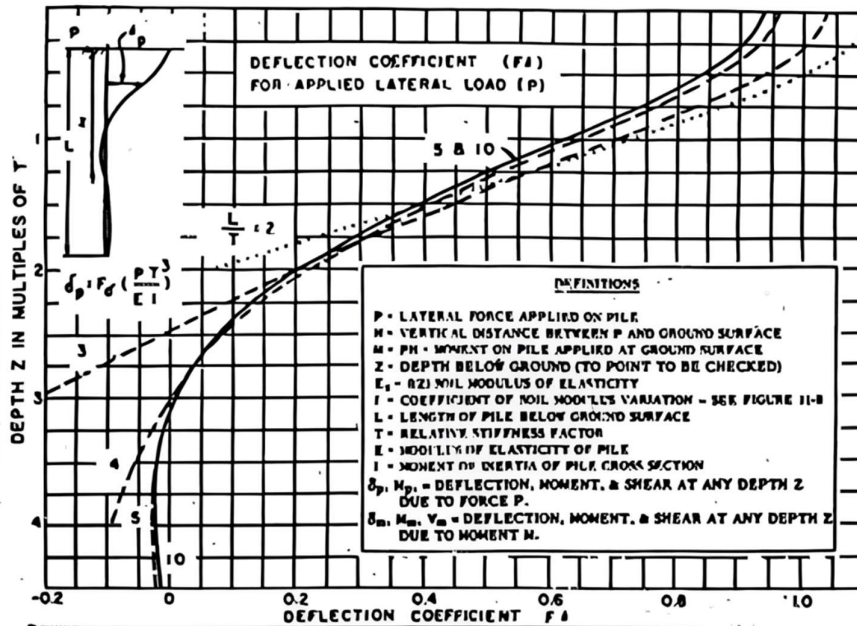


4. Koefisien Defleksi & Koefisien Momen pada kondisi 1

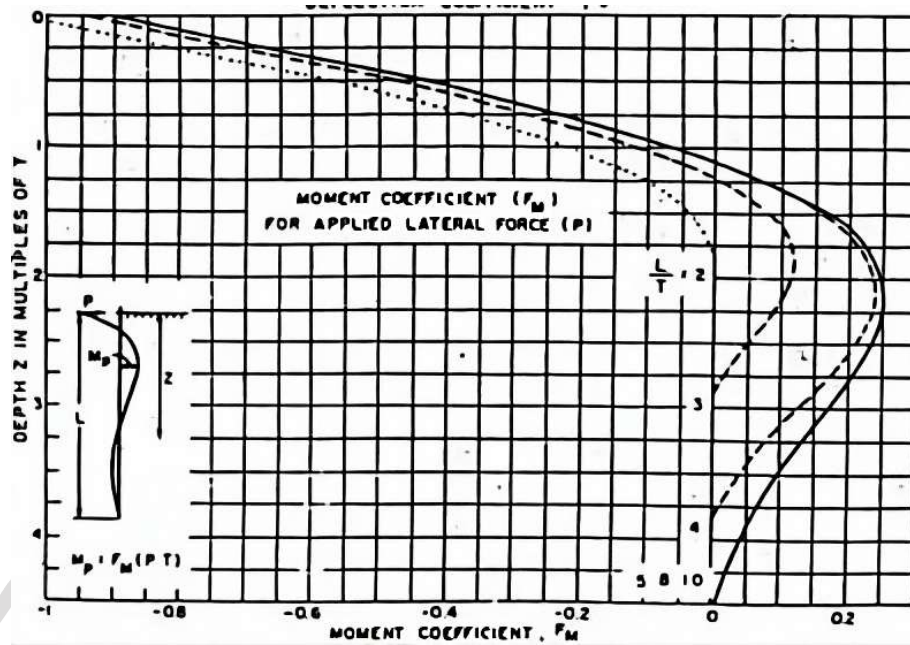


Gambar 3.19 Koefisien Defleksi (f_p) dan Koefisien Momen (f_m)
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

5. Koefisien Defleksi & Koefisien Momen pada kondisi 2

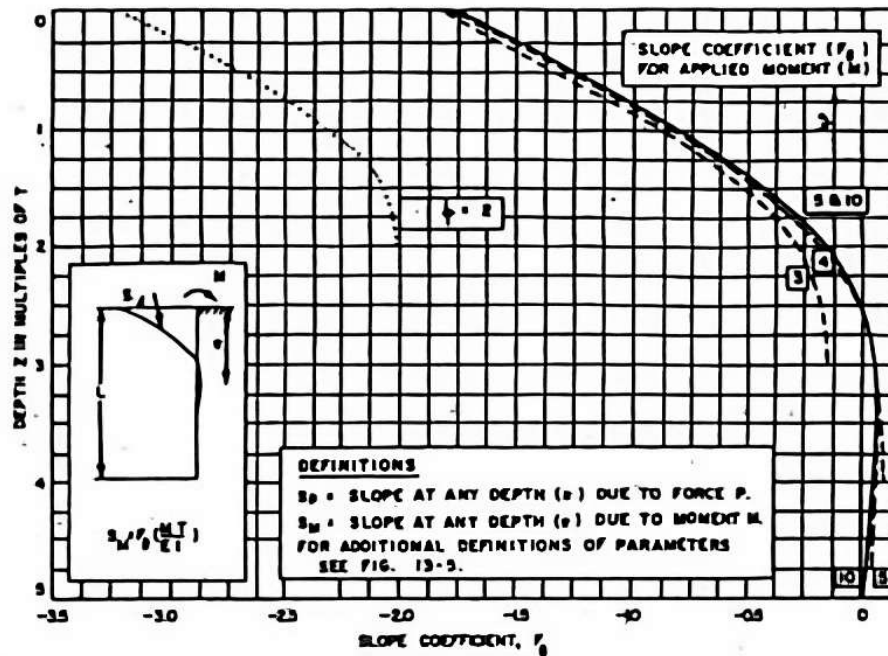


Gambar 3.20 Koefisien Defleksi (f_p) Kondisi 2
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

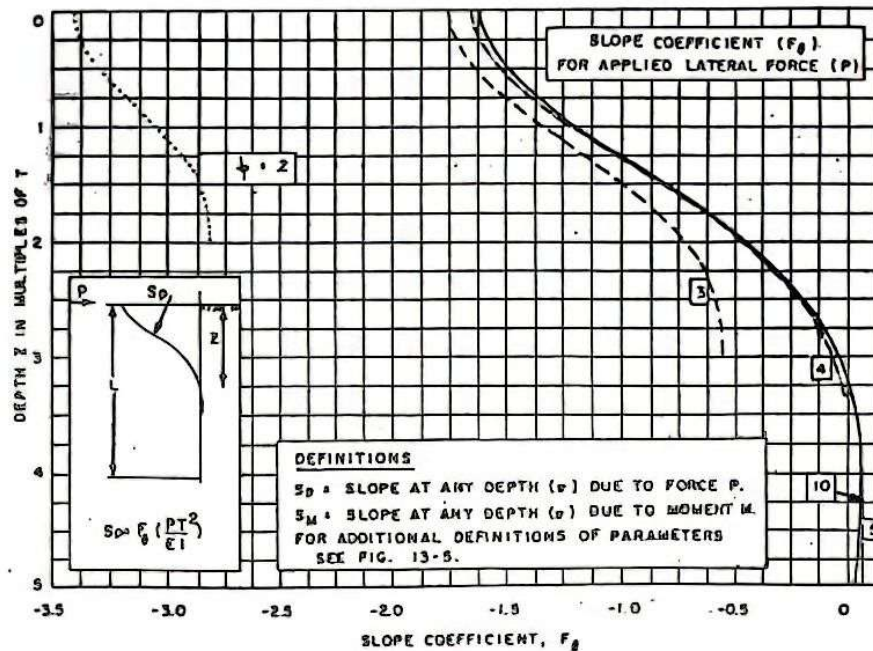


Gambar 3.21 Koefisien Momen (f_m) Kondisi 2
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

6. Koefisien Defleksi & Koefisien Momen pada kondisi 3



Gambar 3.22 Koefisien Defleksi (f_p) Kondisi 3
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)



Gambar 3.23 Koefisien Momen (f_m) Kondisi 3
(Sumber: NAFDAV DM-7, 1971)

3.14.3. Daya Dukung Pondasi Tiang Grup

Daya dukung grup diperhitungkan apabila jarak as ke as antar tiang lebih dari 2 kali diameter dengan maksimal jarak as ke as kurang dari 3 kali diameter. Apabila jarak as ke as antar tiang lebih dari 3 kali diameter, maka grup tiang pondasi tidak perlu diperhitungkan. Daya dukung grup pondasi harus dikorelasi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (C_e). Daya dukung grup pondasi diperhitungkan sesuai persamaan (3.79)

$$QL(\text{grup}) = QL(1\text{tiang}) \times n \times C_e \dots \dots \dots (3.79)$$

Dimana,

n = Jumlah Tiang Dalam grup

Koefisien efisiensi menggunakan rumus Converra Labarre
diperhitungkan sesuai Persamaan (3.80)

$$C_e = 1 - \left(\frac{\arctan \frac{D}{S}}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \right) \dots \dots \dots (3.80)$$

Dimana,

D = Diameter Sebuah Tiang Pondasi

S = Jarak as ke as antar Tiang dalam grup

m = Jumlah Baris Tiang dalam grup

n = Jumlah Kolom Tiang dalam grup

3.15. Volume Pekerjaan

Volume dihitung untuk mengetahui berapa besaran pekerjaan yang akan dihitung. Sebelum menghitung volume pekerjaan perlu diketahui item pekerjaan yang biasanya termuat didalam gambar kerja dan perlu diketahui juga spesifikasi pekerjaan tersebut. Dengan mengetahui volume dapat dilakukan tahap perhitungan yang selanjutnya. Satuan yang terdapat pada volume umumnya dalam satuan persegi (m^2), meter kubik (m^3), titik, dan unit. Nantinya volume pekerjaan ini akan dikali dengan satuan pekerjaan. Semua item harus dimasukkan tanpa terkecuali.

3.16. Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Harga satuan pekerjaan adalah harga yang telah ditetapkan untuk tiap jenis / item pekerjaan yang biasanya dilakukan sebelum melakukan suatu proyek. Analisa harga satuan dapat dikerjakan dengan Analisa sendiri atau menggunakan Analisa yang sudah ada. Kita perlu mengetahui harga yang tertera pada pasar untuk daerah tersebut. Dalam perhitungan ini yang perlu diketahui adalah harga upah, harga bahan, harga sewa peralatan dan alat bantu lainnya. Analisa harga pekerjaan merupakan jumlah dari perkalian produktifitas tenaga, produktifitas peralatan, jumlah material. Dalam perencanaan ini menggunakan HSPK (Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi) Kabupaten Gresik tahun 2023.

3.17. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung dari hasil analisa harga satuan pekerjaan dan dikalikan dengan jumlah volume pekerjaan dari setiap item pekerjaan. Keseluruhan biaya pada suatu proyek akan dimuat dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara rinci. Rencana anggaran biaya memuat biaya pekerjaan persiapan, biaya izin, biaya pekerjaan konstruksi, biaya pengujian, dan biaya pajak. Pada perhitungan berpatokan pada volume dan analisa harga satuan yang telah dihitung sebelumnya kemudian ditambahkan PPN (Pajak Pertambahan Nilai) sebesar 12%.

Tujuan utama penyusunan rencana anggaran biaya adalah untuk mengetahui biaya – biaya yang diperlukan pada suatu proyek. Rencana anggaran biaya juga dapat dijadikan acuan seberapa besar kemampuan pemilik proyek untuk melaksanakan suatu proyek. Menurut Ervianto, 2003 Tahapan – tahapan yang dilakukan saat menyusun rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan berbagai data mengenai jenis, harga serta kemampuan pasar untuk memenuhi kebutuhan bahan/material konstruksi.
2. Melakukan pengkajian data tentang upah pekerja yang berlaku di daerah lokasi proyek atau upah pekerja pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek.
3. Menghitung analisis bahan dan upah dengan menggunakan analisis sesuai dengan aturan yang ada.
4. Menghitung harga satuan pekerjaan dengan mengalikan hasil Analisa dengan jumlah volume yang telah dihitung.
5. Menyusun rekapitulasi biaya pembangunan.

3.18. Produktivitas

Produktivitas merupakan durasi yang dibutuhkan pada pekerjaan konstruksi. Produktivitas sebagai acuan seberapa besar efisiensi penggunaan sumber daya untuk menghasilkan produk atau jasa. Dalam menentukan produktivitas dapat dihitung dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mencari koefisien dari HSPK daerah proyek.
2. Mengalikan koefisien dengan Harga Satuan sesuai HSPK.
3. Menentukan berapa tenaga kerja.
4. Menentukan harga material, dan alat
5. Didapatkan produktivitas dengan persamaan (3.81) ;

$$\text{Produktivitas} = \frac{1}{(\text{koefisien tenaga kerja dari AHSP})} \dots \dots \dots (3.81)$$

3.19. Durasi Pekerjaan

Durasi pada proyek adalah waktu kerja yang telah ditentukan untuk melakukan suatu pekerjaan. Durasi dalam proyek sangat diperhitungkan karena dapat mempengaruhi satu sama lain. Durasi yang tepat akan menguntungkan bagi semua pihak, tetapi apabila durasi tersebut terlambat akan menimbulkan kerugian. Biasanya durasi dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu volume pekerjaan, metode konstruksi, kondisi lahan, tenaga kerja. Pada proyek biasanya durasi diperhitungkan secara matang. Durasi dihitung dan hasil perhitungan dilakukan penyesuaian – penyesuaian sesuai pengalaman. Penambahan dan pengurangan durasi biasanya kerap terjadi untuk meminimalisir resiko kegagalan atau keterlambatan. Berikut cara menentukan durasi pekerjaan dengan persamaan (3.82) :

$$\text{Durasi Pekerjaan} = \frac{\text{volume bangunan}}{\text{produktivitas}} \dots \dots \dots (3.82)$$

3.20. Lintasan Kritis

Microsoft Project adalah *software* aplikasi untuk mengolah data administrasi yang biasanya digunakan pada suatu proyek. *Microsoft Project* digunakan sebagai alat pengelolaan, perencanaan, pengawasan, dan pelaporan. *Microsoft Project* kali ini berfungsi untuk mencari lintasan kritis untuk perencanaan penjadwalan. Berikut cara penggunaan *Microsoft Project* untuk menentukan lintasan kritis:

1. Mengisi aktivitas jenis pekerjaan
2. Mengisi durasi pekerjaan
3. Mengisi waktu mulainya pekerjaan
4. Mengisi waktu selesainya pekerjaan
5. Mengisi biaya sesuai HSPK yang terlampir

3.21. Jadwal Kegiatan

Berikut merupakan jadwal kegiatan yang akan dilakukan selama proses penelitian tugas akhir:

Tabel 3.17 Jadwal Kegiatan

NO	NAMA KEGIATAN	MINGGU KE													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Pengumpulan data dan Studi Literatur														
2	Penentuan Kriteria Desain														
3	Preliminary Design														
4	Pembebanan dan Pemodelan Struktur														
5	Perencanaan Struktur Atas Jembatan														
6	Analisa Struktur Menggunakan SAP 2000														
8	Perencanaan Sambungan Jembatan														
9	Perencanaan Perletakan														
10	Perencanaan Struktur Bawah Jembatan														
11	Gambar Rencana Jembatan														
12	Analisa Volume, Harga Upah & Material, Harga Satuan Pekerjaan														
13	Durasi Pekerjaan														
14	RAB dan Penjadwalan														

(Sumber : Data Pribadi)