

**ANALISIS STRUKTUR ATAS DAN STRUKTUR BAWAH JEMBATAN UNDERPASS
JALAN NASIONAL STA 11+140 PROYEK JALAN TOL RUAS BINJAI - LANGSA SEKSI I
BINJAI - P. BRANDAN**

Oleh:

Abeth Diego Chandra Simamora ¹⁾

Robinson Sidjabat ²⁾

Rahelina Ginting ³⁾

Alexander Silitonga ⁴⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2,3,4)}

E-mail:

abethdcsimamora@gmail.com ¹⁾

robinson.sidjabat1950@gmail.com ²⁾

grahelina77@gmail.com ³⁾

alexandersilitonga08@gmail.com ⁴⁾

History Jurnal Ilmiah Teknik Sipil:

Received : 25 Maret 2022

Revised : 10 Mei 2022

Accepted : 23 Juli 2022

Published : 20 Agustus 2022

Publisher: LPPM Universitas Darma Agung

Licensed: This work is licensed under

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>



ABSTRACT

The prestressed concrete bridge for Provincial Road STA 11+140 Binjai Langsa Toll Road Section 1 Binjai - Pangkalan Brandan is one of the infrastructure programs developed by the government to increase the pace of the economy on the island of Sumatra, especially for the Binjai - Pangkalan Brandan area. The bridge has a length of 40 m with a total bridge width of 26.9 m. In the analysis of this bridge calculation, it is guided by RSNi T-02-2005 for bridge loading and SNI 2833:2016 for earthquake planning. Based on the analysis of the superstructure and substructure that has been carried out, it is obtained that for a floor slab thickness of 0.25 m with D19-125 mm main reinforcement and reinforcement for D16-175 mm, for I-Girder prestressed girder beams with a height of 2.1 m it is declared safe against stresses and deflections that occur in both initial and final conditions, and for abutment A1 it is declared safe for the control of overturning stability, shearing, soil bearing capacity both in the longitudinal direction (x direction) and transverse direction (y direction), and on the pile foundation. Piles on abutment A1 with a diameter of 0.6 m and a length of 24 m with a total of 64 piles are declared safe against the control of the axial permit bearing capacity of the pile.

Keywords: *Prestressed Bridge, I-Girder Prestressed Beam, Abutment A1, Pile Foundation.*

ABSTRAK

Jembatan beton prategang Jalan Provinsi STA 11+140 Jalan Tol Ruas Binjai Langsa Seksi 1 Binjai - Pangkalan Brandan merupakan salah satu program infrastruktur yang dikembangkan pemerintah guna meningkatkan laju perekonomian di Pulau Sumatera terutama untuk daerah Binjai - Pangkalan Brandan. Jembatan tersebut memiliki panjang 40 m dengan lebar total jembatan 26,9 m. Dalam analisis perhitungan jembatan ini berpedoman pada RSNi T-02-2005 untuk pembebanan jembatan dan SNI 2833:2016

untuk perencanaan terhadap gempa. Berdasarkan analisis terhadap struktur atas dan struktur bawah yang telah dilakukan diperoleh untuk tebal pelat lantai 0,25 m dengan tulangan pokok D19-125 mm dan tulangan bagi D16-175 mm, untuk balok gelagar prategang I-Girder dengan tinggi 2,1 m dinyatakan aman terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi baik pada kondisi awal maupun kondisi akhir, dan untuk abutment A1 dinyatakan aman terhadap kontrol stabilitas guling, geser, daya dukung tanah baik pada arah memanjang (arah x) dan arah melintang (arah y), dan pada pondasi tiang pancang pada abutment A1 berdiameter 0,6 m dan panjang 24 m dengan jumlah tiang pancang sebanyak 64 buah dinyatakan aman terhadap kontrol daya dukung ijin aksial tiang.

Kata Kunci: Jembatan Prategang, Balok Gelagar Prategang I-Girder, Abutment A1, Pondasi Tiang Pancang.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengembangan infrastruktur jalan tol semakin ditekankan pemerintah guna mempermudah akses dari satu kota ke kota lain untuk menghemat waktu dan jarak yang ditempuh. Jalan Tol Trans Sumatera adalah salah satu program infrastruktur yang dikembangkan pemerintah guna meningkatkan laju perekonomian di Pulau Sumatera. Satu diantaranya ialah pembangunan Jalan Tol Ruas Binjai - Langsa, Seksi Binjai - Pangkalan Brandan, Zona 1 Binjai - Stabat. Pada pembangunan tersebut terdapat beberapa pekerjaan struktur, salah satunya merupakan pekerjaan struktur jembatan underpass. Struktur jembatan underpass tersebut mengacu terhadap struktur jembatan pada umumnya. Namun pada jembatan underpass ini merupakan struktur jembatan beton prategang, dimana struktur atasnya menggunakan girder atau gelagar prategang.

Pada struktur jembatan, harus dilakukan perhitungan perencanaan berupa perhitungan elemen struktural pembentuk struktur jembatan tersebut secara keseluruhan. Perhitungan tersebut dimaksudkan agar struktur jembatan dapat dibangun sesuai dengan rancangan awal baik dari segi mutu ataupun kualitas, umur rencana, serta dari segi keamanan dan kestabilan struktur. Berdasarkan uraian tersebut,

maka perlu dilakukan analisis terhadap jembatan untuk mengetahui besar pembebanan yang terjadi pada jembatan tersebut dan juga untuk mengetahui besar gaya yang terjadi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penulisan ini adalah:

1. Melakukan analisis bagaimana perhitungan pembebanan dan penulangan pada pelat lantai jembatan.
2. Melakukan analisis bagaimana perhitungan pembebanan pada balok girder jembatan.
3. Melakukan analisis bagaimana perhitungan gaya prategang, tegangan dan lendutan yang terjadi pada balok girder jembatan.
4. Melakukan analisis bagaimana perhitungan pembebanan pada abutment jembatan.
5. Melakukan analisis bagaimana perhitungan daya dukung pondasi yang terjadi pada jembatan.

1.3. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perhitungan pembebanan yang ada pada struktur jembatan.
2. Untuk mengetahui analisis perhitungan struktur atas dan struktur bawah pada jembatan.

3. Untuk dapat mengontrol apakah struktur jembatan tersebut dapat menerima beban yang terjadi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Jika jembatan itu berada diatas jalan lalu lintas biasa maka dinamakan *viaduct*. (Struyk & Veen, 1984).

2.2. Komponen Struktur Jembatan

Secara umum struktur bangunan jembatan terdiri dari dua komponen utama yaitu struktur bangunan atas (*super structure* atau *upper structure*) dan struktur bangunan bawah (*sub structure*).

2.2.1. Komponen Struktur Atas

Struktur atas jembatan (*upperstructure*) adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi memikul langsung beban lalu lintas serta melimpahkannya ke bangunan bawah melalui struktur perletakan. ((PISEW), 2021) Bagian-bagian bangunan atas terdiri dari:

1. Gelagar utama (rangka, balok, masif, *box, girder*)
2. Gelagar memanjang
3. Ikatan angin
4. Sandaran
5. Lantai jembatan
6. *Expansion joint*

2.2.2. Komponen Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan (*substructure*) adalah bagian dari struktur jembatan yang berfungsi memikul bangunan atas dan semua beban yang bekerja pada struktur atas jembatan kemudian menyalurkannya ke pondasi. ((PISEW), 2021) Jenis bangunan bawah terdiri dari:

1. Pilar (*pier*)
2. *Abutment* (kepala jembatan)

2.3. Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang atau yang dikenal dengan *prestress concrete bridge*

(*PSC Bridge*) merupakan salah satu jenis jembatan dengan material konstruksi beton prategang atau beton yang berisi kabel baja dengan tujuan untuk memberikan tegangan awal berupa tegangan tarik terhadap beton akibat sifat beton yang tidak mampu menahan gaya tarik.

2.4. Pembebanan pada Jembatan

2.4.1. Beban Mati

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 3.6, beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

2.4.2. Beban Hidup

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Pasal 3.7 beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2005).

1. Beban Lajur "D"

Beban lajur "D" adalah bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya.

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

a. Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

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

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

dimana:

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

b. Beban garis (BGT) dengan

intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

2. Beban Truk "T"

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

2.4.3. Beban Rem

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan.

2.4.4. Beban Angin

Berdasarkan RSNI T-02-2005, beban angin dianggap bekerja secara merata pada seluruh struktur atas jembatan dan dihitung dengan rumus sebagai berikut: $T_{EW} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2$ dimana:

C_w = koefisien seret = 1,25 (Tabel 27 RSNI T-02-2005)

V_w = kecepatan angin rencana = 30 m/detik (Tabel 28 RSNI T-02-2005)

2.4.5. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi sebagai berikut:

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

dimana:

E_q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons elastik

R = faktor modifikasi respons

W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan hidup yang sesuai (kN)

2.5. Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan RSNI T-02-2005 Tabel 41, kombinasi pembebanan yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 2.1 Kombinasi Pembebanan

Aksi	Kombinasi						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-	-
Arus / hanyutan / hidro / daya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebih yang diperoleh	0%	25%	25%	40%	50%	30%	50%

Pada perhitungan ini hanya meninjau kombinasi 1 sampai 5 dari total 7 kombinasi yang ada.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Data Umum

Adapun data umum proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Binjai - Langsa Seksi 1 Binjai - Pangkalan Brandan Zona 1 Binjai - Stabat adalah sebagai berikut:

Nama Proyek : Proyek pembangunan Jalan Tol Ruas Binjai - Langsa Seksi 1 Binjai - Pangkalan Brandan Zona 1 Binjai - Stabat

Lokasi Proyek : Binjai - Stabat, Sumatera Utara

Lokasi Tinjauan Penelitian:

Jembatan Underpass STA 11+140 Jalan Nasional Binjai - Stabat

Pemilik Proyek: PT. HUTAMA KARYA (Persero)

Pelaksana Proyek: PT. HUTAMA KARYA INFRASTRUKTUR

3.2. Data Teknis

Data teknis adalah data yang berhubungan langsung dengan struktur jembatan. Data teknis diperoleh langsung dari lapangan dan data struktur yang diperoleh langsung dari PT. HUTAMA KARYA INFRASTRUKTUR.

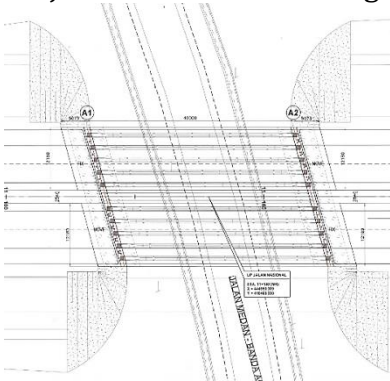
3.2.1. Lokasi Proyek

Adapun lokasi proyek Jembatan Underpass STA 11+140 Jalan Nasional Binjai - Stabat adalah sebagai berikut:

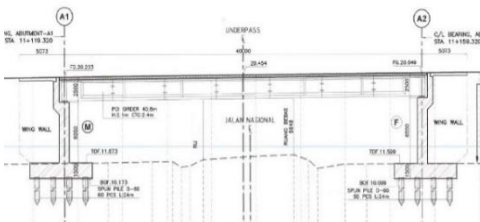


Gambar 3.1 Lokasi jembatan *underpass* STA 11+140

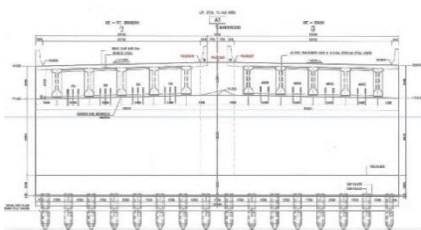
3.2.2. Gambar Penampang Jembatan
Adapun gambar penampang Jembatan *Underpass* STA 11+140 Jalan Nasional Binjai - Stabat adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Layout struktur jembatan *underpass* STA 11+140



Gambar 3.3 Gambar penampang memanjang jembatan *underpass* STA 11+140



Gambar 3.4 Gambar penampang melintang jembatan *underpass* STA 11+140

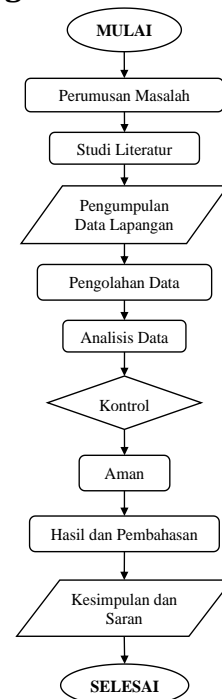
3.2.3. Data Mekanika Tanah
Adapun data mekanika tanah yang diperoleh pada penelitian ini adalah data hasil pengujian SPT yang dilakukan

pada titik sekitar lokasi jembatan.

3.2.4. Data Spesifikasi Jembatan

1. Mutu Beton
 - a. Untuk pelat lantai jembatan menggunakan mutu beton K-350 atau setara dengan $f_c' = 29,05$ MPa.
 - b. Untuk beton prategang (*girder*) menggunakan mutu beton K-600 atau setara dengan $f_c' = 49,8$ MPa.
 - c. Untuk *abutment* jembatan menggunakan mutu beton K-250 atau setara dengan $f_c' = 20,75$ MPa.
2. Baja Tulangan
Pada baja tulangan digunakan baja tulangan polos (BJTP) dengan $f_y = 24$ MPa dan $f_y = 400$ MPa.
3. Balok Prategang
Balok prategang (*girder*) yang digunakan pada jembatan ini merupakan *girder precast* dengan profile I (*I-Girder*).

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Pelat Lantai

Adapun pembebanan yang terjadi pada pelat lantai dapat dilihat pada tabel

berikut ini:

Tabel 4.1 Pembebanan Pelat Lantai

No.	Jenis Beban	Qu (kN/m)	Pu (kN)
1.	Berat Sendiri (MS)		
	Berat Sendiri Pelat Jembatan	8,125	-
	Berat Parapet / Sandaran Jembatan	-	13,348
2.	Beban Mati Tambahan (MA)	3,18	-
3.	Beban Hidup Truk "T"	-	263,25
4.	Beban Angin (EW)	-	0,925

Berdasarkan pembebanan yang terjadi, dilakukan analisis menggunakan *software* SAP 2000 v22, dan diperoleh hasil rekapitulasinya pada tabel berikut ini:

Tabel 4.2 Rekapitulasi Momen Ultimit Pelat Lantai

No.	Jenis Beban	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
1.	Berat Sendiri (MS)	-30,84	4,52
2.	Beban Mati Tambahan (MA)	-4,21	1,07
3.	Beban Hidup Truk "T"	-99,06	108,46
4.	Beban Angin (EW)	-0,45	0,37
Total Momen Ultimit, Mu		-134,56	114,42

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (d'):

$$d' = S_b + \left(\frac{1}{2} \times D\right) = 40 + \left(\frac{1}{2} \times 19\right) = 49,5 \text{ mm}$$

Tebel efektif (d):

$$d = h - d' = 250 - 49,5 = 200,5 \text{ mm}$$

Faktor distribusi tegangan beton:

Untuk $f_c' < 30 \text{ MPa}$ maka nilai $\beta_1 = 0,85$

Rasio tulangan berimbang:

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) = 0,0315$$

Rasio tulangan maksimum:

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0236$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y = 1,4 / 400 = 0,0035$$

Faktor tahanan momen maksimum:

$$R_{\text{maks}} = \rho_{\text{maks}} \times f_y \left(1 - \frac{1}{2} \times \rho_{\text{maks}} \times m\right)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,199$$

maka, $R_{\text{maks}} = 7,636 \text{ N/mm}^2$

Momen nominal rencana:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{134,56}{0,8} = 168,2 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen:

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{168,2 \times 10^6}{1000 \times 200,5^2} = 4,184 \text{ N/mm}^2$$

Check: $R_n = 4,184 \text{ N/mm}^2 < R_{\text{maks}}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}\right) = 0,011$$

Check nilai $\rho = \rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{maks}}$

$$0,0035 < 0,011 < 0,0236 \text{ (OK)}$$

Maka rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho_{\text{perlu}} = 0,011$

1. Tulangan Pokok

Luas tulangan pokok yang diperlukan:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,011 \times 1000 \times 200,5 = 2205,5 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan pokok D19

$$A_s' = 1/4 \times \pi \times D^2 = 1/4 \times \pi \times 19^2 = 283,529 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan pokok yang diperlukan:

$$S = \frac{A_s \times b}{A_s} = \frac{283,529 \times 1000}{2205,5} = 128,555 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan pokok D19-125 mm, tulangan dipasang dengan jarak 125 mm maka luas tulangan terpasang:

$$A_s \text{ tul. terpasang} = \frac{A_s \times b}{S} = \frac{283,529 \times 1000}{125} = 2268,232 \text{ mm}^2 > 2205,05 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

2. Tulangan Bagi / Susut

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pada pasal 5.5.4.c, besar tulangan bagi / susut arah memanjang jembatan diambil 50% dari tulangan pokok.

Luas tulangan bagi yang diperlukan:

$$A_s = 50\% \times A_s \text{ tulangan pokok} = 50\% \times 2205,5 = 1102,75 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan bagi D16

$$A_s' = 1/4 \times \pi \times D^2 = 1/4 \times \pi \times 16^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan bagi yang diperlukan:

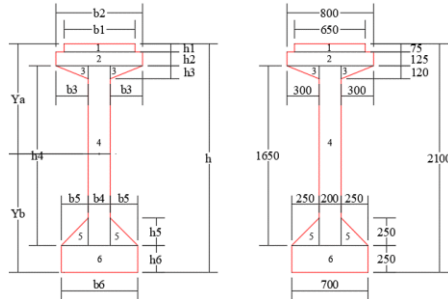
$$S = \frac{A_s \times b}{A_s} = \frac{201,062 \times 1000}{1102,75} = 182,328 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan bagi D16-175 mm, tulangan dipasang dengan jarak 175 mm maka luas tulangan terpasang:

$$A_s \text{ tul. terpasang} = \frac{A_s \times b}{S} = \frac{201,062 \times 1000}{175} = 1148,92 \text{ mm}^2 > 1102,75 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

4.2. Analisis Balok Gelagar Prategang

Adapun penampang gelagar *I-Girder* sebelum komposit dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.1 Penampang Balok Gelagar Prategang

Tabel 4.3 Perhitungan *I-Girder* sebelum komposit

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak terhadap alas yi (m)	Statis Momen A*yi (m ³)			
	Lebar b (mm)	Tinggi h (mm)						
1	650	0,65	75	0,075	0,04875	2,0625	0,100547	
2	800	0,8	125	0,125	0,1	1,9625	0,19625	
3	300	0,3	120	0,12	0,018	1,86	0,03348	
3	300	0,3	120	0,12	0,018	1,86	0,03348	
4	200	0,2	1650	1,65	0,33	1,075	0,35475	
5	250	0,25	250	0,25	0,03125	0,333333	0,01041667	
5	250	0,25	250	0,25	0,03125	0,333333	0,01041667	
6	700	0,7	250	0,25	0,175	0,125	0,021875	
Total, Σ					0,75225			0,76121521

Penentuan titik berat atau *center gravity of concrete* (C.G.C) balok prategang:

$$Y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{0,76121525208}{0,75225} = 1,012 \text{ m}$$

$$Y_a = h - Y_b = 2,1 - 1,0119 = 1,088 \text{ m}$$

Momen Inersia (Ix):

Untuk penampang persegi, $I_x = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot Y^2$

Untuk penampang segitiga, $I_x = \frac{1}{36} b \cdot h^3 + A \cdot Y^2$

dimana:

I_x = momen inersia sumbu x (m⁴)

b = lebar bagian balok yang ditinjau (m)

h = tinggi bagian balok yang ditinjau (m)

A = luas bagian balok yang ditinjau (m²)

Y = jarak titik berat balok terhadap sumbu x (m)

$$Y = y_i - Y_b$$

Perhitungan momen inersia pada *section 1*:

$$I_x = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot Y^2 = 0,053820926 \text{ m}^4$$

Tabel 4.4 Perhitungan momen inersia (Ix) penampang *I-Girder* sebelum komposit

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak alas yi (m)	Y (yi - Yb) (m)	Momen Inersia Ix (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)				
1	0,65	0,075	0,04875	2,0625	1,0505	0,053820926
2	0,8	0,125	0,1	1,9625	0,9505	0,090475233
3	0,3	0,12	0,018	1,86	0,848	0,012987072
3	0,3	0,12	0,018	1,86	0,848	0,012987072
4	0,2	1,65	0,33	1,075	0,063	0,07617852
5	0,25	0,25	0,03125	0,333333	-0,6786667	0,01471891
5	0,25	0,25	0,03125	0,333333	-0,6786667	0,01471891
6	0,7	0,25	0,175	0,125	-0,887	0,138596033
Total, Σ						0,414482676

Perhitungan tahanan momen balok prategang sisi atas (Wa) dan sisi bawah (Wb):

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{0,414482676}{1,088} = 0,381 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{0,414482676}{1,012} = 0,409 \text{ m}^3$$

Berdasarkan RSNI T-03-2005, lebar efektif pelat lantai (Be) diambil nilai terkecil dari:

$$Be = L / 5 = 40 / 5 = 8 \text{ m}$$

$$Be = \text{jarak antar girder} = 2,4 \text{ m}$$

$$Be = 12 \times h_0 = 12 \times 0,25 = 3 \text{ m}$$

Jadi, diambil nilai lebar efektif, $Be = 2,4 \text{ m}$

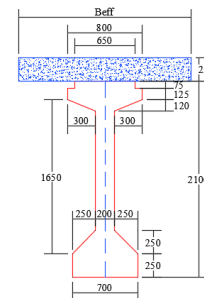
fc' (pelat) = 29,05 MPa; fc' (balok) = 49,8 MPa

Modulus elastisitas, $E = 4700\sqrt{fc'}$

$$\text{Angka ekuivalen, } n = \frac{E_{\text{pelat}}}{E_{\text{balok}}} = 0,763763$$

Maka lebar efektif pengganti beton pelat lantai jembatan:

$$Be_{\text{eff}} = n \times Be = 0,763763 \times 2,4 = 1,833 \text{ m}$$



Gambar 4.2 Penampang *I-Girder* Setelah Komposit

Tabel 4.5 Perhitungan *I-Girder* setelah komposit

No.	Dimensi				Luas Tampang A (m ²)	Jarak alas yi (m)	Statis Momen A ² yi (m ³)
	Lebar b (mm)	Tinggi h (mm)	Lebar b (m)	Tinggi h (m)			
Pelat	1833	1.833	250	0,25	0,45825	2,225	1,0196063
1	650	0,65	75	0,075	0,04875	2,0625	0,1005469
2	800	0,8	125	0,125	0,1	1,9625	0,19625
3	300	0,3	120	0,12	0,018	1,86	0,03348
3	300	0,3	120	0,12	0,018	1,86	0,03348
4	200	0,2	1650	1,65	0,33	1,075	0,35475
5	250	0,25	250	0,25	0,03125	0,33333	0,0104167
5	250	0,25	250	0,25	0,03125	0,33333	0,0104167
6	700	0,7	250	0,25	0,175	0,125	0,021875
Total Σ					1,2105		1,7808215

Penentuan titik berat atau *center gravity of concrete* balok prategang setelah komposit:

$$Y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{1,780821458}{1,2105} = 1,471 \text{ m}$$

$$Y_a = (h+h_0) - Y_b = 0,879 \text{ m}$$

Tabel 4.6 Perhitungan momen inersia (*I_x*) penampang *I-Girder* setelah komposit

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak alas yi (m)	Y (yi - Yb) (m)	Momen Inersia <i>I_x</i> (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)				
Pelat	1,833	0,25	0,45825	2,225	0,754	0,2629092
1	0,65	0,075	0,04875	2,0625	1,0505	0,0538209
2	0,8	0,125	0,1	1,9625	0,9505	0,0904752
3	0,3	0,12	0,018	1,86	0,848	0,0129871
3	0,3	0,12	0,018	1,86	0,848	0,0129871
4	0,2	1,65	0,33	1,075	0,063	0,0761785
5	0,25	0,25	0,03125	0,33333	-0,67867	0,0147189
5	0,25	0,25	0,03125	0,33333	-0,67867	0,0147189
6	0,7	0,25	0,175	0,125	-0,887	0,138596
Total Σ						0,6773919

Perhitungan tahanan momen balok prategang sisi atas (*W_a*) dan sisi bawah (*W_b*):

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{0,677391852}{0,879} = 0,771 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{0,677391852}{1,471} = 0,461 \text{ m}^3$$

Tabel 4.1 Pembebanan Balok Prategang

No	Jenis Beban	Q (kN/m)	P (kN)
A	Beban Tetap		
1	Berat sendiri	18,806	-
2	Beban mati tambahan	21,694	-
3	Beban mati terpusat diafragma	-	63,6
B	Beban Transien		
4	Beban Terbagi Rata (BTR)	18,9	-
5	Beban Garis Terpusat (BGT)	-	164,64
5	Beban rem	-	100
C	Beban Lingkungan		
6	Beban Angin	0,771	-
7	Beban Gempa	-	29,93

4.2.1. Gaya Prategang Awal

Direncanakan:

Mutu beton prategang, *f_{c'}* = 49,8 MPa

Jarak titik berat balok gelagar terhadap sisi bawah: *Y_b* (p) = 1,012 m *Y_b* (c) = 1,471 m

Jarak titik berat balok gelagar terhadap sisi atas:

Y_a (p) = 1,088 m *Y_a* (c) = 0,879 m

Tahanan momen sisi bawah:

W_b (p) = 0,409 m *W_b* (c) = 0,461 m

Tahanan momen sisi atas:

W_a (p) = 0,381 m *W_a* (c) = 0,771 m

Luas penampang balok *precast*, *A* = 0,75225 m²

Luas penampang balok komposit, *A* = 1,2105 m²

Ditetapkan jarak titik tendon terhadap alas balok, *Z_o* = 0,22 m

Eksentrisitas tendon, *e_s* = *Y_b* - *Z_o* = 0,792 m

Momen berat sendiri balok (*M* balok) = 3761,2 kN.m

Kuat tekan beton pada keadaan awal:

f_{ci'} = 80% x *f_{c'}* = 80% x 49,8 MPa = 39,84 MPa = 39840 kPa

Gaya prategang awal:

a. Tegangan di serat atas:

$$P_t = \frac{M \text{ balok}}{\left(e_s - \frac{W_a}{A} \right)} = 13173,183 \text{ kN}$$

b. Tegangan di serat bawah:

$$P_t = \frac{(0,6 f_{ci'} \times W_b + M \text{ balok})}{\left(e_s + \frac{W_b}{A} \right)} = 10135,445 \text{ kN}$$

Dari hasil kedua persamaan diatas, maka diambil nilai terkecil *P_t* = 10135,445 kN

4.2.2. Jumlah Tendon

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai "Strands cable" standard Delta Systech Indonesia (DSI), dengan data pada tabel berikut ini:

Tabel 4.7 Data Strands Cable

Jenis Strand	=	Uncoated 7 wire super strans ASTM A-416 grade 270
Tegangan leleh strand,	<i>f_{py}</i> =	1580 MPa
Kuat tarik strand	<i>f_{pu}</i> =	1860 MPa
Diameter nominal strand,	<i>D</i> =	12,7 mm
Luas tampang nominal satu strand	<i>A_{st}</i> =	98,7 mm ²
Beban putus minimal satu strand	<i>P_{bs}</i> =	187,32 kN (100% UTS atau 100% beban putus)
Jumlah kawat untai (strand cable)	=	19 kawat untai tiap t
Diameter selubung ideal	=	84 mm
Luas tampang strands	=	1875,3 mm ²
Beban putus satu tendon,	<i>P_{b1}</i> =	3559,1 kN
Modulus elastis strands,	<i>E_s</i> =	193000 MPa
Tipe tendon	=	1 MA5907 dan 1 MA5919

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{b1}} = 4,19 \approx 5 \text{ tendon}$$

Jumlah kawat untai (*strands cable*) yang digunakan:

$$n_s = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{bs}} = 79,57 \approx 80 \text{ strands}$$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% force jacking):

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} = 79,57\% < 80\%$$

.....(OK)

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking:

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs} = 0,7957 \times 80 \times 187,32 = 11924,042 \text{ kN}$$

4.2.3. Posisi Tendon

$f_o = e_s = 0,792 \text{ m}$ dan $y_b = 1,012 \text{ m}$
 $f_1 = 1,42 \text{ m}$; $f_2 = 1.16 \text{ m}$; $f_3 = 0,92 \text{ m}$; $f_4 = 0,56 \text{ m}$; $f_5 = 0,20 \text{ m}$

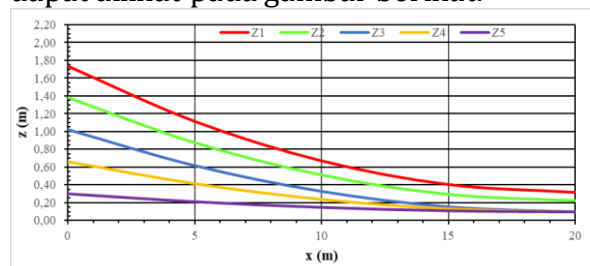
Posisi masing-masing kabel:

$$Z_i = Z_i' - 4 \cdot f \cdot \frac{X}{L^2} (L - X)$$

Tabel 4.8 Perhitungan letak kabel tendon

Jarak X (m)	Trace Z_0 (m)	Posisi masing- masing kabel				
		Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)	Z5 (m)
0	1,012	1,740	1,380	1,020	0,660	0,300
5	0,666	1,119	0,873	0,618	0,415	0,213
10	0,418	0,675	0,510	0,330	0,240	0,150
15	0,270	0,409	0,293	0,158	0,135	0,113
20	0,220	0,320	0,220	0,100	0,100	0,100

Lintasan masing-masing kabel tendon dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.3 Lintasan masing-masing kabel tendon

4.2.4. Kehilangan Gaya Prategang

Adapun kehilangan gaya prategang disebabkan oleh beberapa hal, dan hasil analisisnya adalah sebagai berikut:

1. Jangka Pendek

a. Akibat Perpendekan Elastis (*Elastic Shortening*) sebesar 2,90%

b. Akibat Slip Angkur sebesar 2,232%

2. Jangka Panjang

a. Akibat rangkang beton (*creep*) sebesar 11,699%

b. Akibat susut beton (*shrinkage*) sebesar 0,668%

c. Akibat relaksasi baja (*relaxation*) sebesar 3,029%

Total Kehilangan Gaya Prategang:

$$= 2,9 + 2,232 + 11,699 + 0,668 + 3,029$$

$$= 20,528\% < 30\% \dots\dots\dots (OK)$$

4.2.5. Gaya Prategang Akhir

Berdasarkan perhitungan kehilangan gaya prategang maka didapat total persentase kehilangan gaya prategang sebesar 20,528 %. Sehingga dapat dihitung besarnya gaya prategang akhir (P_{eff}) adalah sebagai berikut:

$$P_{eff} = (100\% - 20,528\%) \times 10135,445 = 8054,841 \text{ kN}$$

4.2.6. Kontrol Tegangan

Adapun tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada balok gelagar prategang sebagai berikut:

Tabel 4.9 Rekapitulasi tegangan yang terjadi akibat pembebanan

Tegangan	Berat Sendiri	Beban Mati Tambahan	Prategang	Lajur "D"	Gaya Rem	Beban Angin	Beban Gempa
	MS (kPa)	MA (kPa)	PR (kPa)	TD (kPa)	TB (kPa)	EW (kPa)	EQ (kPa)
sp	-3492,293	-4028,6	2702,036	-3509,749	-126,685	-143,175	-5558,031
sa	-4873,34	-5627,5	6415,384	-4902,723	-176,965	-200	-7763,943
sb	8158,785	9411,713	-28512,291	8199,566	295,965	334,49	12984,815

Dari tegangan-tegangan yang terjadi, dilakukan beberapa kombinasi. dan seluruh kombinasi diperoleh $< \sigma_{cs}$ dan dinyatakan AMAN.

4.2.7. Kontrol Lendutan

Adapun lendutan yang terjadi pada balok gelagar prategang sebagai berikut:

Tabel 4.10 Perhitungan Lendutan

No.	Jenis Beban Lendutan	Lendutan (m)	Keterangan
Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)			
1	Lendutan saat transfer	0,036	deflection
2	Lendutan setelah kehilangan tegangan	-0,032	chamber
3	Lendutan setelah pelat dicor (beton muda)	0,004	deflection
4	Lendutan setelah pelat dan balok menjadi k	-0,04	chamber
Lendutan Pada Keadaan Akhir (Service)			
1	Lendutan akibat berat sendiri balok	0,028	deflection
2	Lendutan akibat berat diafragma	0,005	deflection
3	Lendutan akibat beban mati tambahan	0,032	deflection
4	Lendutan akibat beban lajur "D"	0,028	deflection
5	Lendutan akibat gaya rem	0,001	deflection
6	Lendutan akibat beban angin	0,001	deflection
7	Lendutan akibat beban gempa	0,044	deflection
Total Lendutan		0,107	

Total lendutan $\delta_T = 0,107 \text{ m}$ (ke atas)

Lendutan maksimum yang diijinkan adalah:

$$\delta_{ijin} = \frac{L}{300} = \frac{40}{300} = 0,1333 \text{ m}$$

$\delta_T = 0,107 \text{ m (ke atas)} < \delta \text{ ijin} = 0,1333 \text{ m (OK)}$

4.3. Analisis Abutment

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap pembebanan yang terjadi pada *abutment*, diperoleh hasil rekapitulasi pada tabel berikut ini:

Tabel 4.11 Pembebanan *Abutment*

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	MS	0,000				0,000
Beban Mati Tambahan	MA	778,42				261,549
Tekanan Tanah	TA		13583,999			47022,559
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	TD	1649,48				554,225
Gaya Rem	TB		400			3940
C. Aksi Lingkungan						
Beban Angin	EW	220,32		289,17	74,027	2789,044
Beban Gempa	EQ		20726,152	20726,151	117135,051	117123,479
Tekanan Tanah Dinamis	EQ		2344,616			15380,681
Pengaruh Temperatur	ET		37,5			257,625
D. Aksi Lainnya						
Gesekan Perletakan	FB		1488,468			10940,240

Tabel 4.12 Kombinasi Pembebanan 1

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
Berat Sendiri	MS	63990,804	0	0	-93947,78	0
Beban Mati Tambahan	MA	778,42	0	0	261,549	0
Tekanan Tanah	TA	0	13583,999	0	47022,559	0
Beban Lajur "D"	TD	1649,48	0	0	554,225	0
Gaya Rem	TB	0	400	0	3940	0
Beban Angin	EW	0	0	0	0	0
Beban Gempa	EQ	0	0	0	0	0
Tekanan Tanah Dinamis	EQ	0	0	0	0	0
Pengaruh Temperatur	ET	0	0	0	0	0
Gesekan Perletakan	FB	0	0	0	0	0
Total		66418,704	13983,999		-42169,44	0

Tabel 4.13 Kombinasi Pembebanan 2

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
Berat Sendiri	MS	63990,804	0	0	-93947,78	0
Beban Mati Tambahan	MA	778,42	0	0	261,549	0
Tekanan Tanah	TA	0	13583,999	0	47022,559	0
Beban Lajur "D"	TD	1649,48	0	0	554,225	0
Gaya Rem	TB	0	400	0	3940	0
Beban Angin	EW	0	0	0	0	0
Beban Gempa	EQ	0	0	0	0	0
Tekanan Tanah Dinamis	EQ	0	0	0	0	0
Pengaruh Temperatur	ET	0	37,5	0	257,625	0
Gesekan Perletakan	FB	0	1488,468	0	10940,240	0
Total		66418,704	15509,967		-30971,58	0

Tabel 4.14 Kombinasi Pembebanan 3

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
Berat Sendiri	MS	63990,804	0	0	-93947,78	0
Beban Mati Tambahan	MA	778,42	0	0	261,549	0
Tekanan Tanah	TA	0	13583,999	0	47022,559	0
Beban Lajur "D"	TD	1649,48	0	0	554,225	0
Gaya Rem	TB	0	400	0	3940	0
Beban Angin	EW	220,32	0	289,17	74,027	2789,044
Beban Gempa	EQ	0	0	0	0	0
Tekanan Tanah Dinamis	EQ	0	0	0	0	0
Pengaruh Temperatur	ET	0	0	0	0	0
Gesekan Perletakan	FB	0	0	0	0	0
Total		66639,024	13983,999	289,17	-42095,42	2789,044

Tabel 4.15 Kombinasi Pembebanan 4

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
Berat Sendiri	MS	63990,804	0	0	-93947,78	0
Beban Mati Tambahan	MA	778,42	0	0	261,549	0
Tekanan Tanah	TA	0	13583,999	0	47022,559	0
Beban Lajur "D"	TD	1649,48	0	0	554,225	0
Gaya Rem	TB	0	400	0	3940	0
Beban Angin	EW	220,32	0	289,17	74,027	2789,044
Beban Gempa	EQ	0	0	0	0	0
Tekanan Tanah Dinamis	EQ	0	0	0	0	0
Pengaruh Temperatur	ET	0	37,5	0	257,625	0
Gesekan Perletakan	FB	0	1488,468	0	10940,240	0
Total		66639,024	15509,967	289,17	-30897,55	2789,044

Tabel 4.16 Kombinasi Pembebanan 5

Aksi / Beban	Simbol	Arah			Momen	
		Vertikal P (kN)	Horizontal Tx (kN) Ty (kN)		Mx (kN.m)	My (kN.m)
Berat Sendiri	MS	63990,804	0	0	-93947,78	0
Beban Mati Tambahan	MA	778,42	0	0	261,549	0
Tekanan Tanah	TA	0	0	0	0	0
Beban Lajur "D"	TD	0	0	0	0	0
Gaya Rem	TB	0	0	0	0	0
Beban Angin	EW	0	0	0	0	0
Beban Gempa	EQ	0	20726,152	20726,151	117135,05	117123,48
Tekanan Tanah Dinamis	EQ	0	2344,616	0	15380,681	0
Pengaruh Temperatur	ET	0	0	0	0	0
Gesekan Perletakan	FB	0	0	0	0	0
Total		64769,224	23070,768	20726,151	38829,504	117123,48

4.3.1. Kontrol Stabilitas Guling Arah X

Letak titik guling terhadap pusat pondasi = $B_x / 2 = 6,988 / 2 = 3,494 \text{ m}$

$M_x = \text{momen penyebab guling arah x}$

Momen penahan guling arah x, $M_{px} = P \times (B_x / 2) \times (1 + k)$

Angka aman terhadap guling, $SF = M_{px} / M_x \geq 2,2$

Tabel 4.17 Kontrol Stabilitas Guling Arah X

Kombinasi Beban	k	P (kN)	Mx (kN.m)	Mpx (kN.m)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	0%	66418,704	-42169,444	232066,952	5,50	> 2,2 OK
Kombinasi 2	25%	66418,704	-30971,579	290083,690	9,37	> 2,2 OK
Kombinasi 3	25%	66639,024	-42095,417	291045,938	6,91	> 2,2 OK
Kombinasi 4	40%	66639,024	-30897,552	325971,450	10,55	> 2,2 OK
Kombinasi 5	50%	64769,224	38829,504	339455,503	8,74	> 2,2 OK

Arah Y

Letak titik guling terhadap pusat pondasi = $B_y / 2 = 27,849 / 2 = 13,9245 \text{ m}$

Momen penahan guling arah y, $M_{py} = P \times (B_y / 2) \times (1 + k)$

Tabel 4.18 Kontrol Stabilitas Guling Arah Y

Kombinasi Beban	k	P (kN)	My (kN.m)	Mpy (kN.m)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	0%	66418,70409				
Kombinasi 2	25%	66418,70409				
Kombinasi 3	25%	66639,02409	2789,044	1159893,864	415,88	> 2,2 OK
Kombinasi 4	40%	66639,02409	2789,044	1299081,127	465,78	> 2,2 OK
Kombinasi 5	50%	64769,22409	117123,479	1352818,591	11,55	> 2,2 OK

4.3.2. Kontrol Stabilitas Geser

Parameter tanah dasar *Pile-cap* (diambil berdasarkan data uji laboratorium):

Bore Hole = BH - 16R;

Sample Depth = 23,50 - 24,00 meter

Sample Type = UDS (*Undisturb Sample*)

Sudut geser, $\phi = 29^\circ 15' 54,72'' = 29,265^\circ$

Kohesi tanah, $C = 0,052 \text{ kg/cm}^2 = 5,099 \text{ kPa}$

Ukuran dasar *Pile-cap*:

Lebar *pile-cap*, $B_x = 6,988 \text{ m}$

Panjang *pile-cap*, $B_y = 27,849 \text{ m}$

$k = \text{kelebihan beban yang diijinkan (\%)}$

$SF = H / T_x \geq 1,1$

Arah X

Gaya penahan geser, $H = (C \cdot B_x \cdot B_y + P \cdot \tan \phi) \times (1 + k)$

Tabel 4.19 Kontrol Stabilitas Geser Arah X

Kombinasi Beban	k	P (kN)	Tx (kN)	H (kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	0%	66418,704	13983,999	102340,139	7,3	> 1,1 OK
Kombinasi 2	25%	66418,704	15509,967	127925,174	8,2	> 1,1 OK
Kombinasi 3	25%	66639,024	13983,999	128345,405	9,2	> 1,1 OK
Kombinasi 4	40%	66639,024	15509,967	143746,853	9,3	> 1,1 OK
Kombinasi 5	50%	64769,224	23070,768	149734,818	6,5	> 1,1 OK

Arah Y

Gaya penahan geser, $H = (C \cdot B_x \cdot B_y + P \cdot \tan \phi) \times (1 + k)$

Tabel 4.20 Kontrol Stabilitas Geser Arah Y

Kombinasi Beban	k	P (kN)	Ty (kN)	H (kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	0%	66418,70409	0	102340,1394	0	> 1,1 OK
Kombinasi 2	25%	66418,70409	0	127925,1743	0	> 1,1 OK
Kombinasi 3	25%	66639,02409	289,17	128345,4048	443,8	> 1,1 OK
Kombinasi 4	40%	66639,02409	289,17	143746,8534	497,1	> 1,1 OK
Kombinasi 5	50%	64769,22409	20726,151	149734,8177	7,2	> 1,1 OK

4.3.3. Kontrol Stabilitas Daya Dukung

Adapun perhitungan kontrol stabilitas daya dukung tanah dihitung menggunakan rumus Terzaghi sebagai berikut:

Kedalaman *pile-cap*, $D = 1,6$ m

Berat isi tanah, $\gamma = 18$ kN/m³

Kohesi tanah, $C = 0,052$ kg/cm² = 5,099kPa

Sudut geser, $\phi = 29^{\circ} 15' 54,72'' = 29,265^{\circ}$

Berdasarkan nilai sudut geser sebesar $29,265^{\circ}$ didapat nilai parameter kekuatan tanah sebagai berikut:

$N_c = 35,421$ $N_q = 21,059$ $N_y = 18,23$

Daya dukung tanah untuk *pile-cap* berbentuk persegi panjang, dihitung dengan persamaan berikut:

$\sigma_{ult} = c \times N_c \times (1 + 0,3 \times B / L) + D \times \gamma \times N_q \times 0,5 \times \gamma \times B \times N_y \times (1 - 0,2 \times B / L) = 1889,707$ kN/m²

Tegangan maks. yang terjadi pada dasar *pile-cap*:

arah x: $\sigma_{max} = P / A + (M_x / (1 / 6 \cdot B_x^2 \cdot B_y))$

arah y: $\sigma_{max} = P / A + (M_y / (1 / 6 \cdot B_y^2 \cdot B_x))$

$SF = \sigma_{ult} / \sigma_{max} \geq 3$

Tabel 4.21 Kontrol Stabilitas Daya Dukung Arah X

Kombinasi Beban	P (kN)	Mx (kN.m)	σ_{max} (kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	66418,704	-42169,444	155,242	12,17	> 3 OK
Kombinasi 2	66418,704	-30971,579	204,647	9,23	> 3 OK
Kombinasi 3	66639,024	-42095,417	156,700	12,06	> 3 OK
Kombinasi 4	66639,024	-30897,552	206,105	9,17	> 3 OK
Kombinasi 5	64769,224	38829,504	504,133	3,75	> 3 OK

Tabel 4.22 Kontrol Stabilitas Daya Dukung Arah Y

Kombinasi Beban	P (kN)	My (kN.m)	σ_{max} (kN)	SF	Keterangan
Kombinasi 1	66418,704	0	341,293	5,54	> 3 OK
Kombinasi 2	66418,704	0	341,293	5,54	> 3 OK
Kombinasi 3	66639,024	2789,044	345,513	5,47	> 3 OK
Kombinasi 4	66639,024	2789,044	345,513	5,47	> 3 OK
Kombinasi 5	64769,224	117123,479	462,483	4,09	> 3 OK

4.3.4. Perhitungan Daya Dukung Pondasi

Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data pengujian tanah *standart penetration test* (SPT) pada titik 16 R dihitung dengan menggunakan rumus "Mayerhoff".

Tabel 4.23 Jenis tanah pada titik 16 R

No	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (m)	Jenis Tanah	Kohesif / Non-Kohesif
1	0,00 - 3,00	3,00	Lempung	Non-Kohesif
2	3,00 - 5,50	2,50	Lempung berlanau	Non-Kohesif
3	5,50 - 12,50	6,50	Pasir berlempung	Non-Kohesif
4	12,50 - 18,70	6,70	Pasir halus berlanau	Non-Kohesif
5	18,70 - 23,80	5,10	Pasir belanau ukuran sedang	Non-Kohesif
6	23,80 - 26,50	2,70	Pasir ukuran sedang	Non-Kohesif
7	26,50 - 29,00	2,50	Pasir halus	Non-Kohesif

Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang pada tanah non-kohesif (pasir) dikedalaman 24,45 m dibawah permukaan tanah:

Jenis tanah = Pasir ukuran sedang

Panjang tiang pancang, $L = 24$ m

Diameter tiang pancang, $D = 0,6$ m $N_{-SPT} = 60$

Luas penampang tiang, $A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = 0,283$ m²

Keliling tiang pancang, $A_k = \pi \times D = 1,885$ m

a. Daya dukung ujung tiang pancang:

$Q_p = 40 \times N_r \times A_p$

Nilai "N" rata-rata, $N_r = \frac{N_1 + N_2}{2}$

N_1 (Nilai SPT kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas)

$8D = 4,8$ m

$N_1 = \frac{60 + 31 + 22 + 18}{4} = 32,75$

N_2 (Nilai SPT kedalaman 4D pada ujung tiang ke atas)

$4D = 2,4$ m

$$N2 = \frac{60}{1} = 60 \text{ Maka, } Nr = \frac{32,75 + 60}{2} = 46,375$$

$$\text{Sehingga, } Qp = 40 \times 46,375 \times 0,283 = 524,965 \text{ T}$$

b. Daya dukung selimut tiang pancang:

$$Qs = 0,2 \times Nk \times Ak \times Li$$

Nk (Nilai "N" rata-rata sepanjang tiang yang tertanam)

Nk

=

$$\frac{4 + 9 + 15 + 11 + 9 + 11 + 13 + 15 + 18 + 22 + 31 + 60}{12}$$

$$= 18,16667$$

$$\text{Maka, } Qs = 0,2 \times 18,16667 \times 1,885 \times 24,45$$

$$= 167,454 \text{ T}$$

c. Daya dukung ijin tiang pancang

$$Qi = \frac{Qp}{FK1} + \frac{Qs}{FK2} = \frac{524,965}{3} + \frac{167,457}{5} = 208,479 \text{ T}$$

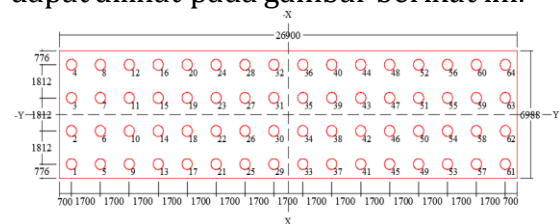
T

Tabel 4.24 Daya Dukung Ijin Tiang Pancang (Qi)

Kedalaman (m)	N SPT	N1	N2	Nr	Ap (m)	Ak (m)	Nk	Qp (Ton)	Qs (Ton)	Q ijin (Ton)	Q p (Ton)
0,00	0	0,00	4,33	2,167	0,283	1,885	0,000	24,527	0,000	24,527	519,887
2,45	4	2,00	9,33	5,667	0,283	1,885	4,000	64,147	42,903	107,049	1905,343
4,45	9	4,33	11,67	8,000	0,283	1,885	6,500	90,560	60,717	151,277	2865,243
6,45	15	7,00	11,67	9,333	0,283	1,885	9,333	105,633	100,106	205,739	3512,670
8,45	11	9,75	10,33	10,042	0,283	1,885	9,750	113,672	104,575	218,247	3806,370
10,45	9	11,00	11,00	11,000	0,283	1,885	9,600	124,520	102,966	227,486	3948,958
12,45	11	11,50	11,00	12,250	0,283	1,885	9,833	136,670	105,469	244,139	4280,723
14,45	13	11,00	13,33	13,167	0,283	1,885	10,286	149,047	110,321	259,368	4562,383
16,45	15	12,00	13,33	15,167	0,283	1,885	10,875	171,687	116,641	288,328	5122,663
18,45	18	14,25	23,67	18,958	0,283	1,885	11,667	214,608	125,133	339,741	6140,456
20,45	22	17,00	27,67	21,333	0,283	1,885	12,500	269,413	136,216	405,629	7290,925
22,45	31	21,50	45,50	33,500	0,283	1,885	14,364	379,220	154,059	533,279	9957,580
24,45	60	32,75	60,00	46,375	0,283	1,885	18,1667	524,965	167,454	692,419	1327,271

4.3.5. Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang pada perhitungan ini dihitung dengan rumus *Converse-Labbare*. Adapun susunan tiang pancang pondasi jembatan *underpass* Jalan Nasional STA 11+140 dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.4 Susunan Kelompok Tiang Pancang pada Abutment A1

$$\text{Jumlah baris tiang, } m = 4$$

$$\text{Jumlah tiang perbaris, } n = 16$$

$$\text{Jarak antar tiang arah } x \text{ (as ke as)} = 1,812 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar tiang arah } y \text{ (as ke as)} = 1,700 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar tiang (diambil terkecil), } s =$$

$$1,700 \text{ m}$$

Efisiensi kelompok tiang:

$$Eg = 1 - \arctg \frac{D}{s} \times \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{(90 \cdot m \cdot n)} \right)$$

$$= 1 - \arctg \frac{0,6}{1,7} \times \left(\frac{(16-1)4 + (4-1)16}{(90 \cdot 4 \cdot 16)} \right)$$

$$= 0,9936$$

Daya dukung ijin aksial satu tiang dalam kelompok:

$$P \text{ ijin} = Qi \times Eg$$

$$= 208,479 \times 0,9936 = 207,144$$

Ton

Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang:

$$Qg = Eg \times n \times Qi$$

$$= 0,9936 \times 64 \times 208,479 = 13257,263$$

Ton

Tabel 4.25 Daya Dukung Kelompok Tiang (Qg)

Kedalaman (m)	N SPT	N1	N2	Nr	Ap (m)	Ak (m)	Nk	Qp (Ton)	Qs (Ton)	Q ijin (Ton)	Q p (Ton)
0,00	0	0,00	4,33	2,167	0,283	1,885	0,000	24,527	0,000	24,527	519,887
2,45	4	2,00	9,33	5,667	0,283	1,885	4,000	64,147	42,903	107,049	1905,343
4,45	9	4,33	11,67	8,000	0,283	1,885	6,500	90,560	60,717	151,277	2865,243
6,45	15	7,00	11,67	9,333	0,283	1,885	9,333	105,633	100,106	205,739	3512,670
8,45	11	9,75	10,33	10,042	0,283	1,885	9,750	113,672	104,575	218,247	3806,370
10,45	9	11,00	11,00	11,000	0,283	1,885	9,600	124,520	102,966	227,486	3948,958
12,45	11	11,50	11,00	12,250	0,283	1,885	9,833	136,670	105,469	244,139	4280,723
14,45	13	11,00	13,33	13,167	0,283	1,885	10,286	149,047	110,321	259,368	4562,383
16,45	15	12,00	13,33	15,167	0,283	1,885	10,875	171,687	116,641	288,328	5122,663
18,45	18	14,25	23,67	18,958	0,283	1,885	11,667	214,608	125,133	339,741	6140,456
20,45	22	17,00	27,67	21,333	0,283	1,885	12,500	269,413	136,216	405,629	7290,925
22,45	31	21,50	45,50	33,500	0,283	1,885	14,364	379,220	154,059	533,279	9957,580
24,45	60	32,75	60,00	46,375	0,283	1,885	18,1667	524,965	167,454	692,419	1327,271

4.3.6. Beban Aksial Maksimum Tiang pada Kelompok Tiang

Arah X

$$P_{maks} = \frac{P}{n} + \frac{M_x \cdot X_{maks}}{\sum X^2} \quad n = 64 \text{ buah}$$

$$X_{maks} = 2,718$$

Tabel 4.26 Beban aksial maksimum yang diterima satu tiang pancang arah x

Kombinasi Beban	P (kN)	Mx (kN.m)	P / n (kN)	P maks (kN)
Kombinasi 1	66418,704	-42169,444	1037,792	601,436
Kombinasi 2	66418,704	-30971,579	1037,792	717,308
Kombinasi 3	66639,024	-42095,417	1041,235	605,645
Kombinasi 4	66639,024	-30897,552	1041,235	721,517
Kombinasi 5	64769,224	38829,504	1012,019	1413,814

Tabel 4.27 Kontrol daya dukung ijin aksial tiang pancang arah x

Kombinasi Beban	Persentase P ijin	P maks (kN)	P ijin (kN)	Keterangan
Kombinasi 1	100%	601,436	< 2074,790	AMAN
Kombinasi 2	125%	717,308	< 2593,488	AMAN
Kombinasi 3	125%	605,645	< 2593,488	AMAN
Kombinasi 4	140%	721,517	< 2904,706	AMAN
Kombinasi 5	150%	1413,814	< 3112,185	AMAN

Arah Y

$$P_{maks} = \frac{P}{n} + \frac{M_y \cdot Y_{maks}}{\sum Y^2}$$

$$Y_{maks} = 12,750$$

Tabel 4.28 Beban aksial maksimum yang diterima satu tiang pancang arah y

Kombinasi Beban	P (kN)	My (kN.m)	P / n (kN)	P maks (kN)
Kombinasi 1	66418,704	0	1037,792	1037,792
Kombinasi 2	66418,704	0	1037,792	1037,792
Kombinasi 3	66639,024	2789,044	1041,235	1050,282
Kombinasi 4	66639,024	2789,044	1041,235	1050,282
Kombinasi 5	64769,224	117123,479	1012,019	1391,961

Tabel 4.29 Kontrol daya dukung ijin aksial tiang pancang arah y

Kombinasi Beban	Persentase P ijin	P maks (kN)	P ijin (kN)	Keterangan
Kombinasi 1	100%	1037,792	< 2074,790	AMAN
Kombinasi 2	125%	1037,792	< 2593,488	AMAN
Kombinasi 3	125%	1050,282	< 2593,488	AMAN
Kombinasi 4	140%	1050,282	< 2904,706	AMAN
Kombinasi 5	150%	1391,961	< 3112,185	AMAN

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis struktur atas jembatan:

a. Pelat lantai

Pelat lantai jembatan dengan tebal 250 mm dan dengan kuat tekan (f_c') sebesar 29,05 MPa direncanakan menggunakan tulangan pokok D-19-125 mm dan tulangan bagi D16-175 mm.

b. Balok gelagar prategang

Balok gelagar prategang dengan dimensi tinggi 2,1 m, panjang 40 m, lebar penampang atas 0,8 m dan lebar penampang bawah 0,7 m memiliki jarak antar balok 2,4 m dengan kuat tekan (f_c') sebesar 49,8 MPa, mendapatkan gaya prategang awal (P_t) sebesar 10135,445 kN dan gaya prategang akhir (P_{eff}) sebesar 8054,841 kN. Direncanakan jumlah kabel tendon yang dibutuhkan (n_t) sebanyak 5 buah dengan jumlah *strands* (n_s) sebanyak 83 buah.

Tegangan yang terjadi pada balok gelagar prategang baik pada saat kondisi awal (*transfer*) dan kondisi akhir (*service*) dinyatakan aman karena besar tegangan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tegangan yang diijinkan.

2. Analisis struktur bawah jembatan:

a. *Abutment*

Hasil perhitungan kombinasi pembebanan yang terjadi pada struktur *abutment* A1 didapatkan beban yang dominan paling besar berada pada kombinasi dengan besar vertikal (P) sebesar 64769,224 kN, beban horizontal arah x (T_x) sebesar 23070,768 kN, beban horizontal arah y (T_y) sebesar 20726,151 kN, serta momen arah x (M_x) sebesar 38829,504 kN.m dan arah y (M_y) sebesar 117123,479 kN.m Setelah dilakukan kontrol terhadap stabilitas guling, geser, dan daya dukung tanah baik pada arah memanjang jembatan (arah x) maupun arah melintang jembatan (arah y) pada struktur *abutment* A1 dinyatakan aman.

b. Pondasi

Pondasi pada struktur *abutment* A1 menggunakan pondasi tiang pancang berdiameter 0,6 m dan panjang 24 m dengan jumlah tiang pancang sebanyak 64 buah, didapatkan besar daya dukung pondasi (Q_i) dengan rumus *Mayerhoff* pada kedalaman 24,45 m sebesar 208,479 T, dan besar perhitungan efisiensi kelompok tiang pancang (E_g) dengan rumus *Converse-Labbare* sebesar 0,9936, serta besar daya dukung ijin aksial satu tiang dalam kelompok (P_i) sebesar 207,479 T dengan besar kapasitas daya dukung kelompok tiang (Q_g) sebesar 13257,271 T. Setelah dilakukan kontrol pada daya dukung ijin aksial tiang terhadap beban aksial maksimum tiang pada kelompok tiang dinyatakan aman baik dari arah memanjang jembatan (arah x) maupun arah melintang jembatan (arah y).

6. DAFTAR PUSTAKA

- (PISEW), P. I. S. E. W., 2021. *Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan*. Jakarta: Direktorat Pengembangan Kawasan Permukiman; Direktorat Jenderal Cipta Karya; Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Arini, A. N., 2019. *Analisis Perhitungan Struktur Atas Dan Bawah Jembatan Sei Belumai Pada Proyek Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi Seksi IA*. Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2005. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2016. *Perencanaan Pembatan terhadap Beban Gempa (SNI 2833:2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Husni, B., 2021. *Evaluasi Struktur Atas Dan Struktur Bawah Jembatan Karang Anyar 1 (STA 57 + 332,012) Pada Ruas Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi Seksi 4B*. Medan: Universitas Darma Agung.
- Ilham, M. N., 2008. *Perhitungan Struktur Jembatan - Jembatan Srandakan Kulon Progo D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta: MNI-EC.
- Nasution, T., 2012. *Struktur Baja II Modul 4 Sesi 1 dan Sesi 2 Perencanaan Lantai Kendaraan*. Medan: Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM.
- Struyk, H. J. & Veen, K. V. D., 1984. *Jembatan*. Cetakan Keempat ed. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.