

DESAIN ULANG STRUKTUR OVERPASS DENGAN MODIFIKASI LEBAR JEMBATAN, MATERIAL STRUKTUR, DAN KONFIGURASI GIRDER

(Studi Kasus Ruas Jalan Tol Rengat - Pekanbaru)

Idrus M. Alatas, Muhamat Aji Nugroho

Program Studi Teknik Sipil S1

Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jln. Moch. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah P.O. Box 7715 JKS LA

Kelurahan Jagakarsa – Jakarta Selatan 12620, Telp. 78880275

Email: aji76537@gmail.com

Abstrak

Jembatan *overpass* STA 130+037 merupakan jembatan yang memiliki kelemahan pada jumlah kendaraan yang dapat melintas, hal ini disebabkan karena lebar jalan pada *overpass* yang hanya 4,5m dan tidak sesuai dengan SNI untuk jalan Kabupaten. Dari Permasalahan tersebut, penulis melakukan modifikasi yang awalnya lebar jalan 4,5 m diubah menjadi 6,0 m sesuai SNI sehingga kendaraan yang melintas lebih optimal. Karena terdapat perubahan lebar jalan sehingga *girder* yang digunakannya pun berubah. Pada bentang panjang tetap menggunakan PCI 30 m namun terdapat perubahan konfigurasi *girder* yang awalnya 3 menjadi 4 mengikuti perubahan pada lebar jalan dengan metode pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*. Pada bentang pendek akan diubah yang awalnya PCI 16 m menjadi *girder* baja 16 m, dipilihnya *girder* baja agar bentang pendek lebih ekonomis Dengan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*. Akibat dari peningkatan kelas jalan maka terjadi perubahan lebar lantai kendaraan menjadi 6 meter dengan penambahan rasio 1,33. Adapun hasil dari penambahan konfigurasi *girder* PCI menjadi 4 *girder* dengan penambahan rasio 1,33 dan perubahan material konstruksi baja WF dengan rasio 3,74. Pada bangunan bawah Pilar 1 memiliki rasio di bawah standar yaitu 1,30 sedangkan pilar 2 memiliki rasio di luar standar.

Abstract

The STA 130+037 *overpass* bridge is a bridge that has a weakness in the number of vehicles that can pass, this is because the road width on the *Overpass* is only 4.5m and does not comply with SNI for Regency roads. Based on this problem, the author made modifications, initially changing the width of the road from 4.5 m to 6.0 m according to SNI so that vehicles passing were more optimal. Because there are changes in road width, the girders used also change. The short span will be changed from initially 16 m PCI to 16 m steel girders. Steel girders have been chosen so that the short span is more economical. By processing the data using *Microsoft Excel*. Meanwhile, for long spans, 30 m PCI is still used, because it is considered easier during installation with the data processing method using *Microsoft Excel*. As a result of the increase in road class, the vehicle floor width has changed to 6 meters with an additional ratio of 1.33. Such as the results of adding the PCI *girder* configuration to 4 girders with an additional ratio of 1.33 and changing the WF steel construction material with a ratio of 3.74. In the lower building, Pillar 1 has a ratio below the standard, namely 1.30, while pillar 2 has a ratio outside the standard.

PENDAHULUAN

Struktur bangunan yang penting pada Pembangunan jalan tol adalah jembatan, Jembatan difungsikan sebagai penghubung jalan yang terputus oleh suatu kondisi tertentu seperti melewati sungai, saluran irigasi, jalan kereta api, laut, pipa gas, maupun jalan lain di bawahnya (Batubara & Simatupang 2018). Pada jembatan *overpass* STA 130+037 ruas jalan tol Rengat – Pekanbaru terdapat masalah pada rancangan jembatan *overpass*, masalah yang muncul adalah desain lebar lantai kendaraan yang hanya mampu dilalui satu kendaraan dengan roda 4 dan tidak sesuai dengan SNI yang harusnya untuk kelas jalan B memiliki lebar lantai kendaraan minimum 6 meter.

Akibat perubahan lebar lantai kendaraan tersebut akan mengikuti perubahan pada struktur di bawahnya, berpengaruh pada material konstruksi dan konfigurasi penempatan *girder*. Salah satu pemilihan gelagar dapat menggunakan *girder* PCI karena *girder* PCI memiliki penampang yang kecil dibandingkan jenis *girder* lainnya, sehingga biasanya dari hasil Analisa merupakan penampang ekonomis (Manalip & Handono, 2018). Atau yang lainnya dapat menggunakan gelagar baja komposit, gelagar komposit memiliki keuntungan profil baja yang lebih hemat dibandingkan dengan *girder* non komposit. Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain profil yang lebih ekonomis (Aspaliza, dkk 2018).

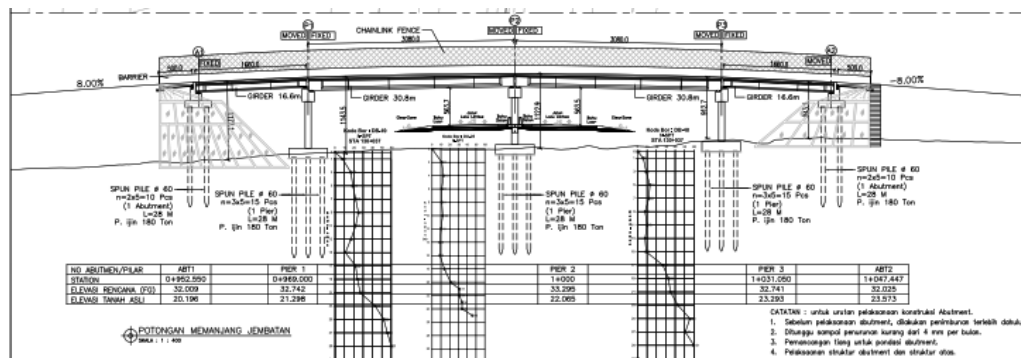
Melalui penjelasan mengenai perancangan jembatan pada pembahasan diatas penulis memilih perancangan ulang struktur *overpass multispans*. Penulis mencoba mendesain ulang struktur jembatan dengan meningkatkan kelas jalan B, sehingga lebar perkerasan jalan dan lebar lantai kendaraan menjadi 6 meter. Pada konfigurasi *girder* akan terjadi perubahan dengan menambah menjadi 4 *girder* dan mengubah bentang pendek menjadi baja agar lebih hemat rasio penampangnya. Hasil perubahan desain diperhatikan juga rasio target agar rasio desain ulang masih efisien.

Adapun tujuan dari disusunnya skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis rasio peningkatan kelas jalan B terhadap desain ulang lantai kendaraan, konfigurasi *girder* PCI, dan *girder* baja yang akan digunakan ada Jembatan *Overpass* STA 130+037 Ruas Tol Rengat – Pekanbaru.
2. Menganalisis rasio peningkatan kelas jalan B terhadap struktur *abutment* dan pilar pada jembatan *Overpass* STA 130+037 Ruas Tol Rengat – Pekanbaru.
3. Mengevaluasi rasio desain perancangan ulang dengan desain pada Jembatan *Overpass* STA 130+037 Ruas Tol Rengat – Pekanbaru.

METODOLOGI PENELITIAN

Model penelitian yang akan digunakan dalam desain ulang adalah jembatan STA 130+037 ruas jalan tol Rengat – Pekanbaru. yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Model Penelitian

Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penulisan ini diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan Studi Literatur, dengan mempelajari, meneliti, mengkaji, dan menelaah literatur-literatur berupa buku, dan jurnal yang berkaitan tentang Pembangunan jembatan.
2. Dengan cara melakukan konsultasi untuk memperoleh data primer langsung pada pihak PT Virama Karya (Persero) sebagai konsultan perencana yang mengerjakan jembatan STA 130+037 tersebut. Dengan data teknis jembatan sebagai berikut:

Nama Jembatan : Jembatan *overpass* Bandar Sei Kijang 5
 Fungsi Jembatan : Penyeberangan Jalan Lokal Kelas B
 Panjang Bentang : ± 92 m
 Pembentangan : 16 m + 30 m + 30 m + 16 m
 Lebar total jembatan : 4,5 m menjadi 6 m
 Tebal Slab : 25 cm
 Lapisan Aspal : 5 cm
 Lebar Lalu Lintas : 4,5 m 1 lajur lalu lintas menjadi 6 m 2 lajur lalu lintas
 Lebar Parapet : 0,5 m
 Lebar Trotoar : 1,0 m

Metode Pengolahan Data

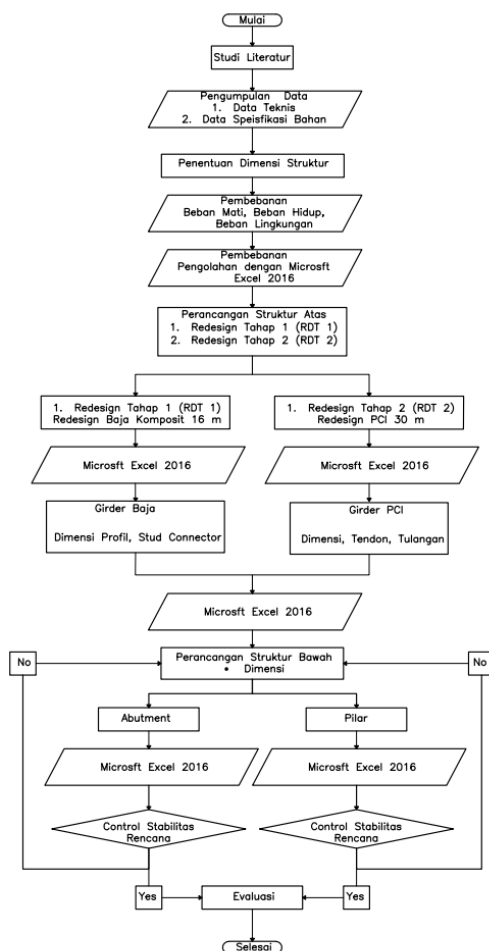
Pengolahan data adalah langkah-langkah yang digunakan untuk menyusun/merancang struktur jembatan yang dikerjakan. Pengolahan data ditunjukkan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur adalah langkah yang dilakukan dengan mengumpulkan dasar-dasar pemahaman tentang konsep beban, struktur atas jembatan, struktur bawah jembatan yang bertujuan untuk menganalisis langkah-langkah yang akan digunakan dan memberikan pembatasan sesuai dengan SNI.

2. Pengumpulan data
Data-data yang harus dimiliki untuk menunjang desain ulang jembatan
3. Pembentangan jembatan
Mengubah desain eksisting yang awalnya 16 m+30m+30m+16m (PCI) menjadi 16 m+30m+30m+16m (Baja dan PCI)
4. Pembebanan
Pada Langkah ini dilakukan dengan menghitung beban struktur jembatan sesuai dengan SNI 1726-2016. Beban yang dihitung antara lain beban mati, Beban hidup dan Beban lingkungan, yang kemudian dilakukan kombinasi beban umum dalam batas layan dan ultimit. Pembebanan akan dihitung menggunakan Microsoft Excel 2016 hingga mendapatkan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726-2016.
5. Desain ulang struktur atas.
Melakukan desain ulang untuk struktur atas *girder* baja maupun PCI akibat perubahan lebar lantai kendaraan dan perubahan konfigurasi *girder* menjadi 4 *girder*.
6. Desain ulang struktur bawah.
Akan akibat perubahan beban pada struktur atas diperlukan perubahan struktur bawah.
7. Evaluasi hasil desain dengan Eksisting
Melakukan evaluasi hasil desain dan eksisting dengan memperhatikan rasio pembesaran

Metode pengolahan data ditunjukkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2 *Flow Chart* Desain Ulang

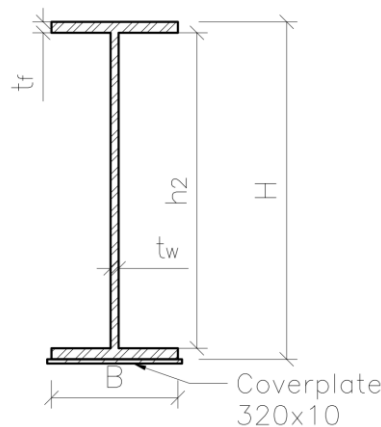
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data desain eksisting dan hasil desain ulang akan diolah menggunakan SNI 1726-2016 sebagai:

Fungsi Jembatan	: Penyeberangan Jalan Kelas B (70% beban standar)			
Panjang Jembatan	: 16 m (RDT1) dan 30 m (RDT2)			
Lebar Jembatan	: b_t	= 9,00 m	Lebar Lalu Lintas	: $2b_1$ = 6,00 m
Tebal Slab	: t_s	= 0,25 m	Lebar Trotoar	: b_3 = 1,00 m
Lapisan Aspal	: t_a	= 0,05 m	Lebar Parapet	: b_4 = 0,50 m
Genangan Air	: t_h	= 0,05 m	Panjang RDT1 16 m	: L_1 = 16,00 m
Jarak Gelagar	: S	= 2,20 m	Panjang RDT2 30 m	: L_2 = 30,00 m
Data Berat Jenis				
Berat Beton Bertulang	: W_c	= 25,0 kN/m ³		
Berat Beton	: W'_c	= 22,0 kN/m ³		
Berat Aspal	: W_a	= 22,0 kN/m ³		
Berat Baja	: W_S	= 78,5 kN/m ³		
Berat Jenis Air	: W_w	= 9,80 kN/m ³		

ANALISA RDT1 GIRDER BAJA 16 m

Sebelum mengolah data *girder* baja komposit diperlukan data baja WF yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Penampang Baja WF

Material = Baja Profil WF

Mutu Baja = BJ41 ($f_u = 410$ MPa, dan $f_y = 250$ MPa)

Data profil WF 800 x 300 x 14 x 26

H	= 800 mm	i_x	= 33 cm
B	= 300 mm	i_y	= 6,62 cm
$t_1 = t_w$	= 14 mm	$W_x = S_x$	= 7290 cm ³
$t_2 = t_f$	= 26 mm	$W_y = S_y$	= 782 cm ³
$F_s = A_s$	= 167,4 cm ²	F_y	= 250 MPa
$G = W$	= 210 kg/m	f_u	= 410 MPa
I_x	= 292000 cm ⁴	Tinggi badan h_2	= 692 mm
I_y	= 11700 cm ⁴	Cover plate	= 320x10

Setelah dilakukan perhitungan pembebanan pada jembatan dengan SNI 1726-2016 didapat rekapitulasi pembebanan pada Tabel 1 berikut:

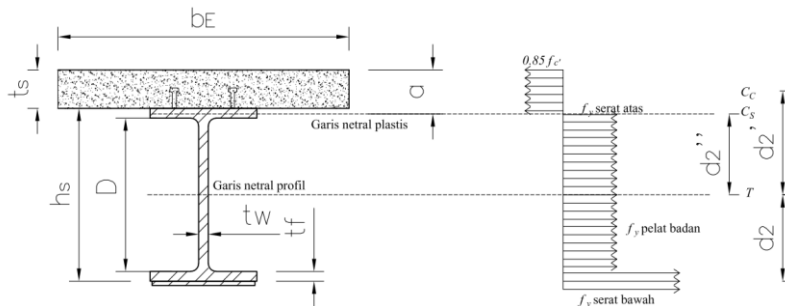
Tabel 1 Rekapitulasi pembebanan *girder* baja

No	Jenis beban	Q (kN/m)	P (kN)	Momen(kNm)	Geser(kN)
1	MS (beban mati)	22,948	-	707,527	176,882
2	MA (Mati tambahan)	6,996	-	223,872	55,968
3	TD (Beban Lajur)	13,860	105,644	866,096	163,702
4	TB (Beban Rem)	1,758	-	32,344	4,043

5	EWS (Angin struktur)	4,920	-	157,440	39,360
6	EW1 (Angin kendaraan)	1,679	-	53,728	13,432
7	EQ (x) (Gempa)	4,77	38,149	152,596	38,149
8	EQ (y) (Gempa)	4,77	67,820	152,596	67,820

Dengan hasil kombinasi momen terbesar adalah Beban mati, beban mati tambahan, beban lajur, beban beban rem dan beban angin dengan total momen 2037,823 kNm dan beban geser 452,427 kN.

Letak garis plastis setelah pemberian *coverplate* ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Diagram Tegangan baja komposit setelah pemberian *coverplate*

Lengan momen/ Statis momen ke sisi bawah *coverplate*

$$d_2 = \frac{A_s \left(\frac{h_s}{2} + t_c \right) + b_c x t_c x 0,5 t_c - b_f x \bar{y} (h_s - 0,5 \bar{y} + t_c)}{A_s - b_f x \bar{y} + b_c x t_c}$$

$$A_s \left(\frac{h_s}{2} + t_c \right) = 26740 \text{ mm}^2 x \frac{692 \text{ mm}}{2} + 10 \text{ mm} = 10789590 \text{ mm}^3$$

$$b_c x t_c x 0,5 t_c = 320 \text{ mm} x 10 \text{ mm} x 0,5 x 10 \text{ mm} = 16000 \text{ mm}^3$$

$$b_f x \bar{y} (h_s - 0,5 \bar{y} + t_c) = 300 \text{ mm} x 13 \text{ mm} (692 \text{ mm} - 0,5 x 13 \text{ mm} + 10 \text{ mm})$$

$$b_f x \bar{y} (h_s - 0,5 \bar{y} + t_c) = 3082950 \text{ mm}^3$$

$$A_s - b_f x \bar{y} + b_c x t_c = 26740 \text{ mm}^2 - 300 \text{ mm} x 13 \text{ mm} + 320 \text{ mm} x 10 \text{ mm}$$

$$A_s - b_f x \bar{y} + b_c x t_c = 26040 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = \frac{A_s \left(\frac{h_s}{2} + t_c \right) + b_c x t_c x 0,5 t_c - b_f x \bar{y} (h_s - 0,5 \bar{y} + t_c)}{A_s - b_f x \bar{y} + b_c x t_c} = 296,567 \text{ mm}$$

$$d_2'' = (h_s t_c) - d_2 - 0,5 x \bar{y} = (300 \text{ mm} x 10 \text{ mm}) - 296,567 \text{ mm} - 0,5 x 13 \text{ mm}$$

$$d_2'' = 493,931 \text{ mm}$$

$$d_2' = h_s + t_c + 0,5 x t_s - d_2 = 692 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 0,5 x 250 \text{ mm} - 296,56 \text{ mm}$$

$$d_2' = 625,431 \text{ mm}$$

Kekuatan lentur

$$M_s = M_p$$

$$M_s = C_c x d_2' + C_s x d_2''$$

$$M_s = 6685000 \text{ N} x 625,431 \text{ mm} + 400000 \text{ N} x 493,931 \text{ mm}$$

$$M_s = 4378583195 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 0,9 x 4378583195 \text{ Nmm} = 3940724876 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 3940,72 \text{ kNm} > M_u = 2037,167 \text{ kNm OK}$$

Maka gelagar 800x300x14x16 ditambah *Coverplate* aman digunakan

Cek lendutan

Kontrol izin

$$\bar{\delta} = \frac{L}{500} = \frac{16000 \text{ mm}}{500} = 32 \text{ mm}$$

Lendutan maksimum Ketika kondisi penampang komposit

$$Q_p = 60,80 \text{ kN/m} = 60,80 \text{ N/mm}$$

$$\delta = \frac{5 \times Q_p \times L^4}{384 \times E_s \times I}$$

$$\delta = \frac{5 \times \left(60,80 \frac{\text{N}}{\text{mm}}\right) \times 16000 \text{ mm}^4}{384 \times 210000 \text{ MPa} \times 26800521631,505 \text{ mm}^4} = 11,6 \text{ mm}$$

Jadi disimpulkan bahwa

$$\delta = 1,6 \text{ mm} < \bar{\delta} = 32 \text{ mm}$$

Sehingga Profil WF 800 x 300 x 14 x26 aman digunakan sebagai gelagar jembatan 16 m.

Desain Shear Connector

Shear connector didesain berdasarkan penghubung geser berdasarkan beban kerja dengan Panjang Jembatan $L = 16 \text{ m}$

Gaya Geser memanjang

$$V_L = \frac{V \times A_c \times Y_c}{I}$$

$$V_{total} = 452,43 \text{ kN} = 452426,838 \text{ N}$$

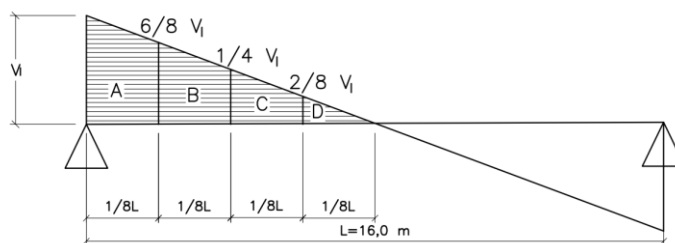
$$A_c = 614,244 \text{ cm}^2 = 61424,400 \text{ mm}^2$$

$$y_c = d_l = 17,048 \text{ cm} = 170,489 \text{ mm}$$

$$I = 21217921853 \text{ mm}^4$$

$$V_L = \frac{452426,838 \text{ N} \times 61424,40 \text{ mm}^2 \times 170 \text{ mm}}{21217921853 \text{ mm}^4} = 224,800 \text{ N/mm}$$

Kekuatan nominal penghubung geser ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5 kekuatan penghubung geser Girder baja

Untuk menentukan nilai nominal penghubung geser dicari dengan mencari nilai terkecil dari

$$Q_n = 0,5 \times A_s \times \sqrt{f_c \times E_c} \text{ Atau } Q_n = A_s \times f_u$$

Gunakan stud connector produk ANTEC, ukuran 13x100

Digunakan stud Connector ukuran Ø13x100

Diameter (Ø) = 13 mm

Panjang connector (L_c) = 100 mm

f_u = 410 MPa

f_y = 345 MPa

mutu beton = 30 MPa

modulus elastis = 26000 MPa

maka

$$Q_{n2} = (0,25 \times 3,14 \times (13 \text{ mm})^2 \times 410 \text{ MPa})$$

$$Q_{n2} = 82393,60 \text{ N} = 82,393 \text{ kN}$$

Karena Q_{n2} nilainya lebih kecil dari Q_{n1} maka Q_{n2} akan digunakan

Syarat-Syarat *Stud konektor*

Diameter maksimum

$$1,5 \times t_f = 1,5 \times 26 = 39,0 \text{ mm}$$

Jarak maksimum antara *stud connector*

$$1) \quad 600 \text{ mm}$$

$$2) \quad 2 \times h_c = 2 \times 250 = 500 \text{ mm}$$

$$3) \quad 4L_c = 4 \times 100 = 400 \text{ mm}$$

Jumlah Penghubung geser

Gaya geser bidang A

$$V_{LS} = \frac{V_L \times (1/8 L)}{\phi}$$

$$V_{LSA} = \frac{224,800 \text{ N/mm} \times (2000 \text{ mm})}{0,75} = 599468,012 \text{ N}$$

Gaya geser bidang B

$$V_{LSB} = \frac{\left(\frac{6}{8}\right) \times 224,800 \text{ N/mm} \times (2000 \text{ mm})}{0,75} = 449601,009 \text{ N}$$

Gaya geser bidang C

$$V_{LSC} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \times 224,800 \text{ N/mm} \times (2000 \text{ mm})}{0,75} = 299734,006 \text{ N}$$

Gaya geser bidang D

$$V_{LSD} = \frac{\left(\frac{2}{8}\right) \times 224,800 \text{ N/mm} \times (2000 \text{ mm})}{0,75} = 149867,003 \text{ N}$$

Jumlah *shear connector* yang dipasang pada $1/8 \times$ Panjang $L = 30,0 \text{ m}$

$$n_A = \frac{599468,012 \text{ N}}{0,55 \times 54392,28 \text{ N}} = 20 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 15,0 \text{ cm}$$

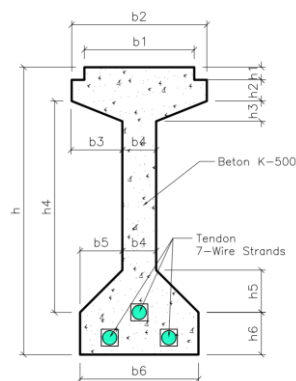
$$n_B = \frac{449601,009 \text{ N}}{0,55 \times 54392,28 \text{ N}} = 15 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 26,0 \text{ cm}$$

$$n_C = \frac{299734,006 \text{ N}}{0,55 \times 54392,28 \text{ N}} = 10 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 35,0 \text{ cm}$$

$$n_D = \frac{149867,003 \text{ N}}{0,55 \times 54392,28 \text{ N}} = 5 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 79,0 \text{ cm} \sim 40 \text{ cm (jarak maximum)}$$

ANALISA RDT2 GIRDER PCI 30 m

Sebelum mengola data girder PCI diperlukan data dimensi PCI yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 2 berikut:



Gambar 6 Penampang girder PCI

Tabel 2 Dimensi PCI

Kode	Lebar (m)	kode	Lebar (m)
b_1	0,650	h_1	0,070
b_2	0,800	h_2	0,130
b_3	0,300	h_3	0,120
b_4	0,200	h_4	1,250
b_5	0,250	h_5	0,250
b_6	0,700	h_6	0,250
		h	1,700

1. Mutu Beton PCI

Mutu beton *girder Prestress* : K- 500Kuat tekan beton $f'_c = 0,83 . K/10$: 41,5 MPaModulus elastis $E_c = 4700 . \sqrt{f'_c}$: 30277,6 MPaAngka *poisson* ν : 0,15Modulus geser $G = E_c / (2 . (1 + 0,15))$: 13164,2 MPaKoefisien muai Panjang untuk beton α : 0,00001Kuat tekan beton pada keadaan awal (transfer) $f'_{ci} = 0,80 . f'_c = 0,80 . 41,5 \text{ MPa} = 33,20 \text{ MPa}$

Tegangan ijin beton saat penarikan:

Tegangan ijin tekan $0,60 . f'_{ci} = 0,60 \times 33,20 \text{ MPa} = 19,92 \text{ MPa}$ Tegangan ijin tarik $0,50 . \sqrt{f'_{ci}} = 0,50 \times 19,92 = 2,23 \text{ MPa}$

Tegangan ijin beton pada keadaan akhir

Tegangan Ijin tekan $0,45 . f'_c = 0,45 \times 33,20 \text{ MPa} = 18,68 \text{ MPa}$ Tegangan ijin tarik $0,50 . f'_c = 0,50 \times 18,68 \text{ MPa} = 3,22 \text{ MPa}$

Mutu beton plat lantai jembatan : K-300

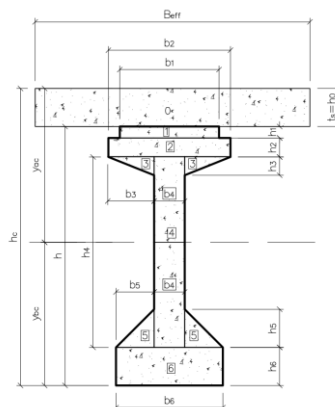
Kuat tekan beton f'_c : 24,9 MPaModulus elastis E_c : 23452,92 MPa

2. Mutu Baja Prategang

Jenis *strand* (7 wire strands ASTM A-416 grade 270)Tegangan leleh f_{py} : 1580 MPaKuat Tarik *strand* f_{pu} : 1860 MPaDiameter nominal *strand* : 12,7 mmLuas tampang nominal satu *strand* A_{st} : 98,7 mm²Beban putus min satu *strand* P_{bs} : 187,32 kN

Jumlah kawat untai (Strands cable) : 19 kawat untai / tendon

Diameter selubung ideal : 84 mm

Luas tampang *strands* : 1875,3 mm²Beban putus satu tendon P_{b1} : 3559,1 kNModulus elastis E_s : 193000 MPaNilai *Section properties* setelah komposit ditunjukkan pada Gambar 7 dan Tabel 3 berikut:

Gambar 7 Section properties PCI setelah komposit

Tabel 3 *Section Properties* balok komposit

no	Luas (A_c) m^2	Jarak kealas (y) m	Statis momen $A \times y$ m^3	Inersia momen $A \times y^2$ m^4	Inersia momen I_o m^4
0	0,373	1,825	0,67986	1,24075	0,00194
1	0,046	1,665	0,07576	0,12614	0,00002
2	0,104	1,565	0,16276	0,25472	0,00015
3	0,036	1,460	0,05257	0,07678	0,00001
4	0,250	0,875	0,21875	0,19141	0,01085
5	0,063	0,333	0,02078	0,00691	0,00011
6	0,175	0,125	0,02188	0,00273	0,00091
Total	1,046		1,23236	1,89943	0,01399

Tinggi total balok prategang (h_c) = 1,95 m

Luas penampang PCI (A_c) = 1,046 m^2

Letak titik berat

$$y_{bc} = \sum A_c \cdot y / \sum A_c = 1,232 \text{ m}^3 / 1,046 \text{ m}^2 = 1,179 \text{ m}$$

$$y_{ac} = h_c - y_{bc} = 1,950 \text{ m} - 1,179 \text{ m} = 0,771 \text{ m}$$

Momen inersia terhadap alas balok

$$I_{bc} = \sum A_c \cdot y + \sum I_{co}$$

$$I_b = 1,89943 \text{ m}^4 + 0,01399 \text{ m}^4 = 1,91342 \text{ m}^4$$

Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_{xc} = I_{bc} - A_c \cdot y_{bc}^2$$

$$I_x = 1,91342 \text{ m}^4 - 1,046 \text{ m}^2 \times (1,179 \text{ m})^2 = 0,46084 \text{ m}^4$$

Tahanan momen sisi atas plat

$$W_{ac} = \frac{I_{xc}}{y_{ac}} = \frac{0,46084 \text{ m}^4}{0,77130 \text{ m}} = 0,59749 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi atas balok

$$W'_{ac} = \frac{I_{xc}}{(y_{ac} - h_o)} = \frac{0,46084 \text{ m}^4}{0,771 \text{ m} - 0,250 \text{ m}} = 0,88402 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi bawah balok

$$W_{bc} = \frac{I_{xc}}{y_{bc}} = \frac{0,46084 \text{ m}^4}{0,179 \text{ m}} = 0,39098 \text{ m}^3$$

Dari pengolahan data menurut SNI 1726-2016 didapat rekapitulasi pada girder PCI ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Rekapitulasi pembebanan *girder* PCI

No	Jenis beban	Q (kN/m)	P (kN)	Momen(kNm)	Geser(kN)
1	MS (beban mati)	36,087	-	4059,788	541,305
2	MA (Mati tambahan)	3,498	-	393,525	52,470
3	TD (Beban Lajur)	13,860	105,644	2351,580	260,722
4	TB (Beban Rem)	1,092	-	42,924	2,862
5	EWS (Angin struktur)	6,960	-	783,000	104,400
6	EW1 (Angin kendaraan)	1,021	-	114,813	15,308
7	EQ (x) (Gempa)	14,865	222,980	1672,353	222,980
8	EQ (y) (Gempa)	14,865	743,268	1672,353	977,067

Dengan hasil kombinasi momen terbesar adalah Beban mati, beban mati tambahan, beban lajur, beban beban rem dan beban angin dengan total momen 7745,629 kNm dan beban geser 452,427 kN.

Jumlah strand yang dibutuhkan

Kondisi akhir adalah kondisi dengan *Girder* telah terpasang oleh tendon yang akan dipasang.

Jumlah tendon yang akan digunakan

$$n_T = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{b1}} = \frac{5755,482 \text{ kN}}{0,85 \times 0,80 \times 3559,100 \text{ kN}} = 2,37 \text{ Tendon}$$

Sehingga akan bulatkan menjadi 3 tendon yang akan dipasang

Jumlah kawat untai (Strand kabel) yang diperlukan

$$n_S = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{bS}} = \frac{5755,482 \text{ kN}}{0,85 \times 0,80 \times 187,320 \text{ kN}} = 45,185 \text{ Strand}$$

Sehingga akan dibulatkan menjadi 50 strand dengan pemasangan sesuai dengan Tabel 5 berikut:

Tabel 5 Jumlah Total Strands

Kode Tendon	Jumlah Tendon	Strands	Total Strands
n_{S1}	2 tendon	19 strand	38 strand
n_{S2}	1 tendon	12 strand	19 strand
n_T	3 tendon	n_S	50 strand

Pembesaaian balok Prategang

Pembesian pada balok prategang PCI kan dibagi menjadi 3 bagian atas, badan dan bawah.

Tulangan arah memanjang akan digunakan besi diameter 13

$$\text{Dengan } A_S = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{3,14}{4} \times 13 \text{ mm}^2 = 132,665 \text{ mm}^2 = 0,000132 \text{ m}^2$$

Luas *Girder* bagian atas

$$A_{atas} = 0,20950 \text{ m}^2$$

$$A_{S(atas)} = 0,50 \times A_{atas} = 0,00105 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{S(atas)}}{A_S} = \frac{0,00105 \text{ m}^2}{0,000132 \text{ m}^2} = 7,89 \text{ buah}$$

Girder bagian atas akan menggunakan 10D13 (d disesuaikan)

Luas *Girder* bagian bawah

$$A_{bawah} = 0,2875 \text{ m}^2$$

$$A_{S(bawah)} = 0,50 \times A_{bawah} = 0,001438 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{S(bawah)}}{A_S} = \frac{0,00143 \text{ m}^2}{0,000132 \text{ m}^2} = 10,83 \text{ buah}$$

Girder bagian bawah akan menggunakan 12D13 (d disesuaikan)

Luas *Girder* bagian badan

$$A_{badan} = 0,17600 \text{ m}^2$$

$$A_{S(badan)} = 0,50 \times A_{badan} = 0,00088 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{S(badan)}}{A_S} = \frac{0,00088 \text{ m}^2}{0,000132 \text{ m}^2} = 6,63 \text{ buah}$$

Girder bagian badan akan menggunakan 8D13 (d disesuaikan)

Kehilangan Tegangan

Kehilangan tegangan tidak boleh lebih dari 70% untuk dianggap girder PCI aman digunakan kehilangan tegangan ditunjukkan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Kehilangan Tegangan pada girder PCI

gaya	(kN)	kondisi	%UTS
P_j	6771,155	<i>Anchoring friction</i>	63,416%
P_o	6568,021	<i>Jacking friction</i>	61,514%
P_x	6101,317	<i>Elastic Shortening</i>	57,143%
P_i	5750,437	<i>Relaxation Tendon</i>	53,857%
P_{eff}	4912,646		46,010%

Perhitungan *Shear Connector* pada girder PCI

Shear connector didesain berdasarkan penghubung geser berdasarkan beban kerja dengan Panjang Jembatan $L = 30,0$ m

Gaya Geser memanjang

$$V_L = \frac{V \times A_c \times Y_c}{I} \gg n = \frac{V_{LS}}{Q_n}$$

$$V_{total} = 977,07 \text{ kN} = 977066,93 \text{ N}$$

$$A_c = 10455,26 \text{ cm}^2 = 1045526,95 \text{ mm}^2$$

$$y_c = 77,13 \text{ cm} = 771,30 \text{ mm}$$

$$I = 4,60 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$V_L = \frac{977066,93 \text{ N} \times 1045526,95 \text{ mm}^2 \times 771,30 \text{ mm}}{4,60 \times 10^{11} \text{ mm}^4} = 1709,74 \text{ N/mm}$$

Kekuatan nominal penghubung geser Untuk menentukan nilai nominal penghubung geser dicari dengan mencari nilai terkecil dari

$$Q_n = 0,5 \times A_s \times \sqrt{f_c \times E_c} \text{ Atau } Q_n = A_s \times f_u$$

Gunakan *shear connector* Ø22x198 ANTEC

Diameter (Ø) = 22 mm

maka

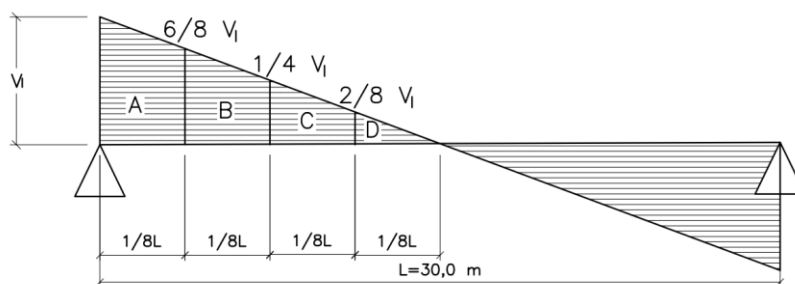
$$Q_{n2} = (0,25 \times 3,14 \times (22 \text{ mm})^2 \times 410 \text{ MPa}) = 155775,40 \text{ N} = 155,775 \text{ kN}$$

Setelah pengolahan Q_{n2} nilainya lebih kecil dari Q_{n1}

Jarak maksimum antara *shear connector*

- 1) 600 mm
- 2) $2 \times h_c = 2 \times 250 = 500 \text{ mm}$
- 3) $4L_c = 4 \times 198 = 792 \text{ mm}$

Gaya geser pada *Shear connector* ditunjukkan pada Gambar 8 berikut:

Gambar 8 Gaya Geser *Shear connector* PCI

Gaya Geser bidang A

$$V_{LS} = \frac{V_L \times (1/4 L)}{\phi}$$

$$V_{LSA} = \frac{1709,74 \text{ N/mm} \times (3750 \text{ mm})}{0,75} = 8014407,46 \text{ N}$$

Gaya Geser bidang B

$$V_{LSB} = \frac{\left(\frac{6}{8}\right) \times 1709,74 \text{ N/mm} \times (3750 \text{ mm})}{0,75} = 6411525,965 \text{ N}$$

Gaya geser bidang C

$$V_{LSC} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) \times 1709,74 \text{ N/mm} \times (3750 \text{ mm})}{0,75} = 4274350,643 \text{ N}$$

Gaya geser bidang D

$$V_{LSD} = \frac{\left(\frac{6}{8}\right) \times 1709,74 \text{ N/mm} \times (3750 \text{ mm})}{0,75} = 2137175,322 \text{ N}$$

Jumlah *shear connector* yang dipasang pada $1/8 \times$ Panjang $L = 30,0 \text{ m}$

$$n_A = \frac{8014407,46 \text{ N}}{0,55 \times 155775,40 \text{ N}} = 52 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 15,1 \text{ cm} \sim 15,0 \text{ cm}$$

$$n_B = \frac{6411525,96 \text{ N}}{0,55 \times 155775,40 \text{ N}} = 42 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 18,2 \text{ cm} \sim 18,0 \text{ cm}$$

$$n_C = \frac{4274350,643 \text{ N}}{0,55 \times 155775,40 \text{ N}} = 28 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 27,3 \text{ cm} \sim 25,0 \text{ cm}$$

$$n_D = \frac{2137175,322 \text{ N}}{0,55 \times 155775,40 \text{ N}} = 14 \text{ buah (Untuk 2 baris) jarak } 54,6 \text{ cm} \sim 50,0 \text{ cm}$$

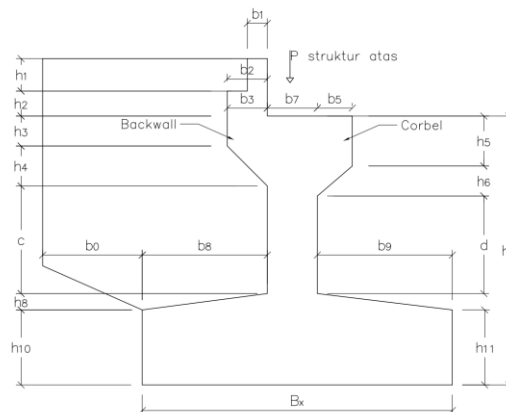
Kontrol lendutan

$$\delta = \frac{L}{300} = 0,100 \text{ m} > 0,030 \text{ m lendutan kombinasi 4 (terbesar)}$$

Sehingga disimpulkan bahwa *girder* PCI aman digunakan

ANALISA ABUTMENT

Pada abutment didesain dengan tipe abutment T yang mengharuskan pilecap tertanam pada Tanah OGL Dengan dimensi abutment ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 7 berikut:



Gambar 9 Dimensi Abutment

Tabel 7 Dimensi Abutment

Notasi	(m)	Notasi	(m)	Keterangan	Notasi	(m)
h_1	0,65	b_1	0,40	Panjang Abutment	B_y	9,00
h_2	0,50	b_2	0,80	Tebal Wingwall	h_w	0,5
h_3	0,60	b_3	0,80	Tanah Timbunan		
h_4	0,80	b_4	0,00	Berat volume, W_s	18,00	kN/m^3
h_5	1,00	b_5	0,50	Sudut gesek, ϕ	35,00	$^\circ$

h_6	0,60	b_6	0,00	Kohesi, C	0,00	kPa
h_7	10,10	b_7	1,40	Tanah dasar (Didasar Pilecap)		
h_8	0,40	b_8	2,30	Berat volume, W_s	23,34	kN/m ³
h_9	0,40	b_9	2,50	Sudut gesek, ϕ	30,00	°
h_{10}	1,30	b_{10}	3,90	Kohesi, C	14,21	kPa
h_{11}	1,30			Bahan Struktur		
c	7,00	B_x	6,20	Mutu Beton	K-	350
d	6,80			Mutu Baja tulangan	U-	42

Beban yang bekerja menurut perhitungan Hasil SNI 1726-2016 direkapitulasi pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Rekapitulasi beban Abutment pada pilecap

No	KODE	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
Aksi Tetap						
1	MS	10760,978			-16931,995	
2	MA	138,720			-13,872	
3	TA		5915,215		23251,072	
Beban Lalu Lintas						
4	TD	593,400			-59,340	
5	TP	179,808			-17,981	
6	TB		250,000		5425,000	
Aksi Lingkungan						
7	ET		6,000		60,600	
8	EW	14,515		44,247	-1,452	494,012
9	EQ		1869,298	1869,298	10346,844	10346,844
10	EQ		3110,506		23328,798	
Aksi Lainnya						
11	FB		125,85		1271,160	

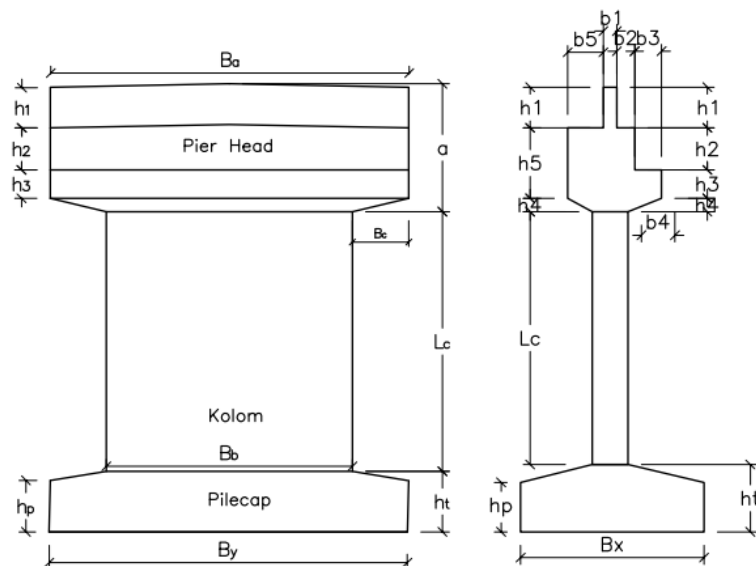
Dari rekapitulasi pembebanan dicari kombinasi pembebanan dengan momen yang paling besar yaitu pada kombinasi Ekstrem 1 = 1 MS +2 MA+1,25TA +1 EQ+1 FB dengan total beban pada pilecap sebesar 41971,30 kNm sehingga akan didapatkan pembesain pada Abutment yang ditunjukkan pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9 Penulangan pada Abutment

Bagian	Tulangan utama	Tulangan geser
Kolom	2D29-100	D16-400
Backwall atas	D13-300/D13-300	-
Backwall bawah	D16-300/D13-300	-
Corbel	D16-100/D16-200	-
Pilecap	D32-200/D22-200	D13-400/400

ANALISA PILAR 1

Pada Pilar didesain dengan yang mengharuskan pilecap tertanam pada Tanah OGL
Dengan dimensi Pilar 1 ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 10 berikut:



Gambar 10 Dimensi Pilar 1

Tabel 10 Dimensi Pilar 1

Pier Head			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
b_1	0,30	h_1	0,91
b_2	0,40	h_2	0,94
b_3	0,90	h_3	1,20
b_4	0,75	h_4	0,30
b_5	1,30	h_5	2,14
B_a	9,00	a	3,35
Kolom			
B	6,50	B_c	1,25
h	1,40	L_c	7,00
Pilecap			
h_p	1,30	B_x	6,20
h_t	1,70	B_y	9,00
Data Tanah Dasar Pilecap			
Berat volume	W_s	18,4	kN/m^3
Sudut gesek	ϕ	14,5	$^\circ$
kohesi	C	5,3	kPa

Beban yang bekerja menurut perhitungan Hasil SNI 1726-2016 direkapitulasi pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11 Rekapitulasi beban Pilar 1 pada pilecap

No	KODE	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T_x (kN)	T_y (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
Aksi Tetap						
1	MS	7376,563				
2	MA	398,820				
Beban Lalu Lintas						
3	TD	1056,160				
4	TP	281,937				
5	TB		500,000		5972,500	
6	TC		500,000	1000,000	1750,000	3500,000
Aksi Lingkungan						
7	EW	30,240	75,122	110,608	516,461	1240,349
8	EO		1196,921	1196,921	9334,769	9334,769

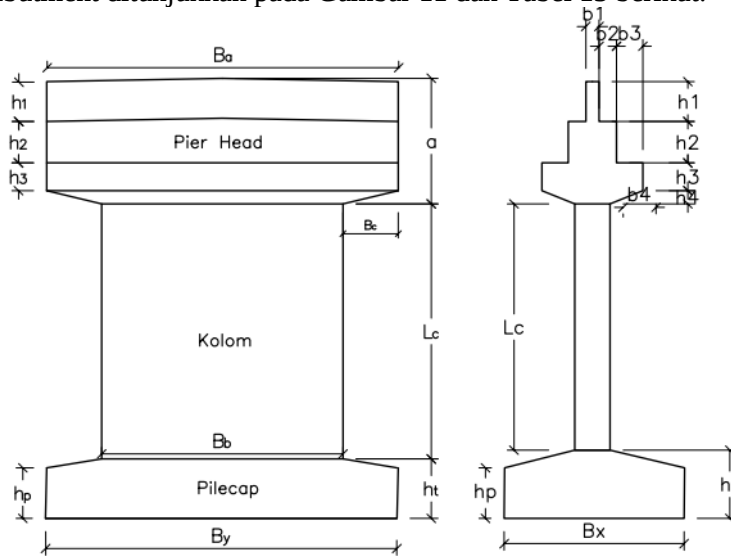
Dari rekapitulasi pembebanan dicari kombinasi pembebanan dengan momen yang paling besar yaitu pada kombinasi Kuat 1 = 1,3 MS +2 MA+1,8TD +1,8 TP+1,8TB dengan penulangan ditunjukkan pada Tabel 12 berikut:

Tabel 12 Penulangan pada pilar 1

Bagian	Tulangan utama	Tulangan geser
Kolom Pilar	D29-100	D13-400/400
Head Pilar	40D32	D25-400
Pilecap Pilar	D25-200/D19-200	D13-400/400

ANALISA PILAR 2

Pada pilar didesain dengan mengharuskan pilecap tertanam pada Tanah OGL Dengan dimensi abutment ditunjukkan pada Gambar 11 dan Tabel 13 berikut:



Gambar 11 Dimensi Pilar 2

Tabel 13 Dimensi Pilar 1

Pier Head			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
b_1	0,30	h_1	0,91
b_2	0,40	h_2	0,94
b_3	0,90	h_3	1,20
b_4	0,75	h_4	0,30
B_a	9,00	a	3,35
Kolom			
B	6,50	B_c	1,25
h	1,40	L_c	7,00
Pilecap			
h_p	1,30	B_x	6,20
h_t	1,70	B_y	9,00
Data Tanah Dasar Pilecap			
Berat volume	W_s	18,4	kN/m ³
Sudut gesek	ϕ	14,5	°
kohesi	C	5,3	kPa

Beban yang bekerja menurut perhitungan Hasil SNI 1726-2016 direkapitulasi pada Tabel 14 berikut:

Tabel 14 Rekapitulasi beban Pilar 1 pada pilecap

No	KODE	Vertikal	Horizontal		Momen	
		P (kN)	T_x (kN)	T_y (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
Aksi Tetap						

1	MS	8095,250				
2	MA	520,200				
Beban Lalu Lintas						
3	TD	1281,560				
4	TP	212,400				
5	TB		500,000		5950,000	
6	TC		500,000	1000,000	1750,000	3500,000
Aksi Lingkungan						
7	EW	30,240	75,122	148,369	516,461	1664,930
8	EQ		1478,196	1478,196	12519,302	12519,302

Dari rekapitulasi pembebanan dicari kombinasi pembebanan dengan momen yang paling besar yaitu pada kombinasi Kuat 1 = 1,3 MS + 2 MA + 1,8TD + 1,8 TP + 1,8TB dengan total beban dan penulangan ditunjukkan pada Tabel 15 berikut:

Tabel 15 Penulangan pada pilar 1

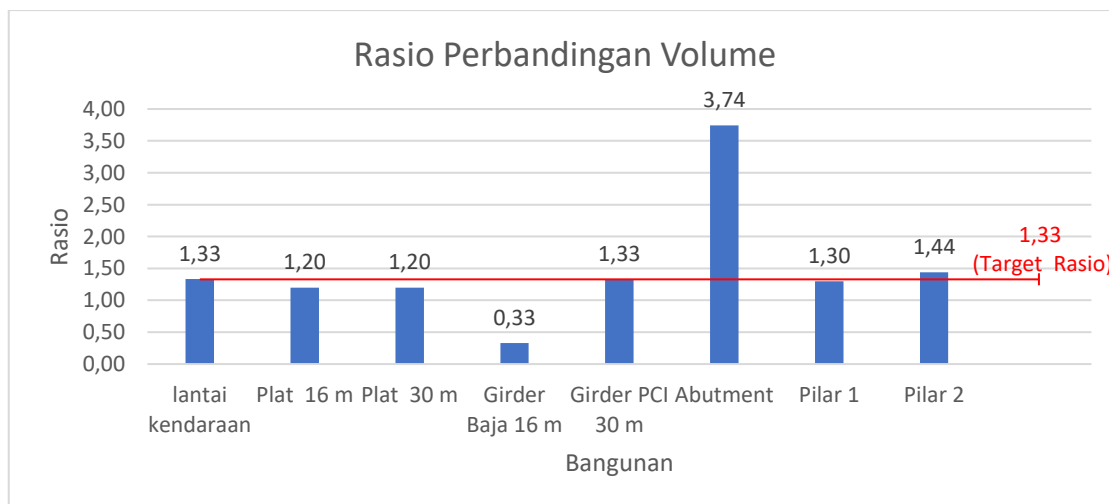
Bagian	Tulangan utama	Tulangan geser
Kolom Pilar	D29-100	D13-400/400
Head Pilar	40D32	D25-400
Pilecap Pilar	D25-200/D19-200	D13-400/400

EVALUASI HASIL DESAIN ULANG

Perbandingan hasil desain ulang dan desain eksisting ditunjukkan pada Tabel 16 dan Gambar 12 berikut

Tabel 16 Perbandingan Rasio Volume Eksisting dan Desain Ulang

Jenis Bangunan	Eksisting			Desain ulang			Rasio		
	b (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	b (m)	t (m)	L (m)	V (m ³)	(1:_)
Lantai kendaraan	4,5				6				1,33
Plat 16 m	7,5	0,25	16,0	30,0	9	0,25	16,0	36,0	1,20
Plat 30 m	7,5	0,25	30,0	56,2	9	0,25	30,0	67,5	1,20
	Jumlah pcs	A (m ²)	L (m)	V (m ³)	Jumlah pcs	A (m ²)	L (m)	V (m ³)	
Girder 16m	1	0,328	16,0	5,25	1	0,027	16,0	0,43	0,33
Girder 30m	3	0,673	30,0	60,57	4	0,673	30,0	80,76	1,33
Abutment				56,39				211,05	3,74
Pilar 1				153,78				199,82	1,30
Pilar 2				134,31				193,48	1,44



Gambar 12 Bar Chart Perbandingan Eksisting dan Desain Ulang

KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan, dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Akibat dari peningkatan kelas jalan maka terjadi perubahan lebar lantai kendaraan menjadi 6 meter dengan rasio 1,33, perubahan konfigurasi *girder* menjadi 4 *girder PCI* dengan rasio 1,33 dan baja WF dengan rasio 0,33.
2. Akibat Peningkatan kelas jalan menghasilkan rasio pembesaran Abutment 3,74 untuk pilar 1 dan pilar 2 menghasilkan rasio 1,30 dan 1,44.
3. Hasil desain ulang akibat perubahan kelas jalan disimpulkan bahwa *girder PCI*, *girder* baja WF, dan pilar 1 memiliki rasio dibawah rasio standar, kecuali untuk rasio struktur pilar 2.

SARAN

Pada hasil redesain struktur overpass jalan kabupaten STA 130+037 pada jalan tol Rengat - Pekanbaru. Terdapat beberapa saran yang meliputi:

1. Perencanaan pada tebal plat lantai dapat diperkecil menjadi 20 cm, sesuai dengan standar plat lantai overpass jalan Provinsi.
2. Pada *girder* baja tidak harus menggunakan WF 800x300x14x26 dapat dicoba WF yang lebih kecil.
3. Pada bangunan bawah dapat dianalisis lagi untuk mendapatkan desain yang lebih efisien.
4. Analisa dapat menggunakan software yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Kriteria Perencanaan Jembatan dan Pembebanan Jembatan
- Ariadne A.W.A dan Haryanto D, 2017. Modifikasi Desain Jembatan Kelenteng Pada Ruas Jalan tol Solo-Ngawi STA 46+146 dengan Menggunakan Balak Konvensional. Institute Teknologi Sepuluh November 2017
- Aspaliza Nur, Pulu Julawa I, dan Armada, 2018. Perencanaan Struktur Atas Komposit Sungai Nipah Desa Darul Aman Kecamatan Rupert. Jurnal Gradasi Teknik Sipil Volume 2. No 2, 2018
- Badan Standardisasi Nasional, SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan, Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional, , RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk jembatan. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional, , RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk jembatan. Jakarta
- Bappeda KaltimProv, 2020. HK lanjutkan Pembangunan Tol Trans Sumatra Sepanjang 2.765 Km.
- Batubara S., dan Simatupang L, 2018. Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Jurnal Rekayasa Kontruksi Mekanika sipil. Vol 1 No 2, Agustus 2018 ISSN 2614-5707.
- Hanalip H, dan Handono B.D, 2018. Perencanaan Balok Girder Profil I pada jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang. Jurnal Sipil Statik vol 6 no. 2 Februari 2018
- Inaray , 2017. Perencanaan Lantai Kendaraan. Departemen Teknik Sipil
- Ir Ilham Noer M, MT, 2008. Analisa Jembatan Srandakan Kulon Progi D.I. Yogyakarta. Yogyakarta
- Kementrian PUPR Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, 2021. Surat Edaran 06/SE/Db/2021 Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan. Jakarta
- Kementrian PUPR Direktorat Jendral Bina Marga Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan. Standar Jembatan Gelagar Komposit Bentang Jembatan 8m -20m. Jakarta
- Kementrian PUPR No 05/PRT/M/2015, 2015 tentang pedoman umum implementasi konstruksi berkelanjutan pada penyelenggaraan infrastruktur bidang pekerjaan umum dan pemukiman.
- Nawy Edward G.2001 Beton prategang: suatu pendekatan mendasar Ed 3. Jil 1 diterjemahkan oleh : Bambang suryaatmojo. Jakarta: Erlangga
- Rafid Edo D, 2020. Perancangan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang – Girder STA 17+200 Gondanglegi 2 pada Pembangunan Jalan Tol Kediri – Kertosono. Jombang
- Setiawan Agus. 2008. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD. Erlangga. Jakarta
- Thamrin Nasution, 2012 modul kuliah baja jembatan II
- Tumpu Miswar dan Rangan P.R., 2020. Struktur Beton Prategang Teori dan prinsip desain. Makassar