

Perencanaan Ulang Jembatan Lemah Ireng II pada Jalan Tol Semarang-Bawen Menggunakan Jembatan Busur Rangka Baja

Prasetyo Nur Hakikie dan Endah Wahyuni

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: endah@ce.its.ac.id

Abstrak—Jembatan Lemah Ireng II terletak pada STA 21+912 ~ STA 22+410 jalan tol Semarang-Bawen. Jenis jembatan Multi Span Continuous I-Girder dengan panjang bentang 298,15 dan lebar 2x12 m. Pada struktur bawah jembatan terdapat enam pilar dan dua abutmen. Perencanaan ulang dilakukan dengan menggunakan jembatan busur rangka baja menerus dengan lebar 12 m dan tinggi busur 20 m. Desain jembatan busur menerus terbagi menjadi dua bagian yaitu, bentang tengah 100 m dan dua bentang tepi 50 m. Perencanaan bangunan atas jembatan Lemah Ireng II menghitung antara lain, struktur lantai kendaraan, struktur baja ikatan angin, struktur baja rangka utama, struktur sambungan, dan desain perletakan. Dalam perencanaan ini harus memenuhi peraturan terbaru, antara lain SNI 1725:2016, RRSNI T-03-2005, SNI 2833:2008, SNI 2847:2013 serta peraturan lain yang berkaitan dengan perencanaan jembatan baja. Perencanaan rangka utama menggunakan kombinasi KUAT 1 (SNI 1725:2016), sedangkan perencanaan ikatan angin menggunakan kombinasi KUAT 3 (SNI 1725:2016). Perencanaan bangunan bawah pada tugas akhir ini menghitung struktur abutment, struktur pilar, dan pondasi bored pile. Abutment dan pilar menggunakan struktur beton bertulang sesuai dengan SNI 2847:2013. Hasil dari analisa struktur diperoleh: tebal pelat lantai kendaraan 20 cm, dimensi ikatan angin terbesar CHS 267,4x7, dimensi struktur rangka utama terbesar BOX 600x600x25, dimensi struktur rangka diagonal terbesar BOX 400x400x25, dimensi portal akhir BOX 600x600x25, diameter kabel penggantung 45 mm, perletakan menggunakan tipe POT bearing. Pondasi yang digunakan berupa pondasi bored pile dengan jumlah tiang pada abutment sebanyak 21 buah dan jumlah tiang pada pilar sebanyak 60 buah.

Kata Kunci—Lemah Ireng, jembatan busur rangka baja, jembatan busur menerus, POT bearing, bored pile.

I. PENDAHULUAN

TRANSPORTASI adalah pemindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin [1]. Menurut data Badan Pusat Statistik (2016) pada tahun 2014 jumlah kendaraan bermotor telah mencapai lebih dari seratus sepuluh juta kendaraan. Hal ini harus diimbangi dengan infrastruktur transportasi darat yang memadai dari segi kelayakan dan jumlahnya. Infrastruktur dalam hal ini dapat berupa jalan, jembatan, rambu lalu lintas, dan lain-lain.

Jalan tol merupakan salah satu infrastruktur yang ditargetkan akan dibangun sepanjang 1.000 kilometer dan selesai sebelum tahun 2019 [2]. Tujuan dari jalan tol adalah untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh kendaraan. Hal ini membuat jalan tol harus dibangun melintasi rintangan seperti sungai, jalan, perlintasan kereta api, dan

lain-lain. Untuk menghindari rintangan tersebut dibutuhkan suatu sistem simpangan berupa jembatan atau terowongan.

Jembatan memiliki variasi bentuk desain, material, dan fungsi yang bermacam-macam. Sapanjang jalan tol seringkali terdapat lebih dari satu jembatan yang dibangun. Salah satu jembatan yang terdapat pada jalan tol adalah Jembatan Lemah Ireng II, terletak pada Jalan Tol Semarang-Bawen STA 21+912 sampai STA 22+410. Jembatan Lemah Ireng II menggunakan tipe *Multi Span Continuous I-Girder* dengan panjang bentang 298,15 m. Jembatan ini menopang jalan 4 lajur 2 arah dengan lebar 2 x 12 m. Struktur bawah menggunakan 6 buah kolom pier dan 2 buah *abutment* dengan jarak antar kolom *pier* antara 41 m – 44 m. Kolom *pier* memiliki tinggi 8 m – 33 m dengan kedalaman bor pile antara 31 m – 35 m.

Struktur bawah Jembatan Lemah Ireng II memiliki banyak komponen dengan dimensi yang masif. Hal ini menjadi pertimbangan utama dalam memunculkan desain baru Jembatan Lemah Ireng II menggunakan Busur Rangka Baja. Adapun pemberian bentuk busur itu sendiri dimaksudkan untuk mengurangi momen pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan gelagar parallel.

Pada perencanaannya, jembatan ini terdiri dari 2 bentang jembatan yang terletak berjajar dengan lebar masing-masing 12 m. Pada *middle span* dengan panjang bentang 200 m digunakan Jembatan Busur Rangka Baja. Untuk *side span* dengan panjang bentang masing-masing 50 m digunakan Jembatan Rangka Baja yang dibangun menerus menyatu dengan *middle span*. Desain ini memiliki 3 buah kolom *pier* dan 1 buah *abutment*.

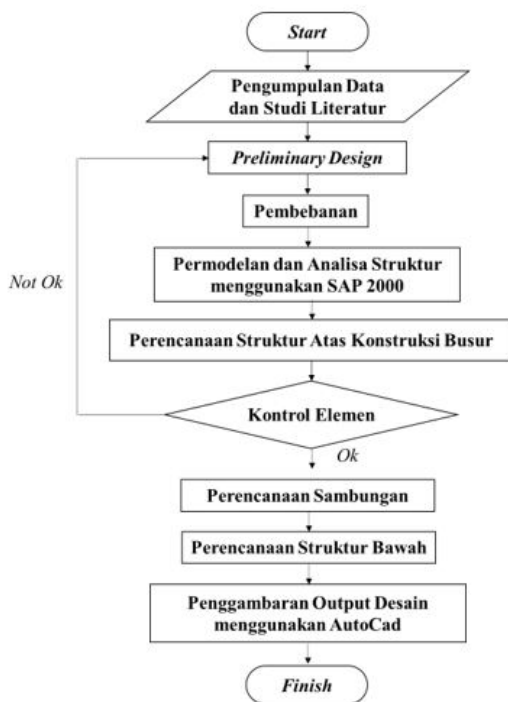
Dengan dibuatnya desain baru pada konstruksi Jembatan Lemah Ireng II ini diharapkan mampu menjadi solusi dalam merancang sebuah jembatan yang kuat secara struktural. Pemilihan sistem busur ini bertujuan agar kebutuhan material menjadi lebih efisien. Desain Jembatan Lemah Ireng II diharapkan mampu memberikan nilai lebih dalam segi estetika dan kesan monumental.

II. METODOLOGI

A. Pengumpulan Data dan Studi literatur

Pengumpulan data yang dilakukan meliputi peninjauan elevasi dan stationing dari jembatan eksisting, serta peninjauan kekuatan tanah di lokasi jembatan eksisting. Data umum yang perencanaan jembatan baru, antara lain :

- Lokasi : STA 21+912 ~ STA 22+410 Jalan Tol Semarang-Bawen
- Jenis : *Continuous Steel Arch Bridge*
- Bentang : 200 m (50 m + 100 m + 50 m)
- Lebar : 12 m



Gambar 1. Diagram Alir.

- Tinggi : 20 m
- Material : Baja

Melakukan studi literatur dengan berpedoman beberapa standar peraturan sebagai bahan pustaka dalam pengerjaan tugas akhir, antara lain :

- a. Bridges Management System (BMS) 1992
- b. SNI 1725:2016
- c. SNI 2847:2013
- d. RSNI T-03-2005
- e. SNI 2833:2008

B. Preliminary Design

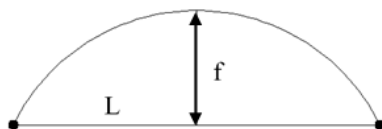
1. Penentuan mutu bahan yang digunakan:
 - Mutu Beton Pelat ($f'c$) = 40 MPa.
 - Mutu Beton Pilar ($f'c$) = 40 MPa.
 - Mutu Beton Abutment ($f'c$) = 40 MPa.
 - Mutu Baja Tulangan (f_y) = 390 dan 410 MPa
 - Struktur utama (f_y) :
 - Profil Box BJ55 [3]
 - Profil Circullar Hollow BJ55 [4]
 - Profil WF [5] dan Siku BJ41 [4]
 - Mutu baut sambungan menggunakan ASTM A325 untuk sambungan baut antar profil; [6]
 - Mutu las yang digunakan adalah E70xx. [6]
2. Memperkirakan tebal pelat lantai kendaraan

Pelat lantai yang berfungsi sebagai jalan kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s , dengan ketebalan 20 cm [7].

Menentukan Dimensi Busur

 - Tinggi Busur

$$\text{Syarat : } \frac{1}{6} \leq \frac{f}{L}$$



Gambar 2. Tinggi Busur.

- Tinggi Tampang Busur
Tinggi tampang busur rangka batang dengan batang tarik dapat menggunakan syarat sebagai berikut:

$$\text{Syarat : } \frac{1}{40} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{20}$$

- Lebar Jembatan
Lebar jembatan dapat menggunakan syarat sebagai berikut :

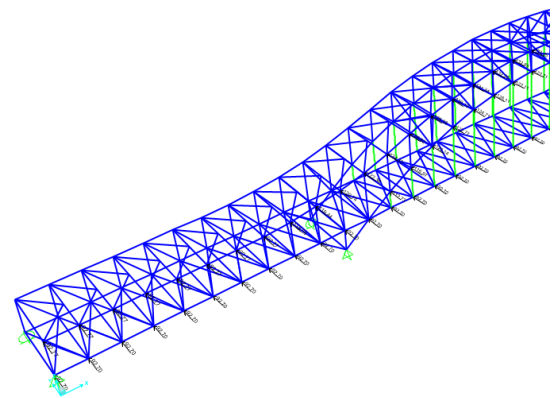
$$\text{Syarat : } \frac{b}{L} \geq \frac{1}{20}$$

3. Pembebanan [8]

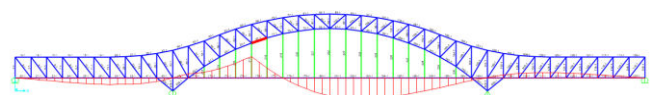
Pembebanan yang bekerja pada struktur jembatan terdiri dari beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa.

C. Permodelan dan Analisa Struktur Utama dengan Program SAP2000

Tugas Akhir ini memodelkan Jembatan Lemah Ireng II dengan menggunakan program bantu SAP2000. Permodelan 2 Dimensi untuk mendapatkan garis pengaruh pada jembatan dan pemodelan 3 Dimensi untuk mendapatkan profil yang digunakan sesuai kombinasi pembebanan SNI 1725-2016 [8].



Gambar 3. Pemodelan Jembatan 3D dengan SAP2000.



Gambar 4. Pemodelan Jembatan 2D dengan SAP2000 untuk Mencari Garis Pengaruh.

D. Perencanaan Struktur Atas

Pelat lantai kendaraan direncanakan dengan panjang 5m dan lebar 1,5 m menggunakan beton bertulang. Tebal beton bertulang 20 cm dengan lapisan perkerasan aspal setebal 6 cm. Pelat lantai kendaraan menumpu langsung pada gelagar memanjang dan melintang yang didesain menggunakan material dari JFE Steel Corporation [5] untuk profil WF dengan mutu baja ASTM A36 ($f_u = 410$ Mpa dan $f_y = 250$ Mpa). Profil untuk gelagar memanjang berupa WF 450x300x11x18 dan untuk gelagar melintang berupa WF 950x425x28,4x51,1.

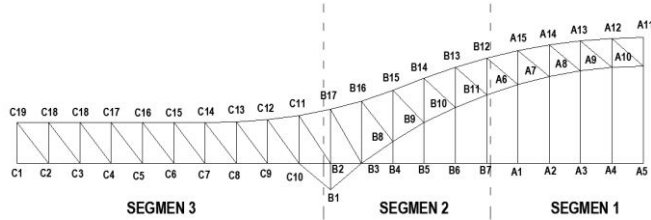
Profil ikatan angin pada rangka busur ataupun pada lantai kendaraan menggunakan profil *circular hollow* sesuai dengan Buku Tabel Profil Baja [4]. Profil yang digunakan antara lain:

Ikatan Angin Atas : Circular Hollow 267,4 x 7

Ikatan Angin Silang : Circular Hollow 216,3 x 8

Ikatan Angin Bawah: Circular Hollow 216,3 x 7

Profil rangka utama menggunakan produk dari PT. Gunung Garuda [3]. Bagian jembatan terdiri dari tiga segmen untuk mempermudah dalam pemilihan profil. Profil yang digunakan setiap segmen antara lain:



Gambar 5. Pembagian Segmen Jembatan.

Tabel 1.

Rekapitulasi Profil Rangka Utama

SEGMENT	Profil	Spesifikasi
SEGMENT 1	Busur Atas	BOX 600x600x25
	Busur Bawah	BOX 500x500x25
	Batang Diagonal	BOX 250x250x16
	Batang Tarik	BOX 500x500x25
SEGMENT 2	Busur Atas	BOX 500x500x25
	Busur Bawah	BOX 600x600x25
	Batang Diagonal	BOX 350x350x16
	Batang Tarik	BOX 500x500x25
SEGMENT 3	Rangka Atas	BOX 500x500x25
	Rangka Bawah	BOX 500x500x25
	Batang Diagonal	BOX 350x350x16
	Batang	40,39,44,43,46,48 BOX 400x400x25

Perencanaan kabel penggantung menggunakan kabel dan fitting dari perusahaan PFEIFER-Zugglieder [9] tipe PV-195 dengan diameter strand 45 mm dan *breaking load* sebesar 1930 kN.

Perletakan yang digunakan menggunakan *POT Bearing* dari perusahaan VSL dengan tipe PL 560/400 (*free*), PU 3900/2800 (*guided*), PL 1700/1200 (*free*), PU 3100/2200 (*guided*), PF 3900/2800 (*fixed*).

E. Kontrol Gaya Dalam

1. Kontrol Kapasitas Tarik

Batas kekuatan [6]

$$N_u \leq N_n$$

Nilai N_n diambil sebagai nilai terendah dari beberapa persamaan dibawah ini :

$$\text{Kontrol leleh} : N_u \leq \phi_t f_y A_g \quad \phi_t = 0.75$$

$$\text{Kontrol putus} : N_u \leq \phi_t f_u A_e \quad \phi_t = 0.75$$

Luas Penampang Efektif :

$$A_e = A \times \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$

Dimana :

N_u : Gaya Tarik aksial terfaktor (N)

f_y : Tegangan leleh (MPa)

f_u : Tegangan tarik putus (MPa)

A_g : Luas penampang bruto (mm²)

A_e : Luas penampang efektif (mm²)

x : eksentrisitas sambungan (mm)

2. Kontrol Kapasitas Tekan

Batas kekuatan [6]

$$N_u \leq \phi_n N_n \quad \phi_n = 0.85$$

Kekuatan tekan nominal

$$N_n = (0.66 \lambda_c^2) A_g f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 1,5$$

$$N_n = \frac{(0.88)}{\lambda_c^2} A_g f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \geq 1,5$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$L_k = K_c \times L$$

Dimana :

N_n : Kuat tekan nominal komponen (N)

K_c : Faktor panjang tekuk untuk komponen struktur
 λ_c : Kelangsingan Komponen Struktur Tekan

F. Perhitungan Sambungan

Sambungan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sambungan baut tipe friksi dan sambungan las

- Kuat geser nominal [6] :

$$(V_n) = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \times \pi$$

Kuat rencana :

$$V_d = \phi V_n$$

Dimana :

- μ : Koefisien geser (permukaan bersih = 0,35)
- m : jumlah bidang geser
- T_b : gaya Tarik minimum baut
- ϕ : 0.75
- π : 1,00 untuk lubang standar

Tabel 2.

Gaya Tarik Baut Minimum

Diameter nominal baut (mm)	Gaya tarik minimum (kN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

Jumlah Baut (n) :

$$\frac{V_u}{V_d}$$

Jarak antar Baut :

$$\text{Syarat} : 2.5d_b \leq S \leq 15t_p$$

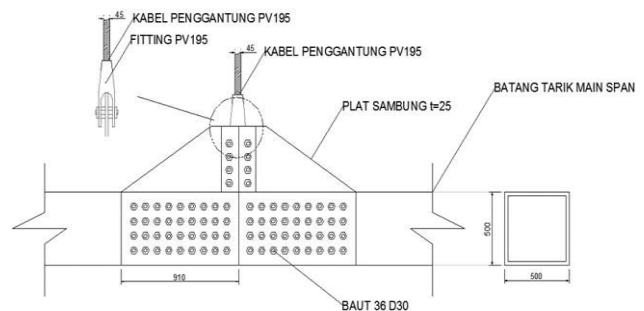
Jarak Baut ke Tepi :

$$\text{Syarat} : 1.5d_b \leq S_1 \leq (4t_p + 100)$$

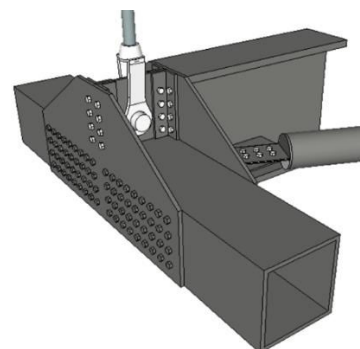
Kontrol Las :

$$1cm \text{ las} : R_u = \phi . t_e . 0,6 . FE70xx$$

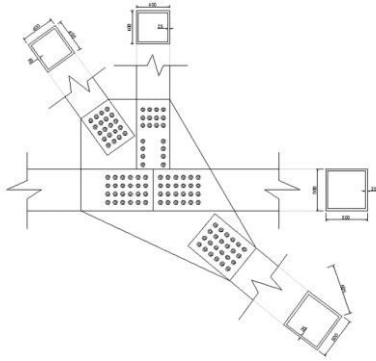
$$\text{Panjang las minimum} = \frac{P_u}{R_u}$$



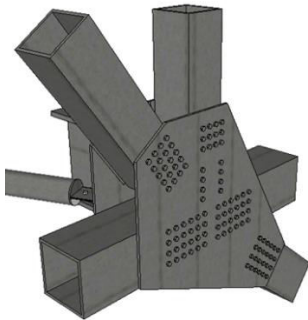
Gambar 6. Sambungan titik simpul A5.



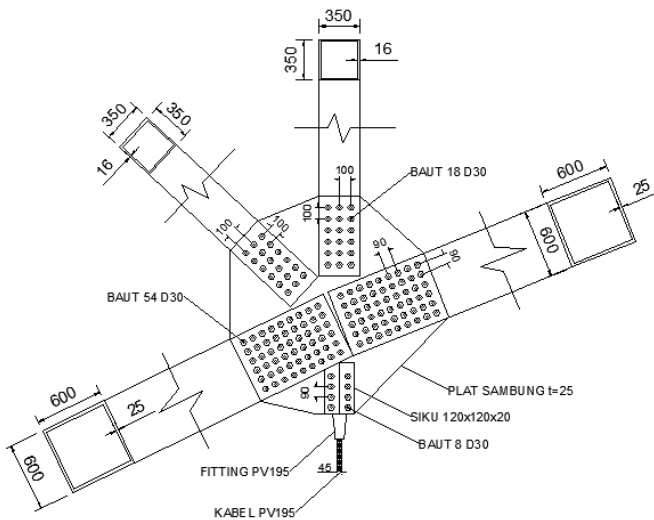
Gambar 7. Sambungan titik simpul A5 (perspektif).



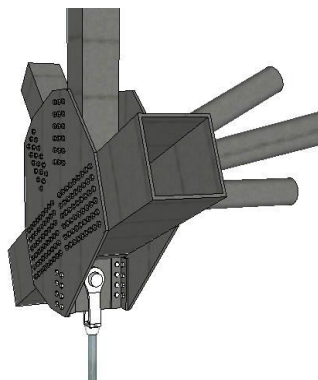
Gambar 8. Sambungan titik simpul C10.



Gambar 9. Sambungan titik simpul C10 (perspektif).



Gambar 10. Sambungan titik simpul B10.



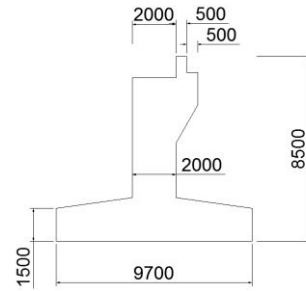
Gambar 11. Sambungan titik simpul B10 (perspektif).

G. Perencanaan Abutment

Direncanakan *bored pile* dengan diameter 1,2 m dengan kedalaman 20 m. Dengan SF=3 maka didapatkan P_{ijin} 1 Tiang = 394,11 ton. Daya dukung tiang harus dikoreksi sesuai dengan persamaan Converse-Labare [10]:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{S_1}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dengan faktor koreksi sebesar 0,67 maka didapatkan P_{ijin} grup = 266,34 ton.



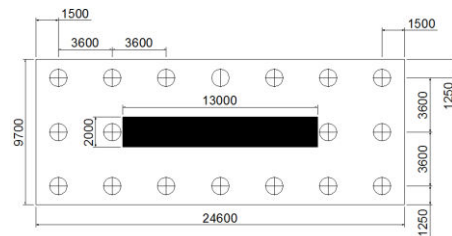
Gambar 12. Desain Abutment

Pembebanan pada abutment sesuai dengan SNI 1725-2016 [6]. Berikut hasil kombinasi dan konfigurasi tiang yang dipakai,

Tabel 3.

Gaya Luar Abutment

Beban	Gaya Tak Terfaktor (ton)			Lengan (m)	Momen (tonm)	
	V	Hy	Hx		My	Mx
KUAT 1	2104,23		-267,568		-113,551	555,7246
KUAT 3	1720,036		-287,818		810,2244	526,9746
EKSTREM 1	1784,068	-873,936	37,28708		-4764,42	1473,237

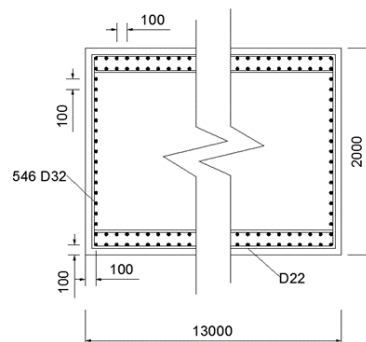


Gambar 13. Konfigurasi Tiang Abutment.

$$P_v = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{\sum x^2} \quad [10]$$

$$P_v = 209,349 \text{ ton} < P_{ijin \text{ grup}} = 266,34 \text{ ton} \quad OK$$

Perencanaan penulangan utama menggunakan program bantu SpColumn dan didapatkan tulangan abutment 546-D30 dengan rasio 1,6%.



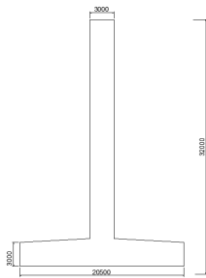
Gambar 14. Ilustrasi Tulangan Utama Abutment.

H. Perencanaan Pilar

Direncanakan *bored pile* dengan diameter 1,2 m dengan kedalaman 35 m. Dengan SF=3 maka didapatkan $P_{ijin} 1$ Tiang = 721,14 ton. Daya dukung tiang harus dikoreksi sesuai dengan persamaan Converse-Labare [10] :

$$C_e = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{S_1}{S}\right)}{90} \times \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

Dengan faktor koreksi sebesar 0,63 maka didapatkan P_{ijin} grup = 455,203 ton.



Gambar 15. Desain Pilar.

Pembebanan pada pilar sesuai dengan SNI 1725-2016 [6]. Berikut hasil kombinasi dan konfigurasi tiang yang dipakai,

Tabel 4. Gaya Luar Pilar

Beban	Gaya Tak Terfaktor (ton)			Lengan (m)	Momen (tonm)	
	V	Hy	Hx		My	Mx
KUAT 1	10342,44		20,25		175,4134	648
KUAT 3	8990,207	58,33226			1411,06	0
EKSTREM 1	9215,58	2887,062	2293,334		37444,35	36696,23

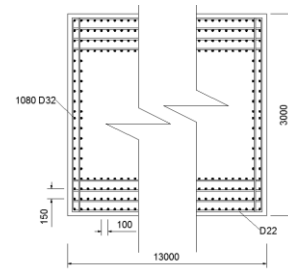


Gambar 16. Konfigurasi Tiang Pilar.

$$P_v = \frac{\sum P}{n} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{\sum y^2} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{\sum x^2} \quad [10]$$

$$P_v = 413,63 \text{ ton} < P_{ijin \text{ grup}} = 455,203 \text{ ton OK}$$

Perencanaan penulangan utama menggunakan program bantu SpColumn dan didapatkan tulangan pilar 1080-D32 dengan rasio 2,23%.



Gambar 17. Ilustrasi Tulangan Utama Pilar.

III. KESIMPULAN

1. Perencanaan pelat lantai kendaraan merupakan pelat beton 40 MPa dengan ketebalan 20 cm dan dilapisi aspal dengan ketebalan 6 cm.
2. Hasil perencanaan gelagar dan ikatan angin didapatkan :
Gelagar Memanjang : WF 450x300x11x18
Gelagar Melintang : WF 950x425x28,4x51,1
Ikatan Angin Atas : Circular Hollow 267,4 x 7
Ikatan Angin Silang : Circular Hollow 216,3 x 8
Ikatan Angin Bawah : Circular Hollow 216,3 x 7
3. Profil rangka utama menggunakan brosur PT. Gunung Garuda yang memiliki mutu BJ55 sesuai RSNI T-03-2005. Seluruh profil yang digunakan dalam rangka jembatan adalah profil BOX.
4. Kabel penggantung yang dipakai adalah kabel strand dari perusahaan PFEIFER-Zugglieder. Tipe kabel adalah PV 195 dengan diameter 45mm.
5. Perletakan yang digunakan adalah perletakan jenis POT bearing produk dari VSL.
6. Desain abutmen dengan tinggi 8,5 m, lebar 13 m, dan tebal 2 m dengan 21 tiang diameter 1,2 m sedalam 20 m.
7. Desain pilar dengan tinggi 32 m, lebar 13 m, dan tebal 3 m dengan 60 tiang diameter 1,2 m sedalam 35 m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Rianty, "Pengertian Transportasi," 2015. [Online]. Available: <http://www.sridianti.com/pengertian-transportasi.html>.
- [2] Infonawacita, "Skema dan Target Pembangunan Jalan Tol yang Dirancang Pemerintah," 2016. [Online]. Available: <http://www.infonawacita.com/skema-dan-target-pembangunan-jalan-tol-dirancang-pemerintah>.
- [3] PT. Gunung Garuda, "Angle (Hot Rolled)," Bekasi, 2016.
- [4] R. Gunawan, *Tabel Profil KONSTRUKSI BAJA*. Yogyakarta: Kanisius, 1987.
- [5] JFE Steel Corporation, "Wide Flange Shapes," Japan, 2011.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, "Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan (RSNI T-03:2005)," Bandung, 2005.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "Bridge Management System (BMS) Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan," Jakarta, 1992.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, "Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016)," Bandung, 2016.
- [9] PFEIFER-Zugglieder, *PFEIFER Seilbau Cable Structure*. Memmingen: PFEIFER-Zugglieder, 2015.
- [10] H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS, 1999.