

EVALUASI PERHITUNGAN LANTAI JEMBATAN TIPE VOIDED SLAB DI KANAL KIM JALAN MANGAAN VIII KELURAHAN MABAR KECAMATAN MEDAN DELI

Jon Gusmer Saragih ¹, Ellyza Chairina ²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Harapan Medan, Indonesia

sumbayak.jongusmer24@gmail.com

Abstrak

Studi kasus jembatan ini berada di Jalan Mangan VIII yang terletak di kota Medan merupakan kota metropolitan no.3 terbesar di Indonesia. Dimana aktivitas kendaraan sangat padat yang disebabkan oleh kawasan industri dan kawasan perkantoran. Sebelum direnovasi, banyak korban kecelakaan diakibatkan oleh sempitnya jalur lalu lintas pada jembatan, guard rail tidak sesuai standar pada perencanaan jembatan, tidak adanya trotoar, kendaraan besar pabrik yang melintas cukup banyak serta adanya persimpangan jalan. Kelebihan dari voided slab adalah waktu pelaksanaannya cepat dan mudah. Kekurangan voided slab adalah terkelupasnya sebagian lapisan permukaan lantai jembatan sehingga terbentuknya alur memanjang di permukaan lantai jembatan yang dapat membahayakan pengendara kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat. Penelitian ini dilakukan oleh banyaknya aktivitas kendaraan pabrik yang melintasi jembatan dengan kapasitas tonase yang besar. Kesimpulan adalah berdasarkan hasil evaluasi pada *software* SAP2000 menunjukkan warna kuning artinya bahwa lantai jembatan voided slab masih mampu menahan beban yang terjadi, pada tegangan pada tulangan prategang tarik membutuhkan jumlah tendon sebanyak 5 buah dengan tiap tendon terdiri dari 12 strand dengan diameter 12,70 mm serta disarankan dalam hasil evaluasi pada struktur lantai jembatan maka dibutuhkan perkuatan yaitu dengan metode perkuatan eksternal prestressing supaya tegangan pada tulangan prategang tarik mampu menahan beban yang ada, setelah dilaksanakan renovasi pembangunan konstruksi jembatan maka dibutuhkan pengawasan berkala supaya mengetahui kekuatan pada struktur jembatan tersebut.

Kata kunci: *Voided Slab; Jembatan; SAP2000*

Abstract

The case study of this bridge is on Jalan Mangan VIII which is located in the city of Medan, which is the third largest metropolitan city in Indonesia. Where vehicle activity is very dense caused by industrial areas and office areas. Before it was renovated, many accident victims were caused by the narrow traffic lanes on the bridge, the guard rails did not meet the standards in the bridge planning, the absence of sidewalks, the large number of factory vehicles passing by and the presence of crossroads. The advantage of voided slabs is that the implementation time is fast and easy. The disadvantage of voided slabs is that part of the surface layer of the bridge floor peels off resulting in the formation of longitudinal grooves on the surface of the bridge floor which can endanger two-wheeled and four-wheeled vehicle drivers. This research was carried out by the large number of factory vehicle activities crossing the bridge with a large tonnage capacity. The conclusion is based on the evaluation results on the SAP2000 software showing a yellow color meaning that the voided slab bridge floor is still able to withstand the loads that occur, the stress on the prestressed tensile reinforcement requires a total of 5 tendons with each tendon consisting of 12 strands with a diameter of 12.70 mm and It is suggested that in the results of the evaluation of the bridge deck structure, reinforcement is needed, namely by the external prestressing reinforcement method so that the stress on the prestressed tensile reinforcement is able to withstand the existing loads, after the renovation of the bridge construction is carried out, periodic supervision is needed to determine the strength of the bridge structure.

Keywords: *Voided Slab; Bridge; SAP2000*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan jembatan dari zaman ke zaman semakin meningkat namun seiring waktu jembatan sangat penting dalam transportasi darat. Sehingga pembangunan konstruksi jembatan harus benar-benar diperhatikan demi keselamatan pengguna. Menurut wikipedia bahwa pengertian jembatan adalah struktur yang dibuat untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, rel kereta api, ataupun jalan raya.

Studi kasus jembatan ini berada di Jalan Marga VIII yang terletak di kota Medan merupakan kota metropolitan no.3 terbesar di Indonesia. Dimana aktivitas kendaraan sangat padat yang disebabkan oleh kawasan industri dan kawasan perkantoran. Sehingga dalam pembangunan struktur lantai jembatan diperlukan penangan yang baik supaya tidak menimbulkan angka kecelakaan berlalu lintas di daerah tersebut. Sebelum direnovasi, jembatan ini memakan banyak korban kecelakaan diakibatkan oleh sempitnya jalur lalu lintas pada jembatan, guard rail tidak sesuai standar pada perencanaan jembatan, tidak adanya trotoar, kendaraan besar pabrik yang melintas cukup banyak serta adanya persimpangan jalan.

Kelebihan dari struktur lantai jembatan voided slab adalah waktu pelaksanaannya cepat dan mudah. Kekurangan dari struktur jembatan voided slab adalah terkelupasnya sebagian lapisan permukaan lantai jembatan sehingga terbentuknya alur memanjang di permukaan lantai jembatan yang dapat membahayakan pengendara kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat.

Jembatan beton terbagi atas 2 macam yaitu jembatan beton bertulang dan jembatan beton prategang. Dalam penelitian ini, masuk ke dalam jembatan beton prategang dimana lantai jembatan menggunakan kawat-kawat baja berkualitas tinggi dalam menahan gaya geser, gaya lentur yang diakibatkan oleh beban roda kendaraan. Tipe lantai jembatan yang ditinjau menggunakan voided slab atau pelat berongga. Pengertian voided slab adalah jenis pelat beton prategang pretension dengan bentang 5 m sampai dengan 16 m dimana rongga mengurangi berat pelat.

Tujuan penelitian ini yaitu:

- Untuk membandingkan hasil perhitungan voided slab dengan dimensi yang sudah ditentukan.
- Untuk mengetahui perhitungan kekuatan voided slab yang digunakan dalam menahan beban-beban pada jembatan.
- Dapat membandingkan hasil perhitungan dari perencanaan struktur dari Dinas Pekerjaan Umum.

2. DASAR TEORI

Sejarah Jembatan

- Periode Zaman Purba
 - Memanfaatkan akar-akar atau ranting-ranting pohon sebagai jembatan gantung.
 - Jembatan yang dibangun terbuat dari batu atau pohon-pohon yang tumbang.
 - Tipe jembatan zaman purba berupa balok sederhana yang hanya dapat digunakan untuk bentangan pendek.

- Periode Romawi Kuno
Jembatan telah menggunakan kayu, batu, beton dan membuat konstruksi pilar jembatan yang berada di bawah air berfungsi untuk melindungi jembatan dari bahaya banjir.
- Zaman Pertengahan
Pelaksanaan pembangunan sudah mulai meningkat, yang mana struktur tanah dan struktur pondasi jembatan telah mengalami perubahan yang drastis.
- Zaman Jembatan Modern
 - Jembatan Besi dan Baja
 - Jembatan Beton Bertulang
 - Jembatan Beton Prategang

Studi Penelitian Terdahulu

- Hans Christo Alexander Silaban (2019) tentang Evaluasi Perhitungan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang di Sibolga
- Devi Arisandy Sumantri (2020) tentang Evaluasi Nilai Sisa Kapasitas Jembatan Voided Slab Way Bako I.
- Andi Indianto dan Asep Hilmanasyah (2019) tentang Evaluasi Kinerja Struktur Jembatan Tipe Voided Slab.

Alat dan Bahan Material yang Digunakan

- Beton
- Besi Tulangan
- Alat *Stressing* Voided Slab
- Aspal
- Bantalan *Elastomer*

Berdasarkan Tipe Struktur Jembatan

Jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain: Jembatan Pelat, Jembatan Pelat Berongga, Jembatan Gelagar, Jembatan Rangka, Jembatan Pelengkung, Jembatan Gantung, Jembatan Kabel, dan Jembatan Kantilever

Filosofi Perencanaan Lantai Jembatan Tipe Voided Slab

Faktor yang harus diperhatikan dalam merencanakan lantai jembatan voided slab yaitu Keadaan Batas Daya Layan, Keadaan Batas Fatik dan Fraktur, Keadaan Batas Kekuatan, Keadaan Batas Ekstrem, Daktilitas, Redundansi, dan Kepentingan Operasional.

Pembebanan pada Lantai Jembatan Voided Slab

A. Beban Permanen

- Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan (MS)
- Beban mati perkerasan dan utilitas (MA)

B. Beban Transien

- Gaya Akibat Rem (TB)
- Gaya Gempa (EQ)
- Beban Lajur "D" (TD)
- Beban Truk "T" (TT)
- Beban Pejalan Kaki (TP)
- Beban Angin (EW)
- Pengaruh Temperatur (ET)

1. Beban Mati (MS)

Rumus untuk beban mati (MS) sebagai berikut:

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

Tabel 1. Faktor Beban (γ_{MS}) untuk Berat Sendiri

Beban	Faktor Keadaan Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{MS})		Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{MS})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor dilapangan	1,00	1,30	0,75
	Kayu Keras	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.14

2. Beban Mati Perkerasan dan Utilitas (MA)

Tabel 2. Faktor Beban Mati Tambahan (γ_{MA})

Beban	Faktor Beban Mati Tambahan (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{MA})		Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{MA})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,0 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,0	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾: Faktor beban layan sebesar 1,30 dipakai untuk berat utilitas

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.14

3. Beban Prategang (PR)

Tabel 3. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan (γ_{PR})

Beban	Faktor Beban Mati Tambahan (γ_{PR})	
	Batas Layan (γ^S_{PR})	Batas Ultimit (γ^U_{PR})
Tetap	1,00	1,00

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.51

4. Gaya Rem (TB)

Beban gaya rem harus diambil nilai yang terbesar dari:

- 25% dari berat pada gandar truk desain atau
- 5% dari beban truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

5. Gaya Gempa (EQ)

Jembatan harus dibangun dengan kemungkinan runtuh yang kecil namun dengan kapasitas untuk mempertahankan kerusakan akibat gempa besar dan gangguan layanan. Dalam beberapa keadaan, struktur perlu diganti seluruhnya atau sebagian. Otoritas yang sesuai dapat memutuskan kinerja yang lebih tinggi, seperti kinerja operasional.

6. Beban Lajur "D" (TD)

Rumus untuk beban lajur "D" (TD) untuk kondisi beban ultimate sebagai berikut:

$$P_{LL} = (1 + DLA) \times P \times b \times \gamma_{TD} \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

$$M_{LL} = \frac{1}{8} \times q_{LL} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{LL} \times L \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

Rumus untuk beban lajur "D" (TD) sebagai berikut:

$$Q_{TD} = q \times \frac{(5,50 + B_1)}{2} \quad \text{-----} \quad (2.6)$$

$$P_{TD} = P \times (1 + DLA) \times \frac{(5,50 + B_1)}{2} \quad \text{-----} \quad (2.7)$$

$$M_{TD} = 1/8 \times Q_{TD} \times L^2 + 1/4 \times P_{TD} \times L \quad \text{-----} \quad (2.8)$$

$$V_{TD} = 1/2 \times Q_{TD} \times L + 1/2 \times P_{TD} \quad \text{-----} \quad (2.9)$$

Tabel 4. Faktor Beban Lajur "D" (γ_{TD})

Jenis Beban	Jembatan	Faktor Beban Lajur "D" (γ_{TD})	
		Batas Layan (γ^S_{TD})	Batas Ultimit (γ^U_{TD})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.39

7. Beban Truk "T" (TT)

$$V_{Truk L} = R \left\{ \frac{L - (x + c)}{L} \right\} \quad \text{-----} \quad (2.12)$$

$$M_{max} = V_{Truk L} (X) \quad \text{-----} \quad (2.13)$$

Tabel 5. Faktor Beban untuk Beban "T" (γ_{TD})

Jenis Beban	Jembatan	Faktor Beban "T" (γ_{TD})	
		Batas Layan (γ^S_{TT})	Batas Ultimit (γ^U_{TT})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.41

8. Beban untuk Pejalan Kaki (TP)

Rumus untuk pejalan kaki (TP) sebagai berikut:

$$Q_{TP} = n \times b_2 \times q \quad \text{-----} \quad (2.14)$$

$$M_{TP} = 1/8 \times Q_{TP} \times L^2 \quad \text{-----} \quad (2.15)$$

$$V_{TP} = 1/2 \times Q_{TP} \times L \quad \text{-----} \quad (2.16)$$

9. Beban Angin (EW)

a) Tekanan Angin Horizontal

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \times \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad \text{-----} \quad (2.17)$$

Tabel 6. Nilai V_0 dan Z_0 Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,20	17,60	19,30
Z_0 (km/jam)	70	1000	2500

Sumber: SNI 1725-2016 Hal.56

b) Tekanan Vertikal

$$T_{EW} = 0,0012 \times C_{Wx} \times [V_W]^2 \text{ [kN]} \quad \text{-----} \quad (2.18)$$

$$Q_{EW} = 2 \times \left[\frac{1/2 \times h/x}{T_{EW}} \right] \quad \text{-----} \quad (2.19)$$

$$M_{EW} = 1/8 \times Q_{EW} \times L^2 \quad \text{-----} \quad (2.20)$$

$$V_{EW} = 1/2 \times Q_{EW} \times L \quad \text{-----} \quad (2.21)$$

c) Instabilitas Aeroelastik

Untuk tujuan, jembatan dengan rasio panjang bentang terhadap lebar jembatan lebih besar dari 30 dianggap sebagai jembatan yang rentan terhadap pengaruh aeroelastik angin.

Aplikasi Software SAP2000

Pengertian SAP2000 adalah program untuk perhitungan kekuatan struktur khususnya bangunan-bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. Kegunaan SAP2000 adalah:

1. Menghitung momen mekanika teknik pada struktur bangunan.
2. Menghitung konstruksi baja (kolom, balok dan pelat lantai).
3. Menghitung konstruksi baja ringan.

Beberapa kemampuan program ini antara lain:

1. Analisis yang cepat dan akurat,
2. Pemodelan elemen shell yang lebih akurat,
3. Analisis dinamik dengan Ritz dan Eigenvalue,
4. Sistem koordinat ganda untuk bentuk geometri struktur yang kompleks dan
5. Model pembebanan yang lebih lengkap baik berupa *staticloading* maupun *dynamicloading*.

3. METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ada di kanal KIM (Kawasan Industri Medan) yang berlokasi di Jalan Margaan VIII Kelurahan Mabar Kecamatan Medan Deli, Sumatera Utara. Peneliti mengambil lokasi penelitian tersebut karena daerah lokasi kawasan pabrik yang digunakan oleh masyarakat luas. Waktu Penelitian dilakukan dalam jangka waktu 4 bulan, yakni Nopember 2022 sampai Februari 2023.

Metode Penelitian

- Pengumpulan Data
Studi penelitian dimana data-data yang dikumpulkan berupa gambar, dan perhitungan perencanaan yang berhubungan dengan analisa yang dibahas.
- Metode Kepustakaan
Metode ini digunakan untuk mendapatkan acuan dari buku-buku referensi baik dari perpustakaan kampus daerah kota medan, perpustakaan kampus Unimed maupun dari internet.
- Metode Bimbingan
Metode ini dilakukan bersama dosen pembimbing mengenai masalah yang dibahas untuk mendapatkan petunjuk dalam pembuatan laporan skripsi.

Variabel Pengamatan

1. Tahapan Persiapan
2. Pengumpulan Data
3. Pengolahan Data
4. Tahap Analisa dan Hasil Data
 - a) Perhitungan Pipa Sandaran
Pipa sandaran yang dipakai berdiameter 76,30 mm atau 3 inch dengan jarak bervariasi yaitu 1.500 mm dan 1.750 mm.
 - b) Perhitungan Tiang Sandaran
Data-data dimensi yang akan di analisa pada tiang sandaran sebagai berikut:
 - tinggi tiang sandaran = 1.000 mm
 - lebar tiang sandaran = 150 mm
 - diameter tulangan lentur = BJTP 24 Ø 10 mm
 - diameter tulangan geser = BJTP 24 Ø 6 mm
 - c) Perhitungan Lantai Trotoar

Data-data dimensi yang akan di analisa pada lantai trotoar sebagai berikut:

- lebar trotoar = 555 mm
- tebal trotoar = 250 mm
- diameter tulangan lentur = BJTP 24 Ø 8 mm
- diameter tulangan geser = BJTP 24 Ø 10 mm

d) Perhitungan Kerb

Data-data dimensi yang akan di analisa pada kerb sebagai berikut:

- lebar kerb = 200 mm
- tebal kerb = 250 mm
- diameter tulangan lentur = BJTP 24 Ø 6 mm
- diameter tulangan geser = BJTP 24 Ø 6 mm

e) Perhitungan Pelat Injak

Data-data dimensi yang akan di analisa pada kerb sebagai berikut:

- panjang pelat injak = 5.000 mm
- lebar pelat injak = 8.000 mm
- tebal pelat injak = 200 mm
- diameter tulangan lentur = BJTD 40 Ø 16 mm
- diameter tulangan geser = BJTD 40 Ø 16 mm

f) Perhitungan Pelat Lantai Voids Slab

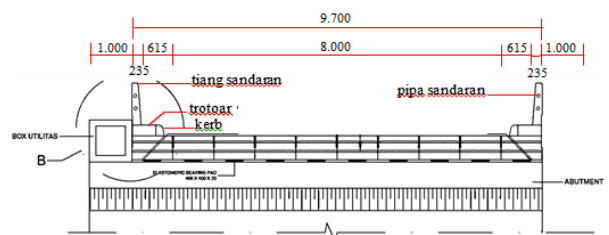
Data-data dimensi yang akan di analisa pada pelat lantai sebagai berikut:

- panjang jembatan = 10.600 mm
- lebar lalu lintas = 8.000 mm
- lebar voided slab = 970 mm
- tebal voided slab = 570 mm
- tebal lapisan aspal + overlay = 50 mm
- diameter tulangan lentur = BJTD 40 Ø 13 mm
- diameter tulangan geser = BJTD 24 Ø 10 mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

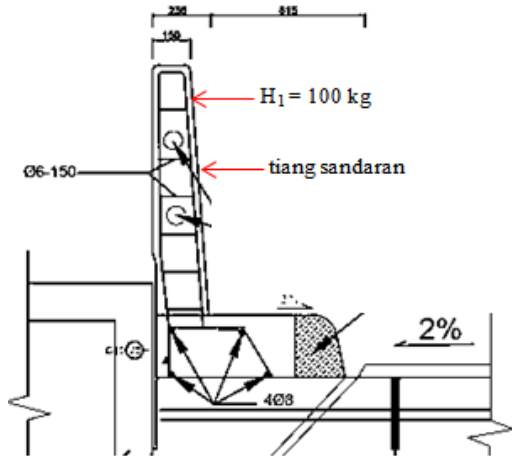
HASIL

Teknis Lantai Jembatan

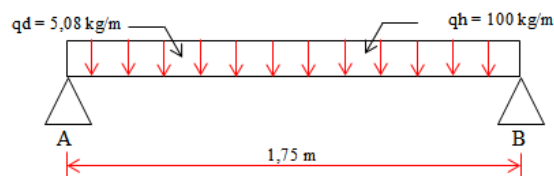


Gambar 1. Potongan Melintang Jembatan

Perhitungan Pipa Sandaran

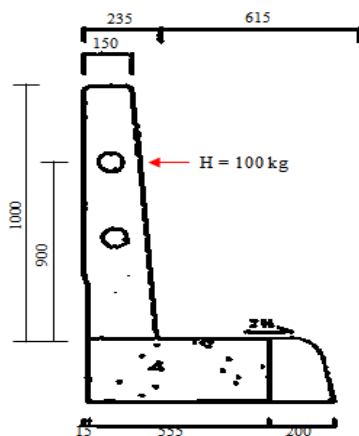


Gambar 2. Penampang Melintang Pipa Sandaran



Gambar 3. Pembebanan pada Pipa Sandaran Jembatan

Perhitungan Tiang Sandaran



Gambar 4. Penampang Melintang Tiang Sandaran

- Perhitungan Tulangan Lentur Tiang Sandaran
Tulangan lentur adalah Ø10-120 mm
- Perhitungan Tulangan Geser Tiang Sandaran
Tulangan sengkang atau geser adalah Ø6-60 mm

Perhitungan Lantai Trotoar

a) Pembebanan Trotoar

1. Beban Sendiri pada Trotoar

Tabel 7. Hasil Perhitungan Beban Sendiri Trotoar

No.	b (m)	h (m)	Shape	d (m)	Berat Jenis (kN/m ³)	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kN.m)
1	0,555	0,25	1	0,2775	25	6,070	0,2775	1,685
2	0,135	0,20	1	0,4875	25	0,101	0,4875	0,049
3	0,15	0,05	0,50	0,4950	25	0,027	0,4950	0,013
4	1,00	0,043	0,50	0,3775	25	0,159	0,3775	0,060
5	0,75	0,15	1	0,4950	25	0,422	0,4950	0,209
6	Pipa Sandaran 3"			0,4950	0,21	0,368	0,4950	0,182
7	Pipa Sandaran 3"			0,4950	0,21	0,368	0,4950	0,182
Jumlah Total =						7,515		2,380

2. Beban Hidup pada Trotoar

Tabel 8. Hasil Perhitungan Beban Mati Trotoar

No.	Jenis Beban	Gaya (kN)	Lengan (m)	Momen (kN.m)
1	Beban horizontal pada sandaran (H ₁)	0,98	0,950	0,931
2	Beban horizontal pada kerb (H ₂)	4,90	0,125	0,613
3	Beban vertikal terpusat (P)	4,90	0,500	2,450
4	Beban vertikal merata = q × b ₁	5,00	0,500	2,500
Momen Akibat Beban Hidup pada Trotoar [M _{TP}] =				6,494

3. Momen Ultimit Rencana Slab Trotoar

- Momen ultimit rencana slab trotoar (M_U)

$$M_U = K_{MS} \times M_{MS} + K_{TP} \times M_{TP} \\ = 1,30 \times 2,380 \text{ kN.m} + 2,00 \times 6,494 \text{ kN.m} = 16,082 \text{ kN.m}$$

4. Gaya Geser Ultimit Rencana Slab Trotoar (V_u)

- gaya geser ultimit rencana slab trotoar (V_u)

$$V_u = K_{MS} \times P_{MS} + K_{TP} \times P_{TP} \\ = 1,30 \times 7,515 \text{ kN} + 2,00 \times 15,780 \text{ kN} = 41,33 \text{ kN}$$

b) Perhitungan Tulangan Lentur Trotoar Tulangan lentur diperoleh 12 Ø8-45 mm

c) Kapasitas Nominal Penampang

Karena semua perhitungan telah sesuai, maka besar kapasitas nominal penampang adalah sebagai berikut (tulangan tekan sebagai tulangan semu)

$$M_n = C_c \times (d - \frac{1}{2} a) \\ = 4.250 \text{ Newton} \times 34,04 \text{ mm} \times [186 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 34,04 \text{ mm}] \\ = 24.446.336,60 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 24.446.336,60 \text{ N.mm} \\ = 20.779.386,11 \text{ N.mm} \\ = 2,08 \times 10^7 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n > M_u = 2,08 \times 10^7 \text{ N.mm} > 1,61 \times 10^7 \text{ N.mm} \text{ ----- (aman)}$$

d) Perhitungan Tulangan Geser Trotoar Tulangan geser diperoleh 152 Ø10-70 mm

Perhitungan Kerb

a) Perhitungan Statika Kerb Jembatan

$$M_u = P \times h = 500 \text{ kg} \times 0,25 \text{ m} = 125 \text{ kg.m} \times [10^4] = 1,25 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

b) Perhitungan Tulangan Lentur Kerb Tulangan lentur diperoleh Ø6-240 mm

c) Kapasitas Nominal Penampang

Karena semua perhitungan telah sesuai, maka besar kapasitas nominal penampang adalah sebagai berikut

(tulangan tekan sebagai tulangan semu)

$$M_n = C_c \times (d - \frac{1}{2} a) \\ = 4.250 \text{ Newton} \times 3,19 \text{ mm} \times (191 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 3,19 \text{ mm}) \\ = 2.567.858,29 \text{ N.mm}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 2.567.858,29 \text{ N.mm} \\ = 2.182.679,55 \text{ N.mm}$$

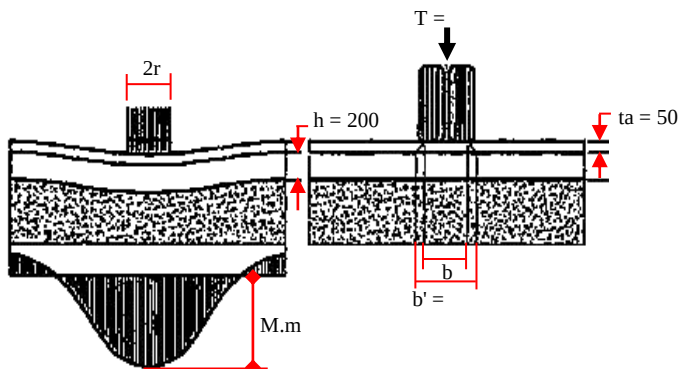
$$\phi M_n > M_u = 2,18 \times 10^6 \text{ N.mm} > 1,23 \times 10^6 \text{ N.mm} \text{ ---} \\ \text{-----(aman)}$$

- d) Perhitungan Tulangan Geser Kerb
Tulangan geser diperoleh Ø6-240 mm

Perhitungan Pelat Injak

Penulangan Pelat Injak Arah Melintang

Jembatan



Gambar 5. Beban pada Plat Injak Arah Melintang Jembatan

- a. Pembebanan Truk "T" (TT)
- beban truk "T" (T_{TT})
 $T_{TT} = (1 + D_{LA}) \times T = (1 + 0,40) \times 112,50 \text{ kN} = 157,50 \text{ kN}$
- b. Momen Pelat Injak Jembatan
- momen ultimit pelat injak arah melintang jembatan (M_u)
 $M_u = K_{TT} \times M \text{ max}$
 $= 2,00 \times 28,68 \text{ kN.m}$
 $= 51,62 \text{ kN.m}$
- c. Penulangan Pelat Injak Arah Melintang Jembatan
Tulangan pelat injak arah melintang jembatan adalah Ø16-50 mm.

Penulangan Pelat Injak Arah Memanjang Jembatan

- a. Pembebanan Truk "T" (TT)
- beban truk "T" (T_{TT})
 $T_{TT} = (1 + D_{LA}) \times T$
 $= (1 + 0,40) \times 112,50 \text{ kN}$
 $= 157,50 \text{ kN}$
- b. Momen Pelat Injak Jembatan
- momen ultimit pelat injak arah melintang jembatan (M_u)
 $M_u = K_{TT} \times M \text{ max}$
 $= 2,00 \times 40,57 \text{ kN.m}$
 $= 73,03 \text{ kN.m}$
- c. Penulangan Pelat Injak Arah Memanjang Jembatan
Tulangan pelat injak arah memanjang jembatan diperoleh Ø16-90 mm.

Perhitungan Pelat Lantai Voids Slab

1. Analisis Kapasitas Lentur Ultimate

Kuat Tekan Beton (f_c)

- at service (f_c) = 50 MPa
- at initial (56% f_c) $f_c' i$ = 28 MPa
- at CIP slab (80% f_c) $f_c' i$ = 40 MPa

Kabel Prestressing

- diameter strand = $\frac{1}{2} D = \frac{1}{2} \times 25,40 \text{ mm} = 12,70 \text{ mm}$
- luas penampang baja prategang (tarik)
 $A_{ps} = 16 \times \text{luas penampang}$
 $= 16 \times \frac{1}{4} \times \pi \times [12,70 \text{ mm}]^2$
 $= 2.025,80 \text{ mm}^2$
- luas penampang baja prategang (tekan)
 $A_{ps}' = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times [12,70 \text{ mm}]^2$
 $= 253,23 \text{ mm}^2$
- tegangan tarik putus strands (f_{pu}) = 1.860 MPa
- gaya prategang mula-mula (f_{se}) = 13.100 kg
- modulus elastisitas baja prategang (E_{ps}) = 200.000 MPa

Manual Perhitungan Voids Slab

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p \times \rho_p \times f_{pu}}{\beta_1 \times f_c} \right) \\ = 1.860 \text{ MPa} \left(1 - \frac{0,40 \times 0,0043 \times 1.860 \text{ MPa}}{0,85 \times 50 \text{ MPa}} \right) \\ = 1.719,99 \text{ MPa}$$

- pemeriksaan daktilitas penulangan (ω_p)
 $\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0043 \times 1.719,99 \text{ MPa}}{50 \text{ MPa}} = 0,1479$
 $\omega_p \leq 0,36 \beta_1 = 0,1479 \leq 0,3060 \text{ -----}$
 ----- (ok)

2. Perhitungan Momen Nominal Voids Slab

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \\ = 1,41 \times 10^9 \text{ N.mm} + 1,79 \times 10^8 \text{ N.mm} \\ = 1,59 \times 10^9 \text{ N.mm}$$

3. Analisis Momen Lapangan Voids Slab

Analisis Momen Lapangan Kondisi Beban Ultimate

Beban Mati

$$M_{DL} = \frac{1}{8} \times q_{DL} \times L^2 \\ = \frac{1}{8} \times 1,77 \text{ ton/m} \times (10,60 \text{ m})^2 \\ = 24,86 \text{ ton.m}$$

Beban Hidup

$$M_{LL} = \frac{1}{8} \times q_{LL} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{LL} \times L \\ = \frac{1}{8} \times 15,52 \times (10,60)^2 + \frac{1}{4} \times 13,31 \times 10,60 \\ = 244,48 \text{ ton.m}$$

Beban Bergerak "T"

Dalam perhitungan momen lapangan untuk kondisi beban ultimate pada momen ultimit "D" sebesar $2,69 \times 10^9 \text{ N.mm}$ lebih besar dari momen nominal ($0,80 M_n$) sebesar $1,22 \times 10^9 \text{ N.mm}$ maka voided slab tidak dapat menahan momen beban hidup dan momen beban mati. Sedangkan pada

momen ultimit "T" sebesar $5,11 \times 10^8$ N.mm lebih kecil dari momen nominal (0,80 Mn) sebesar $1,22 \times 10^9$ N.mm maka voided slab dapat menahan momen beban mati dan momen beban truk.

Analisis Momen Lapangan Kondisi Beban

Serviceability

Beban Mati

$$M_{DL} = \frac{1}{8} \times q_{DL} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 1,28 \text{ ton/m} \times (10,60 \text{ m})^2 = 17,98 \text{ ton.m}$$

Beban Hidup

$$\begin{aligned} M_{LL} &= \frac{1}{8} \times q_{LL} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{LL} \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 7,76 \text{ ton/m} \times (10 \text{ m})^2 + \frac{1}{4} \times 6,65 \times 10 \text{ m} \\ &= 126,61 \text{ ton.m} \end{aligned}$$

Beban Bergerak "T"

Dalam perhitungan momen lapangan untuk kondisi beban serviceability pada momen ultimit "D" sebesar $1,45 \times 10^9$ N.mm lebih besar dari momen nominal (0,80 Mn) sebesar $1,22 \times 10^9$ N.mm maka voided slab tidak dapat menahan momen beban hidup dan momen beban mati. Sedangkan pada momen ultimit "T" sebesar $9,93 \times 10^8$ N.mm lebih kecil dari momen nominal (0,80 Mn) sebesar $1,22 \times 10^9$ N.mm maka voided slab dapat menahan momen beban mati dan momen beban truk.

4. Analisis Tegangan Pada Voids Slab Bagian Tengah

$$W_x = \frac{I_x}{t/2} = \frac{1.494.581,12 \text{ cm}^4}{57 \text{ cm}/2} = 52.441,44 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} S_{bp} &= -\frac{P_1}{A} - \frac{P_2}{A} + \frac{P_1 \times e_1 \times y}{I_x} - \frac{P_2 \times e_2 \times y}{I_x} \\ &= -\frac{26.200}{4.547,75} - \frac{209.600}{4.547,75} + \frac{26.200 \times 41 \times 28,50}{1.494.581,12} - \frac{209.600 \times 41 \times 28,50}{1.494.581,12} \\ &= -5,96 - 47,66 - 20,48 + 163,87 [\text{kg/cm}^2] \\ &= -197,01 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Lapangan Kondisi Serviceability

$$\begin{aligned} M_U \text{ "D"} &= M_{DL} + M_{LL} = 1.798.000 + 12.661.000 = 14.459.000 \text{ kg.cm} \\ M_U \text{ "T"} &= M_{DL} + M_{truk} = 1.798.000 + 8.136.000 = 9.934.000 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

Sehingga momen serviceability yang digunakan adalah $M_U \text{ "D"}$
Gambar diagram tegangan yang timbul dalam elemen penampang balok tengah voided slab yang disebabkan bekerjanya gaya luar.

Kontrol Kekuatan Serviceability

Dalam perhitungan analisis tegangan pada voided slab bagian tengah untuk kekuatan serviceability, tegangan total akibat gaya luar atas (Sa) menghasilkan nilai sebesar $-185,95 \text{ kg/cm}^2$ lebih

kecil dari tegangan ijin penampang atas [Sa] yang mana nilainya sebesar 225 kg/cm^2 maka voided slab dapat menahan tegangan akibat gaya luar balok tengah. Sedangkan pada tegangan total akibat gaya luar bawah (Sb) menghasilkan nilai sebesar $78,71 \text{ kg/cm}^2$ lebih besar dari tegangan ijin penampang bawah [Sb] yang mana nilainya sebesar $35,36 \text{ kg/cm}^2$ maka voided slab tidak dapat menahan tegangan akibat gaya luar balok tengah. Karena tegangan pada tulangan prategang tarik melebihi tegangan ijin maka perlu perkuatan yaitu dengan metode perkuatan eksternal prestressing.

5. Analisis Struktur Dengan Perkuatan Voids Slab

$$\alpha = \arctan \alpha = \arctan \frac{0,55 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 7^\circ 49' 44,40''$$

Maka dicoba tipe strand ASTM GRADE 270 13 mm [0,50"]

diameter nominal = 12,70 mm

luas penampang = $98,71 \text{ mm}^2$

Asumsi:

Gaya prategang efektif yang bekerja = 10.000 kg

Digunakan 5 kabel = $5 \times 10.000 \text{ kg} = 50.000 \text{ kg}$

$$P_x = P \cos \alpha = 50.000 \text{ kg} \times \cos 7^\circ 49' 44,40'' = 49.533,94 \text{ kg}$$

$$P_y = P \sin \alpha = 50.000 \text{ kg} \times \sin 7^\circ 49' 44,40'' = 6.810,92 \text{ kg}$$

Perhitungan Kapasitas Momen Ultimate dengan Perkuatan

$$\begin{aligned} f_{psa} &= \epsilon_{ps} \times E_{ps} \\ &= 0,0088 \times 190.000 \text{ MPa} \\ &= 1.672 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Nominal

(asumsi karena perubahan dp kecil maka dp tetap)

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ &= 1,34 \times 10^9 \text{ N.mm} + 1,97 \times 10^9 \text{ N.mm} \\ &= 3,31 \times 10^9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Lapangan Kondisi Beban Ultimate

$$M_u \text{ "D"} = M_{DL} + M_{LL} = 24,86 \text{ ton.m} + 244,48 \text{ ton.m} = 269,34 \text{ ton.m}$$

$$M_u \text{ "T"} = M_{DL} + M_{truk} = 24,86 \text{ ton.m} + 26,21 \text{ ton.m} = 51,07 \text{ ton.m}$$

Kontrol Kekuatan Kondisi Beban Ultimate

Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan momen nominal lebih besar dari momen ultimate, maka perkuatan telah memenuhi syarat B.M 100%

Tegangan Tarik External Prestressing (Serviceability)

Beban prategang efektif mengakibatkan tegangan pada beton tarik.

Luas penampang beton voided slab (A_b)

$$\begin{aligned} A_b &= [p \times l] + [\frac{1}{2} \times \text{jumlah sisi sejajar} \times \text{tinggi}] - 2 \times [\pi \times r^2] \\ &= (91 \text{ cm} \times 57 \text{ cm}) + 2 \times (\frac{1}{2} \times 64 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}) - 2 \times (3,14 \times [12,50 \text{ cm}]^2) \\ &= 4.397,75 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Inersia balok (I_x)

$$I_x = 1/12 \times p \times t^3$$

$$= 1/12 \times 97 \text{ cm} \times [57 \text{ cm}]^3$$

$$= 1.496.976,75 \text{ cm}^4$$

Inersia lingkaran (I_x)

$$I_x = 2 \times 1/64 \times \pi \times r^4$$

$$= 2 \times 1/64 \times 3,14 \times [12,50 \text{ cm}]^4$$

$$= 2.395,63 \text{ cm}^4$$

Tota Inersia (I_x)

$$I_x = I_x \text{ persegi} - I_x \text{ lingkaran}$$

$$= 1.496.976,75 - 2.395,63$$

$$= 1.494.581,12 \text{ cm}^4$$

$$\text{Jadi } W_x = \frac{I_x}{t/2} = \frac{1.494.581,12 \text{ cm}^4}{57 \text{ cm}/2}$$

$$= 52.441,44 \text{ cm}^3$$

Momen Akibat Gaya Tekan Batang Penyokong

$$f_{be} = -\frac{P_x}{A_b} - \frac{P_x \times e \times y}{I_x} - \frac{M_p \times y}{I_x}$$

$$= -\frac{49.533,94 \text{ kg}}{4.397,75 \text{ cm}^2} - \frac{49.533,94 \times 41 \times 28,50}{1.494.581,12 \text{ cm}^4}$$

$$= \frac{1.804.893,80 \times 28,50}{1.494.581,12 \text{ cm}^4}$$

$$= -11,26 \text{ kg/cm}^2 - 38,73 \text{ kg/cm}^2 - 34,42 \text{ kg/cm}^2$$

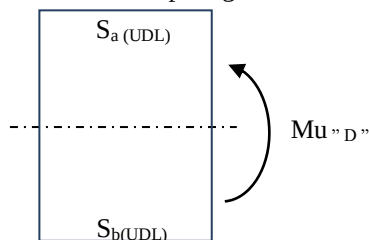
$$= -84,41 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan Momen Lapangan Kondisi Beban Serviceability

$$M_U \text{ "D"} = M_{DL} + M_{LL} = 1.798.000 + 12.661.000 = 14.459.000 \text{ kg.cm}$$

$$M_U \text{ "T"} = M_{DL} + M_{truk} = 1.798.000 + 8.136.000 = 9.934.000 \text{ kg.cm}$$

Sehingga momen serviceability yang digunakan adalah $M_U \text{ "D"}$ karena paling besar.



$$S_{a(u)} = -\frac{M_u \text{ "D" }}{W_x} = -\frac{14.459.000 \text{ kg.cm}}{52.441,44 \text{ cm}^3} = -275,72 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_{b(u)} = \frac{M_u \text{ "D" }}{W_x} = \frac{14.459.000 \text{ kg.cm}}{52.441,44 \text{ cm}^3} = 275,72 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol Kekuatan Kondisi Beban Serviceability

Dalam perhitungan analisis tegangan pada voided slab bagian tengah untuk kekuatan serviceability, tegangan total akibat gaya luar atas (S_a) menghasilkan nilai sebesar $-124,00 \text{ kg/cm}^2$ lebih kecil dari tegangan ijin penampang atas [S_a] yang mana nilainya sebesar 225 kg/cm^2 maka voided slab dapat menahan tegangan akibat gaya luar balok tengah. Sedangkan pada tegangan total akibat gaya luar bawah (S_b) menghasilkan nilai sebesar $-5,77 \text{ kg/cm}^2$ lebih kecil dari tegangan ijin penampang bawah [S_b] yang mana nilainya sebesar $35,36 \text{ kg/cm}^2$ maka voided slab dapat menahan tegangan akibat gaya luar balok tengah. Sehingga dalam penambahan perkuatan pada tiap voided slab sebanyak 5 untai kabel prestressing maka lantai jembatan aman

dibebani momen beban mati, beban hidup dan beban truk.

Perhitungan Tulangan Lentur Struktur Voided Slab

Tabel 9. Perhitungan Inersia Penampang Voided Slab

No.	A [m ²]	y [m]	Jumlah Section [n]	I _o [m ⁴]	n x A [m ²]	n x I _o [m ⁴]	n x A x y [m ³]	n x A x y ² [m ⁴]
1	0,5187	0,2941	1	1,40x10 ⁻²	0,5187	1,40x10 ⁻²	0,1525	0,0449
2	0,0006	0,3133	2	5,33x10 ⁻³	0,0012	1,07x10 ⁻³	0,0004	0,0001
3	0,0090	0,1500	2	6,75x10 ⁻³	0,0180	1,35x10 ⁻⁴	0,0027	0,0004
4	-0,0491	0,2848	2	1,92x10 ⁻⁴	-0,0982	3,84x10 ⁻⁴	-0,0280	-0,0080
Jumlah (Σ) =					0,4398	1,45x10 ⁻²	0,1277	0,0374

a) Analisis Beban Voided Slab

1) Berat Sendiri (MS)

$$\text{Berat sendiri (Q}_{MS}) = W_t + W_u$$

$$= 5,3809 + 10,9944$$

$$= 16,3753 \text{ kN/m}$$

2) Beban Mati Tambahan (MA)

Perhitungan beban mati tambahan (MA)

$$\text{- lapisan aspal} = b \times t_a \times W_a = 0,05 \times 8,00 \times 22,00 \text{ kN/m}^3$$

$$= 8,80 \text{ kN/m}$$

$$\text{- air hujan} = b \times t_h \times W_w = 0,05 \times 9,70 \times 22,00 \text{ kN/m}^3$$

$$= 0,49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Beban Mati Tambahan (Q}_{MA}) = 9,29 \text{ kN/m}$$

3) Beban Lajur "D" (TD)

Besar beban lajur "D" (Q_{TD})

$$Q_{TD} = q \times \frac{(5,50 + B_1)}{2}$$

$$= 8,00 \text{ kPa} \times \frac{(5,50 + 8,00 \text{ m})}{2}$$

$$= 54,00 \text{ kN/m}$$

4) Beban Pedestrian atau Pejalan Kaki (TP)

Beban merata pada voided slab (Q_{TP})

$$Q_{TP} = n \times b_2 \times q$$

$$= 2 \times 0,555 \text{ m} \times 4,94 \text{ kPa} = 5,48 \text{ kN/m}$$

5) Gaya Rem (TB)

Gaya rem tersebut dianggap bekerja pada jarak 1,80 m dari lantai jembatan sehingga lengan terhadap void slab (y) adalah:

$$y = h/2 + 1,80 \text{ m}$$

$$= [0,57 \text{ m} / 2] + 1,80 \text{ m}$$

$$= 2,09 \text{ m}$$

6) Beban Angin (EW)

Transfer beban angin ke lantai jembatan (Q_{EW})

$$Q_{EW} = 2 \times \left[\frac{1/2 \times h/x}{T_{EW}} \right] = 2 \times \left[\frac{1/2 \times 2,00 \text{ m} / 1,75 \text{ m}}{1,76 \text{ kN/m}} \right] = 2,01 \text{ kN/m}$$

7) Pengaruh Temperatur (ET)

Momen maksimum (M_{ET})

$$M_{ET} = 5 \times 10^{-7} \times \alpha \times \Delta T \times E_c \times L^3$$

$$= 5 \times 10^{-7} \times 10^{-5} / ^\circ\text{C} \times 11 ^\circ\text{C} \times 33.234.020 \text{ MPa} \times [10,60 \text{ m}]^3$$

$$= 2,18 \text{ kN.m}$$

8) Beban Gempa (EQ)

Beban gempa vertikal (Q_{EQ})

$$\begin{aligned} Q_{EQ} &= 0,10 \times (Q_{MS} + Q_{MA}) \\ &= 0,10 \times (16,3753 \text{ kN/m} + 9,29 \text{ kN/m}) \\ &= 2,57 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

9) Kombinasi Momen dan Gaya Geser Ultimit

Tabel 10. Rekap Hasil Perhitungan Momen dan Gaya Geser Ultimit

No.	Jenis Bahan	Faktor Beban	M (kN.m)	V (kN)	$M_u = K \times M$ (kN.m)	$V_u = K \times V$ (kN)
1	Beban Sendiri (MS)	1,30	229,99	86,79	298,99	112,83
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2,00	130,48	49,24	260,96	98,48
3	Beban Lajur "D" (TD)	2,00	1985,51	517,73	3.971,02	1.035,46
4	Beban Pejalan Kaki (TP)	2,00	76,97	29,04	153,94	58,08
5	Gaya Rem (TB)	2,00	522,50	49,29	1.045,00	98,58
6	Beban Angin (EW)	1,20	28,23	10,65	33,88	12,78
7	Pengaruh Temperatur (ET)	1,20	2,18	0,41	2,62	0,49
8	Beban Gempa (EQ)	1,20	36,10	13,62	43,32	16,34

No.	Kombinasi	M_u (kN.m)	V_u (kN)
1	Kombinasi 1	5.575,97	1.345,35
2	Kombinasi 2	4.718,78	1.317,63
3	Kombinasi 3	5.578,58	1.345,84
4	Kombinasi 4	5.732,52	1.403,92
5	Kombinasi 5	603,27	227,65

b) Pembesian Voided Slab

- faktor tahanan momen maksimum (R_{max})

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \right] \\ &= 0,75 \times 0,0542 \times 400 \times \left[1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,0542 \times \frac{400}{0,85 \times 50} \right] \\ &= 13,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Lentur Voided Slab

Bagian Bawah

Tulangan lentur bagian bawah yaitu 27 Ø13-35 mm per voided slab.

Perhitungan Tulangan Lentur Voided Slab Bagian Atas

Tulangan lentur bagian atas adalah 8 Ø13-117 mm per voided slab.

Kontrol Kapasitas Momen Ultimit

Luas Tulangan Voided Slab

- luas tulangan atas (A_s) = 8 Ø13-117 mm

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times \phi^2 = 8 \times \frac{3,14}{4} \times (13 \text{ mm})^2 = \\ &= 1.061,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- luas tulangan bawah (A_s') = 27 Ø13-35 mm

$$\begin{aligned} A_s' &= n \times \frac{\pi}{4} \times \phi^2 = 27 \times \frac{3,14}{4} \times (13 \text{ mm})^2 = \\ &= 3.581,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kapasitas Nominal Penampang

Karena semua perhitungan telah sesuai, maka besar kapasitas nominal penampang adalah sebagai berikut: (tulangan tekan sebagai tulangan semu)

$$\begin{aligned} - M_n &= A_s' \times f_y \times (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 3.581,96 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times (513,50 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 59,14 \text{ mm}) \\ &= 205.441.835,04 \text{ N.mm} \\ - \phi M_n &= 0,85 \times 205.441.835,04 \text{ N.mm} \\ &= 164.353.468,03 \text{ N.mm} \\ - \phi M_n &> M_u = 1,64 \times 10^8 \text{ N.mm} < 5,73 \times 10^9 \text{ N.mm} \text{ ----- (tidak aman)} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen nominal lebih kecil sehingga tidak dapat menahan beban momen ultimit yang terjadi disebabkan oleh ketebalan voided slab yang kecil.

Kontrol Lendutan

Dari hasil perhitungan tiang sandaran didapatkan nilai momen ultimit (M_u) sebesar 5.732,52 kN.m sehingga diperoleh tulangan lentur bagian bawah adalah 27 Ø13-35 mm dan tulangan lentur bagian atas adalah 8 Ø13-117 mm per voided slab.

Perhitungan Tulangan Geser Voided Slab

a) Perhitungan

Tahap 1: Menghitung Gaya Geser V_u Berdasarkan Penampang Kritis

- dengan nilai V_u konstan sepanjang 503,50 mm mulai dari tumpuan dan sepanjang 3.447 mm nilai V_u menurun.
- gaya lintang (V_u) pada jarak 3.950 mm mulai dari muka tumpuan sebesar:

$$\begin{aligned} V_{uy} &= \frac{0,5 L - Y}{0,5 L} \times R_u = \frac{5.300 - 3.950}{5.300} \times 2.163,22 \text{ kN} \\ &= 550,85 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tahap 2: Batasan Daerah Tulangan Geser

$$\begin{aligned} X_1 &= \left[\frac{R_u \times \phi V_c}{R_u} \right] \times 0,5L \\ &= \left[\frac{2.163,22 \text{ kN} \times 345,35 \text{ kN}}{2.163,22 \text{ kN}} \right] \times 5.300 \text{ mm} \\ &= 4.454 \text{ mm} \\ X_2 &= \left[\frac{R_u \times 0,5 \phi V_c}{R_u} \right] \times 0,5L \\ &= \left[\frac{2.163,22 \text{ kN} \times 172,67 \text{ kN}}{2.163,22 \text{ kN}} \right] \times 5.300 \text{ mm} \\ &= 4.877 \text{ mm} \\ X_3 &= 0,5 L = 5.300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tahap 3: Penulangan Geser pada Daerah $X_1 = 4.454 \text{ mm}$

Spasi tulangan geser (S) diambil yang paling kecil yaitu **Ø10-24 mm**.

Tahap 4: Penulangan Geser pada Daerah $X_2 = 4.877 \text{ mm}$

Spasi tulangan geser (S) diambil yang paling kecil yaitu **Ø10-24 mm**

Tahap 5: Penulangan Geser pada Daerah $X_3 = 5.300 \text{ mm}$

Dari hasil perhitungan tiang sandaran didapatkan nilai gaya geser ultimit (V_u) sebesar 1.403,92 kN

sehingga diperoleh tulangan geser pada jarak 4.454 mm dipakai tulangan Ø10-24 mm, jarak 4.877 mm dipakai tulangan Ø10-24 mm dan jarak 5.300 mm dipakai tulangan Ø10-250 mm

PEMBAHASAN

Dalam hasil evaluasi perhitungan struktur lantai jembatan tipe voided slab diatas diperoleh momen rencana ultimit (M_u) sebesar 5.732,52 kN.m dan gaya geser ultimit (V_u) sebesar 1.403,92 kN maka tebal dari voided slab dan jumlah penulangan lapangan maupun geser tidak dapat menahan gaya yang terjadi.

Dalam merencanakan struktur lantai jembatan, pembebanan yang menghasilkan momen paling besar adalah beban lajur "T" (T). Sebelum menghitung beban lajur "T" ini sebaiknya disurvei ke lapangan supaya dapat mengetahui kendaraan apa saja yang akan dilewatkan dari jembatan ini.

Karena proyek jembatan ini telah dikerjakan maka untuk mendukung struktur tersebut maka perlu perkuatan yaitu dengan metode perkuatan eksternal prestressing yang berada dibawah lantai jembatan ini dan pengawasan dan pemeliharaan berkala supaya mengetahui kekuatan pada struktur jembatan tersebut. Atau sebelum dioperasikan jembatan ini, sebaiknya uji test *Structural Dynamic & Static Test*. Pengujian yang dilakukan dengan memberikan beban kejut pada jembatan.

5.KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang didapat setelah melakukan penelitian adalah:

- a. Struktur lantai jembatan tidak dapat menahan beban yang terjadi disebabkan oleh beban truk "T" yang tidak sesuai perhitungan perencanaan dengan situasi dilapangan.
- b. Tidak mendukungnya struktur lantai jembatan terhadap pembebanan yang terjadi maka dibutuhkan perkuatan *eksternalprestressing* dibawah lantai jembatan dengan jumlah tendon sebanyak 5 buah per voided slab dengan tiap tendon terdiri dari 12 strand dengan diameter 12,70 mm yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya.
- c. Berdasarkan hasil evaluasi pada *software* SAP2000 menunjukan warna kuning artinya bahwa lantai jembatan voided slabmasih mampu menahan beban yang terjadi.

6. SARAN

- a. Dalam hasil evaluasi pada struktur lantai jembatan maka dibutuhkan perkuatan yaitu dengan metode perkuatan eksternal prestressing supaya tegangan pada tulangan prategang tarik mampu menahan beban yang ada.
- b. Setelah dilaksanakan renovasi pembangunan konstruksi jembatan maka dibutuhkan pengawasan dan pemeliharaan berkala supaya mengetahui kekuatan pada struktur jembatan tersebut.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (SKBI-1.3.28. 1987)*. Jakarta.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Beban Gempa untuk Jembatan (Pd T-04-2004-B)*. Jakarta.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004)*. Jakarta.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833:2013)*. Jakarta.
- [5] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833:2016)*. Jakarta.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Standar Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725:2016)*. Jakarta.
- [8] Bhagat, S., & Dr. K. B. Parikh. 2014. *International Journal of Innovative Research & Development. Comparative Study of Voided Flat Plate Slab and Solid Flat Plate Slab*, 4.
- [9] Chung, J.-H., H.-S. J., B.-i. B., C.-S. C., & Hyun-Ki Choi. 2018. *International Journal of Concrete Structures and Materials. Two-Way Flexural Behavior of Donut-Type Voided Slabs*, 13.
- [10] Indianto, A., & Asep Hilmansyah. 2019. *Evaluasi Kinerja Struktur Jembatan Type Voided Slab. Construction and Material Journal*, 12.
- [11] Murjanto, I. D. 2011. *Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan (Manual Konstruksi dan Bangunan No. 021/BM/2011)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [12] N., H. 2005. *Gambar Standar Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Pedoman No: 04/BM/2005)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [13] Naik, S. R., & D. J. 2017. *IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering. A Voided Slab and Conventional Flat Slab*, 7.
- [14] Sastromijoyo, S. 1980. *Standard Konstruksi Jembatan Type Pretensioned Precast Concrete Voided Slab Span : 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 meter Kelas Muatan B.M. 100*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [15] Silaban, H. A. 2019. *Evaluasi Perhitungan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang di Sibolga*. Medan: Universitas Medan Area.
- [16] Sumadilaga, D. H. 2010. *Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- [17] Sumantri, D. A., Masdar Helmi, & Mohd Isneini. 2021. *Evaluasi nilai sisa kapasitas jembatan voided slab Way Bako I. Rekayasa Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 4.
- [18] Supriyadi, D. B., & Agus Setyo Muntohar. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.

- [19] Wangsadinata, I. W. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.